

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Режимы работы электрических источников питания, подстанций, сетей и систем  
(направленность (профиль))

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Реконструкция электрической части ГПП-2 на Тольяттинской производственной площадке ООО «Сибур»

Студент(ка)

А.В. Егоркин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

С.В. Шаповалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., профессор В.В. Вахнина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Тольятти 2016

## Содержание

	Введение	5
1	Характеристики объекта проектирования	14
1.1	Сведения о назначении производства	14
1.2	Характеристики источников электроснабжения объектов ПАО «Сибур» ТПП к сетям электроснабжения	15
1.3	Сведения о количестве электроприемников, их установленной и расчетной мощности	16
1.4	Требования к надежности электроснабжения и качеству электроэнергии	22
1.5	Учет электроэнергии	23
1.6	Перечень мероприятий по экономии электроэнергии	23
1.7	Сведения о мощности трансформаторных объектов	24
2	Выбор схемы электроснабжения	26
2.1	Расчет токов короткого замыкания	27
2.2	Выбор электрических аппаратов и проводников	29
2.2.1	Выбор вводного выключателя в РУ-6 кВ на ГПП-2	30
2.2.2	Выбор выключатель 6 кВ на отходящем фидере РУ-6 кВ	31
2.3.1	Вакуумный силовой выключатель VM1-T	32
2.3.2	Базовая конструкция силового выключателя на выдвигном механизме	33
2.3.3	Принцип работы привода выключателя	34
2.3.4	Последовательность автоматического повторного включения (АПВ)	35
2.3.5	Принцип гашения вакуумной коммутационной камеры	35
2.3.6	Блокирующие устройства	36
2.4	Выбор трансформатора тока на стороне ГПП-2 и ввода РУ 6 кВ	37
2.5	Выбор трансформатора тока на отходящем фидере РУ 6 кВ	37

2.6	Выбор трансформатора напряжения	39
2.7	Выбор конструктивных решений	40
2.8	Релейная защита	41
2.8.1	REF 542 plus	42
2.8.2	Светодиод готовности блока	48
2.8.3	Светодиод сетевой связи	48
2.8.4	Светодиод аварийной сигнализации	48
2.8.5	Ошибка блокировки	49
2.8.6	Датчик электронных ключей	49
2.8.7	Управление объектом	49
2.8.8	Перемещения по меню	50
2.8.9	Программируемые светодиоды	50
2.8.10	Интерфейс ПК	50
2.8.11	Диаграммы измерений	50
2.8.12	Текст	51
2.8.13	Представление однолинейных мнемосхем	51
2.8.14	Конфигурация	52
2.8.15	Измерения	53
2.8.16	Контроль и самодиагностика	56
2.8.17	Защита	57
2.8.18	Управление	57
2.8.19	Регистрация событий	63
2.9	Высокоскоростное переключающее устройство SUE3000	64
2.9.1	Схема с двумя вводными и секционным выключателями	64
2.9.2	Инициация работы SUE3000	65
2.9.3	Конструкция	65
2.9.4	Функции	66
2.9.5	Режим работы	67
2.9.6	Постоянное определение состояния сети	68

2.10	Выбор оперативного тока	68
2.11	Собственные нужды подстанции	69
2.12	Система измерений на подстанции	70
2.13	Расчет заземления подстанции	71
2.14	Конструкция шкафа КРУ	72
3	Технико-экономический расчет	78
3.1	Дифференциация производства бутылкаучука на зоны электроснабжения	78
3.2	Краткое описание системы электроснабжения каждой зоны	79
3.3	Анализ каждой зоны на баланс загруженности сетей и подстанций	88
3.4	Проектный вариант № 1	89
3.5	Проектный вариант № 2	91
3.6	Сравнительный анализ проектных вариантов	91
	Заключение	92
	Список использованных источников	94

## **Введение**

В связи с тем, что ПАО «Сибур» «Тольяттинской производственной площадки» (ТПП) планирует значительные инвестиции в 4(бутилкаучука) завод на «Тольяттинской производственной площадке», необходимо произвести реконструкцию схемы электроснабжения четвертого завода.

**Целью** работы является доведение качества электроэнергии до ГОСТ 54149-2013, а также повышение эффективности схемы питания потребителей от ТПП-2 и производства бутилкаучука ПАО «Сибур» ТПП.

В соответствии с указанной целью поставлены следующие **задачи исследования**:

1. Проведение анализа существующей схемы питания.
2. Повысить эффективность схемы питания на 4 заводе.
3. Выполнение технико-экономического расчета полученной схемы.

Системы электроснабжения современных промышленных предприятий должны удовлетворять следующим требованиям:

- Экономичность и надежность.
- Безопасность и удобство в эксплуатации.
- Обеспечение надлежащего качества электроэнергии, уровней и отклонений напряжения, стабильности частоты и др.
- Гибкость системы, дающей возможность дальнейшего развития без существенного переустройства и эксплуатации.
- Максимального приближения источников высшего напряжения к электроустановкам потребителей, обеспечивающего минимум сетевых звеньев и ступеней промежуточной трансформации, снижение первоначальных затрат и уменьшение потерь электроэнергии с одновременным повышением надежности.

### **Новизна и (или) практическая значимость работы:**

1) Проведен анализ существующей схемы электроснабжения, выявлены ее недостатки.

2) Произведены необходимые расчеты для выбора электрооборудования, а также рассчитаны технико-экономические затраты на реконструкцию.

Электрическая сеть, запроектированная на основе преуменьшенных расчетных нагрузок, не сможет обеспечить пропускную способность элементов сети по условию нагрева, вследствие этого нарушается нормальное функционирование предприятия. Завышение же расчетной нагрузки приводит к излишним капиталовложениям в строительство сетей электроснабжения и нарушению электромагнитной совместимости. Поэтому точное определение расчетных нагрузок есть первый и основополагающий этап проектирования любой электрической сети в промышленности.

Электрическая энергия является единственным видом продукции, для перемещения которого от мест производства до мест потребления не используются другие ресурсы. Для этого расходуется часть самой передаваемой электроэнергии, поэтому ее потери неизбежны, задача состоит в определении их экономически обоснованного уровня. Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях до этого уровня - одно из важных направлений энергосбережения.

В электрических сетях рост потерь энергии определен действием вполне объективных закономерностей в развитии всей энергетики в целом. Основными из них являются:

- тенденция к концентрации производства электроэнергии на крупных электростанциях;
- непрерывный рост нагрузок электрических сетей, связанный с естественным ростом нагрузок потребителей и отставанием темпов прироста пропускной способности сети от темпов прироста потребления электроэнергии и генерирующих мощностей.

Потери электроэнергии в электрических сетях являются экономическим показателем состояния сетей. По мнению международных экспертов в области энергетики относительные потери электроэнергии при ее передаче в электрических сетях не должны превышать 4%. Потери электроэнергии на уровне 10 % можно считать максимально допустимыми.

На основании уровня потерь электроэнергии можно сделать выводы о необходимости и объеме внедрения энергосберегающих мероприятий.

Фактические потери определяют, как разность электроэнергии, поступившей в сеть отпущенной из сети потребителям, их можно разделить на три составляющие:

- 1) технические потери электроэнергии, обусловленные физическими процессами в проводах и электрооборудовании, происходящими при передаче электроэнергии по электрическим сетям, включают в себя расход электроэнергии на собственные нужды подстанций;
- 2) потери электроэнергии, обусловленные погрешностью системы учета, как правило, представляют недоучет электроэнергии, обусловленный техническими характеристиками и режимами работы приборов учета электроэнергии на объекте;
- 3) коммерческие потери, обусловленные несанкционированным отбором мощности электроэнергии, несоответствием оплаты за электроэнергию бытовыми потребителями показаниям счетчиков и другими причинами в сфере организации контроля за потреблением энергии. Коммерческие потери не имеют самостоятельного математического описания и, как следствие, не могут быть рассчитаны автономно. Их значение определяют, как разницу между фактическими потерями и суммой первых двух составляющих, представляющих собой технологические потери.

Потери электроэнергии в сетях определяются тремя основными факторами:

1. За счёт погрешности измерений фактически отпущенной в сеть энергии и полезно отпущенной электроэнергии для потребителей;

2. За счёт занижения полезного отпуска в результате технических потерь;
3. За счёт неучтённых подключений потребителей (в частности, хищений электроэнергии).

Высокие потери электроэнергии в сетях, как правило, говорят либо о каких-либо накапливающихся проблемах сетей электропередачи, либо о неэффективной работе оборудования (к примеру, исчерпывающего свой ресурс). По сути, любые потери электроэнергии в сетях, выходящие за рамки некой минимальной планки — это сигнал для специалиста, означающий, что требуется реконструировать или же технически переоснащать имеющийся комплекс.

Если уровень потерь электроэнергии слишком высок, это говорит об очевидных проблемах, связанных со следующими вопросами:

1. Медленное развитие электросети.
2. Устаревшее техническое оборудование.
3. Несовершенство методов управления сетью.
4. Несовершенство методов учета электроэнергии.
5. Неэффективность процесса сбора платы за поставляемую электроэнергию.

Разумеется, в идеальном состоянии потери электроэнергии в сетях должны полностью отсутствовать, однако всегда существуют невозполнимые технические потери (из-за физических процессов передачи электроэнергии, её трансформации и распределения), определяемые расчётом с некоторой погрешностью. В случае если погрешность высока, как правило, такая сеть малоэффективна, так как вызывает высокие коммерческие потери.

Потери электроэнергии в трансформаторах значительны и их необходимо снижать до возможного минимума путем:

1. Правильно выбора мощности и числа трансформаторов.
2. Рационального режима их работы.
3. Исключения холостых ходов при малых нагрузках.



После проводимого расчёта потерь, следует выполнить несколько мероприятий по повышению эффективности работы системы:

1. Оптимизировать режимы работы.
2. Усовершенствовать нормы эксплуатации сетей.
3. Провести работу по модернизации сети.
4. Ввести в строй энергосберегающее оборудование.
5. Усовершенствовать учёт энергии.
6. Рассчитать норматив потерь и пересмотреть схему распределения энергии.
7. Произвести точный учёт потребителей.
8. Повысить эффективность работы персонала.

Потери электроэнергии в сетях определяются тремя основными факторами:

1. За счёт погрешности измерений фактически отпущенной в сеть энергии и полезно отпущенной электроэнергии для потребителей.
2. За счёт занижения полезного отпуска в результате технических потерь.
3. За счёт неучтённых подключений потребителей (в частности, хищений электроэнергии).

Фактические потери определяют, как разность электроэнергии, поступившей в сеть отпущенной из сети потребителям, их можно разделить на три составляющие:

- технические потери электроэнергии, обусловленные физическими процессами в проводах и электрооборудовании, происходящими при передаче электроэнергии по электрическим сетям, включают в себя расход электроэнергии на собственные нужды подстанций;
- потери электроэнергии, обусловленные погрешностью системы учета, как правило, представляют недоучет электроэнергии, обусловленный

техническими характеристиками и режимами работы приборов учета электроэнергии на объекте;

- коммерческие потери, обусловленные несанкционированным отбором мощности электроэнергии, несоответствием оплаты за электроэнергию бытовыми потребителями показаниям счетчиков и другими причинами в сфере организации контроля над потреблением энергии. Коммерческие потери не имеют самостоятельного математического описания и, как следствие, не могут быть рассчитаны автономно. Их значение определяют, как разницу между фактическими потерями и суммой первых двух составляющих, представляющих собой технологические потери.

К мероприятиям по снижению потерь являются практические действия, приводящие к реальному снижению потерь.

Исходя из особенностей получения эффекта данных мероприятий, могут быть разделены на следующие четыре группы:

- мероприятия по улучшению режимов работы электрических сетей;
- мероприятия по реконструкции электрических сетей, осуществляемые с целью снижения потерь;
- мероприятия по совершенствованию системы учета электроэнергии;
- мероприятия по снижению хищений электроэнергии.

К мероприятиям по реконструкции электрических сетей относятся:

1. Разукрупнение подстанций, ввод дополнительных ВЛ и трансформаторов для разгрузки перегруженных (по экономическим, а не техническим условиям) участков сетей, замена мало загруженных трансформаторов на подстанциях (в том числе и их перемещение на другие подстанции), ввод дополнительных коммутационных аппаратов, обеспечивающих возможность переключения участков сетей на питание от других подстанций, и т. п.

2. Ввод КУ на подстанциях сетевой организации.

3. Ввод технических средств регулирования потоков мощности по линиям (трансформаторов с продольно-поперечным регулированием и вольтодобавочных трансформаторов).

Основными источниками потерь электроэнергии являются:

1. реактивная мощность или точнее реактивная нагрузка. Если нагрузка чисто активная, например, это лампы накаливания, электронагреватели, электроплитки, то электроэнергия потребляется практически полностью (кпд более 90%,  $\cos\varphi$  стремится к 1). Но это идеальный случай, обычно нагрузка имеет емкостной или индуктивный характер. В действительности косинус  $\varphi$  потребителя величина, изменяемая по времени, и имеет значение от 0.3 до 0.8, если не применять специальных мер.

При реактивной нагрузке имеет место явление неполного поглощения энергии, ее отражения от нагрузки и циркуляция паразитных токов в проводах. При этом получают дополнительные потери в проводах на нагрев, броски напряжения и тока, приводящие к неисправностям. Например, частично нагруженный асинхронный электродвигатель электропилы или пилорамы имеет  $\cos\varphi=0.3-0.5$ .

Из статистики известно, что по причине, не скомпенсированной реактивной мощности потребитель теряет до 30% электроэнергии. Для того чтобы ликвидировать такие типы потерь, используются компенсаторы реактивной мощности. Такие устройства серийно выпускаются промышленностью.

2. Кража электроэнергии. Данным источником потерь должен заниматься потребитель, так как по закону у него должен стоять общедомовой или общехозяйственный счетчик и за воровство одним потребителем должны платить все остальные потребители.

Способы борьбы с потерями:

Первый способ основан на снижении сопротивления нулевого провода. Как известно ток течет по двум проводам: нулевому и фазному. Если увеличение сечения фазного провода достаточно затратное (стоимость меди

или алюминия плюс работы по демонтажу и монтажу), то сопротивление нулевого провода можно уменьшить достаточно просто и очень дешево.

Этот способ использовался с момента прокладки первых линий электропередач, но в настоящее время часто не используется. Заключается он в повторном заземлении нулевого провода на каждом столбе электролинии или (и) на каждой нагрузке. В этом случае параллельно сопротивлению нулевого провода подключается сопротивление земли между нулем трансформатора подстанции и нулем потребителя.

Второй простейший способ тоже основан на снижении сопротивления. Только в этом случае необходимо проверять оба провода - ноль и фазу. В процессе эксплуатации воздушных линий из-за обрыва проводов образуются места локального повышения сопротивления – скрутки, сrostки и т.д. В процессе работы в этих местах происходит локальный разогрев и дальнейшая деградация провода, грозящая разрывом.

Такие места видны ночью из-за искрения и свечения. Необходимо периодически визуально проверять электролинию и заменять особо плохие ее отрезки или линию целиком.

Для ремонта лучше всего применить самонесущие алюминиевые изолированные кабели СИП. Они называются самонесущими, т.к. не требуют стального троса для подвески и не рвутся под тяжестью снега и льда. Такие кабели долговечны (срок эксплуатации более 25 лет), есть специальные аксессуары для легкого и удобного крепления их к столбам и зданиям.

3. Способ основан на применении специальных стабилизаторов напряжения на входе в дом или другой объект. Такие стабилизаторы бывают как однофазного, так и трехфазного типа. Они увеличивают  $\cos\varphi$  и обеспечивают стабилизацию напряжения на выходе в пределах  $\pm 5\%$ , при изменении напряжения на входе  $\pm 30\%$ . Их мощностной ряд может быть от сотен Вт до сотен кВт.

4. Способ компенсации потерь электроэнергии. Это способ использования устройств компенсации реактивной мощности. Если нагрузка

индуктивная, например, различные электромоторы, то это конденсаторы, если емкостная, то это специальные индуктивности

Самым эффективным решением является вынос электросчетчика из здания и установка его на опоре линии электропередачи в специальном герметичном боксе. В этом же боксе устанавливаются вводный автомат с пожарным УЗО и разрядники защиты от перенапряжений.

Этот способ снижения потерь за счет использования трехфазного подключения. При таком подключении снижаются токи по каждой фазе, а, следовательно, потери в линии и можно равномерно распределить нагрузку.

**Структура и объем работы.** Магистерская диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 97 страницах основного текста, содержит 27 рисунков, 19 таблиц. Список использованных источников включает 33 наименований (с учетом собственных публикаций).

## 1 Характеристики объекта проектирования

### 1.1 Сведения о назначении производства

ПАО «Сибур» ТПП является крупнотоннажным промышленным предприятием, предназначенным для выпуска синтетических каучуков различных марок и соответствующих промежуточных и вспомогательных продуктов. В состав ПАО «Сибур» ТПП входят 4 производства, а также вспомогательные подразделения.

Реконструируемое производство бутылкачука располагается на заводе №4. В состав завода № 4 входят площадки, представленные на рисунке 1.1.

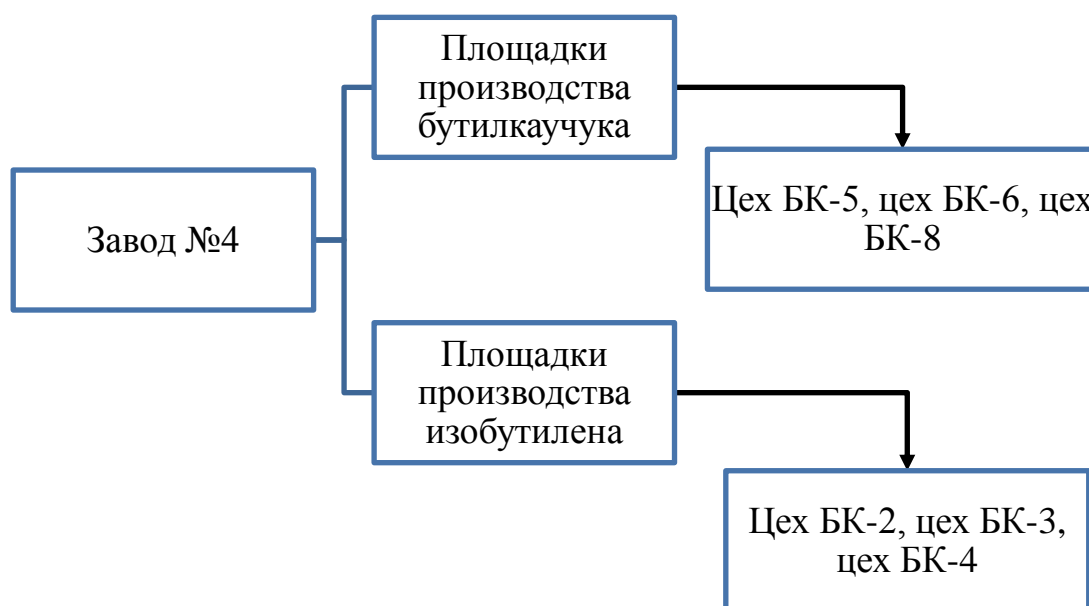


Рисунок 1.1 – Состав завода № 4

Цех БК-4 предназначен для получения изобутилена высокой степени чистоты из изобутилен-содержащих фракций, бутилен-изобутиленовой фракции (БИФ) цеха Д-4, изобутан-изобутиленовой фракции (ИИФ) цеха БК-3

и возвратного изобутилена цеха И-9.

Товарными продуктами, производства БК являются:

- бутилкаучук,
- изобутилен-ректификат,
- изобутан-изобутиленовая фракция,
- формованный катализатор КУ-ФПП, используемый в процессе получения изобутилена.

## **1.2 Характеристики источников электроснабжения объектов ПАО «Сибур» ТПП к сетям электроснабжения**

Проектируемые приемники электрической энергии производственных объектов ПАО «Сибур» ТПП в отношении обеспечения надежности электроснабжения относятся к первой категории и требуют обеспечения электрической энергией от двух независимых взаиморезервирующих источников питания.

Для надежного обеспечения электрической энергией потребителей производственных объектов ПАО «Сибур» ТПП по первой категории надежности электроснабжения и технических условий электроснабжения вновь установленного и заменяемого электрооборудования ПАО «Сибур» ТПП завода №4 в проектной документации предусмотрено:

- электроснабжение на напряжение 6 кВ выполнить с существующей ГПП-2 2х32000 кВА — 110/6 кВ, расположенной на территории очистных сооружений завода. Электроснабжение ГПП-2 110/6 кВ осуществляется от двух независимых источников «Каучук- 2» и «Каучук-3» по двум ВЛ -110 кВ, которые питают два силовых трансформатора ГПП-2 2х32000 кВА -110/6 кВ;
- прокладка питающих кабелей 6 кВ от разных секций РУ-6 кВ ГПП-2 110/6 кВ до проектируемого РУ-6 кВ. Проект трассы питающих кабелей 6 кВ от ГПП-2 110/6 кВ до проектируемого РУ-6 кВ ПС-53;

- в здании цеха БК-8 в свободном помещении ПС № 53 разместить проектируемое 2-хсекционное РУ-6 кВ на 28 ячеек;
- прокладка кабельных трасс 6 кВ от проектируемого РУ-6 кВ до ПС №118-2 КТПП- 1600/6/0,4 кВ по существующим эстакадам;
- прокладка кабельных трасс 6 кВ от проектируемого РУ-6 кВ до ПС №45-2 КТПП- 2500/6/0,4 кВ по существующим эстакадам;
- прокладка кабельных трасс 6 кВ от проектируемого РУ-6 кВ до ПС №109-2 КТПП- 1000/6/0,4 кВ по существующим эстакадам;
- прокладка кабельных трасс 6 кВ от проектируемого РУ-6 кВ в цех БК-4 (компрессорное отделение) до компрессорной центробежной установки поз. М-148 по существующим эстакадам;
- прокладка кабельных трасс 6 кВ от проектируемого РУ-6 кВ в цех БК-8 (корпус №2, компрессорное отделение) до компрессорной центробежной установки (КУ) поз. ТК 107-3 по существующим эстакадам;
- реконструкция существующей ПС №118 цех ИП-19 с заменой существующей 2 КТПП- -630/6/0,4 кВ на 2 КТПП-1600/6/0,4 кВ;
- прокладка кабельных трасс 0,4 кВ от ПС №118-2 КТПП-1600/6/0,4 кВ в цех БК-6 к проектируемому технологическому оборудованию линии сушки и упаковки бутилкаучука производительностью 4 т/ч. по существующим и проектируемым эстакадам;
- прокладка кабельных трасс 0,4 кВ от проектируемой ПС №45-2 КТП-2500/6/0,4 кВ в цех БК-6 к проектируемым щитам полимеризаторов и от них к проектируемым электроприемникам по существующим эстакадам.

### **1.3 Сведения о количестве электроприемников, их установленной и расчетной мощности**

Основными приемниками электрической энергии производственных объектов ПАО «Сибур» ТПП, рассматриваемыми в данном проекте, являются асинхронные электродвигатели приводов технологических установок,



представленных на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 –Технологические установки приводов асинхронных электродвигателей

Режим работы завода круглосуточный. Количество часов работы в год основных потребителей составляет 8256.

Основные показатели электроснабжения и данные по установленным и расчетным мощностям приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1- Основные показатели электроснабжения

№ п\п	Наименование показателя	Ед. изм.	Кол.	Приме- чание
1.	Принятые напряжения: первичное вторичное силовых электроприемников	В В В	6300 400 380	
2.	Электроприемники напряжением 6 кВ 2.1 РУ-6 кВ. Цех БК-8.Компрессор центробежный поз.Тк-107 3 2.2 РУ-6 кВ. Цех БК-4 Компрессор центробежный поз. М-148 2.3 Установленная мощность силовых электроприемников 2.4 Максимум ожидаемой нагрузки	кВтхшт. кВтхшт. кВт кВт/ кВА	1250x1 800x1 2050 1743/ 1904	
3.	Электроприемники напряжением 0,4 кВ 3.1 П/ст №45-2КТПП-1600/6/0,4 кВ. Трансформаторы Т-3, Т-4. (сущ.) Цех БК-6. Отделение дегазации. 3.1.1 Дегазатор поз.Л-55а (ЩСУ-2 сущ.) 3.1.2 Насосы (ЩСУ-1 сущ.): - заменяемые поз. Н-54/2,3; поз.Н-56/1; поз.Н-723/1,2; - вновь устанавливаемые 56а/1,2. 3.1.3 Установленная мощность проектируемых силовых электроприемников на щитах	кВтхшт. кВтхшт. кВтхшт .	55x1 40x5 40x2	

№ п\п	Наименование показателя	Ед. изм.	Кол.	Приме чание
	ЩСУ1	кВт	80	
	ЩСУ2	кВт	55	
	3.1.4 Максимум ожидаемой нагрузки от проектируемого оборудования на щитах			
	ЩСУ 1	кВт/кВА	34/38	
	ЩСУ 2	кВт/кВА	33/43	
	3.2 П/ст №45 2КТПП-2500/6/0,4 кВ. Трансформаторы Т-1,Т-2.(проектируемая) Цех БК-5. Отделение полимеризации.			
	3.2.1 Полимеризаторы поз. Л52/1,8	кВтхшт.	172х2	сущ.
	3.2.2 Полимеризаторы поз. Л52/2-7	кВтхшт.	222х6	взамен
	3.2.3 Установленная мощность силовых электроприемников	кВт	1676	сущ. 172
	3.2.4 Максимум ожидаемой нагрузки Полимеризаторы поз. Л52/2-7	кВт/ кВА	1341/ 1786	кВтх6
	3.3 П/ст №118 2КТПП-1600/6/0,4 кВ-проектируе- мая. Цех БК-6. Линия сушки и упаковки бутилкаучука производительностью 4 т/час.			
	3.3.1 Экструдер отжима SDU поз. А-802	кВтхшт.	161х1	
	3.3.2 Сушилка TSU поз. А-804	кВтхшт.	75х1	
	3.3.3 Конвейер передаточный поз. А-805	кВтхшт.	5.5х1	
	3.3.4 Конвейер распределительный поз. А-806	кВтхшт.	4х1	
	3.3.5 Питатели прессов поз. А-807/1,2	кВтхшт	5,5х2	
	3.3.6 Автомат, дозировочные весы поз. А-808/1,2			

№ п\п	Наименование показателя	Ед. изм.	Кол.	Приме чание
	3.3.7 Брикетировочный пресс поз. А-809/1,2	кВтхшт.	1х2	
	3.3.8 Конвейерная система обработки брикетов поз. А-810, А-811 — А-817	кВтхшт.	49х2	
	3.3.9 Металлодетектор поз. А-811	кВтхшт.	0,4х10	
	3.3.10 Контрольные весы поз. А-А-812	кВтхшт.	0,55х1	
	3.3.11 Пленкооберточная машина поз. А-814	кВтхшт.	0,55х1	
	3.3.12 Экструдер DWD поз. А-803	кВтхшт.	5х1	
	3.3.13 Компрессор (вентилятор турбулятора) поз.К-821	кВтхшт.	497х1	
	Дополнительное технологическое оборудование. Щит ЩСУ-800 - проектируемый.	кВтхшт.	55,4х1	
	3.3.14 Емкость с мешалкой поз. А-800	кВтхшт.	30х1	
	3.3.15 Насосы поз.Н-801/1,2; поз.Н-819/1,2;	кВтхшт.	40х4	
	3.3.16 Вентиляционные системы В1,В2	кВтхшт.	5,5х1+ 0,75х1	
	ИТОГО:			
4	Установленная мощность силовых электроприемников напряжения 6 кВ.	кВт	2050	
5	Установленная мощность силовых электроприемников напряжения 0,4 кВ	кВт	2926,25	
6	Максимум ожидаемой нагрузки 6 кВ	кВт/ кВА	1743/ 1904	
7	Максимум ожидаемой нагрузки 0,4кВ	кВт/ кВА	2300/ 3055	
8	Средний коэффициент загрузки силовых трансформаторов			

№ п\п	Наименование показателя	Ед. изм.	Кол.	Приме чание
	8.1 П/ст №45-2КТПП-2500/6/0,4кВ, трансформаторы Т-1, Т-2 - 2х2500 кВА до реконструкции/ после реконструкции (с учетом существующих электропотребителей)	% / %	34/50	
	8.2 П/ст №118-2КТПП-1600/6/0,4 кВ трансформаторы Т-1, Т-2 - 2х1600 кВА до реконструкции/ после реконструкции	% / %	16/37	
9	Естественный средневзвешенный коэффициент реактивной мощности	tg9	0,88	
10	Коэффициент реактивной мощности с учетом компенсации	tg9	0,4	
11	Установленная мощность статических конденсаторов	кВАр	925	
12	Годовое потребление электроэнергии, - по стороне 6 кВ - по стороне 0,4 кВ	тыс кВт хч.	14390 19000	
13	Количество низковольтных электроприемников 0,4 кВ.	шт.	2	
14	Количество высоковольтных электроприемников 6 кВ.	шт.	2	
15	Количество проектируемых подстанций, шт: распределительных пунктов высокого напряжения РУ-6 кВ; трансформаторных подстанций 6/0,4 кВ	шт. шт.	1 2	

После реконструкции существующего производства прирост мощности составил:

- по высокой стороне 6 кВ - 1743 кВт;
- по низкой стороне 0,4 кВ — 2300 кВт.

#### **1.4 Требования к надежности электроснабжения и качеству электроэнергии**

Проектируемые приемники электрической энергии производственных объектов ПАО «Сибур» ТПП в отношении обеспечения надежности электроснабжения относятся к первой категории и требуют обеспечения электрической энергией от двух независимых взаиморезервирующих источников питания. Для электроприемников первой категории надежности электроснабжения предусматривается перерыв питания лишь на время срабатывания БАВР.

Из состава приемников электрической энергии первой категории надежности электроснабжения выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего оборудования. Для этих электроприемников используется существующее дополнительное питание от третьего независимого бесперебойного источника с аккумуляторными батареями.

К приемникам особой группы первой категории надежности, рассматриваемым настоящим проектом, относятся:

-средства и аппаратура системы противоаварийной защиты (ПАЗ).

## 1.5 Учет электроэнергии

Коммерческий учет электроэнергии предусмотрен на вводах и отходящих линиях РУ-6 кВ. Для учета электроэнергии предусмотрены счетчики СЭТ-4.

## 1.6 Перечень мероприятий по экономии электроэнергии

В проекте рассмотрены вопросы повышения эффективности использования электроэнергии, представленные на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Способы повышения эффективности использования электроэнергии

## 1.7 Сведения о мощности трансформаторных объектов

Выбор числа и мощности трансформаторных подстанций, а также размещения их на генеральном плане приняты по заданию Заказчика и обусловлены показателями, представленными на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 - Показатели выбора числа, мощности и размещения трансформаторных подстанций

В связи с увеличением нагрузки реконструируемого производства, а также стесненностью существующей площадки для питания вновь установленных электроприемников 380/220 В предусматривается реконструкция существующих подстанций 6/0,4 кВ (рисунок 1.5).



БК-6, п/ст № 45

- демонтаж существующей 2КТПП-1600/6/0,4 кВ(Т-1, Т-2) с сухими трансформаторами и установка новой 2КТПП-2500/6/0,4 с сухими трансформаторами 2500 кВА

ИП-19, п/ст № 118

- демонтаж существующей 2КТПП-630/6/0,4 с сухими трансформаторами и установка новой КТПП-2х1600 с сухими трансформаторами 1600 кВА

Рисунок 1.5 - Реконструкция существующих подстанций 6/0,4 кВ

## 2 Выбор схемы энергоснабжения

Электроснабжение вновь устанавливаемого и заменяемого электрооборудования осуществляется по двум кабельным линиям 6 кВ от РУ-6 кВ ГПП-2 110/6 кВ кабелями марки АСБГ -3(3x185).

Проектируемое РУ-6кВ встраивается в цех БК-8.

Схема электроснабжения состоит из РУ-6кВ, трансформаторных подстанций и электрических сетей высокого и низкого напряжения. В РУ-6 кВ установлено комплектное распределительное устройство, состоящее из 24 шкафов КРУ типа UniGearZS1 одностороннего обслуживания с выкатными элементами.

РУ-6 кВ имеет две секции сборных шин.

Номинальный ток сборных шин 3150 А.

Номинальный ток главных цепей 1600 А.

РУ-6 кВ укомплектовано вакуумными выключателями типа VM-1T фирмы АВВ, устройством БАВР и защитой ячеек на базе микропроцессорных устройств фирмы АВВ.

Трансформаторные подстанции подключены по радиальной схеме. Проектируемая схема электроснабжения выполнена, исходя из минимума потерь электроэнергии, максимума надежности и с учётом возможности развития предприятия без значительных затрат на реконструкцию схемы.

Все элементы схемы постоянно находятся под нагрузкой.

При выходе из строя одного из элементов схемы электроснабжения нагрузка электропотребителей первой категорий по надёжности электроснабжения перераспределяется между оставшимися в работе с учётом допустимой перегрузки.

С целью уменьшения токов короткого замыкания и упрощения коммутации и защиты проектом предусматривается отдельная работа линий и трансформаторов.

Предусмотрено секционирование шин РУ-6 кВ и трансформаторных

подстанций.

Питающая линия 6 кВ, подключенная к одной секции РУ-6 кВ, рассчитана на полную нагрузку проектируемых объектов (послеаварийный режим).

## **2.1 Расчет токов короткого замыкания**

При выборе и проверке аппаратов и проводников обычно является трехфазной ток к.з., (в сетях 110 кВ и выше) – однофазный ток к.з.

При расчетах токов к.з. допускается не учитывать:

- сдвиг по фазе ЭДС различных синхронных машин и изменение их частоты вращения, если продолжительность к.з. не превышает 0,5 с;
- ток намагничивания силовых трансформаторов и автотрансформаторов;
- насыщение магнитных систем электрических машин;
- влияние активных сопротивлений различных элементов исходной расчетной схемы на амплитуду периодической составляющей тока к.з., если активная составляющая результирующего эквивалентного сопротивления расчетной схемы относительно точки к.з. не превышает 30% от индивидуальной составляющей результирующего эквивалентного сопротивления.

Составим расчетную схему (рисунок 2.1) рассматриваемой электроустановки и на основании расчетной составим эквивалентную схему.

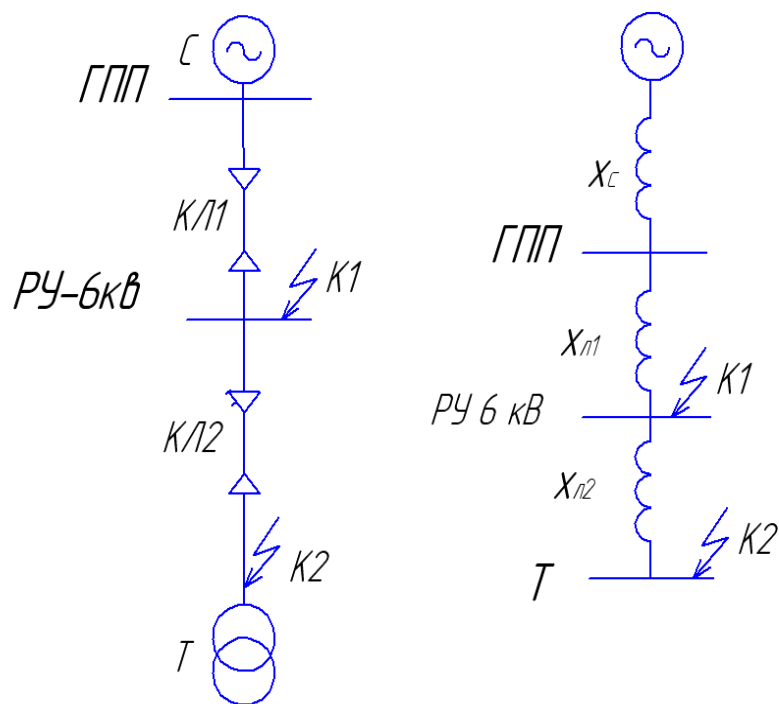


Рисунок 2.1 - Расчетная схема и схема замещения

Расчет сопротивлений схемы замещений с использованием формул для системы шин ГПП-2:

где ток К.З. на сборных шинах  $I_k=8,26$  кА,

тогда сопротивление системы вычислим по формуле 2.1:

$$x_{*б,c} = \frac{E_{*c}''}{I_{no}^3} \cdot I_{б} = \frac{1}{8,26} \cdot 92 = 11,14; \quad (2.1)$$

для линии Л1,

$$x_{*б,л1} = x_{yд} \cdot l \cdot \frac{S_{б}}{U_{cp}^2} = 0,073 \cdot \frac{2,3}{3} \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 1,41;$$

для линии Л2,

$$x_{*б,л2} = x_{yд} \cdot l \cdot \frac{S_{б}}{U_{cp}^2} = 0,074 \cdot 0,4 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 0,746.$$

Короткое замыкание в точке К1. Результирующее сопротивление до точки К1 определим по формуле 2.2:

$$x_{*рез(б)} = x_{*б,c} + x_{*б,л1} = 11,14 + 1,41 = 12,55. \quad (2.2)$$

Базисный ток определим по формуле 2.3:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 92 \text{ кА}. \quad (2.3)$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока к.з. по формуле 2.4:

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_{*\sigma}''}{x_{*рез(\sigma)}} \cdot I_{\sigma} = \frac{1}{12,55} \cdot 92 = 7,33 \text{ кА}. \quad (2.4)$$

Ударный ток к.з. следует определить по формуле 2.5:

$$i_{y\sigma} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o}^3 \cdot k_{y\sigma} = \sqrt{2} \cdot 7,33 \cdot 1,4 = 14,51 \text{ кА}, \quad (2.5)$$

где  $k_{y\sigma} = 1,4$  – ударный коэффициент по табл.

Короткое замыкание в точке К2. Результирующее сопротивление до точки К2 определим по формуле 2.6:

$$x_{*рез(\sigma)} = x_{*\sigma,c} + x_{*\sigma,l1} + x_{*\sigma,l2} = 11,14 + 1,41 + 0,746 = 13,296. \quad (2.6)$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока к.з. по формуле 2.7:

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_{*\sigma}''}{x_{*рез(\sigma)}} \cdot I_{\sigma} = \frac{1}{13,296} \cdot 92 = 6,92 \text{ кА}. \quad (2.7)$$

Ударный ток к.з. следует определить по формуле 2.8:

$$i_{y\sigma} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o}^3 \cdot k_{y\sigma} = \sqrt{2} \cdot 6,92 \cdot 1,4 = 13,7 \text{ кА}, \quad (2.8)$$

## 2.2 Выбор электрических аппаратов и проводников

Выбор аппаратов и проводников для проектируемой установки начинается с определения по заданной электрической схеме расчетных условия, а именно: расчетных токов присоединений и токов к.з.

Расчетные величины сопоставляются с соответствующими номинальными параметрами аппаратов, выбираемых по каталогам и справочникам.

### 2.2.1 Выбор вводного выключателя в РУ-6 кВ на ГПП-2

Выбираем выключатель отходящего фидера с ГПП-2 в сторону РУ-6 кВ. Средняя нагрузка потребителей  $S_{ном}=6000$  кВА.

Расчетные токи продолжительного режима с учетом 40% перегрузки определим по формуле 2.9:

$$I_{маа} = 1,4 \cdot \frac{S_{Тнно}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 1,4 \cdot \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 770 \text{ А.} \quad (2.9)$$

Термическая стойкость с продолжительностью к.з.  $t=0,2$  с определим по формуле 2.10:

$$B_{к} = I_{н,о}^3 \cdot (t_{откл} + T_a) = 7,33^2 \cdot (0,2 + 0,12) = 17,19 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.} \quad (2.10)$$

Расчетные токи к.з. принимаем по результатам формулы 2.11:

$$I_{н,о}^3 = 7,33 \text{ кА}, i_{уд} = 14,51 \text{ кА.} \quad (2.11)$$

Выбираем из официального сайта АВВ вакуумный выключатель VM1-1600, для последующего увеличения мощности. Расчетные и каталожные данные сведем в таблицу 2.1.

Максимальное значение апериодической составляющей тока к.з. для  $\tau=0,01+t_{с,в}=0,01+0,025=0,035$  с определяется по формуле 2.12:

$$i_{а,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{н,о} \cdot e^{-\tau/T_a} = \sqrt{2} \cdot 7,33 \cdot 2,71^{-0,035/0,12} = 7,75 \text{ кА.} \quad (2.12)$$

Термическая стойкость выключателя определим по формуле 2.13:

$$I_T^2 \cdot t_{откл} = 20^2 \cdot 0,2 = 80 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (2.13)$$

Таблица 2.1 - Расчетные каталожные данные выключателя 10 кВ

№	Наименование величин	Расчетные данные	Каталожные данные	Условие выбора
1	Номинальное напряжение	6 кВ	10 кВ	$U_{ном} \leq U_{сет. ном}$
2	Номинальный ток	770 А	1600 А	$I_{ном. дл.} \leq I_{ном}$
3	Отключающая способность	7,33 кА	20 кА	$I_{пт} \leq I_{откл. ном.}$
4	Предельный сквозной ток	14,51 кА	50 кА	$i_{y\delta} \leq I_{прс}$
5	Термическая стойкость	17,19 кА <sup>2</sup> ·с	80 кА <sup>2</sup> ·с	$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$

### 2.2.2 Выбор выключатель 6 кВ на отходящем фидере РУ-6 кВ

Выбираем выключатель отходящего фидера с РУ-6 кВ.

Суммарная нагрузка потребителей  $S_{ном}=2500$  кВА.

Расчетные токи продолжительного режима с учетом 40% перегрузки определим по формуле 2.14:

$$I_{таа} = 1,4 \cdot \frac{S_{Тнно}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 1,4 \cdot \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 321 \text{ А.} \quad (2.14)$$

Термическая стойкость с продолжительностью к.з.  $t=0,2$  с определим по формуле 2.15:

$$B_k = I_{н,о}^3 \cdot (t_{откл} + T_a) = 6,92^2 \cdot (0,2 + 0,12) = 15,32 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.} \quad (2.15)$$

Расчетные токи к.з. принимаем по результатам решения по формуле 2.16:

$$I_{н,о}^3 = 6,92 \text{ кА}, i_{y\delta} = 13,7 \text{ кА.} \quad (2.16)$$

Выбираем из официального сайта АВВ вакуумный выключатель VM1-Т. Расчетные и каталожные данные сведем в таблицу 2.2.

Максимальное значение апериодической составляющей тока к.з. для  $\tau = 0,01 + t_{с,в} = 0,01 + 0,025 = 0,035$  с определяется по формуле 2.17:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{н.о} \cdot e^{-\tau/T_a} = \sqrt{2} \cdot 6,92 \cdot 2,71^{-0,035/0,12} = 7,32 \text{ кА}. \quad (2.17)$$

Таблица 2.2 - Расчетные каталожные данные выключателя 10 кВ

№	Наименование величин	Расчетные данные	Каталожные данные	Условие выбора
1	Номинальное напряжение	6 кВ	10 кВ	$U_{ном} \leq U_{сет. ном}$
2	Номинальный ток	321 А	630А	$I_{ном. дл.} \leq I_{ном}$
3	Отключающая способность	6,92 кА	20 кА	$I_{пт} \leq I_{откл. ном.}$
4	Предельный сквозной ток	13,7 кА	50 кА	$i_{y\delta} \leq I_{прс}$
5	Термическая стойкость	15,32 кА <sup>2</sup> ·с	80 кА <sup>2</sup> ·с	$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$

Термическая стойкость выключателя определим по формуле 2.18:

$$I_T^2 \cdot t_{откл} = 20^2 \cdot 0,2 = 80 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (2.18)$$

### 2.3.1 Вакуумный силовой выключатель VM1-T

Вакуумные силовые выключатели, тип VM1-T, предусмотрены для установки в закрытом помещении в распределительных устройствах с воздушной изоляцией. Они обладают коммутационной способностью, которой достаточно, чтобы выдержать нагрузку, возникающую во время включения и выключения электрооборудования и элементов установки в возмущенном и невозмущенном состоянии, особенно в условиях короткого замыкания, в соответствии с их техническими характеристиками. Вакуумные силовые выключатели имеют особые преимущества при использовании в электрических сетях с большим числом коммутаций в час и/ или в таких сетях, где бывает определенное количество разъединений с коротким замыканием. Вакуумные силовые выключатели, тип VM1-T, сделаны для автоматических повторных



включений, и для них характерны особо высокая эксплуатационная надежность и весьма продолжительный срок службы при полном отсутствии необходимости в техническом обслуживании. Вакуумные силовые выключатели, тип VM1-T, имеют колонковую конструкцию и могут быть поставлены в виде отдельного аппарата для стационарного монтажа или могут быть установлены на ходовую часть.

### **2.3.2 Базовая конструкция силового выключателя на выдвижном механизме**

Выдвижной элемент, передвигаемый вручную или в некоторых случаях при помощи двигателя, имеет металлическую конструкцию, на которой установлен силовой выключатель с дополнительными модулями. К полюсам силового выключателя прикреплены изолированные контактные щетки 34 с амортизирующими контактными пальцами 3.4.1. Через них при вкатывании выдвижного элемента в рабочее положение образуется электрическое соединение с коммутационной панелью. Четырех полюсное штекерное соединение цепи управления 36 соединяет сигнальные и защитные провода, а также провода цепи управления между коммутируемым элементом и выдвижным механизмом.

Установленный снизу выдвижной механизм и силовой выключатель соединены между собой при помощи четырех полюсного штекера 37. Как только выдвижной элемент выключателя 31 задвигается в коммутационную панель и его основание фиксируется в положении проверки/ разъединения, он соединяется с коммутационной панелью путем кинематического замыкания. Одновременно происходит его заземление через ролики, вставленные в рабочие рельсы. К электромагнитному приводу силового выключателя включая органы управления и индикации имеется доступ с передней стороны выдвижного элемента. Выдвижной элемент можно заменить на элемент в таком же исполнении. Если выдвижные элементы совпадают по размеру, однако силовые

выключатели имеют различную комплектацию, кодированный штекер провода цепи управления не разрешает выполнить недопустимые комбинации между выдвижным элементом и коммутационной панелью.

### 2.3.3 Принцип работы привода выключателя

Магнитный актуатор является основой привода силового выключателя. Он выполняет функции, представленные на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Функции магнитного актуатора

Актуатор является бистабильной постоянной электромагнитной системой, в которой перемещение якоря возникает путем подключения включающей и отключающей катушки. В крайних положениях якорь удерживается электромагнитно при помощи поля двух постоянных магнитов. Срабатывание коммутационной операции происходит путем возбуждения одной из катушек до кратковременного превышения удерживающей силы постоянных магнитов.

Процессами включения и выключения можно управлять дистанционно путем подведения напряжения на входах. На месте это можно сделать путем

нажатия кнопок. Во время процесса включения перемещение якоря воздействует через рычажный вал прямо на возмущенный коммутационный контакт до соприкосновения с контактом.

В ходе дальнейшего движения предварительно напряженные пружины натягиваются на 100%, и таким образом достигается требуемая контактная электродвижущая сила. При этом имеющийся избыточный ход больше, чем максимальное обгорание контактов во время срока службы вакуумной коммутационной камеры.

#### **2.3.4 Последовательность автоматического повторного включения (АПВ)**

Привод специально сделан для автоматических повторных включений (эксплуатации в режиме АПВ) и за счет того, что накопительные конденсаторы имеют короткое время перезарядки (макс.15 сек.), он подходит также для многократных автоматических повторных включений.

#### **2.3.5 Принцип гашения вакуумной коммутационной камеры**

Вследствие чрезвычайно низкого статического давления в коммутационной камере от  $10^{-4}$  до  $10^{-8}$  гПа для достижения высокой диэлектрической прочности требуется относительно небольшое расстояние между контактами. При одном из первых физических проходов через нуль вакуумная дуга тухнет. Из-за незначительного расстояния между контактами и высокой электропроводности плазмы паров металла напряжение горения и дополнительно также связанная с этим энергия дуги по причине ее короткой длительности очень незначительны, что благоприятно сказывается на сроке службы контактов, а вместе с ними и вакуумных коммутационных камер.

### 2.3.6 Блокирующие устройства

Блокирующие устройства/защита от неправильных действий при коммутации для выдвижного элемента силового выключателя.

Для предотвращения опасных ситуаций и неправильных коммутационных операций для защиты людей и оборудования имеется целый ряд блокирующих устройств. Для системы панелей распределительного устройства ZS и отведенной от нее Powerbloc/монтажной рамы предусмотрены блокирующие устройства (касающиеся силового выключателя), представленные на рисунке 2.3.

Выдвижной элемент можно передвигать только при выключенном силовом выключателе и подведенном напряжении питания к блокирующему электромагниту из положения проверки/ разъединения в рабочее положение (и наоборот)

Силовой выключатель можно включить только в том случае, если выдвижной элемент находится точно в положении проверки или рабочем положении (в промежуточных положениях выключатель заблокирован электрически)

Без подведенного напряжения цепи управления в рабочем положении или положении проверки силовой выключатель можно только выключить при помощи ручного аварийного выключателя; включить его невозможно

На коммутационной панели штекер провода цепи управления можно вставлять и отсоединять только тогда, когда выдвижной элемент находится в положении проверки разъединения

Рисунок 2.3 – Блокирующие устройства системы панелей распределительного устройства ZS и отведенной от нее Powerbloc/монтажной рамы

## 2.4 Выбор трансформатора тока на стороне ГПП-2

### и ввода РУ 6 кВ

Выбираем трансформатор тока ТРУ 40.13. Каталожные и расчетные величины сведены в таблице 2.3.

По справочнику выбираем ТРУ 4,  $I_{1ном} = 1600$  А,  $K_{эд} = 160$ ,  $K_T = 63$ ,  $t_T = 1$  с,  $Z_{2ном} = 1,2$  Ом.

Таблица 2.3– Расчетные и каталожные данные трансформатора тока

№	Наименование величин	Расчетные данные	Каталожные данные	Условие выбора
1	Номинальное напряжение	6 кВ	6 кВ	$U_{ном} \leq U_{сет.ном}$
2	Номинальный ток	770 А	1600 А	$I_{ном.дл.} \leq I_{ном.}$
3	Электродинамическая стойкость	9,5 кА	453 кА	$i_{уд} \leq K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1ном}$
4	Термическая стойкость	7,37кА <sup>2</sup> ·с	252 кА <sup>2</sup> ·с	$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном}^2 \cdot I_T$

## 2.5 Выбор трансформатора тока на отходящем фидере РУ 6 кВ

Выбираем трансформатор тока ТРУ4. Каталожные и расчетные величины сведены в таблице 2.4.

По справочнику выбираем ТРУ 4,  $I_{1ном} = 400$  А,  $K_{эд} = 160$ ,  $K_T = 63$ ,  $t_T = 1$  с,  $Z_{2ном} = 1,2$  Ом.

Для проверки трансформатора тока по вторичной нагрузке, пользуясь схемой включения и каталожными данными приборов, определяем нагрузку по фазам для наиболее загруженного трансформатора тока.

Таблица 2.4 – Расчетные и каталожные данные трансформатора тока

№	Наименование величин	Расчетные данные	Каталожные данные	Условие выбора
1	Номинальное напряжение	6 кВ	6 кВ	$U_{ном} \leq U_{сет.ном}$
2	Номинальный ток	321 А	400 А	$I_{ном.дл.} \leq I_{ном.}$
3	Электродинамическая стойкость	9,5 кА	90,5 кА	$i_{уд} \leq K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1ном}$
4	Термическая стойкость	5,92 кА <sup>2</sup> ·с	25,2 кА <sup>2</sup> ·с	$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном}^2 \cdot I_T$

Наибольшая нагрузка приходится на трансформатор фазы А. Общее сопротивление приборов фазы А (таблица 2.5) по формуле 2.19:

$$R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{3,1}{5^2} = 0,124 \text{ Ом} \quad (2.19)$$

Сопротивление контактов  $R_k = 0,1$  Ом, тогда сопротивление проводов по формуле 2.20:

$$R_{пр} = Z_{2ном} - R_{приб} - R_k = 1,2 - 0,124 - 0,1 = 0,976 \text{ Ом.} \quad (2.20)$$

Таблица 2.5 – Вторичная нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	Нагрузка, В · А, фазы		
		А	В	С
Амперметр	Э-335	0,5		
Блок REF	542 plus	0,1	0,1	0,1
Счетчик активной и реактивной энергии	СЭТ-4ТМ	2,5	2,5	2,5
Итого		3,1	2,6	3,0

Принимая длину соединительных проводов 40 м с медными жилами, определяем сечение по формуле 2.21:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{пр}} = \frac{0,0175 \cdot \sqrt{3} \cdot 40}{0,976} = 1,24 \text{ мм}^2, \quad (2.21)$$

где  $l_p = \sqrt{3} \cdot l$  – расчетная длина, зависящая от схемы соединения трансформаторов тока. Принимаем стандартное сечение  $1,5 \text{ мм}^2$ .

Трансформаторы ТРУ4 являются опорными и предназначены для преобразования тока в трехфазных сетях с изолированной или заземленной нейтралью до 10 кВ с частотой 50 Гц. Они электрически отделяют цепи вторичных соединений от цепей высокого напряжения в электрических установках переменного тока промышленной частоты и используются в измерительных системах для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам и устройствам защиты и управления, включая приборы учета электроэнергии.

## 2.6 Выбор трансформатора напряжения

В цепи устанавливаем трансформатор напряжения типа ТНЧ4, к которому присоединяются измерительные приборы и приборы контроля изоляции. Подсчет нагрузки приведен в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

Приборы	Типы приборов	Потребляемая мощность одной катушки, ВА	Число катушек	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	Число приборов	Общая потребляемая мощность	
							$P$ , Вт	$Q$ , вар
Вольтметр	Э-335	2,0	1	1	0	1	2	
Блок REF	542 plus	2,5	3	1	0	9	67,5	
Счетчик активной и реактивной энергии	СЭТ-4ТМ	2	3	0,38	0,925	9	20,52	49,95
Итого							90,02	49,95

По формуле 2.22 определим:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{\left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \cos \varphi\right)^2 + \left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \sin \varphi\right)^2} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{90,02^2 + 49,95^2} = 102,9 \text{ ВА} \quad (2.22)$$

Каталожные и расчетные величины сведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Расчетные и каталожные данные трансформатора напряжения

№	Наименование величин	Расчетные данные	Каталожные данные	Условие выбора
1	Номинальное напряжение	6 кВ	6 кВ	$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$
2	Класс точности	0,5	0,5	$\%_{\text{расч}} \geq \%_{\text{ном}}$
3	Номинальная мощность	102,9 ВА	400 ВА	$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}}$

Трансформаторы напряжения ТЈС4 являются однофазными трансформаторами с первичными и вторичными обмотками, залитыми в эпоксидный компаунд. Эпоксидное литье выполняет, одновременно, функции изолятора и несущей конструкции.

Трансформаторы ТЈС4 оснащены двумя вторичными обмотками, где первая обмотка используется или в цепях измерения, или в цепях защиты, а вторая обмотка подключается к схеме открытого треугольника в трехфазной системе. Во время эксплуатации трансформатора один зажим каждой вторичной обмотки, а также один из зажимов, подключенный в схему открытого треугольника, должны быть заземлены.

## 2.7 Выбор конструктивных решений

Состав оборудования и сооружений подстанции зависит от ее параметров и принятой схемы электрических соединений. Силовые трансформаторы на



подстанции располагаются так, чтобы электрические связи с РУ были короче и проще, т. е. в центре площадки.

Сборные и соединительные шины выполняются голыми проводами. Надежность РУ достигается соблюдением изоляционных расстояний между токоведущими, а также токоведущими и заземленными частями.

На стороне 6 кВ сооружается ЗРУ, которое выполнено в виде комплектных распределительных устройств наружного исполнения типа КРУН. Размещение оборудования в ЗРУ должно обеспечивать безопасность при ремонтах и осмотрах, удобство эксплуатации. Для безопасности необходимо соблюдать минимальное расстояние от токоведущих частей до различных элементов РУ. Оборудование в ЗРУ устанавливается в открытых камерах, защищенных со стороны коридора ограждением. Здание, перегородки выполняются из огнестойких материалов. Пожаробезопасность обеспечивается за счет применения аппаратов и оборудования без масла или с небольшим его количеством.

## **2.8 Релейная защита**

В курсовом проекте производится выбор защиты основных элементов проектируемой ПС – трансформаторов, линий и др. и дается краткая характеристика применяемых защит. Защита линии осуществляется в зависимости от схемы питания, числа цепей, их конструктивного исполнения и т.д.

Для парных линий одностороннего питания используются:

- максимальная токовая защита;
- максимальная токовая защита каскадного действия в сочетании защитой минимального напряжения;
- средства автоматики – БАР.

Для защиты кабельных линий применяют токовые отсечки без выдержки времени. Кабельные линии защищаются от замыкания на землю, для чего

используют трансформаторы тока нулевой последовательности с действием на сигнал. На данной нашей подстанции будем использовать REF 542 plus.

### 2.8.1 REF 542 plus

REF 542 plus — многофункциональная защита и блок управления распределительным устройством, причем данный блок является дальнейшим усовершенствованием предшествующего многофункционального блока REF 542. Подобно своему предшественнику, блок предоставляет возможности, показанные на рисунке 2.4.

Все упомянутые выше функции, а также функции контроля качества электроэнергии встроены в программируемую среду. Исключительные гибкость и масштабируемость этого устройства нового поколения предоставляют интеллектуальное решение для случаев, где традиционный подход был бы неэффективным и дорогостоящим.

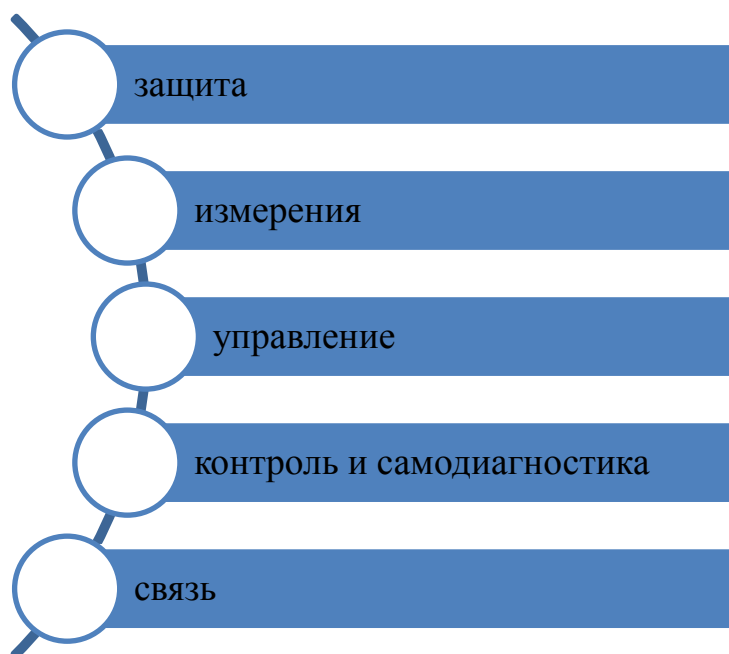


Рисунок 2.4 – Возможности блока REF 542

На приводимом ниже рисунке 2.5 показаны примеры монтажа REF 542 plus в ряде распределительных устройств.



Рисунок 2.5 – Реле REF 542 plus установленное в КРУ

Реле REF 542 plus состоит из двух частей: базового блока и отдельного интерфейса человек-машина (НМІ). Базовый блок содержит источник питания, процессорную плату, плату аналогового входа, модули двоичных входов/выходов (Вх/Вых), а также поставляемые по заказу модули, предоставляющие дополнительные функции. Базовый блок и интерфейс НМІ соединены кабелем последовательной связи.

Интерфейс НМІ представляет собой автономный блок с собственным источником питания. Он может устанавливаться на двери низковольтного (LV) отсека или в специализированном отсеке, недалеко от центрального блока. Интерфейс НМІ может использоваться с целью установки параметров защиты для локального управления переключающими приборами в распределительном устройстве и для визуального контроля событий и измерений. В соответствии

со стандартным интерфейсом RS-485 блок НМІ соединяется с базовым блоком с помощью экранированной изолированной витой пары. На рисунке 2.6 показана установка центрального блока и блока управления НМІ в низковольтном отсеке коммутационной панели для распределительного устройства.

Цифровой сигнальный процессор (DSP) выполняет функции измерения и защиты, а микроконтроллер (MC) реализует функции управления. Благодаря разделению задач отсутствует взаимовлияние между реализованной схемой защиты и изменяемой схемой управления. Поставляемый отдельно процессор передачи данных (CP) необходим при подключении системы автоматики станции. Блок-схема реле REF 542 plus показана на рисунке 2.7.

Основной модуль оснащен процессором DSP и микроконтроллером. В основном модуле также находятся интерфейс CANOpen, интерфейс Ethernet для встроенного веб-сервера, а также порт оптического входа для временной синхронизации. Дополнительный модуль связи обеспечивает связь с системой автоматики подстанции. Модули двоичных входов и выходов обслуживают первичный процесс и предназначены для отправки команд и получения сведений о состоянии процесса. Модуль аналогового входа принимает сигналы тока и напряжения как от измерительных трансформаторов, так и от безындуктивных датчиков. Дополнительный модуль аналоговых выходов 0/4...20 мА и модуль аналоговых входов 4...20 мА делают возможным обмен данными с помощью токовой петли 4...20 мА или 0...20 мА.

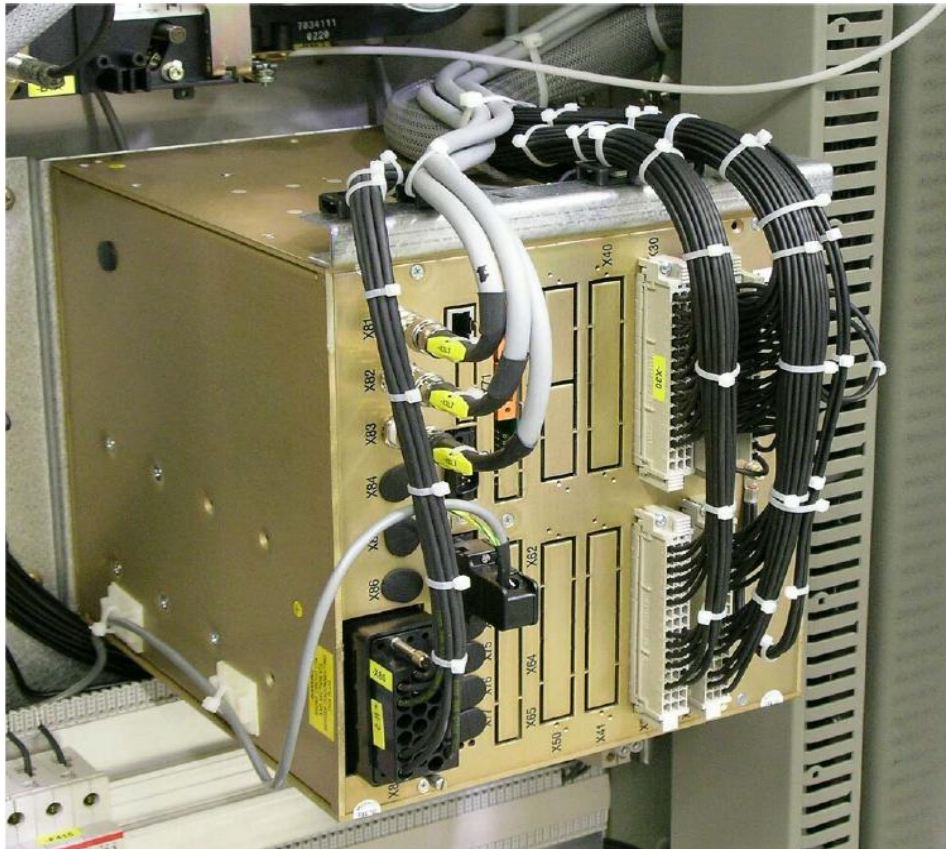


Рисунок 2.6 –Базовый блок в системе РУ

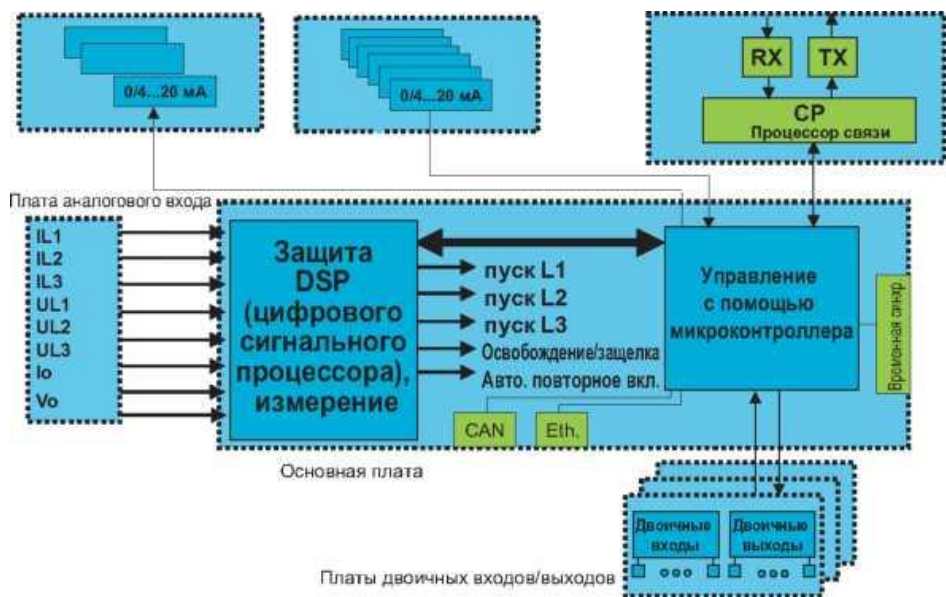


Рисунок 2.7 – Блок-схема реле REF 542 plus

Блок управления НМІ, как показано на рисунке 2.8, имеет жидкокристаллический дисплей (ЖКД) с задней подсветкой, восемь кнопок, несколько светодиодов и интерфейс электронного ключа. Язык дисплея можно

выбрать с помощью соответствующего программного средства настройки, которое используется также для определения схемы защиты и управления.

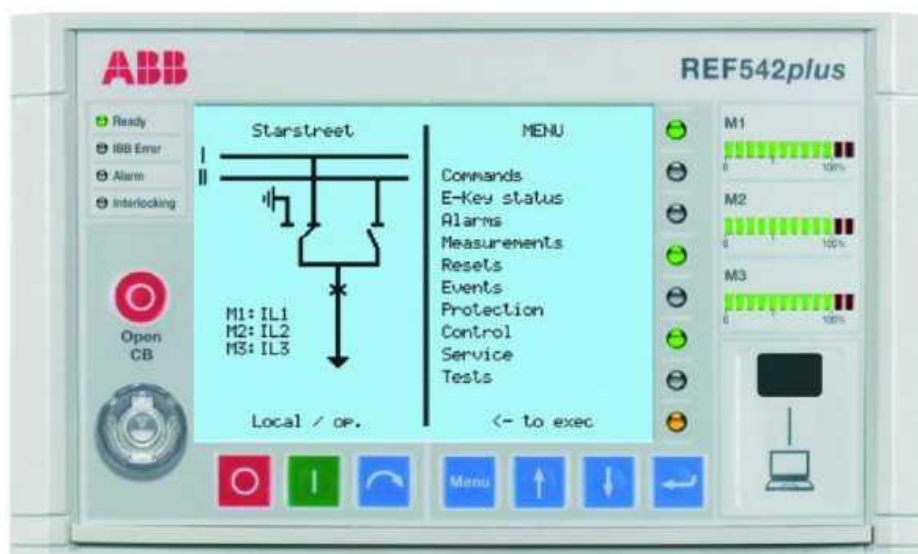


Рисунок 2.8 – Блок управления НМІ

Левая часть ЖКД (жидкокристаллического дисплея) зарезервирована для однолинейной мнемосхемы. Правая часть предназначена для визуализации простого текста, например, событий измерения и защиты. Подсветка ЖКД выключается автоматически после 20 минут бездействия.

Блок НМІ представляет собой полную систему для локального управления распределительным устройством. Интерфейс НМІ предоставляет возможность установки функций защиты, работы с первичными объектами, визуализации измерений и событий, сброса аварийной сигнализации и изменения рабочего режима блока.

Интерфейс НМІ содержит компоненты, представленные на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 - Интерфейс НМІ

## **2.8.2 Светодиод готовности блока**

Этот зеленый светодиод светится, когда блок находится в рабочем режиме. Этот светодиод выключается, когда отсутствует питание или, когда блок не функционирует.

## **2.8.3 Светодиод сетевой связи**

Этот светодиод функционирует только в том случае, когда реле REF 542 plus оснащено модулем связи и настроено на его использование. При обнаружении модуля связи внутри блока светодиод загорается зеленым светом. Если модуль связи не обнаружен или неработоспособен, светодиод переключается с зеленого на красный свет. Когда блок не настроен для связи, светодиод выключается.

## **2.8.4 Светодиод аварийной сигнализации**

Светодиод аварийной сигнализации светится красным светом, когда возникают аварийные состояния, определяемые пользователем. С помощью сервисной программы могут быть определены и настроены несколько произвольных аварийных условий. Аварийные условия могут вызывать срабатывание функции защиты, утечку газа SF6 в выключателе, и т. д. Когда этот светодиод светится, замыкание выключателя и загрузка новой конфигурации невозможны. Сначала необходимо устранить аварийную ситуацию и подтвердить получение аварийного сигнала.



### **2.8.5 Ошибка блокировки**

Обычно светодиод ошибки блокировки светится зеленым светом. Светодиод кратковременно загорается красным светом, когда пользователь пытается выполнить операцию, которая нарушила бы запрограммированные условия блокировки, например, переключение разъединителя, когда выключатель находится в замкнутом положении.

### **2.8.6 Датчик электронных ключей**

Датчик электронных ключей опознает электронные ключи. Предоставляются два различных электронных ключа. Один ключ позволяет изменять параметры функций защиты. Другой ключ используется для изменения режимов управления. Датчик автоматически выявляет, какой ключ вставлен. Для того чтобы можно было различать ключи, они маркируются «Protect» (Защита) и «Control» (Управление). При необходимости для доступа к обоим режимам может использоваться универсальный ключ. Имеется также возможность программирования в ключах 8-символьного настраиваемого кода для повышения уровней безопасности или для любых других специальных применений. Это можно легко сделать с помощью программы, доступной по заказу.

### **2.8.7 Управление объектом**

Кнопки управления объектами позволяют управлять первичными объектами.

### **2.8.8 Перемещения по меню**

Кнопки перемещения по меню позволяют передвигаться по пунктам меню реле REF 542 plus.

### **2.8.9 Программируемые светодиоды**

Восемь независимо программируемых светодиодов трех цветов используются для индикации. Существует 4 страницы этих светодиодов. Назначение функций светодиодов для конкретных условий выполняется с помощью сервисной программы.

### **2.8.10 Интерфейс ПК**

Интерфейс ПК является инфракрасным (IrDa) последовательным интерфейсным портом, предназначенным для подключения реле REF 542 plus к персональному компьютеру. При использовании соответствующего кабеля и сервисной программы можно выполнять операции, представленные на рисунке 2.10.

### **2.8.11 Диаграммы измерений**

Для быстрой проверки нагрузки распределительного устройства предоставляются 3 произвольно программируемых линейных индикатора. Три линейных индикатора маркируются M1, M2 и M3. Каждый линейный индикатор состоит из двенадцати светодиодов: десяти зеленых и двух красных светодиодов. Десять зеленых светодиодов обычно предназначены для отображения номинального значения между 0 % и 100 % настраиваемого измерения, при этом каждый светодиод соответствует 10 % номинального значения. Два красных светодиода показывают перегрузку, равную 20 %.

Измеряемая величина, которая выводится на линейный индикатор, устанавливается с помощью сервисной программы. Справочный текст M1... M3 может настраиваться и отображаться на дисплее в его графической части.



Рисунок 2.10 – Операции, выполняемые при использовании соответствующего кабеля и сервисной программы

### 2.8.12 Текст

Имеется текстовая часть ЖКД, в которой отображаются меню, значения измерений, события и все сведения, доступные с помощью структуры меню.

### 2.8.13 Представление однолинейных мнемосхем

Представление однолинейных мнемосхем является графической частью ЖКД. В этой части дисплея отображается однолинейная схема распределительного устройства. Состояние физических объектов динамически обновляется после каждой операции: например, если выключатель разомкнут, это отражается в представлении однолинейных мнемосхем.

При одновременном нажатии на кнопку, разомкнутую в нормальном состоянии, кнопка OpenCB позволяет быстро размыкать выключатель независимо от выбранного режима управления. Эта функция должна быть активизирована в устройстве с помощью сервисной программы.

Кроме того, имеется возможность иметь несколько полностью определяемых пользователем командных кнопок в интерфейсе HMI. Эти виртуальные кнопки доступны в специализированном меню HMI. Во время настройки реле REF 542 plus пользователь определяет, какие командные кнопки необходимы. Возможные типовые примеры: пуск передаточного ключа или любой другой процедуры автоматизации, активизация устройства регистрации неисправности, пуск процедуры сброса нагрузки и т. п.

Благодаря командным кнопкам, определяемым пользователем, возможности автоматизации реле REF 542 plus позволяют удовлетворить любые требования.

Блок управления и защиты распределительного устройства REF 542 plus объединяет все вспомогательные функции в одном блоке. Этот многофункциональный блок характеризуется также функцией самоконтроля. Все функции разработаны как произвольно настраиваемые программные модули. Поэтому REF 542 plus может с лёгкостью удовлетворить широкий диапазон требований для станций среднего напряжения. Универсальность программного обеспечения делает возможным использование реле REF 542 plus в каждом распределительном устройстве независимо от требуемого конкретного приложения.

#### **2.8.14 Конфигурация**

Блок REF 542 plus настраивается под конкретные условия применения с помощью сервисной программы, установленной на персональном компьютере. Требуемые функциональные блоки объединяются вместе с помощью графического редактора. Доступные функции защиты представлены в виде

конкретных функциональных блоков, которые можно объединять с помощью логической функции для построения требуемой схемы защиты и автоматики. Гибкость реле REF 542 plus полезна для определения функций управления и автоматики, которые могут, например, включать в себя блокировку коммутационных аппаратов, блокировку срабатывания конкретных функций защиты, а также запуск последовательностей переключения.

Блок реле REF 542 plus предоставляет широкий диапазон логических функций для удобства выполнения каждого конкретного требования. К данным функциям относятся логические элементы, такие как И, ИЛИ, таймеры, счетчики, импульсные генераторы, триггеры и т. п. Все функции распределительного устройства определены в соответствии со стандартами АВВ. Конфигурация реле REF 542 plus представляет собой файл, который загружается в устройство через оптический последовательный порт интерфейса НМІ (человек-машина). После подключения к блоку интерфейса НМІ с помощью кабеля последовательной связи сервисная программа также предоставляет дополнительные функции, представленные на рисунке 2.11.

Сервисная программа позволяет выполнять контроль в режиме реального времени внутренних управляющих сигналов и логических состояний — мощное средство для отладки приложений.

Конкретное конфигурирование программного обеспечения для требуемой схемы защиты может выполняться только компанией АВВ.

### **2.8.15 Измерения**

Реле REF 542 plus может иметь максимум 8 аналоговых входных каналов для измерения сигналов тока и напряжения. Эти каналы разбиты на три группы.

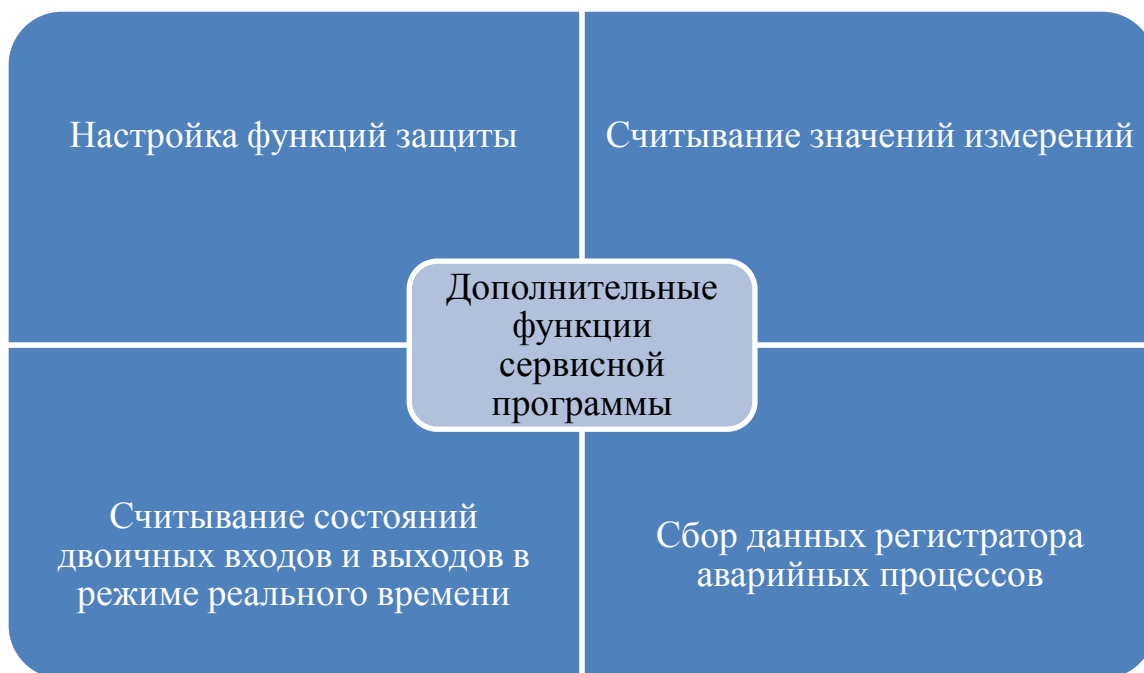


Рисунок 2.11 – Дополнительные функции сервисной программы

Группы 1 и 2 должны быть однотипными; это означает, что они могут измерять 3 тока или 3 напряжения. Например, измерение одного тока и двух напряжений не допускается. Группа 3 может получать сигналы любого типа, например, 2 тока, 2 напряжения или 1 ток и 1 напряжение. Аналоговый вход реле REF 542 plus спроектирован таким образом, чтобы поддерживать все функции защиты самого устройства.

Группы 1 и 2 могут использоваться для однотипных измерений тока или напряжения, поступающих от измерительных трансформаторов и нестандартных датчиков. Группа 3 может использоваться для разнородных измерений, но в большинстве случаев только с измерительными трансформаторами. Например, канал 7 в группе 3 может использоваться для измерения тока замыкания на землю в качестве входа трансформатора тока или для функции контроля синхронизма в качестве входа трансформатора напряжения.

В наиболее распространенной конфигурации используются три токовых входа, три входа напряжения и один вход тока замыкания на землю. Все

значения показываються на дисплее в первичных величинах. Значения, регистрируемые в течение продолжительного периода времени, например, энергия, количество операций выключателя, а также предельные значения и значения измерений, хранятся постоянно. Даже после пропадания питания эти данные будут по-прежнему доступны. Эта распространенная конфигурация позволяет отображать следующие измеряемые значения.

Непосредственно измеряемые величины:

- токи фаз, три фазы;
- фазные напряжения линии, три фазы;
- остаточный ток (может быть рассчитан);
- остаточное напряжение (может быть рассчитано);
- частота.

Рассчитываемые величины

На основе измеренных значений, перечисленных выше, могут рассчитываться следующие величины:

- фазные или линейные напряжения, три фазы;
- среднее значение/максимальное значение тока, трехфазного (определяется за период в несколько минут);
- полная, активная и реактивная мощность;
- коэффициент мощности.

Кроме того, для целей контроля могут предоставляться следующие величины:

- наработка (часы);
- циклы коммутации;
- суммарные коммутируемые токи;
- измерительные импульсы от внешнего измерительного устройства (до 10).

## 2.8.16 Контроль и самодиагностика

Реле REF 542 plus предоставляет несколько функций для контроля первичных компонентов, а также для самодиагностики. Для контроля первичных компонентов доступны вычисляемые величины, показанные на рисунке 2.12.



Рисунок 2.12 – Вычисляемые величины, доступные для контроля первичных компонентов

Реле REF 542 plus оснащено алгоритмами самодиагностики, которые непрерывно контролируют состояние аппаратных и программных модулей.



Каждый модуль двоичных входов и выходов реле REF 542 plus оснащен контрольным контактом, который переключается в случае неисправности или пропадания питания. Этот контакт может использоваться для обнаружения неисправности устройства и для инициирования соответствующих действий. При необходимости могут контролироваться аналоговые входные каналы. Имеется возможность контроля обрыва соединительного провода от измерительного трансформатора или датчика и возможность приведения в действие аварийной сигнализации.

### **2.8.17 Защита**

Реле REF 542 plus предоставляет широкий диапазон функций защиты. Как упоминалось ранее, можно настроить широкий диапазон схем защиты различных компонентов энергосистемы. Для построения требуемой схемы защиты доступные функции могут комбинироваться. Виды защит представлены на рисунках 2.13 –2.20.

Блок REF 542 plus позволяет установить не более 24 функций защиты. Однако конкретное максимальное количество так или иначе зависит от доступной производительности системы.

### **2.8.18 Управление**

Возможности управления и автоматизации, которые имеет REF 542 plus, чрезвычайно широки. Возможности управления, предоставляемые реле REF 542 plus, позволяют легко реализовать как простые схемы блокировки от ошибок при коммутации, так и сложные схемы сброса нагрузки.

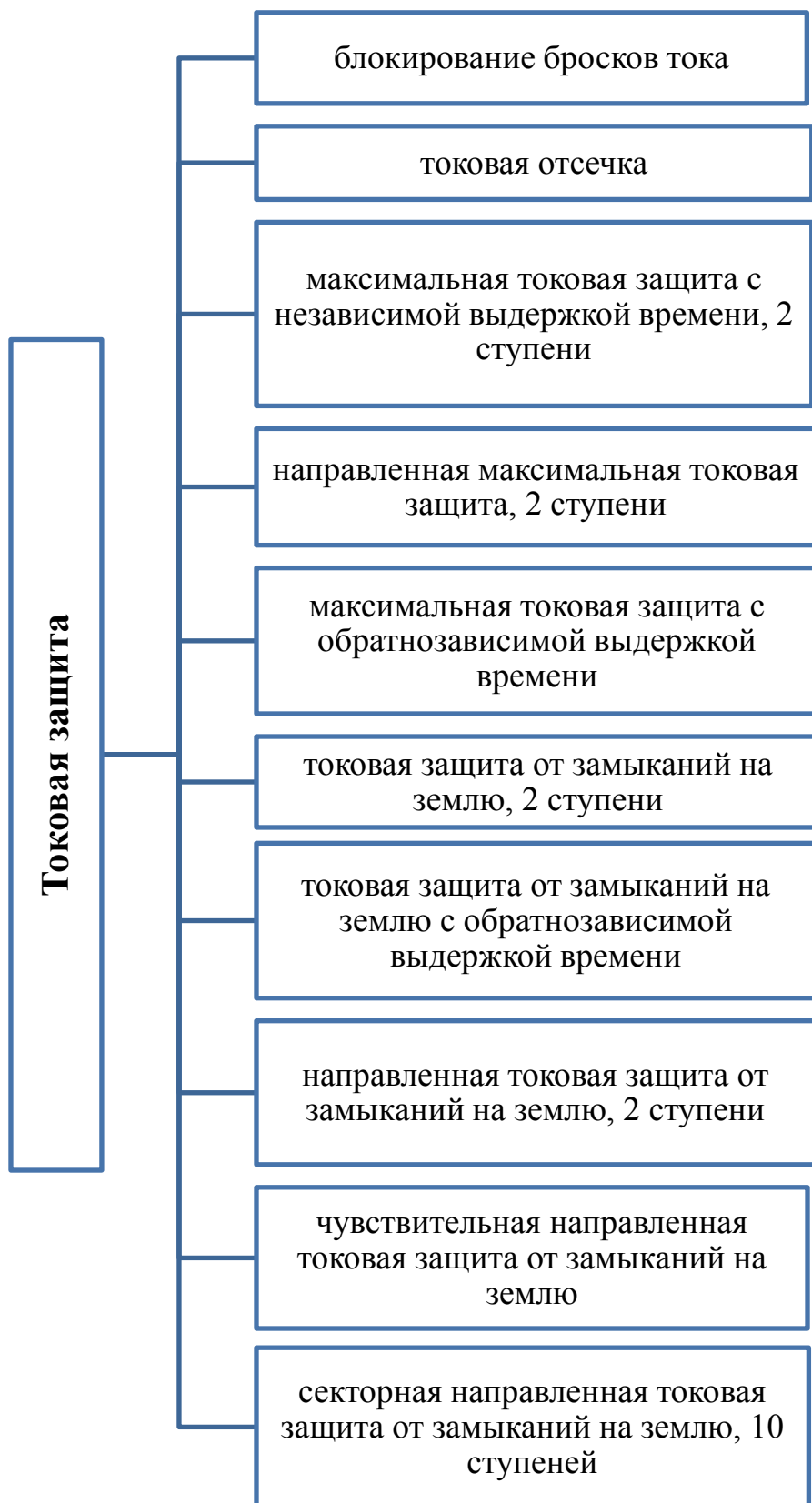


Рисунок 2.13 – Токовая защита

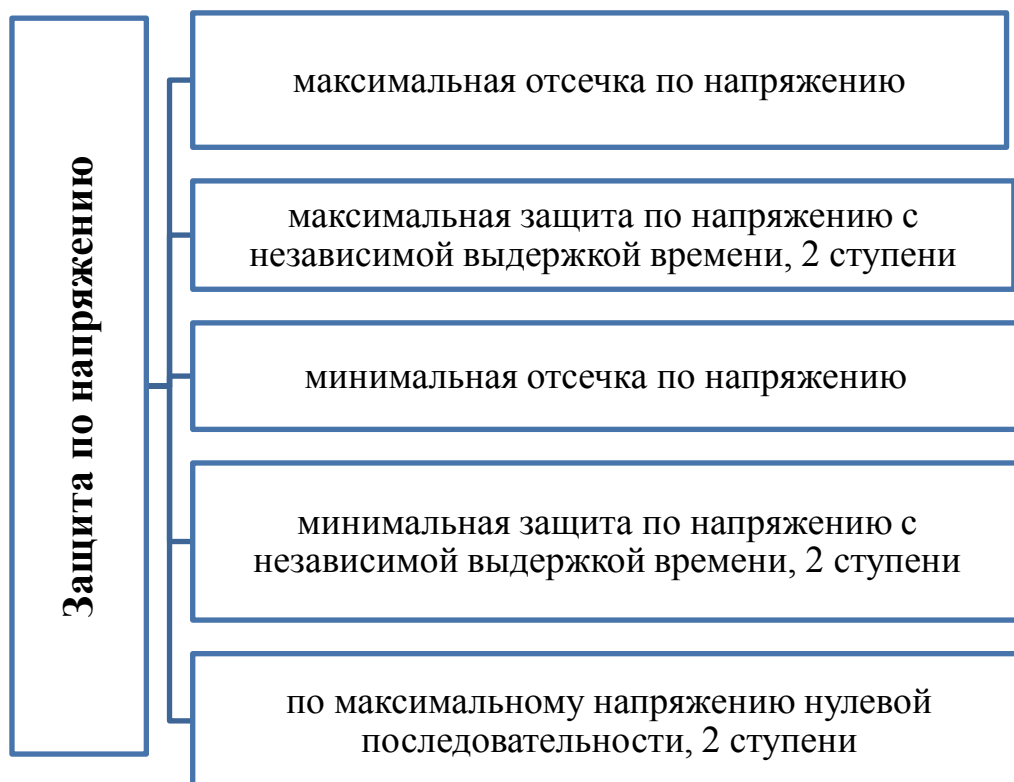


Рисунок 2.14 – Защита по напряжению

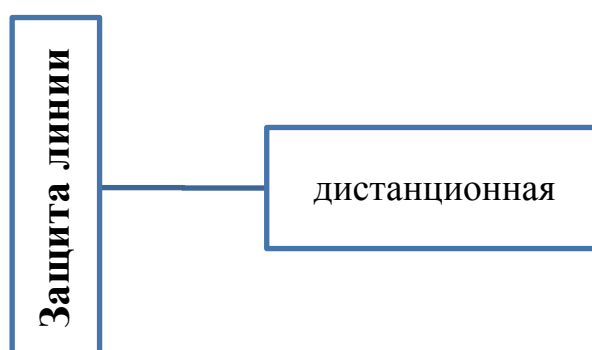


Рисунок 2.15 – Защита линии

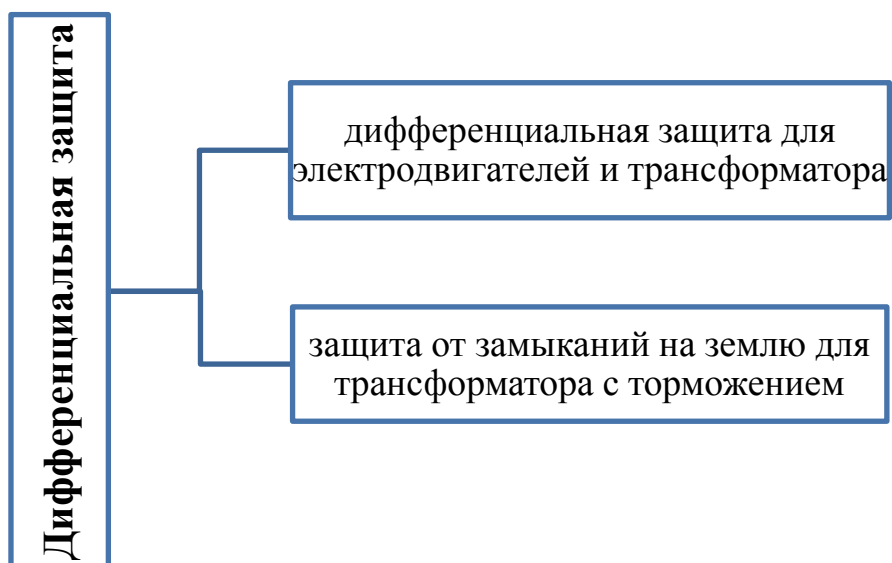


Рисунок 2.16 – Защита линии



Рисунок 2.17 – Тепловая защита

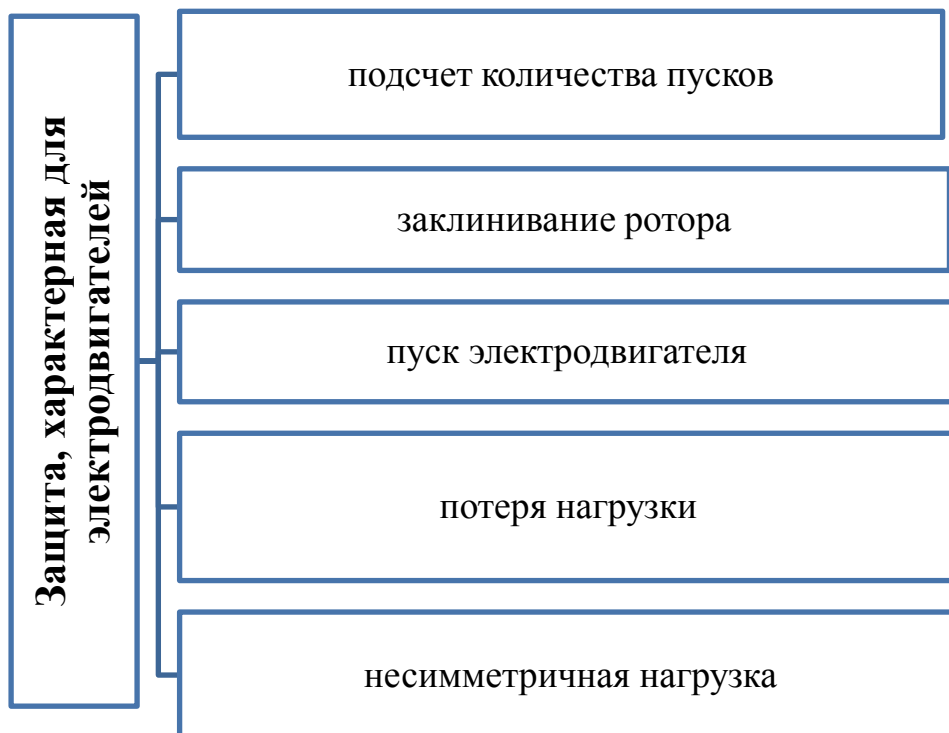


Рисунок 2.18 – Защита, характерная для электродвигателей

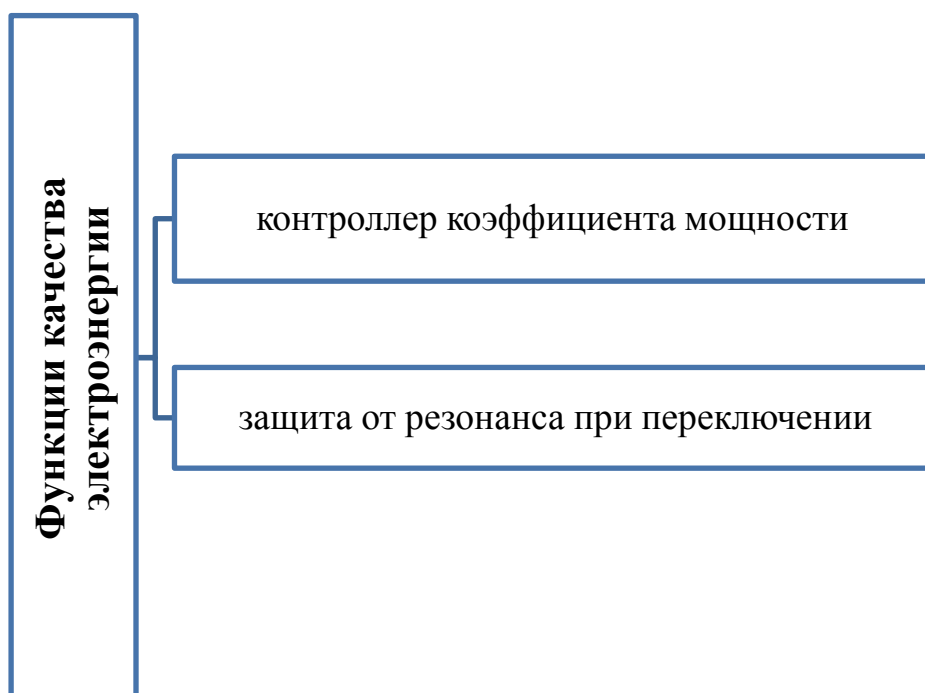


Рисунок 2.19 – Функции качества электроэнергии

Защита по суммарному коэффициенту нелинейных искажений.

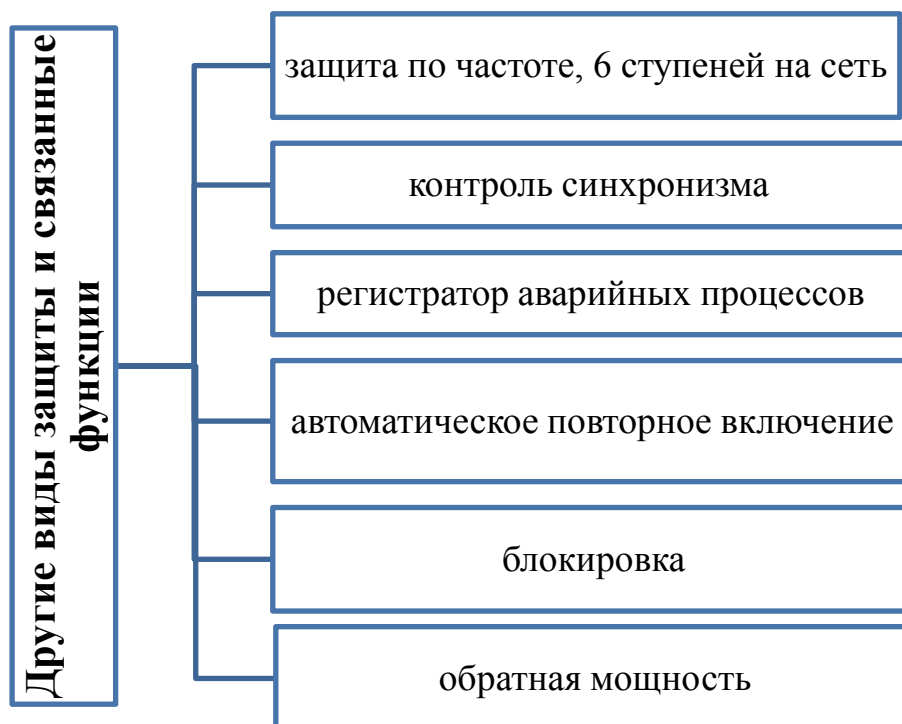


Рисунок 2.20 - Другие виды защиты и связанные функции

Можно также выполнить схему блокировки между распределительными устройствами, подключенными к одной системе шин. Для этого между данными распределительными устройствами должен происходить обмен сведениями о состояниях их коммутационных аппаратов. Сведения о состоянии должны предоставляться с помощью средств, представленных на рисунке 2.21.

Реле REF 542 plus предполагает использование различных режимов управления, выбираемых с помощью ключа управления. В локальном режиме кнопки управления интерфейса НМІ используются для работы с первичными объектами. Дистанционное управление запрещено. В режиме дистанционного управления разрешены только операции коммутации от устройства дистанционного управления, например, системы автоматизации станции. Локальное управление через интерфейс НМІ запрещено. Все возможности работы с первичными объектами могут быть запрещены путем перевода устройства в режим отключения управления.

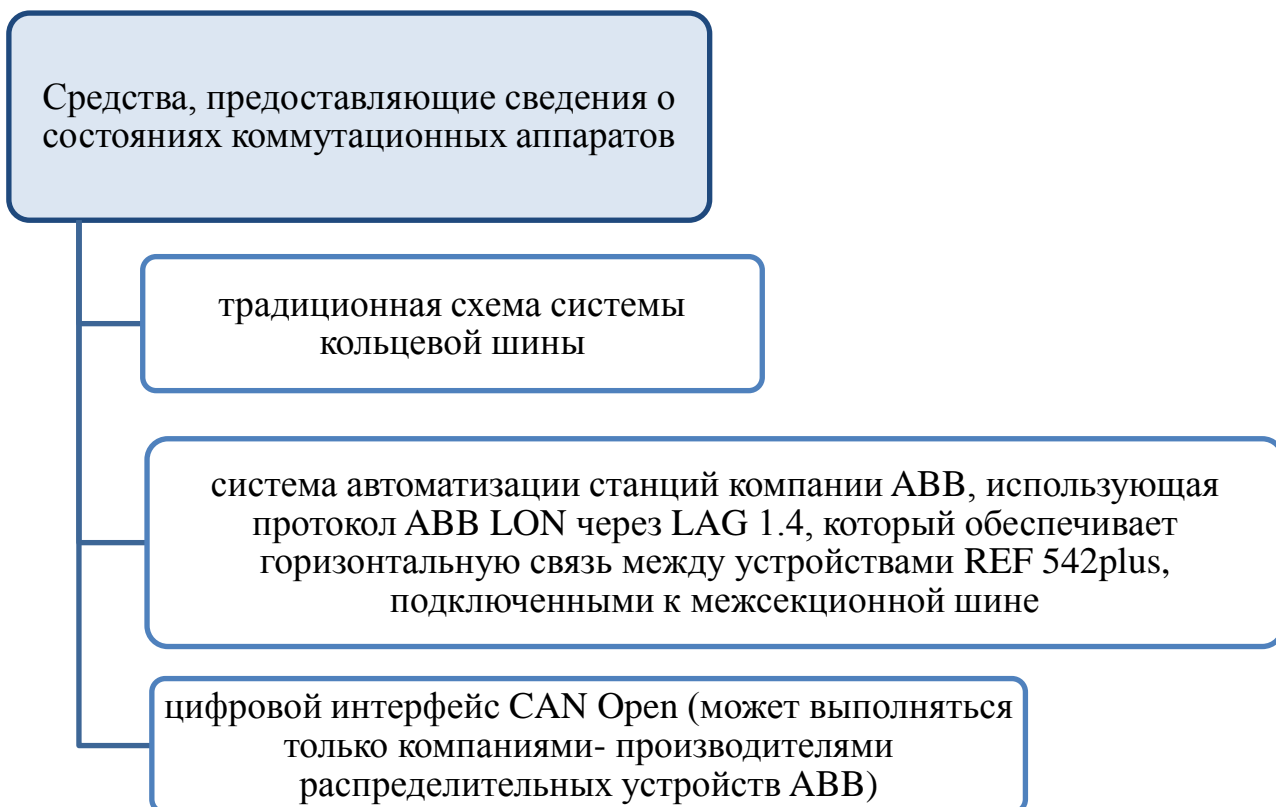


Рисунок 2.21 – Средства, предоставляющие сведения о состояниях коммутационных аппаратов

### 2.8.19 Регистрация событий

Последние 30 зарегистрированных событий могут отображаться локально на экране НМІ. Большинство событий связаны с действиями функций защиты. Помимо отображения названия события предоставляются дополнительные сведения о событии, времени, дате и действующем значении тока короткого замыкания, отключаемого выключателем. Каждое событие помечается временем и датой. События хранятся в энергонезависимой памяти, поэтому они не теряются даже в случае пропадания питания.

Предложенный вариант и схема подстанции удовлетворяет требованиям надежности потребителей и условию длительного режима работы.

## **2.9 Высокоскоростное переключающее устройство SUE3000**

Сегодня понижение напряжения или полное отключение электроснабжения являются наиболее серьезными критическими проблемами для качества энергоснабжения. Соответствует истине утверждение о том, что резкие отклонения напряжения в электронных системах управления и других чувствительных установках, могут стать причиной полной остановки производственного процесса и длительных периодов простоя. Высокоскоростное переключающее устройство SUE3000 гарантирует оптимальную защиту энергоснабжения. Устройство обеспечивает непрерывное снабжение потребителя посредством автоматического переключения на резервный ввод и обеспечивает защиту вспомогательного технологического процесса от продолжительных простоев. Более того, благодаря возможности ручного переключения, например, для запланированных отключений, в значительной степени упрощается эксплуатация установки.

Высокоскоростное переключающее устройство SUE3000 может применяться практически повсеместно, где отключение электроснабжения может привести к остановке производственного процесса и, соответственно, к дополнительным расходам.

### **2.9.1 Схема с двумя вводными и секционным выключателями**

В случае использования данной конфигурации нагрузка разделена между двумя секциям сборных шин для обеспечения резерва. Секционный выключатель обычно отключен. Включены оба ввода. В случае нарушения работы одного из вводов, соответствующий ему выключатель отключается и включается секционный выключатель. После этого обе секции сборных шин питаются от одного ввода. После ввода в работу вышедшего из строя ввода, с



целью восстановления нормального состояния, может быть произведено обратное переключение в ручном режиме.

### **2.9.2 Инициация работы SUE3000**

Крайне важным для оптимальной работы переключающего устройства является быстрое и прямое получение команды на работу устройства без малейших задержек. Обычно это обеспечивается подключением устройства.

SUE3000 к быстродействующим устройствам РЗА. При работе защитных функций соответствующее устройство РЗА дает команду на отключение ввода (и, таким образом, прекращает подачу напряжения на сборные шины). Параллельно эта же команда используется как сигнал инициации переключения на SUE3000. Предусмотрены входные и выходные сигналы управления для полного дистанционного управления и сигнализации.

### **2.9.3 Конструкция**

Работа SUE3000 основана на использовании микропроцессора, работающего в режиме реального времени. Функции измерения и обработки аналоговых сигналов осуществляются процессором цифровых сигналов (DSP), а микроконтроллер (MC) обеспечивает логическую обработку и связь с устройством ввода/вывода двоичных сигналов. Процессор передачи данных (CP) необходим для подключения к системе автоматизации подстанции.

Устройство SUE3000 состоит из двух частей: центрального устройства и дисплея. Центральное устройство состоит из платы источника питания, процессора и модулей ввода/вывода аналоговых и двоичных сигналов, а также дополнительных модулей для выполнения вспомогательных функций. Дисплей является автономным, оборудованным собственным источником питания. Он может быть установлено на двери релейного отсека или в отдельном отсеке, рядом с центральным устройством. Дисплей обычно используется для

установки параметров работы устройства и местного управления. Дисплей соединен с центральным устройством экранированной витой парой через интерфейс RS 485.

Дисплей состоит из жидкокристаллического экрана с подсветкой, четырех светодиодных индикаторов состояния, семи клавиш, восьми (32 виртуальных) светодиодных индикаторов сигналов, трех шкальных светодиодных индикаторов для отображения аналоговых значений и интерфейса электронного ключа. Язык дисплея может быть выбран при помощи программного средства конфигурации, которое также используется для конфигурации функциональной схемы высокоскоростного переключающего устройства. Левая часть жидкокристаллического дисплея выделена для однолинейной схемы. Правая часть используется для отображения либо измеренных, либо рассчитанных аналоговых значений, а также для отображения соответствующих меню или подменю, определенных пользователем. Предусмотрено использование двух электронных ключей с разными степенями доступа. На дисплее имеется один программируемый и два фиксированных шкальных светодиодных индикатора. Каждый шкальный индикатор состоит из десяти зеленых и двух красных индикаторов. Третий шкальный индикатор конфигурируется пользователем для отображения любого необходимого аналогового значения. Красные индикаторы используются для отображения значений, превышающих номинальные. Функции устройства SUE3000 могут быть приспособлены для обеспечения соответствия требованиям системы при помощи определяемой пользователем конфигурации. Определяемая пользователем конфигурация загружается во время ввода в эксплуатацию.

#### **2.9.4 Функции**

Высокоскоростное переключающее устройство SUE3000 интегрирует все необходимые функции в одном блоке. Это многофункциональное устройство

также выполняет функцию самоконтроля. Все функции выполняются свободно конфигурируемыми программными модулями. Таким образом, обеспечивается выполнение широкого диапазона эксплуатационных требований без особых проблем. Универсальность программного обеспечения обеспечивает возможность использования SUE3000 практически с любой распределительной аппаратурой независимо от области конкретного применения.

### **2.9.5 Режим работы**

Основной задачей SUE3000 является обеспечение минимальной продолжительности переключения в случае возникновения сигнала инициации, переходные эффекты которого не представляют опасности для подключенных пользователей. С этой целью в SUE3000 предусмотрена быстродействующая логика обработки, а также высокоточная обработка аналоговых сигналов. Устройство постоянно сравнивает напряжение на секции с напряжением резервного ввода. Следующие критерии синхронности выведены из амплитуд напряжений, а также разности частоты и углов сдвига фазы.

$\varphi < \varphi_{\text{Max}}$  Угол фазового сдвига

Угол фазового сдвига определяется между напряжением на секции и напряжением резервного ввода. Предельные значения для критериев синхронности могут изменяться индивидуально для шин с отставанием и опережением. Типичное значение  $\pm 20^\circ$ .

$\Delta f < \Delta f_{\text{Max}}$  Разность частот

Система определяет разность частот между напряжениями основного и резервного ввода. С точки зрения процесса переключения, разность частот обеспечивает отображение возможного режима вращения по инерции подключенных потребителей (например, двигателей среднего напряжения), а также отображение их динамических нагрузок. Обычная заводская установка 1 Гц.

$U_{\text{Stand-by}} > U_{\text{Min1}}$  Напряжение резервного ввода

Контроль уровня напряжения резервного ввода является важным критерием оценки переключения: Устройство SUE3000 готово к переключению, если в наличии имеется исправный резервный ввод.  $U_{Min1}$  установлено на заводе-изготовителе на уровне 80 %  $U_{Nominal}$ .

$U_{busbar} > U_{min2}$  Напряжение на шинах

Значение напряжения на шинах играет важную роль в выборе режима переключения. В том случае, если напряжение на шинах опустится ниже установленного значения ( $U$  обычно устанавливается на уровне 70 %  $U_{Nominal}$ ), быстрое переключение не выполняется.

### **2.9.6 Постоянное определение состояния сети**

Исключительно важной характеристикой работы высокоскоростного переключающего устройства SUE3000 является постоянная доступность перечисленных выше критериев синхронности, то есть, они рассчитываются в режиме реального времени самим устройством SUE3000. По этой причине, при поступлении команды на переключение, режим переключения уже определен и может быть запущен немедленно. Это означает значительное повышение готовности к быстрому переключению. Системы, которые ожидают определения статуса сети в момент прихода команды, не обладают возможностью выполнить быстрое переключение с минимальной длительностью перерыва электроснабжения.

### **2.10 Выбор оперативного тока**

Управление выключателями, сигнализацией, автоматикой, связью осуществляется оперативным током.

Для питания оперативных цепей подстанции может применяться переменный или постоянный ток.

На подстанции 6 кВ с выключателями на стороне высокого напряжения применяем постоянный оперативный ток. Установки постоянного оперативного тока позволяют надежную и оперативную работу электрооборудования. Электротехническая промышленность серийно выпускает аппаратуру к приводам выключателей для работы непосредственно на постоянном оперативном токе.

### 2.11 Собственные нужды подстанции

В зависимости от типа, мощности подстанции питание потребителей собственных нужд осуществляется от двух специально установленных трансформаторов.

К потребителям собственных нужд подстанции относятся оперативные цепи, подогрев ячеек КРУ, вентиляция, отопление, освещение и т. д. Мощности электроприемников собственных нужд подстанции приведены в таблице 2.8.

Питание оперативных цепей постоянного тока осуществляется от АОУТ-2-220, который питается от ЩС-1 и ЩС-2. ЩС-1,2 запитаны со сборных шин 0,4 кВ. Так же от ЩС запитано основное, аварийное освещение ПС и ящик собственных нужд.

Таблица 2.8 – Мощность электроприемников собственных нужд

№ п/п	Наименование потребителей	Общая потребляемая мощность $P$ , кВт
1	Подогрев и освещение шкафов КРУН	10
2	Аппараты управления оперативным током(АОУТ)	0,1
3	Освещение подстанции	0,2

№ п/п	Наименование потребителей	Общая потребляемая мощность $P$ , кВт
Итого		10,3 кВт
С учетом коэффициента загрузки $k_3 = 0,7$		
Всего		7,21кВт

## 2.12 Система измерений на подстанции

Контроль за режимом работы основного и вспомогательного оборудования на подстанции осуществляется с помощью контрольно-измерительных приборов, устанавливаемых на щитах управления.

На линиях высокого напряжения устанавливаются приборы, фиксирующие параметры необходимые для определения мест повреждения.

Контрольно-измерительные приборы, принятые для установки на подстанции перечислены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Контрольно-измерительные приборы

Цепь	Место установки	Перечень приборов
Сборные шины 6 кВ	Лицевая панель	Вольтметр для измерения междуфазного напряжения
Сек. выключатель	Лицевая панель	Амперметр
Линия 6 кВ к потребителям	Лицевая панель	Амперметр, расчетные счетчики активной и реактивной энергии для линий, принадлежащих потребителю, REF542 plus
ЩС	Дверка шкафа	Амперметр, вольтметр

## 2.13 Расчет заземления подстанции

Все металлические части электроустановок, не находящиеся под напряжением, должны заземляться.

В зависимости от места размещения заземлителей относительно заземляемого оборудования различают два типа заземляющих устройств: выносное и контурное.

При контурном заземляющем устройстве электроды заземлителя размещают по контуру (периметру) площадки, на которой находится заземляемое оборудование, а также внутри этой площадки.

В открытых электроустановках корпуса присоединяют непосредственно к заземлителю проводами. В зданиях прокладывается магистраль заземления, к которой присоединяются заземляющие провода. Магистраль заземления соединяют с заземлителем не менее чем в двух местах.

В качестве заземлителей используют естественные и искусственные заземлители. Мы используем искусственные заземлители, к ним относятся: стержни из угловой стали, стальные трубы, прутковая сталь.

Заземлители забивают в ряд или по контуру на такую глубину, при которой от верхнего конца заземлителя до поверхности земли остается 0,5-0,8 м. Расстояние между вертикальными заземлителями должно быть не менее 2,5-3 м.

Рассчитаем заземляющее устройство для подстанции 6 кВ площадью 6 м x 18 м.

Сопротивление одиночного вертикального заземлителя из угловой стали размером 50x50x5 мм длиной 3 м определяется по формуле 2.23:

$$R_B = \frac{0,366 \cdot p}{L} \cdot \left( \lg \cdot \frac{2l}{b} + 0,5 \cdot \lg \cdot \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right), \quad (2.23)$$

где:

$p$  – удельное сопротивление грунта, грунт – суглинок,  $p=1 \times 10^4$  ом см;

$L$  – длина вертикального заземлителя, 300 см;

$b$  – ширина полки угловой стали для заземлителя, 5 см;

$t$  – глубина заложения, 200 см.

$$R_B = \frac{0,366 \cdot 1 \cdot 10^4}{300} \cdot \left( \lg \cdot \frac{2 \cdot 300}{5} + 0,5 \cdot \lg \cdot \frac{4 \cdot 200 + 300}{4 \cdot 200 - 300} \right) = 63,2 \text{ ом},$$

Сопrotивление горизонтального заземлителя из полосовой стали определяется по формуле 2.24:

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot p}{L} \cdot \lg \cdot \frac{2L^2}{b \cdot t}, \quad (2.24)$$

где:

$L$  – длина горизонтального полосового заземлителя, 600 см;

$t$  – глубина заложения заземлителя, 50 см;

$b$  – ширина полосы, 5 см.

$$R_B = \frac{0,366 \cdot 1 \cdot 10^4}{600} \cdot \lg \cdot \frac{2 \cdot 600^2}{5 \cdot 50} = 48,6 \text{ ом},$$

Сопrotивление заземляющего устройства из 10-ти вертикальных и 9-ти горизонтальных заземлителей определяется по формуле 2.25:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{K_{II} \cdot (N1 \cdot R_{\Gamma} + N2 \cdot R_B)} = \frac{63,2 \cdot 48,6}{0,8 \cdot (10 \cdot 48,6 + 5 \cdot 63,2)} = 3,6 > 4,0 \text{ ом}. \quad (2.25)$$

Данный тип заземлителя удовлетворяет для заземления проектной подстанции.

## 2.14 Конструкция шкафа КРУ

Базовым для UniGear является шкаф ввода/вывода присоединения или вакуумным выключателем с использованием выкатной техники (рисунок 2.22). Шкаф разделен на шинный отсек сборных шин В, отсек выключателя А, кабельный отсек С, отсек приборного шкафа D для вторичного оборудования и канал выпуска газа Е.



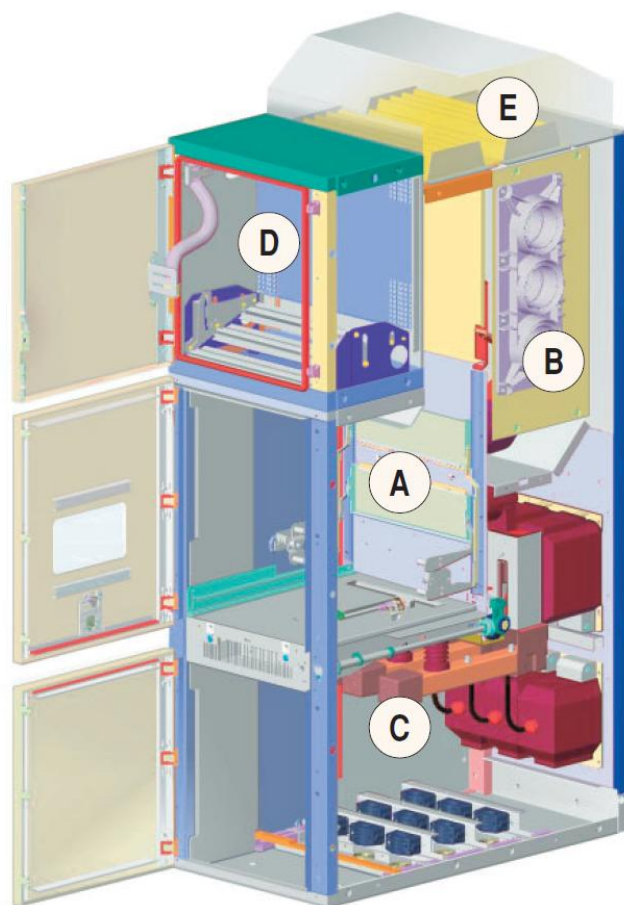


Рисунок 2.22–Отсеки устройств КРУ UniGear

Для продольного подсоединения сборных шин необходимы два шкафа: шкаф ответвления с выкатной частью с выключателем и шкаф с жестким ответвлением (по выбору с измерением напряжения на сборных шинах и заземлением сборных шин). У оборудования без продольного ответвления сборных шин производится прямое соединение сборных шин.

Внешняя оболочка и внутренние перегородки шкафов распределительного устройства изготовлены из листовой стали толщиной 2 мм, которая покрыта пленкой из сплава алюминия с цинком. Три высоковольтных отсека (отсек сборных шин, отсек выключателя и кабельный отсек) в верхней части оборудованы предохранительными заслонками для снятия давления. Последние откроются при избыточном давлении в случае внутреннего короткого замыкания дуги. Передняя сторона шкафов закрыта дверями, устойчивыми к давлению, угол открывания которых составляет 130°.

Кабельные отсеки и выключателя имеют свои собственные двери. Отсеки выключателя оснащены смотровыми отверстиями из защитного стекла. Соседние шкафы отделены друг от друга боковыми стенками каждого шкафа и в результате конструкционной конфигурации после монтажа шкафов между этими стенками остается воздушная подушка. Наружный кожух дополнен заслонками для снятия давления, смонтированными наверху, которые согласно номинальному току провода ответвления изготовлены из листовой стали или жестяной решетки и внизу крышкой днища из немагнитной жести. Заслонки для снятия давления с одной продольной стороны зафиксированы стальными болтами, с другой продольной стороны зафиксированы пластмассовыми болтами. В случае внутреннего избыточного давления пластмассовые болты местами разрываются.

Ограничение тока при внутреннем коротком замыкании дуги можно достичь путем оснащения выключателя без опаздывания, выполненными вспомогательными выключателями, управляемыми ударной волной. Распределительное устройство оснащено устройством быстрого восстановления: вспомогательные выключатели на монтированы на датчиках давления и управляются сдвигом штока датчика.

Необходимые правила техники безопасности для ограничения эффектов внутреннего короткого замыкания дуги обеспечиваются в соответствии с высотой потолка. в шкафах распределительного устройства с учетом обслуживающего персонала включают монтаж канала для отведения давления в верхней части коммутационного распределительного устройства с другими проходами, выходящими из распределительной станции в конфигурации, пригодной для конструкции здания. Ударная волна и влияние дуги отводятся через каналы наружу.

Задняя стенка сборных шин отсека сборных шин, промежуточная стенка, монтажная панель с защитными шторками и горизонтальной перегородкой являются составной частью внутренних перегородок.

Внутреннее разделение перегородками обеспечивает безопасный доступ в

отсеки выключателя и кабелей, даже в том случае, когда сборные шины находятся под напряжением.

Приборный шкаф для вторичного оборудования полностью изолирован от пространства высокого напряжения благодаря своему корпусу из стальной жести.

На концевых боковинах кожухи обеспечивают хороший вид, а также механическую и термическую защиту от внутреннего короткого замыкания дуги, если бы она наступила в концевом шкафу.

Двери, задние стенки, листы обшивки тщательно очищаются и обрабатываются против коррозии перед нанесением высококачественного двойного покрытия.

Двери отсека выключателя и присоединения кабелей устойчивы к давлению и могут быть оснащены болтами или эффективными запорными системами.

При определенных значениях номинального тока сборных шин и отпаек от них необходимы вентиляционные отверстия во внешней оболочке.

Для воздуха, поступающего в отсек выключателя, в горизонтальной перегородке выполнены вентиляционные отверстия. Степень защиты соответствует IP4X, а безопасность в случае выброса горячих газов, образованных в результате дугового замыкания, гарантируется клапаном в горизонтальной перегородке. Для воздуха, выходящего наружу, установлены клапаны для снятия давления с жалюзи, изготовленные из жестяной решетки вместо листовой стали. Форма и размер вентиляционных отверстий в жестяной обрешетке обеспечивает степень защиты IP4X.

Сборные шины имеют прямоугольное сечение, изготовлены из меди и проложены частями из шкафа в шкаф. Сборные шины крепятся посредством плоских шин отводов проходными изоляторами сборных шин при их установке. Никакие специальные крепежные зажимы не требуются.

С помощью проходных панелей и проходных изоляторов сборных шин можно образовать перегородки между шкафами. Для более высокого

номинального кратковременного удерживающего тока данные перегородки необходимы. Краткие электрические характеристики даны в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Электрические характеристики КРУ UniGear

Номинальное напряжение	кВ	6
Наибольшее рабочее напряжение	кВ	7,2
Номинальное кратковременное выдерживаемое напряжение переменного тока	кВ 1 мин.	28
Номинальное выдерживания напряжения при грозовом импульсе	кВ	60
Номинальная частота	Гц	50-60
Номинальный ток термической стойкости	кА 3 сек	50
Номинальный динамический ток	кА	125
Выдерживаемый ток внутреннего дугового КЗ	кА 1 сек.	50
Номинальный ток сборных шин	А	630-4000
Номинальный ток присоединений	А	630-1250

Для защиты персонала и оборудования, а также для предотвращения от ошибочных ситуаций имеется целый ряд блокировок:

- выдвижная часть может быть перемещена из испытательного/отсоединенного положения в рабочее положение (и обратно) только при отключенном выключателе и заземлителе (т.е. выключатель должен быть выключен заранее). В промежуточном положении выключатель блокируется механически;
- выключатель может быть включен только в том случае, если выдвижная часть действительно находится в испытательном или рабочем положении. В промежуточном положении выключатель блокируется механически, у выключателей с электрическим расцепителем блокировка также электрическая;

- без присоединения напряжения управления в рабочем или испытательном положении выключателя можно выключить только ручную и их нельзя включить (электромеханическая блокировка);
- подключение и отключение разъема подсоединения управления возможно только в испытательном/ отсоединенном положении выдвижной части;
- заземлитель можно включить только в том случае, если выдвижная часть находится в испытательном/ отсоединенном положении или вне шкафа (механическая блокировка).
- при включенном заземлителе нельзя передвинуть выдвижную часть из испытательного/отсоединенного положения в рабочее (механическая блокировка);
- выключатель нельзя вкатить в том случае, если двери приборного отсека открыты.
- двери приборного отсека нельзя открыть, если выключатель находится в рабочем или неопределенном положении.
- заземлителем нельзя управлять, если двери пространства кабельного отсека открыты;
- двери кабельного отсека нельзя открыть, если заземлитель отключен;
- включение заземлителя сборных шин возможно только в том случае, если все выдвижные части соответствующего отсека сборных шин находятся в испытательном/отсоединенном положении (электромеханическая блокировка);
- если заземлитель сборной шины включен, выдвижные части в заземленной секции не могут быть перемещены из испытательного/отсоединенного положения в рабочее положение (электромеханическая блокировка).

### 3 Технико-экономический расчет

#### 3.1 Дифференциация производства бутилкаучука на зоны электроснабжения

ПАО «Сибур» планирует значительные инвестиции в 4 завод на «Тольяттинской производственной площадке», по официальным данным более 100 млн. долларов.

Четвертый завод на «Тольяттинской производственной площадке» включает в себя подстанции:

- распределительные устройства 6кВ: № 30, № 44, № 46;
- распределительные устройства 0,4кВ: № 28, № 29, № 30, № 45, № 46, № 48, № 118.

Для удобства дифференцируем систему электроснабжения четвертого завода на три зоны:

- в первую зону будут включены распределительное устройство 6 кВ – подстанция № 46; распределительное устройство 0,4кВ – подстанции № 28 и № 46.
- во вторую зону будут включены распределительное устройство 6 кВ – подстанция № 44; распределительное устройство 0,4кВ – подстанции № 45, № 48 и № 118.
- в третью зону будут включены распределительное устройство 6 кВ – подстанция № 30; распределительное устройство 0,4кВ – подстанции № 29 и № 30.

### 3.2 Краткое описание системы электроснабжения каждой зоны

1. Распределительное устройство 6 кВ подстанции № 46, включенное в первую зону, состоит из двух секций по 15 ячеек. Все ячейки секции заняты. То есть смонтировать новые ячейки в данной подстанции не представляется возможным.

Распределительное устройство 0,4 кВ первой зоны включает в себя две подстанции:

- № 46, состоящую из двух секций по 18 ячеек каждая, в которой присутствуют 2 свободные ячейки;
- № 28 – с двумя секциями по 10 ячеек каждая, в которой нет свободных ячеек.

Характеристики нагрузок проектного и действующего вариантов первой зоны приведены в соответствующих таблицах 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 – Нагрузки согласно проекта зоны № 1

Номер зоны	Номер пс/т, номер секции	Марка кабеля	Количество кабелей, шт.	Способ прокладки	Максимальная допустимая нагрузка, А
1	Пс/т 46, РУ-6 кВ , 1 секция	АСБГ - 3х185	3	эстакада	3х270=810
1	Пс/т 46, РУ-6 кВ , 2 секция	АСБГ - 3х185	3	эстакада	3х270=810
1	Пс/т 46, РУ-0,4 кВ , 1 секция	АСБГ - 3х120	1	эстакада	200

Продолжение таблицы 3.1

Номер зоны	Номер пс/т, номер секции	Марка кабеля	Количество кабелей, шт.	Способ прокладки	Максимальная допустимая нагрузка, А
1	Пс/т 46, РУ-0,4 кВ , 2 секция	АСБГ - 3х120	1	эстакада	200
1	Пс/т 28, РУ-0,4 кВ , 1 секция	АСБГ - 3х95	1	эстакада	170
1	Пс/т 28, РУ-0,4 кВ , 2 секция	АСБГ - 3х95	1	эстакада	170

Таблица 3.2 – Нагрузки зоны № 1, действующие в настоящее время

Номер зоны	Номер пс/т, номер секции	Нагрузка в настоящие время, А	Максимально допустимая нагрузка, А	Разница между максимальной нагрузкой и нагрузкой в настоящем времени, А
1	Пс/т 46, РУ-6 кВ ,1 секция	300	810	510
1	Пс/т 46, РУ-6 кВ ,2 секция	350	810	460
1	Пс/т 46, РУ-0,4 кВ ,1 секция	50	200	150



Продолжение таблицы 3.2

Номер зоны	Номер пс/т, номер секции	Нагрузка в настоящие время, А	Максимально допустимая нагрузка, А	Разница между максимальной нагрузкой и нагрузкой в настоящем времени, А
1	Пс/т 46, РУ-0,4 кВ ,2 секция	70	200	130
1	Пс/т 28, РУ-0,4 кВ ,1 секция	35	170	135
1	Пс/т 28, РУ-0,4 кВ ,2 секция	40	170	130

Проектируемые приемники электрической энергии первой зоны производственных объектов «Гольяттинской промышленной площадки» в отношении обеспечения надежности электроснабжения относятся к первой категории и требуют обеспечения электрической энергией от двух независимых взаиморезервирующих источников питания, то есть нельзя загружать каждую секцию подстанции больше 50%.

2. Распределительное устройство 6 кВ подстанции № 44, включенное во вторую зону, состоит из двух секций по 10 ячеек. Все ячейки заняты.

Распределительное устройство 0,4 кВ второй зоны включает в себя три подстанции:

- № 45, состоящую из четырех секций по 15ячеек каждая, в которой присутствуют 10 резервных ячеек;
- № 48 – с двумя секциями по 15ячеек каждая, в которой присутствуют 5 свободных ячеек;
- № 118, состоящую из двух секций по 5ячеек каждая, в которой резервных ячеек нет.

Характеристики нагрузок проектного и действующего вариантов второй зоны приведены в соответствующих таблицах 3.3 и 3.4.

Таблица 3.3 – Нагрузки согласно проекта зоны № 2

Номер зоны	Номер пс/т, номер секции	Марка кабеля	Количество кабелей, шт.	Способ прокладки	Максимальная допустимая нагрузка, А
2	Пс/т 44, РУ-6 кВ , 1 секция	АСБГ - 3х185	2	эстакада	2х270=540
2	Пс/т 44, РУ-6 кВ , 2 секция	АСБГ - 3х185	2	эстакада	2х270=540
2	Пс/т 45, РУ-0,4 кВ , 1 секция	АСБГ - 3х120	1	эстакада	200
2	Пс/т 45, РУ-0,4 кВ , 2 секция	АСБГ - 3х120	1	эстакада	200
2	Пс/т 45, РУ-0,4 кВ , 3 секция	АСБГ - 3х120	1	эстакада	200
2	Пс/т 45, РУ-0,4 кВ , 4 секция	АСБГ - 3х120	1	эстакада	200

Продолжение таблицы 3.3

Номер зоны	Номер пс/т, номер секции	Марка кабеля	Количество кабелей, шт.	Способ прокладки	Максимальная допустимая нагрузка, А
2	Пс/т 48, РУ-0,4 кВ , 1 секция	АСБГ - 3х120	1	эстакада	200
2	Пс/т 48, РУ-0,4 кВ , 2 секция	АСБГ - 3х120	1	эстакада	200
2	Пс/т 118, РУ-0,4 кВ , 1 секция	АСБГ - 3х70	1	эстакада	140
2	Пс/т 118, РУ-0,4 кВ , 2 секция	АСБГ - 3х70	1	эстакада	140

Таблица 3.4 – Нагрузки зоны № 2, действующие в настоящее время

Номер зоны	Номер пс/т, номер секции	Нагрузка в настоящее время, А	Максимально допустимая нагрузка, А	Разница между максимальной нагрузкой и нагрузкой в настоящем времени, А
2	Пс/т 44, РУ-6 кВ , 1 секция	280	540	260

Продолжение таблицы 3.4

Номер зоны	Номер пс/т, номер секции	Нагрузка в настоящие время, А	Максимально допустимая нагрузка, А	Разница между максимальной нагрузкой и нагрузкой в настоящем времени, А
2	Пс/т 44, РУ-6 кВ , 2 секция	300	540	240
2	Пс/т 45, РУ-0,4 кВ , 1 секция	70	200	130
2	Пс/т 45, РУ-0,4 кВ , 2 секция	60	200	140
2	Пс/т 45, РУ-0,4 кВ , 3 секция	80	200	120
2	Пс/т 45, РУ-0,4 кВ , 4 секция	65	200	135
2	Пс/т 48, РУ-0,4 кВ , 1 секция	50	200	150
2	Пс/т 48, РУ-0,4 кВ , 2 секция	60	200	140
2	Пс/т 118, РУ-0,4 кВ , 1 секция	10	140	130
2	Пс/т 118, РУ-0,4 кВ , 2 секция	10	140	130

Проектируемые приемники электрической энергии второй зоны производственных объектов «Гольяттинской промышленной площадки» в отношении обеспечения надежности электроснабжения относятся к первой категории и требуют обеспечения электрической энергией от двух независимых взаиморезервирующих источников питания, то есть нельзя загружать каждую секцию подстанции больше 50%.

3. Распределительное устройство 6 кВ подстанции № 30, включенное в третью зону, состоит из 4 секций по 15 ячеек. Одиннадцать ячеек являются резервными.

Распределительное устройство 0,4 кВ третьей зоны включает в себя две подстанции:

- № 30, состоящую из двух секций по 10 ячеек каждая, в которой резервных ячеек нет;
- № 29 – с 4 секциями по 10 ячеек каждая, в которой присутствуют 4 свободных ячейки.

Характеристики нагрузок проектного и действующего вариантов второй зоны приведены в соответствующих таблицах 3.5 и 3.6.

Таблица 3.5 – Нагрузки согласно проекта зоны № 3

Номер зоны	Номер пс/т, номер секции	Марка кабеля	Количество кабелей, шт.	Способ прокладки	Максимальная допустимая нагрузка, А
3	Пс/т 30, РУ-6 кВ ,1 секция	АСБГ - 3x185	2	эстакада	2x270=540
3	Пс/т 30, РУ-6 кВ ,2 секция	АСБГ - 3x185	2	эстакада	2x270=540

Продолжение таблицы 3.5

Номер зоны	Номер пс/т, номер секции	Марка кабеля	Количество кабелей, шт.	Способ прокладки	Максимальная допустимая нагрузка, А
3	Пс/т 30, РУ-6 кВ ,3 секция	АСБГ - 3х185	2	эстакада	2х270=540
3	Пс/т 30, РУ-6 кВ ,4 секция	АСБГ - 3х185	2	эстакада	2х270=540
3	Пс/т 29, РУ-0,4 кВ ,1 секция	АСБГ - 3х95	1	эстакада	170
3	Пс/т 29, РУ-0,4 кВ ,2 секция	АСБГ - 3х95	1	эстакада	170
3	Пс/т 29, РУ-0,4 кВ ,3 секция	АСБГ - 3х95	1	эстакада	170
3	Пс/т 29, РУ-0,4 кВ ,4 секция	АСБГ - 3х95	1	эстакада	170
3	Пс/т 30, РУ-0,4 кВ ,1 секция	АСБГ - 3х95	1	эстакада	170
3	Пс/т 30, РУ-0,4 кВ ,2 секция	АСБГ - 3х95	1	эстакада	170

Таблица 3.6 – Нагрузки зоны № 3, действующие в настоящее время

Номер зоны	Номер пс/т, номер секции	Нагрузка в настоящие время, А	Максимально допустимая нагрузка, А	Разница между максимальной нагрузкой и нагрузкой в настоящем времени, А
3	Пс/т 30, РУ-6 кВ,1 секция	150	540	390
3	Пс/т 30, РУ-6 кВ,2 секция	250	540	290
3	Пс/т 30, РУ-6 кВ,3 секция	300	540	240
3	Пс/т 30, РУ-6 кВ,4 секция	150	540	390
3	Пс/т 29, РУ-0,4 кВ,1 секция	45	170	125
3	Пс/т 29, РУ-0,4 кВ,2 секция	60	170	110
3	Пс/т 29, РУ-0,4 кВ,3 секция	50	170	120
3	Пс/т 29, РУ-0,4 кВ,4 секция	55	170	115
3	Пс/т 30, РУ-0,4 кВ,1 секция	60	170	110
3	Пс/т 30, РУ-0,4 кВ,2 секция	50	170	120

Проектируемые приемники электрической энергии третьей зоны производственных объектов «Гольяттинской промышленной площадки» в отношении обеспечения надежности электроснабжения относятся к первой категории и требуют обеспечения электрической энергией от двух независимых взаиморезервирующих источников питания, то есть нельзя загружать каждую секцию подстанции больше 50%.

### **3.3 Анализ каждой зоны на баланс загруженности сетей и подстанций**

Проведенный анализ зон ПАО «Сибур» «Гольяттинской производственной площадки» показал:

1. Первая зона имеет отрицательный баланс, т.е. отсутствуют свободные мощности как по 6, так и по 0,4 кВ.
2. Существующие подстанции зоны № 1 не позволяют разместить дополнительные мощности.
3. Вторая зона имеет отрицательный баланс, т.е. отсутствуют свободные мощности 6кВ.
4. Вторая зона имеет положительный баланс по 0,4 кВ.
5. Третья зона имеет положительный баланс по 6кВ.
6. Третья зона имеет отрицательный баланс, т.е. отсутствуют свободные мощности 0,4кВ.

Таким образом, возникает вопрос о целесообразности проекта, реализуемого по двум возможным направлениям:

1. Построить новую подстанцию по 6 кВ в зоне № 1 или использовать лишнюю мощность из зоны № 3.
2. Построить новую подстанцию по 0,4 кВ в зоне № 1 или использовать лишнюю мощность из зоны № 2.

Следовательно, является достаточным использование свободных мощностей зоны №2 и № 3. Для их использования необходимо проложить по



действующим эстакадам кабели к новому оборудованию. Однако, в этом случае исчерпываются ресурсы для развития всех трех зон. Выполним сравнение экономических показателей двух возможных проектов.

### 3.4 Проектный вариант № 1

Таблица 3.7 - Исходные данные для реконструкции зоны № 1

№ п/п	Параметр расчета	Значение параметра
1.	Постройка новой подстанции по 6 кВ на 28 ячеек (стоимость одной ячейки оборудования совместно с работой равна 1млн. рублей)	$1000000 \times 28 =$ $= 28000000$ руб.
2.	Прокладка вводных кабелей от ГПП-2 до подстанции № 53 содержит 3 кабеля АСБГ (3*185) на каждый ввод (1 метр кабеля стоит 800 руб.; прокладка кабеля - 400 руб. метр.)	$(800 + 400) \times 2300 =$ $= 2760000$ руб.
3.	Расстояние от ГПП-2 до подстанции № 53 равно 2300 метров	
	Итого:	44520000 руб.

Таблица 3.8 - Исходные данные для реконструкции зоны № 2 (подстанция № 45, РУ - 0,4 кВ)

№ п/п	Параметр расчета	Значение параметра
Выполняется замена трансформаторов КНТП-1 мощностью 2х1600 на 2х2500		
1.	Стоимость КНТП без трансформатора	2050000руб.

п/п	Параметр расчета	Значение параметра
2.	Стоимость одного трансформатора (используются 2 трансформатора)	3500000x2 = = 7000000 руб.
	Итоговая цена КНТП:	9050000 руб.
3.	Монтажные работы	2000000 руб.
	Итого:	11050000 руб.

Таблица 3.9 - Исходные данные для реконструкции зоны № 2 (подстанция № 118, РУ - 0,4 кВ)

№ п/п	Параметр расчета	Значение параметра
Выполняется замена трансформаторов кнТП-1 мощностью 2 х 630 на 2 х 1600		
3.	Стоимость КНТП без трансформатора	2050000 руб.
4.	Стоимость одного трансформатора (используются 2 трансформатора)	2000000x2 = = 4000000 руб.
	Итоговая цена КНТП:	6050000 руб.
3.	Монтажные работы	2000000 руб.
	Итого:	8050000 руб.

Общая стоимость реконструкции зон 1 и 2 составит: 44520000 + 11050000 + 8050000 = 63100000 (руб.).

После реконструкции существующего производства прирост мощности составил:

- по высокой стороне 6 кВ - 1743 кВт;
- по низкой стороне 0,4 кВ — 2300 кВт.

### 3.5 Проектный вариант № 2

Таблица 3.10 - Исходные данные для реконструкции зоны № 3

№ п/п	Параметр расчета	Значение параметра
1.	Прокладка кабелей от подстанции № 30 до нового оборудования: 20 кабелей АСБГ (3*185) (1 метр кабеля стоит 800 руб.; прокладка кабеля - 400 руб. метр.)	(800 + 400) x500x20 = 12000000 руб.
2.	Расстояние от подстанции № 30 до нового оборудования равно 500 метров	
	Итого:	12000000 руб.

### 3.6 Сравнительный анализ проектных вариантов

В результате сравнения стоимости проектов приходим к выводу, что с экономической точки зрения реализация проекта номер 2 является экономически более эффективной. Однако, износ оборудования, введенного в эксплуатацию более 30 лет назад без последующей модернизации, не позволяет выполнить реализацию проекта номер 2 без потери надежности системы электроснабжения.

Проект номер 1 позволяет ввести дополнительные мощности в зонах номер 1 и 2, а также формирует запас мощности для дальнейшего развития четвертого завода на ТПП.

Таким образом, приходим к выводу, что проект номер 1 является приоритетным.

## Заключение

Магистерская диссертационная работа заключалась в проектировании распределительного устройства 6 кВ промышленного предприятия, с целью электроснабжения территориально распределенных потребителей 6 кВ.

В ходе выполнения работы были решены следующие задачи:

1. Произведен расчет электрических нагрузок подстанции 6 кВ;
2. Сделан выбор типа вакуумных выключателей VM1 и VM1-T, трансформаторов тока ТРУ4, трансформаторов напряжения ТЭС4;
3. Выполнен выбор электрической схемы подстанции;
4. Произведен расчет токов короткого замыкания;
5. Сделан выбор номинальных параметров основного электрооборудования;
6. Выполнен выбор электрооборудования КРУ UniGear;
7. Сделан выбор основных конструктивных решений подстанции;
8. Выполнен выбор постоянного оперативного тока, системы измерений, мощности собственных нужд, заземления;
9. Произведен технико-экономичный расчет;
10. Произведен сравнительный анализ двух проектов.

Проект №1 включает в себя: строительства новой подстанции 6 кВ в зоне №1, а так же модернизацию двух подстанций 0,4 кВ в зоне №2.

В проекте номер №2 предлагается максимальное использование зоны №3.

В результате сравнения стоимости проектов приходим к выводу, что с экономической точки зрения реализация проекта номер 2 является экономически более эффективной. Однако, износ оборудования, введенного в эксплуатацию более 30 лет назад без последующей модернизации, не позволяет выполнить реализацию проекта номер 2 без потери надежности системы электроснабжения.

Проект номер 1 позволяет ввести дополнительные мощности в зонах номер 1 и 2, а также формирует запас мощности для дальнейшего развития четвертого завода на ТПП.

Таким образом, приходим к выводу, что проект номер 1 является приоритетным.

## Список использованных источников

1. ГОСТ 12.0.003-74. - Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. –Введ. 1976-01-01. - Госуд. комитет по стандартам; М.: Изд-во стандартов, 2004. – 4 с.
2. Инструкция по устройству молнии защиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: МЭИ, 2004. – 41 с.
3. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий (3-е изд., с изм. и доп.).– М.: Энергоатомиздат, 2000. - 91 с.
4. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 марта 2010 г. – М.: КРОНУС, 2010. – 488 с.
5. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания РД 153-34.0-20.527-98.
6. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ: в 6-ти т. / Е.Ф. Макаров; под ред. гл. специалистов ОАО «Мосэнерго». – М.: Энергия, 2006. – Т.4,6.
7. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования :учеб. пособие для вузов / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – М.: Энергоатомиздат, 2009. –608 с.
8. Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения/ Г.Н. Ополева, - М.:ФОРУМ-ИНФРА-М, 2006. – 480 с.
9. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: учеб. пособие для вузов / под ред. И.П. Крючкова [и др.]. – М.: Академия, 2006. – 416 с.
10. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – М.: Академия, 2010. – 448 с.

11. Сенько, В.В. Электромагнитные переходные процессы с нарушением симметричной работы СЭС: учеб. метод. пособие для курсового проектир. / В.В. Сенько. – Тольятти: ТГУ, 2007. – 40 с.
12. Сенько, В.В. Электромагнитные переходные процессы в СЭС: учеб. метод. пособие / В.В. Сенько. – Тольятти: ТГУ, 2007. – 59 с.
13. Справочная книга электрика / под ред. В.И. Григорьева, - М.: Колос, 2004. – 746с.
14. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича, - М.: ЭНАС, 2009. – 392 с.
15. Степкина, Ю.В. Высоковольтное оборудование станций и подстанций: учеб. пособие / Ю.В. Степкина, В.В. Вахнина. – Тольятти: ТГУ, 2006. - 150 с.
16. Степкина, Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции: учеб. метод. пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования/ Ю.В. Степкина, В.М. Салтыков, - Тольятти: ТГУ, 2007. – 124 с.
17. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. /- 3-е изд. - М.: Энергия, 2010 – 410 с.
18. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / под общей ред. А.А. Федорова. - М.: Энергоатомиздат, 2006 – 350 с.
19. Taylor Ch. R., Custer C.C. Electric Furnace Steelmaking. London: Iron & Steel Society, 2005. - 395 p.
20. Gosbell V., Perera S., Smith V. Harmonic distortion in the electric supply system // Integral Energy Power Quality Centre: Technical Note no. 3. Australia, 2000. 10 p.
21. Lundquist J. On Harmonic Distortion in Power Systems // Department of Electric Power Engineering: Technical report no. 371L. Göteborg, 2001. 139 p.
22. Воротницкий, В. Э. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях [Текст]: учеб. метод. пособие / В. Э.

Воротницкий, М. А. Калинкина. – Изд. 3-е, стереотип. – М.: ИПК госслужбы, 2013. – 64 с.

23. Герасименко, А. А. Передача и распределение электрической энергии [Текст] / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. – Изд. 2-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. - 715 с.

24. Ting W., Wennan S., Yao Z. A New Frequency Domain Method for the Harmonic Analysis of power system with Arc Furnace // 4th international conference on advances in power system control. 2007. P. 552–555.

25. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст]. – Введ. 01.07.2014 г. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

26. Карапетян, И. Г. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2009. -392 с.

27. Киреева, Э. А. Современные комплектные трансформаторные подстанции и распределительные устройства напряжением 6(10)- 35/0,4 кВ [Текст]: справочные материалы. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2007. – 56 с.

28. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий [Текст]: учебник для студентов высших учебных заведений. Изд. 2-е. – М.: Интермет Инжиниринг, 2006. – 672 с.

29. Naranjo R.D. Advanced Melting Technologies: Energy Saving Concepts and Opportunities for the Metal Casting Industry. Maryland: BCS Incorporated, 2005. 46 с.

30. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения [Текст]: учебное пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. – 480 с.

31. Егоркин А.В. Электроснабжение тольяттинской производственной площадки ООО «СИБУР»/ Егоркин А.В., Воронин М.М., Кувшинов А.А., Шаповалов С.В.// электронный журнал «Теория и практика современной науки» №6(12) 2016



32. Егоркин А.В. Вакуумный силовой выключатель VM1 - Т/ Егоркин А.В., Воронин М.М., Кувшинов А.А., Шаповалов С.В.// электронный журнал «Теория и практика современной науки» №6(12) 2016

33. Воронин М.М. Электроснабжение индустриального парка «Тольяттисинтез» / М.М. Воронин, А.В. Егоркин, А.А. Кувшинов, С.В. Шаповалов // IV Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов (Тольятти, 12–14 апреля 2016 года) : сборник трудов. - Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. - 415 с.