

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

УДК 004.94

Мемристор. Стан та перспективи

Артюхова О.В., Бабаков А.І., к.т.н Артюхов В.Г., д.т.н.Писаренко Л.Д.

Мемристор (англ. memristor, від memo— «пам'ять», та resistor— «опір») — четвертий базовий елемент електричної ланки. Вперше запропонований у вересні 1971 року Леоном Чуа. Це пасивний двополюсник з нелінійною вольт-амперною характеристикою (ВАХ), що має гістерезис. Поряд із трьома відомими базовими пасивними елементами аналогових електричних схем — резистором, конденсатором та індуктивністю, цей пасивний елемент створював замкнуту технологічну систему для виробництва максимально різноманітних пристроїв аналогової та цифрової схемотехніки [1].

Електричний ланцюг може описуватися чотирма фізичними величинами: у кожній точці (перетині) електричного ланцюга - силою струму (I) і зарядом (Q), між двома точками (поверхнями) електричного ланцюга - напругою або різницею потенціалів (U) і магнітним потоком (Φ). Всі ці чотири величини попарно співвідносяться одна з одною, причому ці співвідношення представлені в фізичних елементах

електричної схеми. Так, резистор (опір) реалізує взаємозв'язок сили струму і напруги, конденсатор (ємність) - напруги і заряду, котушка індуктивності - магнітного потоку і сили струму. Ці три пасивних елемента - резистор, конденсатор і котушка індуктивності, а також активні елементи – генератори струму та напруги, вважаються базовими в електротехніці, оскільки електричну схему будь-якої складності теоретично можна звести до еквівалентної схеми, побудованої виключно з цих елементів.

Принципова відмінність мемристора від більшості типів сучасної напівпровідникової пам'яті і його головна перевага перед ними полягають в тому, що він не зберігає свої властивості у вигляді заряду. Це означає, що йому не страшні витіки заряду, з якими доводиться боротися при переході на мікросхеми нанометрових масштабів, і що він повністю енергонезалежний. Простіше кажучи, дані можуть зберігатися в мемристорі до тих пір, поки існують матеріали, з яких він виготовлений. Для порівняння: флеш-пам'ять починає втрачати

записану інформацію вже після року зберігання без доступу до електричного струму. Таким чином, на відміну від інших пасивних компонентів мемристор володіє пам'яттю, що відкриває широкі перспективи його використання в електроніці.

Принцип роботи.

Практична реалізація ідеї мемристора здійснилась тільки нещодавно співробітниками лабораторії HPLabs під керівництвом Р. Стенлі Вільямса (англ. R. Staley Williams) фірми Hewlett-Packard. Дослідження проводились в галузі наноелектроніки. Прилад складається із двох шарів плівки із діоксиду титану з різною концентрацією атомів кисню. Кисневі вакансії діють як носії заряду, тобто «збіднений шар» має набагато менший опір, ніж незбіднений. Під дією електричного поля, що прикладається перпендикулярно до плівок, розпочинається дифузія кисню із нижнього (збагаченого) шару у верхній (збіднений). Таким чином, нижній шар, що до того не був провідним, починає проводити струм і залишається в такому стані, поки не буде прикладена обернена напруга. Очевидно, що швидкість перемикання таких мемристорів буде повністю визначатися коефіцієнтом дифузії кисню в діоксиді титану. При виготовленні резистивних смужок використовуються методи нанотехнології.

На думку Грега Шнайдера (спеціаліст компанії HP), мемристор стане одним з основних елементів нанопристроїв, що симулює роботу людського мозку (мініатюрні нанопристрої будуть об'єднані в єдину мережу, а мемристор стане елементом, відповідальним за «пам'ять» штучного інтелекту)[2].

Майбутнє. Перспективи.

Команда HP Labs, яка побудувала перший в світі пізастор, на цьому тижні оголосила ще один значний крок вперед в дослідженнях мемристора.

У статті, опублікованій в останньому номері Nature, дослідники HP показали, що мемристор - четвертий основний елемент в інтегральних схемах, який існував тільки в теорії до 2008 року - здатний виконувати логічні функції. Це ще одне свідчення, що мемристор має потенціал, щоб вплинути на реальний світ обчислень, говорить Стенлі Вільямс, директор Інформаційних і квантових систем лабораторії HP і провідний дослідник проекту.

"Наше дослідження в даний час рухається із лабораторії і до самого виготовлення мемристора на основі схеми", повідомляє Вільямс. "І, коли ми наближаємося до практичної реалізації технології мемристора, то дізнаємося все більше і більше про це."

Якщо мемристори можуть виконувати логіку, вони можуть в один прекрасний день бути використані для створення

комп'ютерних процесорів, припускає Вільямс. А так як ці процесори можуть бути зроблені за допомогою стандартних матеріалів і процесів, мемристори можуть допомогти продовжити закон Мура, повз точки, де технологія кремнію працює проти непереборних технічних бар'єрів.

У найближчий термін, Вільямс очікує побачити мемристор, що використовуються в чіпах пам'яті комп'ютера. HP Labs вже має готову архітектуру для такого чіпа.

Мемристорні чіпи споживають менше енергії для роботи, ніж поточні альтернативи, такі як флеш-пам'ять. Вони також зберігають дані в приблизно половині простору, необхідного для флеш-чіпів, і практично несприйнятливі до перешкод від випромінювання - що робить їх привабливими для будь-якого виробника, який постійно хоче створити менше за розміром, але все більш потужний пристрій.

У дослідженні, опублікованому восени минулого року, група Вільяма запропонувала, як саме пам'ять мемристора може поєднатися з кремнієвим процесором в багатовимірних рамках процесора для створення гібридної мікросхеми, що є значним кроком вперед до ідеї «**комп'ютера на чіпі**». Машини, оснащені такими процесорами будуть корисні для будь-якого інтенсивного завдання обчислення та запам'ятовування, наприклад такі як сейсмозвідки, анімація Рендернга або космічних досліджень.

Зрештою, процесори на мемристорній основі можуть замінити кремній у смарт-дисплеях в електронних книгах читачів, говорить Вільямс, і в один прекрасний день навіть стати наступниками кремнію в більшому масштабі.

Це реальна значимість цієї статті в Nature на цьому тижні, каже він. "Мемристори дозволяють нам думати про різні способи ведення обчислень. І ми тільки починаємо дійсно розуміти довгостроковий потенціал, який вони мають".

Розробки по впровадженню.

На даний час існують розроблені моделі мемристорів в таких середовищах як MicroCap, Cadence, Space та на мові Spectre. А також розроблені математичні основи побудови обчислювальних та нейронних мереж[3].

Наше майбутнє дослідження.

В майбутньому планується висвітлити проблеми, які стоять на шляху розробки пасивних компонентів з пам'яттю та їх впровадження. А саме, розробка логічних елементів та елементів пам'яті, їх математичних моделей, пристроїв на їх основі та їх методологію.

Література

1. Чуа, Л. О. [1971] "Memristor — the missing circuit element", *IEEE Trans Circuit Th.* **CT-18**, 507-519.

2. G. Snider W. Cortical Computing with memristive nanodevices. SciDACreview. 2008. <http://www.scidacreview.org/0804/pdf/hardware.pdf>
3. Ітог, М. & Чуа, Л.О. [2009] “Difference equations for cellular automata”, Інт. Ж. Роздвоєння та Хаосу 19, 805-830.
4. Чуа, Л. О. & Канг, С.М. [1976] “Memristive devices and systems”, Proc. IEEE 64, 209-223.
5. Чуа, Л. О. [1998] КНМ: Парадигма складності (Світова Наука, Сингапур).
6. Чуа, Л. О. & Роска, Т. [2002] Кліткова Нейронна Мережа та Графічні
7. Снайдер, Г.С. [2007] “Self-organized computation with unreliable, memristive nanodevices”, Нанотехнології 18, 365202.
8. Струков, Д.В., Стнайдер, Г.С., Стюард, Г.Р. & Вілліамс, Р.С. [2008] “The missing memristor found”, Природа 453, 80-83.
9. Вольфрам, С. [1984] “Universality and complexity in cellular automata”, Фізика Д 10, 1-35.
10. Strukov D.B. [et al]. The missing memristor found // Nature. 2008. V. 453. PP. 80-83. DOI:10.1038/nature06932
11. Nechay O. Memristor: “The Missing Element” // Computerra OnLine URL: <http://old.computerra.ru/vision/591537/>.
12. Zaplatilek K. Memristor modeling in MATLAB and Simulink // Proceedings of the European computing conference. 2011. PP. 62-67.