

На правах рукописи



Бондаренко Павел Николаевич

**ЦИФРОВЫЕ СТРУКТУРНО-АНАЛОГОВЫЕ ВРЕМЯИМПУЛЬСНЫЕ
ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА**

Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2022

Работа выполнена на кафедре вычислительной техники (ВТ) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (ФГАОУ СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент **Сафьянников Николай Михайлович**, профессор кафедры ВТ СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Оппоненты:

доктор технических наук, профессор **Коршунов Геннадий Иванович**, генеральный директор открытого акционерного общества «ПАНТЕС ГРУП», Санкт-Петербург;

кандидат технических наук **Костыгов Дмитрий Вадимович**, старший научный сотрудник Государственного научного центра Российской Федерации акционерного общества «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург.

Ведущая организация:

открытое акционерное общество «Авангард», Санкт-Петербург.

Защита состоится 24 мая 2022 года в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.02 ФГАОУ СПбГЭТУ «ЛЭТИ» по адресу: 197022, Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, д. 5, литера Ф.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и на сайте университета www.etu.ru в разделе «Подготовка кадров высшей квалификации» — «Объявление о защитах».

Автореферат разослан 23 марта 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.238.02



Н.М. Сафьянников

Общая характеристика диссертации

Актуальность темы исследования.

Основными направлениями в развитии вычислительной техники всегда были и остаются повышение быстродействия вычислений и увеличение надёжности.

В элементах и устройствах для представления полезного сигнала в импульсной форме распространено использование широтно-импульсной, частотно-импульсной, фазово-импульсной модуляции. Так как во всех этих видах модуляции присутствует время как информационный параметр, то будем использовать устоявшийся термин для общего наименования этих видов представления сигналов – времяимпульсные сигналы.

Времяимпульсное представление сигналов широко используется в системах управления и информационных системах, связанных с обработкой первичной информации, а также киберфизических системах. Промышленностью выпускается широкая номенклатура разнообразных датчиков с времяимпульсным выходом. В качестве примеров датчиков с времяимпульсным выходом можно привести термочувствительные элементы МАХ6672, МАХ6673, TMP04, TMP05, датчики угла поворота АЕАТ-8800-Q24, АS5030, HAL2859, ускорения ADXL213, ADXL202, скорости движения (разнообразные доплеровские датчики).

Построение цифровых времяимпульсных элементов и устройств (ВИУ) учитывает форму представления сигналов, снимаемых с датчиков или используемых для передачи управляющих сообщений, а также при обмене информацией между структурными компонентами вычислительной среды, организацию измерительно-вычислительного канала и реализуемый способ вычислительных преобразований. При этом обработка информации происходит без устройства управления за счёт структурной организации цифровых ВИУ.

Один из путей повышения быстродействия и помехоустойчивости аппаратных элементов и устройств вычислительной техники связан с применением новых структурных решений, характеризующихся:

- распределённостью во времени и пространстве;
- способностью изменения при сохранении целостности;
- наличием базисных элементов, способных вступать в такие отношения, что совокупное качество оказывается не свойственным ни одному из элементов, но реализуется в целом;
- наличием двухслойной структуры, которая наряду с актуальным содержанием имеет также и потенциальное содержание;
- выбором потенциального содержания в процессе считывания информации.

При обработке времяимпульсных сигналов возникают задачи вычислительных преобразований, которые могут решаться структурными аналоговыми методами организации на цифровой элементной базе. Такой подход предлагается в

настоящей работе с ориентацией на повышение быстродействия и помехоустойчивости, что достигается применением выявления состояний без отдельного устройства управления.

Предлагаемые цифровые структурно-аналоговые (ЦСА) времяимпульсные элементы и устройства направлены на решение таких задач.

Степень разработанности темы исследования.

Предлагаемая работа является продолжением научного направления по времяимпульсным устройствам, развиваемого на кафедре вычислительной техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ» со второй половины прошлого века профессорами В.Б. Смолыным, Е.П. Угрюмовым, И.В. Герасимовым, А.Х. Мурсаевым. В последние годы в области времяимпульсных устройств были защищены кандидатские диссертации А. Башарьяром, Д.Л. Муравником, О.И. Буреновой.

Вопросы, связанные с выявлением состояний при структурной аналоговой организации элементов и устройств напрямую в этих работах не рассматривались. При этом развитие микроэлектронной технологии в области реконфигурируемых и заказных БИС в настоящее время повышает практический интерес к этому направлению, начиная с уровня элементов и заканчивая готовыми устройствами.

В последние 15-20 лет наметилась тенденция увеличения количества патентов на нижнем уровне иерархии вычислительной техники и систем управления. Это особенно заметно на примере синтеза триггерных устройств.

Тема исследования диссертационной работы связана с применением принципа выявления состояний:

- для простых элементов типа триггеров,
- более сложных элементов типа преобразователя код – число импульсов,
- для помехоустойчивых вычислительных преобразователей импульсных сигналов,
- для законченных устройств, например, непрерывного контроля с выявлением состояний для системы управления безопасностью рельсового транспорта.

Цель работы: Целью диссертационной работы является повышение быстродействия и помехоустойчивости цифровых элементов и устройств вычислительной техники в области времяимпульсной обработки информации.

Задачи: 1. Создание обобщённой структуры организации времяимпульсных информационных процессов с выявлением состояний.

2. Разработка новых технических решений ЦСА ВИУ, анализ и сравнение с классическими элементами и устройствами.

3. Создание инженерной методики проектирования ЦСА ВИУ с возможностью выбора стратегии формирования состояний и формы представления информации.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Предложены обобщённые структурные схемы организации времяимпульсных информационных процессов с временной сменой состояний,

пространственным отслеживанием состояний, а также пространственно-временным выявлением состояний.

2. Предложена новая структурная организация двухступенчатых триггерных элементов с формированием состояний по схеме Master-Master для разных типов триггерных элементов.

3. Синтезировано и экспериментально исследовано оригинальное техническое решение двухступенчатого универсального ММ-триггера JK-типа.

4. Разработано и исследовано устройство нелинейного преобразования времяимпульсной информации с временной сменой состояний – цифровой термометр с полиномиальной зависимостью.

5. Предложена регулярная структура при реализации преобразователя код - число импульсов с пространственной сменой состояний.

6. Разработаны и проанализированы оригинальные функциональные преобразователи с пространственным выявлением состояний для одной и многих переменных.

7. Созданы и исследованы оригинальные квадратичный одноканальный и многоканальный преобразователи для измерения температуры с пространственно-временным выявлением состояний.

8. Создана инженерная методика проектирования ЦСА ВИУ с возможностью выбора стратегии выявления состояний и формы представления информации.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории и методов проектирования ЦСА ВИУ с возможностью выбора стратегии выявления состояний и формы представления информации.

Практическая ценность результатов состоит в увеличении быстродействия, уменьшении задержек и повышении надёжности работы цифровых элементов, узлов и устройств вычислительной техники.

Методы исследования. Исследования проводились с использованием метода индукции для перехода от обобщённых структурных схем организации обработки информации с выявлением состояний в первой главе к функциональным схемам элементов, узлов и устройств в других главах. Также использовались методы обобщения и классификации в обзоре патентов по триггерным устройствам. Кроме того, применялся анализ при рассмотрении работы элементов, узлов и устройств в главах со 2 по 5.

Положения, выносимые на защиту:

Обобщённые структурные схемы организации времяимпульсных информационных процессов с временным, пространственным и пространственно-временным выявлением состояний.

Структурная организация двухступенчатых триггерных элементов с выявлением состояний во времени по впервые предложенной схеме Master-

Master и техническое решение двухступенчатого универсального ММ-триггера JK-типа на функциональном, схемотехническом и топологическом уровнях.

Регулярная структура при реализации линейного преобразователя код - число импульсов с выявлением состояний в пространстве.

Нелинейные преобразователи времяимпульсной информации с временным, пространственным и пространственно-временным выявлением состояний.

Инженерная методика проектирования ЦСА ВИУ с возможностью выбора стратегии выявления состояний и формы представления информации.

Достоверность результатов работы подтверждается приведенными расчётами и моделированием на функциональном уровне.

Внедрение результатов работы. Разработанное устройство непрерывного контроля с выявлением состояний для системы управления безопасностью рельсового транспорта было изготовлено, испытано и успешно внедрено на российских железных дорогах. Двухступенчатый ММ-триггер и его топология были использованы в работе «Технологически инвариантная разработка библиотеки ячеек КМОП БИС». Также предложенный в диссертации преобразователь кода в число импульсов с выявлением состояний был применён в учебном процессе нашего вуза. Имеются акты о внедрении этих устройств.

Апробация работы. Основные результаты исследований и разработок по теме диссертации опубликованы в виде патентов и научных статей, сделаны доклады и проведены обсуждения на научных конференциях: 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO 2021 Budva Montenegro, XX Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM'2017, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава СПбГЭТУ 2019, 2017 и других годов, конференции «Проблемы прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий», проходившей 2006 г. в СПбГЭТУ, 4-й международной конференции «Приборостроение в экологии и безопасности человека» в СПбГУ ИТМО и других.

Публикации. По теме диссертационной работы было опубликовано 26 печатных работ, в том числе 5 в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 публикация в издании, индексируемом Scopus, получено 7 патентов и 2 свидетельства о гос. регистрации топологии интегральной микросхемы, а также 1 свидетельство на полезную модель.

Структура и объём работы. Диссертационная работа содержит введение, 5 глав, заключение, список литературы, включающий 79 наименований источников. Объём работы составляет 114 страниц машинописного текста, в том числе содержит 37 рисунков.

Основное содержание работы

Во введении выявляются проблемы в современной вычислительной технике и обосновывается выбранная тема исследований диссертационной работы, обозначаются цель и задачи исследований, перечисляются основные положения, выносимые на защиту, приводится научная новизна полученных результатов, подтверждение их обоснованности и практической ценности.

В первой главе диссертационной работы рассматриваются три обобщенные структурные схемы организации обработки информации с выявлением состояний, а также приводится классификационный анализ в патентных исследованиях по триггерным устройствам.

В последнее время бурный рост степени интеграции элементной базы привёл к снижению значимости аппаратных затрат. В результате стала прослеживаться тенденция введения определённой избыточности непосредственно на уровне элементной базы и применение подходов с выявлением состояний на нижнем уровне иерархии средств ВТ. Таким образом, появилась возможность повысить быстродействие, помехоустойчивость, качество синхронизации, отказоустойчивость и другие параметры. Потребовались новые подходы к проектированию и новые решения в области элементов и узлов средств автоматики и вычислительной техники.

Один из путей повышения быстродействия и помехоустойчивости является организация выявления состояний на уровне элементов и устройств. Это следует из пространственно-временной концепции описания характеристических свойств объектов информации.

В обобщённом виде можно представить три структурные схемы организации обработки информации с выявлением состояний: 1) во времени; 2) в пространстве; 3) во времени и в пространстве.

В первом случае принимается подход использования параллельных процессов, которые участвуют в обработке информации от одного источника, а использование результата происходит в зависимости от смены состояний. Отслеживание отдельных процессов и выдача результатов на выход разнесены во времени со считыванием входной информации.

В общем виде сигнал D_{out} на периоде T будет выглядеть так:

$$D_{out} T = D_{out}^{(1)} t_n + D_{out}^{(2)} t_{n-1} + \dots + D_{out}^{(n)} t_1,$$

где T – период входного сигнала D_{in} ,

$t_n \dots t_1$ – момент времени актуализации сигналов $D_{out}^{(1)} \dots D_{out}^{(n)}$ на входе мультиплексора MUX.

Второй случай представлен обобщённой структурной схемой организации обработки информации с отслеживанием состояний в пространстве. Здесь

принимается подход использования параллельных процессов, которые участвуют в обработке информации от разных источников при формировании одного результата в зависимости от их актуальности. Активизация отдельных процессов от источников информации, разнесённых в пространстве, связана с выдачей результатов на обработку по заданным критериям.

Результирующий сигнал D_{MUX} за счёт выбора входных сигналов $D_{out}^{(1)} \dots D_{out}^{(n)}$ с помощью соответствующего адреса A с $(n-1)$ -го по 0 -й:

$$D_{MUX} = D_{out}^{(1)}A_1 + D_{out}^{(2)}A_2 + \dots + D_{out}^{(n)}A_n,$$

где A_1, A_2, \dots, A_n – вых. сигналы дискриминатора DIS для выбора сигналов $D_{out}^{(1)}, D_{out}^{(2)}, \dots, D_{out}^{(n)}$ на входе мультиплексора MUX.

Этот результирующий сигнал D_{MUX} поступает на вход D вычислителя CPU. Данные с дискриминатора DIS модификатор MOD преобразует в набор управляющих сигналов от 1 до m , которые подаются на управляющий вход вычислителя CPU. На выходе этого вычислителя в зависимости от его функции f в результате обработки данных под управлением модификатора MOD формируется результирующий сигнал D_{out} :

$$D_{out} = f(D_{MUX}, M),$$

где M – выходной сигнал модификатора MOD для управления вычислителем CPU с учетом сигнала выбора состояний.

Третий вариант обобщённой структурной схемы организации обработки информации с выявлением состояний, изображенной на рисунке 1, ориентирован на реализацию как во времени, так и в пространстве. Здесь, как и в предыдущем варианте, принимается подход использования параллельных процессов, которые участвуют в обработке информации от разных источников при формировании одного результата в зависимости от их актуальности. Кроме того, имеется обратная связь с выхода устройства, которая позволяет формировать результат с учетом временного согласования процессов актуализации входной и выходной информации.

Этот результирующий сигнал $DMUX$ поступает на вход $D+$ вычислителя CPU. Данные с дискриминатора DIS модификатор MOD преобразует в набор управляющих сигналов M , который подаётся на управляющий вход вычислителя CPU. На выходе этого вычислителя формируется результирующий сигнал D_{out} в соответствии с функцией f вычислителя CPU:

$$D_{out} = f(D_{MUX}, D_{MOD}, M),$$

где M – выходной сигнал модификатора MOD для управления вычислителем CPU с учетом сигнала выявления состояний,

D_{MUX} – выходной сигнал мультиплексора MUX,

D_{MOD} – выходной сигнал модификатора MOD.

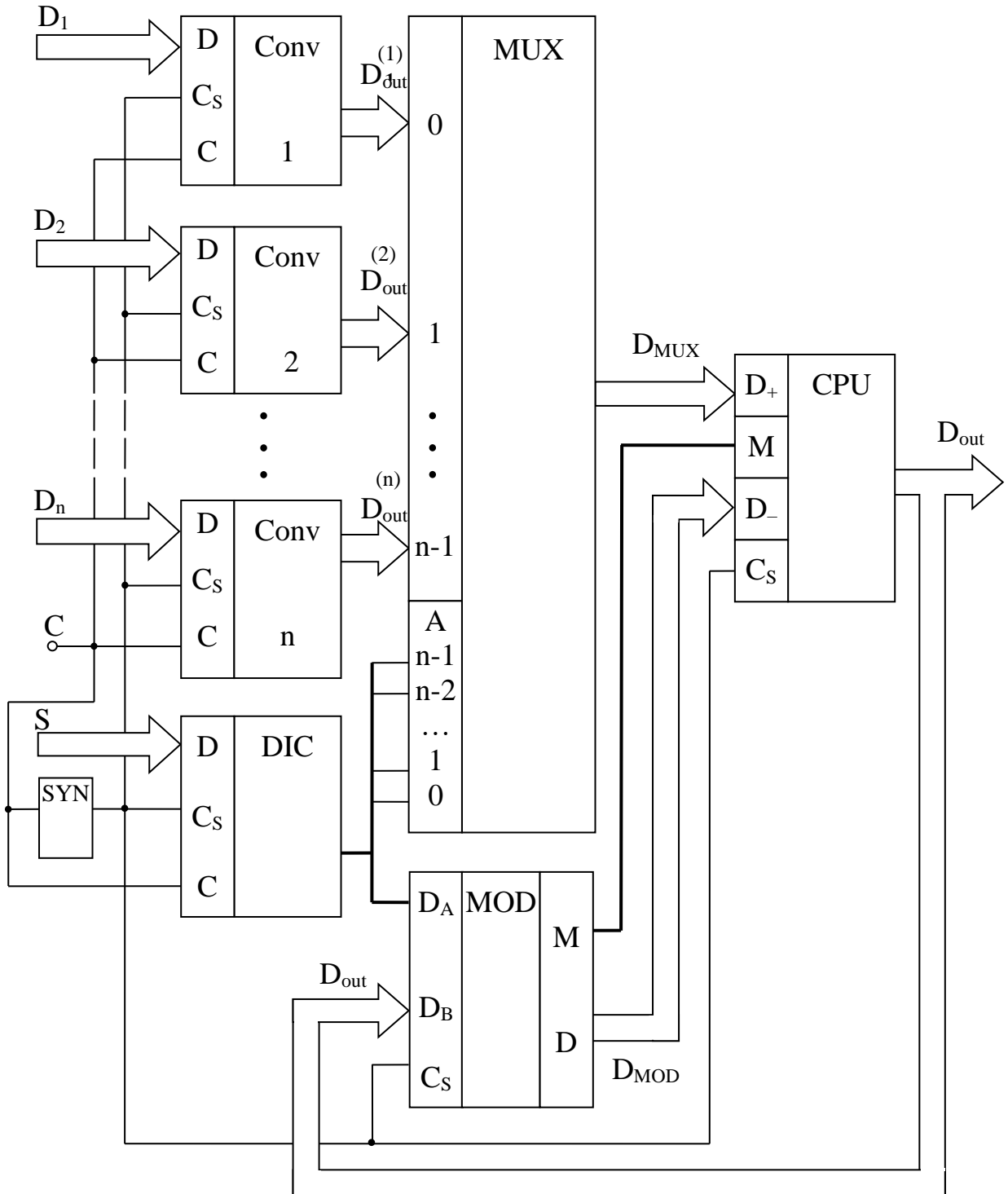


Рисунок 1 – Обобщённая структурная схема организации обработки информации с пространственно-временным выявлением состояний

За счёт обратной связи происходит учёт предыдущих результатов вычислений, и с учетом сигнала дискриминатора DIC формируется необходимый сигнал на вход декремента данных D вычислителя CPU.

В прошлом веке основной была парадигма минимизации аппаратных затрат при создании элементов и устройств. В результате к восьмидесятым годам на этом уровне иерархии основные проблемы были решены, что нашло отражение в резком

сокращении количества патентов по целому ряду классов, например, по триггерным устройствам (класс МКИ7: H03K3/037).

В начале этого века тенденция с патентами в этих классах начала резко меняться, что свидетельствует о новом витке интереса к этому уровню иерархии автоматики и вычислительной техники.

Подход с оценкой событий и состояний в триггерных устройствах стал проявляться в различных технических решениях для различных целей применения, как показано на рисунке 2.

Проведённый обзор триггерных устройств показал, что на сегодняшний день даже на самом нижнем уровне проектирования средств ВТ главными становятся вопросы повышения быстродействия и надёжности за счёт новых подходов, пусть даже связанных с избыточностью.

Глава завершается выводами о том, что один из путей повышения быстродействия и надёжности средств автоматики и вычислительной техники связан с реализацией времяимпульсных информационных процессов с выявлением состояний на уровне элементов и устройств и представляет интерес для исследования и развития.

Во второй главе исследуются и разрабатываются элементы и устройства с временной сменой состояний.

Это двухступенчатый многофункциональный ММ-триггер с поочередным перекрёстным использованием двух основных триггеров с логическими блоками и реализацией параллельного преобразования за счёт совмещения во времени (в каждые полтакта) процессов логической обработки входной и выходной информации на одном триггере и считывания выходной информации с другого триггера. При этом тип триггерного устройства определяется функцией логического блока.

Рассматривается работа оригинального ММ-триггера JK-типа, рис. 3. Формирование состояния первого D-триггера 1 в предыдущем такте синхросигнала в течение действия его единичного уровня от $n+p$ до $n+p+r$ определялось логической функцией на информационном входе первого D-триггера 1:

$$Q_1^{n+1-r} = \bar{K}Q_2^{n+1-r} \vee J\bar{Q}_2^{n+1-r}.$$

При этом состояние 2-го D-триггера 2 было сформировано в предыдущем такте синхросигнала в течение действия его 0-го уровня от n до $n+p$:

$$Q_2^{n+1-r} = JQ_1^{n+1-r-p} \vee \bar{K}Q_1^{n+1-r-p} \vee J\bar{K} \quad \text{или} \quad Q_2^{n+1-r} = JQ_1^n \vee \bar{K}Q_1^n \vee J\bar{K}.$$

Далее производится вывод характеристического уравнения двухступенчатого JK-триггера и следует анализ его быстродействия. Также приводятся результаты разработки схемотехнического и топологического представления двухступенчатого ММ-триггера JK-типа.

Далее во второй главе рассматривается устройство нелинейного преобразования времяимпульсной информации с временной сменой состояний.



Рисунок 2 – Структурная организация рассмотренных триггеров

Принцип действия этого устройства основан на модуляции широтно-импульсными сигналами термопреобразователя частотно-импульсных последовательностей, функционально сформированных на основе опорной частоты, для выработки и автоматической компенсации с помощью запоминающей обратной связи сигнала рассогласования устройства в процессе получения его функциональной характеристики в соответствии с параметрами датчика, что обеспечивает отслеживание изменений температуры при формировании результата.

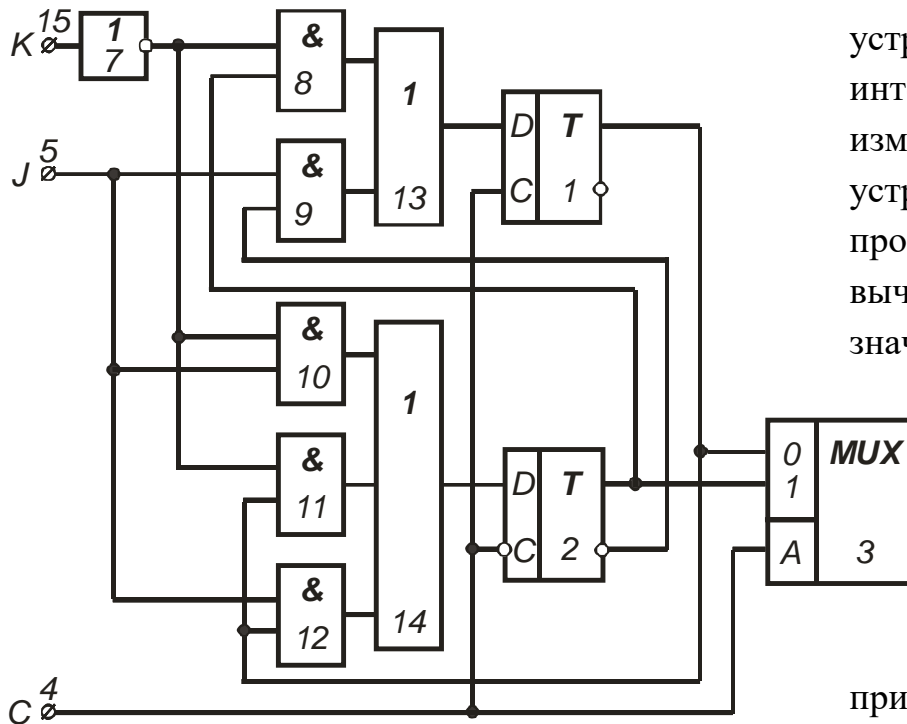


Рисунок 3 – Двухступенчатый ММ-триггер JK-типа

Таким образом, в этом устройстве решена задача интеграции процессов измерения и вычисления, что устраняет необходимость проведения дополнительных вычислений для получения значения измеряемой температуры и что приводит к повышению быстродействия и надежности.

В конце второй главы приводятся выводы о новой структурной организации двухступенчатых триггерных элементов по схеме Master-

Master для разных типов триггеров с формированием состояния во времени, показан переход на схемотехнический и топологический уровни для ММ-триггера.

Третья глава посвящена исследованию и разработке элементов и устройств с пространственным отслеживанием состояний.

Начинается эта глава с описания преобразователя код-число импульсов (ПКЧИ) с отслеживанием состояний в пространстве на функциональном уровне.

Сущность предложенного решения состоит в создании преобразователя код-число импульсов с отслеживанием состояний и реализацией параллельного преобразования за счёт использования при формировании выходного сигнала импульсной последовательности, поступающей не только со счётчика, работающего с входной тактовой частотой, но и сдвинутой на полтакта последовательности импульсов со счётчика, работающего с инверсной входной тактовой частотой. В результате формируются два состояния счета – предыдущее и текущее, и эти состояния последовательно актуализируются.

Далее анализируется и сравнивается быстродействие предложенного ПКЧИ с ранее известным на разных разрядностях. В результате делается вывод, что при 9 разрядах быстродействие рассматриваемых устройств будет примерно одинаковым, а с повышением разрядности быстродействие предлагаемого ПКЧИ по сравнению с м/сх 155ИЕ8 будет линейно увеличиваться.

Топология по элементной части при разрядностях выше 27 в рассматриваемом устройстве лучше, чем у ПКЧИ 155ИЕ8. Кроме того, топология по трассировочной части при разрядностях выше 16 в рассматриваемом устройстве лучше, чем у ИЕ8.

Таким образом, структура предлагаемого ПКЧИ решена в соответствии с методом Bit-slice, при котором увеличение разрядности осуществляется простым добавлением очередного разряда без согласующих звеньев. Это существенно улучшает топологию и регулярность структур, что имеет значение при проектировании устройств на кристалле, в том числе в виде ПЛИС.

В конце третьей главы приведено описание функционального преобразователя с пространственным отслеживанием состояний для многих переменных.

Задача, решаемая этим оригинальным преобразователем, заключается в расширении класса воспроизводимых гладких дифференцируемых функций многих независимых переменных при повышении быстродействия.

Сущность рассматриваемого функционального преобразователя заключается во введении блока формирования адресов значений базисных сплайнов и адресов коэффициентов, блока памяти коэффициентов аппроксимации, а также в изменении содержимого блока памяти ординат и распараллеливании вычислений в блоке вычисления сплайнов. Воспроизводимая функция многих переменных получается в процессе вычисления кратных произведений нелинейных гладких базисных сплайнов на коэффициенты аппроксимации и их одновременного суммирования согласно известному разложению:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_N) \cong S_m(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

$$S_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_i \sum_j \dots \sum_p b_{ijp} B_i(x_1) B_j(x_2) \dots B_p(x_n),$$

где $f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ – функция независимых переменных x_1, x_2, \dots, x_N ;

S_m - многомерный полиномиальный сплайн степени $m \geq 2$ по каждому аргументу;

b_{ijp} - коэффициенты разложения функции по базисным сплайнам;

B_i, B_j, \dots, B_p - одномерные базисные сплайны.

Рассматриваемое устройство позволяет решить задачу воспроизведения практически любых функциональных зависимостей многих переменных с повышенным быстродействием за счет разделения информации о функции на две части: коэффициенты, зависящие от функции и запоминаемые в блоке памяти коэффициентов аппроксимации, и не зависящие от функции значения В-сплайнов, хранимые в блоке памяти ординат. Изменение функциональной зависимости при сохранении степени сплайнов влечет за собой только изменение содержимого блока памяти коэффициентов аппроксимации. Отслеживание состояний в пространстве с использованием параллельных процессов позволяет сократить время формирования нужного результата аппроксимации.

Глава завершается выводами о преимуществах предложенных технических решений в численном выражении.

Четвертая глава посвящена исследованиям и разработке элементов и устройств с пространственно-временным выявлением состояний.

В начале главы рассматривается квадратичный одноканальный преобразователя с выявлением состояний во времени и в пространстве.

Принцип действия устройства основан на модуляции опорного частотно-импульсного потока широтно-импульсными сигналами с постоянной длительностью и изменяющимся в зависимости от входного сигнала периодом, определяющим время срабатывания запоминающих обратных связей. При этом в каскадах происходит выработка и автоматическая компенсация сигналов рассогласования с актуализацией во времени значений кодов в течение периода. На основе этих кодов происходит выработка постоянных на периоде соответствующих частотных потоков при стабильном удержании результата. Добавление второго контура обратной связи позволяет разнести процесс в пространстве и повысить быстродействие работы устройства.

Режим установившегося динамического равновесия характеризуется равенством количества импульсов, поступающих на суммирующий N_+ и на вычитающий N_- входы реверсивных счетчиков 2 и 6 в течение временного интервала τ , т.е.

$$N_{+(CT2)} = N_{-(CT2)}, \text{ или } F_{+(CT2)} = F_{-(CT2)}, \text{ и}$$

$$N_{+(CT6)} = N_{-(CT6)}, \text{ или } F_{+(CT6)} = F_{-(CT6)},$$

где F_+ и F_- – средние значения частот импульсных потоков на суммирующем и вычитающем входах счетчиков 2 и 6. Среднее значение частоты импульсного потока на суммирующем входе счетчика 2 за период T_{02} определяется следующим образом:

$$F_{+(CT2)} = F_{01} \Theta.$$

где Θ – относительная длительность единичного уровня на выходе триггера 10 за период.

Рассмотренный преобразователь применим как базовый элемент для организации сложных помехоустойчивых функциональных преобразователей. Предложенный пространственно-временной подход актуализации состояний с использованием элементов памяти в обратных связях может быть применен в различных преобразователях замкнутого типа, в том числе основанных на методе алгебраических уравнений, в котором получение требуемых функциональных зависимостей происходит при решении уравнений, соответствующих равновесному состоянию в системах с обратной связью.

Далее рассматривается многоканальное устройство для измерения средней температуры с пространственно-временным выявлением состояний. Это

устройство позволяет измерять среднюю температуру по нескольким точкам, в каждую из которых помещён отдельный датчик температуры.

Принцип действия этого устройства основывается на выявлении состояний всех датчиков и преобразовании значений этих состояний в потоки широтно-импульсных сигналов. Эти сигналы суммируются в процессе их параллельного заполнения импульсами опорной частоты и усредняются по времени и по количеству за счет организации следящей частотно-импульсной системы с запоминающей обратной связью, обеспечивающей учет предыдущих измерений с блокировкой каналов прямой и обратной связи в периоды неисправности отдельных датчиков.

В выводах по четвертой главе подчеркиваются преимущества разработанных и исследованных устройств с выявлением состояний: повышение помехоустойчивости и живучести (надежности).

В пятой главе рассматривается реализация вычислительных процессов цифровых структурно-аналоговых времяимпульсных элементов и устройств.

В начале главы приводится разработанная диссертантом инженерная методика проектирования ЦСА ВИУ. Методика включает 16 основных пунктов и алгоритм переходов между ними.

Во второй половине 5-й главы рассматривается устройство непрерывного контроля с выявлением состояний для системы управления безопасностью рельсового транспорта.

В выводах пятой главы подчеркивается, что предложенная инженерная методика проектирования ЦСА ВИУ с возможностью выбора стратегии выявления состояний и формы представления информации была апробирована при разработке устройства непрерывного контроля безопасности рельсового транспорта.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты диссертационной работы.

Основные результаты работы

1. Созданы обобщённые структурные схемы организации времяимпульсных информационных процессов с временной сменой состояний, пространственным отслеживанием состояний, а также пространственно-временным выявлением состояний.

2. Предложена новая структурная организация двухступенчатых триггерных элементов с поочередным формированием состояний двух основных триггеров по схеме Master-Master и выполнен теоретический анализ переходов состояний. Эта организация позволила повысить быстродействие и помехоустойчивость.

3. Синтезировано и экспериментально исследовано оригинальное техническое решение двухступенчатого универсального ММ-триггера JK-типа. Этот ММ-

триггер позволяет выполнить считывание информации быстрее, чем MS-триггер, так как у последнего время задержки при считывании информации определяется временем срабатывания S-ступени, а в предложенном двухступенчатом MM-триггере – только временем задержки простейшего мультиплексора.

4. Разработано и исследовано устройство нелинейного преобразования времяимпульсной информации с временной сменой состояний – цифровой термометр с полиномиальной зависимостью, в котором выполнена интеграция процессов измерения и вычисления и повышено быстродействие и помехоустойчивость.

5. Предложена регулярная структура при реализации преобразователя код - число импульсов с пространственной сменой состояний. Проанализирована работоспособность преобразователя и доказано линейное повышение быстродействия, улучшение регулярности структуры и упрощение топологии по трассировочной части в зависимости от разрядности кода.

6. Разработаны и проанализированы оригинальные функциональные преобразователи с пространственным выявлением состояний для одной и многих переменных, где достигнуты повышенные быстродействие и помехоустойчивость.

7. Созданы и исследованы оригинальные квадратичный одноканальный и многоканальный преобразователи для измерения температуры с пространственно-временным выявлением состояний. Первый преобразователь обладает повышенной точностью и быстродействием, а второй – высокой живучестью и позволяет автоматически получать результат измерения температуры в случае работоспособности хотя бы 3-х датчиков из 12.

8. Разработана инженерная методика проектирования ЦСА ВИУ с возможностью выбора стратегии выявления состояний и формы представления информации, которая апробирована при создании устройства непрерывного контроля безопасности рельсового транспорта.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Бондаренко, П.Н. Структурная организация устройств с актуализацией состояний во времени. Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ» – 2016. № 4. – С.7-12.

2. Мурсаев, А.Х. Организация информационно-вычислительного комплекса системы непрерывного контроля рельсового транспорта с актуализацией состояний. / Н.М.Сафьянников, П.Н.Бондаренко. – Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ» – 2010. № 5.

3. Сафьянников, Н.М., Преобразователь код-частота с актуализацией состояний. / П.Н.Бондаренко. – Известия ВУЗов. Приборостроение. СПб: СПбГУ ИТМО – 2010. т.53. №7.

4. Сафьянников, Н.М. Триггерное устройство с актуализацией состояний / П.Н. Бондаренко. – М.: Микроэлектроника, №3, 2009.

5. Сафьянников, Н.М. Использование запоминающей обратной связи при построении отказоустойчивых цифровых квадратичных преобразователей импульсных сигналов: / О.И.Буренева, П.Н.Бондаренко.–Известия ГЭТУ «ЛЭТИ». СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2003. № 4. – С. 7-11.

Публикация в издании, индексируемом Scopus

6. Safyannikov, N. Conference Paper. Functional Organization of Elements of Stream Converters with Actualization of States. / Chepasov, A., Bondarenko, P. – 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO`2021, 9460167.

Публикации в остальных изданиях

7. Bondarenko, P.N. Organization of soft coordination of streaming informational processes' interaction with states' actualization in space / Safyannikov, N.M. Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 20176 July 2017. PP. 31-33. DOI: 10.1109/ SCM.2017. 7970486. [Электронный ресурс:] <http://ieeexplore.ieee.org/document/7970486/>.

8. Бондаренко, П.Н. Анализатор актуализации состояния человека / П.Н.Бондаренко, О.И.Буренева, Н.М.Сафьянников / Сб. тр. рег. совещания «Актуальные проблемы психологической безопасности» – СПб: «Своё Издательство», 2012. – С. 101-104.

9. Бондаренко, П.Н. Структурная организация отказоустойчивых вычислительных процессов для следящих систем: / Н.М. Сафьянников. – Сб. тр. II междунар. науч. конф. “Методы и средства управления технологическими процессами“ - Саранск: Мордовский гос. университет. – 1997.- С. 201-205.

10. Ромен, Ю.С. Портативный прибор для экспресс-диагностики и контроля состояния железнодорожного пути / Н.М.Сафьянников, П.Н.Бондаренко – Радиоэлектроника и связь (материалы секции «Радиоэлектроника» Дома ученых РАН им.М.Горького). – СПб, 1999. №1(15) – С. 80-84.

11. Бондаренко, П.Н. Семейство анализаторов состояния рельсового транспорта для организации информационной технологии непрерывного контроля / О.И.Буренева, А.Х.Мурсаев, Ю.С. Ромен и др.: ВІСНИК Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.–Луганськ, 2004. № 8(78).–С. 229-233.

12. Сафьянников, Н.М., Семейство анализаторов состояния транспортных средств и подъемных установок в процессе эксплуатации / А.Х.Мурсаев, П.Н. Бондаренко, Д.С. Килочек: Труды 4-й межд. конф. «Приборостроение в экологии и безопасности человека». СПб.: СПбГУ ИТМО, 2004. – С. 128.

13. Бондаренко, П.Н. Информационное обеспечение мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте / М.Н. Волков, Ю.С. Ромен, Н.М. Сафьянников. – Сборник материалов научно-практической конф. «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». – М.: Центр «Антистихия», 2002. – С. 74, 75.

14. Бондаренко, П.Н. Исследование и разработка системы непрерывного контроля для обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте: 7-я Санкт-Петербургская Ассамблея молодых ученых и специалистов. – СПб: Изд-во СПбГУ. – 2002. – С. 80.

15. Бондаренко, П.Н. Информационная технология непрерывного контроля ж/д транспорта в процессе эксплуатации / А.Х. Мурсаев, Ю.С. Ромен, Н.М. Сафьянников. – ВІСНИК Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Луганськ,–2003. № 9(67). – С. 209-212.

16. Бондаренко, П.Н. Цифровой термометр / Н.М. Сафьянников.– Патент РФ № 2135965, кл. G 01 K 7/32. Оpubл. 27.08.99, бюл. № 24.

17. Бондаренко, П.Н. Функциональный преобразователь многих переменных / Н.М. Сафьянников, С.Ф. Свиньин.– Свидетельство РФ № 5657 на полезную модель. № 95110735/20; Оpubл. 16.12.97, бюл. № 12.

18. Буренева, О.И. Цифровой термометр / Н.М. Сафьянников, П.Н. Бондаренко.– Патент РФ 2212637. Оpubл. 20.09.2003.

19. Сафьянников, Н.М. / О.И. Буренева, П.Н. Бондаренко, Д.С. Килочек. – Устройство для измерения средней температуры. Патент РФ №2260778.

20. Сафьянников, Н.М. Делитель частоты с переменным коэффициентом деления / П.Н. Бондаренко.– Патент РФ №2273043.

21. Бондаренко, П.Н. Анализатор состояния рельсового транспорта в процессе эксплуатации: / А.Х. Мурсаев, Ю.С. Ромен, Н.М. Сафьянников // ВІСНИК Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2002. № 6(52). – С. 105 – 108.

22. Сафьянников, Н.М. Двухступенчатый триггер / П.Н. Бондаренко.– Патент РФ №2294593; опубл. 27.02.2007.

23. Сафьянников, Н.М. Цифровой термометр / О.И. Буренёва, П.Н. Бондаренко, Е.В. Горячева.– Патент РФ № 2312315; опубл. 10.12.2007.

24. Буренёва, О.И. Устройство для регулирования температуры / Н.М. Сафьянников, П.Н. Бондаренко.– Патент РФ № 2475804; опубл. 20.02.2013.

25. Сафьянников, Н.М. Триггер / П.Н. Бондаренко, А.К. Фролкин.– Свидетельство о гос. рег. топологии интегральной микросхемы. № 2015630047.

26. Сафьянников, Н.М. Двухступенчатый триггер / П.Н. Бондаренко, С.Э. Миронов, А.К. Фролкин.– Свидетельство о гос. рег. топологии интегральной микросхемы № 2014630078. – Оpubл. 20.07.2014.