

УДК 621.3

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ МЕМРИСТОРА THE DEVICE AND THE PRINCIPLE OF OPERATION OF THE MEMRIS- TOR

Е.В. Барбарич, А.Н. Медведева

Научный руководитель – В.А. Мухина, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

eie@bntu.by

E. Barbarich, A. Medvedeva

Supervisor – V. Muhina, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье рассматривается принцип работы мемристора, его основные характеристики, а также области его применения. Также рассматриваются перспективы использования мемристоров в современных технологиях, таких как нейросети и искусственный интеллект.

Abstract: this article discusses the principle of the memristor, its main characteristics, as well as the scope of its application. The prospects of using memristors in modern technologies such as neural networks and artificial intelligence are also considered.

Ключевые слова: мемристор, резистивное переключение, ReRAM, RRAM, оксид титана.

Keywords: memristor, resistive switching, ReRAM, RRAM, titanium oxide.

Введение

В современном быстроразвивающемся мире одним из приоритетных направлений в науке становится развитие электроники, как основы для работы и совершенствования современных электронных приборов, гаджетов, дивайсов и всевозможных программ.

Существует три основных элемента электрических цепей: резистор, который описывает отношение напряжения с током ($R=U/I$), конденсатор – отношение заряда с напряжением ($C=q/U$), и катушка индуктивности, характеризующая соотношение магнитного потока и тока ($L=\Phi/I$). Для полной картины не хватает только элемента, который связывает электрический заряд (q) с магнитным потоком (Φ). Решением этой проблемы и занялся профессор из Калифорнийского университета в Беркли Леон Чуа, который для недостающего элемента ввёл понятие «мемристор» (рисунок 1).

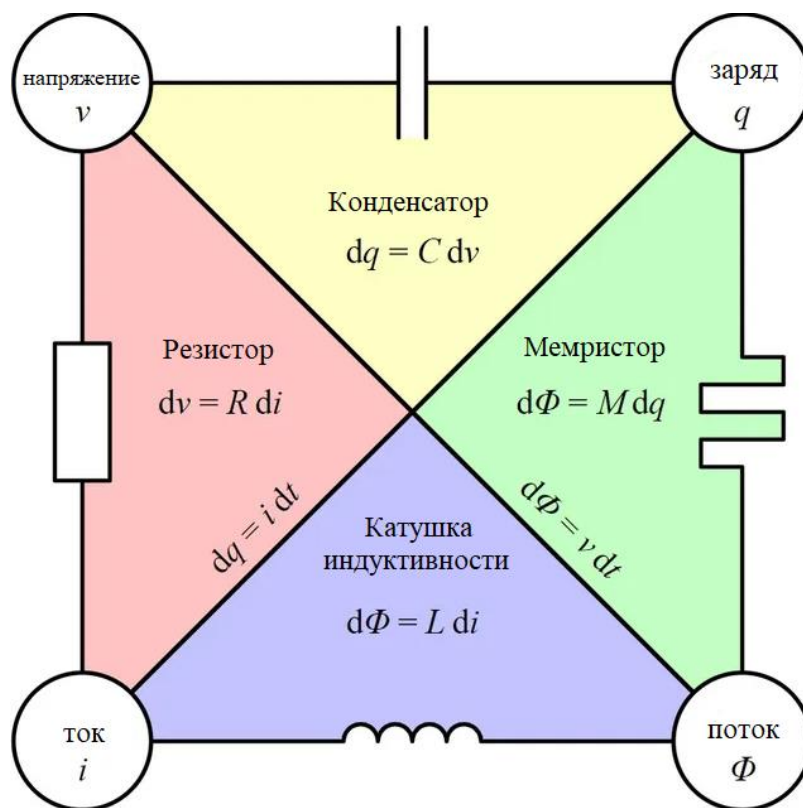


Рисунок 1 – Соотношение параметров резистора, катушки индуктивности, конденсатора и мемристора

Основная часть

Мемристор (от англ. “memory” и “resistor”) – дословно, резистор с памятью. Это двухполюсное запоминающее устройство, который поддерживает внутреннее сопротивление в зависимости от истории применения напряжения и тока. Изменение сопротивления не зависит от энергопотребления, т. е. после устранения внешнего электрического поля состояние сопротивления можно поддерживать в течение длительного времени. Ввиду этого стало возможным создать рабочий вычислительный процессор с уже встроенной памятью, что исключило бы необходимость наличия внешней памяти.

Позже Леон Чуа доказал, что теоретически мем-катушку и мем-конденсатор также возможно реализовать, что позволило бы расширить возможности электрических схем.

Очень долгое время мемристор был лишь теоретически возможным устройством и впервые конструкция данного изобретения представлена лишь в 2008 году компанией HP. Опытные образцы резистивной памяти RRAM или ReRAM (Resistive random-access memory) обладают более простой и дешёвой структурой микросхем. Скорость нового типа памяти практически такая же, как и у уже существующих ОЗУ. Таким образом, новый вид памяти изначально будет дополнять, а после и вовсе заменит часто используемую сегодня динамическую память случайного доступа (Dinamic random-access memory, DRAM). Компьютер на основе мемристора обладает особым преимуществом – высокой энергоэффективностью. Такой компьютер сохранит свою информацию после потери мощности и не потребует процесса загрузки, в результате чего потребление энергии уменьшится, а время будет потрачено впустую. Система, осно-

ванная на работе мемристора, имеет потенциал для снижения энергопотребления и обеспечения большей устойчивости и надёжности при условии перебоев в энергосистеме.

Еще одним возможным применением мемристорной технологии может быть разработка компьютерных систем, которые запоминают и связывают ряд событий так, как это делает человеческий мозг. Это может значительно оптимизировать современную технологию распознавания лиц, обеспечить безопасность и конфиденциальность, которые признают сложный набор биометрических характеристик уполномоченного лица, чтобы получить доступ к личной информации, или позволить устройству развиваться, опираясь на опыт [1].

Мемристор – это частный случай резистивного переключения. Резистивное переключение представляет собой явление, при котором сопротивление диэлектрического материала изменяется в результате применения сильного внешнего электрического поля. Ничего общего с пробоем диэлектрика это свойство не имеет, так как возможно возвращение в закрытое состояние. Резистивные переключения происходят во многих изоляционных материалах: нитридах, оксидах, халькогенидах, полупроводниках и органических материалах. Однако наиболее изученным на сегодняшний день остаётся резистивное переключение в оксидах. Чаще всего для изготовления мемристоров используют оксиды титана, алюминия, циркония, железа и т.д.

Устройства для резистивных переключений имеют конфигурацию с двумя выводами, подобную конденсатору (рисунок 2).

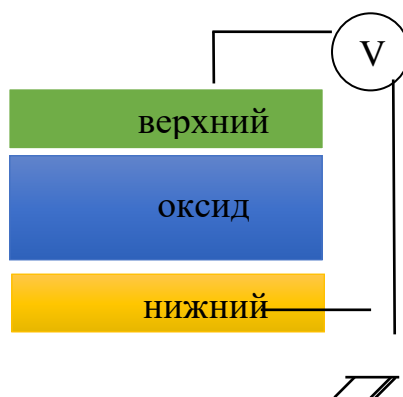


Рисунок 2 – Схема типичных устройств для резистивного переключения: вертикальная конструкция

Резистивное переключение происходит при формировании или разрушении токопроводящих нитей в диэлектрике.

Вольтамперный процесс преобразования материала в мемристор можно разделить на три этапа:

1. При приложении сильного электрического поля происходит резкое увеличение тока, называемое процессом «формирования», и устройство становится переключаемым. Зеленая линия на рисунке 3.

2. Устройство в состоянии низкого сопротивления переходит в состояние высокого сопротивления за счет приложения внешнего смещения, называемого «сбросом». Красная линия на рисунке 3.

3. И наоборот, состояние высокого сопротивления можно заменить на состояние низкого сопротивления, называемую «установка». Голубая линия на рисунке 3.

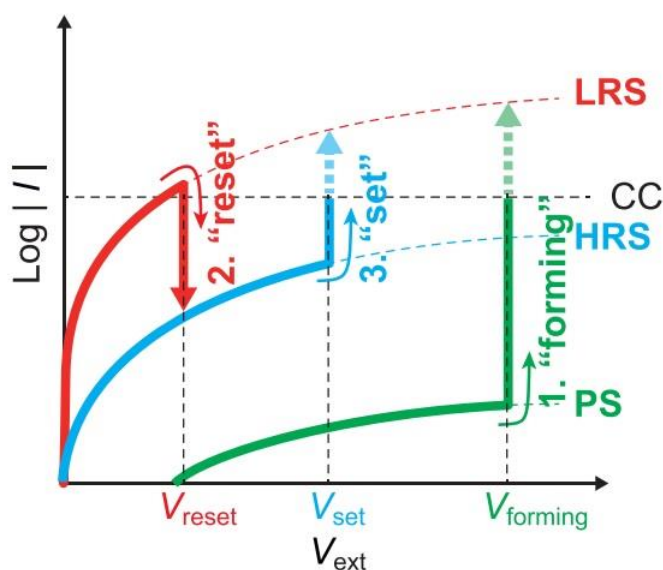


Рисунок 3 – Схематичные кривые ВАХ, показывающие работу резистивного переключения. PS - состояние формирования, LRS - состояние низкого сопротивления, HRS - состояние высокого сопротивления.

К преимуществам мемристора можно отнести простую геометрию ячейки памяти, двухконтактную конфигурацию, которая позволяет делать схему многоуровневой, простоту изготовления и высокую энергоэффективность. Также их можно использовать не только в электронике, но и в медицине.

Мемристоры можно легко запрограммировать, чтобы иметь как долгосрочную, так и кратковременную пластичность. Как и синапсы, они запоминают своё состояние и могут корректироваться на основе ввода. Это означает, что мемристоры позволяют подключать непосредственно на самом фундаментальном уровне всю жидкость человеческого мозга и аппаратные средства, такие как протезы конечностей и компьютеры.

В 2020 году исследователи Университета Саутгемптона, Немецкого университета в Дрездене использовали мемристоры для соединения искусственных нейронов с биологическими. Искусственный нейрон был использован для обеспечения входных стимулов для биологического крысиного нейрона, который был соединен последовательно с другим искусственным нейроном. Резистивное состояние мемристорных синапсов между нейронами использовалось в качестве "синаптического веса" - силы связи между нейронами. Входной искусственный нейрон мог влиять на выходной искусственный нейрон, используя биологический нейрон в качестве промежуточного звена, и оба мемристических синапса показали потенцию и депотенциацию при соответствующих типах входных стимулов.

Из всех потенциальных применений этой технологии, наиболее захватывающей является область нейропротезирования. Вместо того, чтобы машина

училась переводить биологические моторные нейроны в действие, биологические моторные нейроны могут быть напрямую связаны с искусственными моторными нейронами. Это позволило бы получить протезы с очень низкой задержкой, которые могли бы стать основой для бесшовного опыта пациента.

Мемристоры, таким образом, функционируют как искусственные синапсы и открывают новый мир связи между человеком и машиной.

Заключение

В заключении можно отметить, что эта новая технология обладает огромным потенциалом для различных областей применения, от компьютеров и электроники до медицины и робототехники. Мемристоры открывают новые перспективы в области хранения информации и обработки данных, что делает их одним из самых перспективных исследовательских направлений в современной науке и технике. В дальнейшем исследования в этой области позволят улучшить энергоэффективность устройств, увеличить их производительность и создать совершенно новые устройства, которые помогут улучшить качество нашей повседневной жизни.

Литература

1. HP Labs Proves Existence of New Basic Element for Electronic Circuits [Электронный ресурс] / - Режим доступа: <https://www.hp.com/hpinfo/newsroom/press/2008/080430a.html> /. – Дата доступа: 09.04.2024.
2. Мемристор [Электронный ресурс] / мемристор. - Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/667082/> полупроводники: мемристор простыми словами/. – Дата доступа: 09.04.2024.
3. Будущее мемристоров приближается [Электронный ресурс] / - Режим доступа: <https://www.techinsider.ru/technologies/1551463-ves-mozg-na-odnom-kristalle-budushchee-memristorov-priblizhaetsya/>. Дата доступа: 09.04.2024.
4. Resistive switching phenomena: A review of statistical physics approaches (Jae Sung Lee, Shinbuhm Lee, and Tae Won Noh) [Электронный ресурс]- Режим доступа: <https://pubs.aip.org/aip/apr/article/2/3/031303/123649/Resistive-switching-phenomena-A-review-of> /. Дата доступа: 09.04.2024.