

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

Факультет: Профессионального образования

Направление: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: Автоматизированный электропривод и робототехнические комплексы

Кафедра: Общенаучных дисциплин

Допускается к защите
и.о. зав. кафедрой ОНД
_____ К.В. Кондратьева
«___» _____ 2026 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему:

«Исследование работы вакуумного выключателя ВВ-TEL при помощи
микропроцессорного терминала с разработкой методических указаний»

Студент: _____ А. В. Новоселов
(подпись, дата)

Группа: АЭП-21-160з

Состав ВКР:

1. Пояснительная записка на _____ стр.
2. Графическая часть на _____ листах.

Руководитель: _____ ст. преподаватель Н.В. Паршонок
(подпись, дата)

Проверено
на наличие

заимствования: _____ канд. экон. наук, доцент, К.В. Кондратьева
(подпись, дата)

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

Факультет: Профессионального образования

Направление: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: Автоматизированный электропривод и робототехнические комплексы

Кафедра Общенаучных дисциплин

УТВЕРЖДАЮ
и.о. зав. кафедрой ОНД
_____ К.В. Кондратьева
« ____ » _____ 2026 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

Фамилия, имя, отчество: Александр Владимирович Новоселов

Группа: АЭП-21-1боз

Начало выполнения работы: 10.03.2026 г.

Срок предоставления на кафедру: 18.06.2026 – 19.06.2026 г.

Защита работы на заседании ГЭК: 22.06.2026 – 23.06.2026 г.

1. Наименование темы «Исследование работы вакуумного выключателя ВВ-TEL при помощи микропроцессорного терминала с разработкой методических указаний»
2. Исходные данные к работе: техническая документация на программируемый контроллер; технические характеристики устройств, входящих в состав стенда. Учебная и техническая литература, сайты по типовым производственным механизмам и комплексам, автоматизации технологических процессов.
3. Содержание пояснительной записки:

а) основная часть (конструкторская, технологическая, исследовательская). Во введении должны быть отражены состояние и актуальность представляемой темы, сформулирована цель и конкретные задачи исследований. Также конкретизировать объект и предмет исследований, определить методы исследований и значимость работы для теории и практики. В краткой форме сформулировать необходимость разработки данной темы, указать текущее состояние разрабатываемой темы, к какой области науки и техники относится выполняемая работа.

Описание предмета исследования и принципа его работы, формулирование цели и поставка задачи на разработку стенда, требования, предъявляемые к безопасности труда.

б) Первый раздел посвящается теоретической части ВКР, т.е. анализу проблемы, состоянию дел в избранной предметной области на основе анализа литературных источников, обоснованию принятых решений. В данный раздел включить:

- 1) Определение круга решаемых задач, связанных с регулированием технологических параметров;
- 2) Детальное рассмотрение особенностей стенда,
- 3) Разработку схемы и изучение принципа работы механизмов.
- 4) Задачи и функции устройств автоматики, представленных на рынке, применительно к оборудованию, используемому в лабораторном стенде.

В конце раздела должны быть сделаны краткие выводы.

в) Второй раздел. В данном разделе выполнить проект стенда «Управление вакуумного выключателя», а именно:

- 1) Построить алгоритм работы оборудования стенда, основные функции и механизм их реализации;
- 2) Разработать функциональную схему стенда;
- 3) Выбрать основные компоненты: логический контроллер, панель управления, устройства задания и управления, индикации;
- 4) Разработать связь между отдельными элементами лабораторного стенда;
- 5) Разработать электрическую схему соединений и принципиальную электрическую схему;
- 6) Разработать монтажную схему панели управления;
- 7) Сделать выводы о проделанной работе.

Состав работ:

1. Разработка проектной документации на стенд в составе:
 - Схема электрическая принципиальная;
 - Схема электрическая соединений;
 - Структурная схема контроллера;
 - Пояснительная записка, включающая в себя описание алгоритмов и программ, элементов и конструкции стенда, описание электрической принципиальной схемы;
2. Пуско-наладочные работы.
3. Разработка МУ для демонстрации возможностей разработанного стенда.
4. Подготовка выводов о проделанной работе.

В заключении должны быть сформулированы краткое изложение полученных результатов, соответствующие рассмотрению основных задач, поставленных в ВКР.

4. Перечень графического материала.

- 4.1. Схема электрическая принципиальная стенда.
- 4.2. Схема соединений и подключений.
- 4.3. Структурная схема контроллера.

5. Основная литература

- 5.1. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.
- 5.2. Белоус, А.И. Полупроводниковая силовая электроника / А.И. Белоус, С.А. Ефименко, А.С. Турцевич. – Москва: Техносфера, 2013. – 216 с. – ISBN 978-5-94836-367-7.
- 5.3. Зиновьев, Г.С. Силовая электроника: учебное пособие для бакалавров / Г.С. Зиновьев. – М.: Юрайт, 2014. – 667 с.

- 5.4. Казанцев, В.П. Системы управления электроприводов. Конспект лекций. – Пермь, 2003. – 168 с.
- 5.5. Лыков, А.Н. Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие / А.Н. Лыков. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 423 с.
- 5.6. Мышляева, И.М. Цифровая схемотехника: Учебник для сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 400с.
- 5.7. Палагута, К.А. Микроконтроллерное управление электроприводом: Учебное пособие. - М.: МГИУ, 2008. – 298 с.
- 5.8. Розанов, Ю.К., Лепанов, М.Г. Силовая электроника Учебник и практикум для вузов; под ред. Розанова Ю.К. Москва: Изд. Юрайт – 2021 – 206 с.
- 5.9. Силовая полупроводниковая элементная база. Технология производства. Конструктивные решения : учебное пособие / В.Я. Фролов, А.М. Сурма, К.Н. Васерина, А.А. Черников. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 228 с. – ISBN 978-5-8114-3507-4.
- 5.10. Электротехнический справочник: В 4 т. /Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 1998, 2002.
- 5.11. Монтаж электрических установок / Смирнов В.Н., Соколов Б.А., Соколова Н.Б.- М.: Энергоиздат, 1982 – 600с.
- 5.12. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий / Фёдоров А.А., Старкова Л.Е., - М.: Энергоиздат, 1987 – 368с.
- 5.13. Методическое пособие по курсовому проектированию и выполнению выпускной квалификационной работы по техническим направлениям подготовки в ЛФПГТУ / Лопатин В.Г., Воробьева Е.В. – Лысьва: 2003 – 27с.

Руководитель ВКР _____ ст. преподаватель Н.В. Паршонок
(подпись, дата)

Задание получил _____ А. В. Новоселов
(подпись, дата)

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА

№ п/п	Содержание разделов	Срок выполнения		Объём этапа в %	Примечание
		начало	конец		
	Введение	10.02.2026	03.03.2026	5%	
1.	Первый раздел	23.02.2026	24.04.2026	35%	
1.1.	Постановка задачи проектирования	23.02.2026	13.03.2026	5%	
1.2.	Определение круга решаемых задач	13.03.2026	24.03.2026	15%	
1.3	Детальное рассмотрение работы элементов и составных частей	24.03.2026	04.04.2026	15%	
2.	Второй раздел	24.04.2026	14.06.2026	60 %	
2.1.	Разработка структурной и функциональной схем	24.04.2026	08.05.2026	10%	
2.2	Разработка принципиальной электрической схемы	08.05.2026	18.05.2026	15%	
2.3	Реализация поставленных задач и сравнение полученных результатов с известными техническими решениями	18.05.2026	08.06.2026	30%	
	Заключение	08.06.2026	14.06.2026	2%	
	Составление списка использованных источников	15.06.2026	17.06.2026	3%	
	Итого	15.06.2026	17.06.2026	100 %	
	Компоновка ВКР	22.05.2026	17.06.2026		
	Представление ВКР на проверку и отзыв научному руководителю	17.06.2026	18.06.2026		
	Представление ВКР на проверку заведующему кафедрой	18.06.2026	19.06.2026		
	Защита ВКР на заседании ГАК	22.06.2026	23.06.2026		

Руководитель ВКР _____ ст. преподаватель Н.В. Паршенок
(подпись, дата)

«С календарным графиком ознакомлен» _____ А.В. Новоселов
(подпись, дата)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме: «Исследование работы вакуумного выключателя ВВ-ТЕЛ при помощи микропроцессорного терминала с разработкой методических указаний»

Работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка использованных источников 15 наименований и 3 приложений. Работа изложена на 57 листах печатного текста, содержит 10 таблиц и 5 рисунков.

Целью данной ВКР является исследование принципов и алгоритмов управления вакуумным выключателем ВВ-ТЕЛ с использованием микропроцессорного терминала «Сириус», а также в разработке комплекса методических указаний для лабораторного стенда, предназначенного для обучения студентов и повышения квалификации инженерно-технического персонала. Практическая значимость заключается в создании готового к эксплуатации лабораторного стенда и полного комплекта методических указаний, которые могут быть внедрены в учебный процесс технических специальностей. Разрабатываемый стенд обладает следующими особенностями:

В ходе выполнения работы достигнуты следующие результаты:

1. Проведён комплексный анализ современного состояния систем управления вакуумными выключателями, обоснована актуальность разработки учебно-исследовательского стенда.

2. Выбраны и обоснованы основные компоненты: вакуумный выключатель ВВ-ТЕЛ-10-20/630 и микропроцессорный терминал «Сириус-2-В/210», обеспечивающие надёжность, безопасность и функциональность.

3. Спроектирован алгоритм работы оборудования стенда, реализованный через программируемую функциональную логическую схему терминала, включающий режимы управления, защитных отключений, диагностики и регистрации событий.

4. Разработан полный комплект методических указаний для лабораторного стенда, содержащий 4 лабораторные работы, пошаговые инструкции, требования безопасности, формы отчётности и критерии оценки.

5. Определены перспективы развития: расширение модельного ряда оборудования для исследования сетевой автоматики (АПВ, АВР).

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	12
1.1 Анализ проблемы и состояние дел в избранной предметной области.....	12
1.2 Детальное рассмотрение особенностей стенда	13
1.3 Педагогическая составляющая по работе со стендом	14
1.4 Перспективы развития педагогического комплекса	18
ГЛАВА 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ	19
2.1 Алгоритм работы оборудования стенда, основные функции и механизм их реализации.....	19
2.2 Функциональная схема стенда	21
2.3 Выбор основных компонентов: вакуумный выключатель и МП терминал	21
2.4 Связь между отдельными элементами лабораторного стенда	32
2.5 Расчёт уставок защит	32
2.5.1 Исходные данные для расчётов	33
2.5.2 Расчёт уставок токовой отсечки (МТЗ)	33
2.5.3 Расчёт уставок токовой отсечки (ТО).....	35
2.5.4 Расчёт уставок защиты минимального напряжения (ЗМН)	37
ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА	40
3.1 Общие положения	40
3.2 Требования безопасности	43
3.2.1 Действия в аварийных ситуациях, при поражении электрическим током.....	46
3.3. Методические указания к лабораторным работам.....	47
3.3.1 Лабораторная работа №1	47
3.3.2 Лабораторная работа №2	50
3.3.3 Лабораторная работа №3	52
3.3.4 Лабораторная работа №4	55

3.3.5 Примечание для преподавателя	57
3.4 Критерии оценки	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	60

ВВЕДЕНИЕ

Современная электроэнергетика характеризуется переходом от электромеханических и аналоговых систем релейной защиты и автоматики (РЗА) к цифровым микропроцессорным комплексам. Вакуумные выключатели серии ВВ-ТЕЛ (производство НПП «Контакт», г. Чебоксары) стали отраслевым стандартом для распределительных устройств напряжением 6–10 кВ благодаря высокой коммутационной способности, минимальным затратам на обслуживание и экологической безопасности. Параллельно с этим на объектах генерации, передачи и распределения электроэнергии массово внедряются микропроцессорные терминалы семейства «Сириус» (АО «РАДИУС Автоматика» / НПП ЭКРА), обеспечивающие комплексную защиту, управление, диагностику и телемеханику.

Несмотря на широкое промышленное применение связки «ВВ-ТЕЛ + терминал Сириус», в учебном и научно-исследовательском процессе сохраняется острый дефицит актуальных методических материалов, описывающих принципы настройки, отладки и безопасного взаимодействия цифрового терминала с вакуумным выключателем на уровне лабораторного стенда. Существующие учебные комплексы часто устарели, не поддерживают современные протоколы связи (Modbus RTU/TCP, IEC 61850), не отражают типовые алгоритмы управления и блокировок, применяемых на реальных объектах энергетики и промышленности. В связи с этим разработка стенда и сопровождающего его методического обеспечения представляет собой своевременную и практически значимую задачу.

Цель работы заключается в исследовании принципов и алгоритмов управления вакуумным выключателем ВВ-ТЕЛ с использованием микропроцессорного терминала «Сириус», а также в разработке комплекса методических указаний для лабораторного стенда, предназначенного для обучения студентов и повышения квалификации инженерно-технического персонала. Система оперативного управления и защиты вакуумного

выключателя ВВ-ТЕЛ. Процессы, алгоритмы и аппаратно-программные средства управления выключателем посредством микропроцессорного терминала «Сириус», а также методическое обеспечение учебного стенда.

Практическая значимость заключается в создании готового к эксплуатации лабораторного стенда и полного комплекта методических указаний, которые могут быть внедрены в учебный процесс технических специальностей, а также использованы для повышения квалификации персонала энергопредприятий. Отсутствие стандартизированных учебных материалов по настройке и отладке цифровых систем управления коммутационными аппаратами приводит к разрыву между теоретической подготовкой и реальными производственными задачами. Разработка данной темы позволит сократить адаптационный период выпускников, повысить культуру эксплуатации цифрового оборудования и снизить риски ошибок при вводе в эксплуатацию реальных ячеек КРУ/КРУЭ.

В учебном процессе Лысьвенского филиала ПНИПУ наблюдается недостаток унифицированных методических материалов, объединяющих теорию работы вакуумных выключателей, практику подключения МПТ и алгоритмы обработки диагностических сигналов. Разработка таких указаний позволит стандартизировать лабораторный практикум, сформировать у студентов компетенции в области цифровой диагностики высоковольтного оборудования и снизить риски эксплуатационных ошибок на промышленных объектах региона.

Требования к безопасности труда. При работе со стендом необходимо соблюдать требования ПОТЭЭ, ПТЭЭП, ГОСТ 12.3.019-80. Обязательны: гальваническая развязка цепей высокого напряжения, защитное заземление корпусов, использование изолированного инструмента, блокировка доступа к токоведущим частям, автоматическое отключение при превышении токов уставки, журнал допуска к работам, инструктаж по электробезопасности не ниже группы III.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ проблемы и состояние дел в избранной предметной области

Переход к цифровым подстанциям и интеллектуальным сетям требует от специалистов глубокого понимания принципов работы микропроцессорных терминалов. На рынке представлены решения зарубежных и отечественных производителей (Сириус, Торнадо, БМРЗ, ЭКРА). Терминалы семейства «Сириус» занимают лидирующее положение в РФ благодаря открытой архитектуре, поддержке отечественных протоколов, наличию русскоязычной технической поддержки и соответствию ГОСТ Р 50030.2 и ГОСТ Р МЭК 62271-1.

Анализ литературных источников показывает, что большинство учебных пособий рассматривают РЗА в отрыве от конкретного коммутационного оборудования. Отсутствуют комплексные работы, описывающие цикл «настройка терминала → проверка цепей → имитация аварии → анализ осциллограммы → педагогическая оценка». Это обосновывает необходимость создания специализированного стенда с методическим сопровождением.

В рамках управления вакуумным выключателем решаются следующие задачи:

- Регулирование режимов коммутации: формирование команд включения/отключения с учётом блокировок (положение заземлителей, давление в приводном механизме, состояние цепей).
- Защитное регулирование: отключение при превышении уставок МТЗ, ТО, ЗМН, ОЗЗ с выдержкой времени, задаваемой пользователем.
- Диагностическое регулирование: контроль целостности цепей управления, подсчёт циклов, мониторинг температуры контактов (при наличии датчиков), регистрация временных характеристик.
- Автоматическое восстановление: реализация АПВ, АВР, ВНР с программируемыми выдержками и условиями блокировки.

– Информационное регулирование: передача телеметрии и телесигналов в АСУ ТП, ведение журнала событий, экспорт осциллограмм.

1.2 Детальное рассмотрение особенностей стенда

Разрабатываемый стенд обладает следующими особенностями:

Модульность: независимые блоки питания, терминала, коммутационного аппарата, имитатора нагрузки.

Безопасность: гальваническая развязка, автоматические выключатели в цепях управления, индикация наличия напряжения, блокировка от включения при неисправностях.

Наглядность: панель с сигнальными лампами, кнопками управления, переключателями режимов.

Информативность: встроенный регистратор событий, осциллограф терминала, возможность подключения ПК для визуализации.

Универсальность: программируемые входы/выходы позволяют моделировать различные схемы защиты и автоматики без изменения аппаратной части. Внешний вид стенда представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Стенд с терминалом и ВВ выключателем

Панель размером 600×800 мм, металлический каркас, заземление.

Компоновка:

- Верхняя зона: терминал «Сириус».
- Средняя зона: кнопки управления, переключатель режимов (Местный/Дистанционный), сигнальные лампы.
- Нижняя зона: автоматические выключатели, клеммные коробки, блоки питания.
- Задняя панель: кабельные вводы, заземляющая шина, маркировка схем. Все элементы крепятся на DIN-рейку или монтажные отверстия, предусмотрена вентиляция.

Принципиальная схема стенда строится по классической структуре КРУ: источник оперативного тока, автоматы защиты цепей, терминал «Сириус», цепи управления выключателем, цепи сигнализации и блокировок.

Работа стенда делится на три режима:

Ручной/местный: управление кнопками на панели, обход логики терминала (для проверки механики).

Дистанционный/автоматический: команды формируются терминалом или АСУ ТП, выполняются блокировки и защиты.

Аварийный/тестовый: имитация КЗ, обрыва фаз, замыкания на землю через тестовые трансформаторы или электронные имитаторы.

1.3 Педагогическая составляющая по работе со стендом

Методическое обеспечение строится на принципах квалифицированного подхода.

Теоретический блок: краткий конспект по каждому режиму работы, схемы, формулы расчёта уставок.

Практический блок: пошаговые инструкции с контрольными точками, чек-листы безопасности.

Аналитический блок: обработка осциллограмм, сравнение с нормативными значениями, оформление отчёта.

Оценочный блок: критерии выполнения (время, точность, безопасность, качество отчёта), типовые ошибки и способы их устранения.

Разработанный лабораторный стенд предназначен для формирования у студентов и слушателей курсов повышения квалификации профессиональных компетенций в области эксплуатации и наладки цифровых систем релейной защиты и автоматики (РЗА). Формирование практических навыков, переход от теоретического понимания принципов работы РЗА к умению физически подключать, настраивать и диагностировать оборудование. Освоение интерфейса «Человек-Машина», навык работы с меню микропроцессорных терминалов без использования ПК, что критически важно при аварийном восстановлении на объектах энергетики. Развитие инженерного мышления, умение читать сложные электрические схемы, анализировать логику срабатывания защит и находить причины неисправностей методом исключения. Приобщение к культуре безопасности, формирование привычки строгого соблюдения правил охраны труда при работе с цепями оперативного тока и высоковольтным оборудованием.

Работа со стендом организована по модульному принципу, состоящему из трех этапов подготовительный, практический и аналитический.

Этап 1: Подготовительный (Теоретический ввод)

Перед началом практической работы студент должен усвоить базовые знания, устройство вакуумного выключателя ВВ-ТЕЛ и его привода. Назначение и принцип действия микропроцессорного терминала «Сириус». Чтение принципиальных электрических схем (обозначения контактов, катушек, шин питания). Требования техники безопасности (ТБ) при работе с электроустановками до 1000 В.

Форма контроля - беседа с преподавателем, тестирование по ключевым вопросам (допуск к работе).

Этап 2: Практический (Выполнение лабораторных работ)

Студенты выполняют четыре последовательные лабораторные работы, каждая из которых направлена на освоение конкретного аспекта работы со стендом. Особенностью методики является отказ от использования ПК на этапе выполнения работ, что имитирует реальные условия эксплуатации на подстанциях, где доступ к компьютерному программированию ограничен или невозможен.

Лабораторная работа №1: «Знакомство со стендом и проверка цепей управления»

Цель: Освоение навыков чтения схем и проверки целостности цепей мультиметром. Изучение внешнего вида оборудования и маркировки клемм. Проверка напряжения оперативного тока. Прозвонка цепей включения/отключения и вспомогательных контактов. Умение работать с измерительными приборами, понимание физических связей элементов схемы.

Лабораторная работа №2: «Настройка дискретных входов/выходов и логика управления»

Цель: Освоение интерфейса терминала «Сириус» (клавиатура + дисплей).

Просмотр состояния дискретных входов (DI) при переключении выключателя.

Принудительное включение выходных реле (DO) через меню терминала.

Проверка корректности отображения статусов на панели сигнализации. Навык навигации по меню терминала, понимание связи между аппаратными сигналами и логическими уровнями.

Лабораторная работа №3: «Испытание токовых защит (МТЗ, ТО)»

Цель: Исследование времятоковых характеристик (ВТХ) защит. Подключение источника вторичных токов. Подача токов выше уставок МТЗ и ТО.

Замер времени срабатывания секундомером. Сравнение фактического времени с уставочным. Понимание принципа селективности, умение интерпретировать результаты испытаний, расчет погрешности.

Лабораторная работа №4: «Анализ журнала событий и диагностика аварий»

Цель: Научиться искать причину отключения по данным терминала. Имитация аварии (КЗ). Вход в журнал событий терминала. Расшифровка кодов событий. Анализ осциллограммы тока на встроенном дисплее (если доступно) или по журналу параметров. Навыки пост-аварийного анализа, работа с диагностической информацией.

Этап 3: Аналитический (Обработка результатов и отчетность)

По итогам каждой работы студент оформляет отчет, который включает:

Схемы и графики, зарисовки фрагментов схем, построенные графики ВТХ. Таблицы замеров, данные о токах, напряжениях, времени срабатывания. Расчеты, проверка коэффициентов чувствительности, расчет погрешностей. Выводы, ответы на контрольные вопросы, оценка соответствия полученного результата теоретическим ожиданиям. Принцип «От простого к сложному».

Программа построена так, чтобы сначала студент освоил базовую электрическую часть (цепи, контакты), затем — логику управления (реле, входы/выходы), и только потом — сложные алгоритмы защиты и диагностики. Это снижает когнитивную нагрузку и повышает уверенность обучающегося. Имитация реальных условий эксплуатации.

Исключение ПК из процесса выполнения лабораторных работ имеет важное педагогическое значение. На действующих подстанциях инженеры часто работают с терминалами напрямую, используя кнопки и экран, особенно в аварийных ситуациях или при отсутствии связи с диспетчерским центром. Работа с физическими кнопками заставляет студента внимательнее относиться к каждому шагу, не полагаясь на автоматизацию ПО, что способствует глубине понимания процессов. Стенд может использоваться в аудиториях без компьютерного класса, что расширяет возможности учебного заведения и

улучшает доступность. Каждая лабораторная работа сопровождается теоретическим справочником, содержащим краткие формулы расчета уставок. Описание типовых неисправностей и методов их поиска. Это позволяет студенту сразу применять теорию на практике и видеть ее практическую ценность.

1.4 Перспективы развития педагогического комплекса

Предложенная методика является базовой. В дальнейшем планируется расширение функционала стенда для более глубокого изучения тем:

Сетевая автоматика: Изучение алгоритмов АПВ (автоматического повторного включения) и АВР (автоматического ввода резерва).

Интеграция с АСУ ТП: Подключение стенда к SCADA-системе для изучения телеметрии и дистанционного управления.

Диагностика первичного оборудования: Добавление функций измерения сопротивления изоляции и петли «фаза-земля».

Таким образом, разработанная педагогическая составляющая обеспечивает комплексную подготовку специалистов, готовых к решению реальных производственных задач в сфере электроэнергетики и автоматизации.

ГЛАВА 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Алгоритм работы оборудования стенда, основные функции и механизм их реализации

Алгоритм работы реализован в виде конечного автомата, зашитого в ФЛС терминала и изображен на рисунке 2.

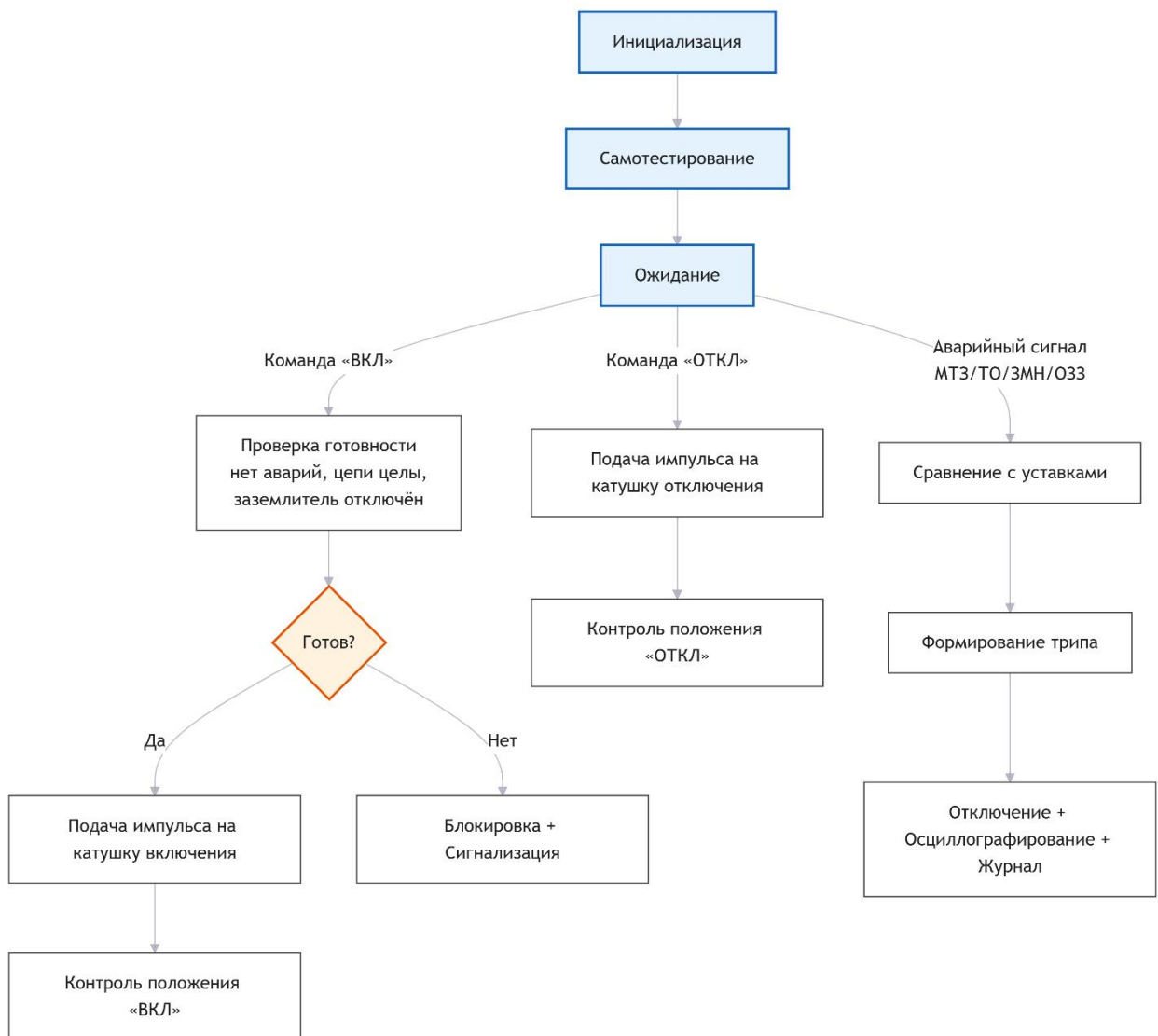
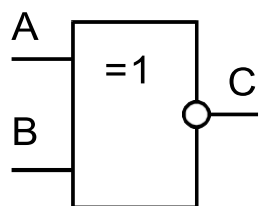


Рисунок 2 - Алгоритм работы ФЛС терминала

Механизм реализации:

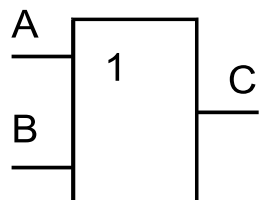
– Дискретные входы (DI) подключены к вспомогательным контактам выключателя, кнопкам панели, цепям блокировок.

Элементы функциональных логических схем



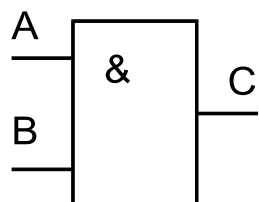
«Исключающ
ее ИЛИ» с
инверсией

A	B	C
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1



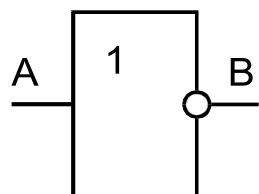
Логическое «ИЛИ»

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



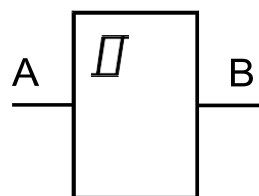
Логическое «И»

A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

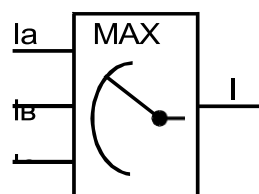


Инверсия

A	B
0	1
1	0



Сравнение с уставкой
(с гистерезисом)



Выделение максимального
значения

Рисунок 3 - Элементы функциональных логических схем

- Дискретные выходы (DO) подключены к катушкам включения/отключения через промежуточные реле.
- Аналоговые входы (AI) принимают сигналы от трансформаторов тока/напряжения.
- Логика обрабатывается в реальном времени микропроцессором терминала с периодом дискретизации 1 мс.

2.2 Функциональная схема стенда

Стенд состоит из следующих функциональных блоков:

1. Блок питания: источник 220 В =/~, стабилизатор.
 2. Блок управления: терминал «Сириус».
 3. Блок коммутации: ВВ-ТЕЛ-10-20/630, привод электромагнитный с магнитной защёлкой.
 4. Блок имитации нагрузки: регулируемые резисторы/индуктивности, автотрансформатор.
 5. Блок сигнализации: панель «Сириус», выносные индикаторы.
- Все блоки соединены через клеммные коробки по ГОСТ 2.710-81.

2.3 Выбор основных компонентов: вакуумный выключатель и МП терминал

Вакуумные выключатели серии ВВ-ТЕЛ разработаны для эксплуатации в комплектных распределительных устройствах (КРУ, КРУН) напряжением 6–10 кВ с частотой 50 Гц. Они предназначены для коммутации электрических цепей в нормальном режиме. Автоматического отключения цепей при аварийных режимах (короткие замыкания, перегрузки). Защиты электродвигателей, трансформаторов и линий электропередачи.

Выключатель выполнен по безмасляному исполнению, что обеспечивает экологическую безопасность, пожаробезопасность и минимальные затраты на техническое обслуживание. Конструкция позволяет

устанавливать выключатель как в стационарных ячейках, так и в выдвижных тележках

Вакуумный выключатель ВВ-ТЕЛ-10-20/630:

- Номинальное напряжение: 10 кВ
- Номинальный ток: 630 А
- Ток отключения: 20 кА
- Привод: пружинный с магнитной защелкой, 220 В =/переменный
- Вспомогательные контакты: 4НО+4НЗ
- Циклы ВО: 25 000
- Механическая износостойкость: 50 000 операций

Сердцем выключателя является трехполюсная сборка с вакуумными дугогасительными камерами. В контактной системе используется осевое магнитное поле для равномерного распределения дуги по поверхности контактов, что снижает эрозию и увеличивает ресурс. В вакуумной среде дуга горит в стеклянной колбе с остаточным давлением $10^{-3} - 10^{-6}$ Па. После разрыва контактов дуга гаснет мгновенно благодаря быстрому восстановлению диэлектрической прочности вакуума.

Особенности эксплуатации и обслуживания (для методических указаний).

Визуальный контроль, проверка отсутствия трещин на фарфоровых изоляторах, чистоты контактов, отсутствия посторонних шумов при работе привода. Проверка времени срабатывания проводится не реже одного раза в год. Допустимое отклонение времени отключения от паспортного значения – $\pm 10\%$. Измерение переходного сопротивления контактов производится микроомметром. Сопротивление должно быть в пределах нормы (обычно < 50 мкОм), иначе возможен перегрев контактов. Испытание дугогасительных камер осуществляется только в специализированных лабораториях путем высоковольтных испытаний и установления нарушения диэлектрической прочности. В учебных условиях эта операция не проводится. Отсутствие масла и газов исключает риск взрыва или загрязнения лаборатории. Высокий ресурс

позволяет проводить тысячи циклов ВО во время учебных занятий без замены деталей. Широко распространен в РФ, что делает полученные навыки применимыми на реальных объектах энергетики.

Микропроцессорный терминал «Сириус-2-В» (или Сириус-210):

- Напряжение питания: 24/48/110/220 В =/~
- Дискретные входы: 28 (гальванически развязанные)
- Дискретные выходы: 16 реле (28 групп контактов)
- Аналоговые входы: 4-6 (ток/напряжение)
- Интерфейсы: RS-485
- ПО: Сириус-Конфигуратор
- ФЛС: программируемая логика без ограничения по сложности

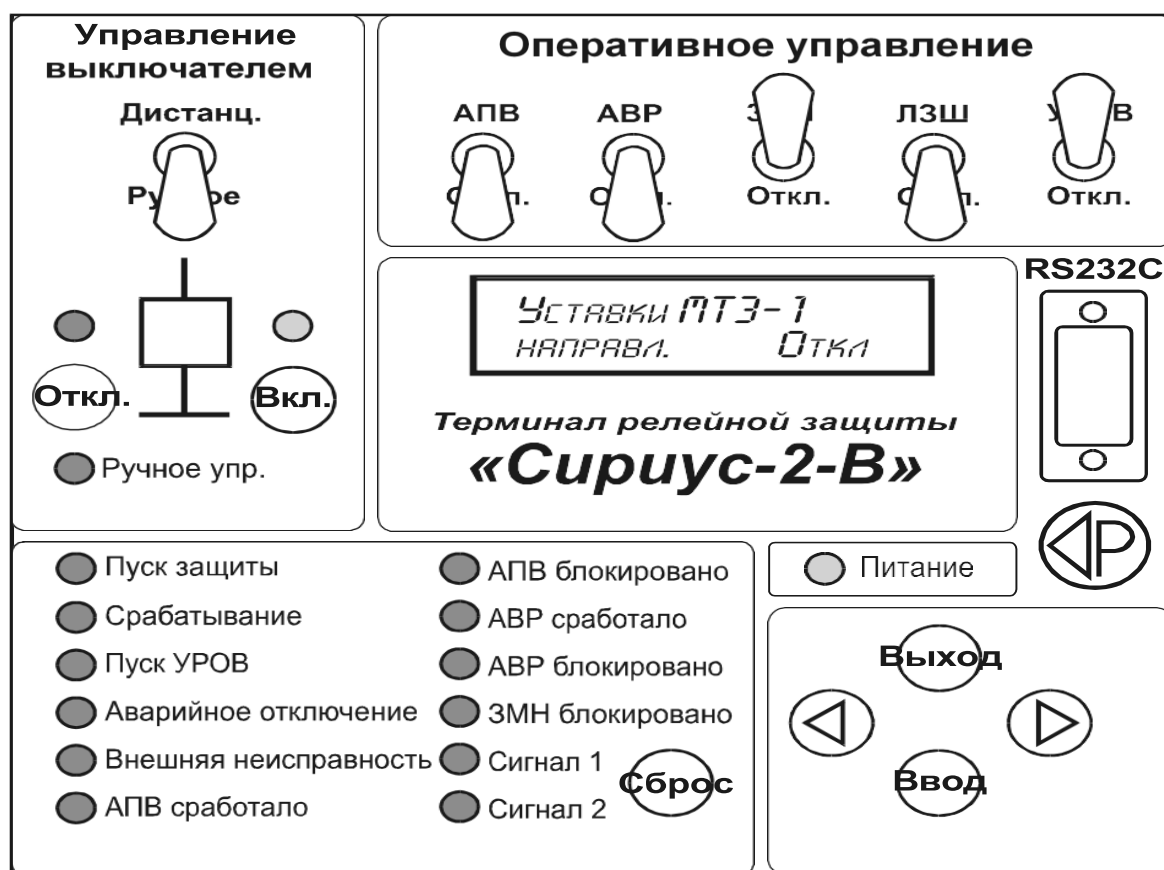


Рисунок 4 - Расположение элементов управления и индикации на передней панели устройства «Сириус-2-В»

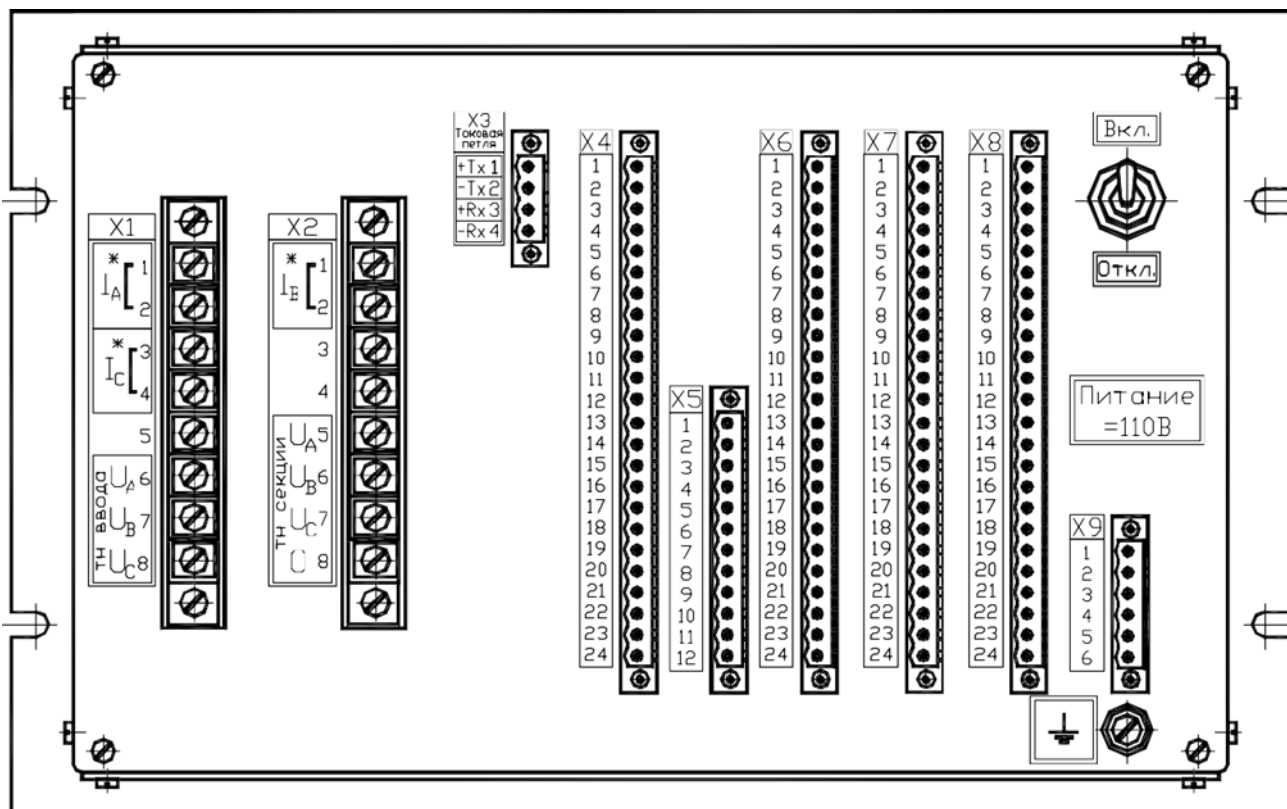


Рисунок 5 - Устройство «Сириус-2-В». Вид сзади

Описание, работа и правила эксплуатации микропроцессорного устройства защиты «Сириус-2-В».

Принятые в документе сокращения:

РЗА – релейно-защитная аппаратура

АПВ – автоматическое повторное включение;

АВР – автоматическое включение резерва;

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

БП – блок питания;

ВНР – восстановление схемы нормального режима после АВР;

ЗОФ – защита от обрыва фаз;

КЗ – короткое замыкание;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

КРУН – комплектное распределительное устройство наружной установки;

ЛЗШ – логическая защита шин;

МТЗ – максимальная токовая защита;
ОЗЗ – однофазное замыкание на землю;
ОЗУ – оперативное запоминающее устройство;
ПЗУ – постоянное запоминающее устройство;
РПВ – реле положения выключателя – «включено»;
РПО – реле положения выключателя – «отключено»;
ТН – (измерительный) трансформатор напряжения;
ТТ, ИТТ – измерительный трансформатор тока;
УРОВ – устройство резервирования отказов выключателя;
ШУ – шины управления;
ЭНП – энергонезависимая память.

Устройство микропроцессорной защиты «Сириус-2-В» (в дальнейшем – устройство), предназначено для выполнения функций релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации вводов напряжением 6–35 кВ. Устройство предназначено для установки в релейных отсеках КРУ, КРУН, на панелях и в шкафах в релейных залах и пультах управления электростанций и подстанций 6–35 кВ. Устройство предназначено для защиты вводов систем шин подстанций, распределительных пунктов и т.д. Устройство «Сириус-2-В» является комбинированным микропроцессорным терминалом релейной защиты и автоматики. Применение в устройстве модульной мультипроцессорной архитектуры наряду с современными технологиями поверхностного монтажа обеспечивают высокую надежность, большую вычислительную мощность и быстродействие, а также высокую точность измерения электрических величин и временных интервалов, что дает возможность снизить ступени селективности и повысить чувствительность терминала. Реализованные в устройстве алгоритмы функций защиты и автоматики, а также схемы подключения устройства разработаны по требованиям к отечественным системам РЗА в сотрудничестве с представителями энергосистем и проектных институтов, что обеспечивает совместимость с аппаратурой, выполненной на различной элементной базе, а

также облегчает внедрение новой техники проектировщикам и эксплуатационному персоналу.

Устройство предназначено для эксплуатации в следующих условиях:

температура окружающего воздуха – от -20 до $+55^{\circ}\text{C}$;

относительная влажность при 25°C – до 98%;

атмосферное давление – от 550 до 800 мм рт. ст.;

окружающая среда – невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных паров и газов, разрушающих изоляцию и металлы;

место установки должно быть защищено от попадания брызг, воды, масел, эмульсий, а также от прямого воздействия солнечной радиации;

синусоидальная вибрация вдоль вертикальной оси частотой от 10 до 100 Гц с ускорением не более 1 g;

многократные удары частотой от 40 до 80 ударов в минуту с ускорением не более 3 g, длительность ударного ускорения – от 15 до 20 мс.

Устройство может применяться для защиты элементов распределительных сетей как самостоятельное устройство, так и совместно с другими устройствами РЗА (например, дуговой защитой, защитой от однофазных замыканий на землю, защитой шин и т.д.).

Устройство обеспечивает следующие эксплуатационные возможности:

выполнение функций защит, автоматики и управления, определенных ПУЭ и ПТЭ;

задание внутренней конфигурации (ввод/вывод защит и автоматики, выбор защитных характеристик и т.д.);

ввод и хранение уставок защит и автоматики;

контроль и индикацию положения выключателя, а также контроль исправности его цепей управления;

определение вида повреждения (при срабатывании МТЗ);

передачу параметров аварии, ввод и изменение уставок по линии связи;

непрерывный оперативный контроль работоспособности (самодиагностику) в течение всего времени работы;

блокировку всех выходов при неисправности устройства для исключения ложных срабатываний;

получение дискретных сигналов управления и блокировок, выдачу команд управления, аварийной и предупредительной сигнализации;

гальваническую развязку всех входов и выходов, включая питание, для обеспечения высокой помехозащищенности;

высокое сопротивление и прочность изоляции входов и выходов относительно корпуса и между собой для повышения устойчивости устройства к перенапряжениям, возникающим во вторичных цепях КРУ.

Функции защиты, выполняемые устройством.

Трехступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ) от междуфазных повреждений с контролем двух или трех фазных токов. Автоматический ввод ускорения любых ступеней МТЗ при любом включении выключателя. Возможность работы МТЗ-1 в качестве ускоряющей отсечки. Защита от обрыва фазы питающего фидера (ЗОФ). Защита минимального напряжения. Логическая защита шин.

Функции автоматики, выполняемые устройством:

Операции отключения и включения выключателя по внешним командам. Защита от многократного включения («от прыгания») выключателя. Возможность подключения внешних защит, например, дуговой, или внешней защиты шин. Формирование сигнала УРОВ при отказах своего выключателя. Однократное АПВ.

Отключение выключателя по входу УРОВ от нижестоящих выключателей. Формирование сигнала АВР на включение секционного выключателя. Автоматическое восстановление схемы нормального режима после АВР секционного выключателя. Возможность организации АВРТ. Определение вида повреждения при срабатывании МТЗ. Фиксация токов и напряжений в момент аварии. Измерение времени срабатывания защиты и

отключения выключателя. Встроенные часы-календарь. Измерение текущих фазных токов и напряжений, а также мощности. Встроенный архив событий. Встроенный цифровой осциллограф.

Устройство производит измерение электрических параметров входных аналоговых сигналов фазных токов I_A , I_B , I_C , а также вычисление тока обратной последовательности I_2 .

При измерениях осуществляется компенсация апериодической составляющей, а также фильтрация высших гармоник входных сигналов. Для сравнения с уставками защит используется только действующее значение первой гармоники входных сигналов. Для устранения существенного изменения тока срабатывания защиты при насыщении первичных трансформаторов тока в устройстве предусмотрено восстановление синусоидальной формы тока вплоть до 50% погрешности ТТ.

Одновременно измеряются три фазных напряжения на шинах секции U_A , U_B , U_C , а также два линейных напряжения с ТН, установленного до вводного выключателя U_{AB} и U_{BC} . При этом опрашиваются также все дискретные входы, клавиатура, тумблеры и оба канала линии связи, осуществляется работа логической схемы устройства и вывод информации на индикатор, светодиоды, исполнительные реле и в каналы линии связи.

Элементная база входных и выходных цепей обеспечивает совместимость устройства с любыми устройствами защиты и автоматики разных производителей – электромеханическими, электронными, микропроцессорными, а также сопряжение со стандартными каналами телемеханики.

Устройство имеет каналы связи для передачи на компьютер данных аварийных отключений, просмотра и изменения уставок, контроля текущего состояния устройства, а также дистанционного управления выключателем.

Устройство может поставляться самостоятельно для использования на действующих объектах при их модернизации или реконструкции. Кроме того,

устройство может входить в комплектные поставки при капитальном строительстве электроэнергетических объектов.

Технические характеристики, основные параметры и размеры.

Питание устройства осуществляется от источника переменного (от 45 до 55 Гц), постоянного или выпрямленного тока напряжением от 178 до 242 В или от источника постоянного тока напряжением от 88 до 132 В, в зависимости от исполнения.

Мощность, потребляемая устройством от источника оперативного постоянного тока в дежурном режиме – не более 15 Вт, в режиме срабатывания защит – не более 30 Вт. Габаритные размеры устройства не превышают 305*190*180 мм. Масса устройства без упаковки не превышает 7 кг.

Дополнительная погрешность измерения токов, а также дополнительная погрешность срабатывания блока при изменении температуры окружающей среды в рабочем диапазоне не превышает 1% на каждые 10°C относительно 20°C. Дополнительная погрешность измерения токов и срабатывания блока при изменении частоты входных сигналов в диапазоне от 45 до 55 Гц не превышает 2% на каждый 1 Гц относительно 50 Гц.

Устройство не срабатывает ложно и не повреждается:

- при снятии и подаче оперативного тока, а также при перерывах питания любой длительности с последующим восстановлением;

- при подаче напряжения оперативного постоянного тока обратной полярности;

- при замыкании на землю цепей оперативного тока.

Устройство обеспечивает хранение параметров настройки и конфигурации защит и автоматики (уставок) в течение всего срока службы вне зависимости от наличия питающего напряжения.

Параметры входных и выходных цепей устройства «Сириус-2-В» приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры входных и выходных цепей «Сириус-2-В»

Наименование параметра		Значение
<u>Входные аналоговые сигналы:</u>		
1	число входов по току	3
	номинальный ток фаз (I_A, I_B, I_C), А	5
	максимальный контролируемый диапазон токов в фазах, А	0,2 – 200
	рабочий диапазон токов в фазах, А	1,0 – 200
	основная относительная погрешность измерения токов в фазах, %	± 3
	термическая стойкость токовых цепей, А, не менее:	
	длительно	15
	кратковременно (2 с)	200
	частота переменного тока, Гц	$50 \pm 0,5$
	потребляемая мощность входных цепей для фазных токов в номинальном режиме ($I = 5$ А), В·А, не более:	0,5
2	число входов по напряжению	5
	номинальное напряжение фаз ($U_A, U_B, U_C, U_{AB}, U_{BC},$), В	100
	максимальный контролируемый диапазон напряжений, В	1 – 150
	рабочий диапазон напряжений, В	2 – 120
	основная относительная погрешность измерения напряжений в фазах, %	± 3
	термическая стойкость цепей напряжения, В, не менее:	
	длительно	150
	кратковременно (2 с)	200
	частота переменного тока, Гц	$50 \pm 0,5$
	потребляемая мощность входных цепей для напряжений в номинальном режиме ($U = 100$ В), В·А, не более:	0,5
3	<u>Входные дискретные сигналы постоянного тока (220/110 В)</u>	
	число входов	26
	входной ток, мА, не более	20
	напряжение надежного срабатывания, В	(исполнение 220 В) 150–264
		(исполнение 110 В) 75–132
	напряжение надежного несрабатывания, В	(исполнение 220 В) 0–120
		(исполнение 110 В) 0–60
	длительность сигнала, мс, не менее	20
4	<u>Выходные дискретные сигналы управления (220 В)</u>	
	количество выходных реле (групп контактов)	16 (28)
	коммутируемое напряжение переменного или постоянного тока, В, не более	264
	коммутируемый постоянный ток замыкания/размыкания при активно-индуктивной нагрузке с постоянной времени $L/R = 50$ мс, А, не более	5 / 0,15
	коммутируемый переменный ток замыкания/размыкания при активно-индуктивной нагрузке с постоянной времени $L/R = 50$ мс, А, не более	5 / 5

Ход часов и зафиксированные данные в памяти сохраняются при пропадании оперативного питания на время до нескольких лет. Устройство выполняет функции защиты со срабатыванием выходных реле в течение 0,5 с

при полном пропадании оперативного питания от номинального значения (для исполнения оперативного питания 110 В постоянного тока – в течение 0,2 с). Время готовности устройства к работе после подачи оперативного тока не превышает 0,6 с. Нарботка на отказ устройства составляет 100000 часов. В части воздействия механических факторов устройство соответствует группе М6 по ГОСТ 17516.1. Устройство соответствует исполнению IP42 по лицевой панели и IP20 по остальным в соответствии с ГОСТ 14254 (МЭК 70-1, EN 60529), кроме клемм подключения цепей тока и напряжения.

2.4 Связь между отдельными элементами лабораторного стенда

Основные связи между отдельными элементами лабораторного стенда представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Связь между отдельными элементами лабораторного стенда

Тип связи	Элементы	Характеристики
Силовые	ТТ/ТН → терминал	5 А / 100 В, класс точности 0.5
Управления	Терминал → Катушки ВВ-ТЕЛ	220 В =, ток до 5 А, через реле
Сигнализации	ВВ-ТЕЛ → Терминал / Табло	Сухие контакты, маркировка
Информационная	Терминал → ПК / АСУ	Modbus RTU, скорость 19200- 115200 бод
Питания	Щит → Автоматы → Блоки	220 В, защита АП16А, В20А

2.5 Расчёт уставок защит

Проектирование принципиальной схемы стенда требует точного согласования вторичных цепей, трансформаторов тока/напряжения и микропроцессорного терминала «Сириус». Для обеспечения селективности, чувствительности и надёжности работы защитных устройств необходимо выполнить расчёт уставок максимальной токовой защиты (МТЗ), токовой отсечки (ТО) и защиты минимального напряжения (ЗМН).

2.5.1 Исходные данные для расчётов

Исходные данные для расчётов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для расчётов

Параметр	Значение	Примечание
Номинальное напряжение сети	$U_{ном}=10$ кВ	Распределительная сеть с изолированной/компенсированной нейтралью
Номинальный ток выключателя ВВ-ТЕЛ	$I_{номВВ}=630$ А	Привод пружинно-моторный, 220 В =
Ток нагрузки (рабочий)	$I_{раб}=100$ А	Установлен на основе типового фидера
Ток КЗ у шин РУ-10 кВ	$I_{к.ш}\approx 2000$ А	Расчётный ток расчёта
Ток КЗ в конце линии	$I_{к.к.л}\approx 800$ А	Определяет селективность с нижестоящими аппаратами
Коэффициент трансформации ТТ	$K_{tt}=200/5=40$	Класс точности 0.5/10P
Коэффициент трансформации ТН	$K_{tn}=10/0.1=100$	Класс точности 0.5

2.5.2 Расчёт уставок токовой отсечки (МТЗ)

Расчёт уставок максимальной токовой защиты (МТЗ) реализовано в трёх ступенях с независимой (постоянной) выдержкой времени для упрощения алгоритма на учебном стенде. В терминале «Сириус» также доступны обратозависимые характеристики, однако для педагогического процесса предпочтительнее определённая выдержка времени.

Формула уставки тока срабатывания (первичная):

$$I_{уп} = \frac{K_n * K_{с.а} * I_{раб}}{K_{воз} * K_{уст} * K_{тт}}, \quad (1)$$

где: $I_{уп}$ – токовая уставка;

K_n - коэффициент надёжности;

$K_{с.а.}$ - коэффициент самозапуска;

$I_{раб}$ – номинальный рабочий ток;

$K_{воз}$ - коэффициент возврата реле;

$K_{уст.}$ - коэффициент учёта погрешности;

$K_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации ТТ.

Формула уставки тока срабатывания (вторичная цепь):

$$I_{\text{ув}} = \frac{I_{\text{уп}}}{K_{\text{ТТ}}}. \quad (2)$$

Коэффициент чувствительности защиты:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.к.л.}}}{I_{\text{уп}}}, \quad (3)$$

где: $I_{\text{к.к.л.}}$ – ток КЗ в конце защищаемой линии.

Условие выполнения требования ПУЭ: $K_{\text{ч}} \geq K_{\text{ч.треб}}$

Применяя формулы (1) и (2) рассчитаем требуемые уставки по ступеням:

Ступень 1

Первичная уставка:

$$I_{\text{у1п}} = \frac{1,25 * 1,1 * 100}{0,85 * 0,85 * 1,1} \approx 140 \text{ A.}$$

Вторичная уставка:

$$I_{\text{у1в}} = \frac{140}{40} = 3,50 \text{ A.}$$

Ступень 2

Первичная уставка:

$$I_{\text{у2п}} = 1,5 * 140 = 210 \text{ A.}$$

Вторичная уставка:

$$I_{\text{у2в}} = \frac{210}{40} = 5,25 \text{ A.}$$

Ступень 3

Первичная уставка:

$$I_{\text{у3п}} = 2,0 * 140 = 280 \text{ A.}$$

Вторичная уставка:

$$I_{\text{у3в}} = \frac{280}{40} = 7,0 \text{ A.}$$

Проверка чувствительности:

Проверка для основной ступени (Ступень 1) по формуле (3):

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.к.л}}}{I_{\text{уп}}} = \frac{800}{140} = 5,7$$

Сравнение с нормативным требованием:

$$5,7 > 1,5 \Rightarrow \text{Условие выполняется}$$

Для обеспечения ступенчатой селективности приняты следующие выдержки времени из таблицы 4:

Таблица 4 – Выдержки времени ступенчатой селективности

Ступень защиты	Уставка по току (перв.)	Уставка по току (втор.)	Выдержка времени, t	Назначение
1	140 А	3,50 А	1,0 с	Основная защита
2	210 А	5,25 А	0,5 с	Ближний резерв
3	280 А	7,00 А	0,2 с	Дальний резерв

2.5.3 Расчёт уставок токовой отсечки (ТО)

ТО срабатывает без выдержки времени при токах, превышающих ток КЗ в конце защищаемой линии, и должна быть отстроена от внешних коротких замыканий.

Защита ТО должна быть отстроена от внешних коротких замыканий (за пределами защищаемого участка) для обеспечения селективности действия с нижестоящими и вышестоящими устройствами РЗА.

Уставка тока срабатывания токовой отсечки (первичная сторона) определяется по формуле (4):

$$I_{\text{уТОп}} = \frac{K_{\text{н.ТО}} * I_{\text{к.к.л}}}{K_{\text{уст}} * K_{\text{тт}}}, \quad (4)$$

где: $K_{\text{н.ТО}}$ – коэффициент надёжности ТО;

$I_{\text{к.к.л}}$ – ток КЗ в конце защищаемой линии;

$K_{уст.}$ - коэффициент учёта погрешности;

$K_{тт}$ – коэффициент трансформации ТТ.

Пересчёт первичной уставки во вторичную цепь:

$$I_{уТОв} = \frac{I_{уТОп}}{K_{тт}}. \quad (5)$$

Время срабатывания защиты ТО принимается равным нулю (мгновенное действие):

$$t_{ТО}=0,0 \text{ с} \quad (6)$$

Примечание: Фактическое время срабатывания терминала составляет 0,05–0,08 с вследствие аппаратных задержек обработки сигнала.

Расчёт уставок:

Первичная уставка тока срабатывания

$$I_{уТОп} = \frac{1,3 * 800}{0,85 * 1,1} \approx 1118 \text{ А.}$$

Вторичная уставка тока срабатывания

$$I_{уТОв} = \frac{1118}{40} = 27,95 \approx 28 \text{ А.}$$

Примечание: Округление до 28,0 А выполнено в сторону увеличения для обеспечения запаса по надёжности срабатывания.

Уставка по времени

$$t_{ТО}=0,0 \text{ с}$$

Проверка отстройки от внешних КЗ:

Уставка ТО (1118 А) превышает максимальный ток КЗ за пределами защищаемой зоны (800 А), что обеспечивает селективность

$$I_{у.ТОп}=1118 \text{ А} > I_{к.к.л}=800 \text{ А} \Rightarrow \text{Условие выполняется}$$

Проверка чувствительности в основной зоне действия:

$$K_{ч} = \frac{I_{к.мин}}{K_{у.ТОп}}. \quad (7)$$

где $I_{к.мин}$ — минимальный ток КЗ в начале защищаемой линии (расчётное значение принимается по данным расчёта режимов).

Примечание: Для учебного стенда проверка чувствительности выполняется при моделировании КЗ в контрольных точках схемы.

Сводные данные уставок внесены в таблицу 5.

Таблица 5 - Сводная таблица уставок ТО

Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Первичная уставка по току	$I_{у.ТОп}$	1118	А
Вторичная уставка по току	$I_{у.ТОв}$	28,0	А
Выдержка времени	$t_{ТО}$	0,0	с
Фактическое время срабатывания терминала	$t_{факт}$	0,05–0,08	с

2.5.4 Расчёт уставок защиты минимального напряжения (ЗМН)

Защита минимального напряжения (ЗМН) применяется для резервирования максимальной токовой защиты (МТЗ) при снижении напряжения сети ниже допустимого уровня, а также для отключения электроприёмников при недопустимых провалах напряжения.

ЗМН применяется для резервирования МТЗ при снижении напряжения сети. Уставка выбирается в диапазоне $(0.5–0.7)U_{ном}$.

Уставка напряжения срабатывания ЗМН (первичная сторона) определяется по формуле:

$$U_{уп} = K_{н.ЗМН} \cdot U_{ном} \quad (8)$$

Пересчёт первичной уставки во вторичную цепь (напряжение на выходе ТН):

$$U_{ув} = \frac{U_{уп} \cdot 1000}{K_{ТН}}, \quad (9)$$

где: $U_{ув}$ – уставка по первичному напряжению, кВ;

1000 - коэффициент перевода кВ в В;

$K_{ТН}$ - коэффициент трансформации напряжения.

Уставка возврата защиты (для предотвращения ложных срабатываний при восстановлении напряжения):

$$U_{\text{воз}} = K_{\text{воз}} * U_{\text{ув}}. \quad (10)$$

Выдержка времени ЗМН принимается из условия координации со смежными защитами:

$$t_{\text{ЗМН}} = t_{\text{МТЗ.2}}. \quad (11)$$

Расчёт уставок

Первичная уставка напряжения срабатывания

$$U_{\text{уп}} = 0,6 * 10 = 6,0 \text{ кВ}.$$

Вторичная уставка напряжения срабатывания

$$U_{\text{ув}} = \frac{6,0 * 1000}{100} = 60,0 \text{ В}.$$

Уставка возврата защиты

$$U_{\text{воз}} = 1,15 * 60,0 = 69,0 \text{ В}.$$

Примечание: Зона гистерезиса между уставками срабатывания (60,0 В) и возврата (69,0 В) предотвращает многократные переключения («мерцание») защиты при колебаниях напряжения вблизи порогового значения.

Уставка по времени

$$t_{\text{ЗМН}} = 0,5 \text{ с}.$$

Обоснование: Выдержка времени 0,5 с принята равной выдержке времени второй ступени МТЗ для обеспечения координации действий защит при внешних КЗ и глубоких просадках напряжения.

Проверка диапазона уставки:

$$0,5 \cdot U_{\text{ном}} \leq U_{\text{уп}} \leq 0,7 \cdot U_{\text{ном}}$$

$$0,5 \cdot 10 = 5,0 \text{ кВ} \leq 6,0 \text{ кВ} \leq 7,0 \text{ кВ} = 0,7 \cdot 10$$

⇒ Уставка находится в допустимом диапазоне

Проверка условия возврата:

$$U_{\text{воз}} > U_{\text{ув}} \Rightarrow 69,0 \text{ В} > 60,0 \text{ В} \Rightarrow \text{Условие устойчивого возврата выполняется.}$$

Сводная таблица уставок защит приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Сводная таблица уставок защит

Защита	Степень	$I_{уп}$ (А) / $U_{уп}$ (кВ)	$I_{ув}$ (А) / $U_{ув}$ (В)	t (с)	Коэффициент возврата	Проверка Кч
МТЗ	1	140.0	3.50	1.0	0.85	5.7
МТЗ	2	210.0	5.25	0.5	0.85	3.8
МТЗ	3	280.0	7.00	0.2	0.85	2.9
ТО	–	1118.0	28.0	0.0	–	0.72 (отстройка)
ЗМН	–	6.0	60.0	0.5	1.15	–

ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

3.1 Общие положения

Методические указания предназначены для студентов направлений 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», а также для специалистов центров повышения квалификации. Цель: формирование практических навыков настройки, отладки и эксплуатации цифровых систем управления коммутационными аппаратами.

Современная электроэнергетика переживает этап глубокой цифровизации. Традиционные электромеханические реле и аналоговые устройства защиты вытесняются микропроцессорными терминалами (МПТ), такими как семейство «Сириус», которые интегрируют функции релейной защиты (РЗ), автоматики (А), телемеханики и диагностики в одном корпусе.

Для специалиста это означает фундаментальный сдвиг в природе выполняемых задач. Раньше специалист проверял механику контактов, регулировал пружины, измерял сопротивление обмоток магнитных пускателей. Сейчас специалист настраивает алгоритмы логической связи, анализирует осциллограммы аварийных процессов, программирует функциональные логические схемы (ФЛС) и диагностирует программные сбои.

Отсутствие практических навыков работы с цифровыми системами приводит к тому, что выпускники вузов и техникумов, обладающие теоретическими знаниями по электротехнике, не готовы к реальной работе на объектах энергетики, где доминирует цифровая техника.

Цифровые системы управления являются «мозгом» распределительных устройств. Ошибка в настройке уставок токовой защиты, неверно запрограммированная блокировка или ошибка в схеме соединений могут привести к неселективному отключению, отключение здоровых участков сети из-за аварии в другом месте, что вызывает масштабные веерные отключения. Отказу отключения при КЗ. Ненастроенная защита не среагирует на короткое

замыкание, что приведет к разрушению оборудования, пожарам и угрозе жизни персонала. Включение выключателя на неисправный участок или под напряжение при замкнутом заземлителе (дуговой разряд).

Практические навыки настройки и отладки позволяют специалисту выявить и устранить эти риски на этапе ввода в эксплуатацию (пусконаладочные работы), а не в процессе аварийной ситуации.

В отличие от аналоговых устройств, где неисправность часто видна визуально (горящая лампа, запах гари, отсутствие напряжения на катушке), отказ цифрового терминала может быть скрытым:

Программная ошибка в логике ФЛС.

Потеря синхронизации часов реального времени.

Неверная интерпретация дискретного входа из-за дребезга контактов.

Сбой связи по протоколам передачи данных.

Специалист должен уметь читать журнал событий терминала, анализировать осциллограммы, проверять целостность цепей управления мультиметром. Эти навыки формируются только в ходе практической работы со стендами, имитирующими реальные условия эксплуатации.

Современный выключатель — это не изолированный аппарат, а часть единой информационной системы предприятия. Он должен корректно передавать телеметрию (токи, напряжения, статусы) и принимать команды диспетчера.

Навыки настройки интерфейсов связи, конфигурации протоколов обмена данными и интеграции терминала в верхний уровень управления требуют понимания сетевой архитектуры и принципов работы промышленных сетей. Без практики специалист не сможет обеспечить работу оборудования в составе автоматизированной системы управления.

Работник, прошедший практику на специализированных стендах (таких как разработанный в данной работе), выходит на объект уже с пониманием:

Структуры меню конкретного производителя («Сириус»).

Локации клеммных колодок и назначения проводов.

Алгоритмов поиска неисправностей (от простого к сложному).

Это сокращает время обучения на рабочем месте с нескольких месяцев до недель, снижает вероятность ошибок при наладке и уменьшает затраты предприятия на привлечение внешних сервисных инженеров для базовых операций. Выбранная связка оборудования имеет свои особенности, требующие специальных знаний. Приводы ВВ-ТЕЛ требуют контроля заряда пружин, положения заземлителя и состояния цепи оперативного тока. Специалист должен понимать логику взаимодействия блока управления БУ-ТЕЛ и терминала РЗА. Возможность программирования любой логики через ФЛС требует от инженера навыков системного мышления и умения моделировать процессы до их физической реализации. Терминалы «Сириус» предоставляют обширные данные о состоянии оборудования (счетчик циклов, температура, параметры привода). Умение интерпретировать эти данные позволяет переходить от ремонта (починка после поломки) к обслуживанию (ремонт по состоянию).

Формирование практических навыков настройки, отладки и эксплуатации цифровых систем управления коммутационными аппаратами является критически важным элементом профессиональной компетенции современного инженера-энергетика и специалиста по автоматизации.

Разработка лабораторного стенда и методических указаний решает задачу моста между теорией и производственной практикой, позволяя будущим специалистам освоить принципы работы цифровых терминалов РЗА в безопасных условиях. Нарботать опыт поиска и устранения неисправностей во вторичных цепях. Понять взаимосвязь между аппаратной частью (выключатель, привод) и программным обеспечением (терминал, конфигуратор). Повысить культуру труда и ответственность за безопасность энергосистемы.

Таким образом, данная работа вносит вклад в повышение качества инженерного образования и подготовку кадров, способных эффективно

эксплуатировать современное высоконадежное оборудование российских производителей.

3.2 Требования безопасности

Работа на лабораторном стенде «Управление вакуумным выключателем ВВ-ТЕЛ с помощью микропроцессорного терминала «Сириус» связана с использованием электроустановок напряжением до 1000 В (цепи оперативного тока 220 В) и высоковольтного оборудования (выключатель 10 кВ), находящегося в отключенном состоянии.

Соблюдение требований безопасности является обязательным условием допуска к работе со стендом. Нарушение правил может привести к электротравмам, пожарам, повреждению дорогостоящего оборудования и нарушению учебного процесса.

Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТЭЭ).
Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП).
ГОСТ 12.3.019-80 «Электроустановки. Общие требования безопасности».
Инструкция по охране труда для студентов/слушателей при работе в лаборатории релейной защиты и автоматики.

К самостоятельной работе со стендом допускаются лица, имеющие группу по электробезопасности не ниже III (для персонала) или прошедшие специальный инструктаж и получившие допуск под присмотром руководителя работ (для студентов).

Студенты без соответствующей группы работают только под непосредственным контролем преподавателя или лаборанта, имеющего группу IV и выше.

Перед началом работы каждый участник обязан пройти следующие виды инструктажей:

Вводный инструктаж (при первом поступлении в лабораторию).

Первичный инструктаж на рабочем месте (ознакомление с устройством стенда, местами расположения аварийных выключателей, средствами индивидуальной защиты).

Целевой инструктаж перед каждой конкретной лабораторной работой (информирование о специфике выполняемых операций, возможных опасностях и мерах защиты).

Запись о прохождении инструктажа должна быть сделана в журнале регистрации инструктажей.

Прежде чем включить питание стенда, необходимо убедиться в следующем:

Целостность изоляции: Провода питания и управления не имеют повреждений, оголенных жил, трещин на изоляции. Клеммные колодки затянуты, нет признаков перегрева (подгорания).

Заземление: Корпуса металлического шкафа стенда, корпуса трансформаторов тока/напряжения и защитные цепи надежно соединены с контуром заземления. Проверить отсутствие напряжения между корпусом и землей мультиметром.

Отсутствие посторонних предметов: На панели управления, вокруг выключателя и в зоне доступа нет проводящих предметов (ключи, отвертки, металлические опилки), жидкостей или легковоспламеняющихся материалов.

Состояние средств защиты: Наличие исправных диэлектрических ковриков, изолированного инструмента, аптечки первой помощи и огнетушителя (порошкового или углекислотного, запрещены водные и пенные для электроустановок под напряжением).

Положение коммутационных аппаратов:

Вакуумный выключатель ВВ-ТЕЛ должен находиться в положении «ОТКЛЮЧЕНО». Заземлитель должен быть в разомкнутом положении. Все переключатели режимов управления должны стоять в нейтральном или исходном положении. Мультиметры и осциллографы должны иметь действующие клейма поверки. Щупы мультиметра должны быть целыми, без

сколов изоляции. Предел измерения мультиметра должен быть установлен выше ожидаемого напряжения/тока (например, для измерения 220 В ставить предел 600–1000 В). Работая с цепями оперативного тока (220 В) запрещается работать под напряжением при снятых крышках шкафов управления, если это не предусмотрено технологическим процессом и не обеспечена надежная изоляция токоведущих частей.

Запрещается касаться токоведущих частей руками, даже если они кажутся обесточенными. Перед прикосновением обязательно проверить отсутствие напряжения указателем напряжения (УН) или мультиметром. При проведении измерений токов и напряжений следует использовать щупы с изолированными рукоятками. Держать щупы только за изолированные части.

Запрещается пересаживать провода под напряжением. Любые изменения схемы соединений производятся только после полного снятия напряжения со всех цепей стенда. Команды на включение/отключение выключателя подавать только после проверки готовности привода (заряд пружин, отсутствие блокировок).

При включении выключателя персонал должен находиться в безопасной зоне, исключая возможность попадания под дугу при возможном дуговом замыкании (хотя в учебном стенде первичная часть обычно обесточена, имитация КЗ требует особой осторожности).

Запрещается удерживать кнопки управления более 1–2 секунд во избежание перегрева катушек привода. При возникновении необычных звуков (треск, хлопок), запаха горения изоляции или появления дыма немедленно нажать кнопку «СТОП» (аварийное отключение питания) и сообщить руководителю работ.

Не открывать корпус терминала во время работы, так как внутри присутствуют элементы питания и логические цепи, работающие под напряжением. Изменение уставок защит и логики ФЛС допускается только после согласования с руководителем работ, чтобы исключить несанкционированные отключения или ложные срабатывания.

Запрещается устанавливать стороннее программное обеспечение без разрешения администратора. При работе с конфигуратором «Сириус» следить за состоянием батареи ноутбука/ПК, чтобы избежать потери данных конфигурации.

3.2.1 Действия в аварийных ситуациях, при поражении электрическим током

Немедленно освободить пострадавшего от действия тока:

Отключить напряжение ближайшим выключателем или кнопкой «СТОП». Если отключение невозможно, оттянуть пострадавшего за сухую одежду (не касаясь тела) или использовать изолирующую палку/перчатки. Оценить состояние пострадавшего (сознание, дыхание, пульс). Вызвать скорую помощь. При отсутствии дыхания и пульса начать сердечно-легочную реанимацию до прибытия врачей. Сообщить руководителю работ и зафиксировать инцидент в журнале происшествий.

При возгорании электрооборудования немедленно отключить питание стенда. Подавить очаг возгорания порошковым или углекислотным огнетушителем. Категорически запрещено тушить водой или пеной электроустановки под напряжением! Эвакуировать персонал из лаборатории при невозможности локализации тушения.

При отказе оборудования (заклинивание привода, сбой терминала) прекратить выполнение работы. Отключить питание цепей управления. Сообщить руководителю работ о характере неисправности. Самостоятельно разбирать механизм привода или терминал **ЗАПРЕЩЕНО!**

Требования безопасности по окончании работы.

Убедиться, что вакуумный выключатель находится в положении «ОТКЛЮЧЕНО». Переключатели режимов управления перевести в исходное положение. Отключить автоматический выключатель питания цепей управления (QF1) и общий рубильник стенда. Убрать инструмент,

измерительные приборы и личные вещи с рабочего места. Привести в порядок рабочее место: убрать мусор, проверить чистоту панелей. Отмыть руки с мылом. Сообщить руководителю работ о выполнении работы и отсутствии замечаний по технике безопасности.

3.3. Методические указания к лабораторным работам

Ниже представлены четыре развернутые лабораторные работы, разработанные специально для выполнения без использования персонального компьютера (ПК). Этот подход смещает акцент с программирования на аппаратную диагностику, проверку цепей управления, анализ логических состояний через индикаторы терминала и ручное тестирование. Это позволяет студентам глубже понять физику процессов, работу реле, контакты и схемы соединений.

3.3.1 Лабораторная работа №1

Тема: Изучение конструкции стенда и проверка целостности цепей оперативного тока и управления

1. Цель работы

Ознакомиться с устройством лабораторного стенда и функциональным назначением его элементов.

Научиться читать принципиальные электрические схемы (ЭЗ) и схемы соединений (Э4).

Освоить методику проверки целостности цепей управления включением и отключением вакуумного выключателя ВВ-ТЕЛ.

Проверить работоспособность вспомогательных контактов привода.

2. Оборудование и приборы

Лабораторный стенд «Управление ВВ-ТЕЛ».

Цифровой мультиметр (в режиме измерения сопротивления и напряжения).

Изолированный инструмент (отвертка, пассатижи).

3. Теоретические сведения

Цепи оперативного тока обеспечивают питание катушек включения (YAC) и отключения (YAT), а также сигнальных ламп и блоков защиты. Надежность работы выключателя зависит от целостности этих цепей. Любое обрыв или замыкание может привести к отказу коммутации. Проверка производится методом прозвонки (измерения сопротивления) при снятом напряжении.

4. Порядок выполнения работы

Этап 1. Визуальный осмотр и изучение схемы

Изучите внешний вид стенда. Найдите вакуумный выключатель ВВ-ТЕЛ и его привод. Микропроцессорный терминал «Сириус». Панель управления (кнопки, тумблеры, лампы). Клеммные коробки и блоки питания. Рассмотрите принципиальную схему (Приложение А). Выделите цветом цепь включения, цепь отключения, цепи контроля положения. Найдите на клеммнике соответствующие номера цепей согласно схеме.

Этап 2. Проверка цепей питания

Отключите автоматический выключатель питания цепей управления QF1. Мультиметром установите предел измерения напряжения $> 250 \text{ В DC}$. Измерьте напряжение на выводах автомата QF1 (входная сторона). Запишите результат в таблицу 2.1. Включите QF1. Измерьте напряжение на шинах питания терминала (L+, L-). Оно должно быть номинальным ($220 \text{ В} \pm 10\%$).

Этап 3. Проверка целостности цепей управления (Прозвонка)

Внимание! Питание QF1 должно быть ОТКЛЮЧЕНО.

Проверка катушки включения (YAC):

Отсоедините один провод от катушки YAC (или используйте доступные тестовые точки на схеме, если разъединение запрещено). Переведите мультиметр в режим омметра. Измерьте сопротивление обмотки катушки YAC. Норма: 50–150 Ом (согласно паспорту ВВ-ТЕЛ). Проверьте цепь от выхода реле терминала K1 до катушки YAC на отсутствие обрыва (сопротивление проводов близко к 0 Ом).

Проверка катушки отключения (YAT):

Аналогично измерьте сопротивление катушки YAT. Проверьте целостность цепи от выхода реле K2 до катушки YAT.

Проверка вспомогательных контактов:

Установите выключатель в положение «ОТКЛЮЧЕНО» (ручным способом или кнопкой, если разрешено). Проверьте контакт положения «Отключено» (SQ2). Сопротивление между контактами должно быть ~ 0 Ом. Проверьте контакт положения «Включено» (SQ1). Сопротивление должно быть бесконечностью. Переключите выключатель в положение «ВКЛЮЧЕНО». Повторите измерения. Состояния должны измениться на противоположные.

5. Обработка результатов

Заполните Таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты проверки цепей

Наименование цепи/элемента	Измеряемая величина	Значение по паспорту/норме	Фактическое значение	Заключение (Норма/Неисправность)
Напряжение питания терминала	U, В	220 ± 22 В	_____	_____
Сопротивление катушки YAC	R, Ом	50–150 Ом	_____	_____
Сопротивление катушки YAT	R, Ом	50–150 Ом	_____	_____
Контакт SQ1 (полож. ВКЛ) при ВКЛ	R, Ом	~ 0 Ом	_____	_____
Контакт SQ1 (полож. ВКЛ) при ОТКЛ	R, Ом	∞	_____	_____
Контакт SQ2 (полож. ОТКЛ) при ВКЛ	R, Ом	∞	_____	_____
Контакт SQ2 (полож. ОТКЛ) при ОТКЛ	R, Ом	~ 0 Ом	_____	_____

6. Контрольные вопросы

Для чего предназначены цепи оперативного тока?

Почему нельзя проверять целостность цепей под напряжением омметром?

Как определить неисправность (обрыв или короткое замыкание) в цепи управления по показаниям мультиметра?

Какую роль играют вспомогательные контакты SQ1 и SQ2 в системе управления?

3.3.2 Лабораторная работа №2

Тема: Настройка дискретных входов и выходов терминала «Сириус» и проверка логики управления

1. Цель работы

Освоить алгоритм настройки дискретных входов (DI) и выходных реле (DO) терминала «Сириус» с помощью кнопок и дисплея устройства (без ПК).

Проверить корректность отображения состояния цепей управления на экране терминала. Протестировать работу выходных реле управления катушками YAC/YAT.

2. Оборудование и приборы

Лабораторный стенд.

Терминал «Сириус-2-В» с настроенным базовым проектом (загруженным ранее преподавателем).

Мультиметр.

Набор перемычек (для имитации команд).

3. Теоретические сведения

Терминал «Сириус» имеет встроенный интерфейс «Человек-Машина» (клавиатура + ЖК-дисплей). Через меню можно просматривать состояние входов, включать/выключать реле вручную (режим теста), менять простые параметры.

Дискретные входы (DI): Принимают сигнал 0 или 1. Например, DI1 = 1 означает, что контакт SQ1 замкнут (Выключатель ВКЛ).

Дискретные выходы (DO): Реле K1, K2. Их можно принудительно включить из меню для проверки цепей.

4. Порядок выполнения работы

Этап 1. Просмотр состояния дискретных входов

Включите питание стенда (QF1). На панели терминала нажмите кнопку MENU (или аналогичную, согласно руководству).

Перейдите в раздел «События/Статус» -> «Дискретные входы». Установите выключатель ВВ-ТЕЛ в положение «ОТКЛЮЧЕНО».

Запишите на экране статус входов:

DI1 (Положение ВКЛ): Должен быть 0 (Off).

DI2 (Положение ОТКЛ): Должен быть 1 (On).

DI3 (Готовность блока управления): Должен быть 1 (On), если блок готов.

Переключите выключатель в положение «ВКЛЮЧЕНО». Проверьте изменение статуса DI1 и DI2. Они должны инвертироваться.

Этап 2. Тестирование выходных реле (Без подачи напряжения на катушки!)

Внимание! Чтобы избежать случайного срабатывания выключателя, временно отсоедините провода от катушек YAC и YAT или отключите автомат в цепи катушек.

В меню терминала найдите раздел «Тестирование» или «Управление реле». Выберите реле K1 (Команда ВКЛ). Нажмите «Включить». Мультиметром (в режиме вольтметра DC) измерьте напряжение на контактах реле K1 (выходные клеммы терминала). Должно появиться напряжение 220 В (или 24 В, в зависимости от исполнения реле). Нажмите «Выключить». Напряжение должно исчезнуть. Повторите процедуру для реле K2 (Команда ОТКЛ).

Этап 3. Проверка связи «Вход – Выход» через индикацию.

Подключите обратно катушки (или восстановите предохранители). Убедитесь, что выключатель находится в положении «ОТКЛЮЧЕНО». В меню терминала найдите функцию «Команда ВКЛ» (или используйте кнопку на лицевой панели, если она есть). Подайте команду на включение.

Наблюдайте за:

Светодиодом «Команда ВКЛ» на терминале (должен вспыхнуть).

Работой привода выключателя (должен произойти ход).

Изменением статуса DI1/DI2 на экране.

Проанализируйте время между подачей команды и изменением статуса входа (по секундомеру или визуальному наблюдению за экраном).

5. Обработка результатов

Заполните Таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты проверки логики управления

Действие	Состояние DI1 (ВКЛ)	Состояние DI2 (ОТКЛ)	Реакция привода	Примечание
Выкл. в поз. ОТКЛ	0	1	Нет	Изначальное состояние
Выкл. в поз. ВКЛ	1	0	Был ход	После ручного включения
Команда ВКЛ (из меню)	0 → 1	1 → 0	Был ход	Автоматическое управление
Команда ОТКЛ (из меню)	1 → 0	0 → 1	Был ход	

6. Контрольные вопросы

Как перевести терминал в режим тестирования реле?

Что означает код ошибки «Обрыв цепи управления» на дисплее терминала?

Зачем необходимо отключать катушки перед тестированием выходных реле вручную?

Как проверить, правильно ли подключены дискретные входы, используя только дисплей терминала?

3.3.3 Лабораторная работа №3

Тема: Настройка уставок максимальной токовой защиты (МТЗ) и проверка времени срабатывания

1. Цель работы

Освоить методику ввода уставок токовой защиты через меню терминала «Сириус». Исследовать зависимость времени срабатывания защиты от величины тока. Проверить селективность ступеней МТЗ.

2. Оборудование и приборы

Лабораторный стенд.

Вторичный нагрузочный ящик (ВНЯ) или источник вторичных токов (ИВТ) с возможностью плавного регулирования тока от 0 до 10 А.

Секундомер (или функция таймера в мобильном телефоне, если разрешено).

Амперметр (цифровой или стрелочный) для контроля испытательного тока.

3. Теоретические сведения

Максимальная токовая защита (МТЗ) срабатывает при превышении тока установленной уставки ($I_{уст}$ уст). Время срабатывания состоит из аппаратной задержки терминала (~ 0.05 с) и программной выдержки времени ($t_{уст}$ t уст).

На стенде настроены три ступени МТЗ с независимой выдержкой времени:

Ступень 1: $I_{уст} = 3.5$ А, $t = 1.0$ с.

Ступень 2: $I_{уст} = 5.2$ А, $t = 0.5$ с.

Ступень 3: $I_{уст} = 7.0$ А, $t = 0.2$ с.

4. Порядок выполнения работы

Этап 1. Подготовка и ввод уставок

Подключите источник вторичных токов (ИВТ) ко вторичной обмотке трансформатора тока фазы А (вход AI1 терминала). В меню терминала перейдите в раздел «Защита» -> «МТЗ». Проверьте введенные уставки (см. теорию). Если необходимо, измените их согласно заданию преподавателя. Убедитесь, что защита активна (галочка «Вкл.» стоит).

Этап 2. Проверка срабатывания первой ступени

Установите ток на выходе ИВТ равным нулю.

Плавнo увеличивайте ток до значения 3.6 А (чуть выше уставки 3.5 А). Запустите секундомер в момент достижения тока 3.6 А. Отсчитайте время до момента отключения выключателя ВВ-ТЕЛ (по звуковому сигналу или гашению лампы «ВКЛ»). Остановите секундомер. Зафиксируйте время. Сбросьте защиту (кнопка «Сброс» на терминале или ручной возврат выключателя).

Этап 3. Проверка второй и третьей ступеней

Увеличьте ток до 5.3 А. Зафиксируйте время срабатывания. Увеличьте ток до 7.1 А. Зафиксируйте время срабатывания. Увеличьте ток до 8.0 А (проверка токовой отсечки, если настроена). Зафиксируйте время .

Примечание: При каждом испытании дайте выключателю остыть (пауза 1 минута).

5. Обработка результатов

Заполните Таблицу 9. Постройте график зависимости времени срабатывания от тока (ВТХ).

Таблица 9 – Результаты испытаний МТЗ

Степень защиты	Уставка тока $I_{уст}, А$	Испытательный ток $I_{исп}, А$	Уставка времени $t_{уст}, с$	Фактическое время срабатывания $t_{факт}, с$	Погрешность $\Delta t, \%$
МТЗ 1	3.5	3.6	1.0	_____	_____
МТЗ 2	5.2	5.3	0.5	_____	_____
МТЗ 3	7.0	7.1	0.2	_____	_____
ТО (если есть)	28.0	30.0	0.0	_____	_____

6. Контрольные вопросы

Почему фактическое время срабатывания всегда немного больше уставленного?

Что произойдет, если подать ток 4.0 А? Какая ступень работает?

Как влияет коэффициент возврата на работу защиты?

Можно ли изменить уставку защиты без ПК, используя только кнопки терминала?

3.3.4 Лабораторная работа №4

Тема: Анализ аварийных событий и регистрация осциллограмм в журнале терминала

1. Цель работы

Изучить структуру журнала событий микропроцессорного терминала.

Научиться расшифровывать коды аварий и защитных отключений. Освоить методику просмотра и анализа осциллограмм аварийных процессов на встроенном дисплее терминала.

2. Оборудование и приборы

Лабораторный стенд.

Источник вторичных токов (для имитации КЗ).

Блокнот для записи кодов событий.

3. Теоретические сведения

Терминал «Сириус» ведет непрерывный журнал событий. Каждое событие имеет:

Временную метку (дата и время).

Код события (например, $I > 1$ Trip – срабатывание МТЗ 1 ступени).

Тип события (авария, предупреждение, команда).

Также терминал сохраняет осциллограммы токов и напряжений в момент аварии. На некоторых моделях «Сириус» можно просмотреть упрощенный график на встроенном дисплее.

4. Порядок выполнения работы

Этап 1. Имитация аварийного режима

Убедитесь, что защита активна. Подключите источник вторичных токов. Резко подайте ток величиной 4.0 А (срабатывание МТЗ 1 ступени). Зафиксируйте факт отключения выключателя. Подождите 1 минуту.

Этап 2. Анализ журнала событий

На панели терминала войдите в меню «Журнал событий». Найдите последнее событие (обычно оно сверху списка).

Запишите:

Время события.

Код события.

Описание на русском языке (если доступно в меню). Просмотрите предыдущие события (команды включения/отключения), чтобы убедиться в хронологии.

Этап 3. Просмотр осциллограммы (если поддерживается дисплеем)

В меню журнала выберите последнее аварийное событие. Перейдите в подменю «Осциллограмма». На экране отобразится график тока фазы А до, во время и после аварии.

Визуально оцените:

Величину тока до аварии (рабочий ток).

Пик тока при КЗ.

Момент спада тока до нуля (момент отключения в дугогасительной камере).

Сфотографируйте экран (если разрешено) или зарисуйте форму кривой в отчете.

Этап 4. Расшифровка кодов

Используя Руководство по эксплуатации (Приложение Г), расшифруйте все коды, которые встретились в журнале за время проведения всех лабораторных работ.

5. Обработка результатов

Заполните Таблицу 10.

Таблица 10 – Журнал событий стенда

№ п/п	Дата и время	Код события	Расшифровка (на русском языке)	Причина события	Действие оператора
1	10:05:01	Cmd On	Команда ВКЛ	Ручное включение	Нажата кнопка
2	10:05:02	Pos Chg	Изменение положения	ВКЛ → ОТКЛ	Срабатывание защиты
3	10:05:02	I>1 Trip	Сраб. МТЗ ст.1	Ток 4.0 А > 3.5 А	Автоматически
...	...	...	...	...	...

6. Контрольные вопросы

Как долго хранятся события в журнале терминала?

Чем отличается событие «Предупреждение» от события «Авария»?

Как можно сбросить журнал событий?

Какую информацию дает осциллограмма о характере повреждения (металлическое КЗ или переходное сопротивление)?

3.3.5 Примечание для преподавателя

Данные лабораторные работы могут выполняться последовательно. Для лабораторных работ №3 и №4 требуется наличие источника вторичных токов. Если такой источник отсутствует, можно использовать симуляцию путем замыкания входов AI на землю через резисторы известного номинала (при условии, что вход терминала работает как делитель напряжения, но это менее точно). Лучше всего использовать специализированный источник токов.

3.4 Критерии оценки

– Отлично: все работы выполнены, отчёты оформлены по ГОСТ, погрешность <5%, безопасность соблюдена, дан анализ ошибок.

– Хорошо: выполнены все работы, отчёты содержат незначительные недочёты, погрешность <10%.

– Удовлетворительно: выполнены базовые работы, отчёты неполные, есть замечания по безопасности.

– Неудовлетворительно: нарушение ТБ, невыполнение работ, отсутствие отчёта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы достигнуты следующие результаты:

6. Проведён комплексный анализ современного состояния систем управления вакуумными выключателями, обоснована актуальность разработки учебно-исследовательского стенда.

7. Разработана проектная документация на стенд «Управление вакуумного выключателя», включающая структурную, функциональную схему, полностью соответствующие требованиям ГОСТ 2.702-2011 и ПУЭ.

8. Выбраны и обоснованы основные компоненты: вакуумный выключатель ВВ-ТЕЛ-10-20/630 и микропроцессорный терминал «Сириус-2-В/210», обеспечивающие надёжность, безопасность и функциональность.

9. Спроектирован алгоритм работы оборудования стенда, реализованный через программируемую функциональную логическую схему терминала, включающий режимы управления, защитных отключений, диагностики и регистрации событий.

10. Разработан полный комплект методических указаний для лабораторного стенда, содержащий 4 лабораторные работы, пошаговые инструкции, требования безопасности, формы отчётности и критерии оценки.

11. Определены перспективы развития: интеграция с SCADA-системами, расширение модельного ряда оборудования для исследования сетевой автоматики (АПВ, АВР).

Выпускная квалификационная работа имеет выраженный прикладной характер и может быть непосредственно внедрена в учебный процесс кафедр электротехники и автоматизации, а также использована в центрах повышения квалификации персонала энергетических предприятий.

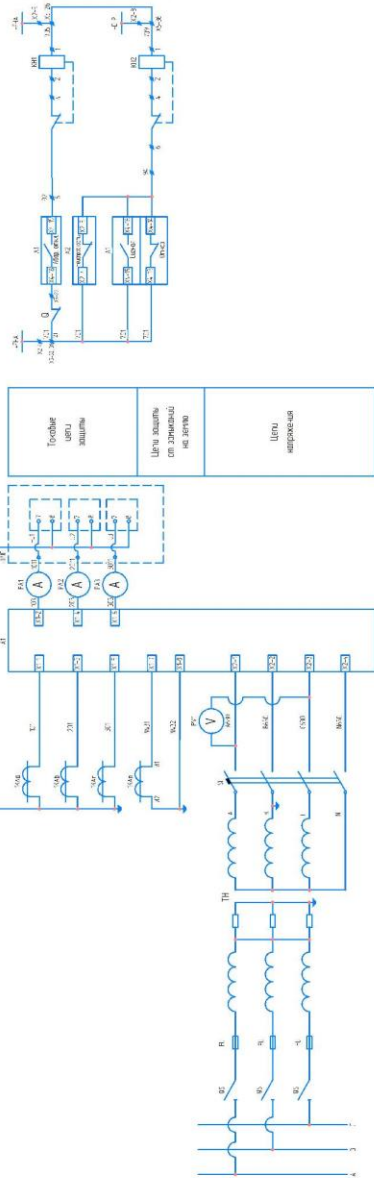
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 52565-2006. Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2006. – 87 с.
2. ГОСТ Р МЭК 62271-100-2022. Высоковольтное оборудование. Часть 100. Выключатели переменного тока высокого напряжения. – М.: Росстандарт, 2022. – 156 с.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание 7. – М.: Энергоатомиздат, 2023. – 720 с.
4. РД 34.20.501-95. Типовая инструкция по эксплуатации микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики. – М.: ОРГРЭС, 1995. – 45 с.
5. Микропроцессорное устройство защиты ввода «Сириус-2-В». Руководство по эксплуатации БПВА.656122.098 РЭ [Текст]. – М.: АО «РАДИУС Автоматика», 2024. – 124 с.
6. Вакуумные выключатели серии ВВ-ТЕЛ. Паспорт и руководство по эксплуатации. – Чебоксары: НПП «Контакт», 2022. – 68 с.
7. Черноусов, А.С. Релейная защита и автоматика электрических систем: учебное пособие / А. С. Черноусов. – М.: Энергия, 2021. – 384 с.
8. Шнеерсон, Э. М. Цифровая релейная защита: учебное пособие / Э. М. Шнеерсон. – СПб.: Лань, 2020. – 416 с.
9. Бэка, А. И. Автоматизация подстанций / А. И. Бэка. – М.: Издательский дом МЭИ, 2019. – 298 с.
10. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТЭЭ). – М.: НЦ ЭНАС, 2022. – 184 с.
11. Программное обеспечение «Сириус-Конфигуратор». Версия 5.4. Техническая документация. – М.: АО «РАДИУС Автоматика», 2024. – Режим доступа: локальная документация ПО. – (Дата обращения: 02.05.2026).
12. Электрические станции: научно-технический журнал. – 2023–2025. – № 4–6. – Статьи по цифровым подстанциям.

13. Портал rza.ru – раздел поддержки и документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rza.ru>. – (Дата обращения: 03.05.2026).

14. Портал contact.ru – каталог высоковольтного оборудования [Электронный ресурс]. – Чебоксары: НПП «Контакт». – Режим доступа: <https://contact.ru>. – (Дата обращения: 05.05.2026).

15. Методические указания по курсовому проектированию систем релейной защиты и автоматики. – М.: Вузовский издательский центр, 2021. – 52 с.

[illegible]

№	21-ЛФ-349
г.р.	Москва, Московская
г.р.	1 Января 2
ЛФ	ПНИПУ

The diagram illustrates a digital circuit with two 8-bit registers, A and B. Register A's inputs are labeled 0 through 7, and its outputs are also labeled 0 through 7. Register B's inputs are labeled 0 through 7, and its outputs are also labeled 0 through 7. The circuit includes several logic components:

- AND Gates:** Four 2-input AND gates are shown, labeled 1, 2, 3, and 4. Gate 1 takes inputs from A[0] and A[1]. Gate 2 takes inputs from A[2] and A[3]. Gate 3 takes inputs from A[4] and A[5]. Gate 4 takes inputs from A[6] and A[7].
- OR Gates:** Two 2-input OR gates are shown, labeled 5 and 6. Gate 5 takes inputs from the outputs of AND gates 1 and 2. Gate 6 takes inputs from the outputs of AND gates 3 and 4.
- Multiplexers:** A 2-to-1 MUX (labeled 7) takes inputs from the outputs of OR gates 5 and 6. Its output is connected to input 0 of Register B. A 4-to-1 MUX (labeled 8) takes inputs from the outputs of AND gates 1, 2, 3, and 4. Its output is labeled 'F'.
- Inverters and Buffers:** Several inverters and buffers are used throughout the circuit to manipulate signals.

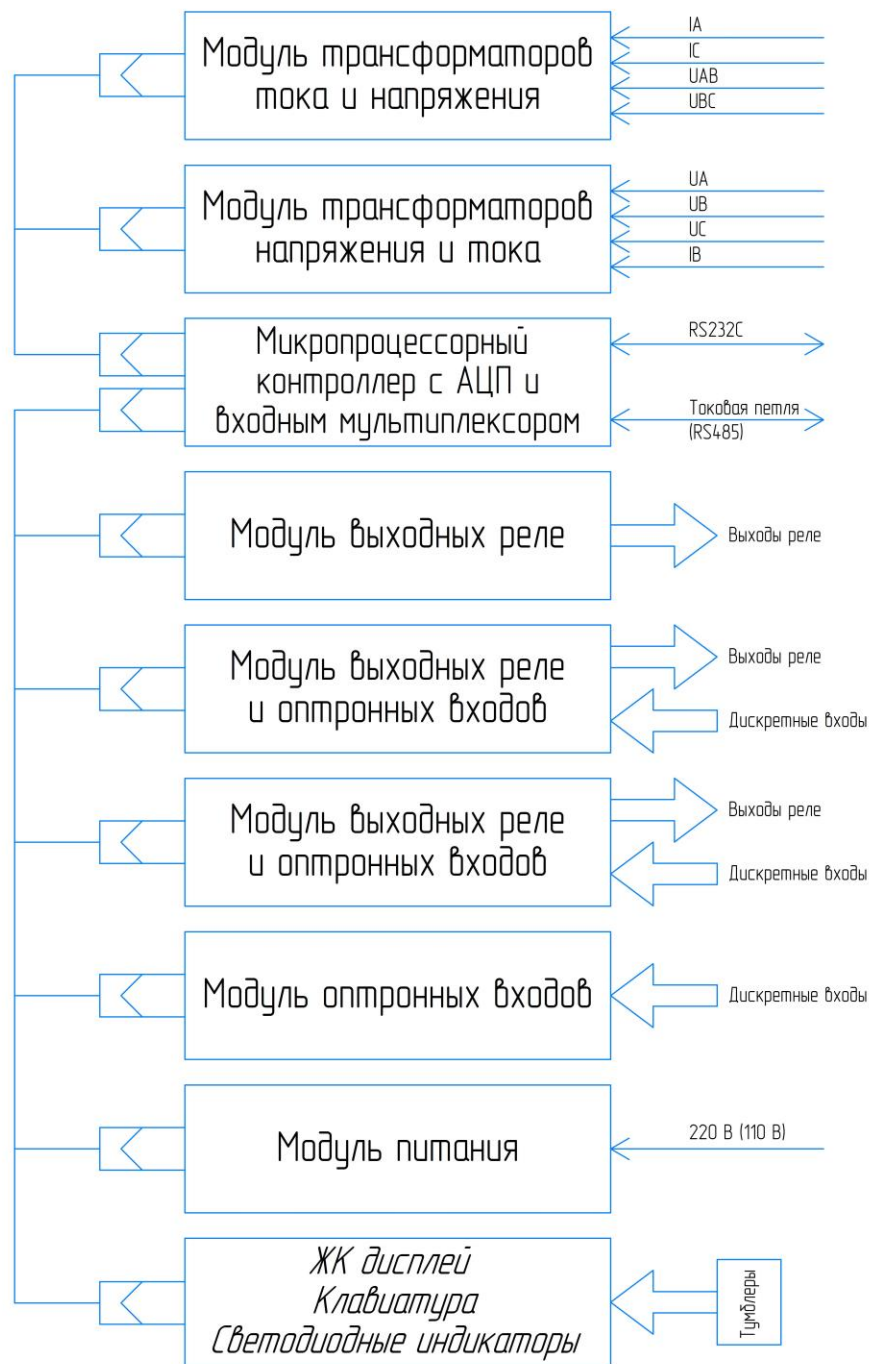
OKP 13.03.02 A37-27-1603 27-110-349



				ВКР 13.03.02 АЭП-21-1003 21-1Ф-349			
Имя (фамилия)	И.О. Фамилия	Подпись	Дата	Август 1 Магистр Магистрант Август 2 Август 3			
Результат	Исследование работы документа выполнено						
Комментарий	68-72 по теме информационного термина						
Инициалы студента	Схема соединения и подключения			1Ф ПРИПУ			
Курсовое				Формат А1			

Структурная схема устройства «Сириус-2-В»

ВКР 13.03.02 АЭП-21-1баз 21-ЛФ-349



Лист 1 из 3
Лист 2 из 3
Лист 3 из 3

ВКР 13.03.02 АЭП-21-1баз 21-ЛФ-349			
Исполнитель	М.П. Директор	Лист	Дата
Проверен	Подпись	Лист	Дата
Утвержден	Подпись	Лист	Дата
Исполнитель	М.П. Директор	Лист	Дата
Проверен	Подпись	Лист	Дата
Утвержден	Подпись	Лист	Дата
Структурная схема контроллера		Лист	Листов
ЛФ ПНИПУ		Лист	Листов
Копировать		Лист	Листов