

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

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем
электроснабжения
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Определение места повреждения в распределительных кабельных
сетях 10 кВ с использованием интеллектуальных систем»

Студент

А.А. Андреев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

А.А. Кувшинов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

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

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2018 г.

Допустить к защите

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

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Анализ известных методов определения места повреждения кабельных сетей 10кВ	8
1.1 Методика определения места повреждения кабельных сетей	8
1.2 Относительные методы отыскания повреждений в кабельных сетях... ..	11
1.2.1 Импульсный метод.....	12
1.2.2 Метод колебательного разряда.....	15
1.2.3 Метод петли.....	19
1.2.4 Емкостной метод	23
1.3 Абсолютные методы определения повреждений в кабельных сетях	27
1.3.1 Индукционный метод	28
1.3.2 Акустический метод	29
1.3.3 Метод накладной рамки	30
2. Расчет уставок ДКЗ	32
2.1 Актуальность применения ДКЗ.....	32
2.2 Выбор типа ДКЗ	36
2.2.1 Герконовые датчики	36
2.2.2 Электронные датчики	40
2.3 Расчет токов короткого замыкания	46
2.3.1 Расчет сопротивлений на шинах РП	47
2.3.2 Расчет токов КЗ для ТП-11.....	50
2.3.3 Расчет токов КЗ для ТП-12.....	56
2.3.4 Расчет токов КЗ для ТП-13.....	59
2.3.5 Расчет токов КЗ для ТП-14.....	62
3. Телемеханизация сигналов ДКЗ	67
3.1 Виды телемеханических систем	67
3.1.1 Телесигнализация.....	68
3.1.2 Телеуправление	70

3.1.3 Телеизмерение	71
3.1.4 Телерегулирование.....	72
3.2 Каналы связи телемеханических систем	73
3.2.1 Проводная связь	74
3.2.2 Силовые линии связи.....	75
3.2.3 Радиосвязь.....	77
3.2.4 Технико-экономический анализ существующих каналов связи	78
3.3 Связь с диспетчерской.....	82
Заключение	87
Список используемых источников.....	89

Введение

В связи с тем, что потребляемые мощности потребителей АО «ССК» ежегодно растут, возникает проблема более качественного электроснабжения. Это достигается путем проведения технического перевооружения отдельных объектов и периодическими ремонтными работами. Но аварийные ситуации это явления, которые происходят и будут происходить, вне зависимости от качества эксплуатируемого оборудования, ведь помимо технического уровня оборудования, составляющим звеном возникновения аварий являются природные катаклизмы и человеческий фактор. Самой повреждаемой частью электрических городских сетей являются кабельные линии электропередач. Для успешного отыскания места повреждения кабеля необходимо знать характер повреждения и, в соответствии с этим, выбрать нужную методику проведения этой работы.

Целью данной магистерской диссертации является повышение надежности электроснабжения потребителей за счет установки на вводах трансформаторных подстанций датчиков короткого замыкания.

К задачам относятся:

1. Анализ известных методов места определения кабельных сетей 10 кВ.
2. Расчет уставок ДКЗ.
3. Телемеханизация сигналов ДКЗ.

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 аварийно-восстановительных 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.

- Технико-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.

Новизна и практическая значимость работы объясняется проведением анализа существующих методов отыскания повреждений в кабельных сетях. Для того чтобы задефектовать поврежденную кабельную линию, необходимо производить измерения и переключения почти на каждой подстанции в цепочке. Производство данных работ объясняется неселективным действием защит подстанций по высокой стороне. Во время проектирования

электрооборудования 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. Но также нашла и недостатки, решение которых требует применения особых методик, а также большего времени для этого. Повреждение кабеля в цепочке подстанций, не важно в начале цепочки или в конце, вызывает срабатывание защит на распределительном пункте и происходит отключение всей цепочки подстанций. Вследствие этого, поврежденный кабельный участок 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. Так как такой режим работы допустим на определенное время, согласно инструкций, то отыскание данного повреждения занимает как правило намного больше время. В этом случае могут быть использованы различные методики, которые должны быть прописаны в производственных инструкциях компании.

Применение датчиков короткого замыкания позволит сразу определить поврежденный участок кабельной линии. Для того чтобы выбрать ток срабатывания датчика необходимо произвести расчет для каждой подстанции. Особенное значение в работе по электрооборудованию данные

датчики будут представлять для потребителей третьей категории электроснабжения. При отключении единственного питающего кабеля в цепочке однострансформаторных подстанций, первой задачей является именно определение поврежденного кабеля, что может быть быстро достигнуто с использованием датчиков короткого замыкания. Таким образом, убыстряются аварийно-восстановительные работы и тем самым убыстряется нормальное электроснабжение потребителей. Увеличение данных показателей повышает надежность электроснабжения.

Структура и объем работы. Данная магистерская диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованных источников. Работа изложена на 92 страницах основного текста, содержит 36 рисунков и 8 таблиц. Список использованных источников включает 36 наименований.

1 Анализ известных методов определения места повреждения кабельных сетей 10 кВ

1.1 Методика определения места повреждения кабельных сетей

Электроснабжение современного города должно удовлетворять основным требованиям, самым главным из которых является надёжность электроснабжения [1]. Государственные учреждения, жилищные массивы, объекты народного хозяйства, различные виды электротранспорта, а также системы управления и контроля - всё это входит в состав мегаполиса и работа всех этих структур напрямую зависит от электроснабжения. Поэтому повреждение питающей электрической сети может привести не только к существенным экономическим потерям, но и к более серьезным последствиям.

Возникшее нарушение электроснабжения должно быть устранено в кратчайшие сроки. Для городских электрических сетей это особенно актуально, так как передача электрической энергии потребителю осуществляется посредством кабельных линий. Они находят всё большее применение в городских сетях, ведь такие способы передачи электроэнергии более безопасны и эстетичны [2]. Устранение неисправностей в данных линиях занимает продолжительное время, так как часто этому процессу предшествуют земляные работы. Поэтому поиск поврежденного участка является одной из главных задач при возобновлении электроснабжения в аварийных ситуациях.

Обученный оперативный персонал действует согласно разработанным методикам. При возникновении короткого замыкания, в кабельной 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 (рисунок 1).

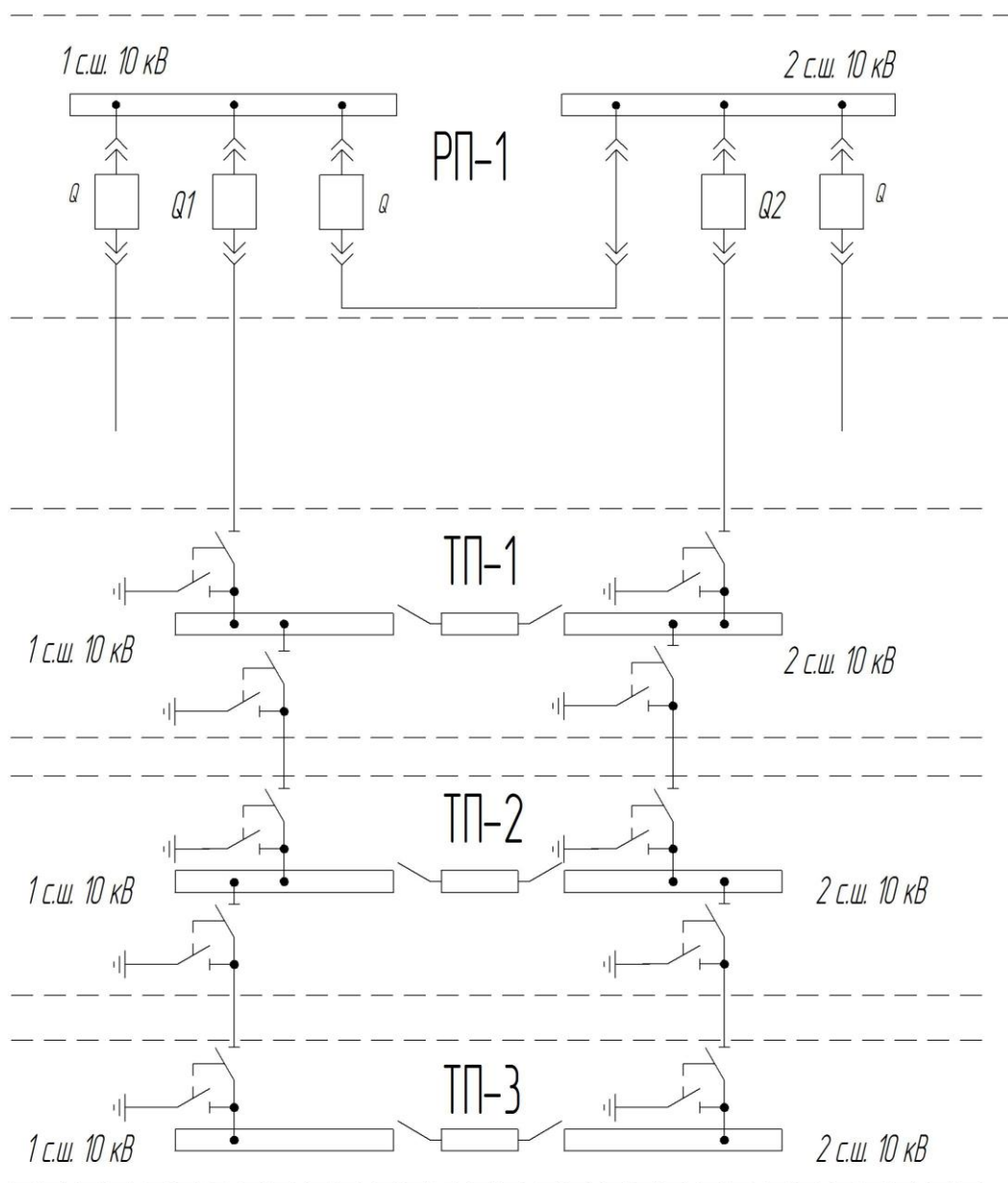


Рисунок 1 - Упрощенная электрическая схема цепочки подстанций

Прибывший на место срабатывания релейной защиты оперативный персонал осматривает отключившееся оборудование и докладывает непосредственному руководителю необходимую для дальнейших действий

информацию [3]. В данном случае, отключение выключателя Q1 приведет к обесточиванию первых секций шин на всех ТП в цепочке. Если подключенные подстанции (ТП) однотрансформаторные и питающая линия одна, то потребитель остается без электричества на весь период ликвидации аварии. При двухлучевой системе питания, как показано на рисунке 1, отключившуюся поврежденную линию можно зарезервировать, 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 первостепенной 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 кабельный 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, как показано на рисунке 1, 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 [7].

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 [8].

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 [9].

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 2.

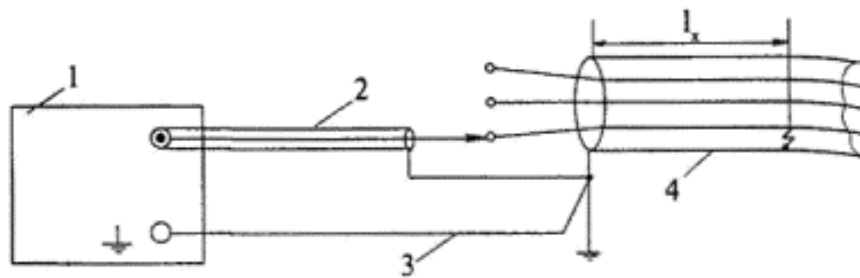


Рисунок 2 - Подключение импульсного прибора к кабельной линии [8]

В современных установках генерация импульсов, прием сигналов и индикация выполняются в одном устройстве (рисунок 2) основными составными частями которого являются 1 – подключаемый прибор, 2 – соединительный кабель, 3 – защитное заземление прибора. Цифрой 4 на рисунке 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 [9].

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 3).

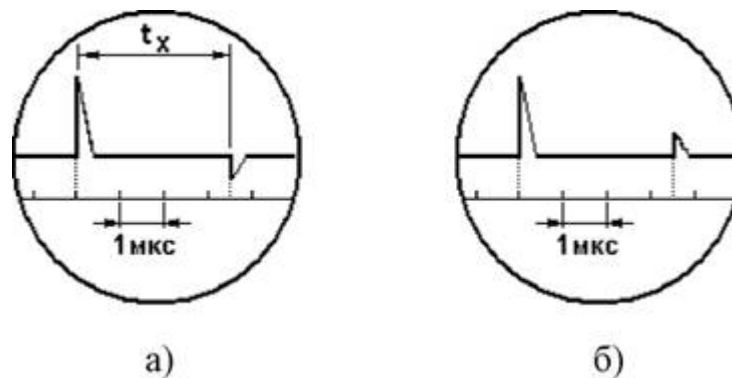


Рисунок 3 - Показания прибора при определении зоны повреждения кабельных линий: а) при коротком замыкании; б) при обрыве [8]

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 4 показана принципиальная однолинейная схема трассы кабельной линии.

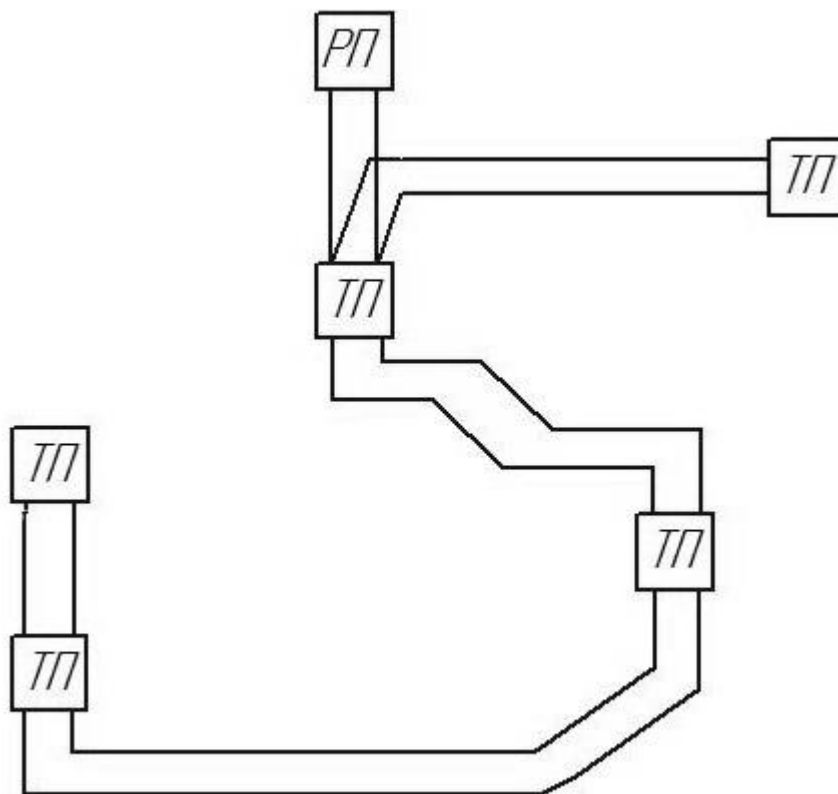


Рисунок 4 - Однолинейная схема трассы кабельной линии

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 [10]. 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.

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 [11]. 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 [8].

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 её 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 5

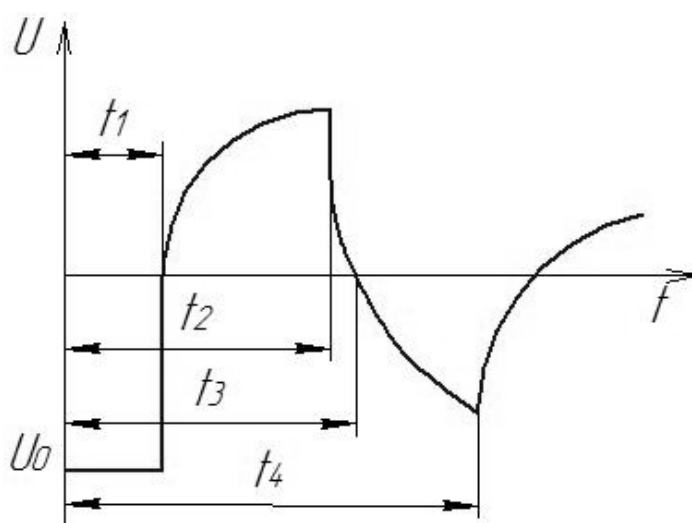


Рисунок 5 - График зависимости напряжения от времени при пробое кабеля.

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 6.

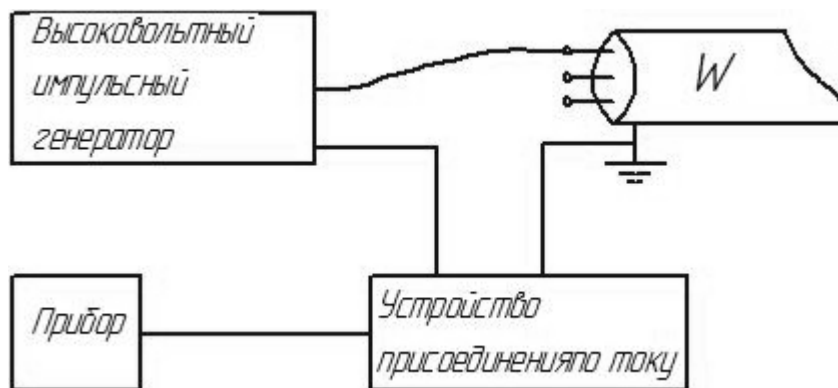


Рисунок 6 - Принципиальная схема подключения прибора при отыскании места повреждения зоны кабеля волновым методом.

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.

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 7).

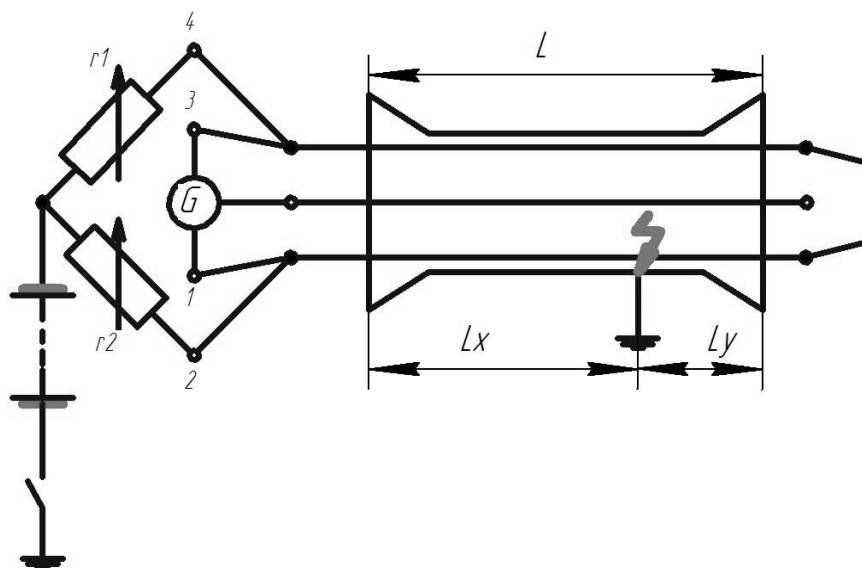


Рисунок 7 - Принципиальная схема измерительного моста постоянного тока

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 её 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.

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 8). Соответственно сопротивление R_y пропорционально длине $L - L_x$.

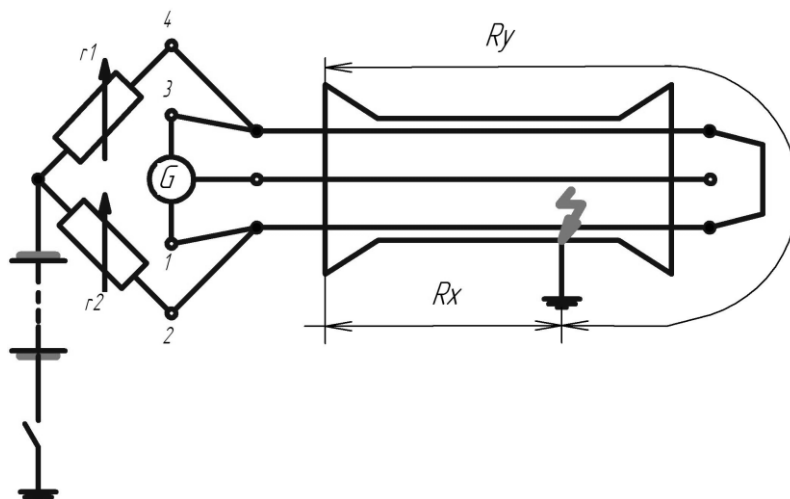


Рисунок 8 - Принципиальная схема измерительного моста постоянного тока.

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

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

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 [8].

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 трудоёмок и занимает существенное количество времени. Так же границы применимости данного метода небольшие, в связи с тем, что при повреждении трёх фаз схема уже нужным образом работать не будет и обычный обрыв жилы, без замыкания её на оболочку, так же не может быть определён с помощью петлевого метода.

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 9 представлена мостовая схема на переменном токе.

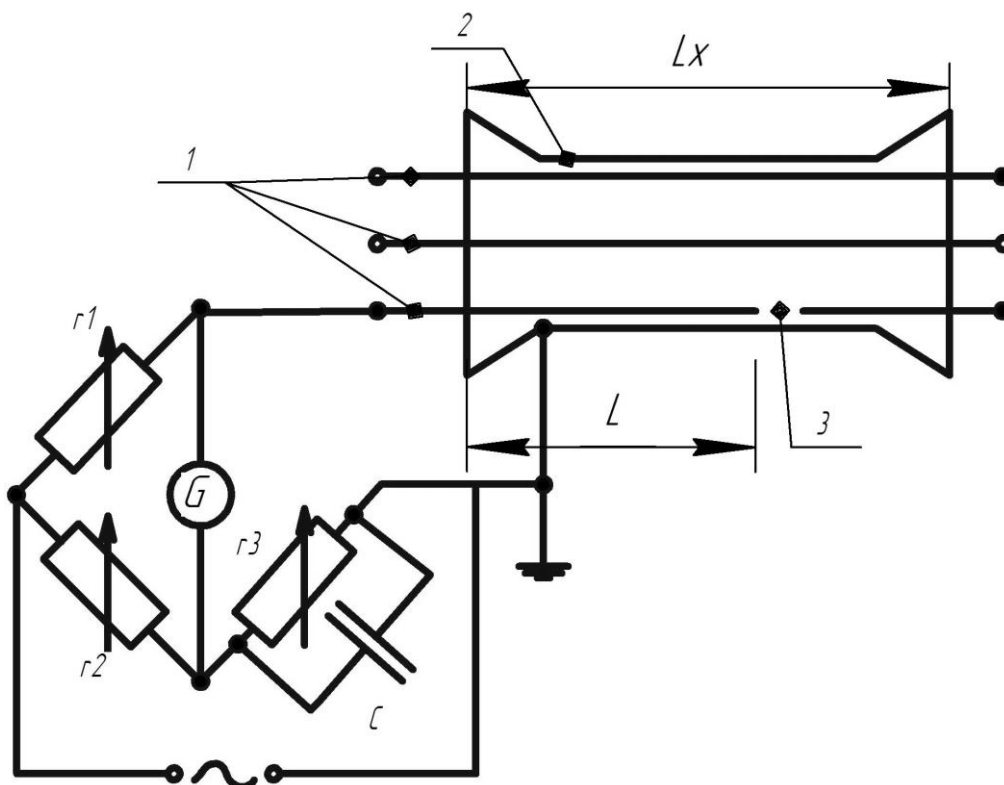


Рисунок 9 - Экспериментальная электрическая схема на основе моста переменного тока

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):

$$L = L_x \frac{C_0}{C_x} \quad (8)$$

Аналогично емкость поврежденной кабельной жилы может быть определена с помощью баллистического гальванометра. Экспериментальная электрическая схема представлена на рисунке 10.

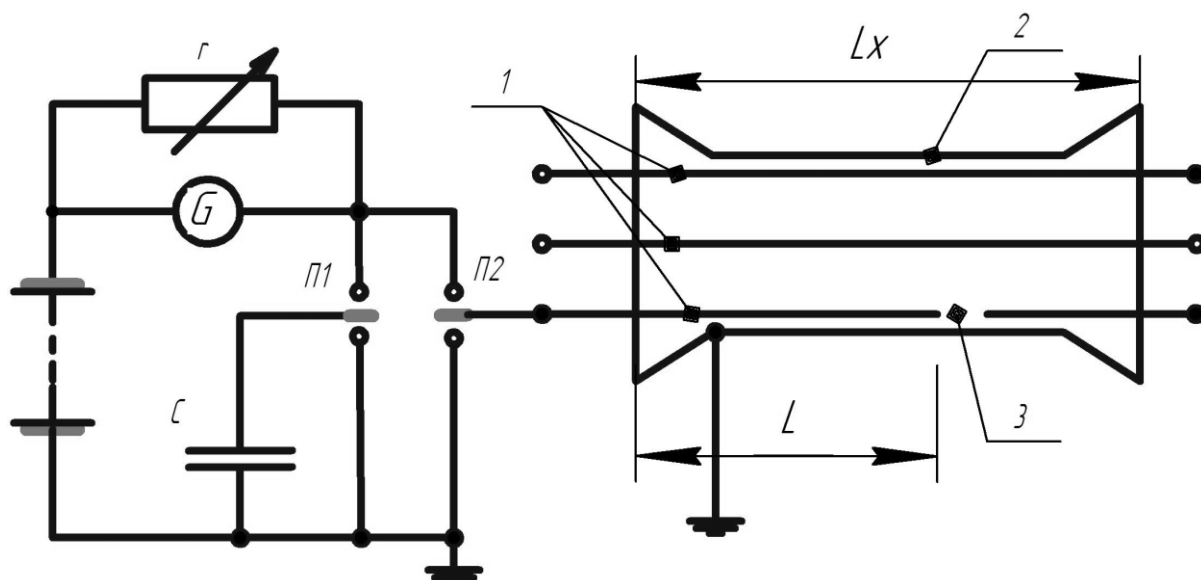


Рисунок 10 - Измерительная схема содержащая баллистический гальванометр на постоянном токе.

С помощью сопротивления r производят регулировку чувствительности гальванометра. После того как чувствительность отрегулирована до минимальных значений, переключатель П2 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_3 .

Расстояние до места повреждения при этом определяется как:

$$L = C_3 \frac{L_3 \cdot C_1}{C_1 + C_2}, \quad (10)$$

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 ещё 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 11.

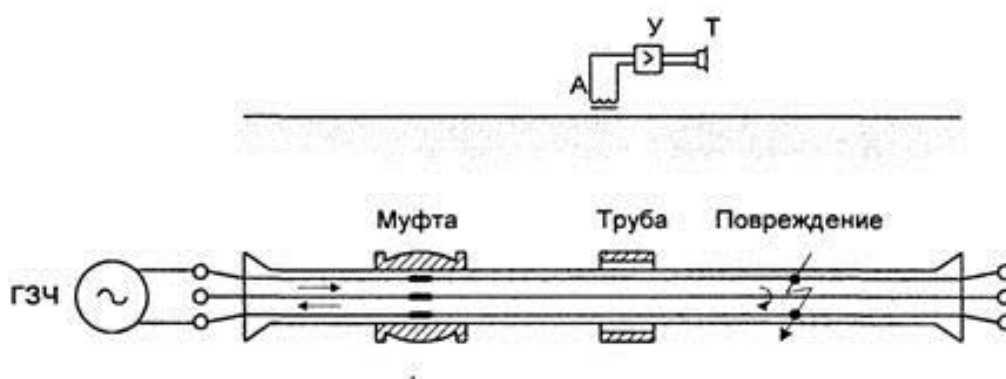


Рисунок 11 – Экспериментальная схема подключения генератора звуковой частоты к кабелю

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 [12]. 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 её. 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 всё слабее и тем самым вероятность допустить ошибку при определении места повреждения повышается.

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. Аналогичную испытательную схему, представлена схема замещения на рисунке 12.

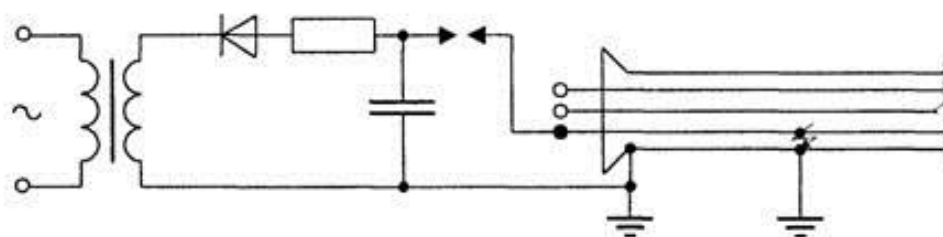


Рисунок 12 – Схема замещения испытательной установки

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.

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 определение 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 Расчет уставок ДКЗ

2.1 Актуальность применения ДКЗ

Датчик короткого замыкания (ДКЗ) - это средство измерения и обнаружения превышения тока в силовой токоведущей цепи. Его основное назначение - сигнализировать об прошедшем через зону его дежурства короткого замыкания. ДКЗ целесообразно устанавливать на подстанциях где нет своих защит. Это как раз подстанции напряжением 6-35кВ. Сети именно этого класса напряжения обладают большой суммарной протяженностью и сложным разветвлением, что подвергает их большому риску к повреждениям [13].

Распределительные кабельные сети данного класса напряжения выходят из строя вследствие:

- 1) Дефектов прокладки кабеля: крутых изгибов трасс, прокладки вблизи тепловых сетей, перекрутки;
- 2) Дефектов возникающих при монтажах муфт;
- 3) Повреждений при эксплуатации: случайные механические повреждения в процессе производства земляных работ.

Каждая из этих причин является актуальной для кабельных линий, проложенных в городских условиях, поэтому повреждения кабелей - частое явление. При возникновении короткого замыкания необходимо восстановить нормальный режим электроснабжения. Для этого нужно локализовать поврежденный участок линии. В Ставропольских электрических сетях основная часть потребителей электроэнергии - это потребители второй категории, т.е. восстановление электроснабжения производится не автоматикой, а вручную, оперативным персоналом. Рассмотрим пример структурной схемы электроснабжения для одной цепочки подстанций на рисунке 13.

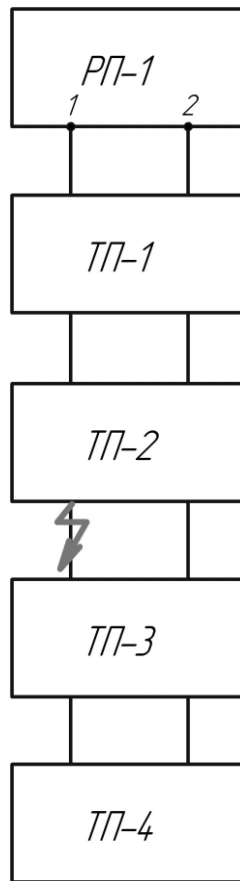


Рисунок 13 - Структурная схема цепочки подстанций

Распределительный пункт (РП-1) питает электрической энергией цепочку подстанций, где головной является ТП-1, а конечной ТП-4. Распределение происходит по 10кВ, где трансформаторные подстанции как раз таки лишены защит. При возникновении короткого замыкания в цепочке, в данном случае между подстанциями ТП-2 и ТП-3, отработает защита на РП-1 и отключит ячейку 1. 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 [8]. Электроснабжение потребителей по 0,4кВ на трансформаторных подстанциях производится

методом секционирования с неповрежденной секции шин (в данном случае со второй) [14]. Секционирование производится до локализации повреждения по 10кВ 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 ещё и секционирование по 10кВ (в данном случае на ТП-3), с целью повышения надежности электроснабжения. Существенная часть времени тратится как раз таки 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 14)

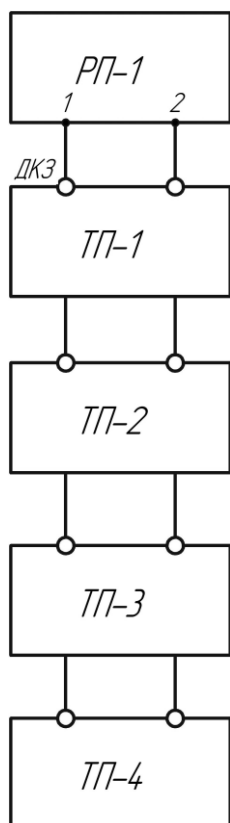


Рисунок 14 - Структурная схема цепочки подстанций с ДКЗ

Датчики короткого замыкания, изображенные кружком на рисунке 14, устанавливаются на вводе в подстанцию. При протекании через него тока

короткого замыкания, датчик срабатывает и сигнализирует о своём включенном положении (рисунок 15)

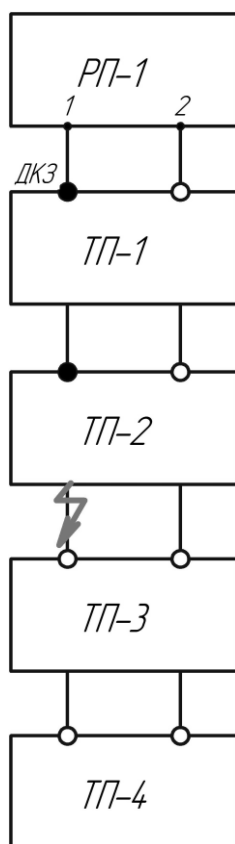


Рисунок 15 - Структурная схема цепочки подстанций с ДКЗ

С помощью средств телемеханики сигнал передается на главный пульт диспетчера электрических сетей и тем самым он заранее знает место повреждения и дает распоряжение бригаде [15]. Таким образом, внедрение ДКЗ значительно сокращает время для работ по электроснабжению потребителей при возникновении аварийных ситуаций, а это значит, что их применение целесообразно, так как происходит увеличение надежности электроснабжения.

2.2 Выбор типа ДКЗ

В настоящее время на электротехническом рынке имеется большое количество датчиков короткого замыкания. Чтобы выбрать оптимальный вариант необходимо задаться критериями для данных датчиков. Как и в любых элементах электроэнергетической системы, наиболее оптимальными будут датчики обладающие высокой надежностью и относительно невысокой ценой. Надежность для данных датчиков так же характеризуется простотой элементной базы, что является немаловажным критерием при выборе устройства [15].

2.2.1 Герконовые датчики

В герконовых датчиках основным составным элементом является геркон. Эти устройства широко используются в охранных системах, а теперь нашли своё применение и в электроэнергетике. Их компактность позволяет применять их так же и в радиоаппаратуре. Так же, считается, что при соблюдении нормальных условий использования (без сильного механического воздействия на устройство и без превышений его электрических параметров) герконы имеют почти бесконечный срок службы.

Данный тип датчиков имеет огромное количество производителей, предлагающих свою продукцию с разными модификациями, но имеющими один принцип действия и одно назначение. Поэтому в качестве оптимального варианта рассматривается наиболее простой (рисунок 16).



Рисунок 16 – Герконовый датчик короткого замыкания

Основными составными элементами данного датчика являются:

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

Плата датчика чаще всего выполнена из стеклотекстолита, так как должна обладать большим удельным сопротивлением. На плате закрепляются постоянный магнит и геркон, таким образом, что геркон находится в неподвижном состоянии, а положение магнита можно изменять и закреплять в нужном положении. В плате имеется специальное отверстие для кабеля. Датчик устанавливается на кабель таким образом, чтобы плоскость перемещения магнита была перпендикулярна этому кабелю.

Геркон или герметичный контакт осуществляет коммутацию данной сигнальной цепи. Он представляет из себя магнитоуправляемые герметичные контакты. Для функционирования данного устройства требуются две составляющие: исполнительная и задающая часть. В данном датчике эти части разделены. Исполнительная часть представляет собой два ферромагнитных контакта, помещенных в стеклянный баллон. Внутри этого баллона находится инертный газ, чаще всего азот. Такая конструкция

определяет долговечность устройства и так же изолирует контакты от окружающей среды. Так же с целью продления срока службы геркона, контакты покрываются специальным металлом (молибденом или титаном). Задающая часть представляет собой как раз таки постоянный магнит. Срабатывание датчика происходит вследствие изменения индукции магнитного поля. Увеличение поля приводит к замыканию данных контактов, а, соответственно, уменьшение – к размыканию. 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 любого проводника с током существует электромагнитное поле, силовые линии которого представляют собой окружности. По мере удаления от проводника густота силовых линий становится меньше, а значит и электромагнитное поле становится меньше. При увеличении тока в этом проводнике, увеличивается и возникаемое вокруг него поле. В данном случае, проводником с полем является кабельная линия. В нормальном режиме магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом, не вызывает изменений положения геркона. При коротком замыкании же эти параметры могут меняться. Возникающее короткое замыкание, порождает увеличение тока, которое в свою очередь порождает увеличение магнитного поля. Данное возмущение уже не может быть инерционно скомпенсировано и геркон срабатывает.

В момент увеличения тока замыкаются герконовые контакты, замкнутое положение которых запоминается с помощью триггера «защелки». Данные триггеры используются не только для хранения информации, но и для создания задержки импульсного входного сигнала. Основными активными элементами триггера 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. А это значит, что после уменьшения тока и размыкания контактов геркона, триггер так и будет сигнализировать о том, что через данный участок цепи прошел ток короткого замыкания.

Так же, запоминание отработанного положения может быть произведено с использованием другого герконового устройства - герметизированного запоминающего контакта (гезакона). Его отличительной особенностью является особый состав контактов. Они должны иметь прямоугольную петлю гистерезиса, обладающую достаточно сильным намагничиванием. Благодаря этому, при замыкании контактов гезакона, они остаются в замкнутом состоянии. Чтобы эти контакты разомкнулись нужно подать размагничивающий импульс. В качестве материала для контактов используются особые сплавы кобальта и никеля, называемые реманентными.

Уставка данного датчика регулируется с помощью постоянного магнита. Изменение его положения производится на плате, соответственно, чем больше ток короткого замыкания, тем больше расстояние между герконом и магнитом. Это объясняется так же густотой силовых линий [16]. Регулировка этого изменения производится эмпирическим методом. Зная ток короткого замыкания для конкретной точки, производится изменение положения постоянного магнита. При заданных параметрах, замыкание герконовых контактов будет говорить о срабатывании датчика на короткое замыкание. Чтобы датчики работали селективно, регулирование производится до тех пор, пока не будет найдено минимальное расстояние между постоянным магнитом и герконом. Испытание и регулировка датчиков должны проводиться в лабораторных условиях.

Дальнейший вывод информации на пульт диспетчера, возможно произвести через уже имеющуюся на подстанции дверную сигнализацию, которая производит вывод сигнала телемеханическими средствами.

Данные датчики обладают самой низкой ценой из всех, существующих на данный момент датчиков. Простая компонентная база делает данное устройство очень надежным, ведь оно даже не требует источника питания. Дешевизна этих датчиков определяется не только относительной дешевизной компонентов, но и в отсутствии необходимости в преобразователях тока или напряжения. Так же эти датчики долговечны и обладают достаточно быстрым временем срабатывания. К недостаткам же причисляют сильную восприимчивость датчиков к внешним магнитным полям и достаточную хрупкость герконового баллона. Так как эти датчики планируется устанавливать в закрытой подстанции, то эти недостатки не столь важны. Важным же недостатком является то, что в сетях с изолированной нейтралью данные датчики не будут сигнализировать об однофазном коротком замыкании. 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

Электронные датчики короткого замыкания схожи по своему принципу действия с обычными токовыми реле. Данный тип датчиков широко применяется не только на кабельных линиях, но и на воздушных. Аварийное место фиксируется при протекании тока короткого замыкания в одной или сразу нескольких кабельных фазах [15]. Существуют многочисленные модификации от огромного числа производителей этих датчиков, поэтому будет рассматриваться вариант с наиболее широким типом применения. Так же определяющим фактором при выборе датчика короткого замыкания является его пригодность к различному оборудованию. Так как модернизация оборудования подстанций будет нецелесообразной только с целью установки ДКЗ. В качестве такого датчика, принимается комплект EKL 1.2. (Германия).

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 так же управления режимами и уставками срабатывания (рисунок 17).



Рисунок 17 – 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 режим сигнализации в случае обесточивания самой трансформаторной подстанции. Так же установка датчиков в самих подстанциях упрощает интеграцию необходимой информации в телемеханику.

Датчики для обнаружения короткого замыкания (ДКЗ) используются для регистрации возникшей аварии. Срабатывание производится аналогично другим датчикам - при превышении тока в кабеле. Устанавливаются они на каждую фазу кабельной жилы, поэтому их оптимальное количество соответствует трём на один кабель (рисунок 18).

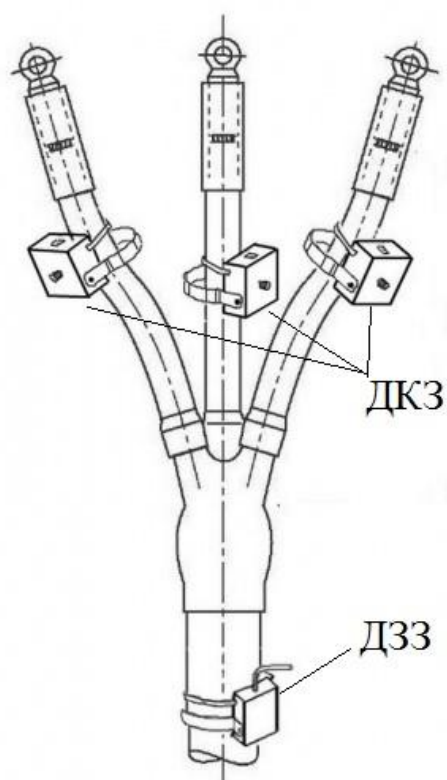


Рисунок 18 – Датчики короткого замыкания и датчик замыкания на землю

По большому счету, они представляют собой трансформаторы тока [17]. Устройства реагирования и сигнализации превышения тока могут быть в совмещенном с датчиками исполнении, либо быть в составе блока

управления. Структурная схема соответствует функциональным блокам микропроцессорной токовой защиты (рисунок 19).

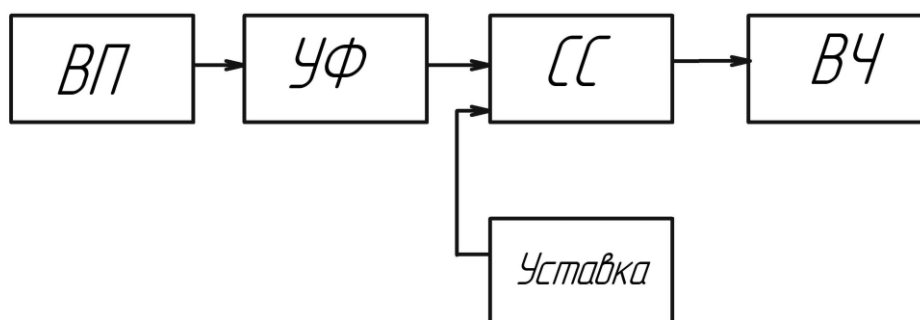


Рисунок 19 – Структурная схема логической части датчика короткого замыкания

Входной преобразователь (ВП) обеспечивает гальваническую развязку внешних цепей от внутренних, а также приведение подконтрольных сигналов к нормированному уровню. Электрическая схема представляет собой промежуточный трансформатор с шунтами и R/C цепью (рисунок 20). В данных преобразователях необходимо снижать межобмоточную емкость, с целью снижения попадания помех внутренних цепей [22]. Эта проблема решается с помощью электростатического экрана, устанавливаемого между первичной и вторичной обмоткой. Данные преобразователи чаще всего представляют собой обычные электромагнитные трансформаторы с ферромагнитным сердечником, но также нашли применение и активные трансформаторы.

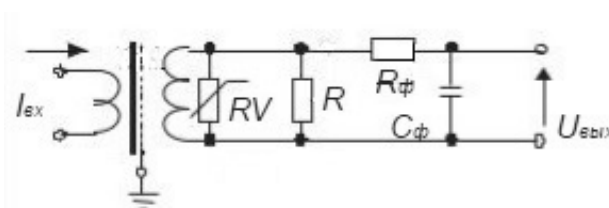


Рисунок 20 – Электрическая схема ВП

Так как данные цепи потребляют малые мощности, то преобразование токовых сигналов в напряжение осуществляется с помощью шунтов (R). Варистор служит в данном узле для защиты от перенапряжений. Так же могут быть использованы с этой целью и стабилитроны.

Так как здесь ещё осуществляется фильтрация входных сигналов, то в состав ВП входит ещё и узел формирования (УФ). 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. Данное преобразование и обработка информации производится с помощью микроЭВМ или просто процессора. Функциональный блок микропроцессора состоит из большого количества элементов, а именно из схемы управления, схемы синхронизации, центрального процессора, ОЗУ, ПЗУ и дополнительных модулей. Так как датчики короткого замыкания можно отнести к устройствам защиты, то они должны иметь жесткую программу. В более простом случае, данную логическую часть можно представить с помощью схемы сравнения (СС) и выходной части (рисунок 19). Схема сравнения, которая чаще всего представляет собой компараторы, производит сравнение поступающих на него сигналов. Сравнение производится между инвертирующим и неинвертирующим вводами, на которые поступают сигналы, соответствующие внешней электрической цепи и заданной уставке. При превышении уставки, компаратор подаст сигнал.

Так как данные датчики (ДКЗ) будут устанавливаться в сети с изолированной нейтралью, то срабатывать они будут на межфазные замыкания и междуфазные на землю. В этих сетях, в данном режиме нейтрали, защита от однофазного КЗ на землю срабатывать должным образом не будет. При однофазном КЗ, в данном случае, ток в поврежденной фазе может не достигать номинальных значений (как правило не более 100

А). Его значение определяется емкостями двух других неповрежденных фаз, соответственно, датчик, установленный на поврежденной фазе не сработает, так как не получит превышение уставки по току. С целью обнаружения и этих замыканий, при данном режиме нейтрали, устанавливается ещё один датчик сразу на три жилы – датчик замыкания на землю (ДЗЗ).

Данное устройство (ДЗЗ), имеет схожий принцип действия и внешний вид, что и ДКЗ. Представляет он из себя так же трансформатор тока, но реагирующего не на превышение тока нагрузки, а на превышение тока утечки. Поэтому его входной преобразователь можно сравнить с трансформатором тока нулевой последовательности [23]. Данный трансформатор так же устанавливается на весь кабель и ток в нем течет при возникновении утечки. В нормальном режиме, напряжения всех трех фаз по отношению к земле равны соответствующим фазным величинам. Вектора напряжений компенсируют друг друга и ток в нейтрали практически равен нулю. При однофазном замыкании, нейтральная точка смещается на поврежденную фазу и ток в ней определяется уже током утечки (рисунок 21)

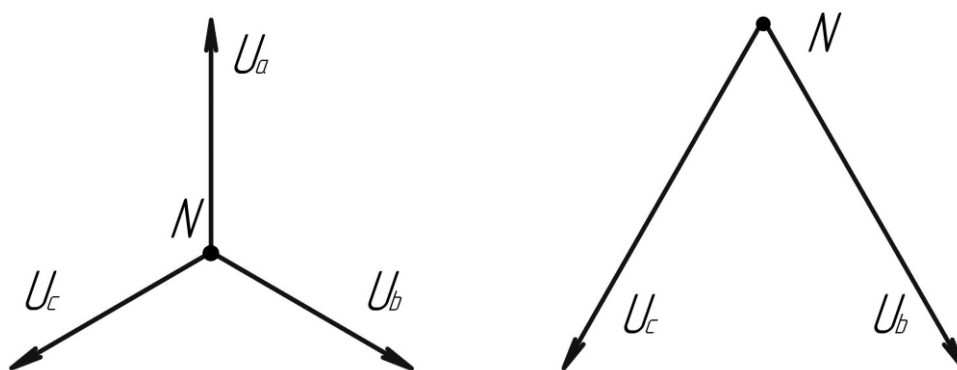


Рисунок 21 – Векторная диаграмма напряжений при однофазном КЗ

Этот ток утечки и создаёт несимметрию, которая наводит данный ток в трансформаторе тока нулевой последовательности. В датчике замыкания на землю, так же как и на данных трансформаторах, должны быть соблюдены

условия для корректной работы. Их используют в основном на кабелях с металлической оболочкой и заземляющий проводник должен быть пропущен через крепеж датчика.

Уставки ДКЗ и ДЗЗ регулируются практически одинаково. В конструктивном плане это регулирование можно произвести как с блока питания, так и на самом датчике. У самого датчика имеется регулятор с соответствующими для выбранного тока срабатывания положениями. Регулирование производится в широких пределах, поэтому уставку можно выбрать для множества кабельных линий индивидуально. В случае несимметричной нагрузки фаз возможно так же произвести выбор уставки для каждой фазы отдельно. Основным преимуществом данного типа датчиков перед герконовыми это более обширный спектр применения, так как они регистрируют все виды замыканий. Помимо этого, с помощью электроники данного устройства, регулирование уставок, режимов срабатывания, а также режимов отображения замыканий заметно упрощается. Основным недостатком же является высокая стоимость.

2.3 Расчет токов короткого замыкания

Прежде чем производить расчет уставок ДКЗ, необходимо знать токи короткого замыкания для каждого участка линии, где они будут установлены. Это производится не только для достижения минимального времени срабатывания, но и с целью селективности. Расчет будет производиться для типового жилого квартала, состоящего из одного распределительного пункта и множеством ТП и КТП [18]. Расстояние между подстанциями в каждой цепочке не может быть одинаковым в городских условиях, поэтому расчет должен производиться для каждой ТП в отдельности. На рисунке 22 представлена структурная схема данного квартала

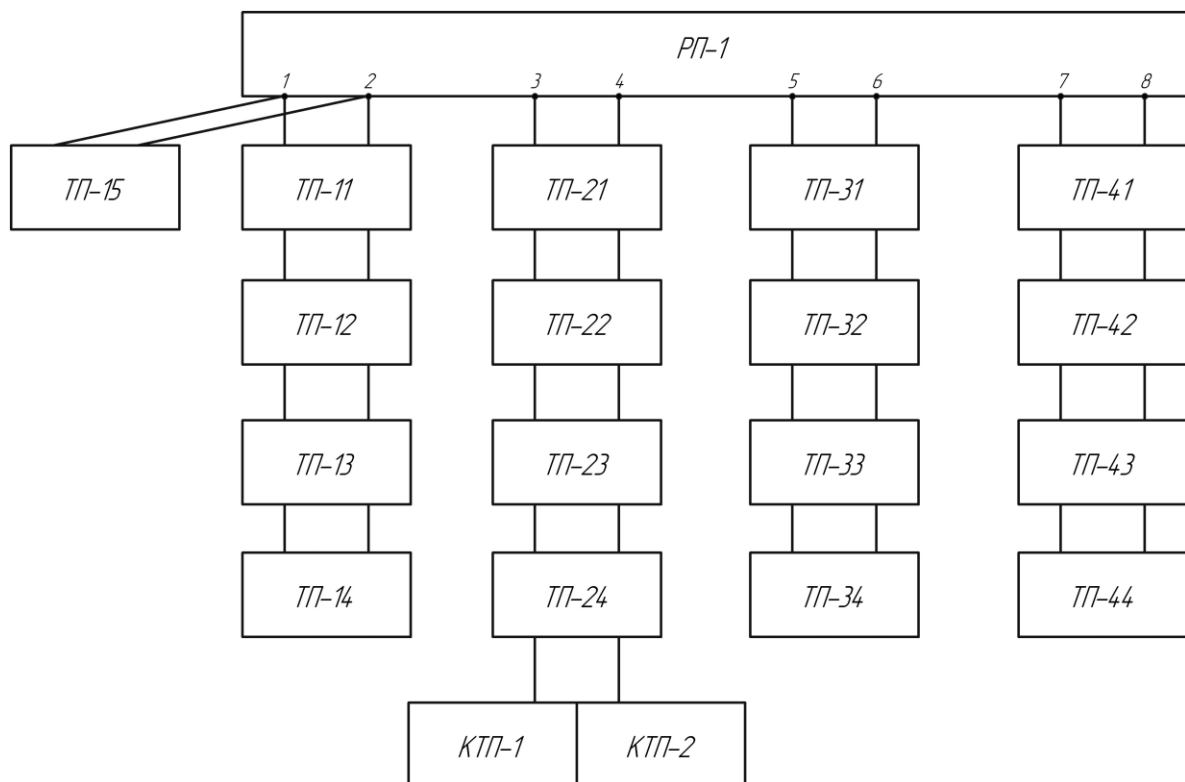


Рисунок 22 - Структурная схема электроснабжения типового жилого квартала

2.3.1 Расчет сопротивлений на шинах распределительного пункта РП

Прежде чем производить расчет для каждой ТП, нужно определить необходимые сопротивления, которые будут характеризовать токи короткого замыкания на шинах РП. Это производится так же с целью удобства расчета, потому 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 23)

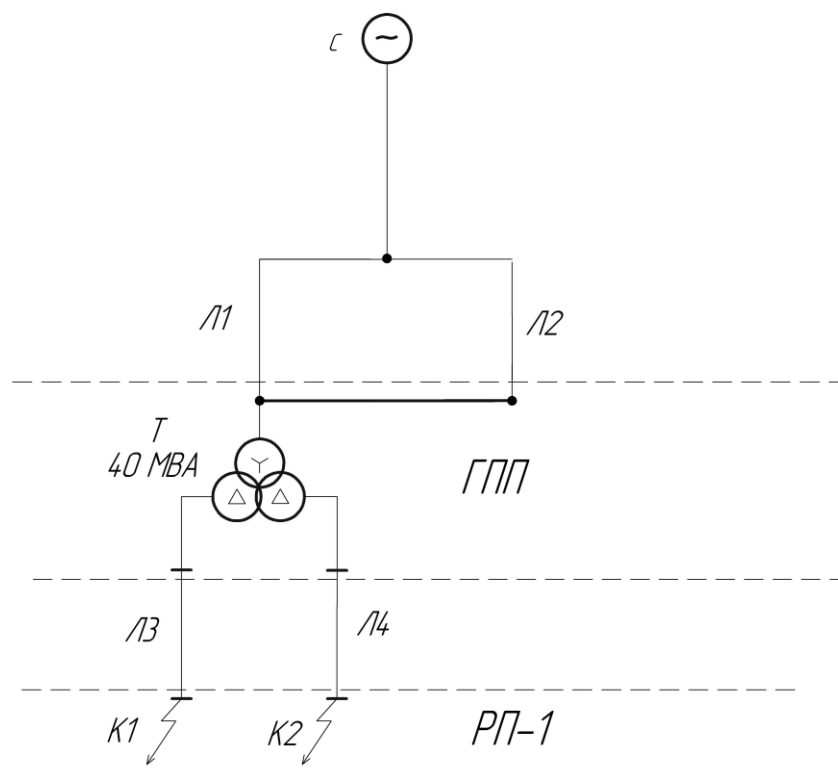


Рисунок 23 - Электрическая схема для расчета токов КЗ на шинах РП

То есть произвести расчет для точки К1 будет достаточным, так как трансформатор, находящийся на ГПП - с расщепленной обмоткой низкого напряжения. Сопротивления линий Л3 и Л4 равны, ввиду того что эти линии выполнены кабелем одной марки и имеют одинаковые длины.

Данные для трансформатора на ГПП, представлены в таблице 1

Таблица 1 - Технические характеристики трансформатора ТРДН-40000/110/10/10 [18]

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- 40000/110	40	115	10,5	10,5	170	34	0,55	10,5

Расчет сопротивлений производится в относительных единицах. Схема замещения представлена на рисунке 24.

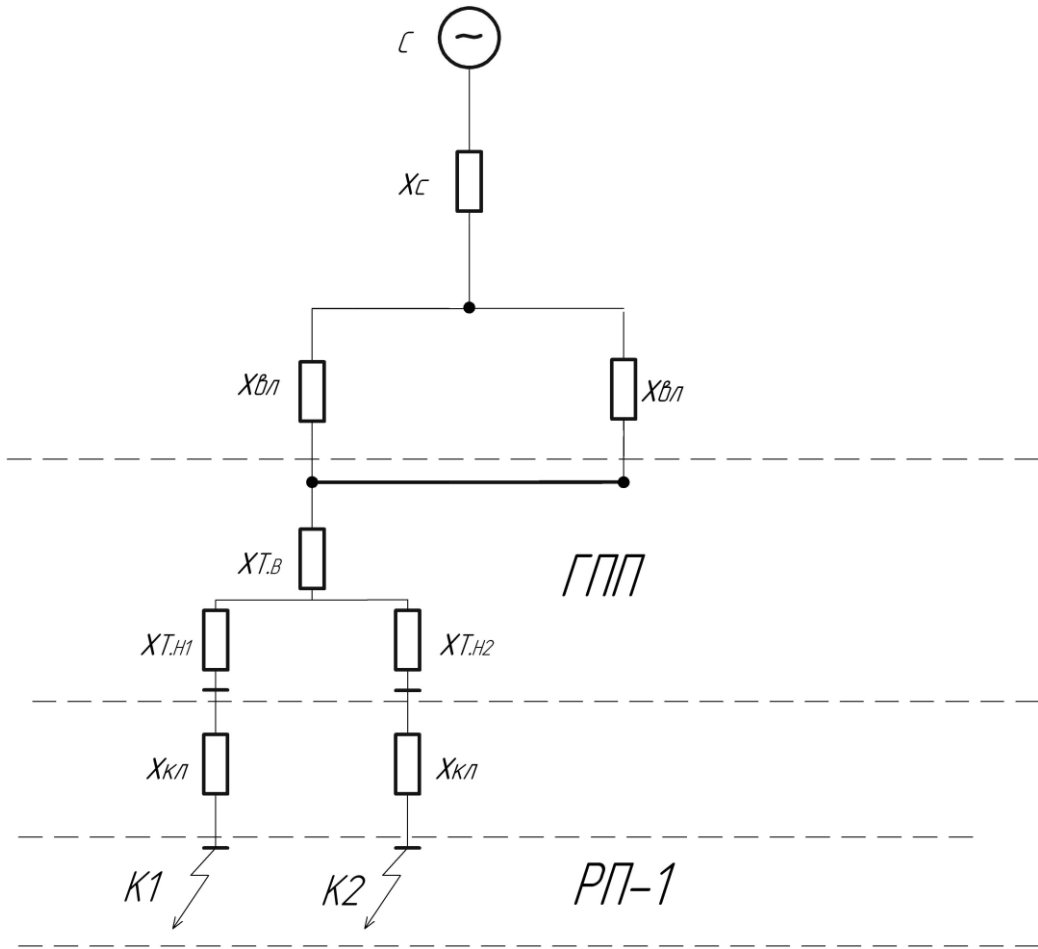


Рисунок 24 - Схема замещения для расчета токов КЗ

Сопротивление системы:

$$x_{*0,C} = \frac{S_0}{S_k} = \frac{1000}{3000} = 0,33, \quad (11)$$

где S_0 - базисная мощность, значение которой принимается за 1000 МВА, с целью упрощения расчетов; S_k - мощность системы [19].

Сопротивления обмоток трансформатора, при коротком замыкании:

$$x_{*0,T0} = \frac{u_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_0}{S_n} = \frac{1,3125}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 0,328; \quad (12)$$

$$x_{* \bar{\sigma}, T_{H1}} = x_{* \bar{\sigma}, T_{H2}} = \frac{u_{\kappa \%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_H} = \frac{18,375}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 4,59, \quad (13)$$

где $U_{\kappa.6} = 0,125 \cdot u_{\kappa.BH-HH} = 0,125 \cdot 10,5 = 1,3125 \%, \quad (14)$

$$U_{\kappa.H1} = U_{\kappa.H2} = 1,75 \cdot u_{\kappa.BH-CH} = 1,75 \cdot 10,5 = 18,375 \%. \quad (15)$$

Передача электрической энергии от системы до ГПП осуществляется при напряжении 110кВ, сталеалюминиевым проводом. Сопротивление данной линии:

$$x_{* \bar{\sigma}, вл} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_H^2} = 0,4 \cdot 8 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,24, \quad (16)$$

где x_0 - удельное сопротивление линии; U_H - средненоминальное значение напряжения [18].

Линия от ГПП до РП выполнена кабелями с алюминиевыми жилами, проложенными в одном коллекторе. По формуле (16) производится аналогичный расчет, удельное сопротивление линии при этом остаётся таким же (17):

$$x_{* \bar{\sigma}, кл} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_H^2} = 0,4 \cdot 5 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 18,14. \quad (17)$$

Результирующее сопротивление до точки К1 определяется из выражения (18):

$$x_{\Sigma K1} = x_{* \bar{\sigma}, C} + x_{* \bar{\sigma}, вл} + x_{* \bar{\sigma}, T_{\bar{\sigma}}} + x_{* \bar{\sigma}, T_{H1}} + x_{* \bar{\sigma}, кл} = 0,33 + 0,24 + 0,328 + 4,59 + 18,14 = 23,628. \quad (18)$$

2.3.2 Расчет токов короткого замыкания для трансформаторной подстанции ТП-11

Наличие необходимого суммарного значения сопротивления дает возможность производить вычисления для элементов энергетической системы, находящихся ниже на схеме. На рисунке 25 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.

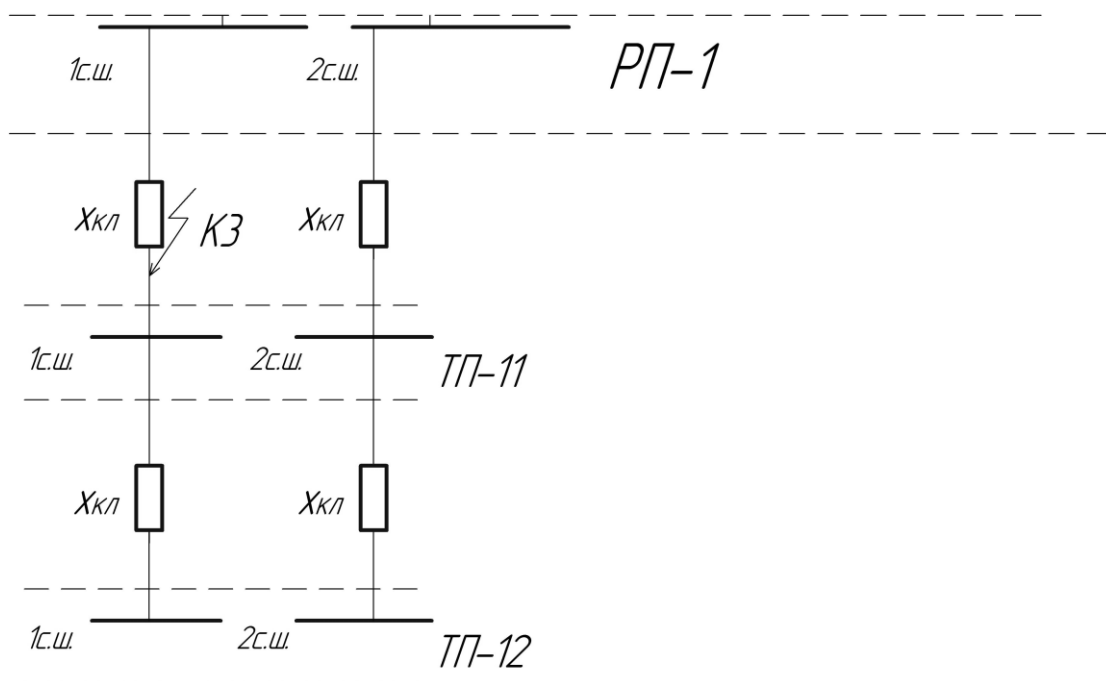


Рисунок 25 - Схема замещения для расчета тока КЗ в точке КЗ

Сопротивление кабельной линии от РП-1 до ТП-11 (19) определяется аналогично формуле (16):

$$x_{*б,кл(РП-ТП11)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_n^2} = 0,4 \cdot 0,9 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 3,26. \quad (19)$$

Общее сопротивление в точке КЗ:

$$x_{\Sigma КЗ} = x_{\Sigma КЗ} + x_{*б,кл(РП-ТП11)} = 23,628 + 3,26 = 26,893. \quad (20)$$

Базисное значение тока (21):

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{н}} \text{ кА}, \quad (21)$$

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

Начальное значение тока при трехфазном коротком замыкании:

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_{\sigma}''}{x_{*рез}} \cdot I_{\sigma} \text{ кА}, \quad (22)$$

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

Начальное значение тока при двухфазном коротком замыкании будет определяться по формуле (23):

$$I_{n,o}^{(2)} = \frac{m \cdot E_{\sigma}''}{x_{\Sigma K3} + \Delta x^{(2)}} \cdot I_{\sigma}, \quad (23)$$

где m - коэффициент короткого замыкания; $\Delta x^{(2)}$ - дополнительное сопротивление, возникающее при несимметричных КЗ [19].

Сопротивление $\Delta x^{(2)}$ зависит от вида КЗ, а также от параметров обратной и нулевой (рисунок 26) схем замещения. Дополнительное (добавочное) сопротивление при двухфазном КЗ определяется как (24):

$$\Delta x^{(2)} = x_{\Sigma K3} = 26,893 \quad (24)$$

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

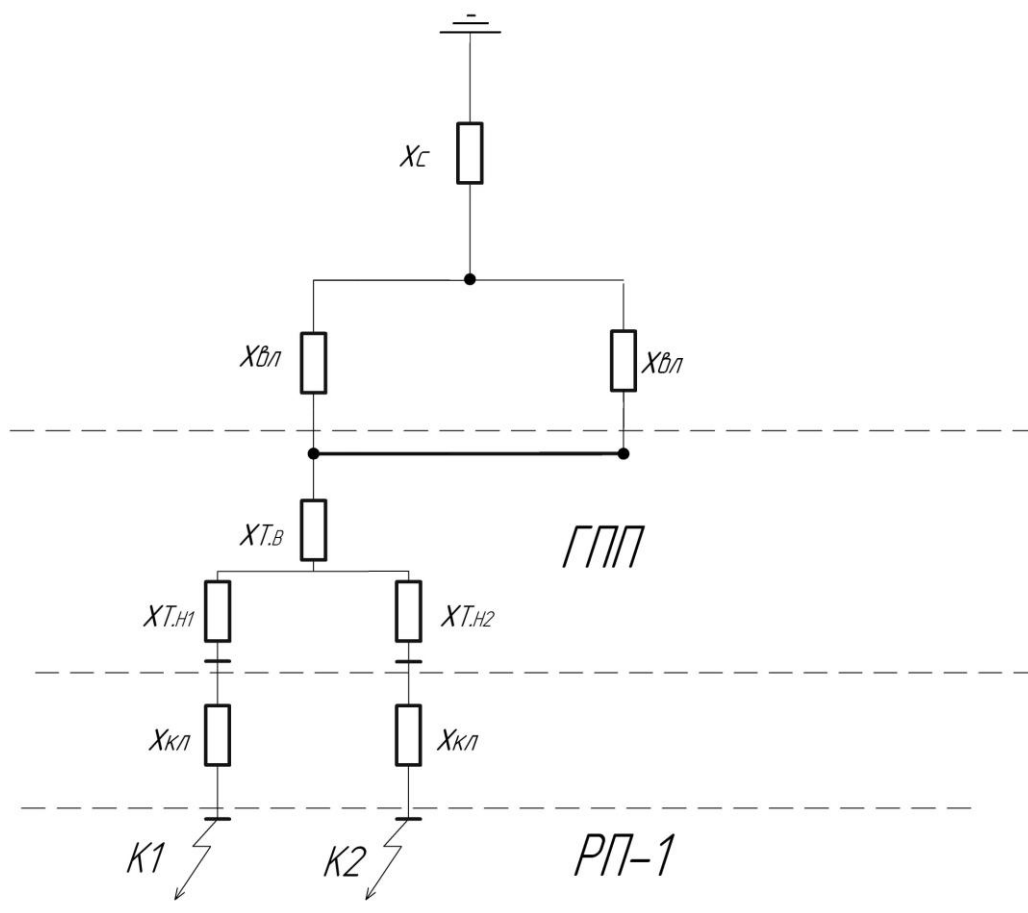


Рисунок 26 - Схема нулевой последовательности для расчета токов КЗ

Начальное значение тока при двухфазном коротком замыкании:

$$I_{n,o}^{(2)} = \frac{m \cdot E_{\delta}''}{x_{\Sigma K3} + \Delta x^{(2)}} \cdot I_{\delta} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1}{26,893 + 26,893} \cdot 54,9 = 1,76 \text{ кА.} \quad (25)$$

Следующий вид КЗ, значение тока которого необходимо определить для выбора уставки, это двухфазное на землю (26):

$$I_{n,o}^{(1,1)} = \frac{m \cdot E_{\delta}''}{x_{\Sigma K3} + \Delta x^{(1,1)}} \cdot I_{\delta}. \quad (26)$$

Дополнительное сопротивление при двухфазном КЗ на землю определяется как:

$$\Delta x^{(1,1)} = \frac{x_{\Sigma K3} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{\Sigma K3} + x_{0\Sigma}} = \frac{26,893 \cdot 5,49}{26,893 + 5,49} = 4,56, \quad (27)$$

где $x_{0\Sigma}$ - сопротивление нулевой последовательности, определяемое из схемы замещения нулевой последовательности (рисунок 26):

$$x_{0\Sigma} = x_{*0,C} + x_{*0,вл} + x_{*0,Тв} + x_{*0,Тн} = 0,33 + 0,24 + 0,328 + 4,59 = 5,49. \quad (28)$$

Суммарное сопротивление нулевой последовательности для соответствующей точки КЗ определяется суммой эквивалентных сопротивлений, ограничиваемой сопротивлением обмотки низшего напряжения трансформатора, находящегося на ГПП. Это происходит в связи с прохождением тока нулевой последовательности [20]. Так как обмотки низшего напряжения трансформатора соединены "треугольником", то ток нулевой последовательности замыкается в этой обмотке и дальнейшего его распространения к точке КЗ не будет [21].

Коэффициент короткого замыкания при двухфазном КЗ на землю определяется как (29):

$$m^{(1,1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{x_{\Sigma K1} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{\Sigma K1} + x_{0\Sigma})^2}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{26,893 \cdot 5,49}{(26,893 + 5,49)^2}} = 1,6. \quad (29)$$

Начальное значение тока при двухфазном КЗ на землю:

$$I_{n,o}^{(1,1)} = \frac{1,6 \cdot 1}{26,893 + 4,56} \cdot 54,9 = 2,8 \text{ кА}. \quad (30)$$

Однофазное короткое замыкание в системе с незаземленной (изолированной) нейтралью является простым. Ток КЗ при этом очень мал, так как общее сопротивление в сетях с изолированной нейтралью близко к бесконечности и питание со стороны источника питания исключается. Ток простого КЗ при этом определяется как (31):

$$I_K = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \left(\frac{l_{в.л}}{N_{в.л}} + \frac{l_{кл}}{N_{кл}} \right) = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot \left(\frac{8}{350} + \frac{5+0,9}{10} \right) = 11,1 \text{ А}, \quad (31)$$

где $l_{в.л}$ и $l_{кл}$ это суммарные длины воздушных и кабельных линий проходящих от системы до точки КЗ, а $N_{в.л}$ и $N_{кл}$ это соответствующие им коэффициенты [12].

Далее, чтобы выбрать уставку, нагляднее свести все значения токов в таблицу (таблица 2)

Таблица 2 - Значения токов КЗ для ТП-11

Вид КЗ	Значение тока, кА
$I_{n,0}^{(3)}$	2,04
$I_{n,0}^{(2)}$	1,76
$I_{n,0}^{(1,1)}$	2,8

По результатам расчетов, приведённых в таблице видно, что наименьший ток, на значение которого нужно опираться при отстройке датчиков, это ток двухфазного КЗ. Однофазное замыкание на землю в сети с изолированной нейтралью не является режимом короткого замыкания, при котором требуется немедленное отключение поврежденной линии [24]. Ток КЗ при данном замыкании будет выставляться на датчике замыкания на землю.

Данные токи были рассчитаны для точки соответствующей первой секции шин ТП-11. Так как в нормальном режиме питание обеих секций производится отдельно (первая секция от Т-1, вторая от Т-2 на ГПП), а сопротивления кабелей одинаковы, то и токи КЗ что для первой, что и для второй секций будут одинаковы [25].

2.3.3 Расчет токов короткого замыкания для трансформаторной подстанции ТП-12

Для данной подстанции, которая запитана с ТП-11, ниже по цепочке соответствует точка К4 (рисунок 27)

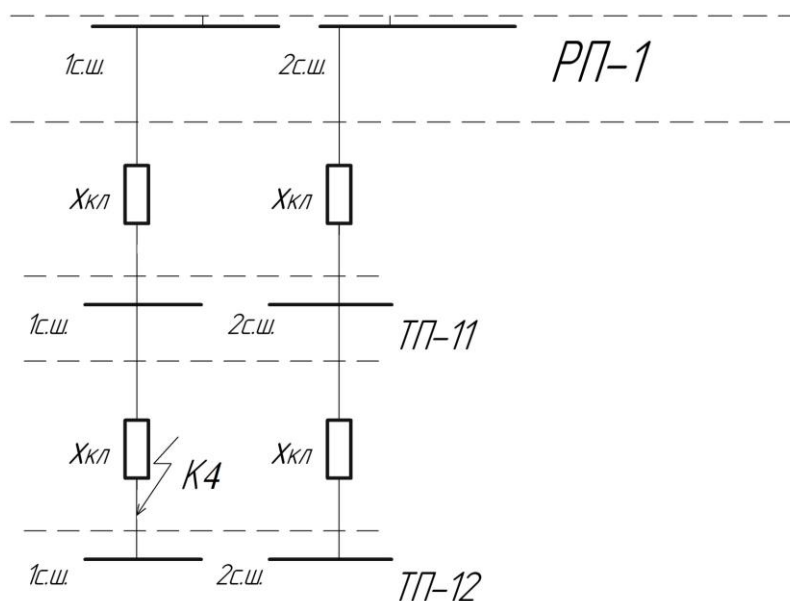


Рисунок 27 - Схема замещения для расчета тока КЗ в точке К4

Сопротивление кабельной линии от ТП-11 до ТП-12 определяется по формуле (32):

$$x_{*б,кп(ТП11-ТП12)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{б}}{U_n^2} = 0,4 \cdot 0,9 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 3,26. \quad (32)$$

Общее сопротивление в точке К4 определяется как сумма сопротивлений в точке К3 и сопротивления кабельной линии от ТП-11 до ТП-12:

$$x_{\Sigma K4} = x_{\Sigma K3} + x_{* \delta, \text{кл}(ТП11-ТП12)} = 26,893 + 3,26 = 30,15. \quad (33)$$

Базисное значение тока:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \text{ кА}, \quad (21)$$

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

Начальное значение тока при трехфазном коротком замыкании:

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_{\delta}''}{x_{* \text{рез}}} \cdot I_{\delta} \text{ кА}, \quad (34)$$

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

Начальное значение тока при двухфазном коротком для данной точки (35) будет определяться по аналогичной формуле (23):

$$I_{n,o}^{(2)} = \frac{m \cdot E_{\delta}''}{x_{\Sigma K4} + \Delta x^{(2)}} \cdot I_{\delta} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1}{30,15 + 30,15} \cdot 54,9 = 1,57 \text{ кА}, \quad (35)$$

где $\Delta x^{(2)}$ соответственно равно:

$$\Delta x^{(2)} = x_{\Sigma K4} = 30,15 \quad (36)$$

Начальное значение тока при двухфазном замыкании на землю:

$$I_{n,o}^{(1,1)} = \frac{m \cdot E_{\phi}''}{x_{\Sigma K1} + \Delta x^{(1,1)}} \cdot I_{\phi} \cdot \quad (37)$$

Дополнительное сопротивление при данном виде КЗ (38):

$$\Delta x^{(1,1)} = \frac{x_{\Sigma K1} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{\Sigma K1} + x_{0\Sigma}} = \frac{30,15 \cdot 5,49}{30,15 + 5,49} = 4,64, \quad (38)$$

где $x_{0\Sigma}$ - сопротивление нулевой последовательности, которое соответственно такое же как и для ТП-11 (28):

$$x_{0\Sigma} = x_{*\phi,C} + x_{*\phi,вл} + x_{*\phi,Тв} + x_{*\phi,Тн} = 0,33 + 0,24 + 0,328 + 4,59 = 5,49. \quad (28)$$

Коэффициент короткого замыкания при двухфазном КЗ на землю:

$$m^{(1,1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{x_{\Sigma K1} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{\Sigma K1} + x_{0\Sigma})^2}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{30,15 \cdot 5,49}{(30,15 + 30,15)^2}} = 1,69. \quad (39)$$

Начальное значение тока при двухфазном КЗ на землю:

$$I_{n,o}^{(1,1)} = \frac{1,69 \cdot 1}{30,15 + 4,64} \cdot 54,9 = 2,67 \text{ кА}. \quad (40)$$

Ток простого КЗ:

$$I_K = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \left(\frac{l_{в.л}}{N_{в.л}} + \frac{l_{к.л}}{N_{к.л}} \right) = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot \left(\frac{8}{350} + \frac{5+0,9+0,9}{10} \right) = 12,7 \text{ A}, \quad (41)$$

Таблица 3 - Значения токов КЗ для ТП-12

Вид КЗ	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 соответствует точка К5, находящаяся между ТП-12 и ТП-13 (рисунок 28)

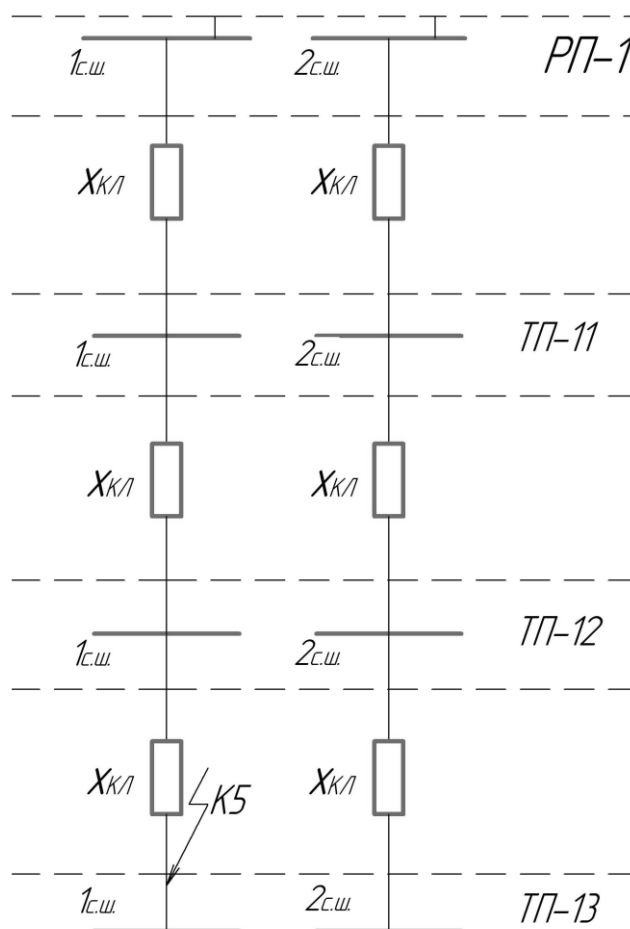


Рисунок 28 - Схема замещения для расчета тока КЗ в точке К4
 Сопротивление кабельной линии от ТП-12 до ТП-13 (42):

$$x_{* \sigma, \text{кл}(ТП11-ТП12)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\text{н}}^2} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 2,9. \quad (42)$$

Общее сопротивление в точке К5 определяется как сумма сопротивлений в точке К4 и сопротивления кабельной линии от ТП-12 до ТП-13:

$$x_{\Sigma K4} = x_{\Sigma K3} + x_{* \sigma, \text{кл}(ТП11-ТП12)} = 30,15 + 2,9 = 33,05. \quad (43)$$

Базисное значение тока:

$$I_{\sigma} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,9 \text{ кА}. \quad (21)$$

Начальное значение тока при трехфазном коротком замыкании:

$$I_{n,o}^{(3)} = \frac{E_{\sigma}''}{x_{* \text{рез}}} \cdot I_{\sigma} \text{ кА}, \quad (44)$$

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

Начальное значение тока при двухфазном коротком замыкании:

$$I_{n,o}^{(2)} = \frac{m \cdot E_{\sigma}''}{x_{\Sigma K5} + \Delta x^{(2)}} \cdot I_{\sigma} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1}{33,05 + 33,05} \cdot 54,9 = 1,43 \text{ кА}, \quad (45)$$

где $\Delta x^{(2)}$ равно:

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

Начальное значение тока при двухфазном замыкании на землю:

$$I_{n,o}^{(1,1)} = \frac{m \cdot E_{\sigma}''}{x_{\Sigma K5} + \Delta x^{(1,1)}} \cdot I_{\sigma} \quad (46)$$

Дополнительное сопротивление при данном виде КЗ:

$$\Delta x^{(1,1)} = \frac{x_{\Sigma K5} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{\Sigma K5} + x_{0\Sigma}} = \frac{33,05 \cdot 5,49}{33,05 + 5,49} = 4,7, \quad (47)$$

где $x_{0\Sigma}$ - сопротивление нулевой последовательности для ТП-13:

$$x_{0\Sigma} = x_{*\sigma,C} + x_{*\sigma,в.л} + x_{*\sigma,Т\theta} + x_{*\sigma,Тн} = 0,33 + 0,24 + 0,328 + 4,59 = 5,49. \quad (28)$$

Коэффициент короткого замыкания при двухфазном КЗ на землю:

$$m^{(1,1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{x_{\Sigma K5} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{\Sigma K5} + x_{0\Sigma})^2}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{33,05 \cdot 5,49}{(33,05 + 5,49)^2}} = 1,62. \quad (48)$$

Начальное значение тока при двухфазном КЗ на землю:

$$I_{n,o}^{(1,1)} = \frac{1,62 \cdot 1}{33,05 + 4,7} \cdot 54,9 = 2,36 \text{ кА}. \quad (49)$$

Ток простого КЗ:

$$I_K = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \left(\frac{l_{в.л}}{N_{в.л}} + \frac{l_{к.л}}{N_{к.л}} \right) = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot \left(\frac{8}{350} + \frac{5+0,9+0,9+0,8}{10} \right) = 14,23 \text{ A}, (50)$$

Таблица 4 - Значения токов КЗ для ТП-13

Вид КЗ	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 29).

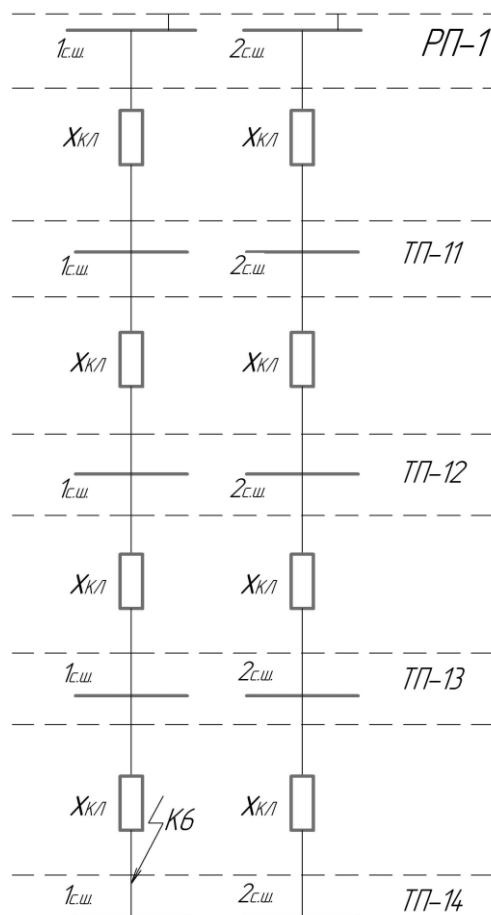


Рисунок 29 - Схема замещения для расчета тока КЗ в точке К6

Сопrotивление кабельной линии от ТП-13 до ТП-14 :

$$x_{*б,кл(ТП11-ТП12)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{б}}{U_n^2} = 0,4 \cdot 1 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 3,62. \quad (51)$$

Общее сопротивление в точке К6 определяется аналогично, как и для предыдущих подстанций (52):

$$x_{\Sigma К6} = x_{\Sigma К5} + x_{*б,кл(ТП13-ТП14)} = 33,05 + 3,62 = 36,67. \quad (52)$$

Базисное значение тока:

$$I_{б} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \text{ кА}, \quad (21)$$

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

Начальное значение тока при трехфазном коротком замыкании:

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_{б}''}{x_{*рез}} \cdot I_{б} \text{ кА}, \quad (53)$$

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

Начальное значение тока при двухфазном коротком замыкании будет определяться по аналогичной формуле:

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

где $\Delta x^{(2)}$ соответственно равно:

$$\Delta x^{(2)} = x_{\Sigma K4} = 36,67 \quad (55)$$

Начальное значение тока при двухфазном замыкании на землю:

$$I_{n,o}^{(1,1)} = \frac{m \cdot E_{\delta}''}{x_{\Sigma K1} + \Delta x^{(1,1)}} \cdot I_{\delta} \cdot \quad (56)$$

Дополнительное сопротивление при данном виде КЗ:

$$\Delta x^{(1,1)} = \frac{x_{\Sigma K1} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{\Sigma K1} + x_{0\Sigma}} = \frac{36,67 \cdot 5,49}{36,67 + 5,49} = 4,77, \quad (57)$$

где $x_{0\Sigma}$ - сопротивление нулевой последовательности для ТП-14:

$$x_{0\Sigma} = x_{*\delta,C} + x_{*\delta,6л} + x_{*\delta,T6} + x_{*\delta,Tн} = 0,33 + 0,24 + 0,328 + 4,59 = 5,49. \quad (28)$$

Коэффициент короткого замыкания при двухфазном КЗ на землю:

$$m^{(1,1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{x_{\Sigma K1} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{\Sigma K1} + x_{0\Sigma})^2}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{36,67 \cdot 5,49}{(36,67 + 5,49)^2}} = 1,63. \quad (58)$$

Начальное значение тока при двухфазном КЗ на землю:

$$I_{n,0}^{(1,1)} = \frac{1,63 \cdot 1}{36,67 + 4,77} \cdot 54,9 = 2,15 \text{ кА.} \quad (59)$$

Ток простого КЗ:

$$I_K = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \left(\frac{l_{в.л}}{N_{в.л}} + \frac{l_{к.л}}{N_{к.л}} \right) = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot \left(\frac{8}{350} + \frac{5 + 0,9 + 0,9 + 0,8 + 1}{10} \right) = 16,05 \text{ А,} \quad (60)$$

Таблица 5 - Значения токов КЗ для ТП-14

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

Последующие цепочки подстанций рассчитываются аналогично. Результаты вычислений заносятся в таблицу 6.

Таблица 6 - Токи КЗ для подстанций, питающихся с РП-1

Подстанция	$I_{n,0}^{(3)}$, кА	$I_{n,0}^{(2)}$, кА	$I_{n,0}^{(1,1)}$, кА	$I_{n,0}^{(1)}$, А
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
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	10,3
ТП-32	1,9	1,64	2,65	12,14
ТП-33	1,64	1,42	2,33	14,1

Продолжение таблицы 6

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

3 Телемеханизация сигналов ДКЗ

3.1 Виды телемеханических систем

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 [26]. В настоящее время устройства телемеханики занимают существенную часть в электроэнергетической отрасли. Релейная защита и автомеханические средства представляют собой единый комплекс с телемеханикой. Телемеханические устройства значительно увеличивает степень оперативно-диспетчерского управления. Повышается надежность и качество обслуживания объектов энергетики. С помощью средств телемеханики могут быть снижены эксплуатационные затраты. Качественная и достоверная информация об основных электрических параметрах позволяет произвести более правильный и своевременный анализ электропотребления, что так же повышает надежность электроснабжения.

Важным свойством телемеханических средств является передача информации на большие расстояния. Это особенно актуально для железнодорожного транспорта, крупных промышленных предприятий и

конечно же электроэнергетической области [27]. Качество передаваемой информации при этом должно быть на высоком уровне, а именно, иметь высокую точность, надежность и скорость передачи. В современных электроэнергетических системах это особенно актуально, ведь оперативное управление на многих подстанциях уже осуществляется дистанционно, с пульта управления, который может быть удален на большие расстояния от обслуживаемого участка. Поэтому основное назначение электромеханических устройств в электроэнергетике - это контроль и управление электроустановками, а также другими вспомогательными системами. В электрических системах оперативное управление осуществляется с центрального пункта, который ещё называется диспетчерским пунктом. Именно здесь производится ведение и управление обслуживаемыми электроустановками.

В зависимости от выполняемых функций телемеханические устройства классифицируются на системы:

- телесигнализации;
- телеизмерения;
- телеуправления;
- телерегулирования.

3.1.1 Телесигнализация

Телесигнализация - это система оповещения, осуществляющая свою работу на расстоянии от контролируемого объекта, средствами телемеханики. Информация при этом передается дискретными сигналами с целью представления её в более понятном для восприятия виде. Применительно к электроэнергетике 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.) Телесигнализацией производится оперативное управление и оперативное ведение, получаемая информация при этом будет являться телемеханическим сообщением.

Так как сигнал представляет собой функцию, зависящую от времени, то от его кодировки будет зависеть качество телемеханического сообщения. Для телесигнализации сообщение должно принимать однозначные значения, поэтому передача осуществляется дискретными сигналами.

Все виды систем телемеханики имеют схожую структуру (рисунок 30)



Рисунок 30 – Структурная схема телемеханических систем [26]

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. Кодировочное 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

3.1.2 Телеуправление

Телесигнализация применяется в основном с телеуправлением. С помощью средств телеуправления как раз таки и осуществляется воздействие на коммутационные аппараты и передача команд с диспетчерского пункта. В основном, передаваемая информация несет двухпозиционный характер. Применимо для электроэнергетики телемеханическое сообщение может содержать команду «включить» и «отключить», или «повысить и понизить». Так же команды могут быть трехпозиционными, содержащими три операции («повысить», «понизить» и «стоп») [28]. Телеуправление целесообразно предусматривать в сложных сетях для выполнения таких задач, которые не могут быть решены средствами автоматики. Критериями выбора телеуправления так же являются необходимость централизованного установления экономически выгодных и надежных режимов работы, отсутствие постоянно дежурящего персонала на электроэнергетических объектах, а также с постоянно дежурящим персоналом на этих объектах при частом оперативном использовании.

Для телеуправления так же справедлива структурная схема, представленная на рисунке 20. Устройства всех элементов может быть таким же как и у телесигнализации, за исключением источника сообщений и исполнительного устройства. В качестве примера будет представлен диспетчерский пункт с возможностью дистанционного управления электрооборудованием (телеуправлением). На данный диспетчерский пункт поступает телемеханическое сообщение о ненормальном режиме работы трансформатора. Данное сообщение было передано телесигнализацией. По решению оперативного персонала этот трансформатор должен быть

отключен. Согласно структурной схеме, в данном случае источником сообщений будет являться уже не датчик, срабатывающий на отклонение от нормального режима, а ключ управления, находящийся на диспетчерском пункте. Далее передача сигнала осуществляется по телемеханической цепочке, до того момента как он поступает в декодер. После выхода из декодера телемеханическое сообщение поступает в исполнительное устройство, которое воздействует на нужный элемент. В данном случае это может быть промежуточное реле или источник энергии, срабатывание которого приведет в действие привод выключателя, поврежденного трансформатора.

3.1.3 Телеизмерение

Система телеизмерения 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. В электроэнергетике к этой информации относится в основном ток и напряжение, но помимо этого важными для измерения параметрами так же являются давление и температура. Телеизмерение в свою очередь применяется совместно с телерегулированием.

Так как телеизмеряемая информация несет более широкий характер, то источником сообщений будут являться не датчики, а сложные контроллеры. Они могут подключаться через первичные преобразователи либо в сеть непосредственно. В состав цифровых микроконтроллеров уже входит аналого-цифровой преобразователь, который преобразует измеряемую величину в цифровой сигнал, нужный для передачи. В дальнейшем передача осуществляется аналогично ТС и ТУ. В качестве исполнительного устройства здесь так же могут применяться микроконтроллеры. Единственное, что согласно современным требованиям, предъявляемым к

телемеханике, требуется высокая точность передачи информации. Уязвимым местом же телемеханики является канал связи [28]. Подверженность его к помехам может значительно удорожить всю схему телеизмерения.

3.1.4 Телерегулирование

Телерегулирование - это система регулирования параметрами контролируемого объекта на расстоянии. Телерегулирование применяется совместно с телеизмерением. Комплекс этих видов телемеханики позволяет осуществлять оперативное управление состоянием оборудования при отклонении измеряемого параметра от нормального значения. Основное отличие от телеуправления заключается в том, что производится более широкое управление, т.е. команды являются многопозиционными. Регулирование осуществляемое с меньшим шагом является более точным и следствием этого является более качественный технологический процесс. Передача таких команд может быть передана так же в дискретной форме.

Структурная схема, представленная на рисунке 20, для телерегулирования так же правомерна, но выполняется она на разной компонентной базе, в зависимости от вида регулирования.

Если регулирование ручное, то команды дает работник ответственный за данный технологический процесс. То есть при отклонении измеряемого параметра от нормальных значений, это отклонение фиксируется на диспетчерском пункте. Источником сообщения в данном случае будет являться пульт управления. Далее это сообщение аналогично телеуправлению преобразовывается, кодируется, подается на декодер и на исполнительное устройство, которое осуществляет регулирование.

При программном регулировании оперативное управление производится по заложенной в микроЭВМ программе. Анализа текущего состояния регулируемого объекта не производится. Такой способ менее надежный, поэтому целесообразность его подбирается для каждого

технологического процесса индивидуально. Примером данного регулирования может являться управление уличным освещением. Изменение светового дня с течением года происходит по наблюдениям и расчетам, составленным на год вперед. Поэтому, чтобы соответствовать графику светового дня, может быть целесообразно применение программного регулирования уличным освещением. По заранее заложенной программе, переключения между ночным и вечерним освещением будут производиться самостоятельно.

Автоматическое регулирование является самым дорогим, но при этом самым надежным [29]. Осуществляющийся мониторинг анализируется и по средствам автоматики принимаются технические решения. Благодаря тому, что действует автоматика, человеческий фактор полностью исключается и время регулирования определяется временем действия автоматики. Источником сообщения при этом могут быть и датчики, и реле, срабатывание которых происходит при отклонении измеряемого параметра от нормального режима. Производится регулирование ступенчато, до нормальных значений. Примером данного регулирования может являться автоматическое регулирование напряжения под нагрузкой силового трансформатора.

3.2 Каналы связи телемеханических систем

Технический прогресс сопровождается строительством новых зданий, заводов, предприятий, которые в свою очередь требуют огромных ресурсов. Получается, что информация, представляющая из себя телемеханические сообщения, является таким же ресурсом как электрическая энергия, тепловая энергия и т.д. Необходимость увеличения расстояния между электроснабжающими пунктами создает проблему повышенных вложений в телемеханику. Так же по мере увеличения технического перевооружения, увеличивается и объем передаваемой информации, что так же повышает стоимость и обслуживание телемеханики. Поэтому чтобы добиться наиболее

качественного и экономически выгодного решения нужно рассмотреть имеющиеся на данный момент времени каналы связи [30]. Канал связи в телемеханике - это техническое устройство, предназначенное для передачи информации от источника сообщения к исполнительному органу. Данная связь является необходимым элементом телемеханики. На сегодняшний день физической проводящей средой для телемеханических сигналов являются:

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

3.2.1 Проводная связь

Выполнение связи прямыми проводами требует специальных вводов на контролируемом объекте и на диспетчерском пункте. При этом любые проводные линии характеризуются как сопротивлением, так и проводимостью. Таким образом при передаче информации будет существенно оказывать влияние температура окружающей среды, так как от неё зависит сопротивление проводника [31]. 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 характеризуются высокой проводимостью сигналов. Также широкая полоса частот обеспечивает возможность передачи и звуковой и видео информации. При данном типе связи передатчиком должен быть источник света, модуляция которого осуществляется изменением интенсивности передаваемого светового потока. Выполнение связи проводами, в целом, обеспечивает помехозащищенность, а, следовательно, обладает высокой надежностью [32]. При этом же такой

способ передачи вызывает необходимость строительства телефонных вводов, а так же внесение абонентской платы, в зависимости от оператора. Данные линии являются средой передачи аналоговых сигналов, то есть приемники и передатчики, находящиеся между каналом связи должны быть подвергнуты модуляции.

3.2.2 Силовые линии связи

Передача информации по воздушным линиям электропередач осуществляется с помощью PLC – технологий. Эти устройства обрабатывают линию, после чего по ней возможна передача телемеханических сообщений. Высоковольтные ЛЭП обладают высокой как электрической, так и механической прочностью [33]. Поэтому информация передается высокочастотными токами. В связи с этим объясняется надежность данных каналов связи. Внедрение этих устройств в ЛЭП имеет приблизительно одинаковую стоимость с установкой проводных каналов связи, но при этом PLC технологии полностью исключают абонентскую плату. Поэтому в экономическом плане этот способ передачи более выгоден. Недостатком же его является высокий уровень помех. Это решается установкой высокочастотных заградителей, конденсаторов связи и фильтров присоединения, включаемых по схеме (рисунок 31)

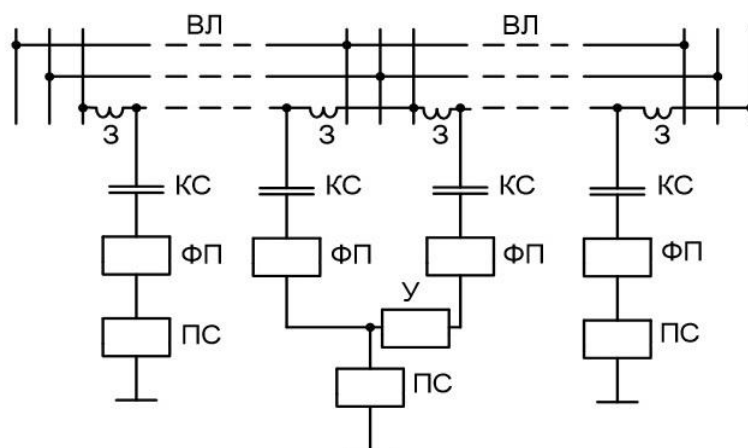


Рисунок 31 – Электрическая схема высокочастотной обработки ЛЭП
«фаза – земля».

Свойством высокочастотных заградителей является высокое сопротивление частотным токам. Следовательно, уменьшая эти сигналы в сторону подстанции, уменьшается и затухание частотного канала. Основными составными элементами данного устройства является реактор, устройства настройки и защиты. Реактор, представляющий из себя силовую катушку, создает необходимое индуктивное сопротивление. Её характеристики подбираются таким образом, чтобы выдерживать максимальные рабочие токи и токи коротких замыканий. Устройство настройки производит создание этого сопротивления. В её состав входят конденсаторы, катушки индуктивности и резисторы. Функцию защитных устройств выполняют разрядники. Подключаются высокочастотные заградители через специальные конденсаторы связи (КС). Данные устройства отводят на землю утечки промышленной частоты. Их компоненты должны быть подобраны для работы на фазное напряжение, при подключении к сетям с заземленной нейтралью и на линейное, при подключении к сетям с изолированной нейтралью. Между конденсаторами связи и высокочастотной аппаратурой подключается фильтр присоединения (ФП). Основное назначение ФП заключается в разделении высоковольтной линии от аппаратуры уплотнения. Таким образом повышается безопасность и обслуживаемого персонала и оборудование. ФП выполняется посредством трансформаторной связи. Конструкция представляет из себя стальной корпус с вводными проходными изоляторами. Подключение этой трансформаторной схемы вместе с конденсатором связи обеспечивает компенсацию реактивного сопротивления в заданной полосе частот.

Передача информации высокочастотными сигналами по линиям среднего напряжения имеет ряд сложностей и недостатков. Данные сети характеризуются своей разветвленностью и массовостью, наличием

огромного количества отпаяк и разъединителей. Повреждения и такие дефекты как плохое стягивание контактов, неудовлетворительное состояние проводов приводят к помехам в передаче телемеханического сообщения либо к повреждению аппаратуры. В связи с этим работа этих сигналов происходит нестабильно.

3.2.3 Радиосвязь

Каналы радиосвязи имеют ряд преимуществ над проводами. Значительно уменьшается цена телемеханики, так как не требуется прокладка кабелей. Радиоаппаратура так же имеет относительно невысокую стоимость и монтаж и развертывание радиосредств экономически более выгодны. Недостатком данного способа связи является 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 32)

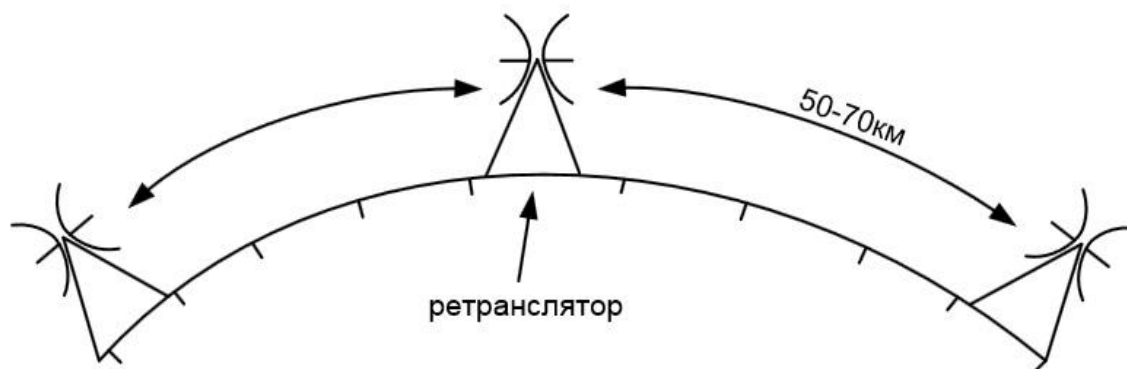


Рисунок 32 – Линия связи с ретрансляцией

Дальность передачи при этом не превышает семидесяти километров. При использовании имеющихся радиочастот, принадлежащим сотовым

компаниям, такой способ передачи имеет уже другие экономические показатели. Имея низкую стоимость монтажа, телемеханизируемые объекты будут иметь огромную стоимость эксплуатации, при обслуживании сотовыми операторами. Так же данная связь не обладает высокими качествами надежности, поэтому для телеуправления такой способ неприменим.

Радиоканал имеет следующие характеристики (таблица 7)

Таблица 7 – 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

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

3.2.4 Техничко-экономический анализ существующих каналов связи

Выполнение связи между подстанциями и диспетчерским пунктом проводными средствами связи является наиболее простым техническим решением. Они в свою очередь могут быть использованы в телефонных сетях и для передачи производственной информации. Проводные телефонные средства связи чаще всего выполняются проводом типа «витая пара», имеющим сравнительно низкую стоимость и высокую

помехозащищенность. Данный провод имеет вид двух скрученных между собой медных проводников в защитной оболочке. Эти каналы связи имеют низкую скорость обмена данными, как правило, до 1 Мбит/с. Проложены они, как правило с коммутируемыми кабелями, что делает их подверженными влиянию сторонних помех. Удобство применения витой пары заключается в том, что они уже давно проведены в различных местах и создание новой связи не потребует значительных вложений. Монтаж, прокладка и подключение новой линии обойдется в среднем около 80 тыс. руб. за один канал связи. Их работа потребует строительства новых телефонных вводов, а может и дополнительных магистральных линий. Поэтому если производить установку новой телефонной связи для телемеханики, то простота установки будет относительно невысокая. Абонентская плата данного вида связи составляет примерно 3 тыс.руб в год. Таким образом, выполнение связи проводными линиями потребует относительно больших денежных вложений и качество связи при этом будет сравнительно низким. При использовании же уже имеющихся линий, которые довольно-таки распространены в городских условиях, экономические недостатки полностью исключаются, так как обслуживание и эксплуатация данных каналов связи имеет низкую стоимость.

Связь посредством силовых линий осуществляется по уже имеющимся линиям. Так называемые RLC каналы используется в основном для электроснабжающих предприятий. Относительно высокая скорость передачи информации и качество связи делают данные сети технически выгодным решением. Скорость обмена данными может достигать высоких, на сегодняшний день, значений. Так же, по уже имеющемуся опыту эксплуатации прошедших лет, можно сказать что RLC аппаратура достаточно надежна. Для телемеханизируемых энергообъектов это особенно актуально. Стоимость аппаратуры и её установка на один телемеханизируемый пункт схожа с телефонной связью (около 60 тыс. руб.). Это определяется тем, что физический канал связи уже существует и

основные затраты составляют высокочастотная аппаратура, необходимая для осуществления связи. Сложность установки RLC каналов оценивается как средняя, так как подключение и монтаж аппаратуры к высоковольтным линиям требуют специального вида работ. Основным и весомым преимуществом перед проводной телефонной связью является полное отсутствие абонентской платы. Основными техническими недостатками же являются: необходимость ретрансляции сигналов и сложность применения данных систем в распределительных сетях.

Радиосвязь может быть использована только на определенных частотах, выкупленных эксплуатируемой организацией. Так как данный канал связи общего пользования, то он всё равно, вне зависимости от используемой частоты, подвержен воздействию посторонних помех. Поэтому качество радиосвязи определяется как низкое. Более того, зона покрытия ретрансляционных станций относительно невысокая и зависящая тем самым от их количества и расстояний между ними. Скорость обмена данными так же является относительно невысокой, но для обеспечения работы телесигнализации этих значений вполне хватает. Так как установка собственных станций нецелесообразна и требует специальных разрешений то данные частоты арендуются у компаний владельцев с определенной абонентской платой (в среднем 7 тыс. руб. в год). Поэтому выполнение телелемеханики радиосвязью является самым экономически выгодным решением, но при этом имеющим ряд технических недостатков.

В спутниковой связи так же используются радиоволны в ультракоротком диапазоне. Расстояние, на которое возможна передача телемеханических сообщений зависит от топологии местности и зоны покрытия. Связь осуществляется по уже имеющимся сетям, принадлежащим мобильным операторам. На сегодняшний день GSM сети пользуются спросом во всех сферах деятельности. Такие проблемы как загруженность эфира, выделение специальных частот и прочие, актуальные для крупных городов не сопровождаются спутниковыми каналами связи. Сотовые операторы

обеспечивают высокие скорости обмена данными, а массовость сотовых станций повышает надежность связи, что особенно актуально для электроснабжающих организаций. Благодаря этому обеспечивается постоянный мониторинг оборудования, расстояние от объекта до консоли может достигать огромных значений, зависит от зоны покрытия ретрансляционных станций. Данный канал связи является привлекательным решением, так как не требует прокладки физических проводников, степень сложности и время развертывания довольно таки низкое, а также стоимость оборудования относительно невысокая. Основным недостатком данного вида связи является зависимость от работы организаций сотовых сетей мобильной связи. Так же низкая стоимость создания канала может иметь высокую стоимость месячной эксплуатации. Основные характеристики вышеприведенных каналов связи сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – 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)	До 1 Гбит/с	среднее	≈ 30 тыс. руб	высокая

	от топологии)				
--	---------------	--	--	--	--

3.3 Связь с диспетчерской

При централизованном электроснабжении, вся информация об оперативных переключениях, ремонтных работах в электроустановках и технологических нарушениях проходит через диспетчерский пункт. Рассматриваемая аварийная ситуация, а именно, короткие замыкания в кабельных линиях должна быть устранена в кратчайшее время. С помощью электронных датчиков короткого замыкания, поврежденный участок можно будет увидеть на диспетчерском пульте. Мониторинг может обеспечиваться как по мнемоническому щиту, так и на компьютере диспетчера с помощью специального программного обеспечения [34]. Вид телемеханики, который будет достаточен и целесообразен – это телесигнализация, так как ДКЗ может находиться либо в нормальном состоянии, либо в состоянии аварийного сигнализирования.

За основу данной системы связи может быть взята охранная телесигнализация трансформаторных подстанций. Пример блока охранной сигнализации представлен на рисунке 33



Рисунок 33 – Блок охранной сигнализации

Данное устройство получает электрическую энергию с трансформаторных вводов. Для того чтобы сигнализация была в работе постоянно, её 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. Как только дверь на подстанции открывается, нарушается контакт в схеме и на оптрон перестает поступать электрический ток (рисунок 34).

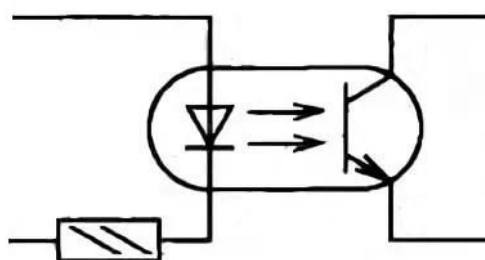


Рисунок 34 – Электрическая схема оптрона

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. Структурна схема данного пункта управления представлена на рисунке 35.



Рисунок 35 – 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.

Аналогичная система сигнализации может быть применена при отыскании повреждений с использованием датчиков короткого замыкания (рисунок 36).

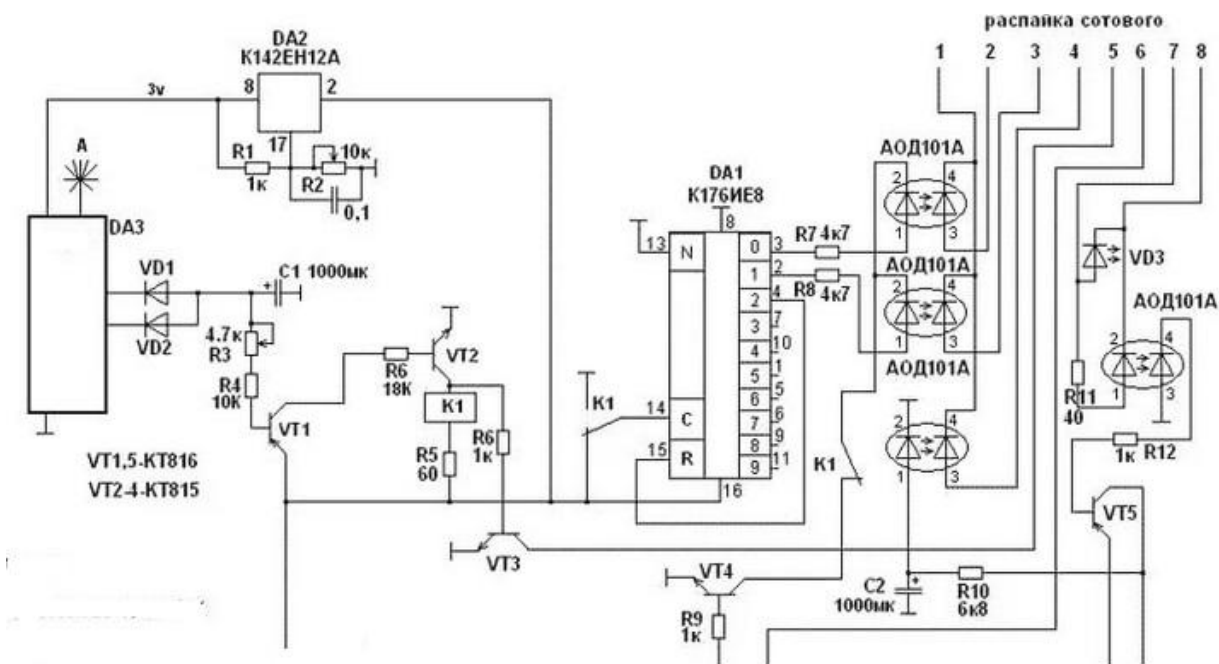


Рисунок 36 – Схема GSM сигнализации

При срабатывании ДКЗ, 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 звонок 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.

Заключение

Магистерская диссертационная работа заключалась в проектировании и расчете системы сигнализации, срабатывающей при повреждениях в кабельных сетях с изолированной нейтралью, для телемеханизируемого диспетчерского пункта. В ходе выполнения работы были решены следующие задачи:

1. Произведен анализ имеющихся методов определения повреждений в кабельных распределительных сетях;
2. Рассмотрены имеющиеся на сегодняшний день датчики короткого замыкания;
3. Рассчитаны токи короткого замыкания для всех телемеханизируемых подстанций;
4. Выбраны уставки срабатывания датчиков короткого замыкания для каждой подстанции исходя из рассчитанных токов короткого замыкания;
5. Рассмотрены виды телемеханических систем;
6. Рассмотрены виды каналов связи и произведен их технико-экономический анализ;
7. Произведен выбор и обоснование вида телемеханики для связи с диспетчерским пунктом.

В работе были рассмотрены герконовые и электронные датчики короткого замыкания. При сравнении достоинств и недостатков этих типов датчиков, были выбран электронный тип. Обоснование этого более дорогого решения заключается в возможности обнаружения не только межфазных коротких замыканий, но и однофазных коротких замыканий, что особенно актуально для сетей с изолированной нейтралью. Для обеспечения связи с диспетчерским пунктом выбран GSM канал, так как с совместно имеющимися системами охранной сигнализации на подстанциях, данное решение является наиболее экономически выгодным.

Таким образом, основными критериями выбора электронных датчиков короткого замыкания и телесигнализации в данной магистерской диссертации были надежность и технико-экономическая обоснованность.

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.
7. Андреев А.А. Виды повреждений в кабельных сетях // «Вестник магистратуры» электронный научный журнал, №9 (72) 2017 г.-С.25-26
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...

(Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). - 2010. - № 6. - С. 5-13.

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/ekspluatatsiyaelektrostanovok-v-selskom-hozyaustve-7.html> (дата обращения 08.01.2018)

14. Балдин М. А. Основное оборудование электрических сетей. Справочник. М.: Энас, 2014. – 206 с.

15. Тарасов К.В. Использование индикаторов короткого замыкания в распределительных сетях 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 12.01.2018)

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 понижающей 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 9.02.2018).

24. Transient Stability of the Power System with the Exact Long Transmission Line Model [Электронный ресурс] / URL: <https://doaj.org/article/019f77211f6a4e03aab02108b0d52411> (дата обращения 17.11.2017).

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 (дата обращения 17.11.2017).

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.

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 15.01.2018).

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> (15.01.2018)

35. Андреев А.А. Системы управления освещением города// Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: V Всероссийская научно-техническая конференция : сборник трудов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2017. – С. 204-210.

36. Андреев А.А. Рентгеновское излучение в вакуумных выключателях// «Вестник магистратуры» электронный научный журнал, №9 (72) 2017 г.-С.27-28