

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО

«Сибирский федеральный университет»

институт

«Электроэнергетика»

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Г. Н. Чистяков

подпись

инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2021 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Сравнительный анализ эффективности методов поиска повреждений

в сетях 10 кВ

тема

Руководитель _____

подпись, дата

_____ доцент, к.т.н

должность, ученая степень

Е.В. Платонова

инициалы, фамилия

Выпускник _____

подпись, дата

Р.С. Щекин

инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____

подпись, дата

И.А. Кычакова

инициалы, фамилия

Абакан 2021

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО

«Сибирский федеральный университет»

институт

«Электроэнергетика»

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Г. Н. Чистяков

подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2021 г.

**ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в виде бакалаврской работы**

Студенту _____ Щекину Роману Сергеевичу _____

(фамилия, имя, отчество студента)

Группа 3-16 _____ Направление _____ 13.03.02 _____

(код)

_____ «Электроэнергетика и электротехника» _____

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы: Сравнительный анализ эффективности методов поиска повреждений в сетях 10 кВ

Утверждена приказом по университету № _____ от _____

Руководитель ВКР: Е.В. Платонова, доцент каф. «Электроэнергетика», к.т.н.

(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР: Данные из журналов учета аварийных отключений Минусинского участка АО «КрасЭКо»

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

Введение

1. Основные принципы и средства определения мест повреждений в электрических сетях

1.1 Общие сведения

1.2 Относительные методы определения повреждений в кабельных сетях

1.3 Абсолютные методы определения повреждений в кабельных сетях

2. Обзор статистики технологических нарушений и аварийных отключений на объектах минусинского участка минусинского филиала АО «КрасЭКо» за период с 2017 по 2020 гг.

3. Мероприятия по повышению эффективности определения мест повреждений и снижению числа аварийных отключений

3.1 Применение индикаторов коротких замыканий (ИКЗ)

3.2 Виды применяемых ИКЗ

3.3 Телемеханизация сигналов ИКЗ

3.4 Каналы связи телемеханических систем

3.5 Телесигнализация на основе охранной сигнализации

3.6 Экономический эффект от внедрения ИКЗ

Заключение

Список использованных источников

Перечень обязательных листов графической части:

1. Э1 Диаграммы процентного соотношения недоотпуска электроэнергии и отключенных потребителей

2. Э2 Схема электрических соединений участка РП 5-2 г. Минусинска с установленными ИКЗ

3. Э3 Диаграмма технологических нарушений по месту их возникновения

Руководитель ВКР _____

(подпись)

Е.В. Платонова

(инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению _____

(подпись)

Р.С. Щекин

(инициалы и фамилия)

« ____ » _____ 2021г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Сравнительный анализ эффективности методов поиска повреждений в сетях 10 кВ» содержит 56 страниц текстового документа, 27 использованных источников, 40 рисунков, 6 таблиц, приложений нет.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, НАДЕЖНОСТЬ, АНАЛИЗ, ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ, ИНДИКАТОРЫ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.

Объект исследования – распределительные сети 0,4-10 кВ Минусинского филиала АО «КрасЭКо».

Методы исследования – статистическая обработка данных.

Основной целью выпускной квалификационной работы является разработка предложений по повышению надежности электроснабжения, в частности снижения времени аварийных отключений и недоотпуска электроэнергии путем применения индикаторов коротких замыканий и средств телемеханизации.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- Анализ известных методов места определения повреждений в сетях 10 кВ.

- Обзор технологических нарушений за период с 2017 по 2020 на минусинском участке Минусинского филиала АО «КрасЭКо».

- Мероприятия по повышению эффективности ОМП в сетях 10 кВ.

В процессе работы был произведен анализ отключений, времени перерывов электроснабжения и недоотпуска электроэнергии; предложены мероприятия по повышению надежности; произведен анализ экономической эффективности предложенных мероприятий.

Данная работа актуальна для электросетевых организаций, стремящихся повышать надежность сетей. Проведенный анализ может быть полезен при обслуживании и проектировании электрических сетей.

THE ABSTRACT

The final qualification work on the topic "Comparative analysis of the effectiveness of methods for finding faults in a 10 kV network" contains 56 pages of a text document, 27 sources used, 40 figures, 6 tables, no attachments.

POWER SUPPLY, RELIABILITY, ANALYSIS, RELIABILITY INDICATORS, SHORT CIRCUIT INDICATORS.

The object of the research is the distribution networks of 0.4-10 kV of the Minusinsk branch of KrasEKO JSC.

Research methods - statistical data processing.

The main final qualifying work is the development of indicators for increasing the reliability of power supply, in particular, reducing the time of emergency outages and undersupply by using short-circuit indicators and telemechanics.

Tasks of the final qualifying work:

- Analysis of known methods of location determination in a 10 kV network.
- Overview of technological violations for the period from 2017 to 2020 at the Minusinsk section of the Minusinsk branch of KrasEKO JSC.
- Measures to improve the efficiency of location of damage in the 10 kV network.

In the course of the work, an analysis of outages, time of interruptions in power supply and undersupply of electricity was made; measures to improve reliability are proposed; the analysis of the economic efficiency of the proposed measures is made.

This work is relevant for power grid organizations seeking to improve the reliability of networks. The analysis performed can be useful in the maintenance and design of electrical networks.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. Основные принципы и средства определения мест повреждений в электрических сетях.....	9
1.1 Общие сведения.....	9
1.2 Относительные методы определения повреждений в кабельных сетях	12
1.2.1 Импульсный метод.....	13
1.2.2 Метод колебательного разряда	16
1.2.3 Метод петли	19
1.2.4 Емкостной метод	22
1.3 Абсолютные методы определения повреждений в кабельных сетях	25
1.3.1 Индукционный метод	25
1.3.2 Акустический метод	27
1.3.3 Метод накладной рамки	28
2. Обзор статистики технологических нарушений и аварийных отключений на объектах Минусинского участка Минусинского филиала АО «КрасЭКо» за период с 2017 по 2020 гг	29
3. Мероприятия по повышению эффективности определения мест повреждений и снижению числа аварийных отключений.....	38
3.1 Применение индикаторов коротких замыканий (ИКЗ).....	38
3.2 Виды применяемых ИКЗ	39
3.3 Телемеханизация сигналов ИКЗ	41
3.4 Каналы связи телемеханических систем	43
3.4.1 Прямые провода	43
3.4.2 Силовые линии связи.....	44
3.4.3 Радиосвязь.....	45
3.5 Телесигнализация на основе охранной сигнализации	46
3.6 Экономический эффект от внедрения ИКЗ	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	54

ВВЕДЕНИЕ

Воздушные и кабельные линии напряжением 10 кВ являются основной и самой распространенными линиями электрических сетей. Именно поэтому в таких линиях наиболее часто происходят и будут происходить аварийные ситуации, вне зависимости от качества эксплуатируемого оборудования наиболее частой причиной таких явлений будут природные катаклизмы и человеческий фактор.

Целью данной бакалаврской работы является повышение надежности электроснабжения потребителя, а также повышение скорости и качества аварийно-восстановительных работ.

Новизна и практическая значимость работы объясняется проведением анализа существующих методов отыскания повреждений в кабельных и воздушных сетях. Для того чтобы задефектовать поврежденную линию, необходимо производить измерения и переключения практически на каждой подстанции в цепочке. Производство данных работ объясняется неселективным действием защит подстанций по высокой стороне. Во время проектирования электроснабжения микрорайонов города, основными коммутационными аппаратами на трансформаторных подстанциях, по высокой стороне, были выбраны выключатели нагрузки. Данными устройствами возможно производить оперативные переключения только при токах, не превышающих номинальные. Соответственно, автоматического отключения, возникающего при повреждении какого-либо элемента, не предусматривается. Ближайшие основные и резервные релейные защиты установлены на распределительных пунктах, где электрическая энергия распределяется между цепочками трансформаторных подстанций. Данная система нашла в себе весомое технико-экономическое обоснование, так как обслуживание данных подстанций намного дешевле, чем подстанций с силовыми выключателями и сложноотстраиваемой релейной защитой. Однако в такой системе имеются и недостатки, решение которых требует применения особых методик, а также большего времени для этого. Повреждение кабеля в цепочке подстанций вызывает срабатывание защит на распределительном пункте и происходит отключение всей цепочки подстанций. Вследствие этого, поврежденный участок электрической сети последовательно определяется с применением сторонних методов, которые могут занимать продолжительное время. Более того, однофазные короткие замыкания в сетях с изолированной нейтралью не являются серьезным повреждением и релейные защиты в данном случае срабатывают только на сигнал. Такой режим работы допустим на определенное время, согласно инструкциям, поэтому отыскание данного повреждения занимает гораздо большее время. В этом случае могут быть

использованы различные методики, которые должны быть прописаны в производственных инструкциях компании.

Применение индикаторов короткого замыкания позволит определить поврежденный участок электрической линии за короткий промежуток времени. Особенное значение в работе по электроснабжению данные индикаторы будут представлять для потребителей третьей категории электроснабжения. В результате аварийно-восстановительные работы занимают меньше времени и тем самым убыстряется нормальное электроснабжение потребителей. Увеличение данных показателей повышает надежность электроснабжения.

Задачи, решаемые в работе:

- Анализ известных методов определения мест повреждений в сетях 10 кВ.

- Обзор технологических нарушений за период с 2017 по 2020 гг. на Минусинском участке Минусинского филиала АО «КрасЭКо».

- Мероприятия по повышению эффективности ОМП в сетях 10 кВ.

В процессе выполнения ВКР были достигнуты следующие результаты:

- выполнен анализ аварийных отключений и их причин и величины недоотпуска электроэнергии;

- предложены мероприятия по повышению надежности;

- исследовано сравнения основных показателей надежности до и после внедрения мероприятий по повышению надежности электроснабжения.

1. Основные принципы и средства определения мест повреждений в электрических сетях

1.1 Общие сведения

Городские электрические сети должны удовлетворять ряду требований, а именно:

- Надежность электроснабжения потребителей. Одно из основных требований к городским электрическим сетям. Так как в состав обслуживаемых предприятий входят и потребители первой категории, то это требование является и самым важным. Надежность электроснабжения потребителей первой категории обеспечивается наличием автоматизированного резервного ввода, срабатывание которого происходит за время менее секунды. Таким образом питание потребителей является бесперебойным. Надежность потребителей второй категории объясняется возможностью перевода нагрузки на резервный ввод на время необходимое для производства данных переключений. Повреждение же обеих линий электропередач оставит без напряжения потребителей как первой, так и второй категории. Таким образом, надежность электроснабжения потребителей и первой и второй категорий будет зависеть от быстроты определения поврежденного участка и производства аварийновосстановительных работ.

- Качество электрической энергии. Параметры данного требования регламентируются ГОСТ, а также внутренними регламентами и инструкциями компании. К данным показателям в электросетевых компаниях в основном относят отклонения по частоте и по напряжению от номинального значения. Внутренние инструкции не противоречат государственным стандартам, а, наоборот, ужесточают эти допустимые диапазоны отклонения в меньших пределах.

- Техничко-экономическая обоснованность электроэнергетического оборудования. Расходы на обслуживание, эксплуатацию и ремонт должны быть целесообразны, соответственно, принимаемые решения обосновываются как с технической, так и с экономической точки зрения.

- Безопасность эксплуатации. Сооружения электроэнергетики, а именно: линии электропередач, трансформаторные подстанции и распределительные пункты должны удовлетворять нормам ГОСТ для их безопасного обслуживания.

В настоящее время для определения мест повреждения воздушных и кабельных линий электропередачи в России и за рубежом разработано большое количество приборов, основанных на различных физических

принципах действия. При выборе прибора для конкретной задачи необходим анализ потенциальных возможностей этих приборов. Поэтому необходим анализ методов и средств определения вида и мест аварии по некоторым классификационным признакам.

В настоящее время известно большое количество различных методов ОМП. Как видно из рисунка 1.1, в зависимости от организации контроля аварийных режимов данные методы подразделяются на дистанционные и топографические [1].

В дистанционных методах используются физические принципы, которые основаны на изменении параметров физических величин на одном конце линии, вызванном аварийными режимами на участке линии. Дистанционные методы ОМП также классифицируются по используемым моделям электрических цепей: цепи с распределенными параметрами и цепи с сосредоточенными параметрами. На практике эти методы соответственно называются высокочастотными и низкочастотными. Низкочастотные методы используют частоты от нуля до нескольких килогерц, а в качестве моделей используются уравнения цепей переменного тока, составленные по законам Кирхгофа. Высокочастотные – десятки килогерц, а в качестве моделей используются уравнения в частных производных, которые на практике часто заменяются упрощенными схемами замещения.



Рисунок 1.1 - Общая классификация методов ОМП

Для обеспечения надежности электроснабжения нужно решать следующие задачи:

- повышение эффективности поиска и устранения мест повреждений электрооборудования;

- быстрое оповещение диспетчерского персонала о возникших неисправностях.

Проведение периодических осмотров, профилактических измерений и испытаний не гарантирует безотказной работы электрических сетей. В практической эксплуатации всегда имеют место случайные повреждения КЛ и ВЛ: однофазные и многофазные замыкания, обрывы кабелей и другие повреждения. Одной из важных задач эксплуатации является быстрое определение места повреждения и проведение ремонтно-восстановительных работ. При большой протяженности и разветвленности распределительных сетей указанная задача может эффективно решаться только при использовании специальных технических средств, определяющих поврежденную линию и расстояние до места повреждения.

При возникновении короткого замыкания, в линии, срабатывает релейная защита этого участка, изолируя тем самым место повреждения. Отключившееся оборудование должно быть осмотрено [3]. В распределительных сетях защита сетей среднего напряжения предусматривается только на распределительных пунктах (РП). Таким образом, выключатель отключившийся на РП обесточит всю цепочку запитанных от него трансформаторных подстанций.

Прибывший на место срабатывания релейной защиты оперативный персонал осматривает отключившееся оборудование и докладывает непосредственному руководителю необходимую для дальнейших действий информацию [3]. Если подключенные подстанции (ТП) однострановые и питающая линия одна, то потребитель остается без электричества на весь период ликвидации аварии. При двухлучевой системе питания отключившуюся поврежденную линию можно резервировать, выполнив необходимые переключения на трансформаторных подстанциях [4]. На данном рисунке показан только средний класс напряжения, трансформаторы в ТП и другое низковольтное оборудование на схему не нанесено. Поэтому первоочередной задачей в резервируемых распределительных сетях является восстановление электроснабжения потребителей. До выполнения данных мероприятий схема отключившегося выключателя должна быть разобрана для исключения его самопроизвольного и ошибочного срабатывания [5]. После того как все потребители запитаны производится определение поврежденного участка кабельной линии. Перед этим должны быть выполнены все необходимые технические и организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность данных работ. Поврежденная линия определяется по специальным приборам, измеряющим сопротивление изоляции (мегаомметр, указатель повреждения кабеля). Измерения производятся на выбранной ТП, обычно находящейся в середине цепочки, в обе стороны. Измерения продолжаются пока поврежденный

участок не будет локализован. После этого уже может быть определена целесообразность изменения схемы электроснабжения методом оперативных переключений.

Данный метод позволяет определить поврежденную между подстанциями линию. Если цепочка подстанций небольшая, то определение так называемой "зоны" повреждения может занять непродолжительное время, но в цепочке из пяти и более подстанций, необходимое время этих работ может затянуться на часы.

1.2 Относительные методы определения повреждений в кабельных сетях

Дальнейшие работы по отысканию места короткого замыкания уже производятся электротехнической лабораторией. Для наиболее успешного и точного определения места повреждения кабельной линии, необходима информация о характере повреждения [6]. По характеру возникновения, повреждения в кабельных сетях могут быть устойчивыми и неустойчивыми. Устойчивыми повреждениями являются короткие замыкания (КЗ), низкоомные утечки и обрывы. К неустойчивым повреждениям относятся заплывающие пробой, увлажнения места нарушения изоляции и другие.

Определение места повреждения в кабельных линиях – это взаимосвязанные операции, требующие решения отдельных видов задач. Основными операциями же являются - отыскание зоны повреждения и отыскание самого повреждения на участке кабельной линии. Прежде чем определять место повреждения, отыскивается зона (участок кабельной линии) с целью ускорения и повышения точности работы. При этом используются как относительные (неточные), так и абсолютные (точные) методы определения повреждения кабельных сетей [7].

Успешное решение операции относительными методами, а именно определение зоны нахождения места повреждения, позволяет значительно сократить время и трудоемкость точного определения повреждения, так как зона обследования кабельной линии значительно становится меньше. Это наиболее актуально для городских кабельных сетей. При этом, сначала прибором, используемым при относительном методе, определяют зону нахождения повреждения, а затем более точными приборами, в зоне нахождения места повреждения, определяют точное местонахождение повреждения [8].

Основными методами определения зоны повреждения кабельных линий являются:

- импульсный метод;
- метод колебательного разряда;

- метод петли;
- емкостной метод.

1.2.1 Импульсный метод

С помощью импульсного метода определяются однофазные и многофазные замыкания, а также любые обрывы токоведущих жил. Современные приборы достаточно точны чтобы определить зону повреждения. Суть метода состоит в улавливании отраженных импульсов, посылаемых от подключаемого к кабельной линии импульсного генератора. В состав данной установки входит блок управления, генератор импульсов, приемник и графический индикатор. Подключение этого прибора к кабелю показано на рисунке 1.2.

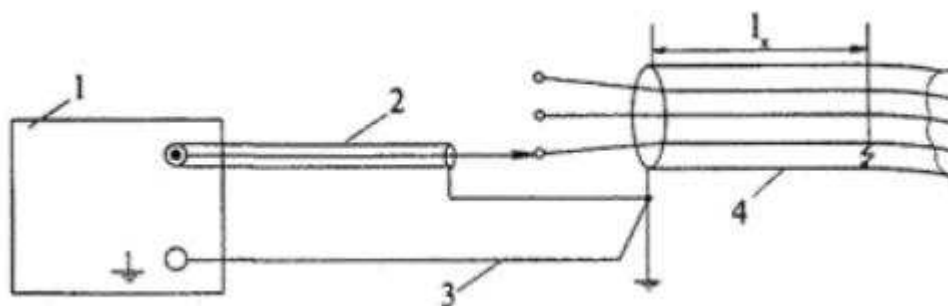


Рисунок 1.2 – Подключение импульсного прибора к кабельной линии [7]

В современных установках генерация импульсов, прием сигналов и индикация выполняются в одном устройстве (рисунок 1.2) основными составными частями которого являются 1 – подключаемый прибор, 2 – соединительный кабель, 3 – защитное заземление прибора. Цифрой 4 на рисунке 1.2 обозначен силовой кабель, на котором будут проводиться работы.

В процессе работы производят следующие операции:

- зондирование кабеля импульсным напряжением (зондирующие импульсы подаются в линию с импульсного генератора);
- прием импульсов, отраженных от места повреждения (отраженные импульсы поступают с линии в приемник, в котором производятся необходимые преобразования над ними);
- выделение отражений от места повреждения на фоне помех;
- определение расстояния до повреждения по временной задержке отраженного импульса относительно зондирующего (производятся так же в приемнике и выводятся на графическом индикаторе).

Дело в том, что возникшие повреждения в кабеле заметно уменьшают его сопротивление. К этим повреждениям относят устойчивые короткие

замыкания, где имеется электрическая связь между фазами или между фазами и землей. Заплывающие пробой не относят к этой категории, потому что их сопротивление изменяется в зависимости от приложенного напряжения и нагрузки. Как правило при этих повреждениях сопротивление в кабеле превышает 200 Ом. Устойчивые же замыкания снижают это сопротивление до минимума и тем самым вызывают неоднородности характеристик кабеля. Как только импульсный прибор подключен и готов к работе можно производить рефлектомерию. Зондирующие сигналы, генерируемые прибором, проходят внутрь токоведущей кабельной жилы. Вследствие неоднородности сопротивления кабельной линии, происходит отражение зондирующих импульсов и возврат их в приемник прибора [8].

Полученная зависимость на графическом индикаторе анализируется оператором и определяется по ней наличие повреждения и расстояние до него. Расстояние до места повреждения определяется с помощью времени и скорости. Время прохождения импульса необходимо разделить на два, так как это время до места повреждения и обратно к генератору импульса (1).

$$L_x = t_x \cdot \frac{v}{2}. \quad (1)$$

Скорость импульса практически неизменяема (для сетей 10 кВ она составляет 160 м/мкс). Таким образом эта зависимость расстояния от времени, называемая рефлектограммой, показывает реакцию линии на зондирующий импульс (рисунок 1.3).

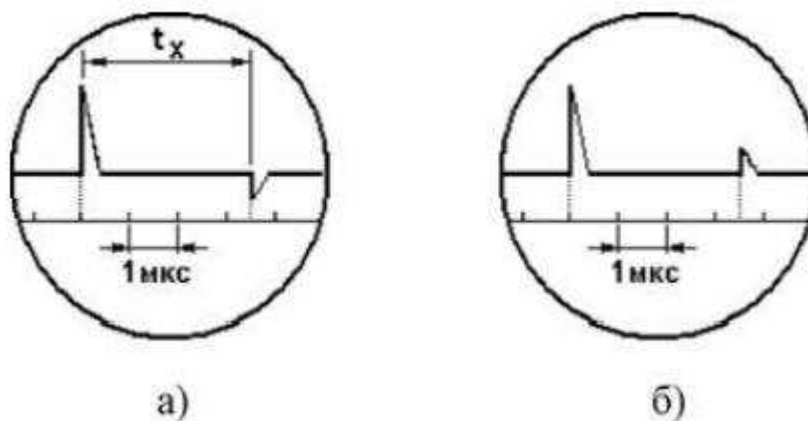


Рисунок 1.3 – Показания прибора при определении зоны повреждения кабельных линий: а) при коротком замыкании; б) при обрыве [7]

Более того по знаку отраженного импульса определяется характер повреждения. Отрицательный импульс говорит о замыкании, а положительный о повреждении типа обрыв. Начальный импульс так же

отображается на приборе. Небольшие же отражения вызваны неоднородностью волнового сопротивления в кабельных муфтах. При расшифровке рефлектограммы все эти значения учитываются и анализируются.

Основными преимуществами данного метода является быстрота и наглядность, так как достаточно произвести измерения на одном конце линии, не производя никаких действий на другом конце, но в качестве относительного метода, в сложных городских сетях этот метод не является действенным. На рисунке 1.4 показана принципиальная однолинейная схема трассы кабельной линии.

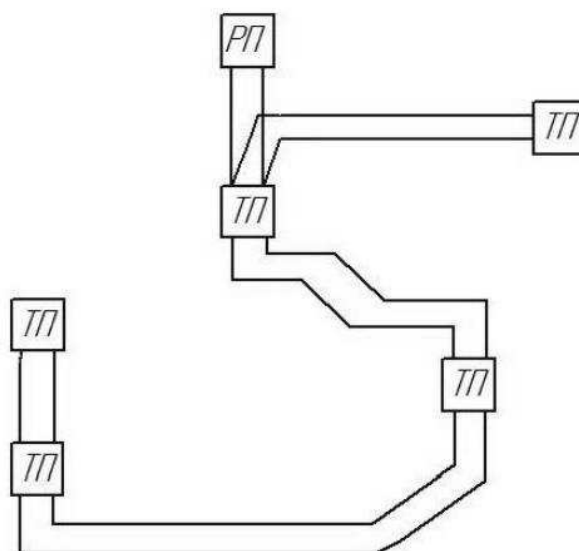


Рисунок 1.4 – Однолинейная схема трассы кабельной линии

При использовании данного прибора с распределительного пункта (РП) определить зону повреждения очень сложно, так как в городских условиях кабельная трасса представляет из себя множество поворотов и без использования специальной карты определить на каком расстоянии возникло повреждение попросту невозможно. Данный способ может быть целесообразно применен в качестве абсолютного метода, когда зона уже выгорожена и повреждение нужно найти на строго огороженном участке. Поэтому определение зоны места повреждения кабельной линии импульсным методом в данном случае не является быстрым и целесообразным.

Таким образом, импульсный метод имеет следующие достоинства:

- Расстояние до места повреждения отсчитывается непосредственно по экрану.
- Возможность измерения при любом сложном характере повреждения (при условии, что переходное сопротивление не будет превышать 200 Ом).
- Удобство, простота и быстрота измерений.

К недостаткам импульсного метода можно отнести:

- Проблемы при получении отраженного импульса оптимальной формы, длительности и амплитуды.
- Требовательность в дорогом оборудовании.

1.2.2 Метод колебательного разряда

Метод колебательного разряда предназначен для определения расстояния до места повреждения в кабельных линиях, при заплывающем пробое или, когда в месте повреждения происходят электрические разряды.

Такие повреждения носят характер "переменного" сопротивления изоляции. При заплывающем пробое кабель ведет себя как неповрежденный, но при прохождении по нему повышенного напряжения, происходит пробой [9]. Посылаемый при этом электрический сигнал, а именно пробивное напряжение, будет иметь специфику затухающих колебаний. Под воздействием повышенного напряжения будут происходить пробои в кабеле. Их возникновение осуществляются друг за другом и продолжаются через разные промежутки времени. Снижение испытательного напряжения приводит к прекращению пробоев. Изоляция кабеля так же может восстанавливаться через какое-то время и для возникновения пробоя поврежденного участка необходимо будет повышать испытательное напряжение. Наиболее распространен заплывающий пробой в соединительных муфтах [7].

Метод колебательного разряда так же называют волновым, так как возникновение пробоя в месте повреждения вызывает появление в кабельной линии волновых процессов, при протекании в ней тока. Эти процессы, как и любые электромагнитные колебания, характеризуются периодом распространения. По этой характеристике возможно определить место до поврежденного участка. При данном методе используется прибор, основными составными элементами которого являются: источник высокого напряжения и сопротивление, величина которого значительно больше волнового сопротивления линии. В кабельную линию подается напряжение, которое ступенчато повышают. Тем самым происходит возникновение разряда, носящего характер затухающих колебаний. Измеряя период свободных колебаний, определяют расстояние до места повреждения кабеля по формуле (2)

$$L_x = v \cdot \frac{T}{4}, \quad (2)$$

где v - скорость распространения волны в кабельной линии, T - период свободных колебаний.

Чтобы определить место повреждения, по данному методу, необходимо линию доводить до состояния пробоя. Производится это повышенным напряжением. Возникающие сигналы, генерируемые высоковольтным генератором импульсов, являются импульсом разрядов, возникающих в месте короткого замыкания.

При подаче высокого напряжения на зажимы кабеля в месте пробоя возникает равная, по величине, и противоположная по знаку волна и спустя считываемое время она достигает конца кабеля. Полярность же напряжения, на участке откуда происходят измерения, меняется на положительное, так как коэффициент отражения в месте короткого замыкания отрицателен. Волна, при отражении от конца кабеля, снова распространяется к месту повреждения, без изменения полярности. Время ее распространения при этом увеличивается в два раза с момента пробоя. Далее, уже за время $3t$ волна уходит к измеряемому концу и меняет свою полярность на отрицательную. За время $4t$ завершается волновой период при достижении волны места пробоя. Когда волна достигает измеряемого конца линии фронт электромагнитной волны отражаясь уходит в сторону возникновения короткого замыкания, так как выходные сопротивления источника и кабельной линии не равны. Далее волна снова достигает места повреждения и, отражаясь, движется к измеряемому концу кабельной линии. Продолжительность этого процесса определяется продолжительностью пробоя поврежденного участка. С помощью измерения изменений времени фронтов электромагнитных волн и определяется расстояние до места повреждения.

Следовательно, расстояние до места повреждения можно определить из выраженной пропорции (3), сравнивая двойной пробег волны.

$$t_3 - t_1 = \frac{2L_x}{v}, \quad (3)$$

где t_1 и t_3 , соответственно, время распространения волны. График зависимости напряжения от времени при данном колебательном процессе представлен на рисунке 1.5.

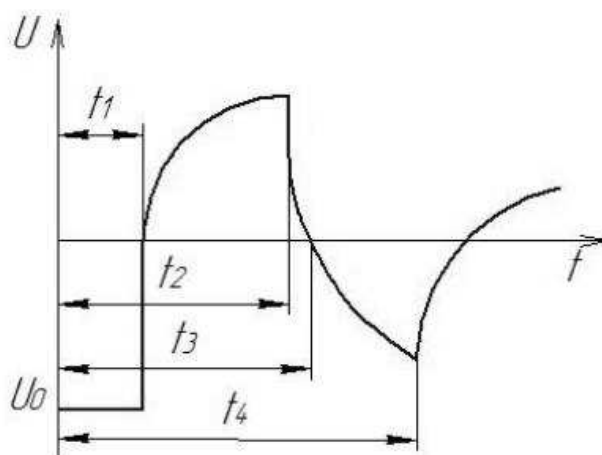


Рисунок 1.5 – График зависимости напряжения от времени при пробое кабеля.

Нередко для работы прибора, работающего по волновому принципу, требуется отдельное устройство присоединения по току (импульсного токопреобразователя) и высоковольтный импульсный генератор, представляющий из себя источник высокого напряжения, у которого на выходе имеется во включенном состоянии высоковольтный конденсатор, а так же специальный разрядник, с которого высоковольтные импульсы поступают в кабельную линию. Место повреждения кабельной линии, а именно расстояние до него, определяется автоматически специальным прибором. Принципиальная схема представлена на рисунке 1.6.

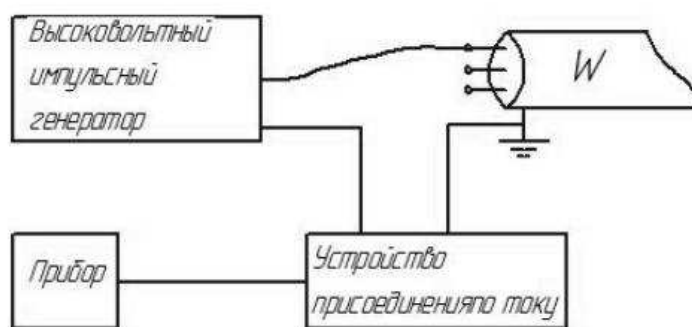


Рисунок 1.6 – Принципиальная схема подключения прибора при отыскании места повреждения зоны кабеля волновым методом.

Преимущество данного метода в том, что он является наиболее эффективным методом отыскания места повреждения при заплывающих пробоях в кабеле. Недостатками же являются: сложность анализа полученных импульсных характеристик и, так как заплывающий пробой есть процесс нестабильный, невозможность стабильного повторения волновых процессов,

приводящая к возможности появления ошибок измерения. Более того, так же как и с импульсным методом, здесь не решается процесс быстрого отыскания зоны, так как разветвленность городских кабельных сетей потребует пошагового проведения измерений с нескольких распределительных пунктов или подстанций.

Метод колебательного разряда позволяет определять сложные (с большим сопротивлением) и неустойчивые (заплывающие) места повреждений кабельных линий.

Недостатками метода является:

- Сложность анализа полученных импульсных характеристик при измерениях волновым методом.

- Вид этих характеристик зависит не только от характера повреждения и длины линии, но и от величины поданных импульсов, наличия или отсутствия пробоя в месте повреждения и т.д.

- Низкая разрешающая способность, то есть невозможность обнаруживать близко расположенные неоднородности.

- Отражения от неоднородностей вообще трудно различимы на импульсной характеристике КЛ, а отражения от соседних неоднородностей вообще сливаются друг с другом.

- По импульсной характеристике невозможно получить ориентировки, расстояние до которых известно (в виде отражений от муфт, кабельных вставок и т.д.)

- Большая погрешность измерения.

- Невозможность стабильного повторения волновых процессов, что может привести к появлению ошибок.

- Процесс пробоя является не очень стабильным, он в любой момент может прерваться и не повториться в том же виде.

1.2.3 Метод петли

Метод петли или петлевой метод Муррея применяется для поиска места короткого замыкания. При этом, обязательным условием использования данного метода является наличие хотя бы одной неповрежденной жилы кабеля. То есть возможное повреждение более чем двух жил приведет к неприменимости метода петли. Принцип метода Муррея основан на использовании схемы одинарного моста (рисунок 1.7).

Для того что бы схема правильно работала необходимо поврежденную и неповрежденную жилу кабеля соединить перемычкой на одном конце линии. Сечение перемычки при этом не должно быть больше сечения жил кабеля, так как ее сопротивление сильно влияет на точность измерений, так же как и

переходные сопротивления между контактами жилы и перемычки. Поэтому все соединения должны быть произведены тщательным образом.

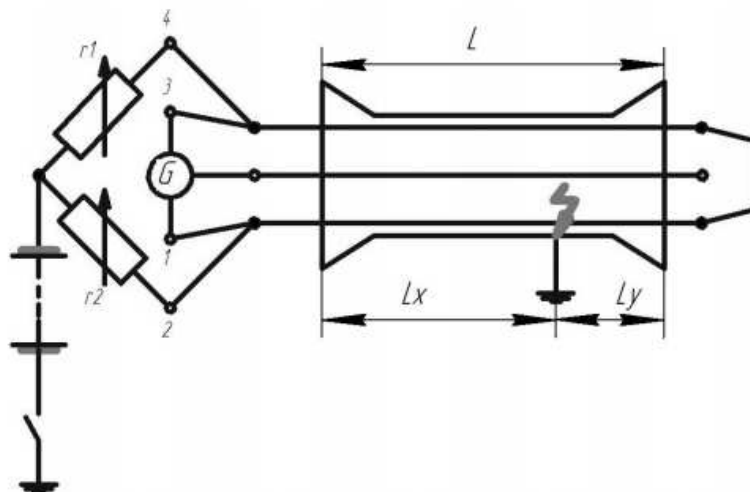


Рисунок 1.7 – Принципиальная схема измерительного моста постоянного тока

Схема представляет собой четырехплечевой мост в состав которого входят гальванометр (G), источник питания, регулируемые сопротивления (r_1 , r_2) и перемычка. Регулируемые сопротивления подключены так, что r_1 - есть регулируемое сопротивление неповрежденной жилы кабеля, а r_2 - есть регулируемое сопротивление поврежденной жилы кабеля. Гальванометр подключается к концам кабеля в месте где происходят измерения. L - это длина всей кабельной линии, а L_x , соответственно, длина от места подключения моста до места повреждения кабельной жилы. Источник питания представляет собой аккумуляторную батарею, чаще всего типа АКН-10-6. Если имеют место большие переходные контактные сопротивления, то используют сухие аккумуляторы другого типа.

Сопротивление участка кабеля R_x пропорционально длине этого участка L_x , то есть длине поврежденной жилы от измеряемого конца до места повреждения (рисунок 1.8). Соответственно сопротивление R_y пропорционально длине $L - L_x$.

Меняя значения r_1 и r_2 производится регулировка пропорциональных друг другу сопротивлений (4).

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{R_y}{R_x}. \quad (4)$$

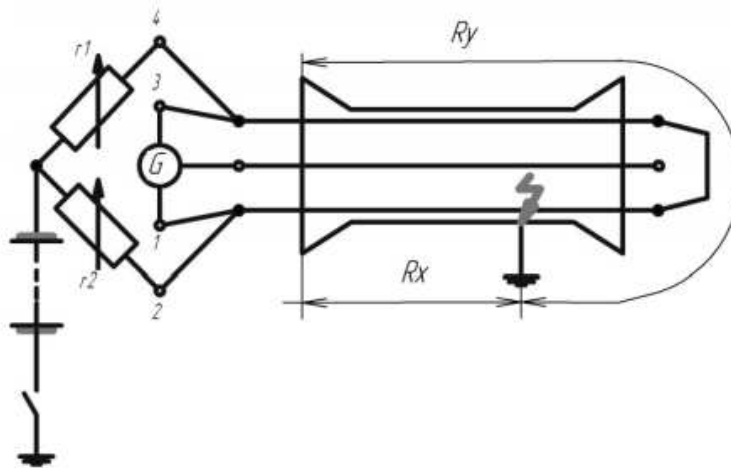


Рисунок 1.8 – Принципиальная схема измерительного моста постоянного тока.

Чтобы пропорция соответствовала регулировку производят до тех пор, пока показания гальванометра не будут равными нулю.

Расстояния L и L_x так же могут быть определены из пропорции, так как длины этих участков пропорциональны их сопротивлениям. По формуле (5) производится расчет длины до места повреждения:

$$L_x = \frac{2 \cdot L \cdot r_2}{r_1 + r_2}. \quad (5)$$

Если поменять концы проводов прибора и его стрелка отклоняется в обратную сторону, то это говорит о том, что короткое замыкание находится в начале измеряемой линии. Проверка точности измерений для данного метода производится так же с помощью моста. Для этого нужно поменять выводы проводов, идущих от прибора к кабелю и произвести операцию повторно. Результат нового измерения должен быть $L - L_k$. В результате этой выверки нужно суммировать полученные значения обоих измерений и сопоставить с длиной кабеля, умноженной на два. Если эти значения существенно отличаются, то погрешность превышает допустимые значения, что говорит о необходимости повторного проведения измерений. Перед тем как производить повторные измерения необходимо проверить все контакты в экспериментальной схеме [7].

Наиболее широкое распространение, в связи с техническими показателями по определению зоны повреждения кабельных линий получили приборы, работающие по принципу Муррея, в составе которых имеются мосты постоянного тока. Определение места повреждения возможно до замыкания одной или двух жил относительно оболочки, при переходном

сопротивлении постоянному току, в месте повреждения, не более 5 кОм. Точность измерений, а также чувствительность прибора зависят от подводимого питающего напряжения и переходного сопротивления изоляции в месте короткого замыкания. Следовательно, соотношения этих величин должны строго соответствовать этим параметрам и не находится в допустимых пределах отклонения от номинальных значений.

Анализируя данный метод определения зоны короткого замыкания, можно сделать вывод, что этот метод недостаточно точен. Петлевой метод был одним из самых первых методов определения места повреждения кабеля, соответственно, в современных системах электроснабжения его практичность ставится под сомнения. Более того, он так же недостаточно целесообразен в современных городских сетях, где требуется в короткие сроки определить зону повреждения и произвести секционирование, так как процесс определения повреждения достаточно трудоемок и занимает существенное количество времени. Так же границы применимости данного метода небольшие, в связи с тем, что при повреждении трех фаз схема уже нужным образом работать не будет и обычный обрыв жилы, без замыкания ее на оболочку, так же не может быть определен с помощью петлевого метода.

Петлевой метод является одним из самых первых расчетных методов ОМП, он имеет ряд недостатков:

- Недостаточно точен.
- Трудоемок.
- Не позволяет определить место обрыва жилы без ее замыкания на оболочку.

1.2.4 Емкостной метод

Емкостной метод служит для определения зоны повреждения кабельных линий. К данным видам повреждения, которые могут быть определены этим методом относятся обрывы одной или нескольких жил кабеля. Чаще всего такие повреждения возникают в соединительных муфтах. Как и в выше изложенных методах здесь определяется расстояние от измеряемого конца линии до места повреждения. Основывается данный метод на изменении емкости между кабельными жилами и броней (оболочкой) кабеля, которая должна быть заземлена. Емкость кабеля здесь непосредственно зависит от его длины. Экспериментальная установка может представлять из себя специальный мост на переменном токе, а также баллистический гальванометр на постоянном токе. На рисунке 1.9 представлена мостовая схема на переменном токе.

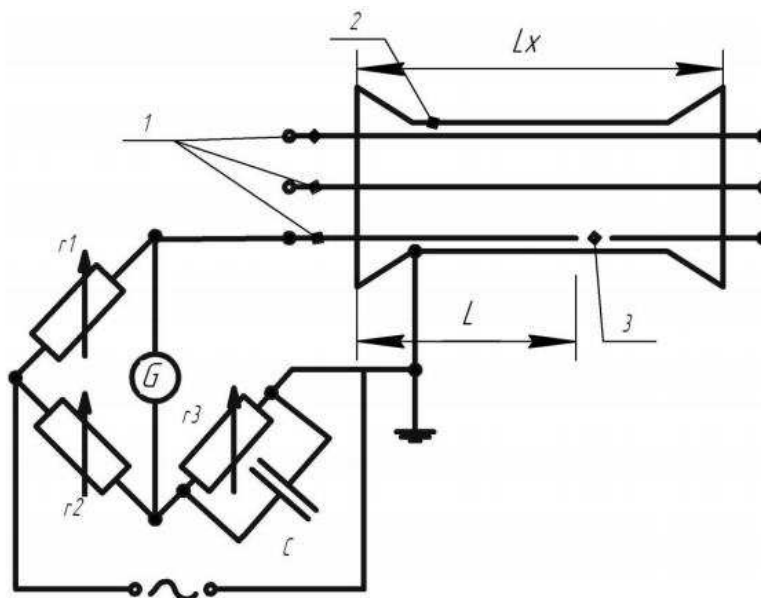


Рисунок 1.9 – Экспериментальная электрическая схема на основе моста переменного тока

Плечи моста образуют регулируемые сопротивления r_1 , r_2 , r_3 и эталонную емкость C , которые входят в состав схемы. На одну диагональ моста подводится переменное напряжение повышенной частоты, чаще всего звуковой, значение которой колеблется в пределах 1000 Гц. К другой диагонали подключается либо телефон, либо усилитель, работающий на переменном токе со стрелочным индикатором. Сопротивления r_1 и r_2 регулируют так, чтобы эталонная емкость и сопротивление r_3 были тождественно равны. То есть, в итоге, падения напряжений на сопротивлениях r_1 и r_2 должны быть практически равны по величине и фазе. В зависимости от подключаемого прибора, об этом может говорить либо минимальная слышимость, либо минимальное отклонение стрелки индикатора, т.е. выполняется тождество:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{C_x}{C}, \quad (6)$$

где C_x - это емкость измеряемой жилы, в которой произошло повреждение. С помощью данной пропорции, определяют емкость оборванной жилы (7):

$$C_x = C_0 \frac{r_1}{r_2}. \quad (7)$$

Так как длина кабеля пропорциональна его емкости, то расстояние до поврежденного участка находится по соотношению (8):

$$L = L_x \frac{C_3}{C_x}. \quad (8)$$

Аналогично емкость поврежденной кабельной жилы может быть определена с помощью баллистического гальванометра. Экспериментальная электрическая схема представлена на рисунке 1.10.

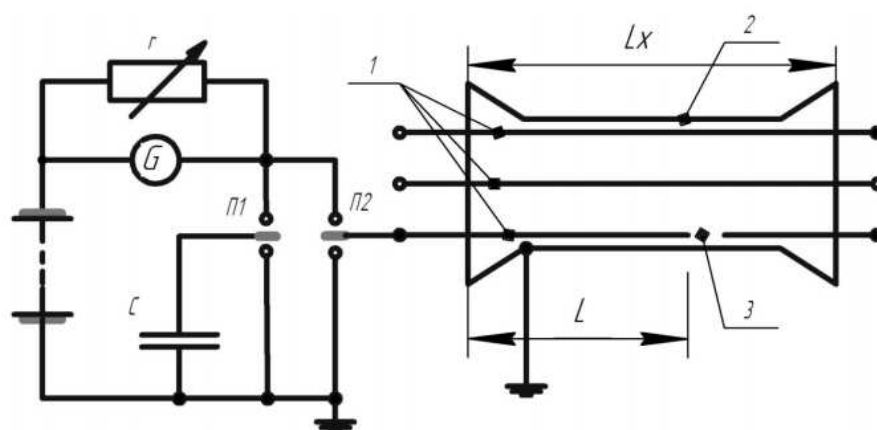


Рисунок 1.10 – Измерительная схема, содержащая баллистический гальванометр на постоянном токе.

С помощью сопротивления r производят регулировку чувствительности гальванометра. После того как чувствительность отрегулирована до минимальных значений, переключатель $\Pi 2$ устанавливают в положение, соответствующее замыканию кабельной жилы с верхним контактом переключателя. Зарядные токи, которые проходят при этом по схеме, фиксируются гальванометром, что соответствует отклонению его стрелки на угол α_1 . Далее, чтобы получить более точный замер, регулируемым сопротивлением повышают чувствительность гальванометра. Замеры производятся несколько раз, при этом, производя новый замер, измеряемую жилу необходимо разряжать каждый раз, устанавливая переключатель в положение, соответствующее соединению с землей. Из полученных замеров вычисляется среднее значение. Угол отклонения стрелки прибора α_2 определяется на эталонной емкости, при том же значении r . Емкость оборванной жилы при это будет равна:

$$C_x = C_3 \frac{\alpha_1}{\alpha_2}. \quad (9)$$

Эталонная емкость обозначена C_0 . Расстояние до места повреждения при этом определяется как:

$$L = C_0 \frac{L_0 \cdot C_1}{C_1 + C_2}, \quad (10)$$

где C_1 - есть емкость, измеренная с одного конца проверяемой жилы, C_2 - емкость, измеренная с противоположного конца измеряемой жилы. Данный метод обладает рядом недостатков, при сравнении его с современными методиками. Его применение занимает достаточно продолжительный период времени и точность измерений значительно уступает тому же импульсному методу. Так же границами его применимости являются обрывы в кабельных жилах, то есть при коротких замыканиях зону повреждения определить не удастся. И, конечно же, его применение в городских разветвленных сетях не является целесообразным, так как требует и точных расчетов, и карт с кабельными трассами.

1.3 Абсолютные методы определения повреждений в кабельных сетях

Абсолютные методы определения повреждений в кабелях называют еще топографическими. В ходе их применения, место повреждения может быть определено и указано как на карте, так и непосредственно над кабелем. В городских условиях популярны именно абсолютные методы, так как расстояние между подстанциями относительно небольшое и границы применимости данных методов соответствуют этим требованиям. Так же они точны и более наглядны, что является не маловажным определяющим фактором. К абсолютным методам относятся:

- индукционный;
- акустический;
- метод накладной рамки.

1.3.1 Индукционный метод

Основывается данный метод на регистрации сигналов, наводимых электромагнитным полем, подключаемого к кабелю генератора. Использование данного метода производится не только при отыскании коротких замыканий, но и для трассирования. Схема подключения представлена на рисунке 1.11.

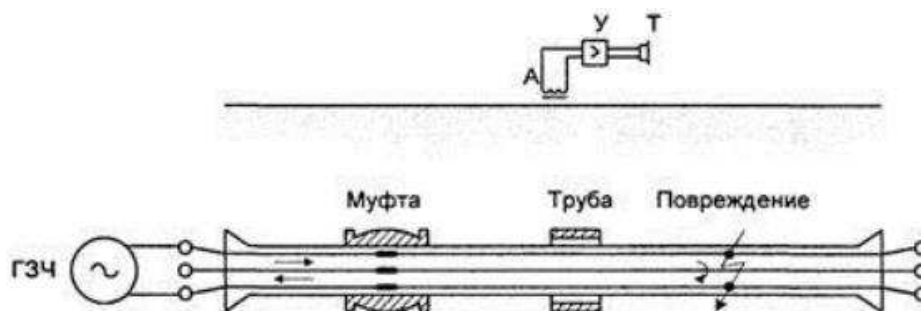


Рисунок 1.11 – Экспериментальная схема подключения генератора звуковой частоты к кабелю

Важным условием применимости данного метода являются явно выраженные межфазные короткие замыкания. К ним относятся как двухфазные, так и трехфазные КЗ, переходное сопротивление между жилами не должно превышать десяти Ом [10]. Генератор звуковой частоты (ГЗЧ) подключается к поврежденным жилам кабельной линии. Концы кабельных жил на другой стороне должны быть изолированы друг от друга и разведены в стороны. Ток от генератора подается с частотой до 1200 Гц при напряжении 100-200 В. При его прохождении из одной жилы в другую происходит увеличение магнитного поля. Электромагнитные сигналы, проходящие по кабелю, наводятся индукционной рамкой (антенной) в усилитель и телефон. Оператор, производящий отыскание, проходит вдоль кабельной трассы и прослушивает ее. Место повреждения определяется по типу звука – усиливается при приближении к нему и уменьшается при отдалении. Так же в коррективы "прослушки" должны быть введены кабельные муфты. При прохождении по ним генерируемой частоты сигнал усиливается, а периодичность уменьшается.

Отыскание однофазного КЗ теоретически возможно, но практически осуществить данную работу очень сложно. Это объясняется тем, что ГЗЧ в этом случае будет генерировать сигнал на броню кабеля. При прослушивании рамкой звучание за местом повреждения не уменьшается. Происходит это вследствие того, что ток замкнувшейся жилы на броню, распространяется в обе стороны. Поэтому с целью наибольшей точности, данный метод применяется только при многофазных коротких замыканиях. Так же следует учитывать, что при прокладке кабеля в глубину более полутора метров сигнал становится все слабее и тем самым вероятность допустить ошибку при определении места повреждения повышается.

Индукционный метод имеет преимущества:

- Можно определить заплывающий пробой.
- Кабель не прожигается и определение повреждения можно совмещать с испытанием КЛ повышенным напряжением.

Недостатки индукционного метода:

- Нельзя определить повреждения в начале линии (в зоне нуля).
- Низкая точность при неоднородной кабельной линии.

1.3.2 Акустический метод

Основой данного метода является создание искровых высоковольтных разрядов в месте повреждения, которые вызывают звуковые колебания. Этот метод является самым оптимальным, так как виды повреждений, которые можно обнаружить очень различны. Для того чтобы электрический разряд был создан правильно, необходимо чтобы переходное сопротивление в месте замыкания было более сорока ом и был необходимый искровой промежуток. Поэтому повреждение должно быть явно выраженным. Созданию данного условия предшествуют работы по прожиганию кабеля специальной установкой постоянного тока. Прожиг производится ступенчато при высоком напряжении. При проведении работ по отысканию, к поврежденной жиле подводится испытательное напряжение. Аналогией испытательной схеме, представлена схема замещения на рисунке 1.12.

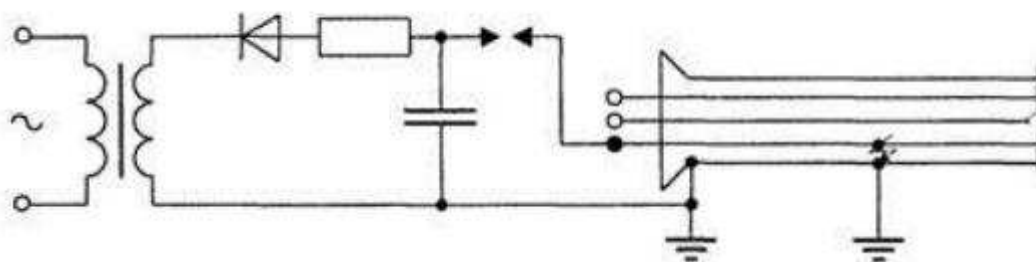


Рисунок 1.12 – Схема замещения испытательной установки

Импульсные разряды создаются с помощью конденсаторов, в которых накапливается заряд от выпрямителя. Как только напряжение достигает своего пробивного значения, весь накопившийся заряд расходуется и в месте повреждения происходит пробой, сопровождающийся звуковой волной. Приемником данного сигнала могут быть как пьезодатчик, так и электромагнитная система, которая осуществляет преобразование механические возмущения в электрический сигнал. Оператор определяет место повреждения по наиболее выраженному сигналу.

Акустический метод является одним из основных методов, применяемых на практике. К его достоинствам относятся:

- Простота выполнения.
- Эффективность ОМП.

Однако, подобный метод так же имеет ряд недостатков:

- Протекающие в момент разряда большие импульсные токи вызывают в местах соприкосновения с заземленными конструкциями и с другими кабелями искрение, что может привести к загоранию краски и покрытия кабеля.

1.3.3 Метод накладной рамки

При помощи данного метода могут быть определены однофазные короткие замыкания. Принцип действия аналогичен индукционному - к поврежденной жиле подсоединен генератор звуковой частоты, а оператор при помощи приемника выполняет регистрацию сигналов. Только в этом случае приемником является индукционная рамка. Важным условием определения места повреждения этим методом является нахождение кабеля в открытом пространстве, так же переходное сопротивление в месте замыкания должно быть небольшим. В ходе работы, оператор, проходя вдоль кабельной трассы, прослушивает поступающие ему в головные телефоны сигналы, которые поступают из рамки. При вращении рамки вокруг оси кабеля возникает два сильных и два слабых характерных сигнала. Данный признак указывает, что рамка находится до места повреждения. Это объясняется тем, что магнитное поле в данном случае характеризуется током, протекающим от жилы к броне. При нахождении рамки за местом повреждения, изменения звуковых сигналов наблюдаться не будет, так как поле будет характеризоваться только током, протекающим по кабельной оболочке.

2. Обзор статистики технологических нарушений и аварийных отключений на объектах Минусинского участка Минусинского филиала АО «КрасЭКо» за период с 2017 по 2020 гг

В таблице 2.1 приведена статистическая информация об аварийности в сетях минусинского филиала АО «КрасЭКо».

Таблица 2.1 – Статистические данные аварийности

Год	Количество технологических нарушений						Суммарный недоотпуск, кВт/ч	Общее время перерывов в энергообеспечении, ч	Максимальное время перерыва в энергообеспечении, ч
	ВЛ-10кВ	ВЛ-0,4кВ	КЛ-10кВ	КЛ-0,4кВ	ТП	Общее			
2017	50	49	13	3	23	138	77257	205,5	19,22
2018	40	9	38	8	16	107	90287	230,5	14,17
2019	18	15	15	4	3	58	28493	104,5	8,3
2020	18	13	20	8	19	78	49214	152,5	8,58

На основе имеющихся данных проведем анализ произошедших технологических нарушений за указанный период.

На гистограмме, показанной на рисунке 2.1, изображена совокупность технологических нарушений в зависимости от участков сети, на которых эти нарушения пришлись. На круговой диаграмме, показанной на рисунке 2.2, так же изображена эта совокупность, но в процентном соотношении к общему числу аварийных ситуаций.

Как можно увидеть из графиков, большая часть аварий (около 33%) приходилась на высоковольтных линиях напряжением 10 кВ, следующими по частоте аварии являются кабельные линии напряжением 10 кВ. Наиболее частыми причинами аварий являлись:

- а) в сетях воздушных линий:
 - 1) обрыв проводов;
 - 2) налипание мокрого снега на провода;
 - 3) перехлест проводов;
 - 4) междуфазное замыкание при падении на провода посторонних предметов;
 - 5) по вине третьих лиц;
 - 6) причина не установлена.
- б) в сетях кабельных линий:
 - 1) пробой изоляции;
 - 2) пробой концевой воронки;
 - 3) по вине третьих лиц;
 - 4) причина не установлена.

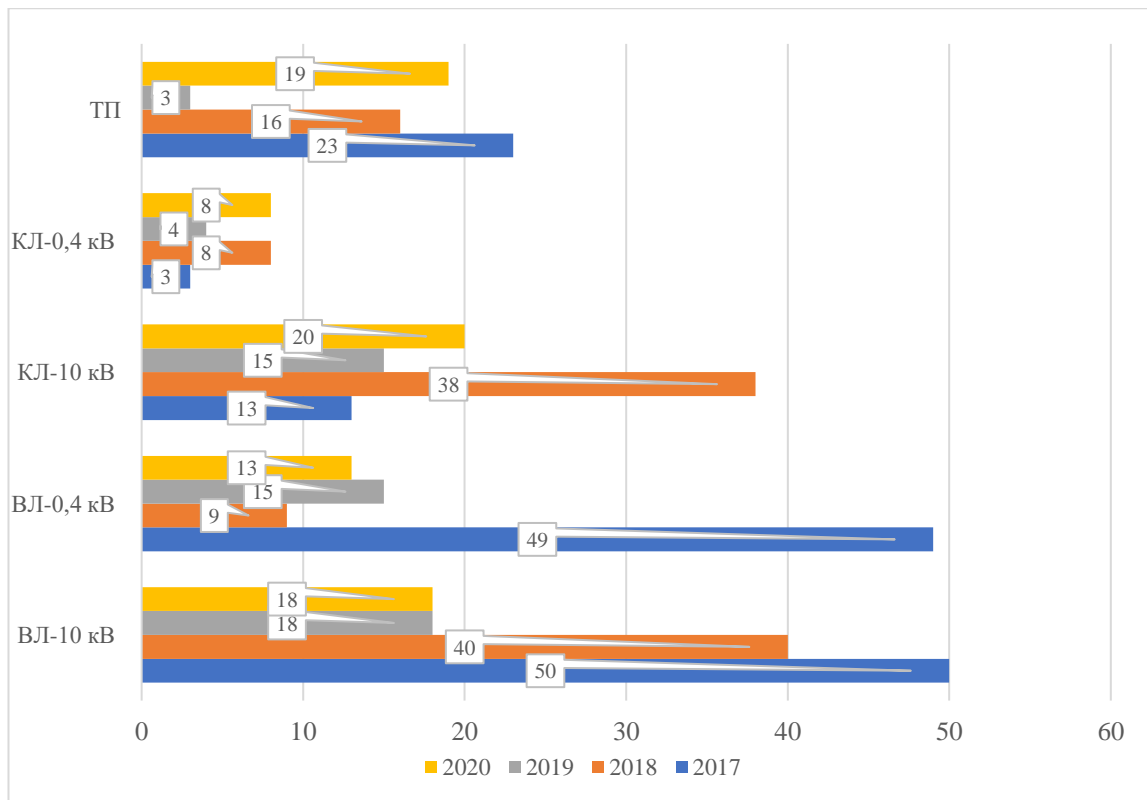


Рисунок 2.1 – Гистограмма технологических нарушений по месту их возникновения.

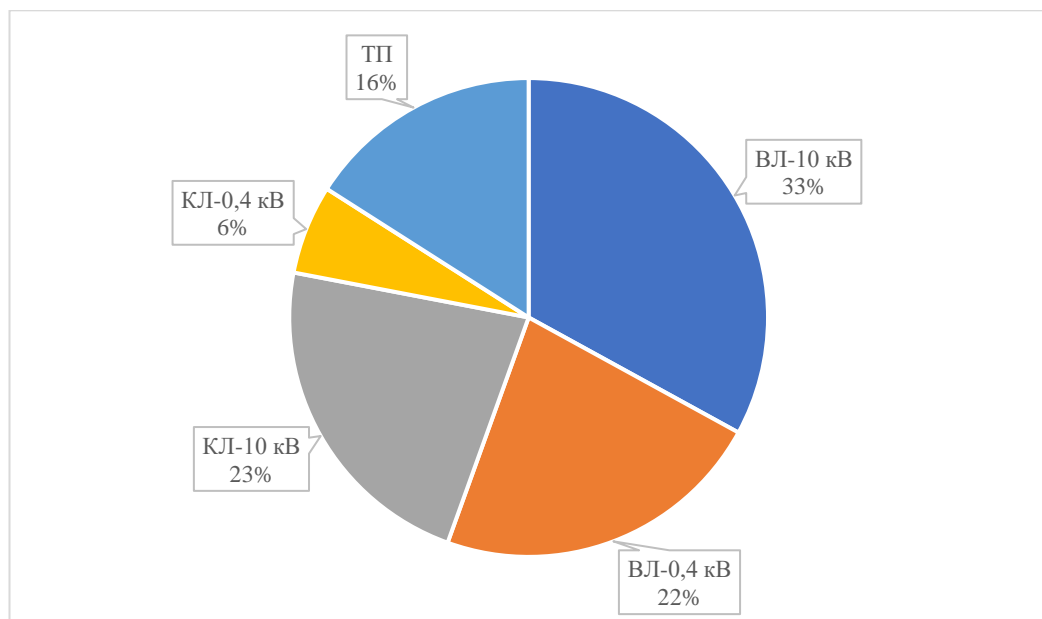


Рисунок 2.2 – Круговая диаграмма процентного соотношения технологических нарушений по отношению к общему числу аварий за тот же период.

На рисунках 2.3 и 2.4 показаны диаграммы количеств технологических нарушений, разделенных по классу напряжения. На рисунке 2.3 показаны в

виде гистограммы, а на рисунке 2.4 в процентном соотношении к общему числу аварий.

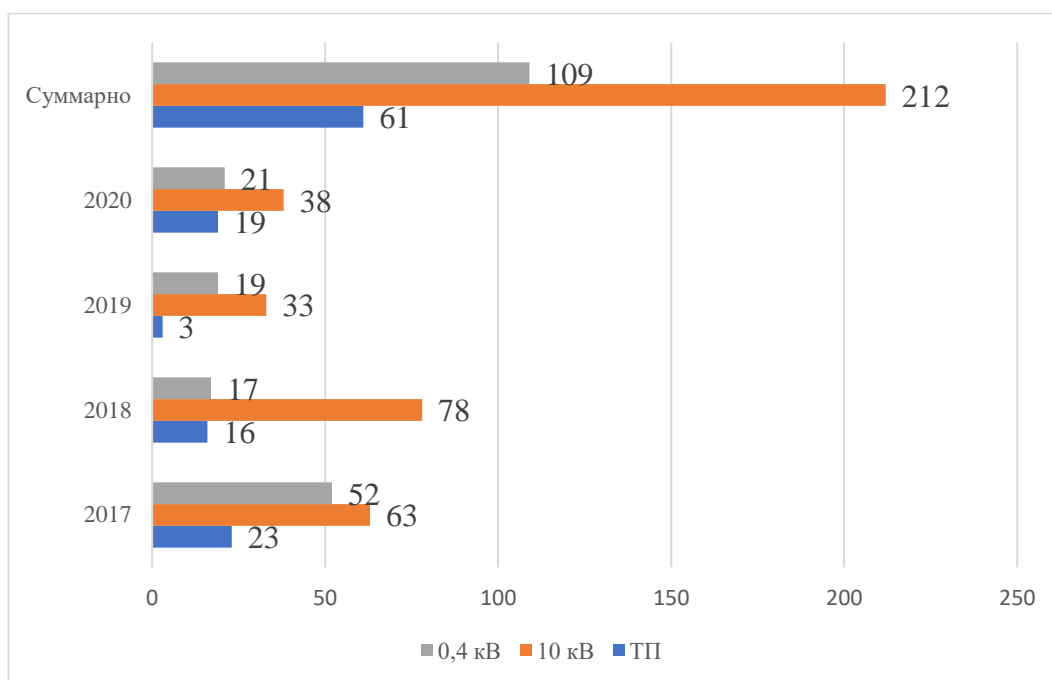


Рисунок 2.3 – Гистограмма количества технологических нарушений по классу напряжения

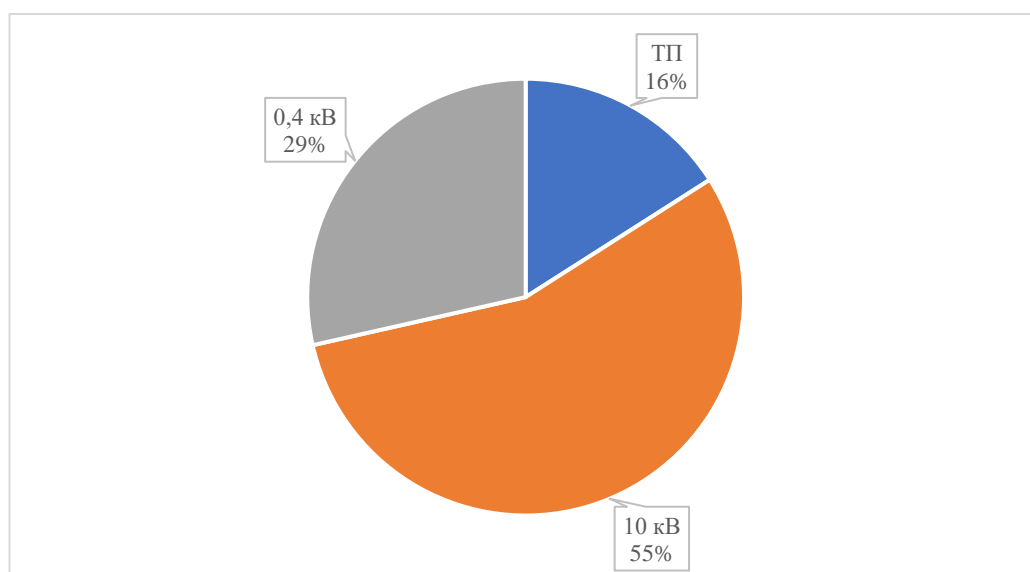


Рисунок 2.4 – Круговая диаграмма процентного соотношения к общему числу аварий по классу напряжения

Как можно увидеть из графика, представленного на рисунке 2.3, наиболее часто аварии происходят в сетях 10 кВ. Рекордным по частоте аварий является 2018 год (из 107 случаев 78 аварий приходится на сети 10 кВ).

На рисунке 2.4 в течение исследуемого периода количество аварий в сетях с напряжением 10 кВ находится в значении 55% от общего числа аварий,

в сетях с напряжением 0,4 кВ находится в значении 29%, а количество аварий на ТП – 16%.

Кроме количества технологических нарушений важно исследовать негативное влияние на качество снабжения электроэнергией потребителя. В таблице 2.2 приведена статистика из журнала аварийных отключений. Основными критериями для анализа негативного влияния технологических нарушений являются: время перерыва в электроснабжении потребителя, величина недоотпуска электроэнергии в течение проведения поиска и устранения повреждений, а также количество абонентов, отключенных от сети в следствие аварии на участке питающей их сети.

Таблица 2.2 – Статистика перерывов электроэнергии в сетях 0,4 кВ и 10 кВ.

№	Место повреждения	Количество повреждений	Общее время перерыва	Недоотпуск электроэнергии, кВт/ч	Кол-во отключенных абонентов
<u>2017 год</u>					
1	ВЛ 10кВ	50	65 ч. 39 м.	29442,6	22218
2	ВЛ 0,4кВ	49	62 ч. 12 м.	4057,8	9712
3	КЛ 10кВ	13	44 ч. 26 м.	27712,0	34256
4	КЛ 0,4кВ	3	5 ч. 20 м.	1074,9	986
5	ТП	23	27 ч. 55 м.	14969,7	16745
<u>2018 год</u>					
1	ВЛ 10кВ	40	77 ч. 05 м.	30714,2	13196
2	ВЛ 0,4кВ	9	14 ч. 00 м.	2578,3	4419
3	КЛ 10кВ	38	97 ч. 51 м.	50351,4	64201
4	КЛ 0,4кВ	8	16 ч. 10 м.	1482,1	1564
5	ТП	16	25 ч. 41 м.	5161,0	7264
<u>2019 год</u>					
1	ВЛ 10кВ	18	27 ч. 23 м.	9399,7	14252
2	ВЛ 0,4кВ	15	21 ч. 50 м.	1141,5	1313
3	КЛ 10кВ	15	45 ч. 02м.	14385,0	43900
4	КЛ 0,4кВ	4	8 ч. 00 м.	1065,8	1011
5	ТП	3	2 ч. 15 м.	2501,0	8624
<u>2020 год</u>					
1	ВЛ 10кВ	18	29 ч. 50 м.	18801,0	51901
2	ВЛ 0,4кВ	13	35 ч. 45 м.	1286,8	1583
3	КЛ 10кВ	20	54 ч. 36 м.	21245,1	42043
4	КЛ 0,4кВ	8	11 ч. 40 м.	340,8	360
5	ТП	19	20 ч. 39 м.	7540,3	15909

На основании представленной таблицы построим аналогичные круговые диаграммы, показывающие процентное соотношение недоотпуска электроэнергии и отключенных абонентов по отношению к их общей сумме.

Процентное соотношение недоотпуска из-за технологических нарушений за 2017 год показано на графике на рисунке 2.5.

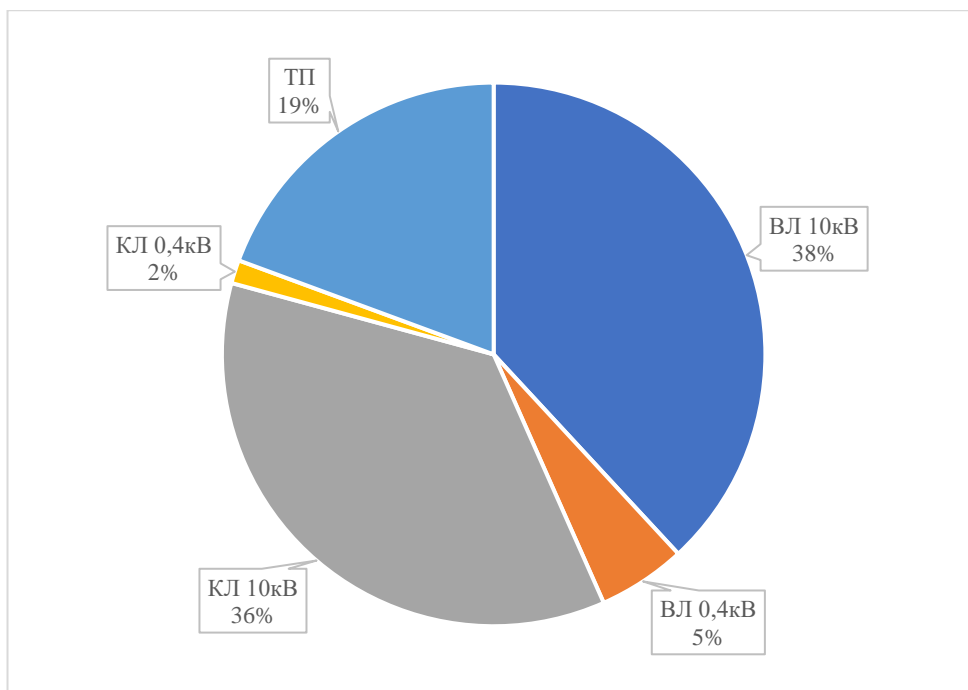


Рисунок 2.5 – круговая диаграмма процентного соотношения недоотпуска электроэнергии по роду электрооборудования за 2017 год

Как можно увидеть на графике на рисунке 2.5, максимальная величина недоотпуска зафиксирована по причине технологических нарушений, произошедших на ВЛ напряжением 10 кВ – 38%. Далее по убыванию: КЛ напряжением 10 кВ – 36%; ТП – 19%; ВЛ напряжением 0,4 кВ – 7%; КЛ напряжением 0,4 кВ – 2%.

Процентное соотношение отключенных абонентов из-за технологических нарушений за 2017 год показано на графике на рисунке 2.6.

Как можно увидеть на графике на рисунке 2.6, максимальное количество отключенных абонентов зафиксировано по причине технологических нарушений, произошедших на КЛ напряжением 10 кВ – 41%. Далее по убыванию: ВЛ напряжением 10 кВ – 26%; ТП – 20%; ВЛ напряжением 0,4 кВ – 12%; КЛ напряжением 0,4 кВ – 1%.

Процентное соотношение недоотпуска из-за технологических нарушений за 2018 год показано на графике на рисунке 2.7.

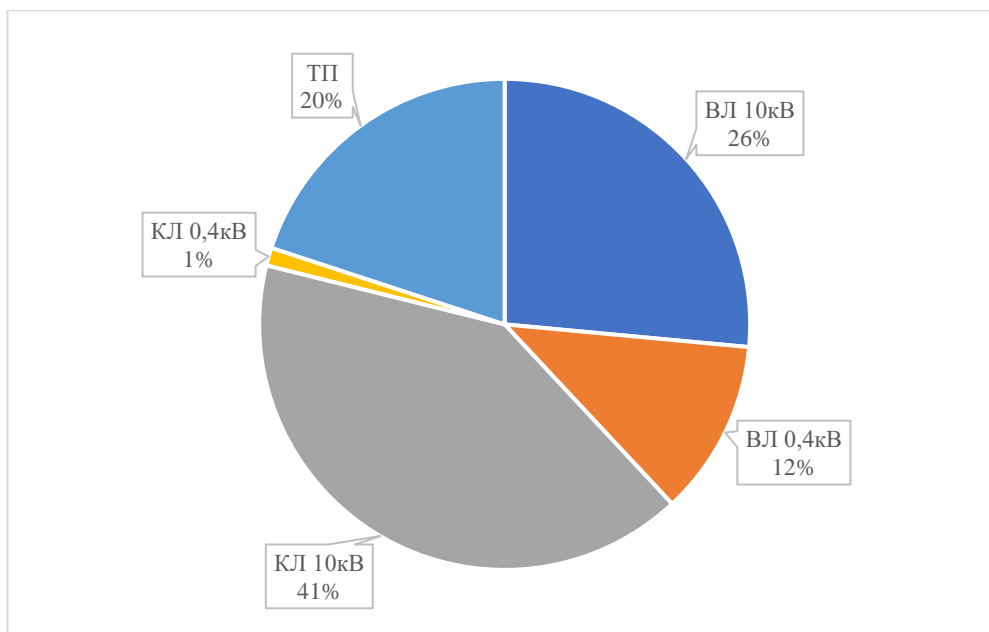


Рисунок 2.6 – круговая диаграмма процентного соотношения отключенных потребителей от питающей их сети за 2017 год

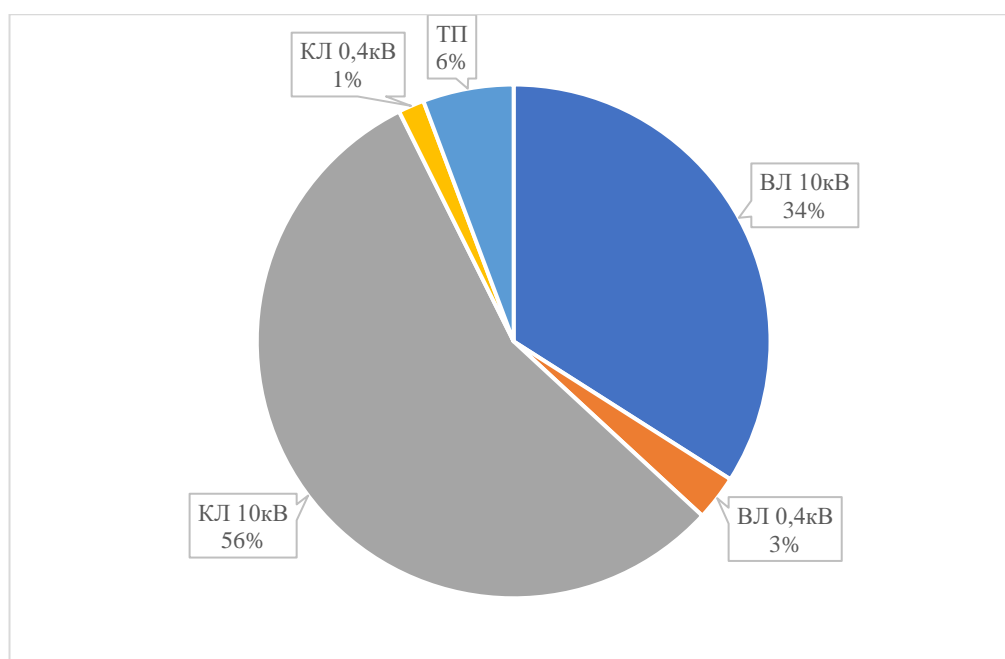


Рисунок 2.7 – круговая диаграмма процентного соотношения недоотпуска электроэнергии по роду электрооборудования за 2018 год

Как можно увидеть на графике на рисунке 2.7, максимальная величина недоотпуска зафиксирована по причине технологических нарушений, произошедших на КЛ напряжением 10 кВ – 56%. Далее по убыванию: ВЛ напряжением 10 кВ – 34%; ТП – 6%; ВЛ напряжением 0,4 кВ – 3%; КЛ напряжением 0,4 кВ – 1%.

Процентное соотношение отключенных абонентов из-за технологических нарушений за 2018 год показано на графике на рисунке 2.8.

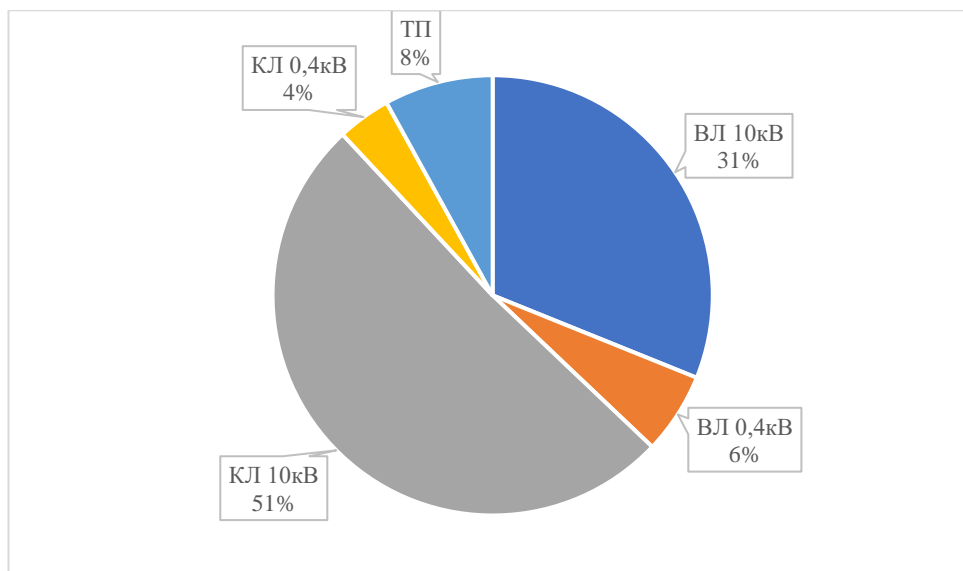


Рисунок 2.8 – круговая диаграмма процентного соотношения отключенных потребителей от питающей их сети за 2018 год

Как можно увидеть на графике на рисунке 2.8, максимальное количество отключенных абонентов зафиксировано по причине технологических нарушений, произошедших на КЛ напряжением 10 кВ – 51%. Далее по убыванию: ВЛ напряжением 10 кВ – 31%; ТП – 8%; ВЛ напряжением 0,4 кВ – 6%; КЛ напряжением 0,4 кВ – 4%.

Процентное соотношение недоотпуска из-за технологических нарушений за 2019 год показано на графике на рисунке 2.9.

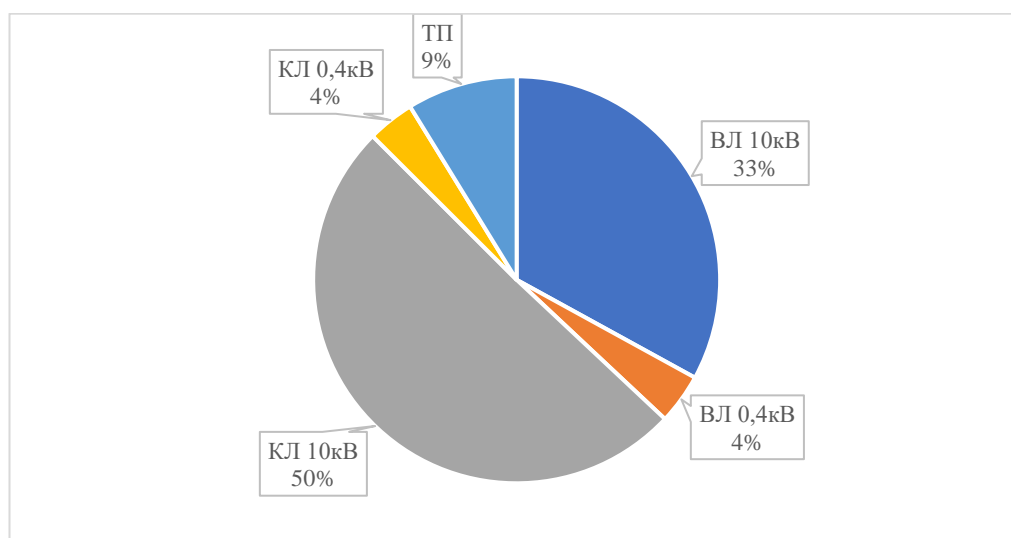


Рисунок 2.9 – круговая диаграмма процентного соотношения недоотпуска электроэнергии по роду электрооборудования за 2019 год

Как можно увидеть на графике на рисунке 2.9, максимальная величина недоотпуска зафиксирована по причине технологических нарушений, произошедших на КЛ напряжением 10 кВ – 56%. Далее по убыванию: ВЛ

напряжением 10 кВ – 33%; ТП – 9%; ВЛ напряжением 0,4 кВ – 4%; КЛ напряжением 0,4 кВ – 4%.

Процентное соотношение отключенных абонентов из-за технологических нарушений за 2019 год показано на графике на рисунке 2.10.

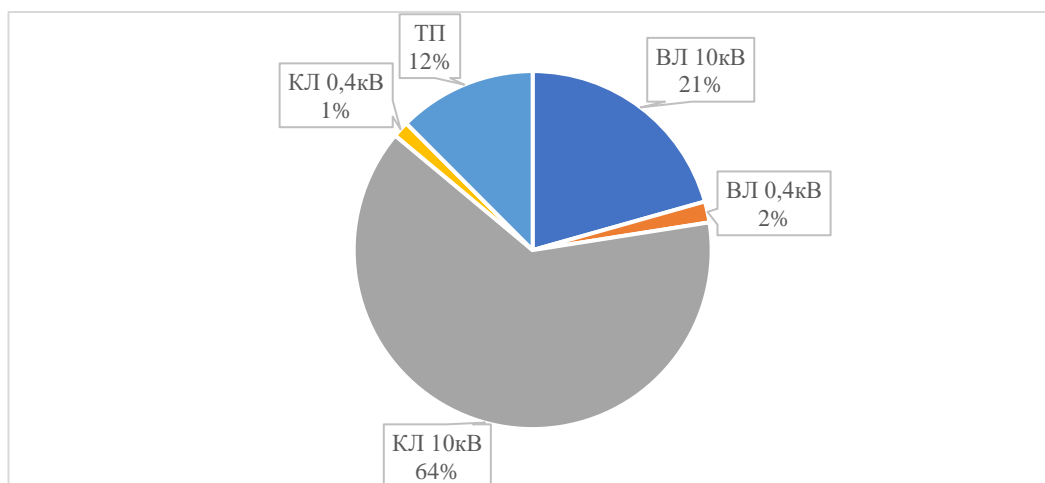


Рисунок 2.10 – круговая диаграмма процентного соотношения отключенных потребителей от питающей их сети за 2019 год

Как можно увидеть на графике на рисунке 2.10, максимальное количество отключенных абонентов зафиксировано по причине технологических нарушений, произошедших на КЛ напряжением 10 кВ – 64%. Далее по убыванию: ВЛ напряжением 10 кВ – 21%; ТП – 12%; ВЛ напряжением 0,4 кВ – 2%; КЛ напряжением 0,4 кВ – 1%.

Процентное соотношение недоотпуска из-за технологических нарушений за 2020 год показано на графике на рисунке 2.11.

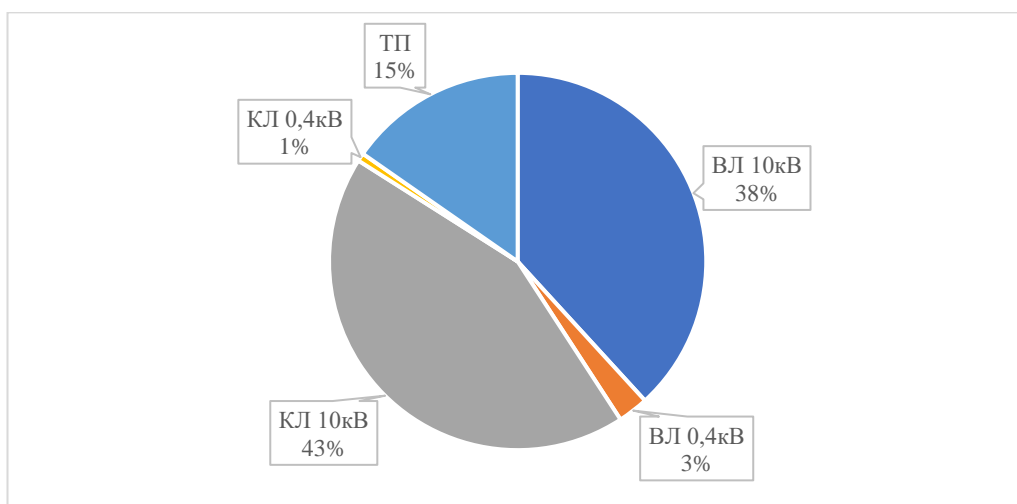


Рисунок 2.11 – круговая диаграмма процентного соотношения недоотпуска электроэнергии по роду электрооборудования за 2020 год

Как можно увидеть на графике на рисунке 2.11, максимальная величина недоотпуска зафиксирована по причине технологических нарушений, произошедших на КЛ напряжением 10 кВ – 43%. Далее по убыванию: ВЛ напряжением 10 кВ – 38%; ТП – 15%; ВЛ напряжением 0,4 кВ – 3%; КЛ напряжением 0,4 кВ – 1%.

Процентное соотношение отключенных абонентов из-за технологических нарушений за 2020 год показано на графике на рисунке 2.12.

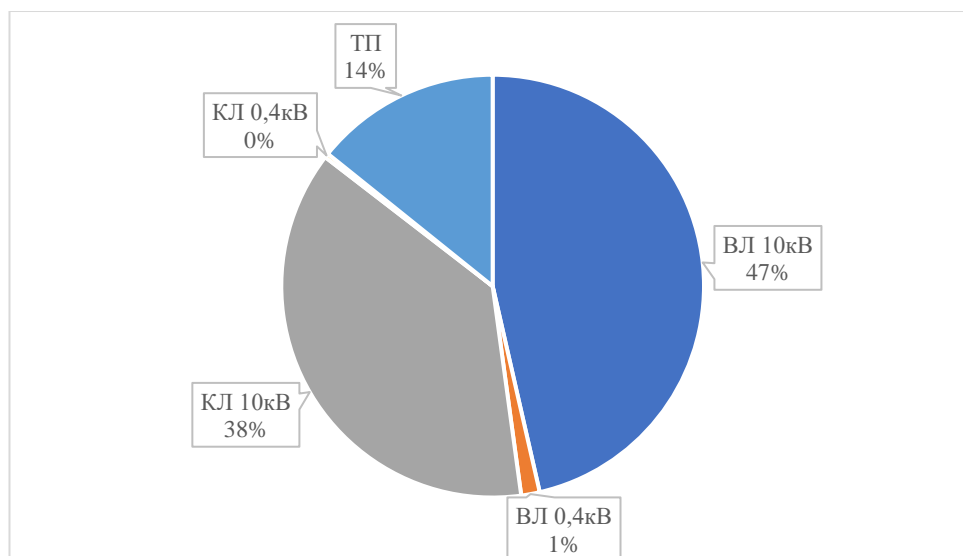


Рисунок 2.12 – круговая диаграмма процентного соотношения отключенных потребителей от питающей их сети за 2020 год

Как можно увидеть на графике на рисунке 2.12, максимальное количество отключенных абонентов зафиксировано по причине технологических нарушений, произошедших на ВЛ напряжением 10 кВ – 47%. Далее по убыванию: КЛ напряжением 10 кВ – 38%; ТП – 14%; ВЛ напряжением 0,4 кВ – 1%; КЛ напряжением 0,4 кВ – меньше 1%.

На основании графиков становится видно, что наибольший ущерб потребителю наносят технологические повреждения, происходящие в сетях КЛ и ВЛ напряжением 10 кВ.

3. Мероприятия по повышению эффективности определения мест повреждений и снижению числа аварийных отключений

3.1 Применение индикаторов коротких замыканий (ИКЗ)

В качестве мероприятия по повышению надежности электрических сетей на Минусинском участке Минусинского филиала АО «КрасЭКо» в данной бакалаврской работе предлагается использование индикаторов коротких замыканий (ИКЗ) в качестве устройств автоматической сигнализации.

Применение датчиков короткого замыкания позволит сразу определить поврежденный участок линии. Особенное значение в работе по электроснабжению данные датчики будут представлять для потребителей третьей категории электроснабжения. При отключении единственного питающего кабеля в цепочке однострановых подстанций, первой задачей является именно определение поврежденного кабеля, что может быть быстро достигнуто с использованием ИКЗ. Таким образом, уыбстряются аварийно-восстановительные работы и тем самым уыбстряется нормальное электроснабжение потребителей. Увеличение данных показателей повышает надежность электроснабжения.

Рассмотрим пример структурной схемы электроснабжения для одной цепочки подстанций.

Распределительный пункт питает электрической энергией цепочку подстанций. Распределение происходит по 10 кВ, где трансформаторные подстанции как раз и лишены защит. При возникновении короткого замыкания в цепочке отработает защита на РП и отключит ячейку. В результате чего электроснабжения лишатся все подстанции, находящиеся в цепочке, по первой секции шин. Далее производится отыскание поврежденного участка, для чего отключаются коммутационные аппараты по 10 кВ и методом "прозвонки" кабеля сокращается область отыскания. Как только поврежденный участок найден, он локализуется и ограничивается, для дальнейшего, более точного определения места повреждения, с целью его ремонта [7]. Секционирование производится до локализации повреждения по 10 кВ или после, в зависимости от расстояния между ТП, условий работы.

Делается это с целью повышения скорости восстановления электроснабжения, так как при обнаружении поврежденного участка, производится еще и секционирование по 10 кВ, с целью повышения надежности электроснабжения. Существенная часть времени тратится как раз на обнаружение поврежденного участка, так как это требует перемещения оперативно-выездной бригады практически на каждую подстанцию в цепочке.

Данный порядок действий может быть значительно ускорен если место повреждения уже будет известно (рисунок 3.1). ИКЗ, изображенные кружком на рисунке 3.1, устанавливаются на вводе в подстанцию. При протекании через него тока короткого замыкания, индикатор срабатывает и сигнализирует о своем включенном положении.

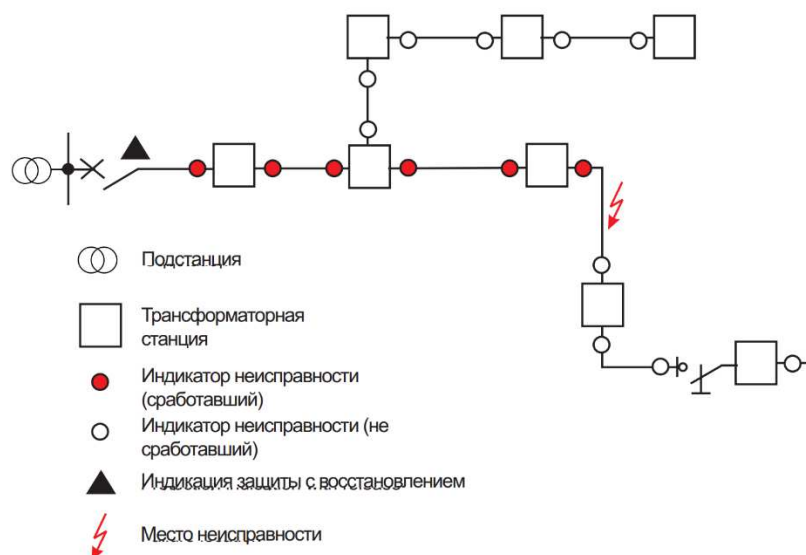


Рисунок 3.1 - Структурная схема цепочки подстанций с ИКЗ

3.2 Виды применяемых ИКЗ

В настоящее время на электротехническом рынке имеется большое количество датчиков короткого замыкания. Чтобы выбрать оптимальный вариант необходимо задаться критериями для данных индикаторов. Как и в любых элементах электроэнергетической системы, наиболее оптимальными будут индикаторы обладающие высокой надежностью и относительно невысокой ценой.

Надежность для данных индикаторов так же характеризуется простотой элементной базы, что является немаловажным критерием при выборе устройства.

ИКЗ роторного типа (рисунок 3.2) являются одними из простейших устройств данного типа. Данное устройство позволяет сигнализировать о протекании тока короткого замыкания в защищаемом элементе, а при установке множества индикаторов в сети производить локализацию поврежденного участка сети.



Рисунок 3.2 – Индикатор роторного типа

Каждый проводник, в котором течет ток, окружен магнитным полем. В случае, когда ток в проводнике выше предустановленного тока срабатывания, сила магнитного потока становится достаточной, чтобы преодолеть силу пружины, удерживающую в исходном положении ИКЗ роторного типа, тем самым сигнализируя о коротком замыкании.

Сброс индикации происходит вручную с помощью изолированной штанги.

Особенности изделия:

- механическая конструкция;
- установка на кабели или токоведущие шины;
- индикация с помощью поворотного ротора;
- ручной сброс сработавшего положения;
- подходит для дооснащения.

Преимуществом такого ИКЗ является надежность, но после срабатывания его необходимо снова взвести вручную. Жидкостный ИКЗ, показанный на рисунке 3.3, лишен этого недостатка, так как индикатор окрашивается под действием магнитного поля КЗ и снова становится прозрачным через несколько часов после устранения проблемы.



Рисунок 3.3 – жидкостный ИКЗ в режиме ожидания и в режиме срабатывания

Индикатор короткого замыкания ИКЗ-К1, показанный на рисунке 3.4, предназначен для определения поврежденного участка кабельной линии электросети 6-35 кВ. Он прост в установке и эксплуатации: датчики тока индикатора короткого замыкания крепятся непосредственно на фазные провода кабеля, а сам индикатор устанавливается на щите релейного отсека ячейки КРУ. ИКЗ-К1 не требует модернизации силового оборудования РП/РТП/ТП, установки измерительных трансформаторов и других дополнительных датчиков.

При обнаружении аварии на индикаторе загораются соответствующие светодиоды, соответствующие типу аварии (МФЗ, ОЗЗ). При МФЗ срабатывают все приборы, находящиеся между местом аварии и питающим центром, при ОЗЗ приборы показывают направление прохождения тока замыкания на землю.

Помимо визуальной системы индикации, ИКЗ-К1 оборудован релейным выходом и каналами связи для интеграции в системы телемеханики. В случае отсутствия выделенного канала связи может быть установлен GSM/GPRS-передатчик.



Рисунок 3.4 – Индикатор короткого замыкания для кабельных линий 6-35 кВ ИКЗ-К1

3.3 Телемеханизация сигналов ИКЗ

Для того, чтобы сигнал с ИКЗ поступил в диспетчерское управление, предлагаю использовать средства телемеханики.

С помощью средств телемеханики сигнал передается на главный пульт диспетчера электрических сетей и таким образом будет заранее зафиксировано место повреждения и будут отданы соответствующие распоряжения оперативно-ремонтной бригаде [12].

Телемеханические устройства – это целый комплекс устройств, который осуществляет контроль, управление, кодирование и декодирование информации по различным каналам связи. Задачами телемеханики в целом являются: централизация управления, осуществление управления в режиме реального времени («онлайн»), надежная и достоверная доставка информации, эффективное использование каналов связи, обеспечение должного контроля за оперативным управлением, ремонтпригодность, расширяемость и совместимость [13].

В зависимости от выполняемых функций телемеханические устройства классифицируются на системы:

- Телесигнализация. Данная система передает состояние контролируемого объекта. На подстанциях это, как правило, положение коммутационных аппаратов (выключателей, разъединителей, отделителей), оповещение об аварийных отключениях, оповещение о неисправностях и срабатывании предупредительной сигнализации (перегруз и перегрев трансформатора, срабатывание газовой защиты и т.п.).

- Телеизмерение. Сопоставляет и проверяет параметры контролируемых величин. Измерение этих величин производится на расстоянии телемеханическими средствами. Информация при этом передается на пульт оператора в наиболее понятном для восприятия виде.

- Телеуправление. С помощью средств телеуправления как раз и осуществляется воздействие на коммутационные аппараты и передача команд с диспетчерского пункта.

- Телерегулирование. Это система регулирования параметрами контролируемого объекта на расстоянии. В отличие от телеуправления, производится более широкое управление, т.е. команды являются многопозиционными.

Все виды систем телемеханики имеют схожую структуру (рисунок 3.5)



Рисунок 3.5 – Структурная схема телемеханических систем [13]

На структурной схеме показано то, что телемеханические системы, в общем виде, состоят из семи элементов. Источник сообщения (ИС) – это устройство, генерирующее будущий сигнал. Применительно к

телесигнализации это могут быть измерительные датчики, контрольные реле, которые срабатывают при изменении состояния контролируемого элемента. Кодирующее устройство (КУ) преобразует сообщение от источника в сигнальный вид, удобный для его дальнейшей передачи (чаще всего дискретный). Передатчик (П) осуществляет передачу сигнала по линии связи (ЛС). Каналы связи могут выбираться исходя из среды передаваемого сигнала, удобства эксплуатации и экономической целесообразности. Так, при передаче сигналов с помощью радиосвязи, потребуются более сложные передатчики с набором транзисторов и мультивибраторов. Приемник (ПР) принимает и формирует поступающий сигнал из линии связи в изначальный вид, после чего с помощью декодирующего устройства (ДУ) преобразуется в телемеханическое сообщение. Исполнительным устройством (ИС) в данном случае может являться контроллер, либо датчик, который оповещает диспетчерский пункт

3.4 Каналы связи телемеханических систем

Качество передаваемой информации при этом должно быть на высоком уровне, а именно, иметь высокую точность, надежность и скорость передачи.

В ходе исследования мною были выделены способы передачи сигналов от источника к диспетчерскому пункту.

Рассмотренные способы передачи сигналов делятся на:

- прямые провода;
- радиосвязь;
- GSM;
- посредством силовых линий.

Рассмотрим преимущества и недостатки каждого из представленных каналов связи.

3.4.1 Прямые провода

Проводные линии в настоящее время зарекомендовали себя как надежные каналы для передачи интернет трафика и телефонии. Однако, любые проводные линии характеризуются как сопротивлением, так и проводимостью, то передача сигналов посредством прямых проводов охарактеризована следующими сложностями:

При передаче информации будет существенно оказывать влияние температура окружающей среды, так как от нее зависит сопротивление проводника. При передаче переменным током так же будет оказывать влияние частота электрических колебаний, а именно, при повышении частоты

увеличивается и активное сопротивление переменному току, вследствие поверхностного эффекта.

Проводные каналы связи чаще всего выполняются волоконно-оптическими коаксиальными кабелями. Данные проводники имеют следующие особенности:

Достоинства:

- Высокая проводимость сигналов, при использовании волоконно-оптических коаксиальных кабелей.

- Широкая полоса частот обеспечивает возможность передачи и звуковой и видео информации.

- Большая помехозащищенность, а, следовательно, более высокая надежность.

- Имеет сравнительно низкую стоимость.

- В городской среде можно использовать уже имеющиеся каналы связи, что исключает затраты на прокладку новой.

Недостатки:

- Необходимость строительства телефонных вводов, а также внесение абонентской платы в зависимости от оператора.

- Данные линии являются средой передачи аналоговых сигналов, следовательно требуется внедрение устройств модуляции, что усложняет схему передачи.

3.4.2 Силовые линии связи

Передача информации по воздушным линиям электропередач осуществляется с помощью PLC технологий.

Особенности такого способа передачи:

Преимущества:

- Внедрение PLC технологии полностью исключают абонентскую плату.

- Относительно высокая скорость передачи информации.

Недостатки:

- Высокий уровень помех. Это решается установкой высокочастотных заградителей, конденсаторов связи и фильтров присоединения, включаемых по схеме, что в свою очередь может оказаться экономически нецелесообразным в некоторых случаях.

- Данные сети характеризуются своей разветвленностью и массовостью, наличием огромного количества отпаек и разъединителей. Поэтому неисправности и неудовлетворительное состояние проводов приводят к помехам в передаче телемеханического сообщения либо к повреждению аппаратуры.

- Необходимость ретрансляции сигналов и сложность применения данных систем в распределительных сетях.

3.4.3 Радиосвязь

Каналы радиосвязи передают информацию на расстояние, не используя при этом проводные линии связи.

Особенности данного канала связи:

Преимущества:

- Значительно уменьшается цена телемеханики, так как не требуется прокладка кабелей.

- Радиоаппаратура так же имеет относительно невысокую стоимость, монтаж и развертывание радиосредств экономически более выгодны.

- Сотовые операторы обеспечивают высокие скорости обмена данными, а массовость сотовых станций повышает надежность связи, что особенно актуально для электроснабжающих организаций.

Недостатки:

- Выделение особых частот, массовость и обособленность которых необходима для работы телемеханики.

- Волны ультракороткого диапазона могут быть распространены только на относительно небольшие расстояния, что требует монтажа ретрансляторов (рисунок 3.7).

- Данный способ связи не обладает высокими качествами надежности, поэтому для телеуправления неприменим.

- Расстояние, на которое возможна передача телемеханических сообщений зависит от топологии местности и зоны покрытия.

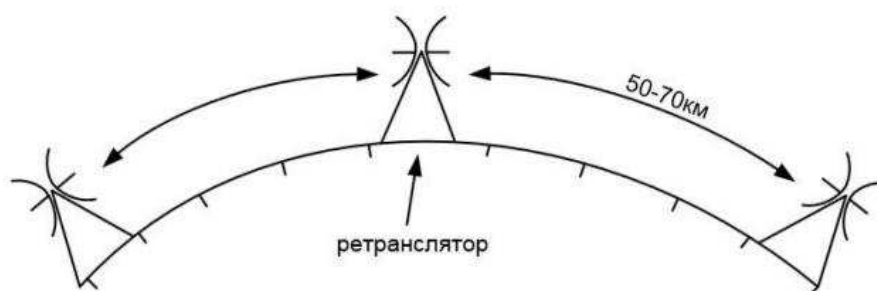


Рисунок 3.7 – Линия связи с ретрансляцией

Спутниковая (GSM) связь – есть разновидность радиосвязи, ретрансляторы при этом которой находятся на орбите Земли.

Радиоканал имеет следующие характеристики (таблица 3.1)

Таблица 3.1 – Характеристики радиоканала

Канал связи	Максимальное расстояние	Скорость передачи данных	Свойства
Радиоканал	До 100 км	До 1200 б/с	Обмен данными происходит посредством УКВ с помощью специальной температуры

Основные характеристики вышеприведенных каналов связи сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристика каналов связи

Канал связи	Максимальное расстояние	Скорость передачи	Качество передачи	Стоимость	Степень сложности установки
Проводная телефонная связь	1250 м	До 1 Мбит/с	низкое	≈ 80 тыс.руб.	низкая
Проводная связь выполненная ЛЭП	100 км и более	До 80 Мбит/с	среднее	≈ 60 тыс.руб	средняя
Радиосвязь	50-100 км	До 500 Кбит/с	низкое	≈ 7 тыс. руб	высокая
Спутниковая связь	50-100 км (в зависимости от топологии)	До 1 Гбит/с	среднее	≈ 30 тыс. руб	высокая

Как можно увидеть, вышеописанные каналы связи обладают своими преимуществами и недостатками. Основным недостатком можно считать кардинальное перепланирование инфраструктуры для повышения надежности электроснабжения. В то же время, для использования ИКЗ, вид телемеханики, который будет достаточен и целесообразен – это телесигнализация, так как ИКЗ может находиться либо в нормальном состоянии, либо в состоянии аварийного сигнализирования.

3.5 Телесигнализация на основе охранной сигнализации

В качестве альтернативы рассмотренным ранее способам связи, в данной работе рассматривается системы связи на основе охранной телесигнализации трансформаторных подстанций. Пример блока охранной сигнализации представлен на рисунке 3.8.

Данное устройство получает электрическую энергию с трансформаторных вводов. Для того чтобы сигнализация была в работе постоянно, ее схема электроснабжения получает электрическую энергию от обоих трансформаторов, находящихся на подстанции. Перевод нагрузки с одного трансформатора на другой данной системы питания производится соответствующими коммутационными аппаратами. Путем трансформации и преобразования переменного тока в постоянный на ввод системы питания подается 12 вольт.



Рисунок 3.8 – Блок охранной сигнализации

Как только дверь на подстанции открывается, нарушается контакт в схеме и на оптрон перестает поступать электрический ток (рисунок 3.9).

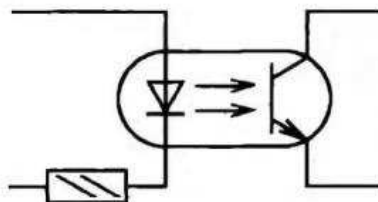


Рисунок 3.9 – Электрическая схема оптрона

Оптрон представляет из себя два основных элемента – это излучатель и приемник, заключенные в общем корпусе. 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. Структурная схема данного пункта управления представлена на рисунке 3.10.



Рисунок 3.10 – Структура пункта управления GSM сигнализации

Каналом связи при этом является GSM (система глобального позиционирования) связь. Система глобального позиционирования в настоящий момент самая популярная и удобная система связи. 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 передвижными 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.

При срабатывании ИКЗ, сигнал поступает на оптрон, аналогично сигналу охранной сигнализации. Технически это подключение возможно выполнить на том же самом блоке охранной сигнализации используя другие выводы. Далее, микропроцессор обрабатывает полученный сигнал и передает его на передатчик, где с помощью телефонной симкарты происходит установление связи с серверной. Связь, а именно, телефонной дозвон с симкарты 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.

3.6 Экономический эффект от внедрения ИКЗ

Проанализируем получаемый экономический эффект от внедрения индикаторов короткого замыкания на базе управляемых пунктов секционирования (УПС), примененных в Лесосибирском филиале АО «КрасЭКо» ПС-110/6 кВ г. Лесосибирск Ф9-06 (рисунок 3.11, рисунок 3.12) [18].

Данные УПС представляют из себя коммутационные блоки, оснащённые моторизированными приводами, системой электропитания для собственных нужд, индикаторами короткого замыкания, установленными пофазно, телеметрической системой, отправляющей фиксированный сигнал о КЗ в диспетчерский центр, а также управлением дистанционно с диспетчерского центра или напрямую.

Цена УПС с электродвигательным приводом – 350 тыс. руб.

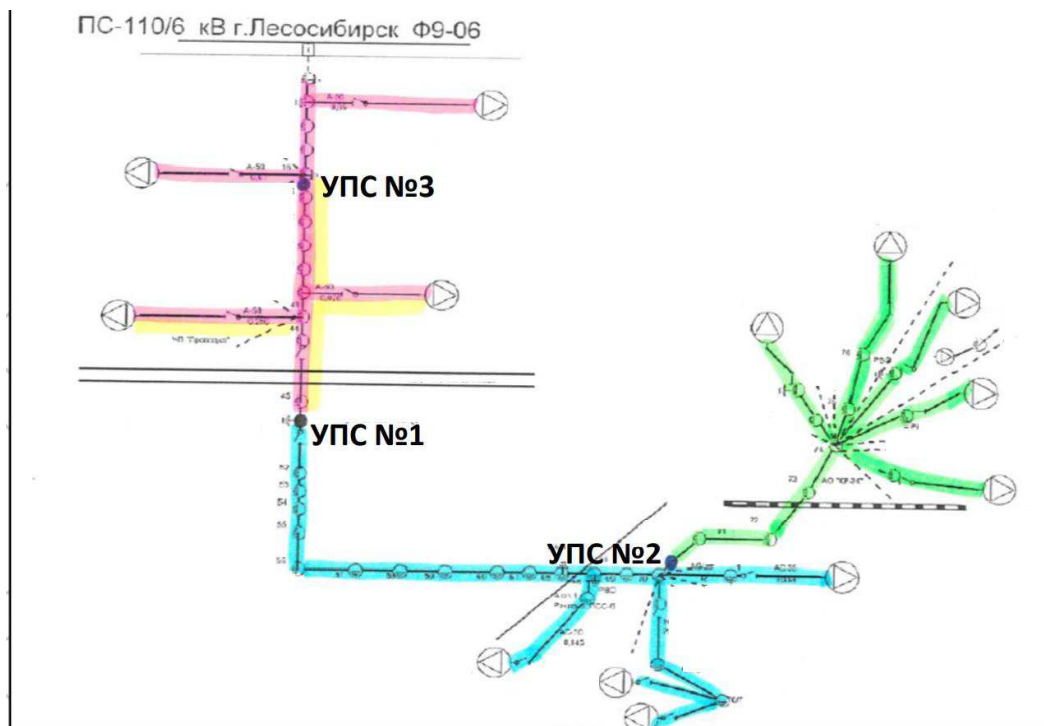


Рисунок 3.11 – Схема присоединения УПС на Ф9-06

Участок электрической сети расположен в сельской местности общей протяженностью линий 5,08 км. Суммарная мощность ТП – 5083 кВт, среднее число отключений – 22 в год, среднее время восстановления питания – 3,83 ч.

Одним из наиболее простых методов расчета является использование удельных показателей:

$$U = y_0 W_{п.э.}, \quad (11)$$

где y_0 – удельный ущерб от недоотпуска 1 кВт·ч электроэнергии, руб./кВт·ч; $W_{п.э.}$ – количество недоотпущенной электроэнергии за время перерывов электроснабжения потребителей, кВт·ч [19]

Удельный ущерб учитывает:

- ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителю;
- ущерб сетевой компании от недоиспользования оборудования;
- затраты на ремонтно-восстановительные работы.

Основные показатели для оценки:

- Удельное количество повреждений на фидере составляет 10 отключений на 100 км в год.
- Среднее время восстановления электроснабжения – 6 часов.
- Среднее время восстановления электроснабжения после установки пунктов секционирования – 1 час.
- U_0 по зарубежной литературе принимаются в диапазоне 1-4,5 \$/кВтч.

Для условий европейской части России можно принято значения = 10руб/(кВт·ч).

На основании вышеизложенного был произведен технико-экономический расчет эффективности использования данного оборудования. Результаты показаны в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Расчетные показатели технико-экономической эффективности

	Капиталовложения, %	Ущерб от недоотпуска электроэнергии, тыс. руб. / год		Срок окупаемости, год	
		Средний коэффициент загрузки ТП – 20%	Средний коэффициент загрузки ТП – 50%	Средний коэффициент загрузки ТП – 20%	Средний коэффициент загрузки ТП – 50%
Без УПС	–	700	1750	–	–
УПС №1	100	420	1050	2,3	0,9
УПС №1 и №2	180	340	860	1,8	0,7
УПС №1, №2 и №3	260	150	370	1,8	0,7

Как можно видеть из таблицы 3.3, срок окупаемости при использовании УПС на данном участке сети позволит значительно уменьшить ущерб от недоотпуска электроэнергии, в то же время срок окупаемости стремится к уменьшению при внедрении большего числа УПС. Опора ВЛ 10 кВ с установленной на ней УПС показана на рисунке 3.12.



Рисунок 3.12 – Опора ВЛ 10 кВ с УПС

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом бакалаврской работы является анализ известных методов места определения повреждений в сетях 10 кВ, исследованы основные способы поиска мест повреждений, исследованы преимущества и недостатки известных методов.

В ВКР проведен сравнительный анализ технологических нарушений за период с 2017 по 2020 гг. на Минусинском участке Минусинского филиала АО «КрасЭКо». Сравнение проводилось по нескольким критериям, определяющим надежность электроснабжения:

- количество технологических нарушений;
- недоотпуск электроэнергии потребителю;
- количество отключенных абонентов на период проведения поисково-восстановительных работ;
- суммарное и максимальное время перерыва в электроснабжении.

По полученным результатам можно сделать вывод, что к наиболее повреждаемым линиям Минусинского участка относятся кабельные и воздушные линии напряжением 10 кВ.

В работе были предложены мероприятия по повышению эффективности определения мест повреждений в электрических сетях напряжением 10 кВ. В качестве мероприятия, повышающим надежность электроснабжения, было предложено использование в сетях среднего напряжения индикаторов короткого замыкания. Индикаторы короткого замыкания способны фиксировать значение протекающего тока в месте их установки. В случаях возникновения токов КЗ на линии электропередач появляется возможность локализовать место повреждения и провести аварийно-восстановительные работы в более короткие сроки. Таким образом внедрение индикаторов короткого замыкания позволит значительно снизить экономические потери и повышает надежность электроснабжения.

Для реализации оперативного информирования диспетчерского персонала о состоянии сети посредством индикаторов короткого замыкания в бакалаврской работе были исследованы актуальные системы телеметрии и телемеханики. В ходе анализа были выявлены преимущества и недостатки способов передачи данных с индикаторов короткого замыкания на диспетчерский пункт, их технико-экономические особенности, скорость передачи данных, а также помехозащищенность.

Помимо стандартных способов передачи данных в данной ВКР было предложено использование телесигнализации на основе охранной телесигнализации трансформаторных подстанций. Подобный способ передачи данных имеет ряд преимуществ, таких как:

- аппарата 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.

Проведен технико-экономический анализ уже применяемых на практике индикаторов короткого замыкания в составе УПС в Лесосибирском филиале АО «КрасЭКо» ПС-110/6 кВ г. Лесосибирск Ф9-06. Получены положительные результаты технико-экономической эффективности. Ущерб от недоотпуска при использовании одного комплекта УПС снижается примерно на 40%. При относительно небольшом сроке окупаемости данные устройства дадут возможность значительно увеличить надежность электрических сетей.

Работа выполнена в соответствии с СТО 4.2-07-2014 [20] и методическими указаниями по выполнению ВКР [21].

Данная работа актуальна для электросетевых организаций, стремящихся повышать надежность сетей. Проведенный анализ может быть полезен при обслуживании и проектировании электрических сетей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
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, 2018. – 280 с.
3. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок [Текст] : приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 г., № 903н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок". Москва : Кодекс, 2020. – 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 поврежденных 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.
7. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. М.: Энергоатомиздат, 1982. – 310 с.
8. Определение места короткого замыкания на линиях распределительных сетей в объеме функций микропроцессорных токовых защит / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, О. А. Гурьянчик // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2010. – № 6. – С. 5-13.
9. Степанов В. М., Борисов П.А. Диагностика технического состояния силовых кабельных линий напряжением 35-500кВ // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2016. – Вып.6. – Ч.1. – С.66-71.
10. Готман В.И. Короткие замыкания и несимметричные режимы. [Текст]: учеб. для вузов. М: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 240 с.
11. Балдин М. А. Основное оборудование электрических сетей. Справочник. М.: Энас, 2014. – 206 с.
12. Тарасов К.В. Использование индикаторов короткого замыкания в распредсетях 6 – 10 кВ // Электроэнергия: Передача и распределение. – 2014. – №4 (25). С.75-76
13. Назаров А.В. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебное пособие. СПб.: Наука и техника, 2017. – 627 с.

14. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования. Учебное пособие / Н.В. Грунтович. М.: Инфра-М, 2015. – 271 с.
15. Особенности разработки и эксплуатации электросетевого модема для телеметрии и телеуправления / А. А. Сапронов [и др.] Релейная защита, диагностика, автоматика, телемеханика и управление в системах электроснабжения // Известия вузов. Электромеханика. – 2014. – № 3. – С.109-112
16. 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.
17. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи. СПб: БХВ-Петербург, 2014. – 400с.
18. Электронный каталог <https://docplayer.ru> [Электронный ресурс] : Управляемый пункт секционирования распределительной сети. – Режим доступа : <https://docplayer.ru/29747892-Upravlyaemyy-punkt-sekcionirovaniya-raspreditelnoy-seti.html> – Загл. с экрана.
19. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 188 с.
20. СТО 4.2–07–2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Красноярск : ИПК СФУ, 2014. – с.59
21. Выпускная квалификационная работа по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» : метод. указания / сост. Н.В. Дулесова; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Абакан : Ред.изд. сектор ХТИ – филиала СФУ, 2017. – 62 с.
22. Концепция обеспечения надёжности в электроэнергетике. / Воропай Н. И., Ковалёв Г. Ф., Кучеров Ю. Н. и др. – М.: ООО ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. – 212 с.
23. Электронный каталог <https://dc-en.ru/> [Электронный ресурс] : Отзыв о применении индикаторов короткого замыкания "ДСИ ВЛ-30" на объекте. – Режим доступа : <https://dc-en.ru/news/otzyv-o-primenenii-indikatorov-korotkogo-zamykaniya-dsi-vl-30-na-obekte/>.
24. Электронный каталог <https://dc-en.ru/> [Электронный ресурс] : Разъединитель "РМНСА" с функцией УСПД для ИКЗ. – Режим доступа : <https://dc-en.ru/catalog/20/13297/>.
25. Долецкая Л. И., Кавченков В. П., Солопов Р. В. Оценка эффективности методов повышения надежности распределительных электрических сетей // Интернет-журнал «Наукovedение». – 2015. – Т.7 – №6. – 13 с. – URL : <http://naukovedenie.ru/PDF/98TVN615.pdf>

26. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. Утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 г. № 1523-р [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://minenergo.gov.ru/modal/view-pdf/1026/119047/nojs>
27. Красных А.А., Кривошеин И.Л., Газиев А.С. Контроль замыканий в воздушных линиях электропередачи с изолированной нейтралью // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018). [Электронный ресурс] : сб. ст. : XVIII Всерос. науч.-практ. конф., 2–28 апр. 2018 г. в 3 т. – Киров : [Изд-во ВятГУ], 2018. – 3 т. – С.422-429

Бакалаврская работа выполнена мной самостоятельно. Используемые в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Отпечатано в _____ экземплярах.

Библиография _____ наименований.

« _____ » _____ 20 ____ г.
(дата)

(подпись)

(ФИО)

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»

институт
«Электроэнергетика»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Г. Н. Чистяков

подпись

инициалы, фамилия

« 28 » 06 2021 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Сравнительный анализ эффективности методов поиска повреждений
в сетях 10 кВ

тема

Руководитель

Е.В. Платонова
28.06.21

подпись, дата

доцент, к.т.н

должность, ученая степень

Е.В. Платонова

инициалы, фамилия

Выпускник

Р.С. Щекин
28.06.21

подпись, дата

Р.С. Щекин

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

И.А. Кычакова
28.06.2021

подпись, дата

И.А. Кычакова

инициалы, фамилия

Абакан 2021