МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет (институт) информационных технологий и электроники
(наименование)

Кафедра «Нано- и микроэлектроника»
(наименование)

Направление подготовки 11.04.04. «Электроника и наноэлектроника»
(код и наименование)

Магистерская программа Нано- и микроэлектроника
(наименование)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему

Контроль параметров самовосстанавливающихся предохранителей

Студент 23ПДм1 (номер группы) 02.06.25 (подпись, дата) Фролов Алексей Артемович (ФИО полностью)

Научный руководитель к.т.н., доцент кафедры «Нано- и микроэлектроника», ген. директор ООО НПП «Сонар» (должность, наименование организации) 02.06.25 (подпись, дата) А.Ю. Доросинский (инициалы, фамилия)

Рецензент Начальник отдела АО «Электроприбор» (должность, наименование организации) 06.06.25 (подпись, дата) А.В. Комиссаров (инициалы, фамилия)

Нормоконтролер ст.преподаватель (должность) 17.06.25г. (подпись, дата) Т.Н Рыжова (инициалы, фамилия)

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 9.06.25 №10)

Заведующий кафедрой НиМЭ

Заведующий кафедрой, ПГУ (должность, наименование организации) 9.06.25г. (подпись, дата) И.А.Пронин (инициалы, фамилия)

Работа защищена с оценкой хор. (протокол ГЭК от 18.06.25 № 7)

Секретарь ГЭК

доцент (должность, наименование организации) 18.06.25 (подпись, дата) А.А.Вольсков (инициалы, фамилия)

2025

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка состоит из 83 страниц, 10 рисунков, 11таблиц, списка использованных источников и 6-х приложений.

Ключевые слова: самовосстанавливающиеся предохранители(СП), полиэтилен высокого давления (ПЭВД), полиэтилен низкого давления (ПЭНД), *ADM232,ADuC824*

Цель: разработка и реализация методов измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей, необходимых для обеспечения их стабильной и надёжной работы в составе радиоэлектронной аппаратуры.

Задачи:

1.Анализ современных методов контроля параметров самовосстанавливающихся предохранителей

2. Разработка схемотехнических и метрологических решений для измерения электрических параметров СП

3. Проектирование и изготовление устройства для автоматизированного контроля СП

Развитие современной радиоэлектронной техники сопровождается увеличением плотности монтажа, усложнением функциональных узлов и ростом требований к надёжности и безопасности работы устройств. Одной из ключевых задач при проектировании и эксплуатации электронных систем является обеспечение защиты от перегрузок по току, коротких замыканий и тепловых воздействий. В этом контексте всё более широкое распространение получают самовосстанавливающиеся предохранители (СП), основанные на полимерных композитах с положительным температурным коэффициентом сопротивления.

Такие элементы обладают рядом неоспоримых преимуществ: компактность, возможность многократного срабатывания без замены, высокая скорость реакции на перегрузку и автоматическое восстановление после устранения аварийного режима. Однако, несмотря на растущую популярность

СП в зарубежной и отечественной аппаратуре, до настоящего времени остаются нерешёнными вопросы, связанные с надёжным контролем их параметров на всех этапах жизненного цикла — от производства до эксплуатации.

Особую значимость приобретают задачи метрологического обеспечения при серийном выпуске СП, поскольку малейшие отклонения в сопротивлении, токе срабатывания или времени отклика могут привести к отказу системы или, напротив, к её излишне чувствительной работе. Кроме того, в условиях импортозамещения и необходимости создания технологически независимой элементной базы актуальной становится разработка отечественных методов и средств измерения, адаптированных к специфике полимерных предохранителей.

Таким образом, тема магистерской диссертации, направленная на разработку эффективной системы измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей, является актуальной как с научной, так и с практической точки зрения. Её решение позволит повысить надёжность отечественной электронной продукции, снизить зависимость от импортных компонентов и обеспечить устойчивое развитие радиоэлектронной отрасли.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 6

1 Современное состояние и проблемы в области контроля характеристик самовосстанавливающихся предохранителей 7

1.1 Современные состояние и технический уровень производства самовосстанавливающихся предохранителей 7

1.2 Технология производства самовосстанавливающихся предохранителей 9

1.3 Основные характеристики самовосстанавливающихся предохранителей 14

1.4 Проблемы в области контроля самовосстанавливающихся предохранителей 20

1.5 Сравнительный анализ дорогих и дешевых самовосстанавливающихся предохранителей 26

2 Вопросы метрологического обеспечения производства самовосстанавливающихся предохранителей для поверхностного монтажа 29

2.1 Элементы токовой защиты в СП 29

2.2 Основные электрические параметры самовосстанавливающихся предохранителей, которые подлежат измерению и контролю. 30

2.3 Основные технологии создания проводящего композита. 32

2.4 Решение материаловедческих задач по созданию специальных пластмасс 35

3 Устройства для измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей 40

3.1Разработка устройства для измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей 40

3.2 Основные узлы 42

3.3 Выбор элементной базы 46

4 Стандарты для электрического освещения 50

4.1 Общие требования к освещению 50

4.2 Защитные меры безопасности 53

Заключение 57

Список использованных источников 58

Приложения А.Задание на выпускную квалификационную работу 59

Приложение Б.Схема электрическая принципиальная 62

Приложение В.Перечень элементов..... 64
Приложение Г. Перечень опубликованных статей 67
Приложение Д.Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» 69
Приложение Е.Презентация ВКР 72

ВВЕДЕНИЕ

Современные электронные устройства всё чаще нуждаются в эффективных, многоразовых решениях по защите цепей от перегрузки по току. Одним из наиболее перспективных компонентов, применяемых с этой целью, являются самовосстанавливающиеся предохранители (СП), основанные на полимерных композитах с положительным температурным коэффициентом сопротивления. Однако, несмотря на широкое применение таких элементов, особенно в импульсных источниках питания, телекоммуникационном и компьютерном оборудовании, вопросы их контроля, измерения и метрологического обеспечения остаются недостаточно проработанными, особенно в условиях серийного производства.

Целью данной магистерской диссертации является разработка и реализация методов измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей, необходимых для обеспечения их стабильной и надёжной работы в составе радиоэлектронной аппаратуры.

В рамках работы рассматриваются основные параметры СП, подлежащие контролю, такие как номинальное сопротивление, ток удержания, ток срабатывания, время срабатывания и остаточное сопротивление после восстановления. Особое внимание уделяется вопросам метрологического обеспечения, подбору и интеграции измерительных средств, а также созданию устройства, объединяющего функции измерения и контроля.

Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения надёжности защитных компонентов, сокращения затрат на обслуживание и обеспечения импортонезависимости в производстве радиоэлектронных компонентов. Разработка эффективных методов контроля параметров СП является важным шагом в обеспечении качества и безопасности современной электроники.

1 Современное состояние и проблемы в области контроля характеристик самовосстанавливающихся предохранителей

1.1 Современные состояние и технический уровень производства самовосстанавливающихся предохранителей

Разработчики электронных устройств знают, к каким серьезным для этих устройств последствиям может привести перегрузка по току. Поэтому защита электронных систем и источников электроснабжения от случайных коротких замыканий или других нештатных ситуаций, которые могут привести к резкому увеличению электрического тока в цепи энергоснабжения – это важный компонент в решении задач безопасности, надежности и срока службы этих систем. Существует несколько способов защиты электронных устройств от таких ситуаций. Наиболее распространенный из них – использование плавких предохранителей. Такие предохранители надежно защищают аппаратуру от случайных перегрузок по току, но наряду с этим обладают рядом недостатков. Плавкие предохранители рассчитаны только на одно срабатывание и при выходе из строя требуют замены, что не всегда удобно и требует значительного времени. Широко используется также способ защиты электронных устройств при помощи биметаллических предохранителей. Преимущества их перед первыми в том, что они многоразового действия. Однако и биметаллические предохранители имеют свои недостатки, а именно: относительно большое время срабатывания, необходимое для разогрева биметаллической пластины до 500 – 600°С, что создает возможность возгорания аппаратуры, сравнительно большие массо-габаритные показатели.

Последнее время все большее внимание разработчиков электронной аппаратуры привлекают самовосстанавливающиеся предохранители на основе проводящих полимерных материалов.

Полимерные самовосстанавливающиеся предохранители – новейшее достижение в области защиты электрических цепей. Они представляют собой резистор из полимерного материала, проводимость которого изменяется в зависимости от температуры.

При возрастании температуры кристаллы полимера плавятся, и токопроводящая структура разрушается. Сопротивление резистора возрастает, что равносильно размыканию электрической цепи. Процесс обратим: при остывании полимера кристаллическая структура восстанавливается и резистор снова проводит ток.

Преимущества полимерных предохранителей в том, что они рассчитаны на многократное действие, значение их сопротивления в проводящем состоянии – доли Ома, а время срабатывания зависит от тока нагрузки и составляет 0,1 - 5 секунд. Температура полимерного предохранителя не поднимается выше 125°С, поэтому они безопасны для электронного оборудования и их можно размещать в любом месте устройства. Кроме того, они совершенно не нуждаются в обслуживании.

В настоящее время ряд ведущих иностранных фирм разработали и приступили к серийному выпуску таких самовосстанавливающихся предохранителей. Так фирма «Bourns», США, предлагает предохранители серии *MF-R, MF-RX, MF-S, MF-LS, MF-SM, MF-MSM*, корпорация «*Raychem*», США, предлагает предохранители серии *RUE, SMD, N* в различных конструктивных исполнениях, в том числе и для поверхностного монтажа, рассчитанные на рабочие токи от 0,1А до 10А.

Отечественной промышленностью до настоящего времени самовосстанавливающиеся предохранители не выпускаются. Однако в последние годы возобновляются работы по совершенствованию и созданию радиоэлектронной аппаратуры нового поколения, и разработчиков аппаратуры интересуют новые, надежные в работе, малогабаритные предохранители многоразового действия. Применение разрабатываемых самовосстанавливающихся предохранителей позволит значительно улучшить защиту электронных систем от случайных перегрузок по току, сократить время восстановления работоспособности электронной аппаратуры, уменьшить массогабаритные характеристики, повысить эксплуатационную надежность и другие тактико-технические характеристики аппаратуры, состоящей на вооружении.

Применение разрабатываемых самовосстанавливающихся предохранителей позволит исключить использование импортных изделий в серийно выпускаемой и разрабатываемой РЭА для таких разработок, как «65с28-2», «Бозон», «248», «Символ-М2», «248-С», «Босфор», «МРП», «БИТС2Ц», «Кобальт», «АРБ-НФ» и др.

Кроме того, такие предохранители найдут широкое применение в электронной аппаратуре общего назначения для защиты источников питания радио - телекоммуникационного оборудования, в электронных узлах компьютерных систем, в электрических автомобильных системах, для защиты от перегрева статорных обмоток электродвигателей и других электронных устройствах.

1.2 Технология производства самовосстанавливающихся предохранителей

Основа самовосстанавливающегося предохранителя (СП), схематично изображена на рисунке 1, составляет тонкий лист из проводящего материала (I), с обеих сторон находящийся в контакте с плоскими электродами (II). Электроды гарантируют равномерное распределение энергии по площади поверхности; к электродам крепятся проволочные либо лепестковые выводы (III).

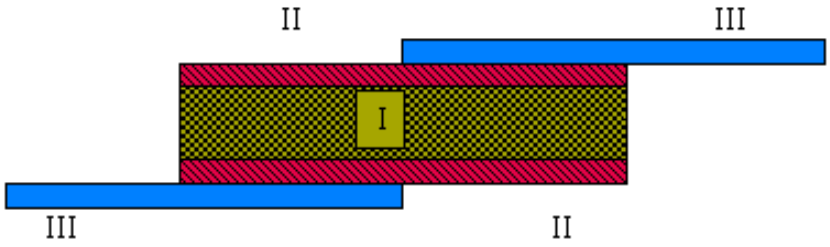


Рисунок 1 –Типовая схема конструкции СП

Проводящий полимерный материал представляет собой особый композит, состоящий из непроводящего электрический ток кристаллического полимера и распределенных в нем тончайших частиц технического углерода, проводящих электрический ток. Особенностью, которая позволяет использовать этот материал в качестве функциональной основы СП, является то, что такой проводящий композит характеризуется высоким нелинейным

положительным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Причем, в отличие от других материалов с большим положительным ТКС для такого композита характерна большая крутизна кривой зависимости сопротивления от температуры самого СП или окружающей температуры и практически скачкообразный переход из проводящего состояния в непроводящее. До определенной, так называемой «переходной» температуры сопротивление СП практически не возрастает. При достижении «переходной» температуры сопротивление возрастает в логарифмической пропорции которая показана на рисунке 2

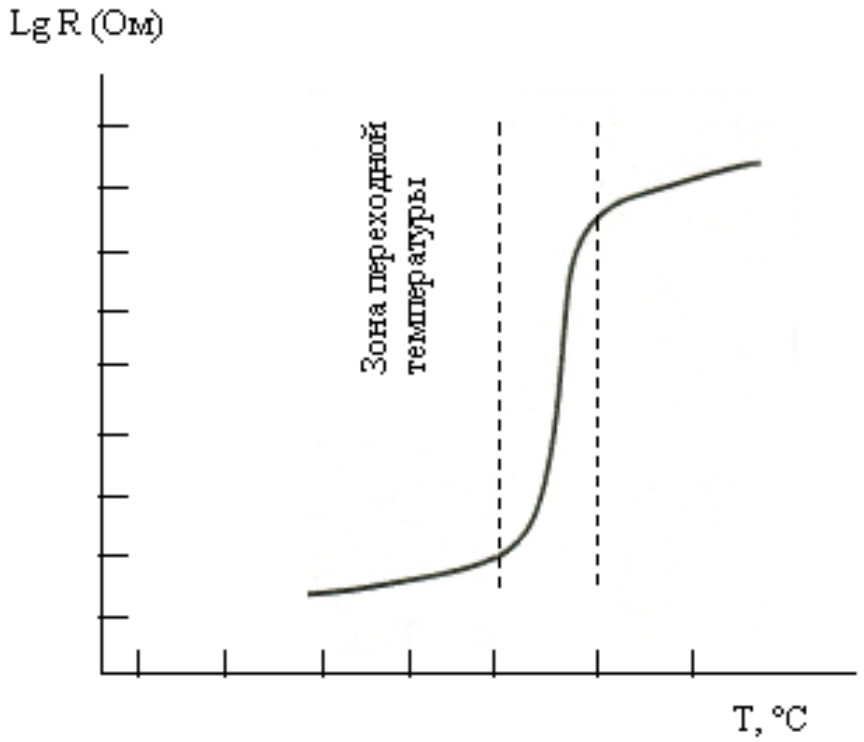


Рисунок 2 – Зависимость изменения сопротивления СП от его температуры

Технологический процесс проводится в расплаве полиэтилена при температуре ≈ 180°С. Приготавливается суспензия углерода в соответствующей дисперсионной среде (например, в акриловой кислоте). Определенный объем суспензии вводится при постоянном энергичном перемешивании в расплав полиэтилена, расплав гомогенизируется с использованием достаточно мощных диспергаторов со скоростью порядка 6000 об./мин. Далее гомогенизированный расплав через экструдер формируется в

листовой полуфабрикат, из которого горячим прессованием при добавлении пероксодисульфата калия в качестве химического сшивателя полимерных цепей формируются пластины с требуемой толщиной.

Растворная технология.

В этом случае технологический процесс выполняется по следующей схеме. В подходящем растворителе (например, додекане) при температуре ≈80°С растворяется полиэтилен.

Аналогично, как и в первом варианте готовится суспензия углерода в акриловой кислоте и тщательно диспергируется. Подготовленные компоненты смешиваются в необходимой пропорции; полученная жидкая смесь гомогенизируется мощным диспергатором до получения однородной эмульсии. Далее система упаривается до кашицеобразного состояния и из нее формируется лентообразный полуфабрикат, последний горячим прессованием формируется в пластину. На этой же стадии в массу добавляется сшиватель.

Порошковая технология

Данная технологическая схема заключается в следующем.

На специальном оборудовании полиэтилен, который, как правило, выпускается промышленностью в гранулах, измельчается до порошкообразного состояния (≈ 100 мкм). Аналогично первым двум схемам готовится суспензия углерода, которая в необходимом соотношении смешивается с порошкообразным полиэтиленом. Далее следует гомогенизация системы с помощью диспергатора, в результате которой образуется суспензия, состоящая из мелких частиц полиэтилена, на поверхности которых адсорбированы мельчайшие частицы углерода. Система упаривается (при необходимости) с целью удаления избытка жидкой фазы и горячим прессованием при добавлении химического сшивателя формируется в тонкую пластину.

Очевидно, что заключительная стадия всех трех технологических схем одинаковая. При температуре (170 – 180)°С в течение (10 – 20) мин производится горячее прессование наполненного полимера в тонкую пластину толщиной порядка (0,25 – 0,30) мм.

Анализ представленных технологических схем позволяет выявить наряду с несомненными положительными сторонами ряд существенных недостатков каждого из методов. Определенно, что более равномерного распределения наполнителя в полимерной матрице, что очень важно, можно достичь, если полимер находится в жидкой фазе, т.е. растворе или расплаве. Однако, «расплавная» технология предполагает проведение всех стадий процесса при высокой температуре в расплавленной реакционной массе, что требует наличия специального технологического оборудования, включая дорогостоящие реакторные системы. Следовательно, данная схема может быть эффективной лишь в условиях крупносерийного производства.

«Растворная» технология также имеет свои недостатки. В первую очередь, следует назвать большую трудоемкость процесса, связанную с растворением достаточно труднорастворимого полимера, необходимостью ведения этого процесса при повышенных (до 80°С) температурах в органических растворителях. Причем выбор подходящих растворителей очень ограничен. Например, наиболее пригодным для растворения полиэтилена является додекан, растворитель дорогостоящий.

Таким образом, повышенная трудоемкость, большая стоимость применяемых растворителей наряду с создаваемыми экологическими проблемами также ограничивает реализацию данной технологической схемы в производстве.

Оправданным можно считать ее применение для изготовления специального композита лишь в очень ограниченных объемах, включая и экспериментальные партии материала в процессе выполнения ОКР.

Наиболее предпочтительной на этом фоне представляется технологическая схема, основанная на использовании порошкообразных исходных компонентов.

«Порошковая» технология, однако, особенно чувствительна к степени дисперсности полимера. Измельчение полимера до высокодисперсного состояния требует наличия специального оборудования типа высокодисперсных роторных мельниц. В России в товарном виде

порошкообразный полиэтилен не выпускается, однако есть организации, которые обладают всем необходимым оборудованием для его измельчения.

Преимущества же данной технологической схемы неоспоримы.

Во-первых, технологический процесс практически до заключительной стадии горячего прессования проводится при температурах, близких к комнатной.

Во-вторых, не требуется применение в больших объемах дорогостоящих специфических растворителей, что одновременно делает технологический процесс экологически более чистым.

Таким образом, проведенная в ходе выполнения работ 1 этапа ОКР проработка материаловедческих и технологических задач по поиску и выбору необходимых материалов и технологических решений с целью создания функциональной основы разрабатываемых СП, а также результаты исследований, выполненных на Химическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова, позволили определить основной набор материалов и химических компонентов, необходимых для выполнения работ следующего этапа.

В набор входят:

-полиэтилен высокого давления (ПЭВД) со степенью кристалличности (50 – 65)%;

-полиэтилен низкого давления (ПЭНД) со степенью кристалличности (75 – 85)%;

-углерод рентгеноаморфный (сажа ацетиленовая, углерод – сажа из устойчивого к нагреванию графита, препарат коллоидно-графитовый сухой С2).

Также сделан выбор технологических решений создания специального полимерного композита для разрабатываемых изделий.

Из трех возможных технологических схем: «расплавной», «порошковой» и «растворной», более перспективными в плане реализации являются «порошковая» и «растворная» технологии. Названные технологические схемы лягут в основу последующих экспериментальных работ для проверки оптимальности принятых решений.

1.3 Основные характеристики самовосстанавливающихся предохранителей

Разрабатываемые СП выполняют в прямоугольном корпусе, они имеют два ленточных вывода, направленные в противоположные друг относительно друга стороны.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры СП в зависимости от рабочего тока приведены в таблице 1.

Таблица 1– Габаритные размеры СП

Модель	Условное обозначение	*A, мм*		*B, мм*		*C, мм*		*D, мм*		*F, мм*	
		min	*max*	*min*	*max*	*min*	*max*	*min*	*max*	*min*	*max*
MF-S120	N_1	19,9	22,1	4,9	5,2	0,6	1,0	5,5	7,5	3,9	4,1
MF-S120S	N_2	19,9	22,1	4,9	5,2	0,6	1,0	5,5	7,5	3,9	4,1
MF-S150	N_3	21,3	23,4	10,2	11,0	0,5	1,1	4,1	5,5	4,8	5,4
MF-S175	N_4	20,9	23,1	4,9	5,2	0,6	1,0	4,1	5,5	3,9	4,1
MF-S175S	N_5	20,9	23,1	4,9	5,2	0,6	1,0	4,1	5,5	3,9	4,1
MF-S200	N_6	21,3	23,4	10,2	11,0	0,5	1,1	5,0	7,6	4,8	5,4
MF-S350	N_7	28,4	31,8	13,0	13,5	0,5	1,1	6,3	8,9	6,0	6,6
MF-S420	N_8	30,6	32,4	12,9	13,6	0,5	1,1	5,0	7,5	6,0	6,7

Электрические параметры СП при приемке и поставке приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения электрических параметров СП при приемке и поставке

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение	Норма									Примечание
		N_1			N_2			N_3			
		Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	
Номинальное сопротивление, Ом	*R*ном.	0,085	-	0,16	0,085	-	0,16	0,05	-	0,09	-

Продолжение таблицы 2

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение	Норма									Примечание
		N_4			N_5			N_6			
		Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	
Номинальное сопротивление, Ом	Rном.	0,05	-	0,09	0,05	-	0,09	0,03	-	0,06	-

Продолжение таблицы 2

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение	Норма						Примечание
		N_7			N_8			
		Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	
Номинальное сопротивление, Ом	Rном.	0,017	-	0,031	0,012	-	0,024	-

Электрические параметры СП при эксплуатации и хранении приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения параметров СП при эксплуатации и хранении

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение	Норма									Примечание
		N_1			N_2			N_3			
		Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	
Ток удержания, А	Iуд.	-	-	1,20	-	-	1,20	-	-	1,5	-
Ток размыкания, А	Iразм.	-	-	2,7	-	-	2,7	-	-	3,0	-

Сопротивление через 1 час после размыкания, Ом	R_{Imax}	-	-	0,22	-	-	0,22	-	-	0,11	-
Максимальное время размыкания при 5Iразм., с	-	-	-	5,0	-	-	5,0	-	-	5,0	-
Мощность размы-кания, Вт	$W_{разм.}$	-	1,2	-	-	1,2	-	-	1,3	-	-

Продолжение таблицы 3

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение	Норма									Примечание
		N_4			N_5			N_6			
		Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	
Ток удержания, А	$Iуд.$	-	-	1,75	-	-	1,75	-	-	2,0	-
Ток размыкания, А	$Iразм.$	-	-	3,8	-	-	3,8	-	-	4,4	-
Сопротивление через 1 час после размыкания, Ом	R_{Imax}	-	-	0,12	-	-	0,12	-	-	0,08	-
Максимальное время размыкания при 5Iразм., с	-	-	-	4,0	-	-	4,0	-	-	4,0	-
Мощность размы-кания, Вт	$W_{разм.}$	-	1,5	-	-	1,5	-	-	1,9	-	-

Продолжение таблицы 3

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение	Норма						Примечание
		N_7			N_8			
		Не менее	Номинал	Не более	Не менее	Номинал	Не более	
Ток удержания, А	$Iуд.$	-	-	3,5	-	-	4,2	-
Ток размыкания, А	$Iразм.$	-	-	6,3	-	-	7,6	-
Сопротивление через 1 час после размыкания, Ом	R_{Imax}	-	-	0,04	-	-	0,04	-
Максимальное время размыкания при 5Iразм., с	-	-	-	3,0*	-	-	6,0	-
Мощность размыкания, Вт	$W_{разм.}$	-	2,5	-	-	2,9	-	-

*Проверяется при 20А

Электрические параметры, изменяющиеся при эксплуатации и хранении, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения параметров СП, изменяющихся при эксплуатации и хранении

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение	Норма		Примечание
		Не менее	Не более	
1.Относительное изменение сопротивления, %	$\delta R_{ном}$	-	±5,0	За 1000 ч наработки
		-	±3,0	После воздействия ВВФ (п. 3.3.1)
		-	±15,0	После воздействия специальных факторов (п. 3.3.2)
		-	±3,0	При хранении (п. 3.4.3)

Предельно допустимые значения электрических параметров и режимов эксплуатации приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Предельно допустимые значения параметров и режимов эксплуатации

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение	Норма при эксплуатации	
		Не менее	Не более
Максимальное напряжение, В -для СП $N_1 \ldots N_5$; -для СП $N_6 \ldots N_8$	*Umax*	-	15 30
Максимальный ток, А	*Imax*	-	100

СП должны быть стойкими к воздействию механических, биологических факторов и специальных сред, соответствующих группе унифицированного исполнения 3У по ГОСТ РВ 20.39.414.1-97 с дополнениями и уточнениями, приведенными в таблице 6.

Таблица 6 – Состав и значения характеристик ВВФ

Наименование фактора, его характеристики и единица измерения	Значение характеристики	Примечание
1	2	3
Механический удар одиночного действия: -пиковое ударное ускорение, м/с^2 -длительность действия ударного ускорения, мс	10000 2	-
Линейное ускорение, м/с^2	5000	-
Пониженная температура среды, °С	минус 40	-
Смена температур: от максимально допустимой повышенной рабочей температуры среды, °С до пониженной предельной температуры среды, °С (10 циклов)	125 минус 40	-
Повышенная влажность воздуха 85% при температуре 85°С, час	1000	-
Продолжительность воздействия пониженной влажности воздуха, час	2	-
Соляной (морской) туман	+	-
Плесневые грибы	+	-
Статическая пыль	+	-

Требования по стойкости:

-комплексному воздействию ВВФ;

-атмосферным выпадаемым осадкам (дождь);

-солнечному излучению;

-агрессивным средам;

-компонентам ракетного топлива;

-рабочим растворам № 1, № 2 и РД-2;

-гидростатическому давлению;

-гелиево-воздушной и аргоно-воздушной средам не предъявляются.

СП должен быть стойким к воздействию специальных факторов с характеристиками 7.И1 – 7.И8 для группы унифицированного исполнения 4Ус и 7.К1 – 7.К8 для группы унифицированного исполнения 2К по ГОСТ РВ 20.39.414.2-98.

В процессе и непосредственно после воздействия с характеристиками 7.И6, 7.И8 допускается потеря работоспособности на время не более $2x10^{-3}$ с.

1.4 Проблемы в области контроля самовосстанавливающихся предохранителей

Несмотря на то, что самовосстанавливающиеся предохранители используются для защиты от перегрузки по току, им самим может потребоваться защита от КЗ. Одним из параметров СП является максимальный ток I_{MAX}. При его превышении предохранитель попросту разрушается вследствие необратимых термических процессов.

Эта проблема не критична, если источник тока не способен выдать ток более I_{MAX}. В противном случае для защиты следует выбрать другую модель СП или использовать дополнительный системный плавкий предохранитель.

Также самовосстанавливающиеся предохранители имеют вполне конкретные ограничения по уровню рабочего напряжения.

При рассмотрении основных параметров СП были приведены два значения сопротивлений: R_{min} и R_{1max}. При этом R_{1max} всегда оказывается больше. Это неспроста. Дело в том, что после остывания РРТС его сопротивление никогда не возвращается к исходному значению R_{min}, даже если время восстановления достигает нескольких дней или месяцев как показано на рисунке 3.

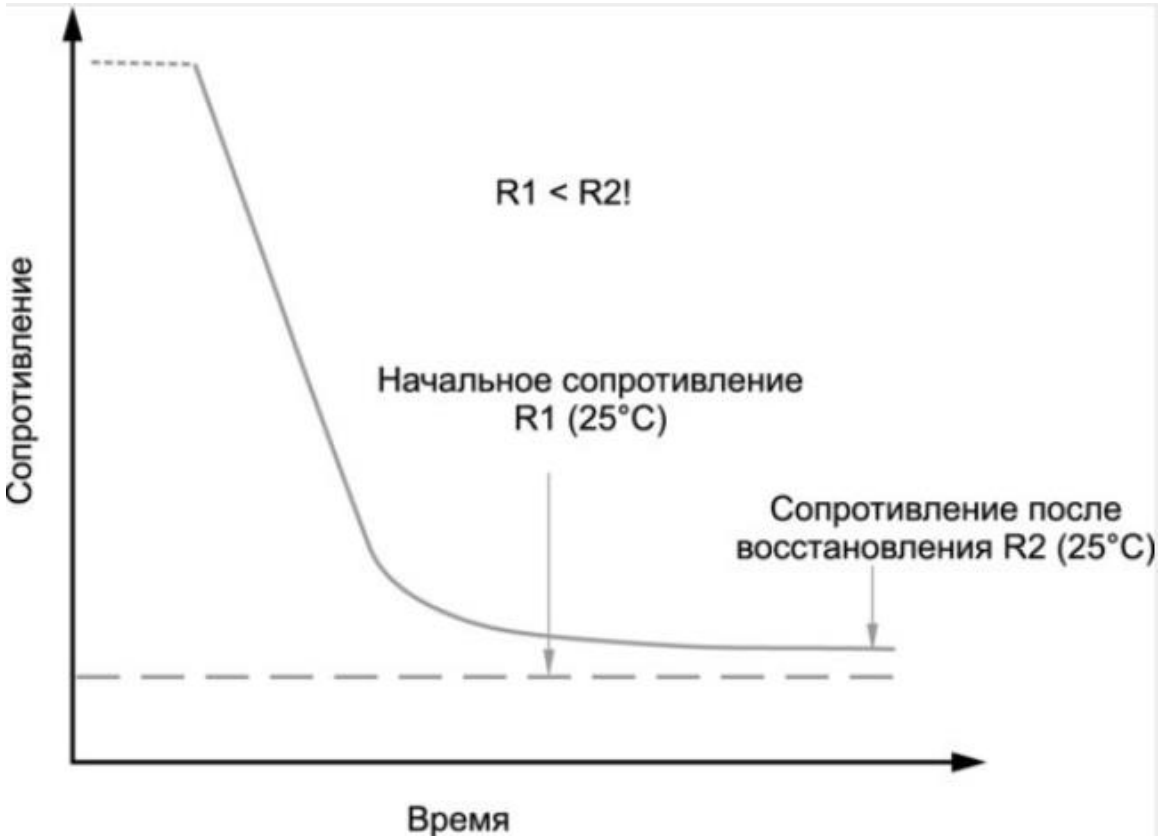


Рисунок 3 – Изменение сопротивления СП при остывании

Это явление напоминает деградацию — необратимое ухудшение характеристик после срабатывания. В итоге, хотя PPTC и является инструментом защиты многоразового использования, качество его работы ухудшается с течением времени.

Самовосстанавливающийся предохранитель - инерционный прибор, он не подходит для защиты схем чувствительных к коротким броскам тока. В таких случаях его необходимо применять совместно с другими элементами защиты - супрессорами, варисторами, разрядниками, стабилитронами, но необходимость ограничения максимального тока в цепи остаётся.

Физические механизмы деградации самовосстанавливающихся предохранителей

Самовосстанавливающиеся предохранители (СП) являются термочувствительными композитными элементами, в которых проводящие свойства обеспечиваются за счёт распределения углеродных частиц в полимерной матрице. При многократном циклическом воздействии токовой перегрузки происходят физико-химические изменения как в полимерной

основе, так и в наполнителе, которые приводят к накапливающейся деградации и изменению параметров изделия.

Основу СП составляет полимерный материал (чаще всего полиэтилен), наполненный токопроводящими частицами углерода. В нормальном состоянии композит имеет низкое сопротивление благодаря сформированной сети перколяции — трёхмерной структуре соприкасающихся частиц, обеспечивающей электрическую проводимость.

Процесс деградации начинается при срабатывании СП:

Нагрев полимера при токовой перегрузке вызывает тепловое расширение, что приводит к механическому разрыву проводящих цепочек и резкому росту сопротивления.

После устранения перегрузки полимер охлаждается, возвращаясь в исходное кристаллическое состояние, и проводимость восстанавливается, но не полностью.

Термоциклирование: каждое срабатывание — это тепловой цикл (нагрев – охлаждение), приводящий к напряжениям в полимерной структуре. Повторение этого цикла приводит к:

- образованию микротрещин;
- частичному разрушению кристаллических областей;
- изменению молекулярной ориентации.

Необратимое перераспределение углерода: В условиях неоднородного расширения и усадки углеродные частицы мигрируют и могут накапливаться локально, теряя контакт с другими. Это нарушает перколяционную структуру и повышает общее сопротивление даже в «нормальном» состоянии.

Окисление: при длительной эксплуатации в присутствии кислорода (особенно при повышенных температурах) возможна деструкция поверхности углеродных частиц и полимера, сопровождающаяся:

появлением кислородсодержащих функциональных групп;

увеличением межфазного сопротивления между матрицей и наполнителем.

Каждое срабатывание СП сопровождается микроскопическими и макроскопическими изменениями его структуры. Это проявляется в нарастании остаточного сопротивления, даже если видимых признаков повреждений нет.

Проявления деградации:

После каждого цикла сопротивление не возвращается к исходному значению $R_{ном}$а к повышенному уровню $R_{ост}$

С течением времени это приводит к:

- уменьшению тока удержания$I_{уд}$— тока, при котором предохранитель остаётся в проводящем состоянии;

1.Ложным срабатываниям при штатных режимах работы.

2.Снижению надёжности защиты.

Если предохранитель имеет начальное R_0 =0,06 Ω, то после 1000 часов наработки при +85 °C его сопротивление может возрасти на 5%, до:

$$R_{1000ч} = R_0 \cdot 1,05 = 0,063\Omega \quad (1)$$

При этом, при напряжении U=15В, пропускаемый ток уменьшится:

$$I_0 = \frac{15}{0,06} = 250A \quad (2)$$

$$I_{новый} = \frac{15}{0,063} = 238A \quad (3)$$

Разница более 12 А, что критично для низкоточных цепей, где запас по току минимален.

Нормативные требования и методики оценки деградации.

Для оценки устойчивости СП к деградации применяются международные и отраслевые стандарты, например:

IEC 60730 — автоматические электрические управляющие устройства;

UL 1434 — полимерные положительные термоконтактные устройства (*PPTC*).

В таблице 7 представлены допустимые уровни деградации

Таблица 7 — Допустимые уровни деградации.

Испытание	Параметр	Допустимое изменение
1000 часов наработки при номинальных условиях	$R_{ном}$	не более ±5%
1000 циклов срабатывания и восстановления	$R_{ном}$,$I_{уд}$	сопротивление — до +15%;
Воздействие климатических факторов	$R_{ном}$	до ±3%
Воздействие химических и вибрационных нагрузок	механическая и электрическая целостность	без разрушений и трещин

Методика испытаний включает:

1.Автоматизированные стенды для многократных термоциклов.

2.Замер сопротивления через фиксированные интервалы.

3.Контроль восстановления параметров после охлаждения не менее 24 часов.

4.Проведение испытаний при различных влажностях и температурах для ускоренного старения.

Физическая деградация самовосстанавливающихся предохранителей — это сложный процесс, обусловленный взаимодействием тепловых, механических и химических факторов. Основные проявления включают:

1.Рост остаточного сопротивления.

2.Снижение тока удержания.

3.Уменьшение надёжности при длительной эксплуатации.

Поэтому при проектировании электронных схем с использованием СП необходимо:

1.Учитывать возможный рост сопротивления с течением времени.

закладывать эксплуатационный запас по току;

2.Выбирать модели с повышенной термостабильностью и стойкостью к циклическим нагрузкам.

Практические последствия деградации СП могут привести к:

1. Снижение эффективности защиты.

2.Увеличенное сопротивление приводит к более медленному срабатыванию при перегрузке.

3.В критических режимах возможен перегрев защищаемых компонентов из-за недостаточной скорости отключения.

4. Ложные срабатывания

В системах, где рабочий ток близок к току удержания (*I~hold~*), рост сопротивления может вызывать:

1.Случайные отключения при нормальной работе.

2.Нестабильность питания в чувствительных устройствах.

Необходимость производить коррекции параметров при проектировании схем с длительным сроком службы, них необходимо учитывать: Запас по току (выбор СП с более низким номинальным сопротивлением), Периодическую диагностику (контроль сопротивления через определенное число циклов), Использование СП с улучшенной термостабильностью (например, на основе нанокомпозитных материалов).

Деградация сопротивления СП — неизбежный процесс, связанный с физико-химическими изменениями материала. Хотя современные предохранители обеспечивают сотни циклов срабатывания, их параметры постепенно ухудшаются, что требует:

1.Строгого контроля в ответственных применениях.

2.Учета деградации при расчете защитных характеристик.

3.Выбора качественных компонентов с минимальным дрейфом параметров.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку новых композитных материалов с повышенной устойчивостью к термоциклированию.

1.5 Сравнительный анализ дорогих и дешевых самовосстанавливающихся предохранителей

Современные самовосстанавливающиеся предохранители (СП), основанные на полимерных композитах с положительным температурным коэффициентом сопротивления, широко применяются в радиоэлектронике, электротехнике, телекоммуникациях и других сферах. На рынке представлено множество моделей, различающихся по цене, техническим характеристикам, качеству исполнения и сфере применения. Сравнение дешёвых и дорогих вариантов СП позволяет более осознанно подойти к выбору компонента, соответствующего конкретным требованиям.

Главное различие между дорогими и дешевыми СП заключается в качестве полимерной матрицы и типе токопроводящего наполнителя. В дешевых изделиях, как правило, используется недорогой полиэтилен низкой плотности с добавлением технической сажи в виде крупнодисперсных частиц. Такие композиты имеют низкую степень однородности, что приводит к нестабильному поведению устройства при эксплуатации.

В дорогих предохранителях применяются специально модифицированные полимеры с высокой степенью кристалличности, способные выдерживать более широкий температурный диапазон. В качестве наполнителя используются высокодисперсные углеродные формы — нанопорошки, коллоидный графит или даже графен, обеспечивающие более устойчивую перколяционную структуру и точные электрические характеристики.

Производственный процесс дешевых СП упрощён: он включает грубое перемешивание компонентов, формование и горячее прессование без прецизионного контроля. Зачастую такие изделия не проходят индивидуальную калибровку и проверку, что приводит к широкому разбросу параметров.

Напротив, изготовление дорогих СП требует высокой точности на всех этапах. Применяются ультразвуковая гомогенизация, вакуумная сушка, автоматический контроль срабатывания и измерения сопротивления. Такой

подход обеспечивает повторяемость характеристик и надёжность даже при жёстких условиях эксплуатации.

Ниже приведена таблица 8, отражающая ключевые отличия между двумя категориями устройств:

Таблица 8 — Ключевые отличия дешевых от дорогих СП

Параметр	Дешевые СП	Дорогие СП
Диапазон тока удержания	0.1–5 А	0.1–20 А
Точность сопротивления	±20–30%	±2–5%
Время срабатывания	1–5 с	0.1–1.5 с
Количество рабочих циклов	До 300	Свыше 1000
Диапазон рабочих температур	0…+85 °C	–40…+125 °C
Устойчивость к влажности	Низкая	Высокая

Такие различия означают, что дешевые изделия целесообразны для бытовых и неприхотливых приложений, а дорогие — для высокоточных, ответственных систем.

Дешевые самовосстанавливающиеся предохранители находят применение в недорогих потребительских устройствах: зарядных адаптерах, простых блоках питания, *LED*-светильниках, игрушках и канцелярской электронике. Их главный плюс — низкая цена и доступность. Однако нестабильные характеристики и быстрое старение ограничивают срок службы и надёжность.

Дорогие СП, напротив, используются в критически важных отраслях: в медицинской аппаратуре, автомобильной электронике (например, в системах *ABS* и подушках безопасности), авиационно-космических комплексах,

телекоммуникациях и военной технике. В этих приложениях крайне важна точность, долговечность, устойчивость к перепадам температур и влажности.

Интеграция дешевых предохранителей, как правило, не вызывает трудностей: они могут быть взаимозаменяемы между различными производителями. Однако из-за большого разброса параметров они требуют запаса по проекту, особенно по току и тепловой нагрузке.

Дорогие устройства нередко изготавливаются под конкретную задачу и не всегда могут быть заменены без пересмотра схемы. При этом они сопровождаются точной технической документацией и иногда требуют сертифицированного монтажа.

Нормативные требования.

Дорогие СП, как правило, соответствуют международным стандартам (*IEC, UL, MIL*), проходят испытания на стойкость к агрессивным средам, вибрациям, влажности, КЗ и электромагнитным помехам. Для дешевых моделей требования значительно ниже, а стандартизация часто ограничивается базовой проверкой сопротивления и токовых характеристик при комнатной температуре.

Разница между дорогими и дешевыми самовосстанавливающимися предохранителями выходит далеко за рамки стоимости. Она охватывает уровень материалов, точность изготовления, устойчивость к внешним воздействиям и сферу применения. Выбор между ними должен основываться на следующих вопросах:

1.Насколько критична защита в конкретной цепи?

2.Ожидается ли длительная эксплуатация или работа в агрессивных условиях?

3.Существуют ли требования по международным стандартам?

4.Допустим ли разброс характеристик?

В неприхотливых устройствах вполне достаточно дешёвых СП, особенно при наличии других элементов защиты. Но в цепях с высокой ценой ошибки или ограничениями по току и температуре выбор всегда должен склоняться в сторону высококачественных компонентов.

2 Вопросы метрологического обеспечения производства самовосстанавливающихся предохранителей для поверхностного монтажа

2.1 Элементы токовой защиты в СП

При разработке изделий радиоэлектронной техники особое внимание уделяется методам и средствам их защиты по току. С этой целью используются элементы, предназначенные для защиты от длительных воздействий токов на электрические цепи устройства, поэтому к ним предъявляются особо жесткие требования. Среди основных таких требований можно выделить следующие: рабочий ток, ток ограничения, остаточный ток, внутреннее сопротивление, время срабатывания, восстанавливаемость, диапазон рабочих температур. Кроме того, элемент токовой защиты должен обеспечивать выполнение следующих условий: надежно защищать стоящее за ним оборудование от чрезмерных токов; при выходе из строя этот элемент должен обеспечивать обрыв цепи; иметь минимальный размер и быть удобным для монтажа; должен вносить минимальные помехи в работу аппаратуры связи (иметь минимальное сопротивление); должен быть элементом многократного использования (по возможности). Как правило в качестве элементов токовой защиты используют плавкие вставки, термокатушки и позисторы.

Плавкие вставки - самый распространенный токоограничивающий элемент. Они устанавливаются последовательно в цепи перед нагрузкой.

Основным недостатком плавкой вставки, применяемой в устройствах защиты оборудования связи, является высокий разброс (до 50 %) значений тока срабатывания при токах до 300 мА.

Применение плавких вставок со стабильными характеристиками дорого и экономически нецелесообразно из-за невозможности их повторного использования.

Термокатушки – элемент защиты, принцип действия которого заключается в следующем: превышение тока заданных пределов вызывает нагрев катушки, что приводит к механическому отключению цепи нагрузки от источника опасного тока. Недостатками термокатушки являются: необходимость их замены после срабатывания; относительно большие размеры и вес; установка только в специальные конструктивы (громполосы); длительное время срабатывания.

Наиболее широко распространенными в технике связи элементами токовой защиты являются позисторы. При превышении током, проходящим через позистор, некоторого порогового значения, позисторынагреваются и переходят из низкоомного состояния в высокоомное. Таким образом они ограничивают протекающий через них ток. После прекращения воздействия позистор остывает и восстанавливает малое внутреннее сопротивление. Именно это свойство является основным преимуществом позисторов по сравнению с плавкими вставками и термокатушками, которые являются одноразовыми элементами.

Как отмечалось ранее, полимерный самовосстанавливающийся предохранитель изготавливается из материала, внутри которого формируются низкоомные токопроводящие цепочки из углерода. При превышении током установленных границ рассеиваемая мощность увеличивается, что вызывает нагрев и расширение полимера. При достижении определенной температуры происходит разрыв токопроводящих цепочек, и элемент переходит в высокоомное состояние. Так происходит отключение защищаемой аппаратуры от линии связи.

2.2 Основные электрические параметры самовосстанавливающихся предохранителей, которые подлежат измерению и контролю.

Особое значение при производстве элементов токовой защиты, в частности, самовосстанавливающихся предохранителей, имеет метрологическое обеспечение.

В таблице 9 приведены основные электрические параметры самовосстанавливающихся предохранителей для поверхностного монтажа, которые подлежат измерению и контролю.

Таблица 9 – О сновные электрические параметры СП

Наименование параметра	Буквенное обозначение	Допускаемые границы	
		Не менее	Не более
Номинальное сопротивление, Ом	$R_{ном}$	0,01	0,25
Ток удержания, А	$I_{уд}$	1	6
Ток размыкания, А	$I_{разм}$	6	25
Максимальное время размыкания при 5·1 с.	$t_{ср}$	0,01	0,2

Согласно представленным характеристикам для измерения каждого параметра могут быть выбраны соответствующие средства измерений. Например, в таблице 10 приведены характеристики серийно выпускаемых средств измерений малых сопротивлений, которые удовлетворяют заданным требованиям.

Таблица 10 – Характеристики серийно выпускаемых средств

Тип средства измерений сопротивлений	Диапазон измерений, Ом	Предел допускаемой основной погрешности, %
Омметр цифровой Щ 34	от 0,001 до $1\cdot10^9$	$\pm[0{,}05+0{,}01(\frac{R_к}{R_x}-1)]$
Омметр цифровой Щ 306-1	от 0,001 до $1\cdot10^9$	$\pm[0{,}04+0{,}0025(\frac{R_к}{R_x}-1)]$

Аналогичным образом могут быть выбраны средства измерений токов размыкания и времени размыкания. Однако использование большого количества разнообразных средств измерений в составе измерительного комплекса, обеспечивающего

проведение контрольно-измерительных операций в ходе разработки, технологического и выходного контроля самовосстанавливающихся предохранителей, во многом усложняет процедуру измерения и приводит к неоправданным высоким временным и производственным затратам.

2.3 Основные технологии создания проводящего композита.

Следующим важнейшим этапом разработки является поиск и выбор технологических решений создания проводящего композита с заданными свойствами.

Выбранные технологические решения должны обеспечивать создание в полимерной матрице равномерной ячеистой структуры из проводящих частиц углерода. Естественно, что прежде всего необходимо обеспечить высокую степень равномерности распределения наполнителя в полимере.

Анализ достаточно скудной патентной информации, касающейся вопросов технологии изготовления, а также некоторых публикаций позволяет выделить три основные технологические схемы, посредством которых можно добиться цели.

1. Расплавная технология.

В соответствии с этой схемой технологический процесс проводится в расплаве полиэтилена при температуре ≈ 180°С. Приготавливается суспензия углерода в соответствующей дисперсионной среде (например, в акриловой кислоте).Определенный объем суспензии вводится при постоянном энергичном перемешивании в расплав полиэтилена, расплав гомогенизируется с использованием достаточно мощных диспергаторов со скоростью порядка 6000 об./мин. Далее гомогенизированный расплав через экструдер формируется в листовой полуфабрикат, из которого горячим прессованием при добавлении пероксодисульфата калия в качестве химического сшивателя полимерных цепей формируются пластины с требуемой толщиной.

2. Растворная технология.

В этом случае технологический процесс выполняется по следующей схеме. В подходящем растворителе (например, додекане) при температуре ≈80°С растворяется полиэтилен.

Аналогично, как и в первом варианте готовится суспензия углерода в акриловой кислоте и тщательно диспергируется. Подготовленные компоненты смешиваются в необходимой пропорции; полученная жидкая смесь гомогенизируется мощным диспергатором до получения однородной

эмульсии. Далее система упаривается до кашицеобразного состояния и из нее формируется лентообразный полуфабрикат, последний горячим прессованием формируется в пластину. На этой же стадии в массу добавляется сшиватель.

3. Порошковая технология.

Данная технологическая схема заключается в следующем.

На специальном оборудовании полиэтилен, который, как правило, выпускается промышленностью в гранулах, измельчается до порошкообразного состояния (≈ 100 мкм). Аналогично первым двум схемам готовится суспензия углерода, которая в необходимом соотношении смешивается с порошкообразным полиэтиленом. Далее следует гомогенизация системы с помощью диспергатора, в результате которой образуется суспензия, состоящая из мелких частиц полиэтилена, на поверхности которых адсорбированы мельчайшие частицы углерода. Система упаривается (при необходимости) с целью удаления избытка жидкой фазы и горячим прессованием при добавлении химического сшивателя формируется в тонкую пластину.

Очевидно, что заключительная стадия всех трех технологических схем одинаковая. При температуре (170 – 180)°С в течение (10 – 20) мин производится горячее прессование наполненного полимера в тонкую пластину толщиной порядка (0,25 – 0,30) мм.

Анализ представленных технологических схем позволяет выявить наряду с несомненными положительными сторонами ряд существенных недостатков каждого из методов. Определенно, что более равномерного распределения наполнителя в полимерной матрице, что очень важно, можно достичь, если полимер находится в жидкой фазе, т.е. растворе или расплаве. Однако, «расплавная» технология предполагает проведение всех стадий процесса при высокой температуре в расплавленной реакционной массе, что требует наличия специального технологического оборудования, включая дорогостоящие реакторные системы. Следовательно, данная схема может быть эффективной лишь в условиях крупносерийного производства.

«Растворная» технология также имеет свои недостатки. В первую очередь, следует назвать большую трудоемкость процесса, связанную с растворением достаточно труднорастворимого полимера, необходимостью ведения этого процесса при повышенных (до 80°С) температурах в органических растворителях. Причем выбор подходящих растворителей очень ограничен. Например, наиболее пригодным для растворения полиэтилена является додекан, растворитель дорогостоящий.

Таким образом, повышенная трудоемкость, большая стоимость применяемых растворителей наряду с создаваемыми экологическими проблемами также ограничивает реализацию данной технологической схемы в производстве.

Оправданным можно считать ее применение для изготовления специального композита лишь в очень ограниченных объемах, включая и экспериментальные партии материала.

Наиболее предпочтительной на этом фоне представляется технологическая схема, основанная на использовании порошкообразных исходных компонентов.

«Порошковая» технология, однако, особенно чувствительна к степени дисперсности полимера. Измельчение полимера до высокодисперсного состояния требует наличия специального оборудования типа высокодисперсных роторных мельниц. В России в товарном виде порошкообразный полиэтилен не выпускается, однако есть организации, которые обладают всем необходимым оборудованием для его измельчения.

Преимущества же данной технологической схемы неоспоримы.

Во-первых, технологический процесс практически до заключительной стадии горячего прессования проводится при температурах, близких к комнатной.

Во-вторых, не требуется применение в больших объемах дорогостоящих специфических растворителей, что одновременно делает технологический процесс экологически более чистым.

Таким образом, проведенная в ходе выполнения работ первого этапа проработка материаловедческих и технологических задач по поиску и выбору необходимых материалов и технологических решений с целью создания функциональной основы разрабатываемых СП, а также результаты исследований, выполненных на Химическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова, позволили определить основной набор материалов и химических компонентов, необходимых для выполнения работ следующего этапа.

В набор входят:

-полиэтилен высокого давления (ПЭВД) со степенью кристалличности (50 – 65)%;

-полиэтилен низкого давления (ПЭНД) со степенью кристалличности (75 – 85)%;

-углерод рентгеноаморфный (сажа ацетиленовая, углерод – сажа из устойчивого к нагреванию графита, препарат каллоидно-графитовый сухой *С2*).

Также сделан выбор технологических решений создания специального полимерного композита для разрабатываемых изделий.

Из трех возможных технологических схем: «расплавной», «порошковой» и «растворной», более перспективными в плане реализации являются «порошковая» и «растворная» технологии. Названные технологические схемы лягут в основу последующих экспериментальных работ для проверки оптимальности принятых решений.

2.4 Решение материаловедческих задач по созданию специальныхпластмасс

Функциональную основу самовосстанавливающихся предохранителей в упрощенном виде можно представить как систему, состоящую из двух основных компонентов: непроводящего полимерного материала и равномерно распределенного внутри полимера высокодисперсного технического углерода.

Каждый из названных компонентов должен обладать особым набором специфических свойств, чтобы обеспечить необходимый режим функционирования прибора, механизм которого рассмотрен выше.

Так, основными требованиями, которыми следует руководствоваться при выборе полимерного материала являются следующие:

1. Прежде всего, это способность полимера к обратимой кристаллизации, поскольку работа самовосстанавливающихся предохранителей основана на фазовых переходах при определенной «переходной» температуре кристаллической фазы полимера в аморфную и обратно.

2. Другим условием выбора полимера, непосредственно связанным с первым, является то, что «переходная» температура должна находиться в области рабочих температур не ниже 70°С, чтобы не происходило преждевременного срабатывания СП, и не выше 125°С, чтобы СП был безопасен для других электронных компонентов и его можно было бы размещать в любом месте устройства.

3. Важным свойством также является способность полимера к формированию тонких пленок, что открывает возможность использования такого полимера для создания пленочных изделий специального назначения, в частности, СП.

Таким особым сочетанием свойств наряду с механической прочностью, химической стойкостью, хорошими диэлектрическими показателями, низкой газо и влагопроницаемостью, а также легкостью переработки в изделия всеми известными способами, доступностью сырья отличается наиболее известный представитель класса полиолефинов – полиэтилен (ПЭ).

Полиэтилен представляет собой высокомолекулярный продукт полимеризации этилена. Макромолекулы полиэтилена имеют линейное строение с небольшим числом боковых ответвлений. Молекулярный вес его в зависимости от метода и режима полимеризации колеблется от десятков тысяч до нескольких миллионов а.е.

Полиэтилен – кристаллический полимер: при температуре около 20°С степень его кристалличности достигает (50 – 90)% (в зависимости от метода получения).

Известно несколько промышленных методов получения ПЭ.

1. Полимеризация этилена при высоком давлении (1000 – 3500 кг/см^2). Процесс протекает при (200 – 300)°С в расплаве в присутствии инициаторов (перекисных соединений). Получаемый по этому методу полиэтилен имеет средневесовой молекулярный вес 80000 – 500000 а.е. и степень кристалличности (50 – 65)%. Такой полиэтилен называют полиэтиленами высокого давления (ПЭВД) или полиэтиленом низкой плотности (ПЭНП).

2. Полимеризация этилена при низком давлении (менее 40 кг/см^2) с использованием металлоорганических катализаторов. Полимеризация протекает, как правило, при температуре ≈ 80°С в суспензии в органических растворителях. Образуются менее разветвленные и более длинные макромолекулы. Средневесовой молекулярный вес находится в пределах 80000 – 3000000 а.е., а степень кристалличности (75 – 85)%. Такой полиэтилен называется полиэтиленом низкого давления (ПЭНД) или полиэтиленом высокой плотности (ПЭВП).

3. Полимеризация этилена при давлении (30 – 40) кг/см^2 и температуре 150°С в растворе с использованием в качестве катализаторов окислов металлов переменной важности. Полимер обладает наиболее упорядоченной структурой. Молекулярный вес 300000 – 400000 а.е., степень кристалличности (80 – 90)%. Получаемый полиэтилен называют полиэтиленом среднего давления (ПЭСД).

Наиболее разветвленными являются макромолекулы ПЭВД, менее разветвленными – макромолекулы ПЭНД. Наличие боковых коротких ответвлений в макромолекулах ПЭ нарушает упорядоченное расположение молекул и приводит к образованию наряду с кристаллическими участками и аморфных областей. Большим количеством боковых ответвлений объясняется более низкая кристалличность и соответственно более низкая плотность (г/см^3) ПЭВД (0,91 – 0,93) по сравнению с ПЭНД (0,95 – 0,96).

Степень кристалличности полимера с повышением температуры уменьшается. ПЭВД становится аморфным при температуре (108 – 110)°С, а ПЭНД – при температуре 130°С и выше.

Соответственно изменяется удельный объем. Зависимость удельного объема от температуры показана на рисунке 4

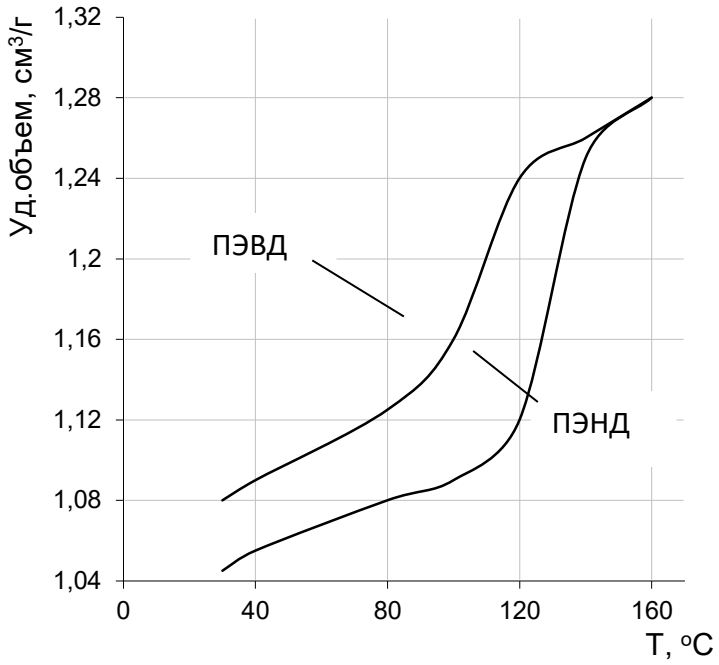


Рисунок 4- Зависимость удельного объема от температуры

Вторым компонентом, составляющим функциональную основу СП, является, как правило, мелкодисперсный технический углерод, распределенный в полимерной матрице.

Анализ механизма, на основе которого работает такая система, также приводит к очевидному выводу о важности многих факторов, связанных с физико-химическими характеристиками наполнителя. В первую очередь к таковым следует отнести его дисперсионные характеристики.

Высокодисперсные порошки, состоящие из частиц сферической (или близко к сферической) формы и мало отличающиеся по размерам, т.е. монодисперсные, способны при соответствующих технологических режимах перемешивания образовывать в полимерной матрице трехмерную ячеистую структуру с наименьшим перколяционным порогом. В этом случае проводимость в системе появляется при наименьшей объемной концентрации наполнителя.

Если же проводящие частицы крупные, неправильной формы и/или не монодисперсные, то образуется искаженная ячеистая структура с локальными концентрированными скоплениями проводящих частиц, в которых мелкие частицы шунтируются более крупными. Это приводит к кажущемуся

снижению объемной концентрации наполнителя, и перколяционный порог наступает при значительно большей объемной концентрации частиц.

Таким образом, выбор исходных компонентов для создания полимерного проводящего композита для самовосстанавливающихся предохранителей должен основываться на целенаправленном поиске и выборе материалов с теми или иными, но определенными свойствами.

3 Устройства для измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей

3.1Разработка устройства для измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей

Было разработано измерительное приспособление, которое позволит объединить функции всех средств измерений, необходимых для измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей и автоматизировать процесс измерения. Приспособление состоит из омметра ОА3205 для измерения номинального электрического сопротивления самовосстанавливающегося предохранителя при рабочем токе и электронного блока для измерения его времени срабатывания (размыкания).

Основные технические характеристики омметра ОА3205 приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Основные технические характеристики омметра ОА3205

Предел измерения	Единица младшего разряда	Допускаемая основная погрешность, %
1 Ом	100 мкОм	$\pm\left[0{,}1+0{,}2\cdot\left(\frac{1Ом}{R_{xi}}-1\right)\right]$
10 Ом	1 мОм	$\pm\left[0{,}1+0{,}2\cdot\left(\frac{10Ом}{R_{xi}}-1\right)\right]$
100 Ом	10 мОм	$\pm\left[0{,}1+0{,}2\cdot\left(\frac{100Ом}{R_{xi}}-1\right)\right]$
1 кОм	100 мОм	$\pm\left[0{,}1+0{,}2\cdot\left(\frac{1кОм}{R_{xi}}-1\right)\right]$
10 кОм	1 Ом	$\pm\left[0{,}1+0{,}2\cdot\left(\frac{10кОм}{R_{xi}}-1\right)\right]$
100 кОм	10 Ом	$\pm\left[0{,}1+0{,}2\cdot\left(\frac{100кОм}{R_{xi}}-1\right)\right]$

Структурная схема разработанного электронного блока для измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей показана на рисунке 5

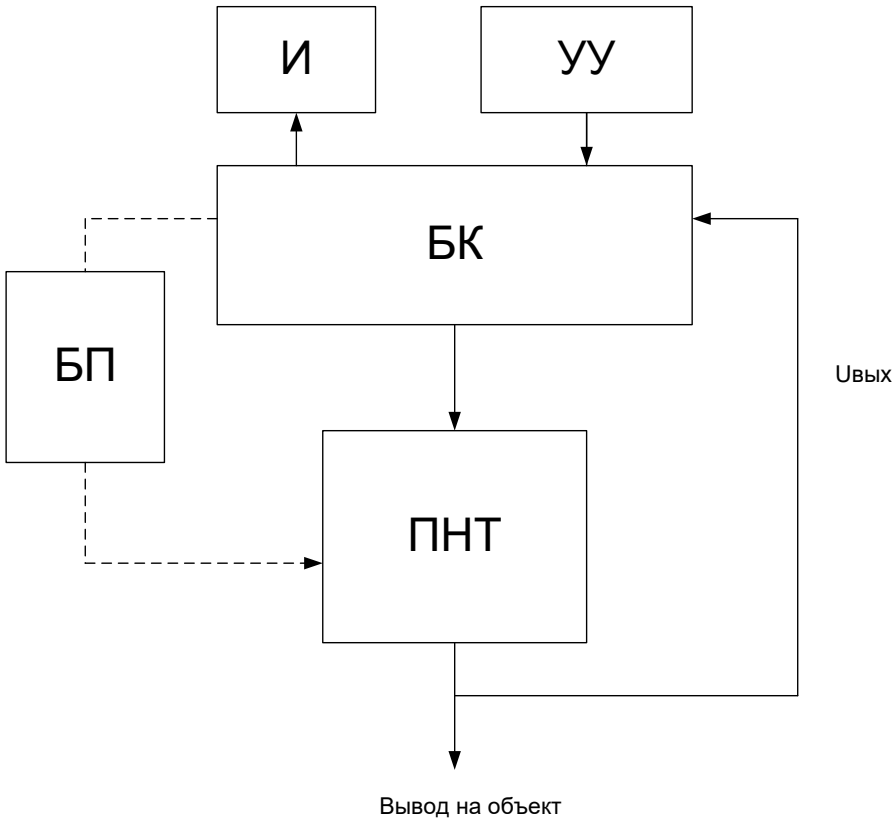


Рисунок 5- Структурная схема электронного блока

На рисунке 5:

1.БК – блок комбинированный.

2.ПТН – преобразователь напряжения в ток.

3.БП – блок питания.

4.И – индикатор.

5.УУ – устройство управления.

Принцип работы схемы заключается в следующем. С помощью устройства управления (УУ) оператором выбираются режимы задания максимального напряжения от 0 до 30 В и тестового тока от 0,5 до 25 А. Значения напряжения и тока устанавливаются клавишами ► или ◄ с помощью индикатора (И). По заданному значению тестового тока блок комбинированный (БК) формирует напряжение, которое преобразуется в ток преобразователем напряжения в ток (ПНТ), подаваемый на контролируемый самовосстанавливающийся предохранитель.

При этом постоянно контролируется значение напряжения на предохранителе $U_{вых}$ до достижения уровня максимального.

Время срабатывания (размыкания) предохранителя определяется как интервал между моментом подачи тестового тока на предохранитель и моментом достижения падения напряжения на предохранителе значения соответствующего заданному максимальному. Результат измерения времени срабатывания отображается на индикаторе с разрешающей способностью 0,1с.

Учитывая вышеизложенное можно сделать вывод, что метрологическое обеспечение ФГУП «НИИЭМП» позволяет создавать самовосстанавливающиеся предохранители для поверхностного монтажа с требуемыми характеристиками и может обеспечить контроль этих характеристик в условиях серийного производства.

3.2 Основные узлы

Все электромеханические приборы несмотря на конструктивные отличия имеют ряд общих узлов и деталей: опоры подвижной части, отсчетные устройства, балансирующие грузчики, корпусы. Также в комплекте должны идти измерительные кабели, но без видимости собранной информации прибор не имеет смысла. Для этого в разрабатываемом устройстве используется жидкокристаллический символьный индикатор (ЖКИ).

В таком индикаторе матрица пикселей разбита на подматрицы, каждая подматрица предназначена для формирования одного символа: цифры, буквы или знака препинания. Для упрощения взаимодействия микропроцессорной системы и ЖКИ используют специализированную микросхему – контроллер (драйвер) ЖКИ. Он управляет пикселями жидкокристаллического дисплея и интерфейсной частью индикатора. Обычно такой контроллер входит в состав индикатора. В целом жидкокристаллический индикатор представляет собой печатную плату, на которой смонтирован сам дисплей, контроллер и необходимые дополнительные электронные компоненты. Самый простой индикатор изображён на рисунке 6.

Рисунок 6 – Простейший индикатор

Для нашего устройства подойдёт двухстрочный восьмисимвольныйЖКИ.

Когда микроконтроллер передает в контроллер ЖКИ *ASCII*-коды символов, то они записываются в *DDRAM* (*Displaydata RAM* – ОЗУ *ASC*II-кодов отображаемых символов), такую память называют видеопамятью или видеобуфером. Видеобуфер в символьных индикаторах обычно содержит 80 ячеек памяти – больше, чем число знакомест дисплея.

Матрицы начертания символов хранятся в памяти знакогенератора. Память знакогенератора включает в себя *CGROM* (*Charactergenerator* ROM – ПЗУ знакогенератора), в которую на заводе-изготовителе загружены начертания символов таблицы *ASCII*. Содержимое *CGROM* изменить нельзя. Для того, чтобы пользователь смог самостоятельно задать начертание нужных ему символов, в знакогенераторе имеется специальное ОЗУ – *CGRAM (Charactergenerator RAM*). Под ячейки *CGRAM* отведены первые (младшие) 16 адресов таблицы кодов. Схема подключения ЖКИ к микроконтроллеру показана на рисунке 7.

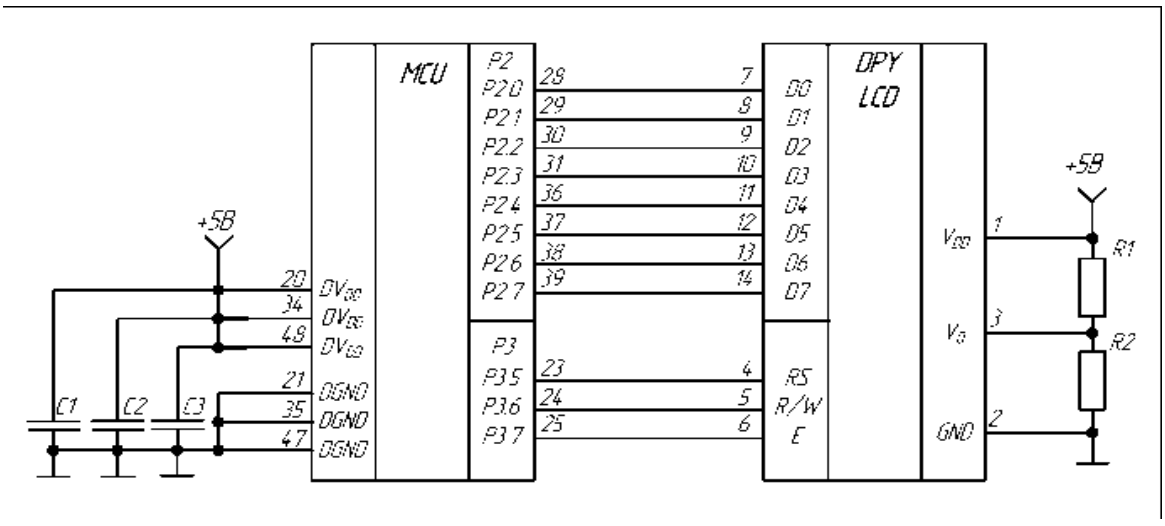


Рисунок 7 – Схема подключения ЖКИ

Интерфейс подключения – параллельный. Для соединения индикатора с микроконтроллером используется 11 линий — восемь для передачи данных (*D0 - D7*) и три линии управления. Линия *RS* служит для сообщения контроллеру индикатора о том, что именно передается по шине: команда или данные (*RS* = 1 — данные, *RS* = 0 —команда).По линии *E* передается строб-сигнал, сопровождающий запись или чтение данных: по переходу сигнала на линии *E* из 1 в 0 осуществляется запись данных во входной буфер микроконтроллера индикатора. Запись информации в ЖКИ происходит по спаду этого сигнала. Потенциал на управляющем выводе *R/W (Read/Write*) задает направление передачи информации, при *R/W* = 0 осуществляется запись в память индикатора, при *R/W* = 1 – чтение из нее.

Диаграммы передачи данных от управляющего микроконтроллера к контроллеру ЖКИ и от контроллера ЖКИ в управляющий микроконтроллер показаны на рисунках 7 и 8 соответственно.

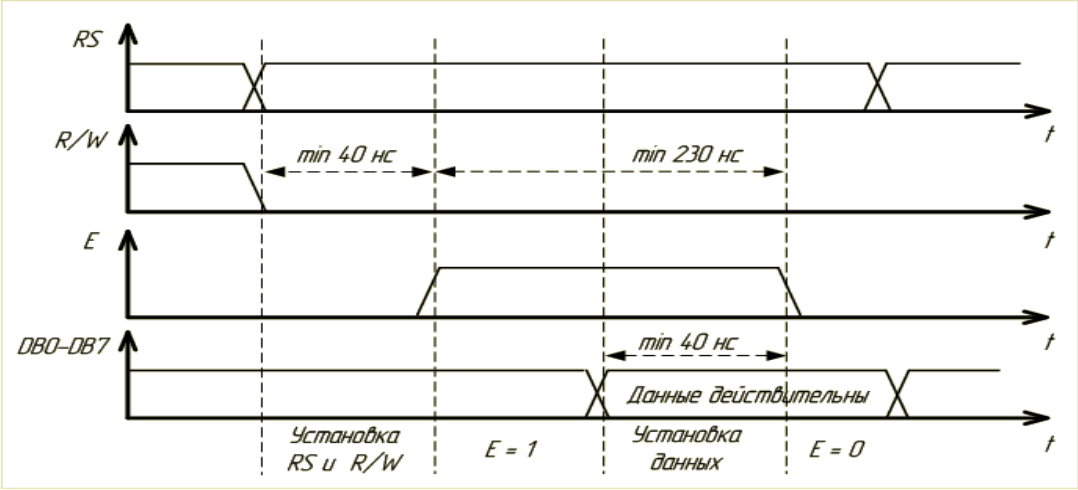


Рисунок 7 – Диаграмма передачи информации контроллеру ЖКИ

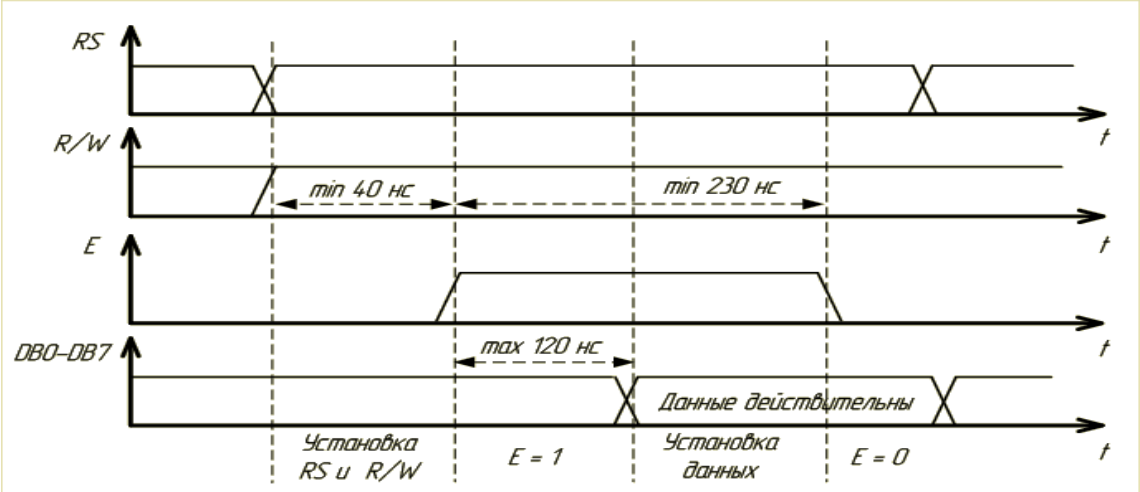


Рисунок 8 – Диаграмма чтения информации из контроллера ЖКИ

После приема информации контроллеру ЖКИ требуется некоторое время на выполнение команд, в это время управляющий контроллер не должен давать следующую команду или пересылать данные.

Перед началом работы требуется произвести инициализацию ЖКИ согласно алгоритму, показанному на рисунке 9.

Программа для работы с ЖКИ организована в виде функций, выполняющих определенные действия, причем более сложные функции могут включать в себя простейшие. Простейшими являются такие подпрограммы, как функция, отправляющая команду контроллеру дисплея; функция, устанавливающая счетчик адреса; или функция, записывающая данные в *DDRAM*.

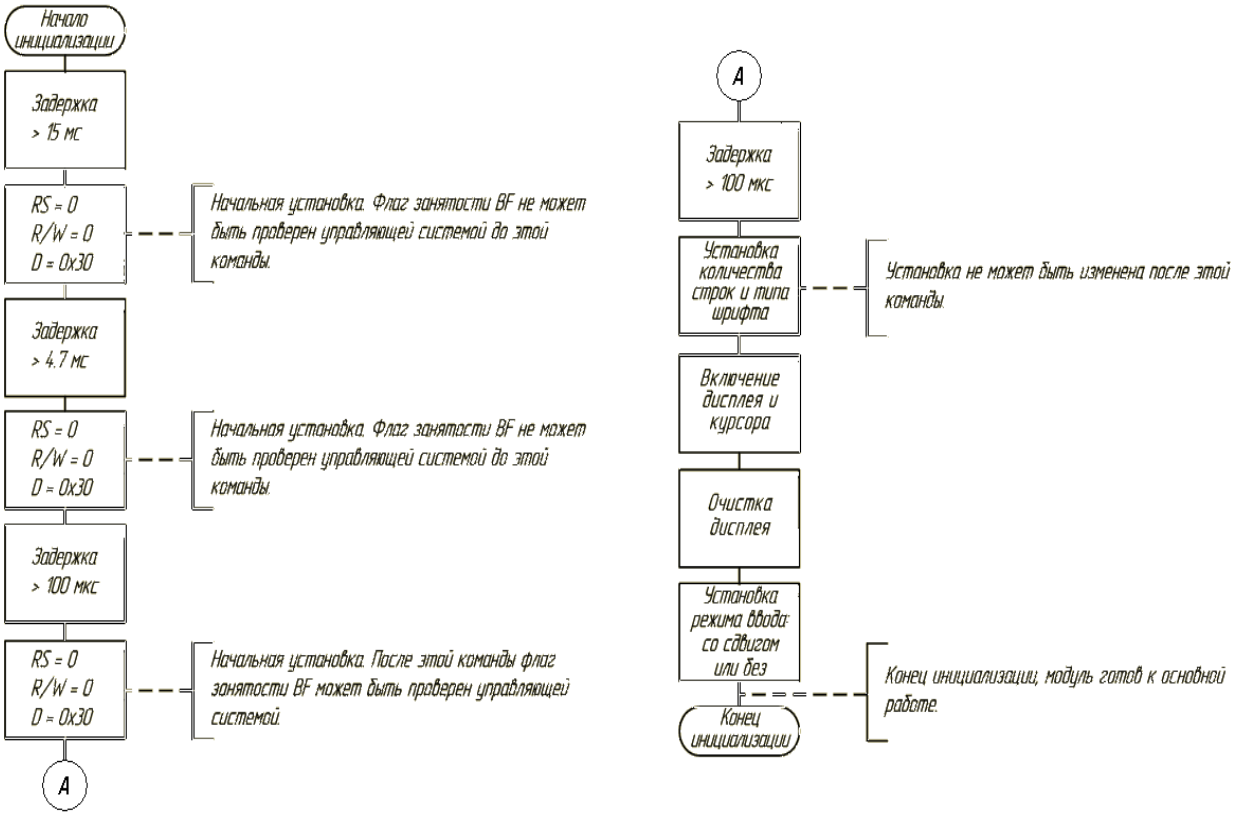


Рисунок 9 – Инициализация ЖКИ

Руководствуясь диаграммой передачи информации определим последовательность действий при передаче информации в ЖКИ следующим образом: устанавливаем требуемое значение *RS*, на линию *R/W* подаем логический ноль, затем на линию *E* выводим логическую единицу, после чего подаем на шину *D* значение передаваемого байта. Контроллер ЖКИ считает

этот байт и состояние управляющих линий (*RS, R/W*) только после подачи на линию E логического ноля. При этом, если временные задержки, указные на диаграмме, меньше длительности машинного цикла, то ими можно пренебречь.

Еще одним структурным элементом является матричная клавиатура, которая работает в режиме опроса столбцов и строк по стандартному алгоритму.

3.3 Выбор элементной базы

Для организации коммуникационного интерфейса *RS–232* была использована микросхема *ADM232*. На рисунке 10 представлено условно-графическое изображение и принципиальная схема *ADM232*.

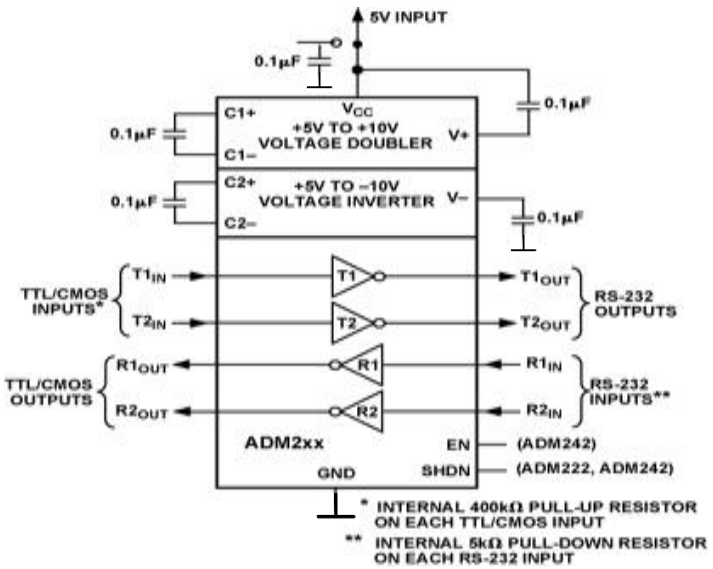


Рисунок 10 – Условно-графическое изображение *ADM232*

Микросхемы *ADM222*, *ADM232A* и *ADM242* образуют семейство быстродействующих драйверов/приемников *RS-232* , поддерживающих скорость передачи данных до 200 кбит/с. Высокоэффективная интегрированная схема накачки заряда позволяет формировать биполярные уровни стандарта *RS-232* из одного напряжения питания +5 В, используя внешние конденсаторы малого номинала (0.1 мкФ).

Компоненты производятся по продвинутой технологии изготовления схем со смешанными сигналами *BiCMOS*, которая позволяет объединять малопотребляющие схемы на КМОП транзисторах с быстродействующими

схемами на биполярных транзисторах. Это дает возможность минимизировать рабочий потребляемый ток до уровня менее 5 мА.

ADM232A представляет собой совместимый по выводам, быстродействующий функциональный аналог для замещения *AD232* и *ADM232L*. Он выпускается в 16-выводном корпусе *DIP*, а также в широком и узком корпусах *SOIC*.

Для элементов реализующих гальваническую развязку используем оптроны 6n137.

Для построения схемы измерения сопротивления был выбран микроконтроллер *ADuC824* который имеет два независимых модуля сигма-дельта АЦП, предназначенных для измерения напряжения в области низких частот в широком динамическом диапазоне. Поскольку общая идеология построения МК такова, что модули АЦП с их аналоговой периферией являются основными компонентами устройства, а процессорное ядро и цифровая периферия - вспомогательными. В устройстве использован основной АЦП.

Модуль основного АЦП предназначен для преобразования сигналов от первичных датчиков. Входы модуля буферизованы и могут быть программно настроены на один из восьми диапазонов входных сигналов от ±20 мВ до ±2,56 В, причем измеряемые сигналы могут подаваться на одну из трех дифференциальных пар входов *AIN1-AIN2*, *AIN3-AIN4* или *AIN3-AIN2*. Для данной реализации выбрана пара *AIN1-AIN2*.

Поскольку входы снабжены буферами, к ним можно подключать источники сигналов с большим выходным сопротивлением, а также, если потребуется, устанавливать непосредственно на входах *RC*-фильтры для уменьшения внешних шумов и наводок. Поэтому между делителем напряжения и АЦП нет необходимости в согласующем элементе типа повторителя напряжения. Как следствие делитель подключен напрямую.

Для достижения 24-битного разрешения без пропуска кодов в АЦП используется принцип сигма-дельта преобразования. Сигма-дельта модулятор преобразует входной аналоговый сигнал в последовательность цифровых импульсов, скважность которых содержит в себе информацию о величине

измеряемого сигнала. В качестве встроенного узла математической обработки результатов преобразования используется программируемый низкочастотный аппаратный фильтр с характеристикой вида (sin(x)/x) . Фильтр позволяет программно устанавливать частоту обновления данных на выходе от 5,35 Гц до 105,03 Гц. Модуль основного АЦП является 24- разрядным, однако, одиночное преобразование не обеспечивает реального разрешения в 24 двоичных разряда, так как на входной сигнал при измерениях накладываются шумы, поэтому младшие 5-6 разрядов в результате каждого последующего преобразования будут меняться («дрожать»). Для увеличения реального разрешения производитель рекомендует использовать программную обработку (усреднение по выборке, программные фильтры со скользящим окном и т. п.) результатов преобразований. Модуль основного АЦП работает в биполярном режиме.

Для осуществления корректного преобразования с гарантией получения достоверного результата следует после переключения входных линий произвести программную задержку на время установления напряжения на входе АЦП.

Для модуля основного АЦП значения входных напряжений могут находиться в пределах от уровня *AGND*+100 мВ до уровня *AVDD* -100 мВ. В случае выхода входного измеряемого напряжения за эти значения достоверность результата преобразования не гарантируется.

В частности, не следует заземлять одну из линий в дифференциальной входе модуля. Выход буфера основного АЦП подключен к входу встроенного усилителя с программируемым коэффициентом усиления (*PGA*). Коэффициент усиления *PGA* может быть программно выбран из восьми возможных значений. В данной реализации он равен 1.

В составе МК имеется встроенный модуль 12-битного ЦАП, преобразующий цифровой код на своем входе в выходное аналоговое напряжение. Цифровой вход ЦАП программно доступен в виде пары специальных регистров. ЦАП имеет на выходе буферный усилитель напряжения, обеспечивающий размах выходного сигнала во всем диапазоне питающего напряжения. На выход усилителя можно подключать нагрузку сопротивлением не менее 10 кОм

и емкостью не более 100 пФ. ЦАП имеет два программно выбираемых диапазона выходного напряжения: от 0 до *VREF* (*VREF* = 2,5 В, это напряжение внутреннего ИОН модуля ЦАП) и от 0 до *AVDD*. Модуль ЦАП может работать в 12- или в 8-битном режимах. Программный доступ к ЦАП осуществляется через специальный регистр управления *DACCON* и два специальных регистра данных *DACL* и *DACH*. Программно также можно выбрать, на какую ножку микроконвертора будет подаваться выходное напряжение ЦАП: вывод 3 или вывод 12. В данном случае ЦАП сконфигурирован так, что его выход подключен к выводу 12 который в свою очередь подключен к выводу *REF+*. Данное включение оправдано тем, что ЦАП играет роль источника опорного напряжения для АЦП. Конфигурация ЦАП обеспечивает на выходе напряжение +2,5 В.

Для получения независимых напряжений +5 В были использованы две схемы реализованные на диодных мостах, осуществляющих двухполупериодное выпрямление в стабилизаторах напряжения линейного типа. В качестве стабилизатора напряжения для питания микроконтроллера использована интегральная микросхема *LM2905* с напряжением стабилизации 5В.

4 Стандарты для электрического освещения

4.1 Общие требования к освещению

Проектирование и эксплуатация систем как естественного, так и искусственного освещения должны обеспечивать оптимальные условия видимости, безопасность, энергоэффективность и соответствовать действующим нормативам. Основными регламентирующими документами в этой области являются СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение», НПБ 249-97, а также иные акты, согласованные с Минстроем РФ и другими ведомствами.

Основные нормативные параметры

При проектировании осветительных установок необходимо учитывать:

-нормируемую освещённость в зависимости от назначения помещения или территории;

-ограничения на ослепляющее воздействие светильников (показатели UGR);

-допустимый уровень пульсаций света (не должен вызывать утомляемость или головную боль);

-равномерность освещения на рабочих поверхностях;

-выбор типа и режима освещения — общее, местное, комбинированное, аварийное, эвакуационное и декоративное.

Требования к светильникам и источникам света.

Светильники, применяемые в зданиях и сооружениях, должны соответствовать требованиям пожарной безопасности (НПБ 249-97). Для освещения рекомендуется использовать:

1.Разрядные лампы низкого давления (например, люминесцентные).

1.Лампы высокого давления: металлогалогенные (ДРИ, ДРИЗ), натриевые (ДНаТ), ртутные (ДРЛ), ксеноновые (ДКсТ, ДКсТЛ).

3.В допустимых случаях — лампы накаливания.

Применение ксеноновых ламп ДКсТ внутри помещений допускается только с согласия санитарного надзора и при соблюдении ограничения по горизонтальной освещенности (не более 150 лк в зонах длительного пребывания людей). Также должны быть приняты меры по защите операторов и машинистов от прямого света.

Условия эксплуатации для ламп.

1.Температура воздуха в зоне эксплуатации люминесцентных ламп — не ниже +5 °C.

2.Напряжение питания должно составлять не менее 90% от номинального.

Для аварийных нужд предпочтительно применять светильники с лампами накаливания или люминесцентными.

Электропитание осветительных приборов

Обычное напряжение для внутренних и наружных светильников — не более 220 В переменного или постоянного тока. Однако в определённых случаях допускается питание от 380 В, при условии:

- использования проводов/кабелей с изоляцией не менее чем на 660 В;

- отсутствия подачи на прибор проводов разных фаз в системе 660/380 В.

Меры безопасности в опасных зонах

В помещениях с повышенной или особой степенью опасности (влажность, химические пары, риск поражения током), если светильники установлены ниже 2,5 м:

- запрещается применение светильников класса защиты 0;

- обязательно использование оборудования классов 2 или 3;

- допускаются светильники класса 1, но с обязательным УЗО (30 мА и менее).

Крановое обслуживание требует соблюдения минимального расстояния до мостового настила (1,8 м) или подвеса ниже пояса ферм.

Специальные виды освещения

1.Фасады, монументы, зелёные зоны: допускается напряжение до 380 В при уровне защиты не ниже IP54.

2.Фонтаны и бассейны: питание погружаемых светильников не должно превышать 12 В.

3.Местное освещение с лампами накаливания:

До 220 В — в обычных условиях.

До 50 В — в условиях повышенной опасности (допускается 220 В при наличии УЗО или разделяющего трансформатора).

4.Люминесцентные лампы — только в специальных арматурах в сырых, жарких или агрессивных средах.

5. Разрядные лампы (ДРЛ, ДРИ и ДНаТ) — в специальной арматуре, при напряжении не более 220 В.

Переносные светильники

Для ручных и подвесных светильников в опасных зонах напряжение питания:

- не должно превышать 50 В;

- при особо опасных условиях — до 12 В;

- допускается питание от разделяющих трансформаторов или автономных источников.

Светильники на стойках высотой от 2,5 м можно подключать к сети до 380 В, при условии соблюдения требований по защите от поражения током.

Качество электроэнергии

Напряжение питания осветительных устройств должно соответствовать стандарту ГОСТ 13109-87, регламентирующему отклонения и колебания в сетях общего назначения. При совместном питании силовых и осветительных нагрузок (от трансформаторов 380/220 В) необходимо обеспечить стабильность параметров электроэнергии.

4.2 Защитные меры безопасности

Оборудование общего освещения:

1. Светильники со встроенными ПРА (лампы накаливания, люминесцентные, ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, натриевые):

- сети с заземленной нейтралью (*TN*-системы): Заземление металлических корпусов реализуется посредством присоединения PE-проводника к заземляющему винту корпуса. Важно: Использование ответвления от нулевого рабочего (N) провода внутри светильника для заземления корпуса недопустимо.

- сети с изолированной нейтралью*(IT*-системы) / Сети с резервированием от АКБ: Заземление корпуса обеспечивается подключением защитного проводника к заземляющему винту. Требование: При вводе в светильник проводов без механической защиты, защитный проводник должен обладать гибкостью.

2. Светильники с вынесенными ПРА (ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ, люминесцентные): Заземление корпуса выполняется путем установки перемычки между заземляющим винтом уже заземленного пускорегулирующего аппарата и заземляющим винтом самого светильника.

Примечание: Металлические отражатели в светильниках с корпусами из диэлектрических материалов заземлению не подлежат.

Оборудование местного освещения (напряжение >50 В): Заземление металлических корпусов переносных или стационарных светильников должно соответствовать условиям:

1. При подключении защитных проводников к металлоконструкции (а не напрямую к корпусу светильника), необходимо обеспечить надежное электрическое соединение между этой конструкцией, кронштейном и корпусом светильника.

2. При отсутствии надежного контакта между кронштейном и корпусом светильника, соединение должно быть выполнено с помощью специального защитного проводника, предназначенного для этой цели.

Требования к помещениям различного класса:

1.Общее освещение (все типы ламп): Защитное заземление металлических корпусов светильников является обязательным во вновь строящихся и реконструируемых жилых, общественных зданиях, а также в административных, бытовых, проектных, лабораторных и подобных помещениях промышленных предприятий (приравненных по характеристикам к общественным зданиям), независимо от класса опасности помещения (без повышенной опасности, с повышенной опасностью, особо опасные).

2.Помещения без повышенной опасности (производственные, жилые, общественные): При использовании напряжения свыше 50 В для местного освещения должны применяться исключительно переносные светильники

класса I по ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности».

Особенности групповых линий и защитных проводников:

1.В групповых линиях сетей с изолированной нейтралью (IT) защитный проводник подключается к заземляющему устройству.

2.Запрет: В сетях с заземленной нейтралью (*TN*) на групповых линиях, питающих светильники общего освещения и розетки, не допускается объединение нулевого рабочего (*N*) и нулевого защитного (*PE*) проводников под один контактный зажим.

Наружное освещение:

1. Общее требование: Заземление осветительных приборов должно сопровождаться подключением к заземлителю (или PE/PEN-проводнику) металлических и железобетонных опор, а также несущих тросов.

- сети с изолированной нейтралью (*IT*): Подключение к заземлителю.
- сети с заземленной нейтралью (*TN*): Подключение к *PE* или *PEN*-проводнику.

2. Специфика опор электрифицированного транспорта:

- IT-сети: Заземление установленных на таких опорах осветительных приборов и самих опор запрещено.

-*TN*-сети: Приборы и опоры должны быть подключены к *PEN*-проводнику питающей линии.

3. Защита от атмосферных воздействий: При питании наружного освещения воздушными линиями обязательна организация защиты от грозовых перенапряжений в соответствии с нормами главы 2.4 ПУЭ.

4. Применение УЗО: Схемы питания светильников и розеток должны предусматривать установку устройств защитного отключения (УЗО) согласно действующим требованиям.

Рекомендация для спецобъектов (фасады, монументы, реклама, указатели): В сетях *TN-S* или *TN-C-S* целесообразна установка УЗО с дифференциальным током срабатывания ≤30 мА. При этом фоновый ток утечки в цепи не должен превышать 1/3 уставки УЗО по дифференциальному току.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Самовосстанавливающийся предохранитель обычно состоит из полимерного материала с инкрустированными проводниками. При нормальной работе он находится в состоянии низкого сопротивления, позволяя электрическому току проходить через себя без проблем. Однако, при возникновении перегрузки или короткого замыкания, ток вызывает нагревание предохранителя, что приводит к изменению его структуры и увеличению сопротивления. В результате, электрический ток ограничивается до безопасного уровня или полностью прекращается. Когда нагрузка исчезает, предохранитель освобождает тепло и возвращает свою структуру в исходное состояние.

Самовосстанавливающийся предохранитель работает по принципу термоэлектрического действия. Когда ток протекает через предохранитель и вызывает его перегрузку, встроенный термический элемент нагревается и становится проводящим. Когда текущий проходящий через предохранитель снижается до безопасного уровня, термический элемент остывает и возвращается к своему изоляционному состоянию.

Самовосстанавливающиеся предохранители широко применяются в различных областях, включая электронику, автомобильную промышленность, бытовые приборы и телекоммуникационное оборудование. Они используются для защиты электрических цепей от перегрузок и коротких замыканий, чтобы предотвратить повреждения оборудования и поддержать его нормальную работу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. И. Смыслов «Новые возможности передовой технологии. Позисторные нагреватели», «Электроника: Наука, технология, бизнес», вып. 4, 1985 г.

2. Ф. Медведев, П. Никитин, Г. Текстер-Проскурякова, С. Тесленко «Керамические полупроводниковые нелинейные резисторы», «Электроника: Наука, технология, бизнес», вып. 6, 2002 г.

3. К. Курышев «Полимерные предохранители *PolySwitch* – надежный способ обратимой защиты электрических цепей от повреждений», «Компоненты и технологии», вып. 2, 2001 г.

4. Самовосстанавливающиеся предохранители – инновации в системах защиты аппаратуры. Параметры самовосстанавливающихся предохранителей- *https://yargruz76.ru/adjustment/sbrasyvaemyi-predohranitel-kak-rabotaet-samovosstanavlivayushchiesya.html*

5.А.В. Петров, Л.М. Иванова «Материалы и технологии для самовосстанавливающихся предохранителей», М.: Издательство МГТУ, 2018.

6.Дж. Смит, Р. Браун «Полимерные композиты в электронике: применение и перспективы», «*AdvancedMaterials*», *vol. 30, no.* 15, 2019.

7.В.П. Григорьев, С.А. Козлов «Метрологическое обеспечение производства электронных компонентов», СПб.:Энергоатомиздат, 2020.

8. Raychem Corporation «Technical Guide for PolySwitch Devices», 2021. *https://www.raychem.com*

9. М.Н. Зубков, Е.Л. Соколова «Деградация полимерных материалов в электронных компонентах», «Пластические массы», № 5, 2022.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Задание на выпускную квалификационную работу

«Утверждаю»
Заведующий кафедрой
_____
(фамилия, имя, отчество)
«22» мая 2025 г.

З А Д А Н И Е

на выпускную квалификационную работу магистра

1. Студент гр. 23ПДм1 факультета ФИТЭ

Направление подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Магистерская программа

Фролов А.А.
(фамилия, инициалы)

2. Руководитель Доросинский А.Ю.
(фамилия, инициалы)

3. Тема выпускной работы Контроль параметров самовосстанавливающихся предохранителей

Тема утверждена приказом ПГУ № 588/о от « 28 »04 2025 г.

4. Техническое задание на выпускную работу (разработать, исследовать (назначение объекта разработки, исследования), исходные данные, граничные условия разрабатываемого или исследуемого объекта, условия эксплуатации и т.д.) задание магистерской диссертации является разработка и реализация методов измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей, необходимых для обеспечения их стабильной и надёжной работы в составе радиоэлектронной аппаратуры.

5. Объем и содержание основной части выпускной работы

5.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)

1.Современное состояние и проблемы в области контроля характеристик самовосстанавливающихся предохранителей

1.1 Современные состояние и технический уровень производства самовосстанавливающихся предохранителей

1.2 Технология производства самовосстанавливающихся предохранителей

1.3 Основные характеристики самовосстанавливающихся предохранителей

1.4 Проблемы в области контроля самовосстанавливающихся предохранителей

1.5 Сравнительный анализ дорогих и дешевых самовосстанавливающихся предохранителей

2.Вопросы метрологического обеспечения производства самовосстанавливающихся предохранителей для поверхностного монтажа

2.1 Элементы токовой защиты в СП

2.2 Основные электрические параметры самовосстанавливающихся предохранителей, которые подлежат измерению и контролю

2.3 Основные технологии создания проводящего композита

2.4 Решение материаловедческих задач по созданию специальных пластмасс

3. Устройства для измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей

3.1Разработка устройства для измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей

3.2 Основные узлы

3.3 Выбор элементной базы

4. Электрическое освещение

4.1 Общие требования к освещению

4.1 Защитные меры безопасности

5.2. Иллюстративная часть (перечень и название слайдов презентации)

1 слайд – Конструкция СП

2 слайд – Технологии производства СП

3 слайд – Основные характеристики СП

4 слайд –Изменения сопротивления при остывании

5 слайд – Устройство для измерения и контроля электрических параметров СП

6 слайд – Структурная схема электронного блока

7 слайд –Выбор элементной базы

8 слайд – Схема электрическая принципиальная А3

9 слайд – Общие требования к освещению

6. Консультанты и содержание дополнительных разделов

6.1.

Консультант

7. Календарный план по выполнению выпускной работы магистра

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Современное состояние и проблемы в области контроля характеристик самовосстанавливающихся предохранителей	20%	22.05.2025	
Вопросы метрологического обеспечения производства самовосстанавливающихся предохранителей для поверхностного монтажа	20%	25.05.2025	
Разработка устройства для измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей	30%	30.05.2025	
Электрическое освещение, общие требования, защитные меры безопасности	15%	1.06.2025	
Графическая часть	10%	2.06.2025	
Оформление пояснительной записки	5%	3.06.2025	

Дата выдачи задания «22» мая 2025 г.

Руководитель выпускной работы _____ Доросинский А.Ю.
подпись фамилия, инициалы

Задание к исполнению принял _____ Фролов А.А.
подпись фамилия, инициалы

«22» мая 2025 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета _____ Кревчик В.Д.
подпись фамилия, инициалы

«16» мая 2025 г.

.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Схема электрическая принципиальная

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Перечень элементов

Поз обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
VD1, VD2	RS307 диодный мост 3А, 1000В	2	
L1	CDSPQ105-330M индуктивность, 33мкГн, 2.4А	1	
	Конденсаторы		
C1,C6...C9, C12,C13,C16 C17,C21,C22	0.1 мкФ X7R 250В 10% 1206	11	
C2,C3, C4,C5	1 мкФ X7R 16В 10% 0805	4	
C10	100нФ X7R 100В 10%1206	1	
C11,C14	10мкФ X5R 10% 25В 1812	2	
C18,C23	220 мкФ X5R 6.3В 20% 1206	2	
C19	К50-35 10000мкФ 100В 20%	1	
C20	К50-35 680мкФ 16В 20%	1	
	Микросхемы		
DD1	AM1D-0505SH30Z	1	
DD2	ADM232LJNZ	1	
DD3, DD4	6N137	2	
DD5	ADUC824BSZ	1	

Перв. примен.

Справочный №

Подп. И дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. И дата

Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 2 11.04.04 10 ПЭ

Разраб.	Фролов		
Проверил	Дороспинский		
Н. Контр.	Рыжова		
Утвердил			

Устройства для измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей

Лит.	Лист	Листов

Поз обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
DD6	AD780ARZ-REEL7	1	
DD7	ADM810LARTZ-REEL7	1	
DA8	КР140УД17А	1	
DA9	L7805CV-DG	1	
DA10	L7905CV	1	
	Резисторы		
R1,R3	0.125Вт 0805 4.7 кОм, 5%	2	
R2,R4, R5	0.125Вт 0805 470 Ом, 5%	2	
R6,R7	0.125Вт 0805 10 кОм, 5%	2	
R8	0.125Вт 0805 1.5 кОм, 5%	1	
R9	0.05Вт 0201 51 Ом, 1%	1	
TV1, TV2	Трансформатор согласующий LM-NP-1001-B1	2	

Перв. примен.
Справочный №
Подп. И дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. И дата
Инв. № подл.

Приложение Г.

(обязательное)

Перечень опубликованных статей

- И.Б. Мещеряков, И.В Сухов, М.Н. Рогулин, А.С.Козин , А.А. Фролов, В.Д.Гапоненко. Итеративная обработка кадровой последовательности, переданной *OFDM*-символами с канальным свёрточным кодированием и перемежение по спектру и времени //Радиолокация, навигация, связь: сборник трудов XXXI Международной научно-технической конференции (г. Воронеж, 15–17 апреля 2025 г.): в 6 т. / Воронежский государственный университет ; АО «Концерн “Созвездие”». – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2025.–т.2. – с 313-322;

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(обязательное)

Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ»

Ректору Пензенского государственного университета Гулякову А.Д.
студента 2 курса ФИТЭ очной формы обучения
Фролова Алексея Артемовича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Фролов Алексей Артемович, студент 2 курса очной формы обучения направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, профиль «Нано- и микроэлектроника», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» магистерской выпускной квалификационной работы на тему «Оптимизация параметров структуры лавинно-пролетных диодов», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.

Подпись студента

ВКР представлена на проверку 04.06.25

Руководитель ВКР Доросинский А.Ю.

Протокол

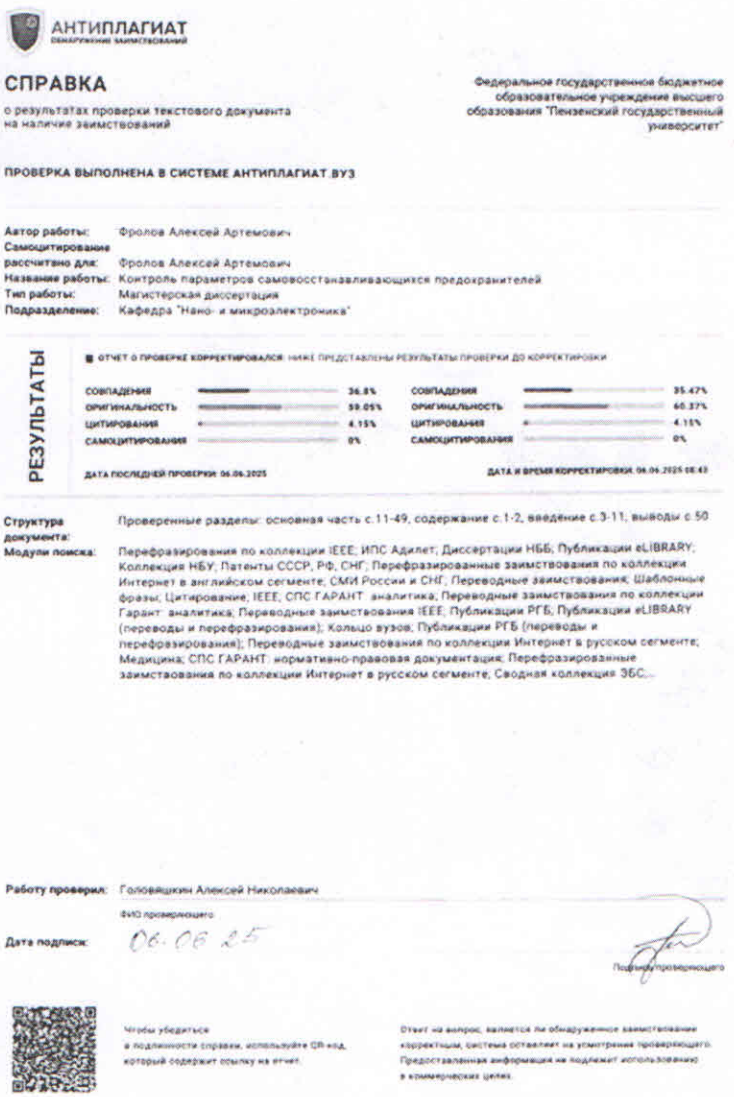
Проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной магистерской работы на тему «Контроль параметров самовосстанавливающихся предохранителей»

студента 4 курса Фролова А.А,.

направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника,

профиль «Нано- и микроэлектроника»

Руководитель ВКР Доросинский А.Ю



АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пензенский государственный университет"

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Фролов Алексей Артемович
Самоцитирование рассчитано для: Фролов Алексей Артемович
Название работы: Контроль параметров самовосстанавливающихся предохранителей
Тип работы: Магистерская диссертация
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ. НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	36.8%	СОВПАДЕНИЯ	35.47%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	59.05%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	60.37%
ЦИТИРОВАНИЯ	4.15%	ЦИТИРОВАНИЯ	4.15%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 06.06.2025 — ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 06.06.2025 08:43

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.11-49, содержание с.1-2, введение с.3-11, выводы с.50

Модули поиска: Перефразирования по коллекции IEEE; ИПС Адилет; Диссертации НББ; Публикации eLIBRARY; Коллекция НБУ; Патенты СССР, РФ, СНГ; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; СМИ России и СНГ; Переводные заимствования; Шаблонные фразы; Цитирование; IEEE; СПС ГАРАНТ: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования IEEE; Публикации РГБ; Публикации eLIBRARY (переводы и перефразирования); Кольцо вузов; Публикации РГБ (переводы и перефразирования); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Медицина; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Сводная коллекция ЭБС...

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич
ФИО проверяющего

Дата подписи: 06.06.25
Подпись проверяющего

Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.

Руководитель ВКР

«11» 06 2025 год _____ Доросинский А.Ю

подпись *фамилия, инициалы*

АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пензенский государственный университет"

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Фролов Алексей Артемович
Самоцитирование рассчитано для: Фролов Алексей Артемович
Название работы: Контроль параметров самовосстанавливающихся предохранителей
Тип работы: Магистерская диссертация
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ **ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ:** НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	36.8%	СОВПАДЕНИЯ	35.47%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	59.05%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	60.37%
ЦИТИРОВАНИЯ	4.15%	ЦИТИРОВАНИЯ	4.15%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 06.06.2025

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 06.06.2025 08:43

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.11-49, содержание с.1-2, введение с.3-11, выводы с.50

Модули поиска: Перефразирования по коллекции IEEE; ИПС Адилет; Диссертации НББ; Публикации eLIBRARY; Коллекция НБУ; Патенты СССР, РФ, СНГ; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; СМИ России и СНГ; Переводные заимствования; Шаблонные фразы; Цитирование; IEEE; СПС ГАРАНТ: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования IEEE; Публикации РГБ; Публикации eLIBRARY (переводы и перефразирования); Кольцо вузов; Публикации РГБ (переводы и перефразирования); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Медицина; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Сводная коллекция ЭБС;...

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи: 06.06.25

Подпись проверяющего

Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(обязательное)

Презентация ВКР

Министерство образования и науки Российской Федерации
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра «Нано – и микроэлектроника»

Выпускная квалификационная работа:

«Контроль параметров самовосстанавливающихся предохранителей»

ПГУ 02. 11.04.04. 010

Автор : Фролов А.А.

Руководитель:

к. т. н. доцент Доросинский А. Ю.

Пенза 2025

Цель работы

Целью данной магистерской диссертации является разработка и реализация методов измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей, необходимых для обеспечения их стабильной и надёжной работы в составе радиоэлектронной аппаратуры.

Задачи:

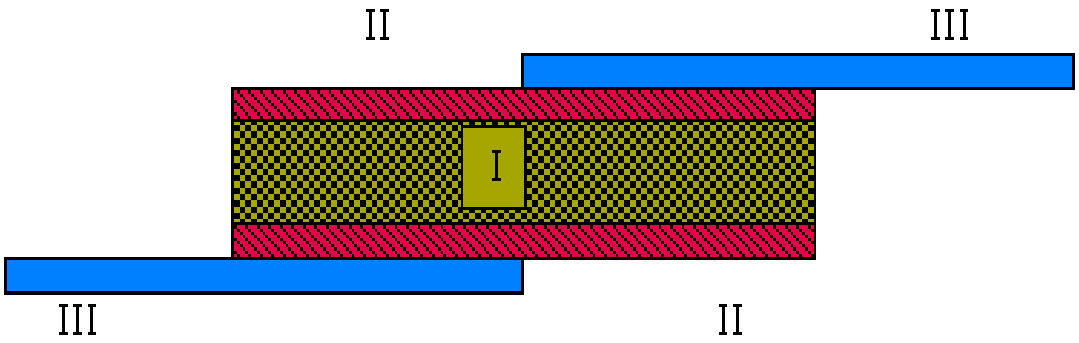
1.Анализ современных методов контроля параметров самовосстанавливающихся предохранителей

2. Разработка схемотехнических и метрологических решений для измерения электрических параметров СП

3. Проектирование и изготовление устройства для автоматизированного контроля СП

Конструкция СП

Типовая схема конструкции СП



самовосстанавливающегося предохранителя (СП) состоит из 3-х областей

1.Тонкий лист проводящего материала (I).

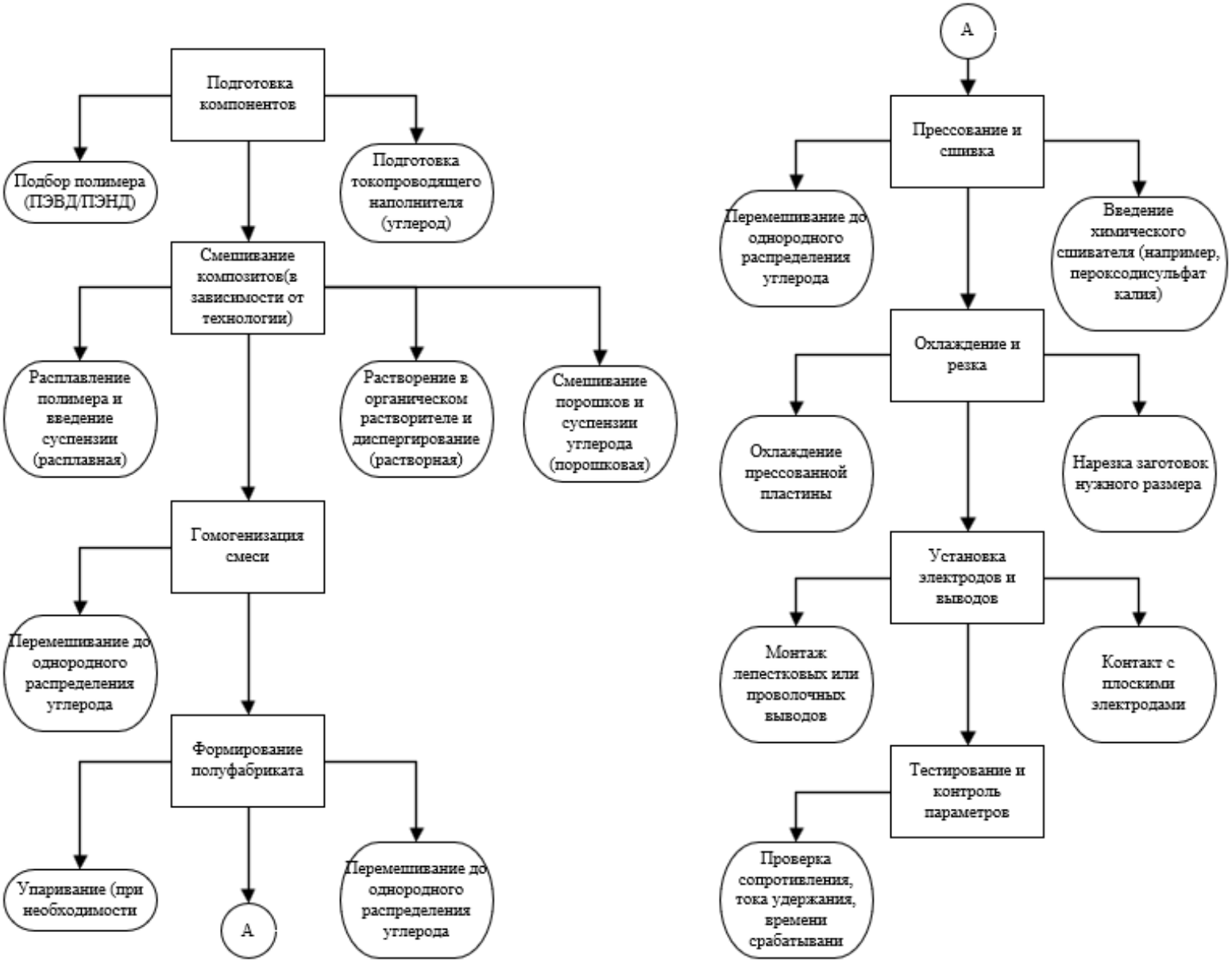
2. Плоские электроды (II). Которые гарантируют равномерное распределение энергии по площади поверхности.

3. Проволочные либо лепестковые выводы (III).

Основные характеристики СП

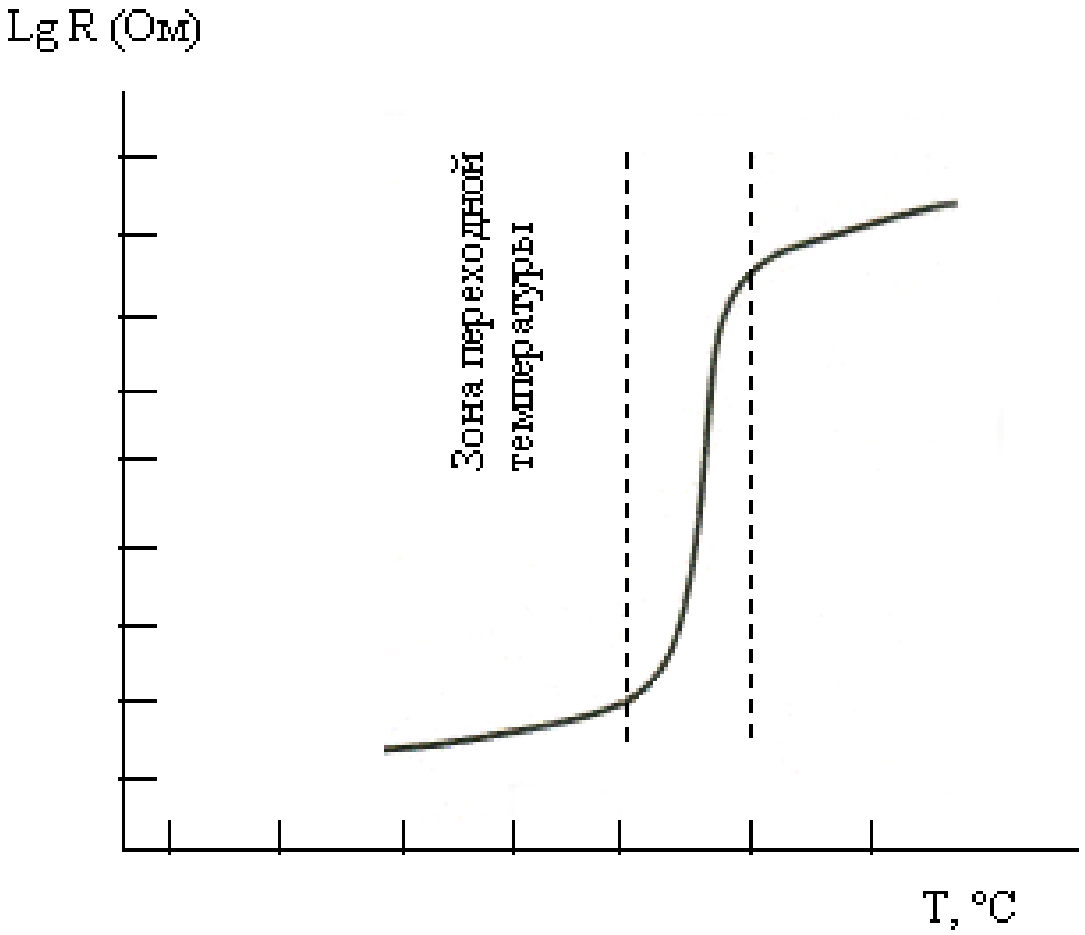
1. Номинальное сопротивление (Rном) от 0,01 до 0,25 Ом
2. Ток удержания (Iуд) от 1 до 6 А — ток, при котором СП остаётся в проводящем состоянии
3. Ток размыкания (Iразм) от 6 до 25 А — ток, при котором происходит переход в высокоомное состояние
4. Время срабатывания (tср) от 0,01 до 0,2 сек — скорость отключения при перегрузке.
5. Остаточное сопротивление после срабатывания (Rост) — возрастает по сравнению с исходным, не возвращается к Rном полностью
6. Температурный диапазон эксплуатации от –40 °C до +125 °C
7. Многоразовость до 1000 циклов срабатывания и восстановления

Технологии производства СП



Принцип действия СП

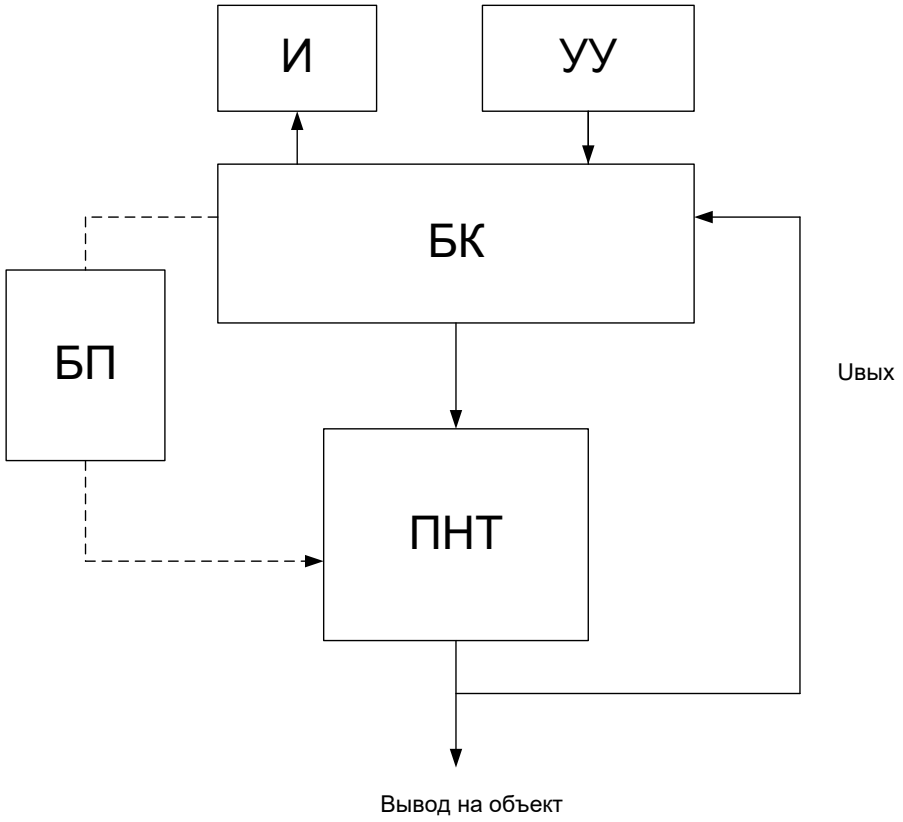
Зависимость изменения сопротивления СП от его температуры



Устройство для измерения и контроля электрических параметров СП

Было спроектированно измерительное приспособление, которое позволит объединить функции всех средств измерений, необходимых для измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей и автоматизировать процесс измерения. Приспособление состоит из омметра ОА3205 для измерения номинального электрического сопротивтивления самовосстанавливающегося предохранителя при рабочем токе и электронного блока для измерения его времени срабатывания (размыкания).

Структурная схема электронного блока



БК – блок комбинированный.

ПНТ – преобразователь напряжения в ток.

БП – блок питания.

И – индикатор.

УУ – устройство управления.

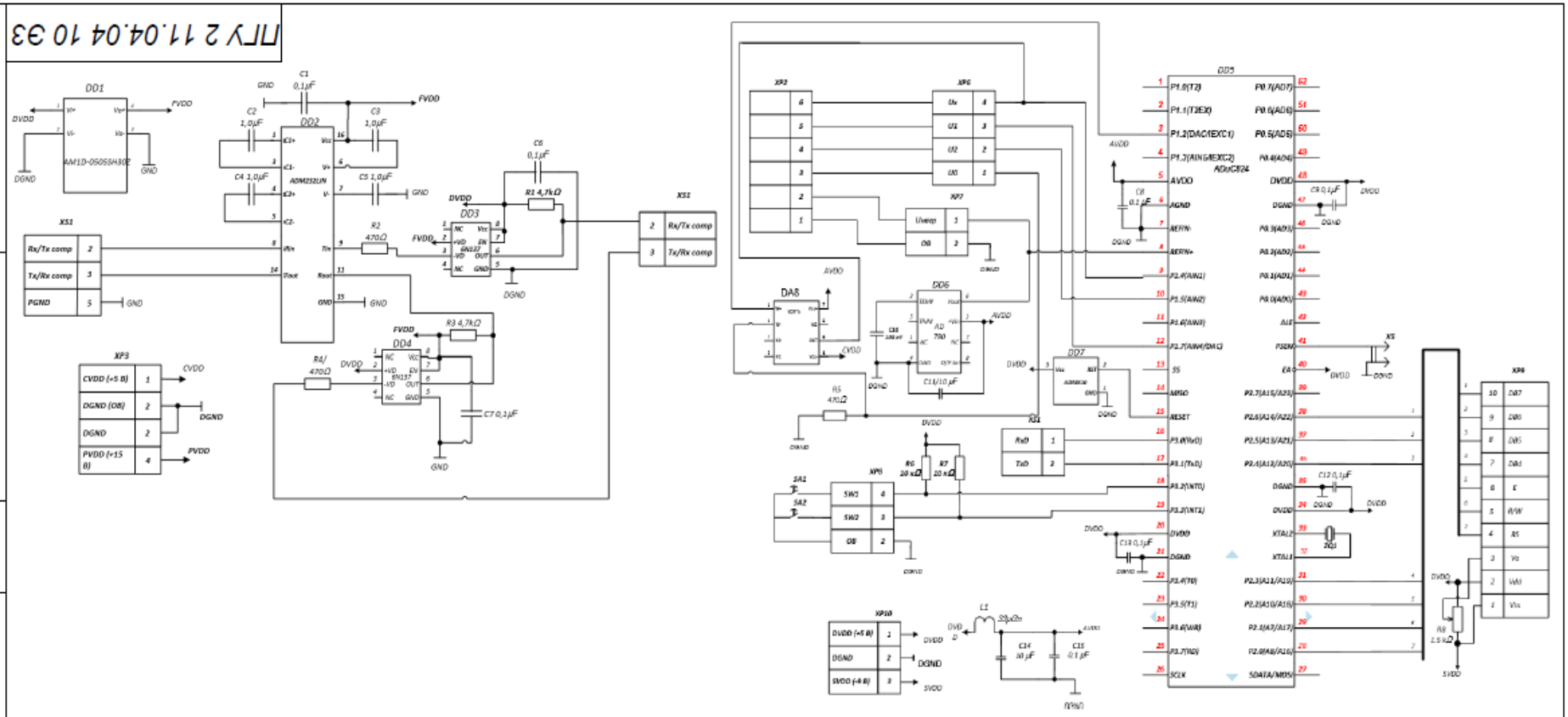
Выбор элементной базы

Для построения схемы измерения сопротивления был выбран микроконтроллер *ADuC824* который имеет два независимых модуля сигма-дельта АЦП.

Для организации коммуникационного интерфейса *RS–232* была использована микросхема *ADM232*.

Для элементов реализующих гальваническую развязку используем оптроны 6n137.

Для получения независимых напряжений +5 В были использованы две схемы реализованные на диодных мостах, осуществляющих двухполупериодное выпрямление и стабилизаторах напряжения линейного типа. В качестве стабилизатора напряжения для питания микроконтроллера использована интегральная микросхема *LM2905* с напряжением стабилизации 5В.



					ПГУ 2 11.04.04 10 ЭЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.		Фролов			Устройства для измерения и контроля электрических параметров самовосстанавливающихся предохранителей	Литера / Масса / Масштаб
Пров.		Доросинский				Лист / Листов
Т.контр.						
Н.контр.		Рыжова				23ПДм1
Утв.						

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взамен инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Общие требования к освещению

Проектирование и эксплуатация систем как естественного, так и искусственного освещения должны обеспечивать оптимальные условия видимости, безопасность, энергоэффективность и соответствовать действующим нормативам. Основными регламентирующими документами в этой области являются СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение», НПБ 249-97, а также иные акты, согласованные с Минстроем РФ и другими ведомствами.

Вывод

В ходе работы проведён анализ технологий производства самовосстанавливающихся предохранителей, определены основные параметры, подлежащие контролю, и разработано устройство для их автоматизированного измерения. Реализованная схема позволяет точно оценивать номинальное сопротивление и время срабатывания СП, что особенно важно в условиях серийного производства. Предложены рекомендации по выбору материалов и технологий, направленные на повышение надёжности и устойчивости предохранителей.

Спасибо за внимание!