

O Misterioso Memristor

por Sally Adee

First Published May 2008

Os pesquisadores da HP resolveram o mistério de 37 anos do resistor de memória, considerado o 4º elemento de circuitos elétricos ausente.

Primeiro de maio de 2008 — Alguém que é familiar com a eletricidade e a eletrônica sabe que existe a tríade de elementos fundamentais em eletricidade: o resistor, o capacitor, e o indutor. Em 1971, na Universidade de Califórnia, em Berkeley, um engenheiro previu que deveria haver um quarto elemento elétrico: um tipo de resistor com memória, ou Memristor. Mas até então ninguém sabia como construir aquele elemento. Agora, 37 anos depois, a eletrônica finalmente ficou suficientemente pequena para revelar os segredos daquele quarto elemento elétrico. O Memristor, construído pelos pesquisadores

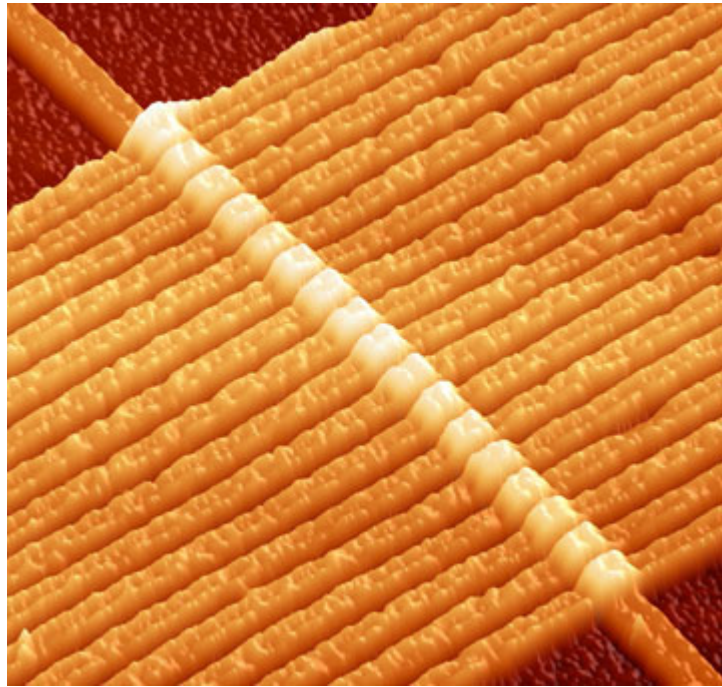


PHOTO: R. Stanley Williams

de Hewlett-Packard (HP) revelados hoje na *Nature*, vinha sendo ocultado das vistas de todos por um longo período de tempo escondido dentro das características elétricas de certos dispositivos nanométricos. Eles acreditam que o novo elemento pode abrir um novo caminho para aplicações em memórias de acesso aleatório não-volátil, e também, as sonhadas redes neurais realistas, ao invés de redes neurais artificiais (uma das técnicas atuais aplicadas em Inteligência Artificial).

A história do Memristor começa a quase quatro décadas com um *insight* do pioneiro da teoria de circuito não-linear *Leon Chua*. Examinando as relações entre a carga elétrica e fluxo magnético em resistores elétricos, capacitores e indutores em um artigo escrito em 1971, *Chua* postulou a existência de um quarto elemento elétrico que chamou de *resistor de memória*. Tal dispositivo deveria fornecer uma relação entre o fluxo magnético e carga elétrica, semelhante a que um resistor elétrico faria quando submetido à tensão e a corrente elétrica. Na prática, isto significaria que ele atuou como um resistor elétrico cujo valor de resistência elétrica pode variar segundo a corrente elétrica que passa por ele, e que o mesmo se lembraria do valor de corrente elétrica mesmo depois da corrente elétrica ter desaparecido.

Mas o dispositivo hipotético foi liquidado dado a falta de compatibilidade construtiva da época com a matemática que explica o efeito Memristivo, mas que não era visível para o dispositivo de 1971. Trinta anos depois, um colega da HP, *Stanley Williams*, e o seu grupo de pesquisa trabalhavam na eletrônica molecular quando eles começaram a notar um comportamento estranho nos seus dispositivos. “*Eles faziam realmente coisas, que não podíamos compreender*”, diz *Williams*. Então o seu colaborador da HP, *Greg Snider*, redescobriu o artigo de *Chua* de 1971. “*Ele disse, ‘Ei pessoal, não sei o que temos, mas isto é o que*

queremos.” lembra *Williams*. *Williams* passou vários anos lendo e relendo as páginas do artigo de *Chua*. “*Ele (o artigo) ficou vários anos batendo na minha cabeça.*” Então *Williams* conseguiu construir seus dispositivos moleculares e obteve realmente um Memristor. “*Ele bateu em mim entre os olhos.*”

A razão pelo qual o Memristor é radicalmente diferente de outros elementos elétricos fundamentais é que, diferentemente deles, ele transporta uma memória do seu passado. Quando você desliga a tensão elétrica do circuito, o Memristor ainda se lembra quanto foi o valor aplicado nele antes de ser desligado. Isto é um efeito que não pode ser duplicado por nenhuma combinação de circuito de resistores, capacitores ou indutores, que é o que diferencia o Memristor e o qualifica como um elemento de circuito fundamental.

A analogia clássica para um resistor elétrico é a de um tubo pelo qual a água (*eletricidade*) passa. A largura do tubo é análoga à resistência elétrica que permite o fluxo de corrente elétrica que passa pelo tubo — mais estreito o tubo, maior a resistência elétrica. Os resistores normais têm um tamanho de tubo invariável sob os efeitos da corrente e tensão elétrica. Um Memristor, por outro lado, modifica-se com a quantidade de água que passa pelo tubo, ou cabo. Se você empurrar a água pelo tubo em uma determinada direção, o tubo se torna maior (menos resistivo). Se você empurrar a água na outra direção, o tubo se torna menor (mais resistivo), efeito característico de um Memristor. Quando o fluxo de água pára de passar, o tamanho de tubo não se modifica mais. Tal mecanismo pode ser tecnicamente duplicado usando transistores e capacitores, mas, diz *Williams*, “*ele utiliza muitos transistores e capacitores para fazer o emprego de um único Memristor.*”

A memória do Memristor tem conseqüências: os computadores digitais normais têm de ser reiniciados cada vez que são ligados, dado que seus circuitos lógicos são incapazes de manter os seus bits depois que a energia é interrompida. Mas porque um Memristor pode se lembrar das antigas tensões aplicadas nele, um computador construído com componentes novos do tipo Memristor, jamais precisaria ser reiniciado. “*Você pode deixar todos os seus arquivos de documentos e planilhas abertas, desligar o seu computador, e ir beber uma xícara de café ou sair de férias durante duas semanas,*” diz

Williams. “*Quando você volta, você ligar o seu computador e tudo estará imediatamente na tela exatamente o modo que você o deixou.*”

Chua deduziu a existência do Memristor das relações matemáticas entre as quatro quantidades básicas de circuitos elétricos. As quatro quantidades básicas de circuito (carga elétrica, corrente elétrica, tensão elétrica e fluxo magnético) podem estar relacionadas uma com a outra de seis modos distintos. Duas quantidades são cobertas por leis básicas da física, e três são cobertas por elementos básicos de circuitos elétricos conhecidos (resistor, capacitor e

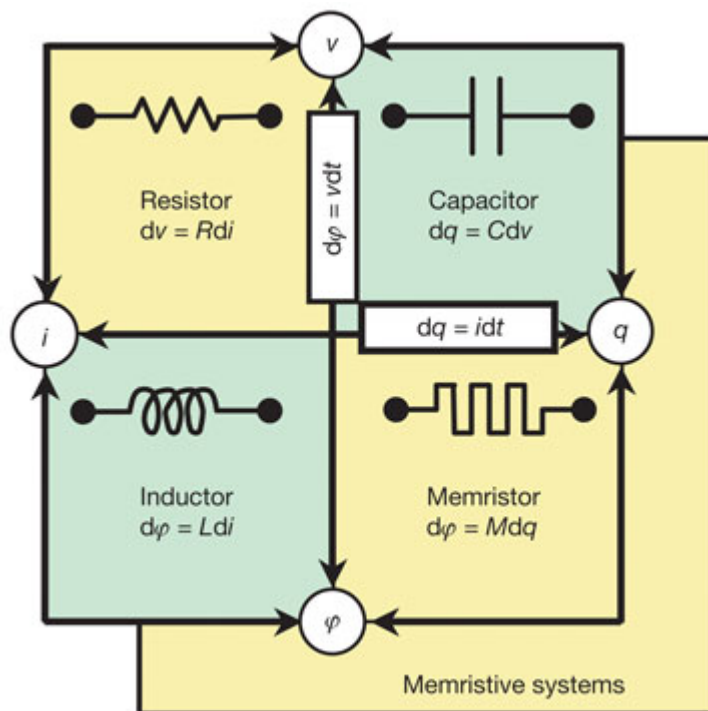


Image: J. J. Yang/HP Labs

indutor), diz professor de engenharia elétrica *David Vallancourt* da Universidade de Colômbia. Baseado nisto, *Chua* propôs o Memristor puramente como uma classe de elementos de circuito baseados em uma relação entre as cargas elétricas e fluxo magnético.

Chua interpreta o trabalho do pessoal da HP como um paradigma deslocado no tempo. Ele compara a adição do Memristor, ao arsenal elementos de circuito, da mesma forma como faria à soma de um novo elemento da tabela periódica, “*agora todos os manuais de Eng. Elétrica (EE) têm de ser modificados,*” diz ele.

Então, por que alguém não tinha percebido antes a Memristência? *Chua* de fato produziu um Memristor em 1970 com uma combinação impraticável de resistores, capacitores, indutores, e ampliadores apenas como prova do conceito. Mas o Memristor como uma propriedade de um material elétrico foi, até há pouco tempo, demasiadamente sutil para fazer uso dele. A Memristência fica obscurecida pelos outros efeitos elétricos de maior relevância, até que você veja este efeito em materiais e outros dispositivos que são construídos em tamanhos nanométricos.

A ausência de uma aplicação para a Memristência foi particularmente complicada, não houve nenhuma necessidade para aplicar a Memristência. Nenhum engenheiro dizia, “*Se só tivemos um Memristor, podemos fazer tal coisa!*,” diz *Vallancourt*. De fato, *Vallancourt*, que esteve ensinando técnicas de circuitos elétricos durante anos, nunca tinha ouvido de falar da Memristência antes desta semana.

Quanto menor for a escala em que os engenheiros e pesquisadores construírem seus dispositivos mais evidente será o efeito do Memristor, diz *Chua*, que é agora professor sênior em Berkeley.

Houveram várias pistas da existência do Memristor no início. “*A gente sabia de características engraçadas de tensão na literatura durante os últimos 50 anos,*” diz *Williams*. “*Eu fui a esses velhos artigos e vi as figuras e disse, ‘Sim, eles têm Memristência, e nós não sabíamos como interpretá-la.’*”

“*Sem as equações de circuito de Chua, você não pode fazer o uso deste dispositivo,*” diz *Williams*. A gente usava todas as equações de circuito incorretas. Comparando ele com um motor de uma máquina de lavar, seria a mesma coisa que substituir o motor elétrico da máquina por um motor a combustão, pensando porque ele não correrá.” *Williams* encontrou um Memristor ideal no bióxido de titânio — material de pintura branca e filtro solar. Como silício, o bióxido de titânio (TiO_2) que é um semicondutor, em seu estado puro é altamente resistivo. Contudo, ele pode ser dopado com outros elementos para fazê-lo muito condutivo. O TiO_2 , dopado não fica estacionário em um alto campo elétrico, ele tende a derivar na direção da corrente elétrica. Tal mobilidade é um veneno para um transistor comum, mas resulta exatamente no efeito desejado em um Memristor. A colocação de um nível de tensão através de um filme fino de semicondutor TiO_2 dopado apenas de um lado, causa a diminuição da resistência elétrica. O deslocamento de corrente elétrica em outra direção então empurrará o dopante para trás, aumentando a assim a resistência elétrica do TiO_2 .

Os Laboratórios da HP estão pesquisando como manufaturar os Memristors de TiO_2 e outros materiais além de tentar compreender a física por trás deles. Eles também têm perspectiva de integrar Memristors em um único chip de silício. O grupo da HP tem um silício híbrido do tipo CMOS Memristor em testes.

As implicações nos aspectos dos circuitos elétricos podem ser a sensações do momento. As aplicações terão de ser identificadas pois as características únicas do Memristor oferecem possibilidades ainda não cobertas por componentes de hoje.

Williams está em negociações com vários laboratórios de engenharia e neurociências que estão há muito tempo perseguindo dispositivos que emulam os sistemas neurais biológicos. *Chua* diz que, as sinapses, conexões entre neurônios, têm um pouco do comportamento

Memristivo. Por isso, um Memristor seria o dispositivo eletrônico ideal para emular uma sinapse biológica.

Redesenhando certos tipos de circuitos para incluir os Memristors, *Williams* espera obter a mesma função com menos componentes, fazendo o próprio circuito mais barato e significativamente reduzido, inclusive quanto ao seu consumo de energia. De fato, ele espera combinar Memristors com elementos de circuito tradicionais para produzir um dispositivo que faz computação não-booleana. *“Não sabemos se estamos construindo um cérebro eletrônico, mas queremos algo que funcionará como um cérebro humano,”* diz *Williams*. Eles pensam que podem abstrair *“a idéia básica da sinapse”* para fazer um computador essencialmente analógico e eficiente. *“Algumas coisas que um computador digital levaria um tempo quase infinito, um computador analógico a base de Memristor demoraria apenas uma leve brisa,”* diz ele.

O grupo da HP também está estudando o desenvolvimento de uma memória não volátil baseada em Memristor. *“Uma memória baseada em Memristors pode ser 1.000 vezes mais rápida do que discos magnéticos e usar muito menos energia,”* diz *Williams*, parecendo com uma criança em uma loja de doces.

Chua acredita que a memória não volátil será a aplicação imediata do Memristor. *“Estou muito feliz por isto romper as linhas inimigas”* diz ele. *“Na realidade a nanoescala permite que este efeito fique dominante, e você o encontrará gostando ou não dele, estou contente por poder mostrar para as pessoas a direção correta.”*

Adaptado do Texto do IEEE Spectrum Online sobre o Misterioso Memristors pelo Prof. Dr. Luis Filipe Wiltgen Barbosa – LRA/FEAU/UNIVAP – 06 de maio de 2008.