

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям
Пермского национального исследовательского

политехнического университета,
технических наук, профессор

Коротаев В.Н.

 2021 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Самомаршрутизирующийся аналого-цифровой преобразователь на основе нейронной сети» выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на кафедре «Автоматика и телемеханика».

В 2012 году соискатель Посягин Антон Игоревич окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» с присуждением квалификации инженер.

В 2016 году окончил аспирантуру очной формы обучения по направлению подготовки Пермского национального исследовательского политехнического университета по научной специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» (период обучения: 01.07.2012-30.06.2016).

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Южаков Александр Анатольевич, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика» ФГАОУ ВО «Пермского национального исследовательского политехнического университета».

По итогам обсуждения представленной работы принято следующее заключение.

Представленная Посягиным Антоном Игоревичем диссертация посвящена разработке аппаратной нейронной сети для аналого-цифрового преобразователя и методов самомаршрутизации сигналов внутри сети для проведения измерения с переменной разрядностью и увеличения отказоустойчивости устройства в целом за счет исключения из сети неисправных нейронов.

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

- проведен анализ существующих подходов применения аппаратных нейронных сетей в аналого-цифровых преобразователях;

- разработана новая самомаршрутизирующаяся архитектура аналого-цифрового преобразователя на основе нейронной сети повышенной надежности, обеспечивающая формирование индивидуальных аналого-цифровых преобразователей для каждого входного сигнала из заданного диапазона разрядностей ($q_{\min}; q_{\max}$);

- предложен оригинальный метод самомаршрутизации сигналов внутри нейронной сети, позволяющий исключать из сети неисправные нейроны за счет применения местного фрагментарного устройства управления и наличия дополнительных связей;

- построены новые математические модели, описывающие нейроны в многослойной и однослойной нейронных сетях в самомаршрутизирующемся аналого-цифровом преобразователе на этапе формирования индивидуального преобразователя и на этапе измерения;

- разработаны оригинальные аналитическая и имитационная модели, позволяющие исследовать вероятностно-временные характеристики работы самомаршрутизирующегося преобразователя, и методика проектирования таких устройств на базе оптимизационной функции аппаратных затрат исходя из технических требований и результатов моделирования;

- внедрена предложенная методика при реализации самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя в системе автоматизации испытаний авиационных агрегатов, что позволило уменьшить аппаратные затраты.

2. Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- предложена новая архитектура, состоящая из основных измерительных нейронов (одноразрядных преобразователей), с помощью которых возможно формировать индивидуальные преобразователи требуемой разрядности, что обеспечивает адаптивность, параллельное измерение нескольких входных

сигналов, *отличающаяся* тем, что система управления разделена между нейронами, что позволяет повысить отказоустойчивость преобразователя;

- создан оригинальный метод самомаршрутизации сигналов внутри сети, в том числе с использованием дополнительных связей между нейронами, *отличающийся* тем, что для исключения неисправных элементов используется местное фрагментарное устройство управления, что повышает отказоустойчивость структуры к одиночным константным дефектам на уровне каждого нейрона;

- построены новые математические модели, описывающие поведение нейрона для этапа проведения аналого-цифрового преобразования и при формировании индивидуального преобразователя, учитывающие разделение системы управления между нейронами и метод самомаршрутизации, что *позволяет* применять сеть для параллельного аналого-цифрового преобразования нескольких входных сигналов, а также использовать дополнительные связи между нейронами для повышения отказоустойчивости;

- разработаны новые аналитическая и имитационная модели для оценки вероятностно-временных характеристик в зависимости от начальных параметров самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя, *позволяющие* учитывать наличие дополнительных связей между нейронами в сети, самомаршрутизацию, параллельное измерение нескольких входных сигналов с различной разрядностью и выход из строя нейронов с течением времени;

- создана оригинальная методика выбора оптимальных параметров для самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя на основе предложенной оптимизационной функции, удовлетворяющих техническим требованиям к проведению измерений, что *обеспечивает* минимизацию аппаратных затрат на реализацию с учетом выхода нейронов из строя и наличия дополнительных связей между ними.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждается соответствием результатов, представленных в литературе другими исследователями, а также подтверждаются сопоставлением теоретических выводов с результатами экспериментов, полученными при моделировании и с помощью физических макетов, а также результатами внедрения.

4. Практическая значимость исследования заключается в:

- разработке и внедрении самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя для многопоточного адаптивного измерительного канала в системе автоматизации испытаний авиационных агрегатов, что привело к

уменьшению аппаратных затрат на 20-30 % в зависимости от точности и интенсивности проводимых измерений;

- возможности применения оригинальной архитектуры нейронной сети для создания новых классов устройств не только для проведения измерений, но и в области передачи и хранения данных и в других областях практического применения автоматизированных систем для проведения параллельных вычислений;

- применимости разработанного местного фрагментарного устройства управления и оригинального метода самомаршрутизации для модернизации существующих распределенных систем управления за счет уменьшения дублирования функций управления в каждом элементе.

5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем:

Содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в 13 научных работах, из них: 6 статей в изданиях, включенных в перечень ВАК; 3 в изданиях, индексируемых в журналах из списка Scopus (общий объем публикаций 10,125 печатного листа, из них авторских 7,087 печатного листа).

Основные статьи в журналах, входящих в международную базу цитирования Scopus:

1. Katsko, E. V. An autocontrol system based on neurons in a self-routing analogue converter / E. V. Katsko, **A. I. Posyagin**, A. A. Yuzhakov // Russian Electrical Engineering. – 2014. – Vol. 85. – No 11. – P. 703-707. – DOI 10.3103/S1068371214110066.

В данной работе предлагается подход к разработке блока самоконтроля для нейрона в самомаршрутизирующемся аналого-цифровом преобразователе. А.И. Посягиным предложены модели работы системы самоконтроля, разработаны функциональные схемы для этой схемы. Разработанные модели внедрены в общую функциональную модель преобразователя и исследовано влияние блока самоконтроля на работу всей схемы.

2. Makagonov, N. G. The structure and operating algorithm of a commutator in the neural network of a self-routing analog-to-digital converter / N. G. Makagonov, **A. I. Posyagin**, A. A. Yuzhakov // Russian Electrical Engineering. – 2015. – Vol. 86. – No 11. – P. 670-674. – DOI 10.3103/S1068371215110085.

В данной работе рассматривается структура коммутатора в многослойной сети самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя. А.И. Посягиным проведены исследования с многослойной

нейронной сетью, которая позволяет оперативно получать информацию о состоянии всех нейронов за счет использования коммутаторов, но при этом коммутаторы являются менее надежным элементом по сравнению с остальными нейронами в сети. Кроме того, разработанная структура показала, что наличие коммутаторов на порядок увеличивает аппаратные затраты на реализацию устройства.

3. Eltyshev, A. V. Review of analog-To-digital converter based on neural network with multilayer ring architecture / A. F. Vasbieva, A. V. Eltyshev, **A. I. Posyagin**, A. A. Yuzhakov // Proceedings of 2017 XX IEEE international conference on soft computing and measurements (SCM), Saint-Petersburg, 24–26 мая 2017 года. – Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. – P. 638-640. – DOI 10.1109/SCM.2017.7970673.

В данной работе проводится сравнение архитектур нейронной сети для построения самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя. А.И. Посягиным получены результаты сравнения эффективности применения двух топологий нейронной сети: в виде мультикольца и многоуровневого параллельного кольца – для соединения основных измерительных нейронов.

Основные статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

4. **Посягин, А.И.** Разработка аналого-цифрового преобразователя на основе нейронной сети / **Посягин А.И.**, Южаков А.А. // Электротехника. 2012. №11. С. 18а-24.

В данной работе предложены подходы к применению аппаратной нейронной сети для реализации аналого-цифрового преобразователя. А.И. Посягиным была продемонстрирована возможность применения матрицы $R-2R$ для выделения универсального элемента аналого-цифрового преобразователя и структура основного измерительного нейрона. Также было предложено использовать топологию кольца для соединения нейронов между собой.

5. **Посягин, А.И.** Разработка двухслойной нейронной сети для самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя на основе нейронной сети / **Посягин А.И.**, Южаков А.А. // Электротехника. 2013. №11. С. 10-13.

В данной работе представлена двухслойная нейронная сеть, в которой для управления основными измерительными нейронами внедрен дополнительный скрытый слой нейронов – коммутаторы. А.И. Посягиным предложен метод самомаршрутизации сигналов внутри сети за счет добавления слоя коммутаторов, а также построены модели взаимодействия коммутаторов с основными измерительными нейронами и между собой.

6. **Посягин, А.И.** Самомаршрутизация сигналов в аналого-цифровом преобразователе на основе нейронной сети / **Посягин А.И., Южаков А.А.** // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. №5. С. 38-43.

В данной работе рассматриваются методы самомаршрутизации сигналов в аналого-цифровом преобразователе на основе нейронной сети, которые позволяют создавать отдельный независимый измерительный канал для каждого измеряемого сигнала. А.И. Посягиным проанализированы входящие и исходящие сигналы между всеми слоями нейронной сети, добавлены дополнительные служебные сигналы, позволяющие реализовать предложенный метод самомаршрутизации сигналов.

7. Васбиева, А.Ф. Структура основного измерительного нейрона в самомаршрутизирующемся аналого-цифровом преобразователе / Васбиева А.Ф., Онискива Л.М., **Посягин А.И., Южаков А.А.** // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2015. Т.13. №9. С. 3-8.

В данной работе представлена разработанная структура основного измерительного нейрона для применения в однослойной нейронной сети, базирующейся на методе «эхо-локации» для самомаршрутизации сигналов. А.И. Посягиным предложен подход к построению однослойной нейронной сети за счет применения метода «эхо-локации» для определения состояния сети и формирования индивидуального преобразователя. Разработаны функциональные модели, реализующие предложенный метод, в которых выделено местное фрагментарное устройство управления для увеличения отказоустойчивости и снижения аппаратных затрат.

8. Елтышев, А.В. Анализ имитационной модели нейронной сети самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя / А. В. Елтышев, **А. И. Посягин, А. А. Южаков** // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2015. №10. С. 21-25.

В данной работе представлена имитационная модель разработанного самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя, которая позволяет определить его вероятностно-временные характеристики. А.И. Посягиным проведены эксперименты с имитационной моделью, позволившие сформулировать влияние различных параметров аналого-цифрового преобразователя на вероятность безотказной работы. В результате было предложено решение задачи подбора количества нейронов и связей между ними методом поисковой оптимизации.

9. Елтышев, А. В. Построение новой архитектуры для нейросетевого аналого-цифрового преобразователя с использованием многоуровневого кольца / А. В. Елтышев, А. И. Посягин, А. А. Южаков // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2017. – № 6. – С. 15-19.

В данной работе проведено сравнение топологии мультикольца для реализации нейронной сети в самомаршрутизирующемся аналого-цифровом преобразователе с топологией многоуровневого кольца. А.И. Посягиным сделаны выводы о преимуществах этих топологий: мультикольцо обеспечивает более высокие отказоустойчивость и скорость формирования индивидуального преобразователя, а многоуровневое кольцо позволяет дополнительно снизить аппаратные затраты за счет уменьшения количества связей между нейронами.

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите.

Представленная Посягиным Антоном Игоревичем диссертационная работа является прикладным научным исследованием в области разработки элементов вычислительной техники, имеет важное научное, фундаментальное и прикладное значение для развития данного направления науки.

Указанная область исследования соответствует пунктам **1, 2, 4** паспорта научной специальности 05.13.05 Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления:

п. 1. Разработка научных основ создания и исследования общих свойств и принципов функционирования элементов, схем и устройств вычислительной техники и систем управления.

п. 2. Теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования элементов и устройств вычислительной техники и систем управления в нормальных и специальных условиях с целью улучшения технико-экономических и эксплуатационных характеристик.

п. 4. Разработка научных подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих надежность, контроль и диагностику функционирования элементов и устройств вычислительной техники и систем управления.

7. Диссертационная работа Посягина Антона Игоревича отвечает требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.: автор, Посягин Антон Игоревич, корректно ссылается в тексте диссертации на авторов и (или) источники заимствования материалов, в том числе при

использовании результатов научных работ, опубликованных лично или в соавторстве.

Диссертация «Самомаршрутизирующийся аналого-цифровой преобразователь на основе нейронной сети» **Посягина Антона Игоревича** рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.13.05 Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета «27» сентября 2021 г. (протокол № 4).

Присутствовало на заседании 33 чел. Результаты голосования: «за» – 33 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0.

Заместитель заведующего кафедрой
«Автоматика и телемеханика»,
доктор технических наук, доцент



/ Фрейман В.И./