

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.375

КУНЦ  
Алексей Вадимович

**МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТОКОВЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЕТЕКТОРОВ  
ЧАСТИЦ И ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-41 80 01 Твердотельная электроника,  
радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника,  
приборы на квантовых эффектах

---

Научный руководитель  
кандидат техн. наук, доцент  
СТЕМПИЦКИЙ Виктор  
Романович

---

Минск 2020

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В экспериментах физики высоких энергий и ядерной физики для обработки сигналов с детекторов применяются микросхемы обработки информации. Такие микросхемы требуют постоянного совершенствования, так как сами детекторы зачастую проектируются на гораздо более долгий период. Микросхемы, как правило, состоят из аналоговой части, которая непосредственно подключается к выходу детектора и служит для первичной аналоговой обработки сигнала. Вторая часть представляет собой цифровую обработку сигнала. Микросхемы обработки могут включать в себя обе части одновременно, либо же выполняться отдельно по разным технологиям и затем использоваться в паре. В целом в мире, цельные микросхемы обработки информации производятся преимущественно на западе и в международных организациях (например, ЦЕРН). В странах постсоветского пространства, ввиду множества факторов, проектируются и производятся отдельно аналоговые микросхемы первичной обработки информации и цифровые блоки для последующей обработки сигнала. Ввиду очень узкой направленности таких микросхем, их разработка и производство выполняется по заказам организаций. Соответственно, очень широкого списка исследований в данной области нет. Однако интерес в подобного рода электронике существует, и, поскольку исследования в физике высоких энергий продолжаются, проектирование считывающей электроники продолжается.

Целью данной диссертационной работы является рассмотрение методов проектирования микросхем первичной обработки токовых импульсов с детекторов частиц, а также при помощи моделирования в программном комплексе компании Cadence, выработать рекомендации по построению схемотехнических решений для микросхем первичной обработки токовых импульсов.

# **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

## **Актуальность темы магистерской диссертации**

Существование различных источников частиц и ионизирующих излучений, отличающиеся требованиями к их анализу, обусловили создание различных детекторов, преобразующих энергию ионизирующих излучений в электрические сигналы, и электронных устройств для измерений и обработки по определенным критериям данных. Соответственно, с течением времени, данные детекторы и электронные устройства нуждаются в модернизации.

## **Цель и задачи магистерской диссертации**

Целью диссертационной работы является разработка практических рекомендаций по построению схемотехнических решений для обработки токовых импульсов детекторов частиц при помощи схемотехнического моделирования в программном комплексе компании Cadence.

Для достижения целей работы поставлены следующие задачи:

- провести анализ современного состояния исследований по построению схемотехнических решений для обработки токовых импульсов детекторов частиц и ионизирующих излучений и предложить перспективные конструкции таких элементов;
- разработать методику и провести моделирование технологического процесса изготовления аналоговых микросхем обработки токовых импульсов детекторов частиц и ионизирующих излучений для различных конструктивных параметров;
- разработать методику и провести моделирование электрических и других характеристик аналоговых микросхем обработки токовых импульсов детекторов частиц и ионизирующих излучений для различных условий функционирования;
- выработать рекомендации по оптимизации и практическому использованию созданных методов и структур в реальном цикле проектирования и изготовления аналоговых микросхем обработки токовых импульсов.

## **Объект и предмет исследования**

*Объектом* исследования является микросхема первичной обработки токовых импульсов с детекторов частиц и ионизирующих излучений.

*Предметом* исследования являются конструктивные параметры, электрические и другие характеристики микросхем первичной обработки токовых импульсов с детекторов частиц и ионизирующих излучений.

## **Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики**

Работа проводилась в рамках контрактов:

1) Контракт № 02/06 – 2016 от 01.06.2016 на изготовление научно-технической продукции «Разработка и реализация устройства микроэлектроники - опытной партии интегральных схем (ИС) первичной обработки сигналов для ROC-камер TPC (установка MPD)»

1) Контракт № 03/06 – 2018 от 30.12.2018 на изготовление научно-технической продукции «Разработка и реализация устройства микроэлектроники - опытной партии интегральных схем (ИС) первичной обработки сигналов для ROC-камер TPC (установка MPD)»;

2) Контракт № 08626319/1914913-84 от 30.12.2019: НИОКР «Разработка, изготовление и исследование параметров опытной партии карт электроники считывания (FEC) для ROC камер TPC (установка MPD)».

## **Основные положения, выносимые на защиту**

Реализация системы, предназначенной для первичной обработки токовых импульсов с детекторов частиц и ионизирующих излучений, с использованием методологии заказного проектирования на основе биполярной технологии, обеспечивает увеличение количества каналов обработки данных до 16, повышение быстродействия за счет снижения времени пика до 92 нс и обладает упрощенной конструкцией, однако имеет меньший коэффициент усиления сигнала для высокоемкостных детекторов время-проекционной камеры по сравнению с 8-канальной системой, реализованной с применением базового структурного кристалла

MN2XA020 и имеющей значения времени пика и коэффициента усиления выходного сигнала между выходами одного канала 170 нс и 11, соответственно.

### **Личный вклад соискателя**

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в тестировании одного варианта микросхемы первичной обработки токовых импульсов, а также непосредственном участии в разработке и моделировании улучшенного варианта микросхемы, подготовке статей по тематике диссертационной работы, а также в написании докладов и участии на конференциях. Совместно с научным руководителем определены структура, цели и задачи исследования, обобщены основные научные результаты. Совместно с соавторами публикаций осуществлялась подготовка и проведение исследований, обсуждались полученные результаты.

### **Апробация результатов диссертации**

Основные теоретические результаты были доложены: на конференции «55-я Юбилейная Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР» (апрель, 2019); на международном конкурсе научно-технических проектов «Белорусско-Китайский конкурс научно-технического творчества студентов» (декабрь, 2019).

### **Публикации**

По материалам диссертации опубликовано и подготовлено к опубликованию 2 работы. Из них: 1 тезисы докладов на конференции, 1 статья в сборниках материалов научных конференций.

### **Структура и объём диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 58 наименований. Общий объём диссертации составляет 64 страницы.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В *первой главе* магистерской диссертации проведен обзор литературных источников, посвящённых разработкам в области микросхем первичной обработки информации, а также оценена актуальность разработки новых микросхем первичной обработки токовых импульсов с детекторов частиц и ионизирующих излучений. Акцентируется внимание на основных конструктивных особенностях микросхем, их основных характеристиках. Уделено внимание технологиям, предпочитаемым к использованию в мире для создания подобного рода микросхем.

*Вторая глава* посвящена программному комплексу OrCAD компании Cadence, используемому для схемотехнического моделирования микросхем, обзору основных пакетов и функций, которые эти пакеты предоставляют. Также уделено внимание основным характеристикам микросхем первичной обработки данных с детекторов частиц, которые являются ключевыми при моделировании таких микросхем. К таким характеристикам относятся время пика, усиление, шум и другие.

В *третьей главе* представлены результаты тестирования восьми-канальной микросхемы первичной обработки токовых импульсов с датчика частиц, приведены основные рабочие характеристики микросхемы КТ-NA. Также проанализированы результаты тестирования пластин с микросхемами КТ-NA, на основании которых предложено решение, построенное специально для использования на детекторах ТРС проекта MPD коллайдера NICA. Данное решение получило название КТ-N2. Представлены результаты моделирования данного решения вместе с кратким сравнением с предыдущим вариантом микросхемы.

В *заключении* кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, приведены результаты тестирования микросхемы КТ-NA, а также результаты моделирования рабочих характеристик микросхемы КТ-N2.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведения научных исследований по теме магистерской диссертации получены следующие основные результаты.

1. В результате проведенной работы был создан и апробирован аппаратно-программный комплекс для тестирования микросхемы первичной обработки токовых импульсов с детекторов частиц КТ-НА (она же МН2ХА020-01). Комплекс апробирован при тестировании трех пластин по 386 чипов каждая. Для тестирования на микросхему подавался сигнал, соответствующий

заряду в 210 фКл при ёмкости детектора в 5пКл. Напряжение питания  $\pm 5$  В. Время пика сигнала при тестировании микросхем на пластинах колебалось между 174 нс и 210 нс (при ёмкости детектора  $C_D = 100$  пФ).

2. В результате тестирования микросхемы КТ-НА были определены основные характеристики микросхемы. Коэффициент усиления входного заряда на выходах канала составило 5,5 мВ/фКл, коэффициент преобразования входного заряда между выходами канала составило 11 мВ/фКл. Максимальное выходное напряжение  $\pm 2,5$  В. Время пика составляет от 130 до 210 нс при ёмкостях детектора от 10 до 500 пф. Минимальное сопротивление нагрузки составляет 500 Ом.

3. Результаты тестирования микросхем первичной обработки информации с датчиков частиц и ионизирующих излучений КТ-НА (она же МН2ХА020-01) указывают на низкое количество годных чипов (20% в среднем из 386 чипов на пластине диаметра 100 мм), получаемых с пластины. Наиболее частая встречающаяся проблема – полностью нерабочий 1 или несколько каналов.

4. В результате разработки была смоделирована микросхема КТ-N2, адаптированная для применения в детекторах ТРС проекта MPD коллайдера NICA. Данная микросхема имеет коэффициент преобразования входного заряда на выходах канала 3,78 мВ/фКл, и максимальный коэффициент преобразования входного заряда в напряжение между выходами канала 7,57 мВ/фКл. Выходное напряжение составляет  $\pm 2,5$  В. Время пика составляет 97 нс при ёмкости детектора 100 пФ. Минимальное сопротивление нагрузки 50 Ом.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

### Статьи в сборниках материалов научных конференций

[1–А] Дворников О.В., Чеховский В.А., Галкин Я.Д., Кунц А.В. Схемотехническое моделирование зарядочувствительного усилителя / Сборник 55-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, БГУИР, Минск, 2019 – с. 178.

[2–А] Галкин Я.Д., Кунц А.В., Дворников О.В., Чеховский В.А., Дятлов В.Л. «Автоматизация измерений параметров специализированной аналоговой микросхемы МН2ХА020-01» / Актуальные проблемы физической и функциональной электроники: материалы 22-й Всероссийской молодежной научной школы-семинара (г. Ульяновск, 22-24 октября 2019 года). – Ульяновск: УлГТУ, 2019. – С. 261-262.

### Публикации, не относящиеся к тематике диссертационных исследований

[3–А] Дворников О.В., Чеховский В.А., Галкин Я.Д., Кунц А.В. Разработка на базовом матричном кристалле МН2ХА030 специализированных аналоговых микросхем для радиоэлектронной аппаратуры двойного применения/ 8-я Международная научная конференция по военнотехническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (Минск, 16-17 мая 2019 г.): сборник научных статей. В 5 ч. Ч. 1 / Государственный военно-промышленный комитет Республики Беларусь. – Минск: Лаборатория интеллекта, 2019. – С. 52-55.

[4–А] Silicon Photomultipliers' Analog Interface with Wide Dynamic Range / O.V. Dvornikov, Ya. D. Galkin, N. N. Prokopenko, A. E. Titov, V. A. Tchekhovski, A. V. Bugakova // Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS-2019), September 13-16, 2019, Batumi, Georgia, pp. 270-273 DOI: 10.1109/EWDTS.2019.8884430

[5–А] Test Chip for Identifying Spice-Parameters of Cryogenic BiFET Circuits / O.V. Dvornikov, N. N. Prokopenko, V. A. Tchekhovski, Ya. D. Galkin, A. V. Kunz, A. V. Bugakova // ESSDERC & ESSCIRC 2019, Proceedings of the ESSDERC 49th European Solid-State Device Research Conference, 23–26 September, Cracow, Poland, pp. 102-105 DOI: [10.1109/ESSDERC.2019.8901773](https://doi.org/10.1109/ESSDERC.2019.8901773)



[6–A] Circuit Features of Multichannel Chips of Reading Electronics of Silicone Photomultiplier Tubes / O.V. Dvornikov, N. N. Prokopenko, V. A. Tchekhovski, Ya. D. Galkin, A. V. Kunz, A. V. Bugakova // 2019 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), October 9-11, 2019, Sinaia, Romania. Pp. 149-155 DOI: 10.1109/ICSTCC.2019.8885998

[7–A] Новая методика измерения разброса параметров дифференциальной пары полевых транзисторов с управляющим p-n переходом / Бугакова А.В., Галкин Я.Д., Дворников О.В., Дятлов В.Л. // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине (ФТПНПМ-2019): сборник научных трудов Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – С. 208-209.

[8–A] Implementation of Reading Electronics of Silicone Photomultiplier Tubes on the Array Chip MH2XA030 / O.V. Dvornikov, V. A. Tchekhovski, N. N. Prokopenko, Ya. D. Galkin, A.V. Kunz, A. V. Bugakova // Visnyk NTUU KPI Serii Radiotekhnika Radioaparobuduvannia, 2019, Iss.78, pp.60–66 DOI: 10.20535/RADAP.2019.78.60-66 WOS:000488451700008

[9–A] Аппаратно-программный комплекс для измерений параметров многоканальных источников питания / Галкин Я.Д., Кунц А.В., Дворников О.В., Чеховский В.А., Дятлов В.Л. // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники: материалы 22-й Всероссийской молодежной научной школы-семинара (г. Ульяновск, 22-24 октября 2019 года). – Ульяновск: УлГТУ, 2019. – С. 259-260.