

4 (95)' 2012

**ІНФОРМАЦІЙНО -КЕРУЮЧІ
СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ
ТРАНСПОРТІ**

Виходить 6 разів на рік
Видається з 23 квітня 1996 р.

**INFORMACIJNO-KERUÛCI SISTEMI
NA ZALIZNICNOMU TRANSPORTI**

Зміст – Содержание – Contents

Видання

Державної адміністрації
залізниць України

Української державної
академії залізничного
транспорту

Міжнародна видавнича рада

Басов В. І. (Україна)
Бочков К.А. (Білорусь)
Данько М.І. (Україна)
Загарій Г.І. (Україна)
Зубко А.П. (Україна)
Jiang Xin Hua (China)
Кравцов Ю.О. (Росія)
Негрей В.Я. (Білорусь)
Остапчук В.М. (Україна)
Сапожніков Вал.В. (Росія)
Соболев Ю.В. (Україна)
Шепко Н.А. (Україна)

*В номере опубліковані матеріали виступлений
участников 25-й Международной конференции
"Перспективные компьютерные, управляющие и
телекоммуникационные системы для железных дорог
Украины"
(г. Алушта, Крым, Украина, 24-29 сентября 2012 г.)*

Кривуля Г. Ф., Павлов О. А., Власов И. В.
Применение мемристорной логики в компьютерной
инженерии3

Смирнов А. А., Даниленко Д. А., Мелешко Е. В.
Метод обнаружения вредоносного программного
обеспечения. Часть 1. Корреляционный анализ
сетевых трафика.....8

Гончарова Л. Л.
Організація комп'ютерних засобів управління
технологічними процесами електропостачання15

Жученко О. С., Суєта О. В., Соловйов А. О.
Оцінка кількості потоків пакетів у кільцевій мережі на
основі обладнання третього рівня.....20

Бочаров А. П., Карбивский Ф. А., Пасечник В. И.
Корпоративное управление и трансформация бизнес-
модели при реформировании железнодорожного
транспорта Украины: проблемы и пути решения.....24

Соловьев В. М., Сперанский Д. В., Жничков Р. Ю.
Платформа управления виртуальной вычислительной
средой.....36

Сытник В. Б. Адаптивная фильтрация и дифференцирование сигналов в системах автоматического управления	42
Нічога В. О., Сторож І. В., Ващишин Л. В. Аналіз сигналів деяких небезпечних дефектів при магнітній дефектоскопії залізничних рейок за допомогою віконного Фур'є та вейвлет – перетворень	46
Пшинько А. Н., Скалозуб В. В., Жуковицкий И. В., Распопов А. С. Железнодорожные интеллектуальные транспортные системы и концепция международной программы подготовки магистров в области ИТС CITISET.....	52
Замула А. А., Землянко Ю. В. Оценивание временной задержки сигнала с использованием технологии распределенного спектра	58
Кривуля Г. Ф., Сыревич Е. Е., Карасев А. Л. Diagnostic data storage and processing usig axeda platform	63
Кривуля Г. Ф., Бабич А. В., Мова А. Ю. Моделирование RTSP протокола с использованием диагностического узла в видеоконференцсвязи.....	67
Мироновский Л. А. Симметричные реализации динамических систем.....	71
Пахомова В. М., Федоренко Ю. О. Рішення задачі маршрутизації в комп'ютерній мережі Придніпровської залізниці на основі нейронної моделі Хопфілда.....	76
Рязанцев А. И., Скарга-Бандурова И. С., Коваленко Я. П. Использование методов автоматного проектирования при разработке программного обеспечения систем железнодорожной автоматизации	85

УДК 004.85

КРИВУЛЯ Г. Ф., д.т.н., професор,
 ПАВЛОВ О. А., аспірант,
 ВЛАСОВ І. В., аспірант (ХНУРЭ)

Применение мемристорной логики в компьютерной инженерии

Введение

Развитие исследований в области нанoeлектроники позволило осуществить в 2008 году компанией Hewlett-Packard (HP) практическую реализацию мемристора - четвертого базового элемента схемотехники, который является дополнением к традиционным элементам: резистору, конденсатору и индуктивности. Мемристор представляет собой двухполюсник с нелинейной вольт-амперной характеристикой, обладающий гистерезисом. Наиболее важной характеристикой мемристора является способность менять сопротивление и запоминать свое состояние в течение долгого промежутка времени. Мемристор можно определить как пассивный элемент электрической цепи, сопротивление которого некоторым образом зависит от прошедшего через него тока. После отключения напряжения в цепи мемристор не изменяет свое состояние, т.е. "запоминает" последнее значение сопротивления. Отсюда и его название (англ. memristor - сокращение от memory resistor - резистор с памятью) [1].

Так как мемристор – элемент, работающий в условиях переменного тока, то его электрическое сопротивление зависит от полярности прикладываемого напряжения. В зависимости от знака разности потенциалов мемристор может находиться в выключенном (менее проводящем) состоянии и во включенном (более проводящем). В таком виде он мало отличается от диода. Но самым главным качеством мемристора является зависимость его сопротивления от заряда в пределах от долей Ома до сотен Ом. Мемристор, подобно резистору, оказывает сопротивление проходящему через него электрическому току, однако при этом также обладает памятью и сопротивление мемристора зависит от последней величины приложенного к нему напряжения.

Как биполярный переключатель мемристор замыкает или размыкает проходящую через него цепь при подаче на его вход напряжения противоположной

полярности. С точки зрения цифровой электроники мемристор переходит из состояния "0" в состояние "1" и наоборот.

На рис. 1 приведена упрощенная вольтамперная характеристика мемристора, которая представляет собой гистерезисную кривую.

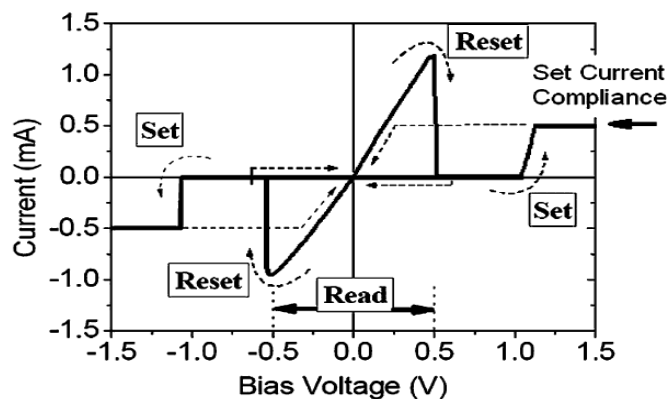


Рисунок 1 – Зависимость тока на мемристоре от напряжения

Рассмотрим функционирование мемристора по его вольтамперной характеристике. Резистивное сопротивление мемристора соответствует наклону кривой зависимости тока от напряжения, оно может быть различным и определяется предысторией. При подаче на его вход определенного постоянного напряжения в пределах от -1.5 до +1.5 вольт (bias voltage) через мемристор проходит соответствующий ток (set current compliance), от величины которого зависит состояние мемристора. Сигналом "Reset" мемристор устанавливается в исходное состояние, а сигналы "Set" различной полярности переводят его в единичное или нулевое состояние. Определить величину внутреннего сопротивления мемристора можно с использованием входного разнополярного сигнала "Read." Отметим, что величина внутреннего сопро-

тивлення змінюється в декілька десятків раз (наприклад від 10 Ом до 10 кОм), що цілком достатньо для впевненого розпізнавання станів мемристора.

Пам'ять на мемристорах уже отримала назву RRAM (Resistive RAM). При швидкій дії мемристорів на рівні 50 нс є можливість відмовитися від нинішньої ієрархічної структури комп'ютерної пам'яті, яка в даний час представляє собою піраміду, на вершині якої знаходиться надзвичайно швидкий кеш невеликого об'єму, а в основі - жорсткий диск великої ємності. Швидка пам'ять на мемристорах за принципом може дозволити як би розширити процесорний кеш до декількох терабайт з збереженням вмісту незалежно від наявності живлення [2].

В даний час створено прототипи пристроїв, які реалізують такі застосування. Вони побудовані за архітектурою, отримавши назву "кресбар" (crossbars) [3]. Використання кресбарів на мемристорах в комп'ютерній інженерії може стати основою комп'ютерів і інших обчислювальних пристроїв принципово нового типу. В даний час фахівці НР схильні вважати, що вже в майбутньому 2013 року мемристоры зможуть повністю замінити існуючі види флеш-пам'яті і, ймовірно, до 2020 року замінити жорсткі диски і оперативну пам'ять сучасних комп'ютерів.

Цель работы

Властивості мемристора дають можливість застосувати його одночасно в декількох варіантах - двоїчного перемикача, елемента пам'яті і складової логічного елемента. В даній роботі розглянуто застосування кресбарів на мемристорах для реалізації логічних операцій двох змінних на основі імплікативної алгебри.

Реализация логических операций на мемристорах

Дослідники компанії НР експериментально продемонстрували виконання логічних операцій за допомогою двох мемристорів [4]. Для цього було створено кресбар з мемристорами, який складається з однієї загальної платинової нанопроволоки шириною 50 нм і розташованими зверху перпендикулярно до неї 17 іншими такими ж проволочками. Між нижньою і верхніми проволочками розміщувалися прокладки з двоїоксида титану товщиною 50 нм. Вони утворюють зв'язки між проволочками, розташованими в різних шарах. Властивості цих зв'язок такі, що їх опір змінюється практично не змінюється, якщо прикладено невелике напруга, і різко змінюється, якщо напруга перевищує певне порогове значення. Одним з

цих порогових напруг "Reset" збільшує опір і "відкриває" мемристор (розриває зв'язку) - це стан розглядається як логічний "0". Інше порогове напруга "Set" викликає зменшення опору і "закриває" мемристор, т.е. забезпечує протікання струму через мемристор - стан логічний "1". За думкою дослідників, мемристоры найбільш ефективно, коли застосовується логіка, побудована на операції імплікації [4].

Імплікація - одна з найважливіших операцій логіки висловлювань. Ця операція виражається словосполученням "Якщо..., то...". За визначенням імплікація $X \rightarrow Y$ істинна завжди за винятком випадку, коли X істинно, а Y хибно. Історично операція імплікації була введена для аналізу повноти системи всіх можливих логічних функцій двох змінних.

Імплікація позначається як $X \rightarrow Y$, $X \supset Y$, $X \text{ IMP } Y$.

Інтерпретація даної операції має декілька значень:

Якщо X , то Y ; X імплікує Y ; X тягне Y ; Y випливає з X , Y необхідно для X ; X достатньо для Y ; X тільки тоді, коли Y ; Y тільки, коли X .

Операція імплікації не так очевидна, як інші логічні операції. Пояснимо її застосування на прикладі (табл. 1). Нехай дані два висловлювання $X = 1$ - "Комп'ютер працює", $Y = 1$ - "Комп'ютер увімкнено". В цьому випадку операція імплікації для початкових істинних значень X і Y інтерпретується наступним чином:

$X \rightarrow Y =$ "Якщо комп'ютер працює", "то комп'ютер увімкнено".

Тоді, якщо комп'ютер працює ($X = 1$) і комп'ютер увімкнено ($Y = 1$), це правильно. Але якщо Вам скажуть, що комп'ютер працює ($X = 1$) і при цьому комп'ютер не увімкнено ($Y = 0$), то Ви вважатимете це неправдою. А ось коли комп'ютер не працює ($X = 0$), то комп'ютер, маючи несправність, може увімкнутися ($Y = 1$) і не увімкнутися ($Y = 0$).

З табл. 1 істинності випливає, що імплікація двох висловлювань хибна тоді і тільки тоді, коли з істинного висловлювання випливає хибне (істинна передумова веде до хибного висновку).

В класичній логіці дану операцію називають матеріальною імплікацією і її визначають як бінарну зв'язку складного висловлювання, яке стверджує, що якщо має місце певне положення справ, описуване першим висловлюванням, то має місце певне положення справ, описуване другим висловлюванням. Перший член імплікації називається *антецедентом*, другий - *консеквентом*.

Таблиця 1 – Таблица истинности для импликации

X	Y	$X \rightarrow Y$	Пояснение	"Если компьютер исправен", "то компьютер включается"
0	0	1	компьютер неисправен, не включается	1 (ИСТИНА)
0	1	1	компьютер неисправен, включается	1 (ИСТИНА)
1	0	0	компьютер исправен, не включается	0 (ЛОЖЬ)
1	1	1	компьютер исправен, включается	1 (ИСТИНА)

Таблиця 2 – Логические функции в базисе $\{0, \rightarrow\}$.

X	0	0	1	1	Исходные двоичные аргументы (X, Y)		
Y	0	1	0	1			
№	Значение функции				Название функции $F_i = (x, y)$	F_i в базисе F_0, F_{13}	
0	0	0	0	0	константа 0 $F_0 = 0$	0	
1	0	0	0	1	конъюнкция $F_1 = X \wedge Y$	$(X \rightarrow (Y \rightarrow 0)) \rightarrow 0$	
2	0	0	1	0	отрицание импликации $X \rightarrow Y$ $F_2 = \neg(X \rightarrow Y)$	$(X \rightarrow Y) \rightarrow 0$	
3	0	0	1	1	переменная X $F_3 = X$	$(X \rightarrow 0) \rightarrow 0$	
4	0	1	0	0	отрицание импликации $Y \rightarrow X$ $F_4 = \neg(Y \rightarrow X)$	$(X \rightarrow Y) \rightarrow 0$	
5	0	1	0	1	переменная Y $F_5 = Y$	$(Y \rightarrow 0) \rightarrow 0$	
6	0	1	1	0	отрицание эквивалентности $F_6 = \neg(X \leftrightarrow Y)$	$(X \rightarrow Y) \rightarrow ((Y \rightarrow X) \rightarrow 0)$	
7	0	1	1	1	дизъюнкция $F_7 = X \vee Y$	$(X \rightarrow Y) \rightarrow (Y \rightarrow X) \rightarrow 0$	
8	1	0	0	0	отрицание дизъюнкции $F_8 = \neg(X \vee Y)$	$((X \rightarrow 0) \rightarrow Y) \rightarrow 0$	
9	1	0	0	1	эквивалентность $F_9 = X \leftrightarrow Y$	$(X \rightarrow Y) \rightarrow ((Y \rightarrow X) \rightarrow 0) \rightarrow 0$	
10	1	0	1	0	отрицание Y $F_{10} = \neg Y$	$Y \rightarrow 0$	
11	1	0	1	1	импликация YX $F_{11} = Y \rightarrow X$	$Y \rightarrow X$	
12	1	1	0	0	отрицание X $F_{12} = \neg X$	$X \rightarrow 0$	
13	1	1	0	1	импликация XY $F_{13} = X \rightarrow Y$	$X \rightarrow Y$	
14	1	1	1	0	отрицание конъюнкции $F_{14} = \neg(X \wedge Y)$	$X \rightarrow (Y \rightarrow 0)$	
15	1	1	1	1	константа 1 $F_{15} = 1$	$X \rightarrow X$	

Одним из основных понятий логического анализа и синтеза в компьютерной инженерии является понятие функциональной полноты системы логических функций. Функционально полной системой является такой минимальный состав логических операций, с помощью которого можно выразить любую произвольную логическую функцию. Этот состав имеет название «логический базис». Наиболее часто используемые базисы двух переменных – это наборы операций $\{\neg, \&\}$ - И,НЕ; $\{\neg, \vee\}$ - ИЛИ,НЕ. Для реализации логических операций на мемристорах исследователи НР предлагают использовать базис на основе двух переменных - константу 0 и импликацию : $\{0, \rightarrow\}$. Данный набор операций является функционально полным и на его основе можно реализовать сколь угодно сложную логическую операцию.

В табл. 2 представлена реализация всех возможных 16 логических функций двух переменных с использованием предлагаемого базиса.

Для аппаратной реализации на кроссбаре произвольную логическую функцию двух и более переменных необходимо привести к рассматриваемому базису $\{0, \rightarrow\}$. Сделать это достаточно просто, используя известные тождества алгебры логики:

- для базиса $\{\neg, \vee\}$ это $x \rightarrow y = \overline{x \vee y}$; или $x \vee y = \overline{x \rightarrow y}$.

- для базиса $\{\neg, \&\}$ это $x \rightarrow y = \overline{x \& y}$; или $x \& y = \overline{x \rightarrow y}$.

- для базиса $\{\downarrow\}$ это $x \rightarrow y = ((x \downarrow x) \downarrow y) \downarrow ((x \downarrow x) \downarrow y)$.

- для базиса $\{|\}$: это $x \rightarrow y = (x | (y | y))$.

При этом следует соблюдать принятый в алгебре логики следующий порядок выполнения логических операций в сложном логическом выражении: *инверсия, конъюнкция, дизъюнкция, импликация, эквивалентность*. Для изменения указанного порядка выполнения операций используются скобки. Для автоматизации данного процесса требуется разработка компьютерной программы преобразования логических функций в необходимый базис.

Выводы

До появления мемристоров характеристики биологического мозга делали невыполнимой задачу построения электронной модели мозга в полном объеме. Мозг человека содержит около 10^{11} нейронов, каждый из которых связан с тысячами или более синапсов. Плотность синапсов в коре головного мозга примерно 10^{10} на квадратный сантиметр, они потребляют ничтожную мощность, обладают сложной, нелинейной динамикой и в некоторых случаях способны сохранять записанные в них воспоминания на

протяжении многих десятилетий. Мемристор похож на биологический синапс тем, что его электропроводность может быть весьма точно изменена за счет регулировки протекающего через него тока. Мемристоры могут подражать работе синапсов из-за того, что синаптические связи двух нейронов аналогичным образом усиливаются или ослабевают в зависимости от возбуждения нейрона. В обычном компьютере функции логики и памяти находятся в разных частях электросхемы, и каждый вычислительный блок сопряжен только с соседними электронными компонентами. Поэтому обычные цифровые вычислительные устройства способны имитировать работу мозга только самых примитивных живых организмов. Мемристоры вмещают в себе функции памяти и логики - как синапсы биологического мозга, что позволяет проводить сложную параллельную обработку данных. Кроме этого, импликативная алгебра, используемая для построения логического вывода на мемристорах, достаточно адекватно моделирует рассуждения человека. Практически большинство экспертных систем используют продукционные правила, реализованные на основе логической операции импликации. Таким образом, в настоящее время имеются реальные предпосылки для реализации компьютеров нового поколения. Искусственные синапсы на мемристорах позволяют радикально повысить вычислительную мощь компьютеров. Чип с миллионами искусственных нейронов и миллиардами синапсов откроет путь для создания сложнейших интеллектуальных машин, которые обладают сложным поведением, могут «осмысливать» происходящее и обучаться в зависимости от состояния окружающей среды.

Литература

1. *Chua L.O.* Memristor – the missing circuit element // IEEE Trans. Circuit Theory. – 1971. - V.18. – Pp.507–519.
2. *Strukov D.B., Snider G.S., Stewart D.R., Williams R.S.* The missing memristor found // Nature letters. – 2008. – V.453. – Pp.80–83.
3. *Kuekes P.J., Snider G. S., Williams R. S.* Crossbar nanocomputers // Scientific American. – 2005. – V.293. – Pp.72–78.
4. *Borghetti J., Snider G.S., Kuekes P.J. et al.* ‘Memristive’ switches enable ‘stateful’ logic operations via material implication // Nature letters. – 2010. – V.464. – Pp.873–876.
5. *Кривуля Г.Ф., Павлов О.А., Власов И.В.* Четвертый базовый элемент схемотехники мемристор – основа будущих интеллектуальных систем. Материалы международной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений» ISDVCI-2012. Евпатория, 27-31.05.2012. – С.110-112.

Резюме

Рассмотрено применение кроссбаров на мемристорах для реализации произвольных логических операций двух переменных на основе импликативной алгебры

Розглянуто застосування кросбарів на мемрісторах для реалізації довільних логічних операцій двох змінних на основі імплікативної алгебри

This article describes the application of memristor crossbar on to implement arbitrary logic operations of two functions using the implicative algebra

Ключові слова: компьютер, мемристор, логическая функция, импликация

Рецензент д.т.н., профессор Загарий Г.И. (УкрГАЗТ)

Поступила 10.06.2012 г.