

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем  
электроснабжения

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Определение места повреждения в распределительных кабельных  
сетях 10кВ с изоляцией из СПЭ при помощи интеллектуальных систем

Студент

С.М. Крайнов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

д.т.н., доцент, А.А. Кувшинов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 Сшитая полиэтиленовая изоляция (XLPE).....	7
1.1 Причины разрушения изоляции, выполненной из сшитого полиэтилена	8
1.2 Химическая деградация.....	9
1.2.1 Образование свободных радикалов .....	9
1.2.2 Механизм деградации радикала полимера.....	10
1.2.3 Термическая деградация .....	11
1.2.4 Электрическая деградация .....	12
1.2.5 Водяные триинги.....	13
1.2.6 Электрические разряды .....	15
1.3 Методы диагностики .....	17
1.3.1 Измерение диэлектрического отклика.....	18
1.3.2 Метод измерения и анализа возвратного напряжения в изоляции силовых кабельных линий .....	19
1.3.3 Высокоэффективный метод анализа структуры и состава биополимеров (FTIR).....	22
1.3.4 Метод измерения диэлектрических характеристик изоляции кабелей	24
1.3.5 Испытание на отказ повышенным напряжением .....	26
1.3.6 Прочность на растяжение и относительное удлинение при разрыве..	27
1.4 Выводы по разделу .....	28
2 Расчет уставок ДКЗ .....	29
2.1 Актуальность применения ДКЗ.....	29
2.2 Выбор типа датчиков короткого замыкания .....	34
2.2.1 Герконовые датчики короткого замыкания .....	35
2.2.2 электронные датчики короткого замыкания .....	40
2.3 Расчет токов короткого замыкания .....	47
2.3.1 Расчет сопротивлений на шинах распределительного пункта РП.....	48
2.3.2 Расчет токов короткого замыкания для трансформаторной подстанции ТП-11 .....	51

2.3.3 Расчет токов короткого замыкания для трансформаторной подстанции ТП-12 .....	57
2.3.4 Расчет токов короткого замыкания для трансформаторной подстанции ТП-13 .....	61
2.3.5 Расчет токов короткого замыкания для трансформаторной подстанции ТП-14 .....	64
2.4 Выводы по разделу .....	69
3 Телемеханизация полученных сигналов.....	69
3.1 Анализ существующих систем телекоммуникационной отрасли .....	69
3.1.1 Анализ существующих средств передачи .....	70
3.1.2 Анализ существующих методов оцифровки сигнала.....	73
3.1.3 Анализ конфигурации цифровой микроволновой радиосистемы .....	75
3.1.4 Анализ конфигурации спутниковой системы.....	77
3.1.5 Анализ систем системы мобильной радиосвязи.....	79
3.1.6 Анализ конфигурации оптоволоконной системы.....	80
3.1.7 Анализ технико-экономические показатели .....	80
3.2 Связь с пунктом ЦДС .....	85
3.3 Выводы по разделу .....	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	90
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	92

## ВВЕДЕНИЕ

Любая система электроснабжения, на сегодняшний день, представляет собой сложную систему, состоящую из большого количества дорогих и важных для стабильной ее работы, силовых кабелей различного возраста, которые изготавливались и внедрялись в нее, в течение многих десятилетий. На сегодняшний день, самым распространенным типом изоляции кабельных линий, является бумажно-масляная изоляция, которая появилась еще в 1940-х годах, прошлого столетия. Внедрение кабелей, в изоляции которых применен сшитый полиэтилен - началось посередине 1970-х годов. На сегодняшний день, большой процент кабелей с бумажно-масляной изоляцией, уже выработал свой ресурс и данный тип кабеля, является устаревшими. Так же, первые кабели в которых применена изоляция из сшитого полиэтилена, находятся в эксплуатации уже достаточно продолжительное время, чтобы показать возможные варианты старения их изоляционного материала.

Из соображений повышения надежности энергосистемы, необходимо принимать профилактические меры, для определенных элементов входящих в состав систем электроснабжения. Требования к качеству электрической энергии и надежности электроснабжения потребителей растут, и перебои, вызванные возникновением аварийных ситуаций, во время процесса передачи и распределения электроэнергии, становятся все более дорогостоящими для сетевых компаний. Обслуживание на основе постоянных условий, становится все более распространенным по экономическим причинам. Своевременная диагностика и ремонт кабельных линий, может существенно снизить частоту аварийных отказов, что в свою очередь, положительно скажется на снижении экономических затрат.

Изоляция высоковольтных силовых кабелей и их компонентов, в течение всего срока службы, подвержена старению и разрушению, т. к. на нее воздействуют различные уровни напряжения и внешние факторы. Это может привести к сокращению срока службы, что в свою очередь, снизит

надежность энергосистемы. Именно поэтому, многие исследовательские работы, мероприятия и публикации, направлены на улучшение понимания явления старения изоляции, поиск инструментов для диагностики изоляции и создание методов оценки ее остаточного потенциала. Для того, чтобы удостовериться в качестве и надежности кабельной системы, важно выполнить ряд диагностических тестов, прежде чем продолжать эксплуатацию, особенно, после продолжительных периодов бесперебойной работы. Возможность диагностики изоляции на месте и определения уровня ее разрушения - представляет большой интерес, для коммунальных и сетевых компаний.

Невозможно провести диагностические измерения на всех кабельных системах, находящихся в работе. Это даже сложнее, чем проводить полное тестирование изоляции, в лабораторных условиях. Кабельная изоляция должна быть зачищена и взята для анализа, во время ремонта неисправного кабеля. Результаты данного анализа, должны дать больше информации о фактическом состоянии кабельной системы.

**Целью диссертации** является создание интеллектуальной системы диагностики и контроля состояния кабельных линий, изоляция которых выполнена из сшитого полиэтилена, с возможностью передачи информации о месте возникновения короткого замыкания, на диспетчерский пульт ДД ЦДС.

**К задачам** относятся:

1. Анализ известных методов диагностики СПЭ изоляции КЛ-10кВ, а также факторов, негативно влияющих на нее.
2. Расчет уставок ДКЗ.
3. Телемеханизация сигналов ДКЗ, на пульт ДД ЦДС.

Результаты данной работы, основаны на экспериментальных испытаниях, проведенных на образцах кабельных линий, в которых в качестве изоляции применен как сшитый полиэтилен, так и масляно-

бумажный тип изоляции. Цель состоит в том, чтобы найти практическое применение методам оценки результатов, химического анализа.

Основная задача в этом тезисе, состоит в том, чтобы найти методы, которые могут быть легко адаптированы для повседневного использования, в области мониторинга состояния кабеля.

Основным вкладом этого исследования, является создание инструментов классификации условий, для оценки состояния силовых кабелей среднего напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена. На XLPE-изолированных кабелях, эта классификация условий объединяет результаты FTIR-анализа и определяет способность, выдерживать различные уровни напряжения. На кабелях с масляной изоляцией результаты FTIR-анализа, объединяются с ожидаемой рабочей температурой и ожидаемым сроком службы бумажной изоляции. В этой диссертации, различные виды электрических измерений и химического анализа, были выполняются на различных образцах кабелей. Большое количество образцов кабелей с XPLE изоляцией и кабелей с масляно-бумажной изоляцией, вышедшие из строя в процессе эксплуатации, были отправлены в лабораторию для диагностики, измерений и анализа. Применимость различных методов диагностики, таких как измерение диэлектрического отклика, игольчатый тест, пробой, FTIR-анализ и анализ масляно-бумажной изоляции, была опробована на кабелях, состаренных в реальных условиях.

## **1 Сшитая полиэтиленовая изоляция (XLPE)**

С конца 1960-х годов, силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) все чаще находили свое применение, в городских кабельных распределительных сетях. Все новые установки, а также замененные участки кабельных линий, все чаще выполняются с использованием СПЭ кабелей. Основным материалом данного типа кабелей, является полиэтилен низкой плотности (ПЭНП). XLPE обычно производится, при помощи активирующего химического реагента, дикумилпероксида. Изоляция вытягивается через проводник, с использованием тройной экструзии. В процессе тройной экструзии, полиэтилен смешивают с дикумилпероксидом и прижимают к проводнику, образуя внутренний слой проводника. Основной слой изоляции и внешние полупроводящие слои экструдированы одновременно. Температура во время экструзии, составляет около 130 °С. После экструзии, изолированный сердечник пропускают через вулканизационную трубку заполненную сжатым и нагретым газообразным азотом. Жара и давление раскладывает пероксид на реакционноспособные первичные радикалы, которые влияют на качество сшивания.

Процесс сшивания, вызывает изменение состава полиэтилена, с заметным улучшением как физических, так и электрических свойств. После отверждения кабель охлаждается. Во время этого процесса, внутри изоляции кабеля, могут возникать остаточные механические напряжения, которые не могут быть равномерно распределены в объеме изоляционного материала кабеля. Остаточные внутренние механические напряжения, возникшие в процессе производства, оказывают существенное влияние на прочность изоляции кабеля. Эффект внутреннего механического напряжения, может быть уменьшен благодаря термообработке. Промежуточное хранение кабеля, перед этапом нанесения защитной оболочкой, также уменьшает количество механических напряжений, возникающих внутри изоляции. В процессе отверждения, образуются побочные продукты сшивания, например вода. Она образуется во время сшивания полиэтилена и формирования сшитого

полиэтилена, а также ацетофенон и кумиловый спирт образуются в количестве 1 мас. % от вулканизированной изоляции. Долгосрочные характеристики изоляции из сшитого полиэтилена, можно улучшить, с помощью добавления добавок вовремя производства.

### **1.1 Причины разрушения изоляции, выполненной из сшитого полиэтилена**

Процессы разложения изоляции из сшитого полиэтилена, можно разделить на две основные группы такие как внешние, т.е. вызванные пустотами, загрязнителями, физическими недостатками или плохо рассредоточенными компонентами, или внутренние, то есть вызванные физическими или химическими изменениями, или захваченными зарядами. Запущенный процесс разрушения, может повлиять на большой объем изоляции, например, термическое разрушение изоляционного материала. Внешняя разрушение, обычно приводит к локальным изменениям в других однородных, изоляционных материалах.

Физические, химические и электрические механизмы старения, являются основными механизмами разрушения полимерной изоляции. Полимеры, не достигнут своей окончательной кристаллической структуры сразу после изготовления. Окончательное отверждение изоляционной структуры, будет происходить в течение нескольких лет, т. к. отверждение является медленным процессом, во время которого, внутри изоляции могут образовываться микрополости и локально более плотные участки. Неравномерная структура изоляционного материала, усилит эффект электрического разложения и увеличит риск электрического пробоя. Полимерная изоляция, чувствительна даже к небольшим частичным разрядам. Молекулярная структура полиэтилена модифицируется механическим разложением. Известно, что механическое напряжение вызывает деформацию связей, образование свободных радикалов и разрыв, а также карбонильные группы в полиэтилене.



## **1.2 Химическая деградация**

Химическая деградация, приводит к изменению механических свойств полимерной изоляции. Результатом химической деградации, может быть разрыв длинных полимерных цепей, т.е. процесс, известный как деполимеризация. Так же, могут быть сформированы некоторые новые, сшивающие мосты. Полимерная изоляция будет более хрупкой, если эти механизмы работают. Химически реактивные свободные радикалы, являются частью реакции. Эти свободные радикалы, образуются во время окисления изоляции.

Скорость образования свободных радикалов зависит от температуры, количества кислорода и наличия радиации. Стоит обратить внимание на то, что готовая изоляция кабеля, не содержит в себе свободного источника кислорода. Окисление относится ко всем изменениям в степени окисления материала. Частичные разряды, возникающие внутри изоляции, будут образовывать ионизирующее излучение, вызывая образование свободных радикалов. В результате частичных разрядов, образуются вредные газы и кислоты. Солнечный свет содержит УФ-излучение, которое также вредно для полимерной изоляции.

### **1.2.1 Образование свободных радикалов**

Образование свободных радикалов, является начальной стадией разложения полимера. Совместное использование пары валентных электронов, между двумя атомами, образует ковалентную связь. При гетеролитической диссоциации оба связывающих электрона удерживаются одним из атомов, и образуются ионные частицы. В более простом процессе, каждый участвующий атом получает один электрон, от исходной общей пары. Атом, который содержит неспаренный электрон, называется свободным радикалом. Большинство свободных радикалов нестабильны и очень реакционноспособны, поскольку в свободных радикалах содержится атом с неполным октетом. Ионизация, обычно возникает из-за наличия

ускоренных электронов в материале. Электрон, не обязательно передает всю свою энергию молекуле, с которой он взаимодействует. Поскольку органические молекулы, почти без исключения, содержат электронные пары на заполненных орбиталях, ионизация молекулы путем удаления электрона, оставляет за собой неспаренный электрон. Продуктом такого взаимодействия является катион-радикал.

В присутствии кислорода, первоначально образующиеся свободные радикалы, будут реагировать с ним, образуя перокси-комплексы и, кроме того, перокси-радикалы. Радикалы, обладают самокаталитическим действием на механизм разложения, ускоряя реакцию за счет более низкой энергии активации. Продуктами распада являются окиссоединения, такие как альдегиды и кетоны.

Первичные антиоксиданты представляют собой, поглотители свободных радикалов, которые удаляют свободные радикалы, образуя с ними стабильное соединение. Фенолы, бисфенолы, полифенолы и тиобисфенолы являются основными антиоксидантами в наибольшем использовании.

### **1.2.2 Механизм деградации радикала полимера**

Полимерные радикалы, образуются разными механизмами в разрядах, окислении и автокаталитическом термическом разделении. При нормальной работе кабелей, эффектом ультрафиолетового и гамма-излучения, и озона, вызывающим образование ионов, можно пренебречь. Активность разряда зависит от напряжения и частоты электрического поля, а также от количества и распределения возможных мест разряда.

Разложение полимера, можно разделить на три категории: добавление к полимерной цепи, путем разветвления или образования сетки, расщепление цепи и окисление поглощенным кислородом. Разветвление, делает материал более твердым в то время, как разделение и окисление вызовут потерю молекулярной массы и увеличат хрупкость. Окисление, также увеличивает полярность и коэффициент потерь изоляционного материала.

### 1.2.3 Термическая деградация

При нормальной работе, температура изоляции кабеля из сшитого полиэтилена, должна быть ниже 90 °С, но в то же время, в случае неисправности, допускается работа кабеля при температуре до 120 °С. При температурах от 150 до 225 °С, свободные радикалы могут присоединяться к основной цепи других полимерных цепей, вызывая сшивание. Сшивание уменьшит механическую прочность, плотность и кристалличность. При температурах выше 225 °С, наблюдается образование транс-винеленовых групп. Формирование транс-винеленовых групп указывает на радикальные перегруппировки. При очень высоких температурах, например выше 350 °С, разложение полиэтилена, происходит из-за полимеризации и неполного термического крекинга, образующего кокс.

Химические реакции, определяющие процесс термической деградации, приводят к изменению физических и оптических свойств материала по сравнению с начальными параметрами. Термическая деградация, в основном, приводит к изменению молекулярной массы полимера, что в свою очередь приводит к ухудшению его свойств. Термическое разрушение полимерных материалов определяют как старение или изнашивание молекулярной структуры при перегреве. При высоких температурах компоненты молекулярной цепочки начинают разделяться (молекулярное расщепление) и воздействуют, друг на друга меняя свойства материала. Этот процесс является одним из механизмов деградации полимеров, вызываемых различными факторами.

Так же, остро стоял вопрос термической устойчивости экранов, в конструкция которых представляла собой медную ленту толщиной 0,15–0,25 мм. Очевидно, что такая эксплуатация была связана с трудностями. В конструкциях КПИ второго поколения было увеличено сечение экрана, который выполнялся уже из определенного количества медных проволок, поверх которых навивалась медная лента.

#### 1.2.4 Электрическая деградация

Наиболее опасные дефекты в полимерной изоляции, вызваны электрической деградацией. Частичные разряды, электрические разряды и водные разряды, являются наиболее важными механизмами, участвующими в процессе разрушения изоляционного материала. Разрушение, вызванное влиянием электрических разрядов, будет влиять на изоляцию локально и случайным образом. Так же, в отличие от теплового воздействия, электрическое ухудшение, не влияет на всю длину кабеля. Дефект, приводящий к окончательному выходу из строя, обычно является локальным явлением. Низкая напряженность электрического поля и длительное время развития, являются общими для механизмов электрического разложения в кабелях среднего напряжения.

Однако, многочисленные ускоренные испытания в воде под электрическим напряжением со всей очевидностью подтвердили улучшенную стабильность электрической прочности изоляции кабеля при использовании СПЭ, в сравнении с другими изоляционными материалами. По результатам этих испытаний СПЭ стал основным изоляционным материалом, применяемым в подземных распределительных кабельных сетях среднего напряжения в Северной Америке. В Европе в начале 80-х годов был представлен продукт, получивший название «сополимерный сшитый полиэтилен» (ССПЭ), который также подтвердил свои отличные эксплуатационные свойства при использовании в кабелях среднего напряжения.

### 1.2.5 Водяные триинги

Большинство кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, проложенных в земле, подвержены воздействию влаги и как следствие, подвержены разрушению из-за водяных разрядов, или триингов. Водяные разряды, как правило, возникают и растут в изоляции из сшитого полиэтилена, подверженной воздействию переменного электрического поля и влажности. Загрязнения, присутствующие внутри изоляционного материала, только увеличат риск возникновения водяного разряда. Если не использовать водо-блокирующие барьеры, вода может проникнуть в изоляцию из внешней среды, находящейся вокруг кабеля. Вода, также может попасть в изоляцию кабеля в результате замыкания или повреждения соединительной муфты.

Формирование водяных разрядов, начинается с микроскопических неоднородностей в изоляции. Влага внутри изоляции, начнет распространяться в направлении электрического поля, в форме куста или разряда. Существует два вида, водяных разрядов: древовидный и вентилируемый. Водяные разряды в виде разветвленного древовидного образования (триинг типа «бант»), возникают из-за загрязнений и пустот внутри основной изоляции и имеют тенденцию расти в двух направлениях. Разряды в форме древовидного образования, достигают предельной длины в несколько десятков мкм и не оказывают существенного влияния на разрушение, при низких напряжениях электрического поля, используемых в распределительных кабелях. Остаточная влажность от сшивания, может также привести к появлению небольших водяных разрядов в виде древовидного образования, но эти водяные разряды не считаются вредными. Вентилируемые водяные разряды, инициируются на границе раздела между полупроводниковыми экранами и изоляцией, и растут в том же направлении, что и приложенное электрическое поле. Для вентилируемых водяных разрядов обычно требуется больше времени для инициации, чем для

древовидных разрядов. Водяные разряды типа «бант», насыщаются через определенную длину, а вентилируемые водяные разряды непрерывно растут и могут в конечном итоге, проникнуть во всю толщину изоляции. Таким образом, считается, что вентилируемые водяные разряды вызывают более серьезный процесс старения, чем древовидные водяные разряды. Водные разряды вызывают местное усиление напряженности, которое может стать началом инициации для электрического разряда. В качестве альтернативы, значительное окисление может происходить на разрядах, при высоких температурах, что приводит к увеличению поглощения, более высокой проводимости и, в конечном итоге, к термическому разрушению. На рисунке 1, показаны два примера водяных разрядов, вентилируемого типа.

Разница между водяным и электрическим разрядом заключается в том, что водяные разряды, не обязательно образуют постоянный и видимый канал через изоляцию. Когда электрическое поле и влага удалены, водяные разряды могут исчезнуть. Полное разрушение изоляции может произойти, когда ветвь водяного разряда перекрывает изоляцию. В некоторых случаях, кабель может выдерживать нормальное рабочее напряжение, даже когда водяные разряды перекрывают изоляцию. Формирование водных разрядов занимает годы. Рост водных разрядов, зависит от наличия воды, интенсивности и частоты электрического поля, изоляционного материала, температуры и механических напряжений.

Водяные разряды образуются при меньшей напряженности электрического поля, чем электрические разряды. Очевидно, что кабели, установленные во влажной среде, должны быть защищены от проникновения влаги в изоляцию.

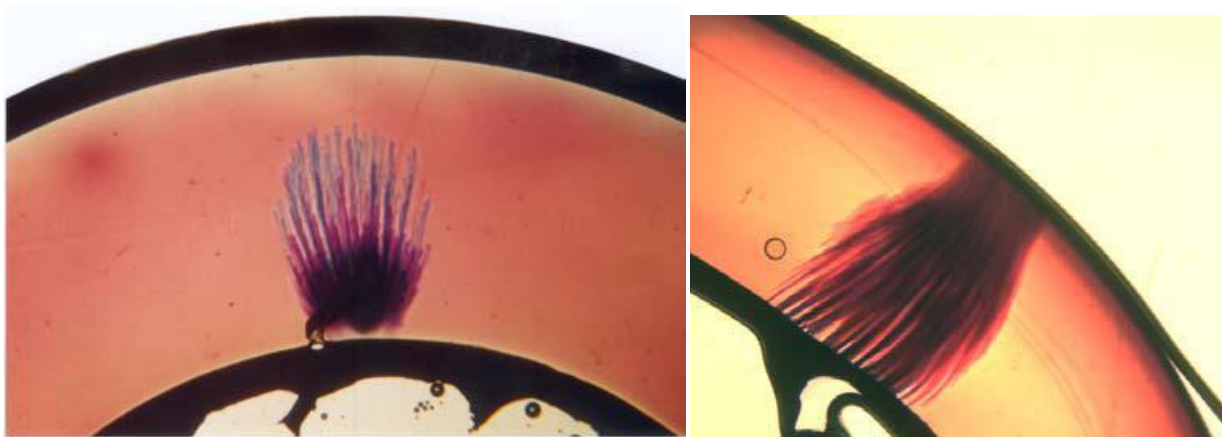


Рисунок 1 – Слева, пример водяного триинга, развивающегося от проводника к изоляционному экрану. Справа, пример водяного триинга, соединяющего всю изоляцию.

### 1.2.6 Электрические разряды

Электрические разряды — это сеть тонких проводящих каналов, которые относительно быстро распространяются через изоляцию, вызывая ее разрушение. Электрические разряды могут инициироваться с эродированной поверхности пустоты или водяные разряды, или инициация может происходить в микрополостях полимера, если усиление электрического поля достаточно велико. Есть две фазы электрического разряда. Во время фазы инициирования, движение заряда каждого полупериода приложенного напряжения, постепенно ухудшает полимер, что приводит к образованию небольшой пустоты. Инжекция заряда и электролюминесценция, вызванные усилением электрического поля в изоляции, играют определенную роль во время фазы инициирования электрического разряда. При воздействии напряжения переменного тока полиэтилен излучает свет в видимом и ультрафиолетовом диапазонах, выше определенного порогового напряжения, из-за зарядов положительной и отрицательной полярностей, вводимых в полимер. Ультрафиолетовый свет вызывает фоторазложение, вследствие

фотохимических реакций, создает свободные радикалы и разрывает связи, что приводит к образованию микро-резонанса и, следовательно, электрического разряда.

Во время фазы роста, из расширяющейся пустоты, образуется древовидная сеть ветвей, в следствии наличия частичных разрядов внутри ветвей. Небольших разрядов достаточно, чтобы вызвать термический разгон и обширную локальную термическую деградацию полимера. Скорость роста разряда зависит от приложенного электрического напряжения, температуры, а также от воздействия окружающей среды и механических напряжений.

Во время изготовления или монтажа кабеля и его составляющих, внутри изоляции, или на поверхности между слоями изоляции, могут образовываться небольшие полости или пузырьки газа. Когда напряженность электрического поля, внутри полости или пузырька достаточно высока, произойдет частичный пробой. Положительно заряженные ионы и электроны, образованные в результате частичного разрушения, столкнутся на поверхности изоляции, и начнется разрушение изоляционного материала.

Шероховатость поверхности, полости, или наличие загрязнений внутри изоляции, могут привести к концентрации частичных разрядов, в одном месте. Концентрация частичных разрядов, приведет к концентрированной разрушающейся области, в изоляционном материале. Проводящий канал в виде куста или триинга, начинает развиваться через изоляцию. Это образование известно, как электрические разряды. Полное разрушение изоляции может произойти, когда ветвь электрического триинга соединит электроды. Пробой, также может произойти до того, как электрические разряды соединят электроды.



### 1.3 Методы диагностики

Целью методов диагностики изоляции, является выявление фактического состояния изоляции, или выявление изменений в состоянии и структуре изоляции. Методы диагностики или тесты, можно разделить на две основные категории: разрушающие и неразрушающие методы. Методы диагностики могут быть классифицированы в зависимости от того, могут ли они использоваться на месте или нет. Обычно все методы диагностики, используемые в реальных системах изоляции на месте, должны быть неразрушающими. Индикаторы состояния должны быть измерены до того, как произойдет повреждение системы изоляции. Методы диагностики, использованные в этом исследовании, перечислены в таблице 1.

Таблица 1- Методы диагностики кабелей СПЭ

Метод диагностики	Изоляция	Индикатор	Вид диагностики
Метод измерения и анализа возвратного напряжения в изоляции силовых КЛ	СПЭ	Наличие водяных разрядов, влажность	Лабораторный, полевой, не разрушаемый
Высокоэффективный метод анализа структуры и состава биополимеров (FTIR)	СПЭ	Наличие влаги, химические изменения	Лабораторный, полевой, не разрушаемый
Метод измерения диэлектрических характеристик изоляции кабелей	СПЭ	Наличие влаги, химические изменения	Лабораторный, полевой, не разрушаемый
Методы испытания повышенным напряжением	СПЭ	Сохранение свойств при приложении напряжения	Лабораторный, полевой, не разрушаемый
Метод испытания на прочность и растяжение	СПЭ	Сохранение свойств при приложении внешних усилий	Лабораторный, полевой, не разрушаемый

### **1.3.1 Измерение диэлектрического отклика**

Данные диагностические испытания, направлены на обнаружение любого снижения электрической прочности, в результате возникающих процессов старения изоляции. Физическая, химическая и электрическая деградация являются основными механизмами разрушения полимерной изоляции.

Эти механизмы старения, вызывают структурные изменения и, как правило, увеличивают интенсивность поляризации и проводимость в изоляции кабеля. Изменение структуры, обычно увеличивает диэлектрические потери. Для проведения измерений в структуре изоляции, используется большое количество тестов. На основании электрических и диагностических параметров, измеренных или полученных из измеренных данных, эти тесты дают информацию о стадиях разрушения, а также о причинах напряжения, или ослаблении изоляции кабеля. За последние годы было разработано и внедрено, несколько методов неразрушающей диагностики. Измерение диэлектрического отклика основано на том, что образование воды и повышенное содержание влаги, вызывают ощутимые изменения диэлектрических свойств изоляционного материала.

Диэлектрический отклик, можно измерить разными способами. Соответствующие параметры, полученные из испытаний на диэлектрические характеристики, становятся очевидными, при рассмотрении и сравнении диэлектрических характеристик различных изоляционных систем, или диэлектрических характеристик одной и той же изоляции, после определенных периодов эксплуатации. Предпочтительно, определенные параметры должны быть постоянными.

### 1.3.2 Метод измерения и анализа возвратного напряжения в изоляции силовых кабельных линий

Во временной области, диэлектрическая характеристика проявляется в виде тока деполяризации обратного напряжения (иногда называемого остаточным напряжением, напряжением восстановления и накопления) и поляризационного тока. Измерения во временной области, основаны на приложении высокого напряжения постоянного тока к изоляции в течение определенного времени. На рисунке 2, показано схематическое представление измерений диэлектрического отклика, во временной области. В течение времени зарядки, ток поляризации и ток деполяризации могут быть измерены, в течение периода короткого замыкания. Обратное напряжение может быть измерено, если тестируемый объект разомкнут после короткого замыкания. Практические измерения диэлектрического отклика во временной области основаны на измерении либо одного существующего компонента, либо различных комбинаций компонентов.

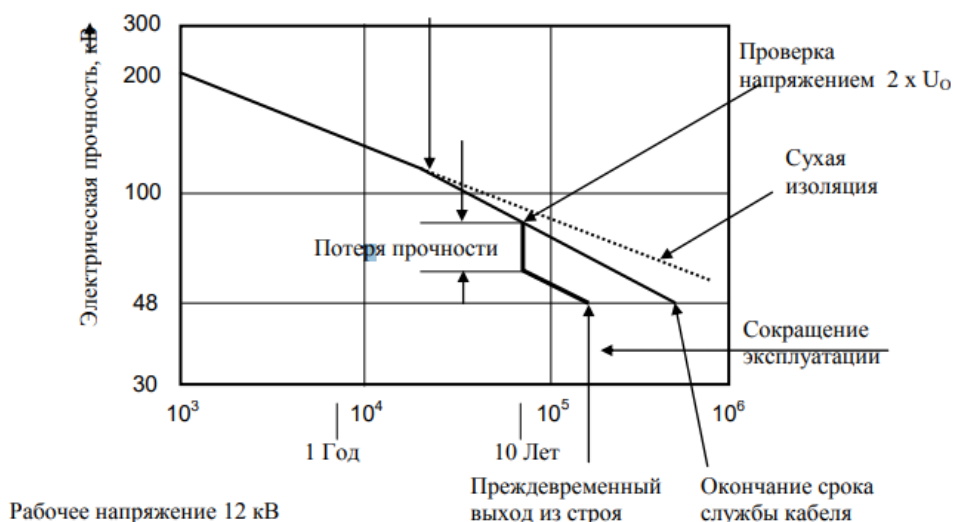


Рисунок 2 - Представление измерения диэлектрического отклика во временной области.

В этой работе, измерение диэлектрического отклика во временной области, основано на измерении тока поляризации, в течение времени зарядки и измерении тока деполяризации, в течение периода короткого замыкания. Анализ данных диэлектрического отклика во временной области может быть основан на вычислении значений проводимости  $\sigma$  (См/м), индекса поляризации (PI) или коэффициента проводимости (CF). Измерение проводимости в течение длительного периода времени, может отражать проводимость постоянного тока и, таким образом, больше всего зависит от локализованных дефектов изоляции. Однако вычисление проводимости требует знания геометрической емкости, или диэлектрической проницаемости тестируемого объекта. Кроме того, проводимость является температурно-зависимым параметром. Проводимость может быть оценена с использованием следующего уравнения (1):

$$\sigma = \frac{\varepsilon_0}{C_0 U_{ch}} \cdot (I_p(t) - I_{dp}(t)) \quad (1)$$

Где,  $C_0$  - геометрическая емкость,  $U_{ch}$  - зарядное напряжение  $I_p$ , а  $I_{dp}$  - токи поляризации и деполяризации.

Независимый от температуры параметр PI, рассчитывается с использованием следующего уравнения (2):

$$PI = \frac{R_{600}}{R_{60}} = \frac{I_{p60}}{I_{p600}} \quad (2)$$

Где,  $R_{60}$  и  $R_{600}$ , а также  $I_{p60}$  и  $I_{p600}$  — это токи сопротивления и поляризации, при 60 и 600 секундах.

Другой метод, который объединяет данные токи поляризации и деполяризации, является коэффициент проводимости CF. Коэффициент

проводимости указывает на изменение проводимости изоляции и рассчитывается по формуле (3):

$$CF = \frac{\sigma_{30s}}{\sigma_{60s}} = \frac{i_p(30s) - i_{dp}(30s)}{i_p(60s) - i_{dp}(60s)} \quad (3)$$

Коэффициент проводимости — это отношение проводимости, оцененное по токам поляризации и деполяризации через 30 и 60 секунд. С помощью этого метода анализа, можно избежать использования параметров, которые зависят от температуры и геометрии. Кроме того, коэффициент проводимости не зависит от зарядного напряжения.

Степень нелинейности, может использоваться в качестве диагностического критерия, для изоляции из сшитого полиэтилена и может быть рассчитана по формуле (4):

$$\Psi = \frac{I_D(U)_{20sec}}{I_{Da}(U_a)_{20sec}} \quad (4)$$

где  $\Psi$  - коэффициент нелинейности, а  $I_{da}$  - ток деполяризации, вызванный наименьшим зарядным напряжением  $U_a$  (например, 1 кВ), а  $I_D$  - ток деполяризации, вызванный зарядным напряжением  $U$ . Выбор напряжения величиной в 1 кВ для наименьшего зарядного напряжения  $U_a$ , основан на практическом опыте, который показал, что даже кабели из сшитого полиэтилена с высокой степенью очистки от воды, оставались линейными при напряжениях до 1 кВ. Текущие значения, измеренные через 20 с после начала деполяризации, используются для расчета коэффициента линейности. Коэффициент нелинейности  $\Psi = 1$  соответствует линейности, в то время как  $1 > 1$  указывает на нелинейный отклик.

### **1.3.3 Высокоэффективный метод анализа структуры и состава биополимеров (FTIR).**

Инфракрасная часть электромагнитного спектра разделена на три области; ближний, средний и дальний инфракрасный диапазон, названы в честь их связи с видимым спектром. Средняя инфракрасная область находится между 2,5-25 мкм, что соответствует волновым диапазонам 4000-400 см<sup>-1</sup>. Квадратное число является мерой, используемой в (FITR)-спектроскопии. (FTIR)-спектры, могут быть использованы для определения характеристик и идентификации материалов, для мониторинга химических реакций, а также, для определения отсутствия или присутствия определенных химических групп.

Если во время вибрации происходит изменение дипольного момента, то молекула дает сигнал в ИК-спектроскопии, что означает, что молекулы, имеющие асимметричные связи, активируются ИК излучением. Простые молекулы имеют только одну связь, которая может растягиваться. Более сложные молекулы, могут иметь много связей, которые могут вибрировать несколькими различными способами, такими как симметричное и асимметричное растяжение, раскачивание, виляние и скручивание.

Инфракрасная спектроскопия с Фурье-преобразованием (FTIR) — это метод измерения, основанный на сборе инфракрасных спектров. Вместо регистрации количества энергии, поглощенной при изменении частоты инфракрасного света (монохроматического), ИК-свет направляется через интерферометр. После прохождения образца, измеряемый сигнал называется интерферограммой. Выполнение математического преобразования Фурье для этого сигнала дает спектр, идентичный спектру, полученному из обычной инфракрасной спектроскопии.

В фото-акустической спектроскопии (PAS) образец освещается модулированным лучом, выходящим из интерферометра. На длинах волн, когда образец поглощает некоторую часть падающего излучения,

генерируются модулированные тепловые флуктуации. Этот модулированный нагрев образца, вызывает изменение давления газа в фото акустической ячейке и, таким образом, вызывает сигнал, который обнаруживается микрофоном с высокой чувствительностью. Пики в спектре, соответствующие различным волновым числам, указывают на присутствие различных химических соединений в изоляционном материале. Качественная интерпретация спектра (FTIR), может быть трудной задачей, если образец содержит несколько химических соединений. Качественная интерпретация, требует глубокого понимания химии. ИК-спектры также могут быть интерпретированы количественно. В этом методе, который используется для поиска возможных соединений в неизвестных образцах, неизвестный спектр сравнивается с известными спектрами, чтобы выявить сходства между ними. Для облегчения интерпретации доступны таблицы, содержащие различные химические соединения, с соответствующими им волновыми числами колебаний.

Например, уровень окисления в изоляции из сшитого полиэтилена, можно определить по ИК-поглощению карбонильных групп, лежащих в диапазоне  $1690-1745\text{ см}^{-1}$ . Наличие избыточных карбонильных групп и двойных связей, в разрушенной области изоляции из сшитого полиэтилена, убедительно свидетельствует о наличии разрыва цепи и образовании свободных радикалов.

### **1.3.4 Метод измерения диэлектрических характеристик изоляции кабелей**

Данный метод, предоставляет сравнительные данные о поломках, но не степень корреляции с фактическими эксплуатационными характеристиками. Для коротких образцов кабеля, можно провести игольчатое тестирование - достаточно длины образца, около 10 см. Для этого типа испытаний, важно выбрать процедуру испытаний, которая обеспечивает согласованные и воспроизводимые условия электрического напряжения. Выборочное тестирование иглы основано на стандарте ASTM D 3756-97.

Процедура испытания включает в себя, размещение четко определенного, острого игольчатого электрода, внутри изоляции на заданной глубине. На рисунке 3 показана тестовая установка для проведения испытаний. Игла с радиусом острия  $2 \pm 1$  мкм, вводится в изоляцию с помощью специального привода. Перед введением, иглу необходимо сначала промыть спиртом для удаления посторонних частиц, а затем, на кончик иглы следует нанести силиконовое масло. Силиконовое масло необходимо, для заполнения любых микротрещин, которые могут возникнуть в изоляции в процессе вставки иглы. Затем, на иглу подается напряжение. Во время этой процедуры, проводник испытательного кабеля заземляется. Первоначально, ступенчатое напряжение линейно увеличивается, с шагом от 500 В/с до 4 кВ. Затем, напряжение постепенно увеличивается, пока не произойдет пробой. Величина шага составляет 1 кВ, а продолжительность выдержки 1 минута. Эта же процедура использовалась в предыдущих исследованиях и показала, что с помощью такого вида тестирования, могут быть обнаружены различия в характеристиках изоляции. Подаваемое напряжение и время до пробоя были зафиксированы для дальнейшего анализа. Результаты испытаний могут быть проанализированы, с использованием различных статистических методов. На рисунке 3, изображен испытательный стенд для проведения данного теста. На иглу подается напряжение, а проводник заземляется.



При электрическом пробое твердого диэлектрика, кабель не сможет восстановить свою электрическую прочность, и любое однофазное замыкание на землю будет приводить к устойчивому аварийному режиму. В этом случае, эксплуатационному персоналу, каждое возникновение однофазного замыкания на землю в изоляционной системе КЛ с изоляцией из СПЭ необходимо будет устранять. Таким образом, наряду с неоспоримыми преимуществами данный тип кабелей, имеет существенный недостаток, заключающийся в отсутствии эффекта самозалечивания СПЭ-изоляции. Именно это обстоятельство необходимо принимать во внимание, заблаговременно предусмотреть и создать такие условия эксплуатации, которые минимизировали бы их каскадный выход из строя.

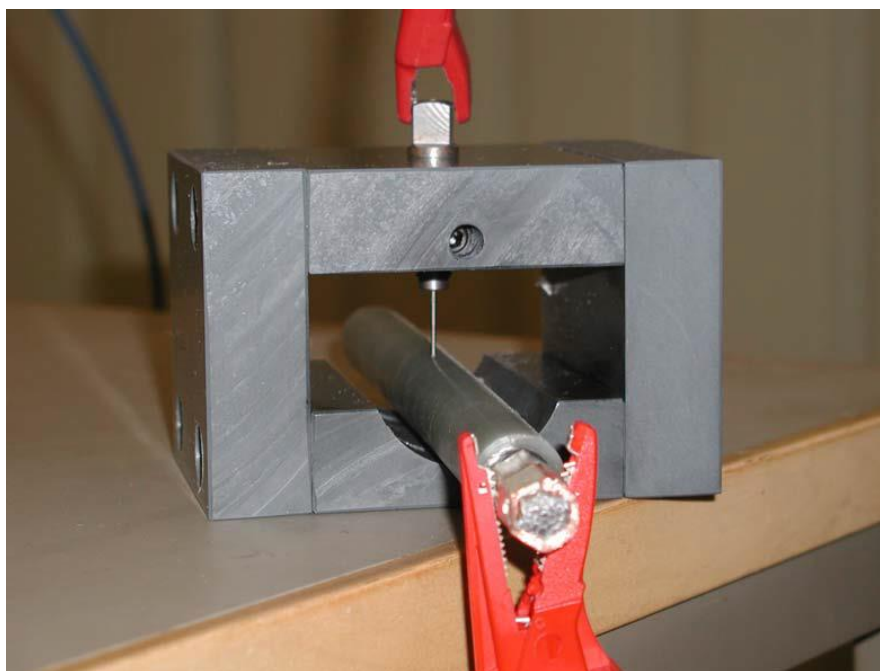


Рисунок 3 – Испытательная установка, для проведения тестирования

### 1.3.5 Испытание на отказ повышенным напряжением

В данном методе, испытываемые кабели подвергаются испытанию на пробой, чтобы оценить способность выдерживать различные уровни напряжения. Внешняя оболочка, металлическая оболочка, или проводящая жила и внешний полупроводящий слой, зачищены на расстоянии около 85 сантиметров от конца каждого образца. Алюминиевые полукольца, вставляются для сглаживания электрического поля на концах полупроводникового экрана. Концы кабеля, вставляются в специально сделанные, маслonaполненные кабельные наконечники. На рисунке 4, показано подключение кабеля к установке, во время испытаний.

Испытательное напряжение, используемое в этом методе, генерируется высоковольтным трансформатором и является равным 300 кВ. Испытательное напряжение, прикладывается к одному концу тестируемого кабеля. Измерение испытательного напряжения, производится с помощью емкостного делителя напряжения и компьютерной программы измерения. В начале теста, напряжение увеличивается до номинального уровня напряжения ( $U_0$ ) кабеля. Напряжение поддерживается на этом уровне, в течение пяти минут. После этого напряжение увеличивается, с шагом  $U_0$ , пока не произойдет пробой. Продолжительность каждого шага составляет пять минут. Аналогичный протокол испытаний на пробой, также использовался в других исследованиях.

Стоит отметить, что испытание СПЭ кабеля традиционным для кабелей с бумажной изоляцией способом - подачей повышенного выпрямленного напряжения, приводит к не контролируемому росту поляризации микровключений в изоляции с последующим локальным превышением предела диэлектрической прочности изоляции и образованием "электрических древовидных структур" в объеме изоляции кабеля. Эти изменения являются необратимыми, по сути, начальным этапом пробоя кабеля, и ведут к скорому выходу его из строя.

Важно понимать, что подача выпрямленного напряжения на кабель из сшитого полиэтилена ведет к не обратимым изменениям в изоляции и выходу его из строя.



Рисунок 4 - Испытательная установка, для испытания кабеля повышенным напряжением

### **1.3.6 Прочность на растяжение и относительное удлинение при разрыве**

Прочность материала относится к способности противостоять нагрузкам, без разрушения из-за чрезмерного напряжения или деформации. Химическая деградация изоляции, выполненной из сшитого полиэтилена, делает ее более хрупкой, но это явление можно обнаружить с помощью измерений прочности на разрыв.

Прочность материала на растяжение — это отношение максимальной нагрузки, которую материал может выдерживать без разрушения при

растяжении, к исходной площади поперечного сечения материала. Когда напряжения, меньшие прочности на разрыв, снимаются, материал полностью или частично возвращается к своему первоначальному размеру и форме. Когда напряжение приближается к пределу прочности на растяжение, материал, который начал терять свои свойства, образует узкую, сжатую область, которая легко разрушается. Прочности на растяжение измеряются в единицах силы, на единицу площади. Удлинение — это величина одноосного растяжения в точке перелома.

#### **1.4 Выводы по разделу**

В процессе написания главы, были получены общие представления, о состоянии городских распределительных сетей в г. Тольятти и других городах РФ, а так же получены данные, характеризующие уровень износа КЛ определяющие в свою очередь, необходимость их ремонта и модернизации. Так же, определены мероприятия, направленные на улучшение понимания явлений деградации изоляции, поиск инструментов для диагностики изоляции и создание методов оценки ее остаточного потенциала.

Особо стоит отметить, что в результате проведенного анализа, установлены методы, которые могут быть легко адаптированы для повседневного использования, в области мониторинга состояния кабеля.

При поэтапном внедрении в РКС кабелей новых конструкций нельзя чисто механически подходить к замене кабелей с бумажной пропитанной изоляцией на кабели с пластмассовой изоляцией. Повышение эксплуатационной надежности КПИ должно рассматриваться с позиций системного подхода, когда на стадии проектирования и эксплуатации новых и реконструкции существующих электросетевых объектов следует учитывать основные факторы, определяющие эксплуатационную надежность КПИ.

## **2 Расчет уставок ДКЗ**

### **2.1 Актуальность применения ДКЗ**

Датчик короткого замыкания (ДКЗ) – это устройство, целью работы которого является обнаружение токов КЗ, в токоведущей цепи. Основное назначение ДКЗ – выявлять участок цепи, на котором регистрируются повышенные значения токов и сигнализировать об этом. ДКЗ, как правило используются в тех электроустановках, в которых не предусмотрена установка своих защит. Как правило, к таким электроустановкам, можно отнести подстанции городских распределительных сетей, напряжением 6-35кВ. Сети данного класса напряжения, имеют обширную протяженность, что в свою очередь, негативно сказывается на общем уровне надежности.

Распределительные КЛ данного класса напряжения, выходят из строя вследствие следующих факторов:

- 1) Дефектов прокладки КЛ: крутых изгибов кабельных трасс, прокладки вблизи тепловых сетей, нарушений, допускаемых вовремя прокладки;
- 2) Дефектов возникающих при монтажах муфт и любой другой арматуры;
- 3) Повреждений при эксплуатации: случайные механические воздействия, вызванные проведением различных видов земляных работ.

Все вышеперечисленные причины, являются актуальными на сегодняшний день, т. к. повреждения кабельных линий в городских, распределительных сетях – это постоянное и частое явление. Во время возникновения повреждений, существует необходимость в быстром и точном определении местонахождения, поврежденного участка КЛ. В распределительных электрических сетях г. Тольятти, большая часть потребителей электроэнергии — это потребители со второй категорией электроснабжения. Таким образом, восстановление нормального режима работы, данных потребителей, производится силами персонала электро-

снабжающей организации, т.е. персоналом ОВБ. Рассмотрим пример структурной схемы электроснабжения г. Тольятти, для одной цепочки подстанций на рисунке 5.

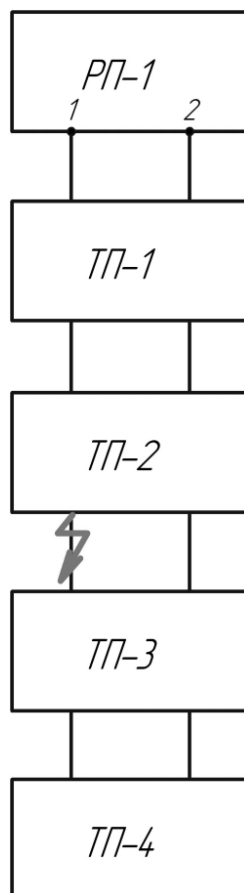


Рисунок 5 - Структурная схема цепочки подстанций

Распределительный пункт (РП-1), является одним из важнейших элементов данной схемы электроснабжения и питает электрической энергией последующие подстанции, которые находятся в цепочке. ТП-1 является головной, а ТП-4 концевой. Передача и распределение электроэнергии происходит по КЛ-10кВ, проложенным в земле и коллекторам. Особенностью данной схемы электроснабжения является то, что коммутационное оборудование, установленное на ТП, не предусматривает

какую-либо диагностику состояния распределительной сети и изменение схемы электроснабжения. В случае возникновения КЗ, в каком-либо месте цепочки подстанций, а в данном случае между подстанциями ТП-2 и ТП-3, на РП-1 произойдет срабатывание защиты (МТЗ, МТО) выключателя и произойдет аварийное отключение ячейки номер 1. В результате развития данной ситуации, следуя из схемы электроснабжения, произойдет масштабное отключение потребителей, т.к. электроснабжения лишатся все подстанции, находящиеся в цепочке, по первой секции шин. В дальнейшем, при помощи действий персонала оперативно-выездной бригады, производится локализация поврежденного участка кабельной линии. Для достижения этой цели, персонал ОВБ, производит отключение коммутационных аппаратов по стороне 10кВ и методом "прозвонки" кабеля, при помощи специального устройства, сокращается область отыскания поврежденного участка в цепочке. Как только поврежденный участок найден, он локализуется и ограничивается, для дальнейшего, более точного определения места повреждения, с целью его ремонта. Электроснабжение потребителей по стороне 0,4кВ на ТП в цепочке, организуется путем секционирования с находящейся в работе секции шин (в данном случае со второй). Секционирование со стороны 0,4кВ, может происходить как до выявления поврежденного участка КЛ-10кВ, так и после, в зависимости от расстояния между ТП, удобства проезда между ТП и возможностей условий работы. Такой подход обусловлен приоритетом повышения скорости восстановления электроснабжения для потребителей, так как при локализации поврежденного участка, так же производится ещё и секционирование по 10кВ (в данном случае на ТП-3), с целью повышения надежности электроснабжения. Очень большой период времени, прошедший между возникновением повреждения, т.е. отключением выключателя ячейки номер 1, на РП-1 и возобновлением электроснабжения потребителей, тратиться именно на локализацию поврежденного участка КЛ-10кВ и перемещение оперативного персонала, между ТП.

Ситуация, может быть в корне изменена в положительную сторону, если персонал ОВБ и ДД ЦДС, уже заранее будут проинформированы о предполагаемом участке КЛ-10кВ, в котором возникло повреждение (рисунок 6).

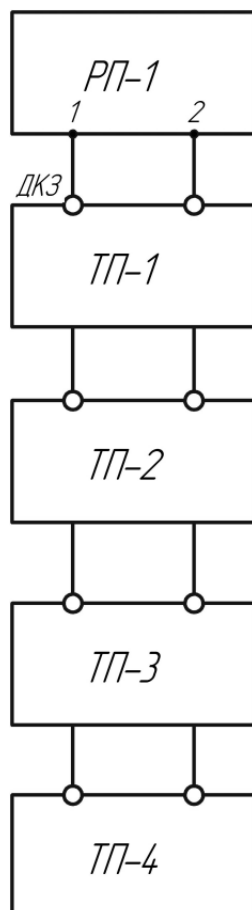


Рисунок 6 - Структурная схема цепочки подстанций с применением ДКЗ на вводных КЛ-10кВ

ДКЗ, которые изображены на схеме в виде круга, на рисунке 6, монтируются на вводных в подстанцию КЛ-10кВ. ДКЗ, способен регистрировать протекающие во время ненормального режима работы, токи КЗ, в дальнейшем сигнализируя о своем включенном положении (рисунок 7).



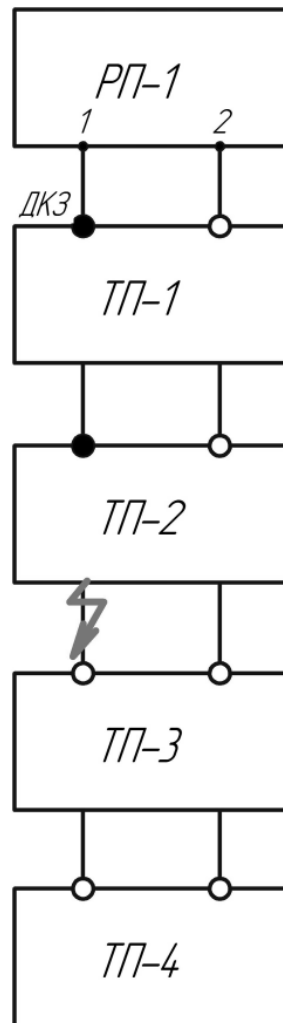


Рисунок 7 - Структурная схема цепочки подстанций с применением ДКЗ, на вводных КЛ-10кВ

При помощи современных средств связи и телемеханики, сигнал передается на главный пульт ДД ЦДС. Таким образом ДД ЦДС, способен заранее проанализировать аварийную ситуацию и дать четкие и правильные указания для дежурных монтеров ОВБ, с целью скорейшего восстановления электроснабжения, локализации поврежденного участка а так же, предотвращения её дальнейшего развития. Следовательно, можно сказать, что применение данных датчиков оправдано, т. к. их применение позволит повысить надежность электроснабжения потребителей.

## 2.2 Выбор типа датчиков короткого замыкания

Все датчики классифицируются по измеряемому параметру. Помимо этого, они также могут быть классифицированы как пассивные или активные. В пассивных датчиках мощность, необходимая для получения выхода, обеспечивается самим измеренным физическим явлением (например, температурой), тогда как для активных датчиков требуется внешний источник питания. Цифровые датчики, с другой стороны, производят цифровые выходы, которые могут напрямую взаимодействовать с цифровым контроллером. Часто цифровые выходы производятся путем добавления аналого-цифрового преобразователя в чувствительный блок. Если требуется много датчиков, более экономично выбирать простые аналоговые датчики и связывать их с цифровым контроллером, оснащенным многоканальным аналого-цифровым преобразователем.

Кроме того, датчики классифицируются как аналоговые или цифровые на основе типа выходного сигнала. Аналоговые датчики производят непрерывные сигналы, которые пропорциональны воспринимаемому параметру и обычно требуют аналого-цифрового преобразования перед подачей на цифровой контроллер.

На сегодняшний день, ассортимент различных датчиков и устройств, в том числе и датчиков короткого замыкания, на рынках РФ огромен. Для того, чтобы сделать правильный выбор и подобрать наиболее подходящий вариант датчика, необходимо учитывать большой спектр критериев для них. Как и в любом другом случае, связанным с выбором оборудования для системы электроснабжения, наиболее правильным и оптимальным вариантом будет тот, который обеспечит достаточный уровень надежности и будет обладать достаточно оптимальной стоимостью. Надежность данных датчиков, так же обуславливается их простотой их конструкции, что является важнейшим фактором при выборе устройства.

## 2.2.1 Герконовые датчики короткого замыкания

В данном типе датчиков короткого замыкания, основным элементом является геркон. Данный тип датчика, ранее, был очень широко распространен в различных комбинациях и видах охранных систем, а на сегодняшний день, данный тип датчика используется и в энергетике. К главным преимуществам данного вида датчиков, можно отнести их компактность, что позволяет применять их и в радиоаппаратуре, а также их высокий, почти неограниченный ресурс (при соблюдении нормальных условий эксплуатации и отсутствия внешних, механических воздействий).

Данный тип датчиков, благодаря своей простоте и надежности, производится широким кругом производителей и имеет большое количество модификаций, но несмотря на это, принцип действия и остальные параметры, примерно схожи у всех датчиков данного вида. Вышеперечисленные преимущества, позволяют рассматривать его в качестве оптимального варианта (рисунок 8).



Рисунок 8 – Герконовый датчик короткого замыкания и блок контроля

Герконовые датчики, несмотря на вытеснение их датчиками Холла, по-прежнему находят применение во многих устройствах и системах:

1) Клавиатуры синтезаторов и промышленного оборудования. Конструкция датчиков исключает возможность возникновения искры. Поэтому в первую очередь их применяют на взрывоопасном производстве, где присутствуют горючие испарения или пыль.

2) Бытовые счетчики.

3) Автоматические системы охраны и контроля положения.

4) Оборудование, работающее под водой или в условиях высокой влажности.

5) Телекоммуникационные системы.

6) Медицинское оборудование.

Конструкция герконового датчика:

- плата;
- постоянный магнит;
- геркон с двумя выводами.

Как правило, плата датчика выполняется из текстолита, т. к. она должна обладать хорошими диэлектрическими свойствами. На плате, закрепляется постоянный магнит, а также геркон. Крепятся они так, чтобы положение магнита можно было изменять, относительно неподвижного герконового датчика. Плата имеет специальный вырез, в который в дальнейшем помещается кабель. Датчик устанавливается перпендикулярно кабелю.

Геркон, представляет собой подвижный контакт, выполненный из магнитных материалов, находящийся в герметичном корпусе. Для правильной работы датчика, необходимо выполнение наличие исполняющего и задающего элемента. Непосредственно в данном датчике, эти части располагаются независимо друг от друга. Под исполнительной частью понимается стеклянный баллон, наполненный инертным газом (азотом как правило), внутри которого размещены два ферромагнитных контакта.

Особенностью данного типа датчика, является то, что его конструкция достаточно проста и долговечна, т. к. контакты находятся в защищённой от внешних воздействий среды оболочке, а сами контакты, покрыты специальными металлами (молибденом, или титаном). Дополнительная часть датчика, является постоянным магнитом, а принцип срабатывания датчика основан на том, что вследствие изменения индукции магнитного поля, происходит срабатывание геркона, т.е. замыканию контактов геркона при увеличении поля и размыканию при уменьшении. Ферромагнитные контакты в колбе геркона представляют из себя сердечники. При увеличении магнитного поля, они намагничиваются и притягиваются друг к другу. Природа сил, вызывающая замыкание контактов, может быть как постоянной, так и электромагнитной. С помощью постоянного магнита производится регулирование этой коммутации.

Вокруг абсолютно всех проводников с током, существует электромагнитное поле, силовые линии которого описывают собой окружности. Плотность этих силовых линий, напрямую зависит от степени удаленности от проводника, по которому протекает электрический ток. В случае, когда ток проходящий по проводнику резко возрастает, возрастает и уровень электромагнитных полей вокруг него. Таким образом, можно сказать, что в данном случае проводником с полем, является кабельная линия. В нормальных режимах работы, данной кабельной линии, магнитное поле постоянного магнита, установленного на датчике, не вызывает изменения положения геркона. В случае аварийных режимов работы и возникновения короткого замыкания на участке кабельной линии, параметры электромагнитного поля будут изменяться, в следствии резкого увеличения токов. Данное возмущение уже не может быть инерционно скомпенсировано и геркон срабатывает.

В момент прохождения токов короткого замыкания, контакты, расположенные в колбе датчика, замыкаются и сохраняют свое положение (благодаря триггеру «зашелки»), даже после восстановления нормального

уровня магнитных полей. Данные триггеры служат не только для хранения информации о срабатывании датчика, но и для создания задержки импульсного входного сигнала. Его главными элементами, являются транзисторы. Импульс тока, в момент замыкания цепи герконом, вызывает изменение положения ключей триггера, а он в свою очередь может оставаться в «запомнившемся» ему положении длительное время. Таким образом, после возврата системы к нормальному режиму работы, или же прекращения протекания токов КЗ, триггер так и будет подавать сигнал о том, что на данном участке кабельной линии был зафиксирован ток КЗ.

Следует отметить то, что запоминание события, может быть реализовано при помощи дополнительного герконового датчика – герметизированного запоминающего контакта (гезакона). Основным отличием от обычного геркона является то, что он имеет особый состав контактной группы. Они должны иметь прямоугольную петлю гистерезиса, обладающую достаточно сильным намагничивающим эффектом. Именно благодаря этому свойству, при их замыкании, они остаются сомкнутыми. В качестве материала для данных контактов, используются особые сплавы кобальта и никеля, называемые реманентными.

Уставка датчика, регулируется путем изменения положения на плате постоянного магнита. Следовательно, можно сделать вывод, что для больших токов короткого замыкания, требуется большее расстояние магнита, относительно геркона. Это объясняется, плотностью силовых линий. Регулировка этого измерения производится путем проведения эмпирических измерений. Зная значения токов КЗ для конкретной области, производится изменение положения постоянного магнита. При заданных параметрах, замыкание герконовых контактов будет говорить о срабатывании датчика на короткое замыкание. С целью соблюдения селективности в работе датчиков, регулирование производится до тех пор, пока не будет найдено минимальное расстояние между герконовой частью датчика и магнитом. Испытание и регулировка датчиков должны проводиться в лабораторных условиях.

В дальнейшем, вывод полученной информации осуществляется на диспетчерский пульт ДД ЦДС, при помощи уже имеющейся на ТП, охранной сигнализации.

Данная модификация датчиков, является одной из самых доступных на рынке, на данный момент. Такие факторы как простота конструкции и малое число компонентов, наделяют данное устройство существенными достоинствами, например, такими как автономность. Общая доступность данных датчиков, вызвана не только дешевизной основных компонентов, но и отсутствием в них сложных микросхем и блоков питания. К достоинствам, так же можно отнести ресурс и малое время срабатывания. К недостаткам данных датчиков, можно отнести слабую способность к сопротивлению внешним полям, а также малую механическую прочность, самого герконового датчика, а именно, его колбы. Поскольку, данные датчики как правило устанавливаются в закрытых помещениях РУ, то вышеперечисленные недостатки не столько актуальны. Важным недостатком является то, что в сетях, в которых применяется изолированная нейтраль, данный тип датчиков не будет срабатывать при однофазном КЗ.

Основное условие их срабатывания — это увеличение магнитного поля вследствие увеличения тока, но однофазное КЗ или так называемая "земля в сети" не сопровождается существенным превышением тока. Поэтому данные датчики не обеспечивают полной защиты заданной зоны.

### **2.2.2 электронные датчики короткого замыкания**

Данный тип датчиков короткого замыкания, аналогичен по принципу своей работы, с наипростейшим токовым реле, и его применение, достаточно распространено не только на кабельных линиях, но и на воздушных. Аварийный участок линии, фиксируется при протекании повышенных токов короткого замыкания в нем. На сегодняшний день, на рынке РФ присутствует огромное количество модификаций данного вида датчиков, от разных производителей, с широким спектром необходимых параметров. В дальнейшем, в работе будет рассматриваться самый распространенный вариант датчика, обладающий широким типом применения. Стоит отметить тот факт, что при выборе датчика короткого замыкания, основополагающим фактором является наличие у него, свойства совместимости с различными видами оборудования. Т.к. общая модернизация оборудования трансформаторной подстанции, не целесообразна только с целью установки ДКЗ на кабельные линии, то в дальнейшем будет рассматриваться только один вид электронного датчика, а именно комплект - ЕКЛ 1.2.

В комплект рассматриваемого устройства входят:

- блок питания;
- датчики для обнаружения тока короткого замыкания;
- датчик для обнаружения замыкания на землю.

Блок питания представляет собой устройство, предназначенное для питания средств индикации, отображения данной индикации, а также управления режимами и уставками срабатывания (рисунок 9).





Рисунок 9 – Блок питания EKL 1.2.

Блок питания в свою очередь осуществляет управление датчиками, питание сигнальной цепи и подачу этого сигнала при срабатывании датчиков. Так же на нем есть возможность задавать время срабатывания. Запитывание самого блока питания производится в зависимости от его модификации. То есть питание может производиться либо только на постоянном токе (литиевой батареей), либо на переменном токе 230 В, используя литиевую батарею в качестве резервного источника питания. Так как установка датчиков будет производиться на трансформаторных подстанциях, то целесообразнее применять блоки, которые используют в качестве основного источника питания переменный ток. Данный вариант более удобен и выгоден, так как питание блока будет осуществляться от собственных нужд подстанции. Резервная литиевая батарея при этом будет поддерживать рабочий режим сигнализации в случае обесточивания самой трансформаторной подстанции. Так же установка датчиков в самих подстанциях упрощает интеграцию необходимой информации в телемеханику.

Основная задача, датчиков короткого замыкания – регистрация возникшего на участке линии, повреждения. Срабатывание происходит при аналогичных для других датчиков факторах, т.е. возникновении токов короткого замыкания в линии. Обычно, при использовании их на устаревших

вариантах кабельных линий, в которых в качестве изоляции используется пропитанная маслом бумага, датчики короткого замыкания устанавливаются на каждую фазу линии. При использовании кабельной линии, в которой в качестве изоляции применен сшитый полиэтилен, датчики короткого замыкания устанавливаются на каждый кабель. Таким образом можно сказать, что их оптимальное количество равно трем, на одну линию (рисунок 10).



Рисунок 10 – Фактическая схема устройства датчиков короткого замыкания

Принцип действия датчиков короткого замыкания, очень близок с принципом действия трансформаторов тока. Особенностью данного вида датчиков является то, что в одном корпусе датчика, может быть установлено как устройство реагирования, так и устройство сигнализирования, либо данные компоненты могут быть включены в состав блока управления.

Структурная схема соответствует функциональным блокам микропроцессорной токовой защиты (рисунок 11).

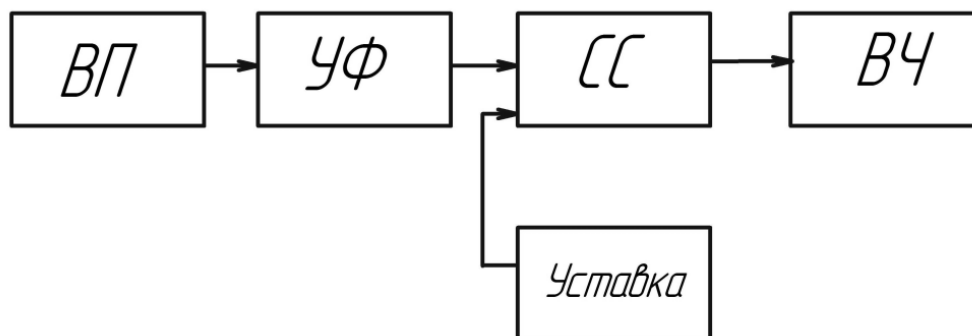
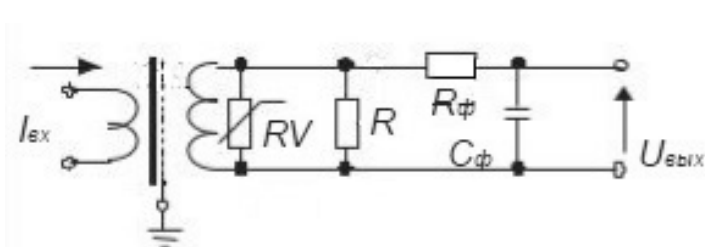


Рисунок 11 – Структурная схема датчика короткого замыкания

Основными элементом структурной схемы, является входной преобразователь (ВП). Его задача, состоит в обеспечении гальванической развязки внешних цепей от основных, а также формирование подконтрольных сигналов с необходимым уровнем. Электрическая схема представляет собой промежуточный трансформатор с шунтами и R/C цепью (рисунок 12). Стоит отметить тот факт, что в данных преобразователях необходимо как можно существеннее уменьшать межобмоточную емкость, для уменьшения влияния внешних факторов и воздействия внешних помех, на основные цепи. Данная проблема может быть решена, благодаря применению электростатического экрана, устанавливаемого между первичной и вторичной обмоткой. С точки зрения конструкции, данные преобразователи очень схожи с электромагнитными трансформаторами с ферромагнитным сердечником. Однако, так же применяются и активные трансформаторы.



## Рисунок 12 – Электрическая схема входного преобразователя

Стоит отметить то, что данные цепи потребляют небольшие мощности, а, следовательно, преобразование сигнальных импульсов осуществляется при помощи шунтов (R). В данной схеме, так же присутствует варистор, цель которого – защита от перенапряжений. Для достижения аналогичной цели, допускается использовать стабилитроны.

Так же в схеме присутствует узел формирования (УФ) входных сигналов, задача которого, производить их фильтрацию. Фильтрация нижних частот, обеспечиваемая R/C цепью, служит так же для корректной работы аналого-цифрового преобразователя.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) преобразует поступающий на него аналоговый сигнал, в соответствующее ему цифровое значение. Данный процесс преобразования производится, за счет микро-ЭВМ, или процессора. Конструкция самого блока такова, что он состоит из множества компонентов, к которым можно отнести схемы управления и синхронизации, ОЗУ, ПЗУ и различные дополнительные модули. В следствии необходимости обеспечения надежной и бесперебойной работы, датчики короткого замыкания обязаны иметь фиксированную программу. В более простых случаях, рассмотренную логическую часть, можно представить схемой сравнения (СС) и выходной части (ВЧ) (рисунок 11). Схема сравнения, как правило выполняемая при помощи компараторов, анализирует поступающие на нее сигналы и производит сравнение, которое производится между инвертирующими и не инвертирующими вводами, на которые поступают сигналы, соответствующие общей электрической цепи и необходимой уставке. При превышении последней, происходит срабатывание компаратора.

Так как, на сегодняшний день, в сетях электроснабжения Автозаводского р-на г. Тольятти, применена схема электроснабжения с

изолированной нейтралью, то данные датчики (ДКЗ) будут срабатывать только на межфазные замыкания и междуфазные на землю. К сожалению, существует проблема, которая описывается тем, что данного вида сетях, не будет должным образом обеспечиваться защита, от однофазного КЗ на землю. В случае возникновения однофазного короткого замыкания на землю, ток в поврежденной фазе будет слишком небольшим и существует вероятность того, что он не достигнет номинальных значений (как правило не более 100 А).

Значение данного тока короткого замыкания, определяется емкостями двух других, оставшихся в работе фаз. Однако стоит учитывать тот факт, что датчик, установленный на фазе линии, изоляция которой удовлетворяет нормальному режиму работы, не сработает, т. к. не он не будет фиксировать превышение уставки по току. Именно для предотвращения развития подобных ситуаций, устанавливается ещё один датчик, сразу на три жилы – датчик замыкания на землю (ДЗЗ).

Данное устройство (ДЗЗ), очень схоже как по принципу действия, так и внешне, с датчиком короткого замыкания. Датчик замыкания на землю, по своей сути, является трансформатором тока, который реагирует на превышение уровня тока утечки. Именно поэтому, его входной преобразователь можно сравнить, с трансформатором тока нулевой последовательности. Данный тип трансформатора, так же устанавливается на весь кабель и ток в нем, течет при возникновении утечки. Во время работы сети в нормальном режиме, напряжения всех трех фаз по отношению к земле равны соответствующим номинальным величинам. Вектора напряжений компенсируют друг друга и ток в нейтрали практически равен нулю. В случае возникновения однофазного замыкания на землю, происходит сдвиг нейтральной точки на одну поврежденную фазу, что можно увидеть на векторной диаграмме напряжений. В таком случае ток в ней, зависит от тока утечки (рисунок 13).

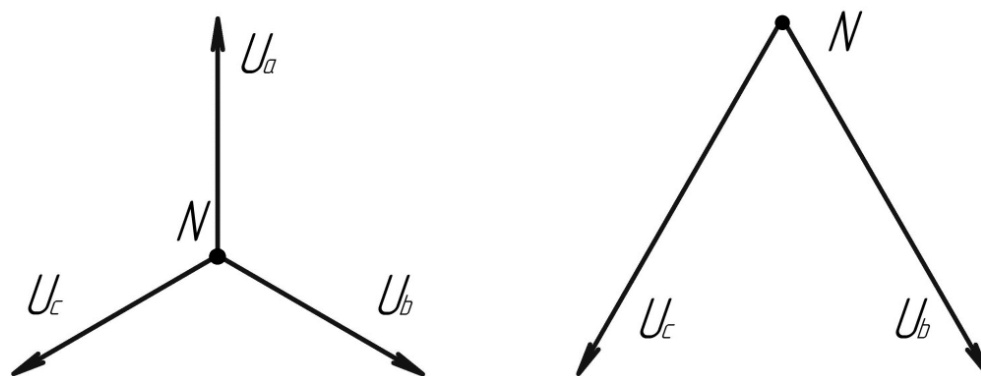


Рисунок 13 - Векторная диаграмма напряжений при однофазном КЗ

В связи с возникновением данного тока, возникает не симметрия, благодаря которой происходит наводка тока нулевой последовательности в трансформаторе тока.

Регулировка уставок ДКЗ и ДЗЗ выполняется похожими методами. Благодаря удачному исполнению, существует возможность их регулирования не только на самом датчике, но и на блоке управления. Регулировка на датчике подразумевает собой, изменение его параметров чувствительности с помощью регулятора, у которого имеются соответствующие положения тока срабатывания. К достоинству данного вида датчиков относится то, что регулирование производится в достаточно широком диапазоне, что позволяет использовать датчик на разных видах кабельных линий. В случае несимметричной нагрузки фаз возможно так же произвести выбор уставки для каждой фазы отдельно. Так же, стоит отметить тот факт, что данные датчики выгодно отличаются от герконовых тем, что они имеют более обширный спектр применения. Помимо этого, с помощью электроники данного устройства, регулирование уставок, режимов срабатывания, а также режимов отображения замыканий заметно упрощается.

### 2.3 Расчет токов короткого замыкания

Как правило, на начальном этапе проектирования линий и этапе выбора датчиков короткого замыкания, необходимо произвести расчет токов короткого замыкания, для каждого участка, где планируется их внедрение. Данное действие необходимо, как для соблюдения селективности, так и для достижения минимального времени срабатывания датчиков. Расчет будет производиться, на примере типовой схемы электроснабжения жилого квартала, имеющей в своем составе РП и множество ТП и КТП. Особенностью данной схемы является то, что расстояния между ТП не могут быть одинаковыми, вследствие расположения их в городских условиях. Следовательно, расчет уставок, необходимо производить для каждой ТП в отдельность, вследствие описанных ранее факторов. На рисунке 14, изображена схема электроснабжения жилого квартала.

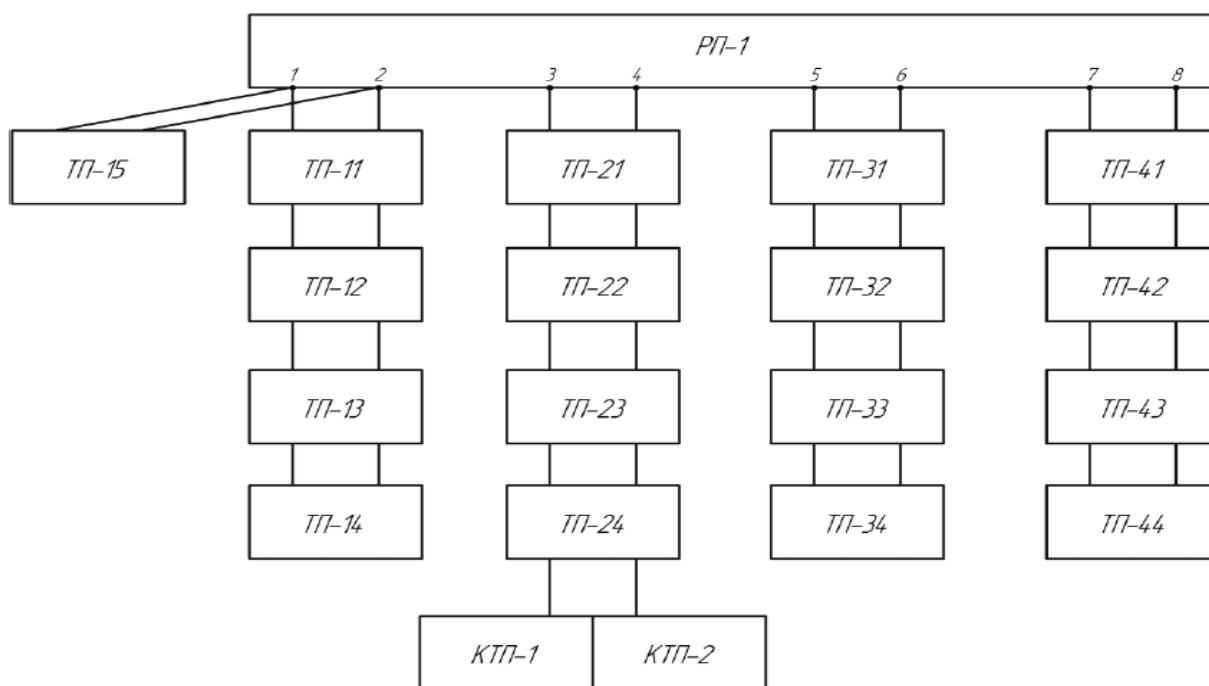


Рисунок 14 - Схема электроснабжения типового жилого квартала

### 2.3.1 Расчет сопротивлений на шинах распределительного пункта РП

Первоочередной задачей при производстве расчетов, является расчет сопротивлений на шинах РП, которые будут определять токи короткого замыкания, возникающие на этих шинах во время аварийного режима работы. Так же, расчет имеет смысл начинать именно в такой последовательности из-за того, что ТП находятся ниже по цепочке и сопротивление до шин РП, будет просто приплюсовываться в соответствии с рассчитываемой подстанцией. Так как РП получает электрическую энергию от одной ГПП то расчет для обоих вводов и обеих секции шин производить не обязательно (рисунок 15).

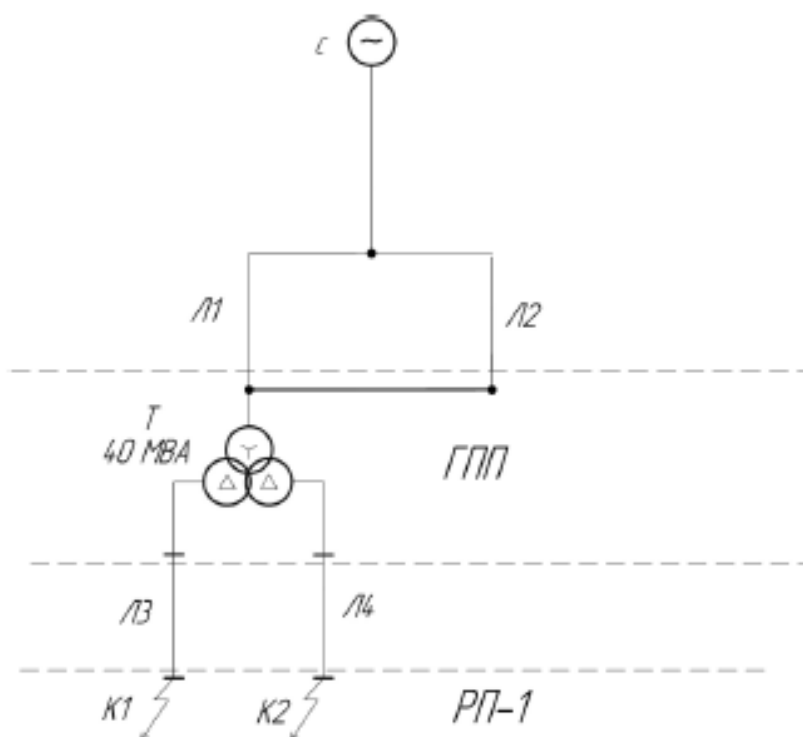


Рисунок 15 - Электрическая схема для расчета токов короткого замыкания на шинах РП



Таким образом, достаточно рассчитать токи короткого замыкания для точки К1, т. к. трансформатор, установленный на ГПП, имеет расщепленные обмотки низкого напряжения. Сопротивления линий Л3 и Л4 одинаковы, т. к. они выполнены кабелем одной марки и имеют одинаковую протяженность. Данные для трансформатора на ГПП, представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические характеристики трансформатора ТРДН-40000/110/10/10

Тип	$S_{\text{номТ}}$ , МВА	Каталожные данные						
		$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ			$\Delta P_{\text{к}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{х}}$ , кВт	$I_{\text{х}}$ , %	$U_{\text{к}}$ , %
		ВН	НН1	НН2				
ТРДН-4000/110		115	10,5	10,5	170	34	0,55	10,5

Расчет сопротивлений производится в относительных единицах. Схема замещения представлена на рисунке 16.

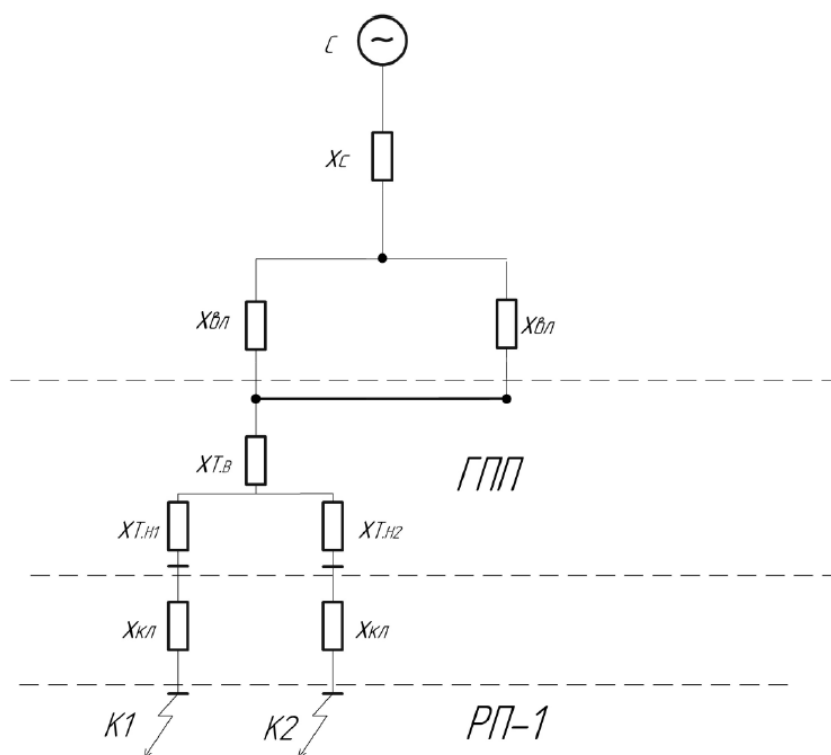


Рисунок 16 - Схема замещения для расчета токов КЗ

Сопrotивление системы, рассчитывается по формуле (5):

$$X_{*б} = \frac{S_б}{S_к} = \frac{1000}{3000} = 0,33; \quad (5)$$

где  $S_б$  - базисная мощность, значение которой принимается за 1000 МВА, с целью упрощения расчетов;  $S_к$  - мощность системы.

Далее, производится расчет сопротивлений обмоток трансформатора, при коротком замыкании (6):

$$X_{*б,Тв} = u_k\% \cdot 100 \cdot S_б / S_H = 1,3125 \cdot 100 \cdot 1000 / 40 = 0,328; \quad (6)$$

$$X_{*б,Тн1} = X_{*б,Тн2} = \frac{u_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_H} = \frac{18,375}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 4,59, \quad (7)$$

Где

$$U_{к.в} = 0,125 \cdot u_{к.ВН-НН} = 0,125 \cdot 10,5 = 1,3125\%, \quad (8)$$

$$U_{к.н1} = U_{к.н2} = 1,75 \cdot U_{к.ВН-НН} = 1,75 \cdot 10,5 = 18,375\%. \quad (9)$$

Передача электроэнергии, от ГПП до системы электроснабжения, производится при напряжении 110кВ, по сталеалюминевым проводам. Сопrotивление данной линии, рассчитывается по формуле (10):

$$x_{*б,вл} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_H^2} = 0,4 \cdot 8 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,24, \quad (10)$$

где  $x_0$  - удельное сопротивление линии;  $U_H$  - средне номинальное значение напряжения.

Кабельная трасса от ГПП до РП, выполнена кабелями, проходящими в коллекторе. Кабели имеют алюминиевую жилу и изоляцию из СПЭ. По формуле (10), производится аналогичный расчет, при котором сопротивление линии остается неизменным (11):

$$x_{*б,кл} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_H^2} = 0,4 \cdot 5 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 18,14. \quad (11)$$

Результирующее сопротивление до точки К1 определяется из выражения (12):

$$\begin{aligned} x_{\Sigma К1} &= x_{*б,С} + x_{*б,ВЛ} + x_{*б,ТВ} + x_{*б,ТН1} + x_{*б,кл} \\ x_{\Sigma К1} &= 0,33 + 0,24 + 0,328 + 4,59 + 18,14 = 23,628 \end{aligned} \quad (12)$$

### **2.3.2 Расчет токов короткого замыкания для трансформаторной подстанции ТП-11**

Так как данные суммарного значения сопротивления известны, то существует возможность произведения расчетов для отдельных элементов энергосистемы, находящихся ниже по цепочке. На рисунке 17, представлена схема замещения. Точка КЗ — это место короткого замыкания, ток которого будет зависеть от суммарного сопротивления до распределительного пункта и линии, соединяющей РП-1 с ТП-11.

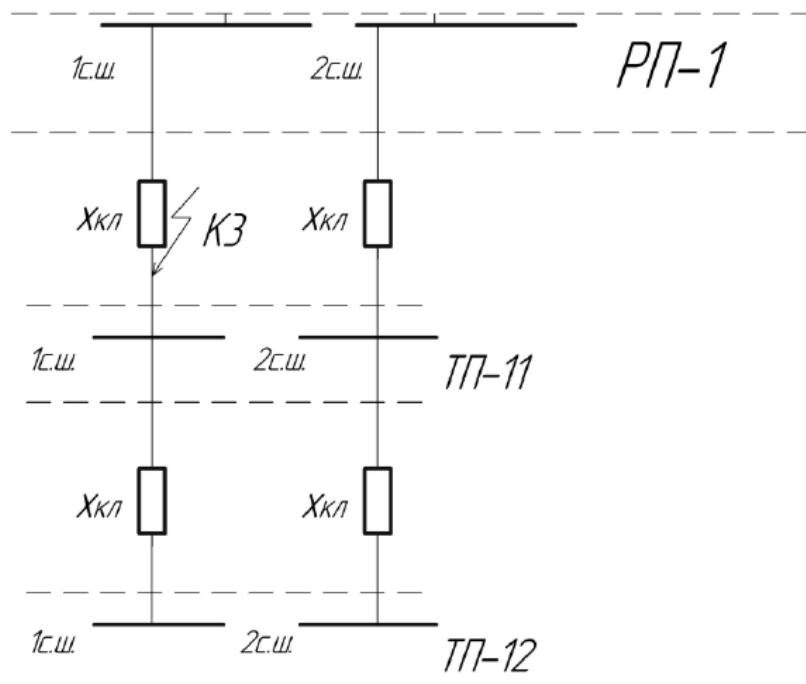


Рисунок 17 - Схема замещения для расчета тока КЗ в точке КЗ

Сопротивление кабельной линии от РП-1 до ТП-11 (13) определяется аналогично формуле (10):

$$x_{*б,кЛ(РП-ТП11)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_H^2} = 0,4 \cdot 0,9 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 3,26. \quad (13)$$

Общее сопротивление в точке КЗ:

$$x_{\Sigma КЗ} = x_{\Sigma КЗ} + x_{*б,кЛ(РП-ТП11)} = 23,628 + 3,26 = 26.893. \quad (14)$$

Базисное значение тока (15):

$$I_6 = \frac{S_6}{U_H \cdot \sqrt{3}} \text{ кА}, \quad (15)$$

$$I_6 = \frac{1000}{10,5 \cdot \sqrt{3}} = 54,9 \text{ кА.}$$

Начальное значение тока при трехфазном коротком замыкании будет определяться по формуле (16):

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_6''}{x_{*рез}} \cdot I_6 \text{ кА,} \quad (16)$$

$$I_{n,o}^3 = \frac{1}{26,893} \cdot 54,9 = 2,04 \text{ кА,}$$

Начальное значение тока при двухфазном КЗ, определяется по следующей формуле (17):

$$I_{n,o}^{(2)} = \frac{m \cdot E_6''}{x_{\Sigma КЗ} + \Delta x^{(2)}} \cdot I_6, \quad (17)$$

Где  $m$  – коэффициент замыкания;  $\Delta x^{(2)}$  – доп. сопротивление, которое является следствием несимметричных КЗ.

Данное сопротивление ( $\Delta x^{(2)}$ ), зависит от типа КЗ, а также от множества параметров таких, например, как параметров обратной и нулевой схем замещения (рисунок 18). Добавочное сопротивление при двухфазном КЗ определяется по формуле (18):

$$\Delta x^{(2)} = x_{\Sigma КЗ} = 26.896 \quad (18)$$

Коэффициент КЗ, при двухфазном КЗ равен  $\sqrt{3}$ .

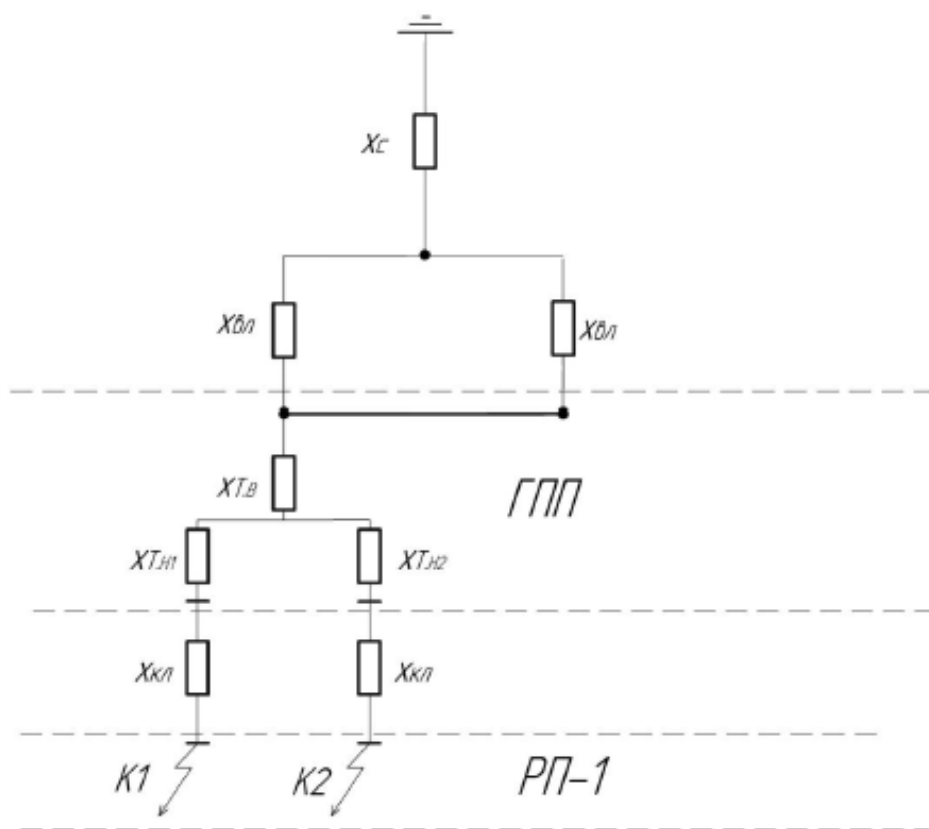


Рисунок 18 - Схема нулевой последовательности для расчета токов КЗ

Начальное значение тока, во время двухфазного КЗ:

$$I_{n,0}^{(2)} = \frac{m \cdot E_6''}{x_{\Sigma \text{КЗ}} + \Delta x^{(2)}} \cdot I_6 = \frac{\sqrt{3} \cdot 1}{26,893 + 26,893} \cdot 54,9 = 1,76 \text{ кА.} \quad (19)$$

Следующий вид КЗ, значение тока которого необходимо определить для выбора уставки, это двухфазное на землю (20):

$$I_{n,o}^{(1,1)} = \frac{m \cdot E_6''}{x_{\Sigma КЗ} + \Delta x^{(1,1)}} \cdot I_6. \quad (20)$$

Возникающее во время двухфазного КЗ дополнительное сопротивление, определяется следующим образом:

$$\Delta x^{(1,1)} = \frac{x_{\Sigma КЗ} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{\Sigma КЗ} + x_{0\Sigma}} = \frac{26,893 \cdot 5,49}{26,893 + 5,49} = 4,56, \quad (21)$$

где  $x_{0\Sigma}$  - сопротивление нулевой последовательности, выражаемое путем расчета из схемы замещения нулевой последовательности (рисунок 16):

$$\begin{aligned} x_{0\Sigma} &= x_{*б,С} + x_{*б,ВЛ} + x_{*б,Тв} + x_{*б,Тн} = 0,33 + 0,24 + 0,328 + 4,5 = \\ &= 5,49. \end{aligned} \quad (22)$$

Наибольшее сопротивление нулевой последовательности с учетом точки КЗ, определяется как сумма эквивалентных сопротивлений, ограничиваемых сопротивлением обмотки НН трансформатора, установленного на ГПП. Данное утверждение, определяется прохождением тока нулевой последовательности. Так как НН обмотки трансформатора, имеют схему соединения «треугольник», то ток нулевой последовательности замыкается в данной обмотке и дальнейшего распространения не имеет.

Коэффициент короткого замыкания при двухфазном КЗ на землю, определяется следующим образом, по формуле (23):

$$m^{(1,1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{x_{\Sigma k1} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{\Sigma k1} + x_{0\Sigma})^2}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{26,893 \cdot 5,49}{(26,893 + 5,49)^2}} = 1,6 \quad (23)$$

Значение тока при начальном этапе двухфазного КЗ на землю:

$$I_{n,0}^{(1,1)} = \frac{1,6 \cdot 1}{26,893 + 4,56} \cdot 54,9 = 2,8 \text{ кА.} \quad (24)$$

Стоит отметить то, что однофазное КЗ, при возникновении в системе с незаземленной (изолированной) нейтралью принято считать простым. Ток КЗ, при таких условиях очень мал, т. к. общее сопротивление в сетях с изолированной нейтралью близко к бесконечности и питание со стороны самого источника питания исключается. В данном случае, то такого простого КЗ, определяется следующим образом:

$$I_K = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot \left( \frac{l_{\text{вл}}}{N_{\text{вл}}} + \frac{l_{\text{кл}}}{N_{\text{кл}}} \right) = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot \left( \frac{8}{350} + \frac{5 + 0,9}{10} \right) = 11,1 \text{ А,} \quad (25)$$

где  $l_{\text{вл}}$  и  $l_{\text{кл}}$  это общая протяженность воздушных и кабельных линий, проходящих от системы до точки КЗ, а  $N_{\text{вл}}$  и  $N_{\text{кл}}$  это соответствующие им коэффициенты.

В дальнейшем для наглядности, удобнее будет свести все значения рассчитанных токов в таблицу 3.

Таблица 3 – Рассчитанные значения токов КЗ

Вид короткого замыкания	Значение тока, кА
$I_{n,0}^{(3)}$	2,04



$I_{n,0}^{(2)}$	1,76
$I_{n,0}^{(1,1)}$	2,8

Из расчетов следует, что наименьшим током короткого замыкания, является ток двухфазного КЗ. Токи были рассчитаны для точки, расположенной на первой секции шин ТП-11. В связи с тем, что в нормальном режиме работы, питание обеих секций производится отдельно от разных секций ГПП, а следовательно и от разных трансформаторов, расположенных на ГПП, а сопротивления и длины кабелей одинаковы, то и расчеты, что для первой секции шин, что для второй будут так же одинаковы.

### **2.3.3 Расчет токов короткого замыкания для трансформаторной подстанции ТП-12**

В данном случае, питание рассматриваемой ТП осуществляется с ТП-11. Точкой, в которой предполагается возникновение КЗ, является точка К4 (рисунок 19).

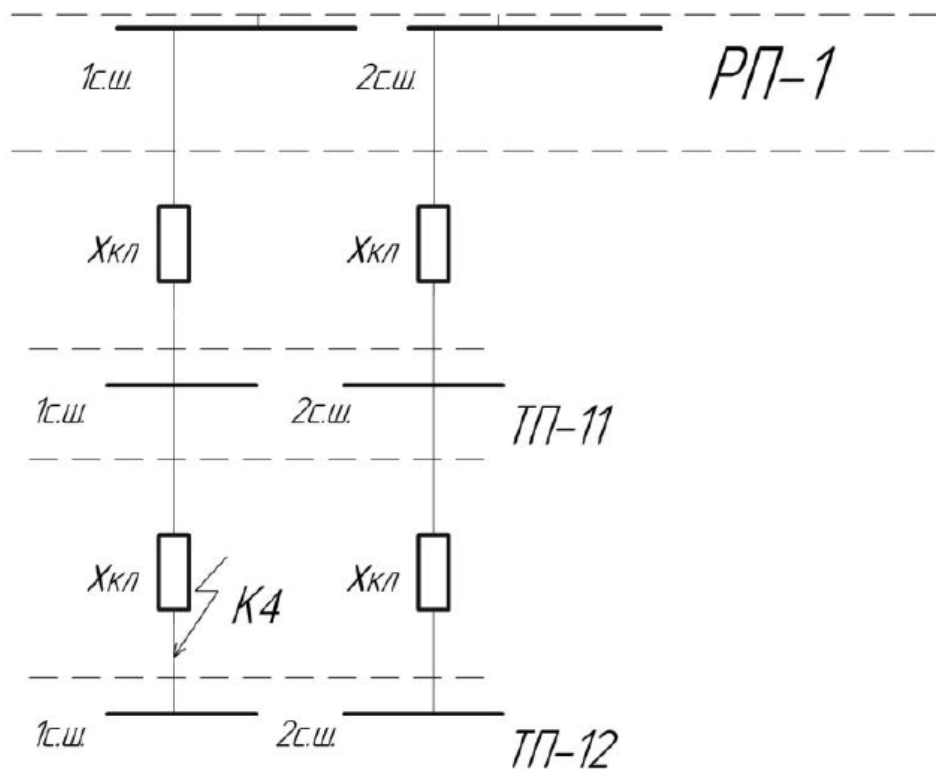


Рисунок 19 - Схема замещения для расчета тока КЗ в точке К4

По формуле (26), определяется сопротивление кабельной линии, проходящей от ТП-11 до ТП-12:

$$x_{*б,кл(ТП11-ТП12)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_H^2} = 0,4 \cdot 0,9 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 3,26. \quad (26)$$

Суммарное сопротивление в данной точке, определяется по формуле как сумма сопротивлений в точке КЗ и сопротивления кабельной линии от ТП-11 до ТП-12 (27):

$$x_{\Sigma К4} = x_{\Sigma КЗ} + x_{*б,кл(ТП11-ТП12)} = 23,893 + 3,26 = 30,15. \quad (27)$$

Базисное значение тока определяется по формуле (28):

$$I_6 = \frac{S_6}{U_H \cdot \sqrt{3}} \text{ кА},$$

$$I_6 = \frac{1000}{10,5 \cdot \sqrt{3}} = 54,9 \text{ кА}. \quad (28)$$

Начальное значение тока при трехфазном КЗ:

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_6''}{x_{*рез}} \cdot I_6 \text{ кА},$$

$$I_{n,o}^3 = \frac{1}{30,15} \cdot 54,9 = 1,82 \text{ кА}. \quad (29)$$

Начальное значение тока при двухфазном КЗ, определяется по следующей формуле (30), аналогично формуле (17):

$$I_{n,o}^{(2)} = \frac{m \cdot E_6''}{x_{\Sigma K4} + \Delta x^{(2)}} \cdot I_6 = \frac{\sqrt{3} \cdot 1}{30,15 + 30,15} \cdot 54,9 = 1,57 \text{ кА} \quad (30)$$

Где, соответственно:

$$\Delta x^{(2)} = x_{\Sigma K4} = 30,15 \quad (31)$$

Начальное значение тока короткого замыкания, при двухфазном КЗ на землю, определяется по формуле (32):

$$I_{n,o}^{(1,1)} = \frac{m \cdot E_6''}{x_{\Sigma K1} + \Delta x^{(1,1)}} \cdot I_6 \quad (32)$$

Дополнительное сопротивление при двухфазном КЗ, определяется по формуле (33, аналогично формуле (21):

$$\Delta x^{(1,1)} = \frac{x_{\Sigma K1} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{\Sigma K1} + x_{0\Sigma}} = \frac{30,15 \cdot 5,49}{30,15 + 5,49} = 4,64, \quad (33)$$

где  $x_{0\Sigma}$  - сопротивление нулевой последовательности, которое равно сопротивлению На ТП-11 (34):

$$x_{0\Sigma} = x_{*б,с} + x_{*б,вл} + x_{*б,ТВ} + x_{*б,ТН} = 0,33 + 0,24 + 0,328 + 4,59 = 5,49. \quad (34)$$

Далее, рассчитывается коэффициент двухфазного КЗ на землю, по формуле (35):

$$m^{(1,1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{x_{\Sigma K1} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{\Sigma K1} + x_{0\Sigma})^2}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{30,15 \cdot 5,49}{(30,15 + 30,15)^2}} = 1,69 \quad (35)$$

Таким образом, начальное значение тока при двухфазном КЗ на землю равно:

$$I_{n,o}^{(1,1)} = \frac{1,69 \cdot 1}{30,15 + 4,64} \cdot 54,9 = 2,67 \text{ кА}. \quad (36)$$

Ток КЗ, Простого КЗ, рассчитывается по формуле (37):

$$I_K = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot \left( \frac{l_{вл}}{N_{вл}} + \frac{l_{кл}}{N_{кл}} \right) = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot \left( \frac{8}{350} + \frac{5 + 0,9 + 0,9}{10} \right) = 12,7 \text{ А}. \quad (37)$$

В дальнейшем для наглядности, удобнее будет свести все значения рассчитанных токов в таблицу 4.

Таблица 4 – Рассчитанные значения токов КЗ, для ТП-12

Вид короткого замыкания	Значение тока, кА
$I_{n,0}^{(3)}$	1,82
$I_{n,0}^{(2)}$	1,57
$I_{n,0}^{(1,1)}$	2,67

### 2.3.4 Расчет токов короткого замыкания для трансформаторной подстанции ТП-13

Для подстанции ТП-13 точке КЗ, соответствует точка К5, располагающаяся между ТП-12 и ТП-13 (рисунок 20).

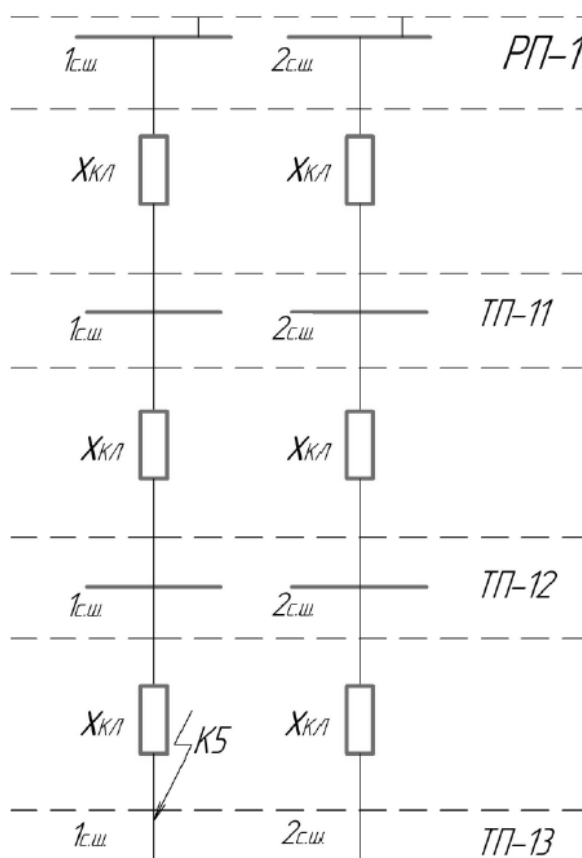


Рисунок 20 - Схема замещения для расчета тока КЗ в точке К4

По формуле (38), определяется сопротивление кабельной линии, проходящей от ТП-12 до ТП-13:

$$x_{*6, \text{кл(ТП12-ТП13)}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_H^2} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 2,9. \quad (38)$$

Суммарное сопротивление в данной точке, определяется по формуле как сумма сопротивлений в точке К4 и сопротивления кабельной линии от ТП-11 до ТП-12 (39):

$$x_{\Sigma \text{К4}} = x_{\Sigma \text{К3}} + x_{*6, \text{кл(ТП12-ТП13)}} = 30,15 + 2,9 = 33,05. \quad (39)$$

Базисное значение тока определяется по формуле (40):

$$I_6 = \frac{S_6}{U_H \cdot \sqrt{3}} \text{ кА}, \quad (40)$$

$$I_6 = \frac{1000}{10,5 \cdot \sqrt{3}} = 54,9 \text{ кА}.$$

Начальное значение тока при трехфазном КЗ:

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_6''}{x_{*рез}} \cdot I_6 \text{ кА}, \quad (41)$$

$$I_{n,o}^3 = \frac{1}{33,05} \cdot 54,9 = 1,66 \text{ кА}.$$

Начальное значение тока при двухфазном КЗ, определяется по следующей формуле (42), аналогично формуле (17):

$$I_{n,o}^{(2)} = \frac{m \cdot E_6''}{x_{\Sigma K5} + \Delta x^{(2)}} \cdot I_6 = \frac{\sqrt{3} \cdot 1}{33,05 + 33,05} \cdot 54,9 = 1,43 \text{ кА} \quad (42)$$

Где, соответственно:

$$\Delta x^{(2)} = x_{\Sigma K5} = 33,05 \quad (43)$$

Начальное значение тока короткого замыкания, при двухфазном КЗ на землю, определяется по формуле (32):

$$I_{n,o}^{(1,1)} = \frac{m \cdot E_6''}{x_{\Sigma K5} + \Delta x^{(1,1)}} \cdot I_6 \quad (44)$$

Дополнительное сопротивление при двухфазном КЗ, определяется по формуле (45), аналогично формуле (21):

$$\Delta x^{(1,1)} = \frac{x_{\Sigma K5} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{\Sigma K5} + x_{0\Sigma}} = \frac{33,05 \cdot 5,49}{33,05 + 5,49} = 4,7, \quad (45)$$

где  $x_{0\Sigma}$  - сопротивление нулевой последовательности, которое равно сопротивлению На ТП-13 (46):

$$x_{0\Sigma} = x_{*6,C} + x_{*6,вл} + x_{*6,ТВ} + x_{*6,ТН} = 0,33 + 0,24 + 0,328 + 4,59 = 5,49. \quad (46)$$

Далее, рассчитывается коэффициент двухфазного КЗ на землю, по формуле (35):

$$m^{(1,1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{x_{\Sigma K5} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{\Sigma K5} + x_{0\Sigma})^2}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{33,05 \cdot 5,49}{(33,05 + 5,49)^2}} = 1,62 \quad (47)$$

Таким образом, начальное значение тока при двухфазном КЗ на землю равно:

$$I_{n,0}^{(1,1)} = \frac{1,69 \cdot 1}{30,15 + 4,64} \cdot 54,9 = 2,67 \text{ кА.} \quad (48)$$

Ток простого КЗ, рассчитывается по формуле (37):

$$I_K = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot \left( \frac{l_{ВЛ}}{N_{ВЛ}} + \frac{l_{КЛ}}{N_{КЛ}} \right) = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot \left( \frac{8}{350} + \frac{5 + 0,9 + 09}{10} \right) = 12,7 \text{ А.} \quad (49)$$

В дальнейшем для наглядности, удобнее будет свести все значения рассчитанных токов в таблицу 5.

Таблица 5 – Рассчитанные значения токов КЗ, для ТП-12

Вид короткого замыкания	Значение тока, кА
$I_{n,0}^{(3)}$	1,66
$I_{n,0}^{(2)}$	1,43
$I_{n,0}^{(1,1)}$	2,36

### 2.3.5 Расчет токов короткого замыкания для трансформаторной подстанции ТП-14

Подстанция ТП-14 является концевой, в этой цепочке, и её точка КЗ соответствует точке К6 (рисунок 21).



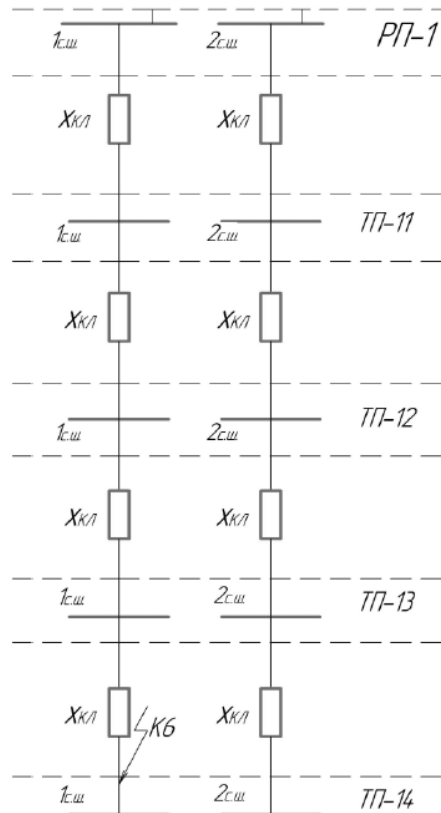


Рисунок 21 - Схема замещения для расчета тока КЗ в точке К6

По формуле (50), определяется сопротивление кабельной линии, проходящей от ТП-13 до ТП-14:

$$x_{*б,кл(ТП13-ТП14)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_H^2} = 0,4 \cdot 1 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 3,62. \quad (50)$$

Суммарное сопротивление в данной точке, определяется по формуле как сумма сопротивлений в точке К6 и сопротивления кабельной линии от ТП-13 до ТП-14 (51):

$$x_{\Sigma К6} = x_{\Sigma К5} + x_{*б,кл(ТП13-ТП14)} = 33,05 + 3,62 = 36,67. \quad (51)$$

Базисное значение тока определяется по формуле (52):

$$I_6 = \frac{S_6}{U_H \cdot \sqrt{3}} \text{ кА},$$

$$I_6 = \frac{1000}{10,5 \cdot \sqrt{3}} = 54,9 \text{ кА.} \quad (52)$$

Начальное значение тока при трехфазном КЗ:

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_6''}{x_{*рез}} \cdot I_6 \text{ кА},$$

$$I_{n,o}^3 = \frac{1}{36,67} \cdot 54,9 = 1,49 \text{ кА.} \quad (53)$$

Начальное значение тока при двухфазном КЗ, определяется по следующей формуле (54), аналогично формуле (17):

$$I_{n,o}^{(2)} = \frac{m \cdot E_6''}{x_{\Sigma K6} + \Delta x^{(2)}} \cdot I_6 = \frac{\sqrt{3} \cdot 1}{36,67 + 36,67} \cdot 54,9 = 1,29 \text{ кА} \quad (54)$$

Где, соответственно:

$$\Delta x^{(2)} = x_{\Sigma K6} = 33,05 \quad (55)$$

Начальное значение тока короткого замыкания, при двухфазном КЗ на землю, определяется по формуле (56):

$$I_{n,o}^{(1,1)} = \frac{m \cdot E_6''}{x_{\Sigma K6} + \Delta x^{(1,1)}} \cdot I_6 \quad (56)$$

Дополнительное сопротивление при двухфазном КЗ, определяется по формуле (57), аналогично формуле (21):

$$\Delta x^{(1,1)} = \frac{x_{\Sigma K6} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{\Sigma K6} + x_{0\Sigma}} = \frac{36,67 \cdot 5,49}{36,67 + 5,49} = 4,77, \quad (57)$$

где  $x_{0\Sigma}$  - сопротивление нулевой последовательности, которое равно сопротивлению На ТП-13 (58):

$$x_{0\Sigma} = x_{*6,C} + x_{*6,ВЛ} + x_{*6,ТВ} + x_{*6,ТН} = 0,33 + 0,24 + 0,328 + 4,59 = 5,49. \quad (58)$$

Далее, рассчитывается коэффициент двухфазного КЗ на землю, по формуле (59):

$$m^{(1,1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{x_{\Sigma K6} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{\Sigma K6} + x_{0\Sigma})^2}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{36,67 \cdot 5,49}{(36,67 + 5,49)^2}} = 1,63 \quad (59)$$

Таким образом, начальное значение тока при двухфазном КЗ на землю равно:

$$I_{n,o}^{(1,1)} = \frac{1,69 \cdot 1}{36,67 + 4,77} \cdot 54,9 = 2,67 \text{ кА}. \quad (60)$$

Ток простого КЗ, рассчитывается по формуле (61):

$$I_k = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot \left( \frac{l_{ВЛ}}{N_{ВЛ}} + \frac{l_{КЛ}}{N_{КЛ}} \right) = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot \left( \frac{8}{350} + \frac{5 + 0,9 + 0,9 + 0,8 + 1}{10} \right) = 16,05 \text{ А}. \quad (61)$$

В дальнейшем для наглядности, удобнее будет свести все значения рассчитанных токов в таблицу 6.

Таблица 6 – Рассчитанные значения токов КЗ, для ТП-14

Вид короткого замыкания	Значение тока, кА
$I_{n,0}^{(3)}$	1,49
$I_{n,0}^{(2)}$	1,29
$I_{n,0}^{(1,1)}$	2,15

Токи для следующих цепочек подстанций, рассчитываются аналогичным образом.

Результаты вычислений заносятся в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты вычислений токов короткого замыкания

Подстанция	$I_{n,0}^{(3)}$	$I_{n,0}^{(2)}$	$I_{n,0}^{(1,1)}$	$I_{n,0}^{(1)}$
ТП-11	2,04	1,76	2,8	11,1
ТП-12	1,82	1,57	2,67	12,7
ТП-13	1,66	1,43	2,36	14,23
ТП-14	1,49	1,29	2,15	16,05
ТП-15	2,18	1,89	2,96	11,2
ТП-21	2,06	1,79	1,83	11,1

Продолжение таблицы 7

ТП-22	1,91	1,65	2,65	12,2
ТП-23	1,7	1,47	2,4	14,05
ТП-24	1,5	1,3	2,16	16,23
КТП-1	1,35	1,17	1,98	18,23
КТП-2	1,42	1,24	2,08	17,14
ТП-31	2,15	1,86	2,93	10,03
ТП-32	1,9	1,64	2,65	12,14
ТП-33	1,64	1,42	2,33	14,1
ТП-34	1,53	1,33	2,2	15,6
ТП-41	2,04	1,77	2,8	11,1
ТП-42	1,81	1,57	2,54	12,83
ТП-43	1,68	1,45	2,38	14,11

ТП-44	1,47	1,27	2,13	16,65
-------	------	------	------	-------

## **2.4 Выводы по разделу**

В ходе написания данной главы, получено представление о различных видах и принципах работы, датчиков короткого замыкания. Так же, рассмотрена схема электроснабжения г. Тольятти, на основании которой, производился дальнейший расчет токов КЗ. На основании полученных результатов, можно производить выбор датчиков ДКЗ, опираясь на их параметры.

Далее, определены возможные варианты установки датчиков КЗ. Стоит отметить, что самым удачным вариантом расположения ДКЗ, является вариант, при котором, датчик, размещается на разделке вводной кабельной линии в электроустановке.

Так же, установлена опытным путем, зависимость токов КЗ, от протяженности линии. Так же, определены оптимальные точки установки датчиков.

## **3 Телемеханизация полученных сигналов**

### **3.1 Анализ существующих систем телекоммуникационной отрасли**

Телекоммуникационная отрасль является динамичным катализатором, который питает структуры экономического роста так, как никогда ранее. Глобальное внедрение цифрового телекоммуникационного оборудования позволило объединить традиционную телекоммуникационную сеть, предназначенную для голосовой связи, с сетью передачи данных (передача компьютерной информации). В результате явление, которое мы все знаем как «Интернет», уже меняет структуру общества и ускоряет глобализацию торговли. В современном мире, технический прогресс происходит настолько быстро, что большинству инженеров и техников очень трудно быть в курсе огромного количества литературы, выпускаемой по каждой дисциплине.

Большинству из нас остается только пытаться не отставать от событий, происходящих в относительно узкой области.

Телекоммуникации — это обширный технический предмет, целью которого является рассмотрение наиболее важных систем передачи информации и сосредоточение внимания, на некоторых конкретных аспектах. В данной главе объем математических расчётов, был преднамеренно сведен к минимуму, и акцент делается на основополагающих концепциях, которые формируют телекоммуникационное передающее оборудование вместе с рассмотрением практической составляющей теории.

Для обеспечения международной совместимости телекоммуникационное оборудование, должно быть спроектировано в соответствии с международными стандартами. Конструкция и технические характеристики некоторых новейших устройств описаны с осознанием международных стандартов, разработанных для обеспечения совместимости. Основной задачей в данной главе, является необходимость рассмотрения мультиплексирования, микроволновой радиопередачи, спутниковой связи, оптоволокну, беспроводной связи и передачи данных. Термин «пропускная способность», который относится к объему информации, которая может проходить через систему в данный момент времени, является одним из наиболее важных параметров, определяющих современные сети. Уровень пропускной способности или ограничения, для каждой среды передачи, рассматриваются отдельно. Цель следующих глав - дать некоторое представление о нынешних и будущих технологических тенденциях, а также предоставить технические подробности, по многим аспектам современного, высокопроизводительного цифрового телекоммуникационного оборудования для передачи.

### **3.1.1 Анализ существующих средств передачи**

Цель телекоммуникаций - обеспечить высококачественную передачу данных между любой парой желаемых местоположений, вне зависимости их

расстояния друг от друга. Расстояние между двумя точками определяет тип оборудования передачи, используемого для настройки соединения. Как правило, связь на расстоянии порядка нескольких метров, например, внутри здания, осуществляется с использованием металлических проводов, оптических волокон или очень маленьких сотовых радиоприемников. Любая маршрутизация информации внутри здания, осуществляется с помощью коммутатора в помещении.

Когда расстояние передачи необходимо увеличивается, например для передачи информации в пределах города, обычно используется местная телефонная сеть. Это влечет за собой установление соединения с ближайшей коммутационной станцией, с помощью пары медных проводов или радио, маршрутизацию иницирующей стороны, к желаемой, принимающей стороне, и завершение соединения при помощи медной пары проводов, или радио станции получателя, которые также подключены к ближайшей точке обмена. Коммутационная станция также известна как центр связи. Соединение между центром связи и клиентом, называется локальной петлей, собственно, как и термин абонент, который так же применим к клиенту. Если соединение находится в одном и том же районе, две стороны соединяются через один и тот же центр связи, но, если соединение находится на большом расстоянии, необходима маршрутизация от одного центра связи к другому. Именно на этом этапе, выбор технологии связи, становится определяющим для общей стоимости сети. В первые годы развития телекоммуникаций, весь обменный трафик проходил с использованием многочисленных пар медных проводов (по одной паре на каждое соединение). Эта система была очень громоздка, потому что требовались межобменные кабели, а для таких соединений, требовались сотни или тысячи медных пар. Впоследствии, была разработана методика, известная как мультиплексирование, для передачи нескольких одновременных телефонных вызовов (называемых трафиком), по одной паре медных проводов. Относительно недавно, для выполнения этой роли, были введены оптические волокна. В будущем, сети будут связывать

центр связи с клиентами, использующими оптические волокна в локальной сети, но способ, которым это должно быть сделано, все еще обсуждается во многих частях мира. Мобильный телефон также входит в категорию локальных шлейфов, и за последние несколько лет, развертывание сотовых мобильных систем пережило взрывной рост в глобальном масштабе. Сотовая радиосвязь, которая является стационарной (иногда называемой фиксированной беспроводной связью), когда она используется вместо пары кабелей в помещении пользователя, называется беспроводной локальной связью (WLL).

Следующий этап взаимосвязи - междугородние соединения. Претендентами на эту роль являются микроволновое радио, оптоволокно и спутник. Жесткая конкуренция возникла среди этих трех технологий. Микроволновая и спутниковая связь являются гораздо более проверенными технологиями, но технология оптики, в последнее время догнала и во многих отношениях обогнала, две другие. Быстрый прогресс, достигнутый волоконно-оптической сетью за последние 10 лет, свидетельствует о том, что она может выиграть гонку и стать доминирующей технологией будущего. Многие считают, что влияние оптоволоконных линий связи на телекоммуникации, а в особенности, факт возникновения полностью оптических систем, похож на изобретение транзистора и его влияние на компьютерные технологии.

У геостационарных спутниковых линий связи, есть определенный ряд преимуществ, перед остальными системами. Во-первых, вещательная природа спутников очень привлекательна, особенно для телевизионных передач. Информация, передаваемая со спутника, может быть получена на очень большой территории, что позволяет ей одновременно обслуживать целый континент. Кроме того, стоимость спутниковой связи не зависит от расстояния между источником и пунктом назначения (например, стоимость передачи более 1 или 5000 км одинакова). Однако, спутниковая система становится конкурентоспособной по стоимости только с микроволновыми



радиосистемами и оптоволоконными системами, когда расстояние большое (например, больше 500 км).

Мобильные сотовые радиосистемы, превосходны для передачи голоса, а в настоящее время, при помощи них, так же возможна передача, большого объема данных. Оптическое волокно, на сегодняшний день широко используется для подавляющего большинства домашних услуг. Однако, в сельских районах и развивающихся странах, данный уровень развития оптоволоконной сети еще не достигнут. Широкополосные услуги передачи данных, могут предоставляться спутниковым и микроволновым радио, но стоимость этого ресурса с ограниченной полосой пропускания, является сравнительно высокой. Отличным положительным моментом в пользу спутниковой и микроволновой сотовой радиосвязи, является фактор мобильности. Основным недостатком оптоволоконных сетей является то, что пользователь «привязан» к определенной точке и не может быть мобильным. Большая часть телефонного трафика на большие и средние расстояния в настоящее время передается по наземному микроволновому радио и оптоволоконному каналу, который в настоящее время, представляет собой технологии цифровой электроники.

### **3.1.2 Анализ существующих методов оцифровки сигнала**

Основным методом улучшения качества, используемым в цифровых системах передачи информации, является метод улучшения сигнала приемника. В аналоговых системах передачи, каждый ретранслятор повторно передает принятый сигнал, а вместе с ним и всевозможные шумы. Шум накапливается в каждом повторителе, поэтому после определенной длины передачи, отношение сигнал/шум (S/N) настолько плохое, что связь становится невозможной. В цифровых системах передачи, каждый ретранслятор «регенерирует» исходный принятый поток импульсов (единиц и нулей) и ретранслирует их без помех. Поэтому теоретически цифровая передача не имеет ограничения по длине передачи. Однако в

действительности, существует явление, называемое джиттером. Это явление описывается как шум, возникающий в определенном положении импульса, наблюдаемый как небольшие отклонения точек пересечения нуля импульсов цифрового битового потока, от их точных положений. Джиттер накапливается из-за его внедрения несколькими электронными схемами, в цифровой системе передачи. Чрезмерный джиттер вызывает появление недопустимых битовых ошибок и поэтому ограничивает возможности максимальной длины линии цифровой системы. Подводя итог, преимущества цифровых систем перед аналоговыми являются:

- Все абонентские услуги, такие как телефония, высокоскоростная передача данных, телевидение, факсимильная связь и т.д, могут отправляться через одну и ту же среду передачи. Следовательно, может быть реализована концепция цифровой сети с интеграцией услуг (ISDN);
- Коэффициент ошибок по битам в цифровых радиосистемах, не зависит от замирания до тех пор, пока уровень принимаемых радиочастот не приблизится к пороговому значению;
- Высокая защищенность от помех, делает цифровую передачу практически независимой от длины пути;
- Использование интегральных микросхем делает цифровые системы экономичными и не требующими настройки;
- Простота обслуживания, основанная на измерениях типа «да/нет»;
- Синергетическая интеграция цифровых систем передачи, таких как оптоволокно, цифровой спутник и цифровые микроволновые радиосистемы, с цифровыми станциями обмена.

Интересен тот факт, что цифровое радио, является часто используемым термином, но многие редко понимают, что вся радиопередача является аналоговым явлением. Другими словами, цифровой радио носитель является аналоговой волной, и это только информация, наложенная на аналоговую несущую, и способ размещения ее на несущей (модуляция), которая имеет

цифровой формат. Следовательно, термины S/N или C/N (отношение несущей/шум), все ещё применимы. Поскольку сети стали более цифровыми, комбинации мультиплексирования с временным разделением (TDM), коммутаций с временным разделением, цифрового радио и волоконно-оптических систем, становятся значительно более экономичными и технически гибким, чем соответствующие аналоговые сети.

Такие критерии как полнота, качество и скорость передачи информации, которая передается при помощи данных методов, должны соответствовать определенным стандартам и критериям. Это обусловлено тем, что в электроэнергетических системах с современной компоновкой, особенно важно получать актуальную и своевременную информацию, о состоянии и режимах оборудования, т. к. оперативное управление данными системами, зачастую, осуществляется издалека. Таким образом, основное назначение систем телемеханизации в современных системах электроснабжения – обеспечение контроля и управления коммутационными аппаратами, другими устройствами электроустановки, а также другими вспомогательными системами. Как правило, в системах электроснабжения, оперативное управление производится с пункта ЦДУ.

### **3.1.3 Анализ конфигурации цифровой микроволновой радиосистемы**

На рисунке 22, показана упрощенная линия микроволновой связи, включающая в себя только один регенеративный ретранслятор и две оконечные конечные станции. На терминальных станциях, размещается коммутационное оборудование, которое соединяет клиентов с междугородними маршрутами. В этой конфигурации, большое количество пользовательских сигналов (около 2000) мультиплексируются вместе в один сигнал, готовый для передачи по линии СВЧ. Сигнал преобразуется в микроволновую частоту (около 6 ГГц) и передается по трассе, обычно от 30 до 60 км от станции «А» к приемной антенне на станции ретранслятора.

Ретранслятор либо просто усиливает сигнал и отправляет его далее, используя другую микроволновую частоту, чтобы минимизировать помехи, либо он полностью регенерирует отдельные импульсы битового потока, прежде чем преобразовать сигнал обратно в микроволновый луч для дальнейшей передачи. Станция «В» принимает микроволновый сигнал, обрабатывает его и распределяет отдельные каналы, готовые для распределения соответствующим клиентам на этом конце линии.

И в аналоговых, и в цифровых системах, существует одна или две вариации на эту тему. Например, цифровая информация может напрямую модулировать сигнал без прохождения ступени ПЧ. Это называется прямой модуляцией. Другой метод заключается в использовании умножителя частоты для преобразования сигнала ПЧ в сигнал.



Рисунок 22 - Упрощенная линия микроволновой радиосвязи

Основные различия между аналоговыми и цифровыми микроволновыми радиостанциями заключаются в следующем:

1. Состав основной полосы частот
2. Методы модуляции
3. Передача служебного канала (не показана на рисунке 22).

Основная полоса частот — это объединенная множественная передача голоса, данных и/или, или видеоканалы, которые должны передаваться по телекоммуникационной системе передачи. Приемники отличаются в основном, техникой демодуляции и демультимплексированием основной полосы частот до речевых каналов, каналов передачи данных или видео.

Для приемника AMR, входящий RF сигнал преобразуется с понижением частоты, демодулируется по частоте, а затем демультимплексируется с частотным разделением для разделения отдельных речевых каналов, каналов данных или видео.

Для приемника DMR входящий RF сигнал, аналогично преобразуется с понижением частоты перед демодуляцией. Когерентная демодуляция, является предпочтительной. Однако для когерентной демодуляции точная переданная несущая частота и фаза модулированного сигнала, должны быть получены на приемнике. Одним из способов решения этой проблемы является использование дифференциального кодирования и декодирования. Демодулированный сигнал, впоследствии восстанавливается в исходный передаваемый битовый поток импульсов, регенератором. Наконец, демультимплексор с временным разделением разделяет отдельные речевые каналы, каналы передачи данных или видео для их распределения в соответствующие местоположения. В системах дальней связи DMR, используются регенеративные повторители.

### **3.1.4 Анализ конфигурации спутниковой системы**

Это обширная тема, и она предоставляет материал для многих форумов с момента ее создания, в 1962 году. Исчерпывающий охват спутниковой

связи невозможен в течение нескольких страниц, и в этом тексте будет сделана попытка представить только основные принципы. Будут обсуждены некоторые из основных аспектов конструкторского проектирования и то, как законы физики приводят к конкретным конфигурациям оборудования. Во многих отношениях, спутниковая линия связи может рассматриваться как сверхвысокочастотная линия СВЧ, и многие расчеты для наземных линий связи, могут быть применимы на спутниковые связи. Как и в случае наземных систем связи, отрасль спутниковой связи постепенно оцифровывается. Интересно, что спутник прозрачен для прохождения аналоговой или цифровой информации. Кроме того, сигналы основной полосы частот, будь то аналоговые или цифровые, закодированы на аналоговой несущей радиосвязи, и только самые современные спутники включают в себя демодуляцию или демультиплексирование. Некоторые спутники уже имеют встроенную обработку, которая выполняется на уровне отдельного канала (поддиапазона), но повышенный уровень сложности и экономической эффективности будущей бортовой обработки, все еще обсуждается. Независимо от того, является ли спутниковая связь международной или внутренней, есть несколько основных категорий спутниковых пользователей:

1. Индивидуальная речевая полоса;
2. Корпоративные данные;
3. Телерадиовещание;
4. Государственные и военные.

Спутниковые системы, очень привлекательны для удовлетворения широкого диапазона охвата и возможности многоточечной передачи, необходимой для радиовещания. Видеосъемка события, в одном месте земного шара, может передаваться на спутник и распространяться (транслироваться) на обширных территориях мира, в виде четких телевизионных изображений. Таким образом, спутниковые системы так же

можно использовать и для передачи различной информации, используемой в сфере электроснабжения.

### **3.1.5 Анализ систем системы мобильной радиосвязи**

До сих пор описанные системы носили стационарный или двухточечный характер и с точки зрения пользователя, выбор системного оборудования, используемого для присоединения (будь то микроволновое радио, оптоволокно или спутник) в значительной степени не имел значения. Однако в последнее время, пользователи активно используют телекоммуникационное оборудование в виде портативного радиотелефона или навигатора. Это основные мобильные системы. Другие важные системы, включают в себя телефоны самолетов и телефонов на судах и поездах. Все эти системы являются примерами использования радио технологий, непосредственно в локальной сети. Исторически, мобильные телефоны были в основном установлены в транспортных средствах, и первоначально были довольно тяжелыми и громоздкими устройствами. С ускорением миниатюризации электронных схем, за последнее десятилетие, рынок портативных телефонов стремительно вырос.

Радиоволны имеют большое затухание при прохождении через атмосферу, поэтому, чтобы поддерживать требуемую мощность передатчика пользователя на приемлемо низком уровне, расстояние между клиентом и ближайшей базовой станцией для соединения с телефонной сетью должно быть минимальным. настолько это возможно. Это привело к необходимости многочисленных базовых станций, размещенных в виде сотовых ячеек, иначе называемых сотовой структурой. В ранних мобильных системах, каждый клиент использовал определенную частоту связи, для продолжительности каждого вызова. Из-за ограниченного частотного спектра, число абонентов, способных использовать системы одновременно, может показаться довольно небольшим. Однако, сотовая система пригодна для повторного использования частот, в результате чего, абоненты в разных областях, могут

использовать одинаковые частоты связи, и благодаря продуманному интерфейсу, не испытывают заметных помех, во время сеанса связи.

### **3.1.6 Анализ конфигурации оптоволоконной системы**

Оптоволоконная связь, схожа с микроволновой связью. Обе системы, передают один и тот же выход цифрового мультиплексора (то есть основной полосы частот). Поток битов, в случае волоконно-оптической системы, может использоваться непосредственно для включения и выключения лазера, с целью отправки световых импульсов по оптоволоконному кабелю. В конце концов, в волоконно-оптических системах, может использоваться метод гетеродинирования, или гомодинирования для улучшения общей производительности системы. Регенераторы, используются с интервалами, с целью усиления сигнала, как и в микроволновой радиосистеме. По мере совершенствования технологии оптических усилителей, расстояние между регенераторами, в волоконно-оптических системах, постепенно увеличивается. И наоборот, расстояние между регенераторами СВЧ-радиосистемы, в пределах прямой видимости ограничено физическим, а не технологическим ограничением (то есть искривлением земли). Увеличение расстояния между регенераторами волоконно-оптических систем, является важным фактором, позволяющим снизить общие затраты. Расстояние между оптическими регенераторами, ограничено дисперсионными (импульсными) характеристиками волокна. Как обычно, приемник включает в себя детектор, усилитель и средство восстановления исходного битового потока основной полосы частот, готового к демультиплексированию в голосовые, цифровые или телевизионные сигналы. Кроме того, производительность оптоволоконных систем, значительно превосходит радио. Широко распространено мнение, что волоконная оптика не только остается здесь, но и способна изменить наш образ жизни в предстоящие десятилетия.

### **3.1.7 Анализ технико-экономические показатели**



Технико-экономические показатели являются основой, для определения дальнейшей судьбы новой технологии. Независимо того, насколько новая технология является успешной, основополагающим фактором ее внедрения и развития, является ее стоимость. Относительно низкая стоимость, в сочетании с улучшенной производительностью, несомненно, обеспечат оптоволоконную связь во всем мире. Так же, многие компании сделали значительные инвестиции в микроволновые системы связи. Внедрение волоконной оптики не означает, что существующее микроволновое радиооборудование должно быть утилизировано. При необходимости увеличения пропускной способности (больше голосовых, видео или каналов данных) могут быть установлены оптоволоконные системы, которые будут работать бок о бок с микроволновым оборудованием. Многие развивающиеся страны, которые находятся на ранних стадиях расширения своих сетей связи, находятся в прекрасном положении для того, чтобы немедленно воспользоваться преимуществами нового волоконно-оптического оборудования, а, следовательно, «перепрыгнуть» через медный провод и технологии на основе СВЧ.

Прежде чем вдаваться в технические подробности, можно сделать некоторые очевидные утверждения о междугородних спутниковых, микроволновых радиосистемах и оптоволоконных системах. Спутниковые и микроволновые линии связи используют распространение радиоволн от точки к точке, тогда как волоконно-оптические линии связи имеют непрерывный кабель, охватывающий все расстояние от точки до точки. Это очевидное различие между двумя системами, автоматически определяет некоторые ситуации, для которых применимы оба метода, и, наоборот, указывает на ситуации, в которых их применений. Например, в горной местности микроволны, могут эффективно «перепрыгивать» от вершины к вершине через горный хребет, не создавая препятствий между скалами, лесами, реками и т.д. Подобным образом микроволновые радиосистемы могут связывать цепи островов, расстояния которых относительно близки, не

заботясь о подводных кабельных методах или глубине воды. Когда надежность соединения является нерешенной проблемой различных частях мира, микроволновые радиосистемы, обычно являются предпочтительным выбором. Кабель, будь то оптоволокно, коаксиальная или витая медная пара, не может быть так же защищен, как микроволновая станция. Кабель, подвешенный между столбами, особенно уязвим для саботажа или суровых погодных условий. Подземное размещение волоконно-оптического кабеля считается лучшим вариантом. К сожалению, стоимость довольно высока (как правило, в два раза больше, чем накладные расходы на установку новых кабелей). Непреднамеренное повреждение кабелей сельским хозяйством и строительной деятельностью отнюдь не редкость. На самом деле, в некоторых местах такие случаи могут быть настолько частыми, что детальный анализ статистики не требуется. На относительно ровной местности, оптический кабель, на первый взгляд, может показаться лучшим вариантом, из-за более низкой стоимости. Однако, если эта местность в основном скалистая, стоимость монтажа возрастает, что делает кабель менее привлекательным выбором.

Для обмена между городами и в городах, оптоволоконный кабель сможет очень легко заменить старую витую пару или коаксиальный кабель, в уже существующих каналах и коллекторах. Если кабельные линии связи переполнены, а витая пара или коаксиальное оборудование слишком новые, чтобы производить их реконструкцию, тогда предпочтительной будет микроволновая радиосистема. В нескольких городах чрезмерно высокие уровни воды, что вызывает серьезные проблемы с электроснабжением. Вот, отличное применение для волоконно-оптического кабеля, т.к он не металлический. С небольшими или нулевыми дополнительными затратами, можно установить оптоволоконный кабель, дабы избежать негативных факторов воздействия воды. Неметаллическая оболочка оптического волокна, также является преимуществом в других ситуациях. Например, в электростанциях, электромагнитная индукция может нанести ущерб

оборудованию связи, в котором используется металлический кабель. Оптические волокна, практически невосприимчивы к электромагнитным помехам. Кроме того, поскольку волокна изготовлены из полностью диэлектрических материалов, то и коротких замыканий не должно быть. Этот фактор очень важен для тех областей, где взрывы могут быть вызваны искрами от возникновения коротких замыканий.

Стоит отметить, что у локальных сетей, существует тенденция к использованию беспроводных или сотовых радиосистем. Эти системы имеют двойное преимущество: они обеспечивают мобильность, что очень желательно для многих слоев населения страны, и устраняют необходимость в дорогостоящей прокладке кабеля. Беспроводные системы имеют ограниченную мобильность, тогда как сотовые системы, наоборот более мобильны. В странах, где крупные города нуждаются в быстром обновлении для улучшения или расширения обслуживания, установка радио технологий происходит на несколько порядков быстрее, чем прокладка нового кабеля. Для широкополосных услуг связи, оптическое волокно, без сомнения, будет использоваться в будущем, когда клиенты начнут использовать спутниковые или микроволновые радиотелефоны для своей узкополосной мобильной голосовой связи и передачи данных, на низких и средних скоростях. Есть много других случаев, когда выбор между микроволновым радио и оптоволоконными системами не так очевиден. При рассмотрении магистрального маршрута большой протяженности, становится ясно, что дни, когда телекоммуникационные компании и органы власти устанавливали витую пару или коаксиальный кабель, давно прошли. Решение о монтаже спутникового или микроволнового радио, обычно принимается для очень пересеченной местности, а волоконной оптики, наоборот, для очень ровной местности. Когда рассматриваемый регион, содержит как очень плоские, так и очень гористые районы, может подойти их комбинация. Проблема выбора, так же усугубляется динамическими и экономическими условиями. По всей стране, магистральные сети, где это возможно, превращаются в

высоконадежные самовосстанавливающиеся кольцевые (ячеистые) структуры с использованием оптического волокна. Прогнозирование будущих темпов развития в технологии - крайне желательно. Хотя, оно не может быть сделано с какой-либо высокой точностью, но пристальное наблюдение за результатами исследований и разработок, поможет определить тенденции и сделать возможными будущие прогнозы. Например, если для снабжения небольшой деревни требуется схема с ответвлением от кольца, нынешняя ситуация диктует, что микроволновая радиосистема будет дешевле, чем волоконно-оптическая система. Количество требуемых каналов, увеличивается с ростом обслуживаемого населения. Существует определенная численность населения, при которой цена на микроволновое радиооборудование равна стоимости оптоволоконного оборудования. С течением времени, стоимость оптоволоконного оборудования снижается. Кроме того, население города может увеличиваться или уменьшаться, в зависимости от многих факторов. Эта кажущаяся простой ситуация, уже начинает превращаться в сложную проблему. Представляется также, что любое решение, будет в лучшем случае включать прогноз, основанный на нынешних тенденциях. Одним утешительным фактом является то, что как оптические, так и микроволновые радиосистемы могут быть модернизированы.

Для расширения микроволновой радиосистемы, требуются дополнительные передатчики и приемники, но волноводы и антенны часто могут оставаться нетронутыми. Аналогично, оптоволоконное оборудование может быть изменено, для увеличения пропускной способности. Это имеет место только в том случае, если с расчетом будущей модернизации установлен кабель с высокой пропускной способностью (пропускной способностью). Микроволновые радиосистемы обладают дополнительной гибкостью, позволяя перенаправлять путь канала связи для удовлетворения меняющихся требований к связи. Оборудование, может быть легко перемещено из одного места в другое, причем среда распространения в

свободном пространстве удобна для использования. К сожалению, установленный кабель не может быть перемещен аналогичным образом без значительных дополнительных затрат на него. Атмосфера, в которой распространяются микроволны, так же вызывает свою долю проблем. Качественная экономическая эффективность канала связи является необходимым условием успешной системы. Стоимость и качество, как обычно, взаимосвязаны.

### **3.2 Связь с пунктом ЦДС**

На сегодняшний день, в распределительных сетях г. Тольятти, любая информация об оперативных переключениях, производимых ремонтных работах, а также информация об отключениях и отклонениях рабочих параметров от номинальных значений, анализируется в центральном диспетчерском пункте. В ранее рассмотренном варианте возможных аварийных ситуации, а именно, в ситуации возникновения коротких замыканий в кабельных линиях, решения должны приниматься незамедлительно. Благодаря датчикам короткого замыкания, установленным на кабельных линиях, можно существенно упростить и ускорить технические мероприятия, связанные с поиском поврежденного участка и восстановлением электроснабжения потребителей. Участок кабельной линии, на котором возникло короткое замыкание, будет сразу же определен и обозначен, на диспетчерском пульте. Мониторинг, может обеспечиваться как по мнемоническому щиту, так и на компьютере диспетчера с помощью специального программного обеспечения. Вид телемеханики, который будет достаточен и целесообразен – это телесигнализация, так как ДКЗ может находиться либо в нормальном состоянии, либо в состоянии аварийного сигнализирования.

Хорошим вариантом модернизации, уже существующей охранной системы, может являться расширение ее функционала путем возложения на нее задачи, по передаче сигнала с датчиков короткого замыкания, да

диспетчерский пульт. Пример блока охранной сигнализации представлен на рисунке 23.



Рисунок 23 - Блок охранной сигнализации СКАТ-1200А

Данный тип охранной сигнализации, получает питание от внешнего источника питания, который в свою очередь дублируется (например, 1 и 2 с.ш 0,4кВ трансформаторной подстанции), т.к работа сигнализация должна находиться в работе постоянно, в не зависимости от режима работы самой электроустановки и помещения, в котором она находится. Перевод нагрузки с одной секции шин на другую, производится при помощи переключения пакетного выключателя ПВ 4-16 М1 (рисунок 24). Питание блока сигнализации осуществляется выпрямленным напряжением, величиной 12 В. Как только дверь на подстанции открывается, нарушается контакт в схеме и на оптрон, перестает поступать электрический ток (рисунок 25).



Рисунок 24 – Внешний вид ПВ 4-16 М1

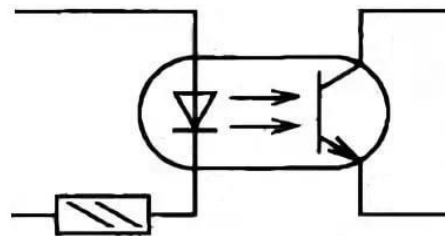


Рисунок 25 - Электрическая схема оптрона

В корпусе оптрона находятся два главных элемента — это излучатель и приемник. Основной характеристикой, которой обладает оптрон — это создание гальванической развязки. Данная характеристика особенно актуальная в сигнальных цепях. В данном случае излучателем является светодиод. Электрический сигнал, который на него поступает преобразовывается в световой поток, который поступает на приемник. В качестве приемника используются фототранзисторы, проводимость которого

меняется, в зависимости от величины поступающего на него сигнала. Таким образом с фототранзистора, то есть с оптрона в целом, уже поступает логический ноль на микропроцессор, который обрабатывает поступающие сигналы и подает их на передатчик. Далее, средствами телемеханики, сигнал поступает на приемные серверные установки и преобразовывается в телемеханическое сообщение. С помощью соответствующего программного обеспечения на компьютере, оператор охранной сигнализации получает информацию об открытых подстанциях и принимает рабочие решения.

Каналом связи при этом является GSM (система глобального позиционирования) связь. На сегодняшний день, данная система имеет широкое распространение в различных сферах жизни. Диапазон частот, на которых работает эта связь не оказывает вредного воздействия на организм человека и позволяет использовать маломощные приемники для передачи информации. В состав любой GSM сети входят две системы, а именно: система базовых станций и система коммутаций. Система базовых станций обеспечивает обмен информации между контроллером базовых станций и подвижными передвигными пунктами. Таким образом, данные устройства представляют собой аналогию с ретрансляторами, работающими в другом диапазоне частот. Контроллер при этом коммутирует станции с системой. Данный вид связи имеет преимущества над другими каналами связи:

- аппаратура имеет меньшие размеры и вес;
- хорошее качество связи и большая зона покрытия;
- с помощью средств кодирования установлена повышенная защищенность от нелегального использования сетей;
- относительно невысокая стоимость.

По договору с мобильным оператором, системы сигнализации являются самыми выгодными. Сигнализация, совершая дозвон до номера приемника осуществляет коммутационные операции за время менее секунды, так что, согласно тарифам, данные звонки не фиксируются и, соответственно,



не оплачиваются. Таким образом, данная система может быть использована, для передачи сигналов с датчиков короткого замыкания.

В случае срабатывания датчика короткого замыкания, сигнал поступает на оптрон, подобно формату сигнала охранной сигнализации. С технической точки зрения, данную функцию можно легко реализовать, путем дополнительного подключения датчиков короткого замыкания, к этому же блоку охранной сигнализации при помощи свободных выводов блока. Далее, микропроцессор обрабатывает полученный сигнал и передает его на передатчик, где с помощью телефонной сим-карты происходит установление связи с серверной. Связь, а именно, телефонной дозвон с сим-карты выполняется через определенные равные промежутки времени, чтобы телемеханическое сообщение не теряло свою своевременность и актуальность. После этого, по аналогии, аварийный сигнал поступает на монитор диспетчера.

### **3.3 Выводы по разделу**

В ходе работы, произведенной в данном разделе, получена информация о возможных вариантах передачи сигнала с ДКЗ, на диспетчерский пульт ЦДС. Рассмотрены различные варианты связи, а также сформированы положительные и отрицательные стороны каждого из вариантов.

Определены – основные моменты, связанные с обработкой и способами передачи сигнала. Так же, проработаны варианты подключения и питания, передающего оборудования, а также возможность монтажа и применения разработанной системы, в реальных условиях, на практике.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Магистерская диссертационная работа заключалась в рассмотрении причин возникновения повреждений, в кабельных линиях с изоляцией из сшитого полиэтилена, а также в создании интеллектуальной системы диагностики и контроля кабельных линий, с возможностью передачи информации о месте возникновения короткого замыкания, на диспетчерский пульт ДД ЦДС. В ходе выполнения работы, были решены следующие задачи:

1. Произведен анализ факторов, влияющих на состояние изоляции кабельных линий, изоляция которых выполнена из сшитого полиэтилена;
2. Рассмотрены изоляционные структуры и основные процессы деградации, также совершен краткий обзор методов анализа, использованных в экспериментальной части работы;
3. Рассчитаны токи короткого замыкания для всех подстанций, на которые планируется внедрение данной системы;
4. Выбраны уставки срабатывания датчиков короткого замыкания для каждой подстанции исходя из рассчитанных токов короткого замыкания;
5. Рассмотрены виды телемеханических систем;
6. Проанализированы возможные способы передачи информации, при помощи различных каналов связи, рассмотрены их особенности и принцип действия;
7. Произведен технико-экономический анализ, возможных каналов связи, пригодных для передачи информации на пульт ДД ЦДС;
8. На основании технико-экономического анализа произведен выбор и обоснование вида телемеханики для связи с диспетчерским пунктом.

Для этой работы, была выбрана одна из основных систем изоляции, используемая в распределительных электрических сетях среднего напряжения. Большинство кабелей среднего напряжения, используемых в России, на сегодняшний день, имеют либо бумажно-масляную изоляцию, либо изоляцию из сшитого полиэтилена. В ходе выполнения работы, были

рассмотрены основные процессы старения, в изоляционной структуре. Также, представлен краткий обзор методов анализа, использованных в экспериментальной части работы. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, рассматриваемые в этой работе, были взяты из нормальной окружающей среды, а именно, были установлены на кабельных стойках в коллекторе. На основании результатов этого исследования, можно сделать следующие выводы относительно кабелей среднего напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена:

Возраст кабеля, не взаимосвязан с измеренными диагностическими переменными. Продолжительный срок службы кабеля, не является прямым доказательством, неудовлетворительного состояния изоляции кабельной линии.

Результаты инфракрасной спектроскопии, а именно наличие карбонильного индекса  $A$ , указывают на взаимосвязь с уровнем выдерживаемого напряжения кабеля. Результаты показывают, что анализ FTIR, может использоваться для оценки состояния кабеля. Кабели, даже без внешней защитной оболочки, при использовании в не агрессивной среде, находятся в хорошем состоянии даже после 30 лет эксплуатации.

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, в этом исследовании, не имели защиты от влаги и использовались в благоприятных условиях окружающей среды. Аналогичное исследование, фокусирующееся на уровнях выдерживаемого напряжения и спектрах FTIR, должно проводиться на кабелях, установленных на земле, и сухих кабелях с защитой от воды.

Фактор влияния температуры проводника, на содержание карбонила, в кабелях с изоляцией из сшитого полиэтилена - недостаточно изучен. Этот фактор, может являться достаточно важной информацией, для планирования городских сетей в будущем, когда спрос на электроэнергию в летний период возрастет.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок [Текст]: все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2016 года. Москва: КноРус, 2016. - 487 с.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Текст]: [приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 13 января 2003 г. № 6 "Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей"]. М.: Энас, 2015. – 280 с.
3. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок [Текст]: приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24 июля 2013 г., № 328н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок". Москва : Омега-Л, 2014. - 139 с.
4. Шведов Г.В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 268с.
5. Степанов В.М., Борисов П.А. Методы местонахождения повреждённых участков кабельных линий напряжением 35-500кВ // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2010. – Вып.3. – Ч.5. – С.94-97.
6. Таранов М. А. Эксплуатация электрооборудования. М.: Форум, 2016. – 176 с.
8. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. М.: Энергоатомиздат, 1982. - 310 с.
9. Определение места короткого замыкания на линиях распределительных сетей в объеме функций микропроцессорных токовых защит / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, О. А. Гурьянчик // Энергетика.
10. Электроснабжение: курсовое проектирование : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Агроинженерия" / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова ; под общ. ред. Г. В. Коробова. - Изд. 3-е, испр. и доп. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2014. - 191 с.

11. Степанов В. М., Борисов П.А. Диагностика технического состояния силовых кабельных линий напряжением 35-500кВ // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2011. – Вып.6. – Ч.1. – С.66-71.
12. Готман В.И. Короткие замыкания и несимметричные режимы. [Текст]: учеб. для вузов. М: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 240 с.
13. Принципы построения электрических сетей напряжением 10—0.4 кВ [Электронный ресурс] // <http://forca.ru/> : энергетика: оборудование, документация. URL: <http://forca.ru/knigi/arhivy/ekspluatatsiyaelektroustanovok-v-selskom-hozyaustve-7.html> (дата обращения 25.02.2020)
14. Балдин М. А. Основное оборудование электрических сетей. Справочник. М.: Энас, 2014. – 206 с. 15. Тарасов К.В. Использование индикаторов короткого замыкания в распредсетях 6 – 10 кВ // Электроэнергия: Передача и распределение. - 2014 . - №4 (25). С.75-76
16. Короткие замыкания и выбор электрооборудования. [Электронный ресурс] / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2012. — 568 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72231> (дата обращения 25.02.2020)
17. Кривоногов Н.А., Маклаков В.П., Потапов Л.А. Общая электротехника: учеб. пособие. Ростов н/Д.: Феникс, 2016. - 223 с.
18. 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.
19. Ульянов С. А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. М.: Энас, 2012 – 519 с.
20. 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.: University of Technology, Department of Electrical Engineering, 2007. P. 552–555.

21. Электромагнитные переходные процессы с нарушением симметричной работы СЭС: учеб. метод. пособие для курсового проектир. / В.В. Сенько. Тольятти: ТГУ, 2007. – 40 с. 22. Jozef Kudelcik, Miroslav Gutten, Martin Brandt Development of Electrical Breakdown in Transformer Oil. Czech Republic: VSB-Technical University of Ostrava, 2006. P. 277-280

23. Current Transformer TG (72.5 - 800 kV) [Электронный ресурс] / URL: <http://new.abb.com/high-voltage/instrument-transformers/current/tg> (дата обращения 25.02.2020).

24. Transient Stability of the Power System with the Exact Long Transmission Line Model [Электронный ресурс] / URL: <https://doaj.org/article/019f77211f6a4e03aab02108b0d52411> (дата обращения 17.12.2019).

25. The Losses at Power Grid Caused by Small Nonlinear Loads [Электронный ресурс] / URL: [http://www.journal.ftn.kg.ac.rs/Vol\\_10-1/19-Stevanovic-Petkovic.pdf](http://www.journal.ftn.kg.ac.rs/Vol_10-1/19-Stevanovic-Petkovic.pdf) (дата обращения 17.12.2019).

26. Назаров А.В. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебное пособие. СПб.: Наука и техника, 2007. - 627 с.

27. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования. Учебное пособие / Н.В. Грунтович. М.: Инфра-М, 2015. - 271 с.

92

28. Телеконтроль и телеуправление. Учебное пособие. / А.Г. Горюнов, С.Н. Ливенцов, Ю.А. Чурсин. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. - 130 с. 29. Надежность электроснабжения: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 140200 "Электроэнергетика" и специальности 140211 "Электроснабжение" / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов. Москва: Форум, 2014. - 126 с.

30. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи. СПб: БХВ-Петербург, 2010. - 278с.

31. Software System for Finding the Incipient Faults in Power Transformers [Электронный ресурс] / URL: <https://doaj.org/article/01633a9c5a2441cf90ec26c35df3e719> (дата обращения 11.12.2019).

32. Wadhva C. L. Electrical power systems. – 7th ed - New Age International Publishers, 2016. – 970 p. 33. Wilhelm Rojewski Marian Sobierajski The Effect of Phase-to-earth Faults on the Operating Conditions of a Separated 110 kV Grid Normally Operated with Effectively Earthed Neutral, and Temporarily Supplied from a Compensated 110 kV Grid.: Poland: ENERGA SA, 2015. P. 114-117

34. Smart meters – foundation of the smart energy future [Электронный ресурс] / URL: <https://www.engerati.com/article/what-virtualsynchronous-generation-means-distributed-generation> (дата обращения 11.12.2019)

35. Крайнов С.М. Применение кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в распределительных кабельных сетях 10 кВ// Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов: ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2019. -С.99-100.

36. Крайнов С.М, Халиков И.Р. Применение интеллектуальных систем в сфере электроснабжения// Наука и научный потенциал - основа устойчивого инновационного развития общества: Сборник статей Международной научно-практической конференции, г.Таганрог, 2020. -С.34-37.

37. Халиков И.Р, Крайнов С.М. Обзор перспективной, интеллектуальной системы онлайн мониторинга подстанций// Теоретические и практические аспекты формирования и развития "новой науки": Сборник статей Международной научно-практической конференции, г.Калуга, 2020. - С.31-34.

38. Дрозд, В.В. Релейная защита и автоматика в электрических сетях. Москва: Альвис, 2012. 639 с.

39. Дорохин, Е.Г. Основы эксплуатации релейной защиты и автоматики. Книга 2. Оперативное обслуживание устройств РЗА и вторичных цепей. Краснодар: Советская Кубань, 2012. 432 с.

40. Вахнина, В.В. Применение ГИС-технологий для моделирования системы электроснабжения города / В.В. Вахнина, В.А. Шаповалов, А.Н. Черненко // Федоровские чтения - 2011; сборник трудов XLI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием); под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. - М.: Издательский дом МЭИ, 2011. - С. 121 – 123.

41. Вахнина, В.В. Модель дифференциальной токовой защиты силового трансформатора / В.В. Вахнина, Н.А. Черненко // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: сборник трудов IV Международной научно-технической конференции: в 2 ч. - Тольятти: Изд-во ТГУ, 2012. - 4.2. - С. 16-19.

42. Киреева Э.А., Цырук С.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2016. - 287 с.

43. Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб. - метод. пособие. Тольятти: ТГУ, 2007.

44. Производство диспетчерских щитов, видеостен и систем телемеханики. Проектирование, монтаж, пуско-наладка систем диспетчеризации и промавтоматики. Продажи оборудования промышленной автоматики и электронных компонентов. [Электронный ресурс]. – URL: <http://poiskcompany.ru/> (дата обращения 25.03.2020).

45. Мировой эксперт в управлении энергией и автоматизации | Schneider Electric [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.schneider-electric.ru/ru/>. (дата обращения: 26.03.2020).

46. Релейная защита распределительных сетей 6-10 кВ. [Электронный ресурс]. – URL:



[http://www.mtrele.ru/files/project/raschet\\_ustavok/relejnaya\\_zashchita\\_raspredeliteln\\_yh\\_setej.pdf](http://www.mtrele.ru/files/project/raschet_ustavok/relejnaya_zashchita_raspredeliteln_yh_setej.pdf). (дата обращения 26.03.2020).

47. Radmanesh H., Rostami M. Effect of Circuit Breaker Shunt Resistance on Chaotic Ferroresonance in Voltage Transformer, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, ISSN: 1582-7445 (Print); 1844-7600 (Online), Vol.10, No. 3, 2010, pages 71-77.

48. Raju Basak, Arabinda Das, Amarnath Sanyal, Cost Optimal Design of a Single-Phase Dry Power Transformer, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics*, ISSN: 2089-3272, Vol 3, No 4, January 2015, pages 261-266.

49. Ranjith Kumar M., Kumaraswamy D. High-Power Transformer-Less Wind Energy Conversion System with Permanent Magnet Wind Generator, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, September 2014, pages 250-254.

50. Васильева Т.Н. Надежность электрооборудования и систем электроснабжения [Текст]: учебник для студентов высшего образования. – Научное издание. - М.: Горячая линия-Телеком, 2017.- 152с.-ISBN 978-5-9912-0468-2.