

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ НЕЙРОМОРФНЫХ МИКРОЧИПОВ НА ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНОМ УРОВНЕ**

А.И. Андрюхин

Донецкий национальный технический университет

*Розглядаються проблеми моделювання та діагностування нейроподібних мікрочипів, зроблених з МОН-структур.*

Основой будущей вычислительной техники и искусственного интеллекта будут нейрокомпьютерные системы. Базовой технологией их аппаратной реализации в ближайшие 10-15 лет, невзирая на исследования и разработку RTD, SFT, других наноэлектронных элементов, останется МОП-технология [1].

Идеальным решением реализации сенсорных систем восприятия на базе твердотельной электроники являются в настоящее время аналоговые СБИС и этот вопрос рассматривается в различных работах, из которых укажем [2-4]. Перспективные направления развития элементной базы представлены в [5].

Создание нейроморфных микрочипов представляет собой отображение (морфинг) нервных связей на кремниевые электронные цепи. Первые значительные результаты связаны с именами Карвера Мида (Carver Mead) и М.Маховальд, которые попытались изготовить сетчатку из кремния и воспроизвели три из пяти ее слоев. В дальнейших исследованиях моделировали другие основные части зрительной и слуховой систем. В 2001 г. изготовили все пять слоев сетчатки и смоделировали визуальные сообщения, посылаемые мозгу выходными нейронами сетчатки. Этот кремниевый чип сетчатки, Visio1, воспроизводит реакцию основных четырех типов клеток сетчатки, которые вместе составляют около 90% оптического нерва.

### ***Основные математические модели нейронных структур***

Нейрон – это сложная система, которая, согласно значений внешних и внутренних параметров, демонстрирует разнообразные виды электрической активности, выделяет специальные химические вещества — нейромедиаторы, реагирует на их воздействие. Состояние нейрона характеризуется значениями значительного числа переменных, как мембранный потенциал  $V$ , различные мембранные токи (калиевый, натриевый, ток кальция и др.), концентрации нейромедиаторов и т.д. Однако возможно для большинства проблем

нейроморфинга использовать три переменные, которые меняются во времени: мембранным потенциалом  $V(t)$  и двумя видами тока — быстрым  $I_b(t)$  и медленным  $I_m(t)$ , которые влияют на изменение  $V(t)$ . Остальные переменные можно считать либо параметрами, либо зависимыми переменными. Согласно выбранным переменным нейрон можно рассматривать как электрическую цепь, для которой справедливы классические уравнения Кирхгофа.

Классической моделью электрогенеза нервной клетки является модель Ходжкина\_Хаксли(Hodgkin-Huxley).

На основе этой модели появились более простые модификации, как модель Морриса-Лекара (ML), система Фиц Хью - Нагумо (FHN), двумерная и трехмерная системы Хиндмарш-Розе (3-мерная) (HR2, HR3) и др[6,7]. В нелинейной динамике рассматриваются хаотическое поведение, осцилляции, синхронизации в этих и других нейронных системах.

### ***Реализации нейронных структур на основе КМОП-технологии***

Аналоговые реализации аксонов, синапсов, нейронов и мембраны (рис.1,2) рассматриваются в [3,7,8].

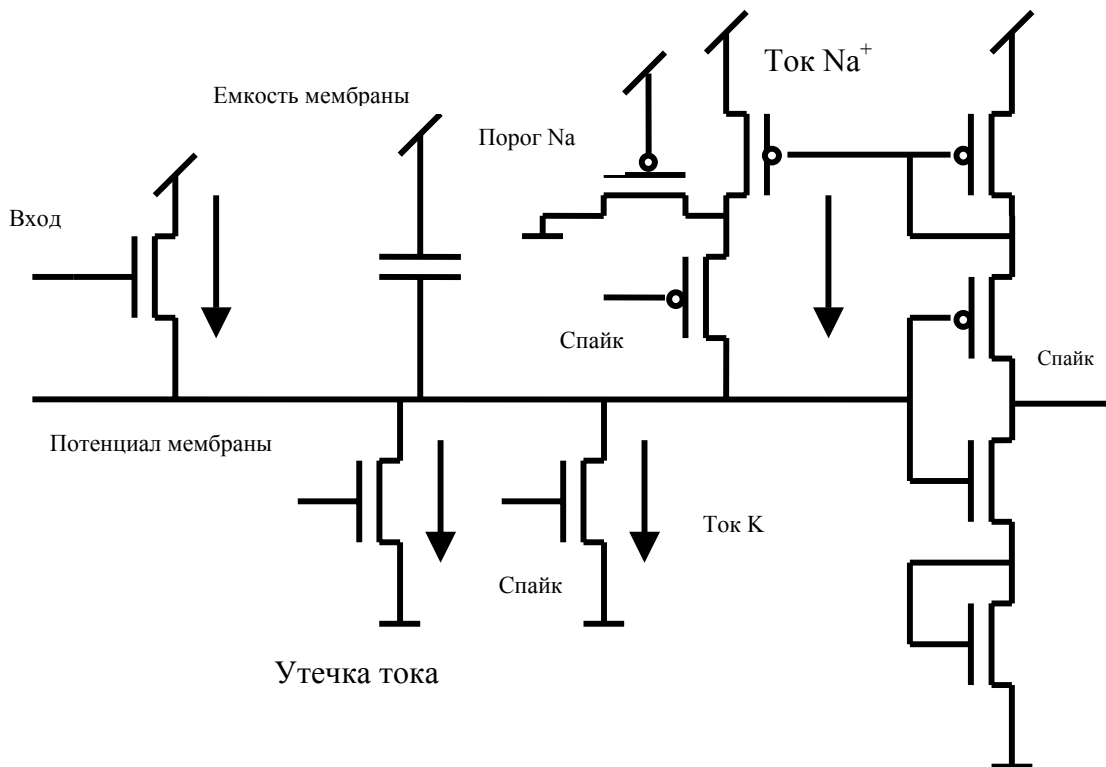


Рис.1.Реализация клеточной мембраны на МОП-структурах

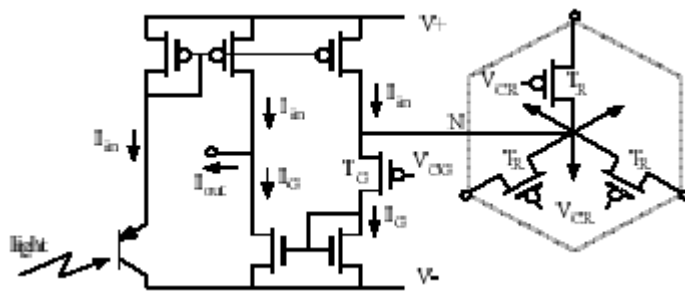


Рис.2.Ячейка искусственной сетчатки

### ***Влияние полевых образований на нейроподобные МОП-структуры***

Достаточно медленные в сравнении с психическими явлениями физические характеристики процесса генерации нервного импульса при функционировании мембраны указывают на необходимость учета полевых образований, основой которых служит осцилляторная активность нейронных комплексов. Именно понимание и реализация этой активности приведет к значительному продвижению аппаратной реализации основных функций мозга [8,9].

### ***Моделирование и тестирование нейроморфных микрочипов***

Приведенные выше аппаратные реализации основных блоков аналоговых сенсорных нейроноподобных систем, реализованных на МОП-структурах, моделируются с требуемой точностью на основе переключательного подхода путем выбора подходящего алфавита моделирования. Диагностирование МОП-структур основанное на их моделировании на переключательном уровне, рассматривается в [10-13].

### ***Заключение***

При успешном развитии нейроморфинга появится возможность создавать вживляемые кремниевые сетчатки для слепых и звуковые процессоры для глухих, а также практически эффективные визуальные, звуковые и обонятельные чипы для роботов.

Задача тестирования нейроморфных микрочипов, являющихся аналоговыми системами, требует, как минимум, переключательного уровня и развития работ в этом направлении.

## *Литература*

1. D. Goldhaber-Gordon, M. S. Montemerlo, J. Christopher Love, G. J. Opiteck, J. J. Ellenbogen. Overview of Nanoelectronic Devices//Proceedings of the IEEE, vol.85, No. 4, April 1997, pp.521-540.
2. Chris Diorio, Sunit Mahajan, Paul Hasler, Bradley Minch, Carver Mead. A High-Resolution Nonvolatile Analog Memory Cell//Proceedings of the 1995 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, vol. 3, pp. 2233–2236, 1995.
3. Eric A. Vittoz. Analog VLSI Signal Processing: Why, Where and How? Journal of VLSI Signal Processing, vol.8, and Analog Integrated Circuits and Signal Processing, pp.27-44, July 1994.
4. C. Diorio, P. Hasler, B. A. Minch, C. Mead. A Complementary Pair of Four-Terminal Silicon Synapses//Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 13, 1997, pp. 153–166.
5. Воронов А.В. О материалах и технологиях элементной базы. Труды 8 Всероссийской конференции «Нейрокомпьютеры и их применение» НКП-2002, Москва, 21-22 марта 2002 г., с.795-805.
6. И.В. Заенцев. Нейронные сети: основные модели. Воронеж, ВГУ, 1999, с.76.
7. Handbook of Brain Theory and Neural Networks, M. Arbib Ed., Bradford Books, MIT Press, 1995.
8. V. Beiu, José M. Quintana, María J. Avedillo. VLSI Implementations of Threshold Logic—A Comprehensive Survey// IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 14, No. 5, September 2003, p.1217-1243.
9. Савельев А.В. К вопросу субстанции нейрокомпьютеров. Труды 8 Всероссийской конференции «Нейрокомпьютеры и их применение» НКП-2002, Москва, 21-22 марта 2002 г., с.1247-1249.
10. Андрюхин А.И. Алгоритмы параллельного логического моделирования и псевдослучайной генерации тестов для МОП-структур // Микроэлектроника. - 1995, N 5. -с. 331-336.
11. Андрюхин А.И. Параллельное логическое моделирование МОП-структур на переключательном уровне. // Электронное моделирование. -1996, N 2, -с. 88-92.
12. Андрюхин А.И. Параллельное многозначное логическое моделирование исправных и неисправных псевдобулевых схем. // Электронное моделирование -1997, N 1. -с. 58-63.
13. A. I. Andruckin. Simulation and Testing of MOS-structures on switch level.//Сборник научных трудов конференции «Моделирование-2006», Киев, 16-18 мая 2006, с.99-102.

*Дата поступления в редакцию 27.05.07*