

Вх. № 5/23

от. 01.03.2023г.

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Ибрагима Абдуллы Хайдар Абдо
«Математическое моделирование процессов резистивного переключения в
мемристоре и обработки информации в мемристорно-диодных кроссбарах
входного и выходного устройств биоморфного нейропроцессора»,
представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ»**

В классических формальных нейронных сетях сигналы представляются в непрерывной форме. Такое свойство сигналов обуславливает возможность их дифференцирования и применения положительно зарекомендовавшего себя метода обратного распространения ошибки при обучении весов нейросети. Подавляющая часть современных нейроускорителей построена для работы именно с такими сигналами.

С другой стороны, нейробиологи считают биологически наиболее правдоподобной модель, где нейроны мозга принимают, обрабатывают и передают спайки – короткие импульсы сигналов. Такая модель называется биоморфной, биоподобной или нейроморфной. Реализующие ее процессоры имеют энергоэффективность на два и более порядка выше относительно классических нейроускорителей на архитектуре фон Неймана.

Для поддержки таких процессоров активно развивается элементная база на новых принципах, включая мемристоры, а также новые методы обучения. Кроме того, стремление минимизировать пересылку данных от процессора к памяти приводит к так называемым «вычислениям в памяти». Элементы памяти и вычислительные элементы в пределе становятся единым целым – мы наблюдаем это в мемристивных кроссбарах. Для компенсации паразитных эффектов используются селекторы, в данном случае диоды.

Диссертационная работа Ибрагима А.Х.А. посвящена проблеме исследования трех ключевых составляющих процессора обработки спайковых нейронных сетей: блока преобразования сигналов из двоичного в спайковый вид, модели работы мемристора как важнейшего элемента «вычислений в памяти», блока восстановления сигнала из спайкового вида. В указанных составляющих прослеживается полный цикл биоподобной нейросетевой обработки, внедренный в двоичный вычислительный поток. Именно такой комплексный подход обуславливает актуальность и значимость работы.

Необходимо отметить, что рассматриваемая модель мемристора опирается на актуальные в 2006-2010 гг. представления о его поведении. Главным и не рассмотренным недостатком этой модели является её одномерность, которая редуцирует решение задачи пространственного распределения объёма филамента к задаче тонкого проводящего провода (стр. 36). При этом уравнение для одномерного

провода ещё и считается в стационарном случае, без рассмотрения сложных эффектов физической кинетики, без которой невозможно исследование эффектов переключения. Моделирование сложной динамики с приближением на равенство диффузионного потока вакансий и потока, обусловленного электрическим полем (стр. 4), в случае существенного изменения электрического поля при переключении устройства спайкообразным импульсом (который заявляется в рамках “биоморфного” устройства), является неприменимым в задачах моделирования переключения мемристора.

Предлагаемая соискателем модель описывает только одномерное распределение вакансий между пластинами, на которые подано постоянное напряжение, а не переключение, как было заявлено. Нужно также отметить, что модель также не является поведенческой, поскольку не моделирует временную зависимость, и построенная характеристика не может корректно учесть эволюцию выделяемой мощности устройства. Важность рассмотрения, по крайней мере 2D структуры в физическом моделировании можно увидеть в актуальной работе [Lee S. H. et al. Quantitative, dynamic TaO x memristor/resistive random access memory model // ACS Applied Electronic Materials. – 2020. – Т. 2. – №. 3. – С. 701-709], где решается аналогичная задача моделирования оксида металла.

Также не совсем понятен смысл моделирования распределения тепла в стационарном случае, если мы хотим подавать на структуру набор импульсов высокой частоты. Вопросы вызывает симметричность графиков распределения температуры в поперечном сечении устройства (стр. 53) – при линейной зависимости проводимости от концентрации и существенно нелинейного распределения этой концентрации по толщине (стр. 49).

Таким образом, необходимо обосновать выбор одномерной задачи, выбор стационарной задачи, применимость модели к реальным задачам и пояснить симметричность графика распределения температуры внутри слоя мемристора.

Также хорошо бы пояснить: как стационарная модель из прошлой главы используется при моделировании поведения устройства во времени и выбор компактной модели [Biolek D., Di Ventra M., Pershin Y.V. Reliable SPICE Simulations of Memristors, Memcapacitors and Meminductors // Radioengineering. 2013. V.22. №. 4. P. 945-968], моделирующей распределение тока по времени.

Неплохо было бы определить область применимости разработанной модели «нейронного блока», выполненной без учёта основных проблем создания такого устройства (нестабильность, шумы, утечки). Пример решения актуальных задач на основе простейших структур можно найти в последних работе [Jin, P., Liang, Y., Wang, G., Chen, L., Iu, H. H. C., & Chua, L. O. (2022). Shortcuts to Edge-of-Chaos Domains of Memristive Circuits and Historic Measurement of Contiguous Triple-Branch V–I Curve of Chua Corsage Memristor. International Journal of Bifurcation and Chaos, 32(15), 2230035].

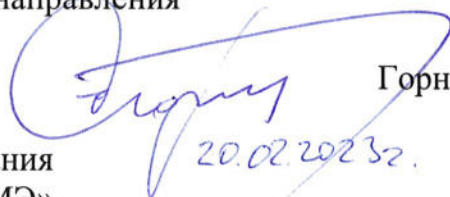
Следует также отметить отсутствие в автореферате анализа семейства экспериментальных ВАХ для мемристоров с формовочными и бесформовочными свойствами в сравнении с модельными кривыми.

Не приведена оценка точности построенных алгоритмов моделирования процессов обработки информации входного и выходного блоков процессора.

Основные результаты работы представлены 7-ю публикациями в рецензируемых журналах из списка ВАК, Web of Science, Scopus, 8-ю публикациями в других изданиях в период 2019-2021 гг., 5-ю свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных 2021 г., 8-ю выступлениями на конференциях в 2019-2021 гг.

Представленная работа соответствует требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор – Ибрагим Абдулла Хайдар Абдо заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Член-корреспондент РАН,
д.т.н., профессор,
зам. руководителя
приоритетного технологического направления
«Электронные технологии»,
АО «НИИМЭ»


Горнев Е.С.
20.02.2023г.

Начальник лаборатории исследования
нейроморфных систем АО «НИИМЭ»,
доцент базовой кафедры микро-
и наноэлектроники МФТИ,
к.т.н.


Тельминов О.А.

Подписи Горнева Е.С и Тельминова О.А. удостоверяю

Начальник ОУП


Лизавенко М.В.
М.П.

Полное наименование организации: Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»

Адрес: 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1

Тел: +7 495 229 72 99, Факс: +7 495 229 77 73

E-mail: niime@niime.ru

Сайт: www.niime.ru