

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
«Политехнический институт»
Факультет «Заочный»
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент

_____ 2018 г.
«__» _____

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующая кафедрой ЭССиСЭ

_____ И.М. Кирпичникова
«__» _____ 2018 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ОБРЫВА ПРОВОДОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ
НАПРЯЖЕНИЕМ 380В С ПОМОЩЬЮ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СЧЁТЧИКОВ
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-13.04.02.2018.344.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель ВКР
доцент, к.т.н.

_____ Р.Г. Валеев
«__» _____ 2018 г.

Автор ВКР
студент группы ЗФ-385

_____ В. И. Ибатуллин
«__» _____ 2018 г.

Нормоконтролер
старший преподаватель

_____ Н.Ю. Аверина
«__» _____ 2018 г.

Челябинск 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
«Политехнический институт»
Факультет «Заочный»
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»
Направление 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»
Магистерская программа
«Оптимизация развивающихся систем электроснабжения»

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующая кафедрой ЭССиСЭ
д.т.н., профессор

_____ И.М. Кирпичникова
«__» _____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента
Ибатуллина Владислава Ильдаровича
Группа – ЗФ-385

1 Тема работы «Определение места обрыва проводов в электрических сетях напряжением 380 В с помощью микропроцессорных счётчиков»

Утверждена приказом ректора ЮУрГУ от 01 апреля 2017 г., № 835

Срок сдачи студентом законченной работы – 18.01.2018 г.

2 Исходные данные к работе: результаты проведения научно-исследовательской работы

3 Перечень вопросов, подлежащих разработке:

1 Введение

2 Анализ состояния вопроса и обоснование задач исследования

3 Расчет несимметричных режимов работы электрической сети 380 В на компьютерной модели

4 Разработка метода определения места обрыва проводов в электрических сетях напряжением 380 В с помощью микропроцессорных счётчиков

5 Оценка условий электробезопасности и технико-экономической эффективности при использовании системы защиты ВЛ-380 В от обрывов фазных проводов

6 Заключение

4 Дата выдачи задания: 7 сентября 2015 г.

Научный руководитель _____ / Р.Г. Валеев /

Задание принял к исполнению _____ / В.И. Ибатуллин /

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметки руководителя о выполнении
1	Введение	10.10.15	
2	Анализ состояния вопроса и обоснование задач исследования	12.06.16	
3	Расчет несимметричных режимов работы электрической сети 380 В на компьютерной модели	23.09.16	
4	Разработка метода определения места обрыва проводов в электрических сетях напряжением 380 В с помощью микропроцессорных счётчиков	14.06.17	
5	Оценка условий электробезопасности и технико-экономической эффективности при использовании системы защиты ВЛ-380 В от обрывов фазных проводов	19.09.17	
6	Заключение	20.12.17	
7	Библиографический список	01.10.17	
8	Оформление пояснительной записки	20.12.17	
9	Сдача готовой работы на кафедру, представление работы на рецензию	30.12.17	

Заведующая кафедрой ЭССиСЭ _____ / И.М. Кирпичникова /

Научный руководитель работы _____ / Р.Г. Валеев /

Магистрант _____ / В.И. Ибатуллин /

АННОТАЦИЯ

Ибатуллин В.И. Определение места обрыва проводов в электрических сетях напряжением 380 В с помощью микропроцессорных счётчиков. – Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ, 2018, 66 с., 21 рисунков, 9 табл., библиогр. список –46 наим.

Ключевые слова: воздушная линия напряжением 380 В; обрывы нулевого и фазных проводов; однофазные короткие замыкания.

Объект исследования – воздушные линии электропередачи напряжением 380 В при возникновении в них обрывов фазных и нулевого проводов.

Предмет исследования – определение критериев, позволяющих установить место обрыва проводов линий электропередач 380 В.

Цель работы – целью исследования является повышение уровня электробезопасности и надежности воздушных линий напряжением 380 В.

Новизна выпускной квалификационной работы заключается в том, что:

1 Для определения критерия выявления различных режимов работы проведены исследования изменения напряжений и токов электрической сети с использованием компьютерного моделирования.

2 Предложены критерии выявления различных режимов работы воздушной линии напряжением 380 В.

3 Предложено использование разработанной концепции системы определения обрыва проводов воздушной линии электропередач напряжением 380 В, в качестве системы защиты с применением микропроцессорного счетчика электрической энергии.

Работа может представлять интерес для организаций, проектирующих и эксплуатирующих системы электроснабжения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ОБОСНОВАНИЕ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
1.1 Общая характеристика работы электрических сетях напряжением 380 В	9
1.2 Устранение аварийных повреждений в сетевых компаниях.....	10
1.3 Существующие методы выявления аварийных режимов.....	12
Задачи исследований.....	16
2 РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 380 В НА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ.....	17
2.1 Компьютерная модель сети в программе MATLAB в пакете Simulink.....	17
2.2 Проведение исследований и обработка полученных данных.....	19
Выводы по разделу 2	25
3 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ОБРЫВА ПРОВОДОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 380 В С ПОМОЩЬЮ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СЧЁТЧИКОВ.....	26
3.1 Сравнение технологий передачи данных	26
3.1.1 Построение системы автоматизации на технологии PLC.....	26
3.1.2 Построение системы автоматизации на базе GSM.....	28
3.1.3 Технология автоматизации для умных домов.....	29
3.1.4 Построение системы автоматизации на базе LPWAN.....	30
3.2 Возможность использования микропроцессорных счетчиков для выявления обрыва проводов.....	31
3.2.1 Счетчики электрической энергии ФОБОС 3.....	32
3.2.2 Базовая радиостанция NB-300.....	33
3.3 Диспетчерское управление и сбор данных.....	35
3.4 Разработка функциональной схемы и дополнительных функций для микропроцессорного счётчика электроэнергии с целью определения места обрыва проводов в электрических сетях напряжением 380 В.....	38
Выводы по разделу 3.....	43
4 ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ВЛ-380 В ОТ ОБРЫВОВ ФАЗНЫХ ПРОВОДОВ.....	44
4.1 Оценка условий электробезопасности.....	44
4.1.1 Поражение человека электрическим током при касании оборванного фазного провода.....	49
4.1.2 Поражение человека электрическим током при касании оборванного нулевого провода.....	55
4.2 Оценка технико-экономической эффективности.....	56
4.2.1 Оценка движущих и сдерживающих сил и ресурсов разработки проекта защиты ВЛ–380 В от обрыва фазного и нулевого проводов	

при помощи счетчиков.....	56
4.2.2 STEP-анализ для факторов внешней среды проекта.....	57
4.2.3 SWOT-анализ необходимости реализации проекта.....	58
4.2.4 Планирование целей проекта в дереве целей.....	59
4.2.5 Срок окупаемости вложений	59
Выводы по разделу 4.....	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	63
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	64

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Повсеместно применяемые воздушные линии электропередачи напряжением 380 В, являются наименее надежным звеном в системе электроснабжения потребителей. Одним из самых распространённых повреждений в электрических сетях напряжением 380 В, являются обрывы проводов, короткие замыкания и замыкания на землю. Это не только приводит к нарушению электроснабжения потребителей, но и создает электро- и пожароопасные ситуации.

По данным анализа аварийной статистики, приведённой в [1], ежегодно на 100 км электрических сетей напряжением 380 В приходится около 50 повреждений.

Наряду с междуфазными короткими замыканиями в сетях могут быть однофазные замыкания вида «фаза-земля» и «фаза-нуль», а также обрывы нулевых проводов линий. Указанные повреждения являются опасными с точки зрения электробезопасности и могут также привести к перерывам электроснабжения потребителей и к поломке бытовых электроприёмников.

При коротком замыкании «фаза-нуль», когда фазный провод замыкается непосредственно на нулевой или на связанные с ним металлические конструкции электроприёмников, на металлических частях оборудования, имеющих связь с нулевым проводом, будет опасное напряжение прикосновения, что может привести к гибели людей и животных.

В случае короткого замыкания «фаза-земля» электропоражение происходит из-за случайного прикосновения к оборванным, лежащим на земле и находящимся под напряжением проводам линий электропередач. Поскольку режим «фаза-земля» может продолжаться неопределенно долго, таким образом подвергая опасности жизни людей и животных или инициируя пожар, если в зоне падения имеются легковоспламеняющиеся материалы [2].

В современных условиях российской рыночной экономики, одним из последствий для поставщиков недоотпуска электрической энергии, является возмещение ущерба потребителям вследствие возникших аварийный режимов электрической сети. Гражданский кодекс Российской Федерации, закон о защите прав потребителей предусматривают материальную ответственность поставщика электрической энергии перед потребителем за ущерб, нанесенный в следствии недоотпуска энергии потребителю. Таким образом, поставщик электрической энергии, несет ответственность, предусмотренную гражданским кодексом и основным положением функционирования розничных рынков электрической энергии от 04.05.2012 № 442 за [3]:

- надежность снабжения потребителя электрической энергией;
- за необоснованное введение режима ограничения потребления электрической энергии.

Для снижения ущербов, вызванных перерывами электроснабжения потребителей, а также уменьшения электротравматизма людей и животных требуется эффективно и в кратчайшие сроки устранять возникшие повреждения

и аварийные ситуации. Именно поэтому важнейшей задачей является создать метод определения места обрыва линий электропередачи.

Цель работы – целью исследования является повышение уровня электробезопасности и повышение надежности электроснабжения путем уменьшения времени поиска места обрыва фазных и нулевого проводов воздушных линий напряжением 380 В.

Для достижения заявленной цели были поставлены следующие **задачи исследования**:

1 Выполнить анализ существующих методов определения места повреждения электрической сети 380 В.

2 Разработать компьютерную модель электрической сети напряжением 380 В, позволяющую проводить анализ несимметричных режимов работы электрической сети напряжением 380 В.

3 Разработать метод определения места обрыва проводов.

Объект исследования – воздушные линии электропередачи напряжением 380 В при возникновении в них обрывов фазных и нулевого проводов.

Предмет исследования – определение критериев, позволяющих определить место обрывов проводов линий электропередач 380 В.

Новизна основных положений выпускной квалификационной работы:

1 Для определения критерия выявления различных режимов работы проведены исследования изменения напряжений и токов электрической сети с использованием компьютерного моделирования.

2 Предложены критерии выявления различных режимов работы воздушной линии напряжением 380 В.

3 Предложено использование микропроцессорного счетчика электрической энергии в качестве системы защиты при обрыве проводов воздушной линии электропередач напряжением 380 В.

Методы исследования. В основу работы положены следующие методы исследования: анализ, сравнение, моделирование и измерение.

Практическая значимость работы:

1 Применение разработанной системы, при эксплуатации воздушных линий напряжением 380 В, позволит оперативно выявлять место обрыва проводов.

2 Применение разработанной системы защиты позволит повысить уровень электробезопасности и надежности работы электрической сети напряжением до 1000 В.

3 Данные, полученные в ходе исследований, могут быть использованы для проведения дальнейших научных исследований.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ОБОСНОВАНИЕ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

1 Общая характеристика работы электрических сетей напряжением 380 В

Воздушные линии имеют несколько разновидностей – с изолированными и неизолированными проводами. В качестве изолированных проводов наиболее часто используется самонесущий изолированный провод, использование которого позволяет повысить надежность и безопасность работы сети, однако существует большое количество воздушных линий 380 В, выполненных неизолированными линиями. Кроме того, реконструирование таких сетей и замена их на линии с изолированными проводами требует значительных капитальных вложений и времени на его проведение.

Причины аварийных отказов сетевого электрооборудования можно подразделить на природно-климатические и эксплуатационные. Более половины повреждений и разрушений ВЛ происходит из-за воздействия таких факторов окружающей среды, как грозовая и ветровая деятельность, гололедные отложения, дожди, мокрый снег, густой туман, изморозь, роса. Применительно к открыто установленному сетевому электрооборудованию к факторам окружающей среды, являющимися причинами отказов, относятся также температура окружающей среды, загрязненность атмосферы, близость к сельскохозяйственным объектам (животноводческие помещения, птичники, хранилища удобрений и др.) с химически-активными газовыми и пылевыми выделениями.

К эксплуатационным факторам относят конструктивные дефекты оборудования, низкий уровень обслуживания электрооборудования, ошибки при проектировании и монтаже, анормальные режимы работы (перегрузки элементов электроустановок, токи коротких замыканий, дуговые, коммутационные и резонансные виды перенапряжений).

Отдельную группу факторов, влияющих на показатели надежности ЛЭП в эксплуатации, составляют случайные факторы: повреждение электрооборудования птицами, наезд транспорта, пожары, падения веток и деревьев 24–35% [4].

Согласно положения ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» (протокол от 22.02.2017 № 252) на 01.01.2016 протяженность ВЛ 380 В составляет 771013,9 км. Срок службы воздушных линий напряжением 380 В находящихся в эксплуатации более 35 лет составляет 46%. Воздушные линии электропередач напряжением 380 В построены по радиальному принципу с использованием, в основном, алюминиевых, неизолированных проводов малых сечений, а также деревянных и железобетонных опор с механической прочностью не более 27–35 кН×м. Воздушные линии проектировались по критерию минимума затрат, а расчетные климатические условия принимались с повторяемостью один раз в 5–10 лет.

На долю воздушных линий напряжением 380 В, выполненных неизолированными проводами, приходится 40–43 % всех повреждений электрических сетей этого класса напряжения. Анализ статистики повреждаемости

говорит о том, что три четвертых всех технологических нарушений происходит из-за обрыва проводов [5].

Безопасность является одним из важных факторов, оказывающих влияние на стоимость проектирования и эксплуатации электроустановок. Если не применять мер для обеспечения безопасности людей и животных, то расходы на компенсацию ущерба для здоровья превысят расходы на разработку и применение средств защиты. В 2015 году Росгосстрах и эксперты департамента социологии Финансового университета при правительстве РФ провели интересное исследование под названием «Стоимость человеческой жизни в России». Из сделанного исследования видно, что средняя статистическая стоимость жизни человека в 2015 году в России составила примерно 4,5 миллиона рублей. По сравнению с 2014 годом эта цифра подросла. В 2014 году россияне оценивали свою жизнь в 3,8 млн рублей [6].

Выделение затрат на надежность функционирования из общей структуры расходов МРСК позволяет понять, какой объем средств направляется для достижения основной цели, стоящей перед компаниями – повышение надежности функционирования. Данная цель и определяет выбор основных критериев, в соответствии с которыми осуществляется оценка необходимого уровня исследуемых расходов. Для того, чтобы определить сущность рассматриваемых критериев, необходимо рассмотреть некоторые показатели, характеризующие надежность энергоснабжения потребителей [7]. Наиболее широко используемыми показателями среди компаний отрасли являются средняя суммарная длительность устойчивых отключений на одного потребителя за год SAIDI (System Average Interruption Duration Index) и средняя частота устойчивых отключений на одного потребителя за год SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) хотя в отдельных случаях могут использоваться другие показатели) [8].

Одной из задач программы инновационного развития «МРСК», является повышение надёжности передачи и распределения электроэнергии, путём внедрения в ДЗО «МРСК» систем расчета показателей SAIDI, SAIFI к 2013 году и достижение целевых значений SAIDI – 60 минут на потребителя в год, SAIFI – 2 отключения на потребителя в год к 2016 году [7].

Например, в зарубежных странах для поддержания бесперебойного электроснабжения применяются различные стимулирующие меры, такие как поощрение и штрафы за несоблюдение показателей надежности [9].

Из вышеизложенного следует, что разработка метода определения места обрыва проводов воздушной линии напряжением 380 В представляет собой актуальную задачу, направленную на повышение надежности электроснабжения и электробезопасности в городских посёлках и сельских районах.

1.2 Устранение аварийных повреждений в сетевых компаниях

Интересом сетевой организации является как можно скорейшее устранение аварийного режима работы электрической сети, от этого зависит прибыль компании. Самым часто повреждаемым элементом сети являются линии электропередач. Одним из путей снижения недоотпуска электроэнергии

потребителям, является сокращение времени отыскания повреждений и устранения их за определенный период времени. Определение мест повреждений играет в этом существенную роль. При наличии протяженной линии электропередач, труднопроходимой местности, неразвитой дорожной сети, качественное определение места повреждения (ОМП) позволяет сократить время поиска повреждений в несколько раз.

Устранением возникших повреждений в электроэнергетических системах занимаются специально сформированные подразделения в сетевых компаниях называемые оперативно выездными бригадами (ОВБ). Их главной задачей является оперативное обслуживание распределительных пунктов, трансформаторных подстанций и линий электропередачи распределительных электросетей с обеспечением установленного режима работы по напряжению и нагрузке. Оперативно выездным бригадам выделяют транспорт для круглосуточного обслуживания по графику или в неотложных случаях тех подстанций, где нет дежурного персонала или где дежурство ведется эксплуатационными монтерами только в дневные смены, когда идут ремонты, или при необходимости оперативных переключений. С этой целью для каждой ОВБ разрабатывают рациональные маршруты, сокращающие продолжительность объездов и осмотров оборудования. При коротком замыкании на воздушных линиях электропередач, уменьшая погрешность ОМП, оперативно-выездная бригада может оптимизировать свой маршрут с целью сократить затраты времени на поиск места повреждения. В случае с труднодоступной местностью – лесной, болотистой, горной, а также зимнего периода ОВБ сможет существенно уменьшить время устранения повреждения [10].

Осмотр воздушных линий напряжением 380 В при аварийном отключении выполняют визуально с использованием бинокля, а в темное время суток с фонарём. Если при осмотре не удалось найти место повреждения, совершают подъем на каждую опору отключенной и заземленной линии, тем самым увеличивая время поиска.

Большая проблема возникает при отыскании места повреждения из-за плохого контакта, отпаячных присоединений, по причине окисления контактов скруток в следствие превышения срока эксплуатации многих ВЛ 380 В.

Информацию о том, что у потребителя по какой-либо причине нет электричества, поступает от самих потребителей. Порой эта информация доходит через долгое время с момента аварии.

Во всех крупных сетевых компаниях, в данное время существует тенденция, направленная на оптимизирование собственных расходов с целью получения большей прибыли. Одним из неоднозначных методов, напрямую относящихся и влияющих на поиск места повреждения является укрупнение центров и объединение оперативно – выездных бригад. Это приводит к тому, что при недостаточном увеличении штата сотрудников и технических средств, зона обслуживания оперативно– выездной бригады увеличивается.

В следствие этого, увеличивается и время, необходимое на обнаружение и устранение возникшего повреждения. Одна из причин в необходимости автоматизации электрических сетей.

Умные сети электроснабжения, именуемые также Smart Grid, получили известность относительно недавно, хотя начало исследований возможностей создания и внедрения подобных технологий в СССР, США и Европе приходится на 70-е годы, когда речь шла, прежде всего, о самодиагностике. Основными же задачами были повышение надежности работы оборудования и обеспечение возможности дистанционного контроля над его исправной работой. Сегодня под «умными сетями», как правило, понимают модернизированные сети электроснабжения, которые включают использование как информационных, так и коммуникационных технологий с целью сбора информации и о производстве электроэнергии, и об ее потреблении, что позволяет автоматически повышать надежность, эффективность, экономическую выгоду, а также обеспечивает устойчивость производства и корректного распределения электроэнергии.

Иными словами, умные сети в электроэнергетике должны отвечать критериям гибкости, доступности, надёжности и экономичности. Развёртывание подобных проектов способствует развитию инновационных технологий, стимулирует производство высокоинтеллектуальной продукции, расширяет возможности использования электрической тяги в транспортной инфраструктуре.

Концепция умных сетей предполагает совмещение релейной защиты с информационно-измерительными функциями. Микропроцессорные устройства релейной защиты измеряют токи и напряжение в векторной форме, накапливают данные о срабатываниях и аварийных режимах в специальных блоках памяти. Таким образом, релейная защита превращается в своеобразный центр обработки информации, элемент системы диагностики и мониторинга электрооборудования [11].

В России проект умные сети, реализует ПАО «Россети» и его дочерняя компания АО «Янтарьэнерго» с использованием инновационных решений отечественного производителя – группы компаний «Таврида Электрик» и консорциума компаний-партнеров. На сегодняшний день не имеет аналогов в отечественной практике, а в сравнении с аналогичными проектами в мире имеет ряд существенный преимуществ. Впервые предпринимается попытка создания комплексной отечественной системы управления на открытой платформе данных. Эффективность внедрения инновационных технологий уже ощутили жители Мамоновского и Багратионовского районов. Инновационные технологии в рамках программы оказывают положительное влияние на ключевые показатели надежности электроэнергии. Все переключения в аварийных ситуациях происходят полностью автоматически; сеть наблюдаема и управляема; сократилось время перерыва электроснабжения потребителей, время реагирования на аварийные ситуации и количество самих отключений. Например, в Багратионовском районе средняя величина перерыва электроэнергии сократилась в четыре раза - с более чем 5 часов до 50 минут [12].

1.3 Существующие методы выявления аварийных режимов

При возникновении продольной и поперечной несимметрии электрической сети, например, при обрывах нулевого и фазных проводов воздушной линии

электропередачи, а также при однофазных коротких замыканиях меняются напряжения фаз относительно нулевого провода, перераспределяются токи в электрической сети и одновременно появляются симметричные составляющие напряжений и токов обратной и нулевой последовательности [13–15]. Информация об указанных изменениях может быть использована при построении защит электрической сети от возникающих несимметричных режимов работы.

Токовые защиты, реагирующие на токи, протекающие по фазным проводам воздушной линии. Токовые защиты ВЛ 380 В, построенные с использованием плавких предохранителей и автоматических выключателей, устанавливаемых в начале ВЛ и реагирующих на увеличение токов, протекающих по нулевому и фазным проводам, предназначены для защиты электрической сети от однофазных или многофазных токов короткого замыкания [16]. Но, в связи с быстрым снижением токов короткого замыкания по длине ВЛ, эти защитные аппараты имеют ограниченную зону защиты, не превышающую 250–350 м.

Для повышения эффективности этих токовых защит предложено секционировать воздушную линию, т.е. разбивать её на участки, в начале которых следует устанавливать защитные аппараты (плавкие предохранители и автоматические выключатели). Это предложение сформулировано в работах П.И. Спешакова [17–20], первая из которых опубликована ещё в 1939 г. Эти предложения были использованы в «Методических указаниях по выбору устройств релейной защиты в сетях 0,38–35 кВ сельскохозяйственного назначения», 1976 и 1996 годов, разработанных институтом «Сельэнергопроект» [21, 22] и в пособии [23].

Основная идея секционирования заключается в установке защитного аппарата (плавкого предохранителя или автоматического выключателя) в расщепку проводов ВЛ-0,38 кВ (см. рисунок 1.1) на расстоянии от трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ). Следует отметить, что методики выбора параметров секционирующих плавких предохранителей и автоматических выключателей представлены в [20, 23, 24] ориентированы на значение коэффициента чувствительности $K_{\text{ч}} = 3$.

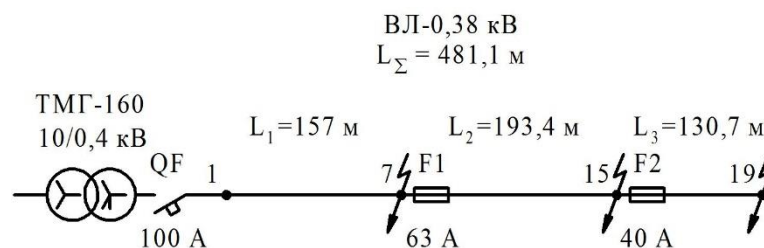


Рисунок 1.1– Пример схемы защиты воздушной линии напряжением 380 В путём её секционирования защитными аппаратами

Следует отметить, что предохранители сейчас широко используются в электрических сетях низкого напряжения. Они работают достаточно надежно и эффективно на тупиковых участках сети, если их число для защиты разных участков при последовательном включении в электрическую цепь не превышает 2–3, и если ток аварийного или ненормального режима по крайней мере

в пять – семь раз больше номинального тока плавкой вставки предохранителя. При таких условиях правильно выбранные по своим характеристикам предохранители могут обеспечить избирательное отключение именно поврежденного участка сети.

При обрывах проводов ток повреждённой фазы или нулевого провода становится равным нулю, а токи в оставшихся проводах перераспределяются, но не превышают токов срабатывания плавких предохранителей и автоматических выключателей. Таким образом, эти защитные аппараты принципиально не могут обеспечить защиту ВЛ 380 В от обрывов проводов.

Защита, построенная на использовании широтно-импульсных сигналов, которые поочерёдно подаются в разные фазы. Устройство (см. рисунок 1.2) содержит генератор импульсных сигналов 1, соединенный с распределителем импульсных сигналов 2, выход которого подключен к фазным проводам линии и первому входу схемы сравнения 5. Датчик тока 3, включенный в нулевой провод линии, соединен с усилителем высокой частоты 4, выход которого соединен с вторым входом схемы сравнения 5, к выходу которого подключен исполнительный орган 6. Перечисленные элементы устройства устанавливаются в начале линии. В конце линии устанавливаются три конденсатора С, каждый из которых одним выводом соединен с одним из фазных проводов линии, а другие выводы соединены вместе и подключены к нулевому проводу [25].

Устройство работает следующим образом. Прямоугольный импульс длительностью τ_1 , вырабатываемый генератором импульсных сигналов 1, подается через распределитель импульсных сигналов 2 поочередно в фазные провода линии, а также на первый вход схемы сравнения 5.

При отсутствии обрыва провода импульс, выделенный датчиком тока 3 и усиленный усилителем высокой частоты 4, имеет нарастающий фронт за счет наличия конденсаторов С в конце линии и длительность τ_2 , причём в данном случае соблюдается условие

$$0 < \tau_2 < \tau_1. \quad (1.1)$$

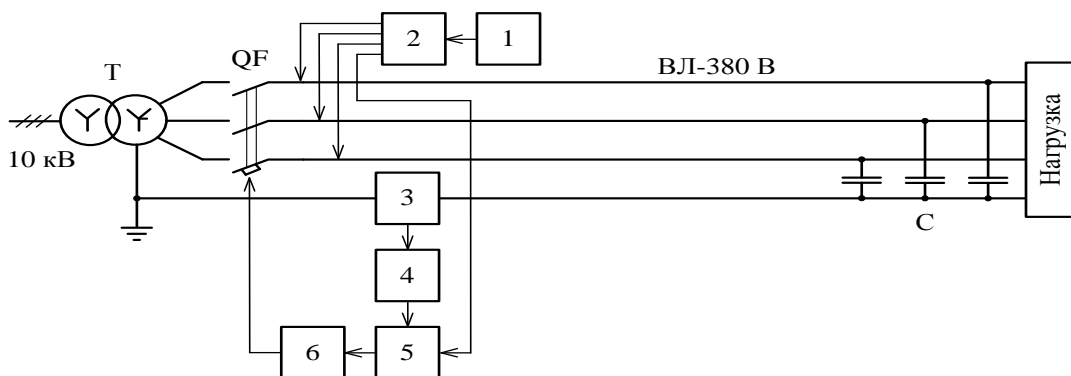


Рисунок 1.2 – Функциональная схема частотно-импульсной защиты

Этот импульс подается на второй вход схемы 5 сравнения и его выходной сигнал равен нулю.

При обрыве фазного или нулевого провода на втором входе схемы сравнения 5 импульс отсутствует – $\tau_2 = 0$.

При коротком замыкании на линии электропередачи на втором входе схемы сравнения 5 возникает импульс длительностью $\tau_2 = \tau_1$. Это объясняется тем, что импульс, поступающий на датчик тока 3, проходит от фазного провода к нулевому проводу через место короткого замыкания, минуя конденсатор С, который в этом случае оказывается зашунтированным.

В обоих случаях происходит нарушение условия (1.1), что приводит к появлению сигнала на выходе схемы сравнения 5 и срабатыванию исполнительного органа защиты 6.

К достоинствам защиты следует отнести повышение чувствительности при малых токах КЗ, увеличение быстродействия и возможность обнаружения обрыва фазных или нулевого проводов

Соответствующим образом построенная измерительная и логическая части защиты позволяют выявлять указанные повреждения ВЛ.

Метод для обнаружения фазовый сдвиг между, фазными током и напряжением. Данный принцип уже используется в зарубежных устройствах для обеспечения безопасности потребителя, однако эффективность метода сохраняется только в схеме с одиночным удаленным потребителем [25]. Кроме того, данный метод требует постоянного контроля сети, потому что он основан на изменении угла, а не на уставке, что в свою очередь требует внедрения дополнительного оборудования в систему электроснабжения и обеспечения требуемой вычислительной мощности.

Метод основанный на отношении напряжения нулевой последовательности к напряжению обратной последовательности. Важным фактором для работы метода, основанного на отношении напряжения нулевой последовательности к обратной, оказалась длина воздушной линии, через которую получает питание потребитель. Так с увеличением длины воздушной линии, питающей потребителя, значения выбранного отношения напряжений значительно уменьшаются. При уменьшении длины происходит резкое увеличение значения отношения напряжения нулевой последовательности к напряжению обратной последовательности. Так же было отмечено, что при обрыве нейтрального провода этот рост существенно увеличивается, а с увеличением длины линии значения в аварийном и нормальном режимах могут накладываться. Поэтому, для определения эффективной зоны действия метода, нужно определить критическую длину линии, при превышении которой возможны ложные обнаружения обрывов провода.

Рассмотрим защиту от обрыва фазного и нулевого провода Греции, реализованную с помощью реле напряжения для каждой фазы с нормально замкнутым контактом (см. рисунок 1.3).

Как показано на рисунке 1.3, каждое реле подключено к каждой фазе и нейтрали. Эти соединения должны быть выполнены в конце линии. Следовательно, если провод одной из фаз будет оборван, соответствующее реле будет снято с охраны и его контакт закроется, инициируя сигнал, используя (GSM) модуль, который, в свою очередь, подаст сигнал на принимающий (GSM) ключ, который отключит автоматический выключатель и предупредит диспетчера сети о сбое в линии. В качестве уникального модуля идентификации абонента будет

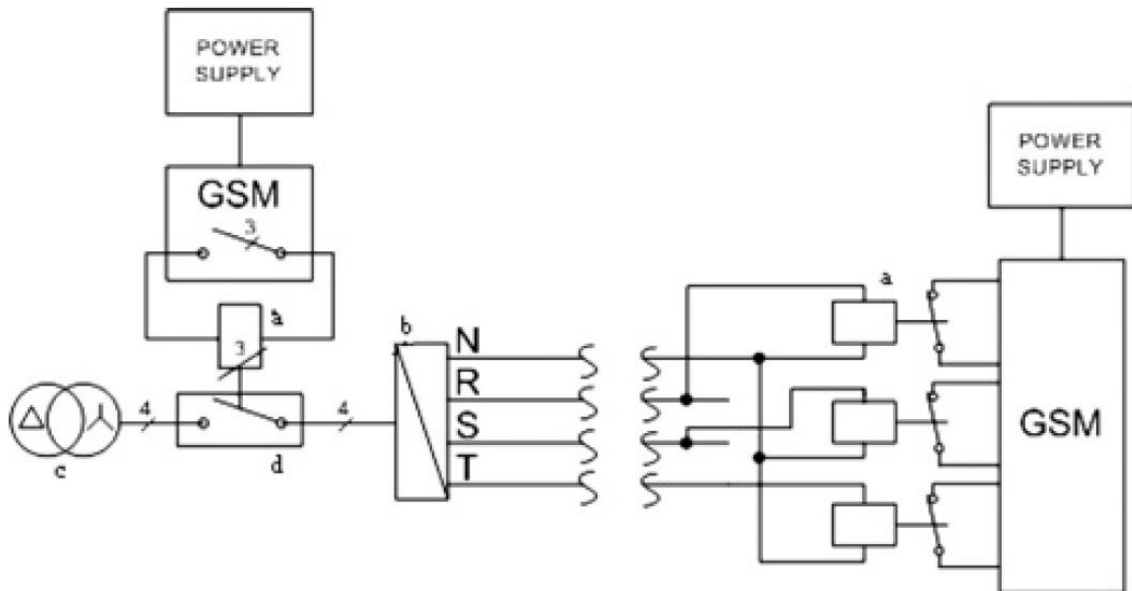


Рисунок 1.3 – Схема защиты с использованием реле напряжения:
 а – Реле напряжения; b – Низковольтная распределительная сеть;
 с – Трансформатор 20 кВ / 400 В; d – Автоматический выключатель.

выделены каждой системе, инженеры могут идентифицировать местоположение отказа. Система с GSM работает от заряжаемой батареи от линии. Это означает, что периодически потребуется техническое обслуживание и замена батареи. Минус такой защиты является в том, что реле напряжения устанавливаются в конце линии, а это значит если будут обрывы вводов у потребителя или обрывы проводов на отпаячных линиях защита не почувствует эти обрывы [26].

Задачи исследований

Анализ вышеуказанных источников помогает сделать вывод о том, что проблема выявления обрыва фазных и нулевого проводов воздушных линий электрических сетей напряжением 380 В является опасным как для питающихся электроприёмников, так и людей, и животных, которые могут оказаться на месте повреждения воздушной линии.

Для достижения заявленной цели необходимо:

1 Разработать компьютерную модель электрической сети напряжением 380 В, позволяющую проводить анализ работы этой сети как в нормальном, так и в аварийных режимах.

2 Определить критерии определения места повреждения электрической сети напряжением 380 В.

3 Оценить повышение уровня электробезопасности в результате её внедрения в практику эксплуатации воздушных линий напряжением 380 В.

2 РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 380 В НА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

Основной задачей данной работы является поиск критерия обнаружения обрывов фазного и нулевого провода, которые может являться угрозой здоровью и жизни людей, а также привести к выходу из строя электрооборудования потребителей. Кроме того, искомый критерий должен быть удобен в эксплуатации и максимально дешевым в применении.

Для правильности выбора критерия, нужно учесть множество факторов оказывающих влияние на фазные напряжения и токи в электрической сети, таких как технические параметры понижающих трансформаторов, их внешние характеристики, параметры воздушных линий, величины и места расположения повторных заземлителей нулевого провода, сопротивления заземляющих устройств потребителей, степень нагрузки фаз воздушной линии и их несимметрия, наличие разветвлённых параллельно работающих линий, распределение нагрузки вдоль линии и многое другое.

Написание уравнений, описывающих состояние сети, с учётом всех указанных выше факторов, и их аналитическое решение является довольно сложной процедурой. Но даже при успешном решении такой задачи, аналитические выражения для определения напряжений в узлах сети и токов в ветвях получатся массивными, включающими в себя большое количество независимых переменных.

Проведение измерений в реальных сетях возможно не во всех эксплуатационных режимах из-за их опасности для оборудования, а в отдельных случаях – для людей и животных. При использовании компьютерной модели сетей таких ограничений нет, что открывает широкие возможности для исследования поведения режимных параметров сети

Учитывая вышесказанное, можно утверждать о том, что для проведения исследований требуется создание модели сети с распределенной нагрузкой, получающих электроэнергию по воздушной линии 380 В, выполненной не изолированными проводами.

2.1 Компьютерная модель сети в программе MATLAB в пакете Simulink

Программный комплекс «Matlab» с приложением к нему пакета «Simulink» возникла возможность провести исследования режимных параметров сети с учётом практически всех обозримых факторов, оказывающих влияние на интересующие нас параметры [27, 28].

Для проведения исследований влияния вышеуказанных факторов на величину токов и напряжений фаз сети и других параметров, воспользуемся схемой электроснабжения улицы Майской в селе Шишкина (см. рисунок 2.1) и параметрами которые указаны в таблице 2.1

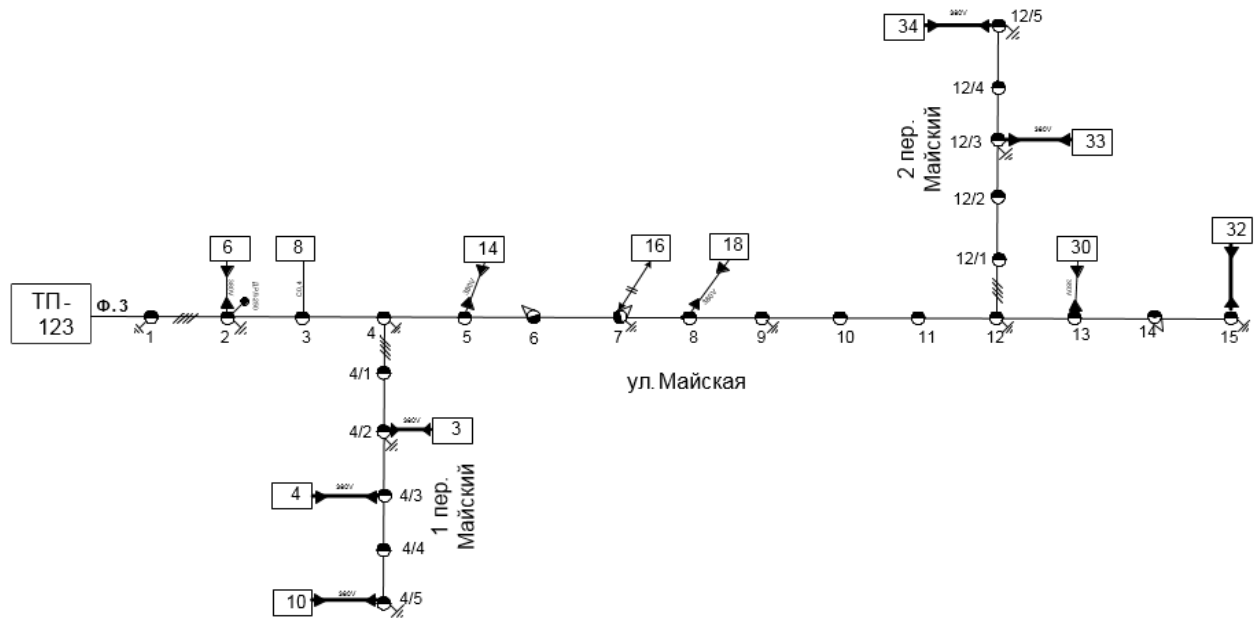


Рисунок 2.1 – Схема электроснабжения улицы Майской в селе Шишкина

Таблица 2.1 – Параметры моделируемой сети

Элемент схемы	Параметр	Величина
Трансформатор ТМГ-160/10/0,4	Мощность	160,0 кВА
	Высокое напряжение	10,0 кВ
	Низкое напряжение	0,4 кВ
Воздушная линия АС-4х35 мм ²	Длина линии	680,0 м
	Сечение проводов	35,0 мм ²
	Количество проводов	4 шт.
Сопроотивления заземляющих устройств	ТП	4,0 Ом
	Повторное заземление нулевого провода ВЛ	30,0 Ом
Предельная (номинальная) активная мощность потребителей $P_{н.макс}$	Одной фазы	54,0 кВт
	Трёх фаз	168 кВт

В дальнейшем была создана компьютерная модель электрической сети напряжением 380 В улицы Майской в селе Шишкина (см. рисунок 2.2), типа TN–С, выполненных воздушными линиями. Модель создана в программном комплексе «Matlab» с использованием пакета «Simulink». В модели так же указаны места предполагаемых обрывов проводов и коротких замыканий.

Подробное описание компьютерной модели, приведено в [29, 30], где дано детальное описание отдельных блоков компьютерной модели сети, а также методики определения параметров, запрашиваемых этими блоками [31–33].

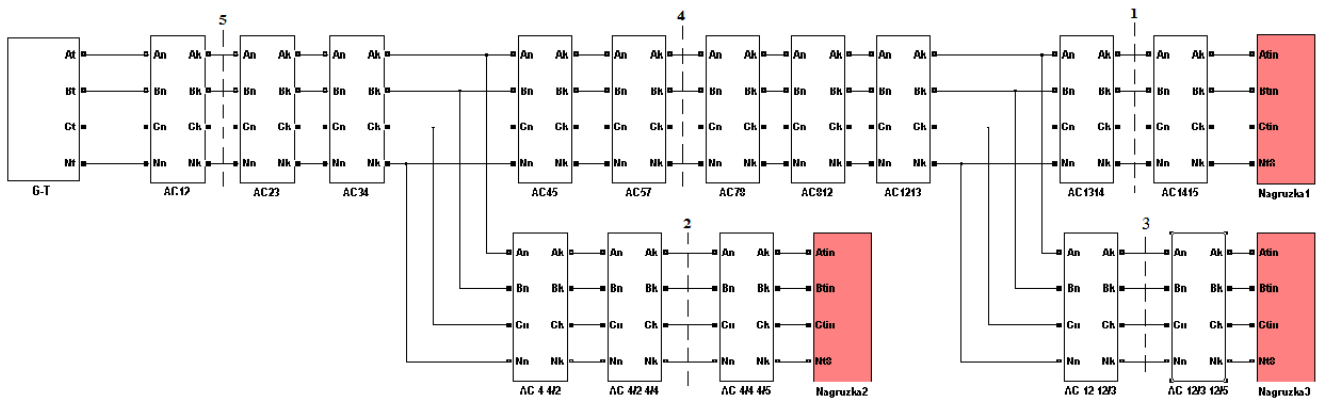


Рисунок 2.2 – Компьютерная модель электрической сети 380 В

2.2 Проведение исследований и обработка полученных данных

В ходе работы были произведены исследования различных режимов работы электрической сети, (нормального режима, обрывов фазных и нулевого проводов), путем обрыва проводов в контрольных точках. Затем после обрыва выполняли короткие замыкания между фазами и между фазным и нулевым проводом, в тех же контрольных точках, результаты которых были сведены в таблицы 2.2–2.3.

Распишем поподробнее состав таблицы 2.2:

В первой колонке указаны режимы работы сети. Во второй колонке указан потребитель. В колонках с 3 по 8 указаны значения фазных напряжений в исследуемом режиме их величина и угол. В колонках с 9 по 15 указаны значения фазных напряжений в исследуемом режиме, их величина и угол. В колонках 16 по 20 указаны значения токов в исследуемом режиме, их величина и угол. В колонках 21 по 22 указаны значения тока нуля в исследуемом режиме, их величина и угол. В колонках 23 по 24 указаны значения напряжения нуля в исследуемом режиме, их величина и угол. Результаты исследований модели представлены в таблице 2.2.

Были произведены измерения с обрывами в разных частях сети. Для выявления закономерности обрывы производились в крайних точках – перед последним пролетом воздушной линии, непосредственно до потребителя и у подстанции - на первом пролете ВЛ.

В ходе преобразования модели, представленной в [29] и описанной ранее были рассмотрены несколько вариантов моделирования обрывов воздушной линии в программной среде MATLAB - SIMULINK. Одним из первых вариантов было создание дополнительного элемента - ключа на всех участках воздушной линии, на которых необходимо создать обрыв. Кроме того, некоторые исследуемые режимы предполагают наличие отключаемой нагрузки по фазам у потребителя. Поэтому в модели необходимо было создание коммутирующих систем.

Однако, введение дополнительных элементов усложняло визуализацию модели, поэтому в качестве альтернативы элементам коммутации, устанавливаемым на линию, обрыв провода в любом требуемом месте производится ручным разрывом цепи в модели (см. рисунок 2.3).

Таблица 2.2 – Результаты исследования сети в нормальном режиме и при обрывах проводов

Режим работы	Потребитель	U _{Ап}		U _{Вп}		U _{Сп}		U _{АВ}		U _{ВС}		U _{СА}		I _А		I _В		I _С		I _N		U _N	
		В	Град	В	Град	В	Град	В	Град	В	Град	В	Град	А	Град	А	Град	А	Град	А	Град	В	Град
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Нормальный режим	N1	197	-2	197	-122	197	117	342	27	342	-92	342	147	20	-2	20	-122	20	117	0	0	0	0
	N2	211	-2	211	-122	211	117	365	27	365	-92	365	147	21	-2	21	-122	21	117	0	0	0	0
	N3	195	-2	195	-122	195	117	340	27	340	-92	340	147	20	-2	20	-122	20	117	0	0	0	0
	ТП	228	-2	228	-122	228	117	395	28	395	-92	395	147	151	-2	151	-122	151	117	0	0	0	0
Обрыв фазы А в точке 1	N1	0	0	193	-121	195	115	193	58	342	-92	195	115	0	0	19	-121	20	115	18	-3	5	177
	N2	215	-2	208	-122	211	117	368	27	365	-92	367	147	22	-2	21	-122	21	117	1	-146	1	103
	N3	209	-2	191	-121	194	115	347	26	339	-92	345	148	21	-2	19	-121	20	115	2	-169	4	174
	ТП	229	-1	226	-122	229	117	396	28	395	-91	395	148	134	-1	149	-121	151	116	12	-22	1	-7
Обрыв фазы А в точке 2	N1	202	-2	195	-122	198	116	345	27	342	-92	344	147	20	-2	20	-122	20	116	1	-146	1	128
	N2	0	0	206	-121	210	115	206	58	365	-92	210	115	0	0	21	-121	21	115	20	-3	4	179
	N3	199	-2	193	-122	196	116	241	27	339	-92	340	147	20	-2	19	-122	20	116	1	-146	1	122
	ТП	229	-1	225	-122	230	117	396	28	395	-91	395	148	132	-1	149	-122	151	116	15	-20	1	-16
Обрыв фазы А в точке 3	N1	211	-2	194	-121	196	115	350	26	342	-92	349	148	21	-2	20	-121	20	115	20	-169	4	175
	N2	215	-2	209	-122	211	117	368	27	365	-92	367	147	22	-2	21	-122	21	117	1	-146	1	74
	N3	0	0	190	-120	193	114	190	59	339	-92	193	114	0	0	19	-120	19	114	18	-4	6	178
	ТП	229	-2	226	-122	229	117	396	28	395	-91	395	148	134	-2	149	-121	151	116	11	-22	1	-6
Обрыв фазы А в точке 4	N1	0	0	188	-119	194	113	188	60	342	-92	194	113	0	0	19	-119	20	113	17	-5	9	177
	N2	219	-1	206	-121	212	116	370	27	365	-92	369	148	22	-1	21	-121	21	116	2	-145	1	89
	N3	0	0	185	-119	191	112	186	60	339	-92	192	113	0	0	19	-119	19	112	17	-5	11	177
	ТП	230	-1	223	-122	231	117	396	28	395	-92	395	148	115	-1	146	-121	151	115	25	-21	2	-5
Обрыв фазы А в точке 5	N1	5	-12	172	-118	201	108	173	59	342	-92	204	110	0	0	17	-118	20	108	15	-15	15	170
	N2	2	166	186	-120	219	111	185	60	365	-92	218	110	0	0	19	-120	22	111	18	-14	7	171
	N3	6	-12	169	-118	198	108	171	59	339	-92	202	110	0	0	17	-118	20	108	14	-15	16	170
	ТП	237	5	206	-123	245	114	400	28	395	-92	394	149	0	0	133	-120	157	111	124	-14	6	-9
Обрыв фазы А в сети 10кВ	N1	0	0	171	-92	171	87	171	87	342	-92	171	87	0	0	17	-92	17	87	0	0	0	0
	N2	0	0	182	-92	182	87	182	87	365	-92	182	87	0	0	18	-92	18	87	0	0	0	0
	N3	0	0	169	-92	169	87	169	87	339	-92	169	87	0	0	17	-92	17	87	0	0	0	0
	ТП	0	0	197	-92	197	88	197	88	395	-92	197	88	0	0	131	-92	131	87	0	0	0	0
Обрыв фазы В в точке 1	N1	193	-2	0	0	195	115	193	58	342	-92	195	115	20	-2	0	0	20	115	18	-3	5	177
	N2	208	-2	215	-122	211	117	368	27	365	-92	367	147	21	-2	22	-122	21	117	1	-146	1	103
	N3	191	-2	209	-121	194	115	347	26	339	-92	345	148	19	-2	21	-121	20	115	2	-169	4	174
	ТП	226	-1	229	-122	229	117	396	28	395	-91	395	148	149	-1	134	-121	151	116	12	-22	1	-7
Обрыв фазы В в точке 2	N1	197	-2	205	-122	198	116	345	27	342	-92	344	147	20	-2	20	-122	20	116	1	-146	1	128
	N2	206	-2	0	0	210	115	206	58	365	-92	210	115	21	-2	0	0	21	115	20	-3	4	179
	N3	193	-2	199	-122	196	116	241	27	339	-92	340	147	20	-2	19	-122	20	116	1	-146	1	122
	ТП	225	-1	229	-122	230	117	396	28	395	-91	395	148	132	-1	149	-122	151	116	15	-20	1	-16
Обрыв фазы В в точке 3	N1	194	-2	211	-121	196	115	350	26	342	-92	349	148	21	-2	20	-121	20	115	20	-169	4	175
	N2	209	-2	215	-122	211	117	368	27	365	-92	367	147	22	-2	21	-122	21	117	1	-146	1	74
	N3	0	0	190	-120	193	114	190	59	339	-92	193	114	19	-2	0	0	19	114	18	-4	6	178
	ТП	226	-2	229	-122	229	117	396	28	395	-91	395	148	149	-2	229	-121	151	116	11	-22	1	-6

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Обрыв фазы В в точке 4	N1	194	-2	0	0	188	113	188	60	342	-92	194	113	20	-1	0	0	19	113	17	-5	9	177
	N2	205	-1	217	-121	212	116	370	27	365	-92	369	148	22	-1	21	-121	21	116	2	-145	1	89
	N3	191	-2	0	0	185	112	186	60	339	-92	192	113	19	-1	0	0	19	112	17	-5	11	177
	ТП	223	-1	230	-122	231	117	396	28	395	-92	395	148	151	-1	115	-121	146	115	25	-21	2	-5
Обрыв фазы В в точке 5	N1	201	-2	0	0	172	108	173	59	342	-92	204	110	20	-1	0	0	17	108	15	-15	15	170
	N2	186	-2	3	-122	219	111	185	60	365	-92	218	110	22	-1	0	0	19	111	18	-14	7	171
	N3	198	-12	6	-118	169	108	171	59	339	-92	202	110	20	-1	0	0	17	108	14	-15	16	170
	ТП	237	5	245	-123	206	114	400	28	395	-92	394	149	157	-1	0	0	133	111	124	-14	6	-9
Обрыв фазы В в сети 10кВ	N1	171	-2	0	0	171	87	171	87	342	-92	171	87	17	-1	0	0	17	87	0	0	0	0
	N2	182	-2	0	0	182	87	182	87	365	-92	182	87	18	-1	0	0	18	87	0	0	0	0
	N3	169	-2	0	0	169	87	169	87	339	-92	169	87	17	-1	0	0	17	87	0	0	0	0
	ТП	197	-2	0	0	197	88	197	88	395	-92	197	88	131	-1	0	0	131	87	0	0	0	0
Обрыв фазы С в точке 1	N1	195	-2	192	-122	0	0	193	58	342	-92	195	115	20	-1	19	-121	0	0	18	-3	5	177
	N2	211	-2	209	-122	215	117	368	27	365	-92	367	147	21	-2	20	-122	22	117	1	-146	1	103
	N3	193	-2	190	-121	208	115	347	26	339	-92	345	148	20	-2	19	-121	21	115	2	-169	4	174
	ТП	228	-1	226	-122	227	117	396	28	395	-91	395	148	134	-1	149	-121	151	116	12	-22	1	-7
Обрыв фазы С в точке 2	N1	201	-2	194	-122	199	116	345	27	342	-92	344	147	20	-2	20	-122	20	116	1	-146	1	128
	N2	210	-2	206	-121	0	0	206	58	365	-92	210	115	21	-2	21	-121	0	0	20	-3	4	179
	N3	197	-2	194	-122	198	116	241	27	339	-92	340	147	20	-2	19	-122	20	116	1	-146	1	122
	ТП	228	-1	226	-122	231	117	396	28	395	-91	395	148	132	-1	149	-122	151	116	15	-20	1	-16
Обрыв фазы С в точке 3	N1	211	-2	194	-121	196	115	350	26	342	-92	349	148	21	-2	20	-121	20	115	20	-169	4	175
	N2	215	-2	209	-122	211	117	368	27	365	-92	367	147	22	-2	21	-122	21	117	1	-146	1	74
	N3	193	-2	190	-120	0	0	190	59	339	-92	193	114	19	-2	19	-120	0	0	18	-4	6	178
	ТП	226	-2	227	-122	228	117	396	28	395	-91	395	148	134	-2	149	-121	151	116	11	-22	1	-6
Обрыв фазы С в точке 4	N1	194	-2	188	-119	0	0	188	60	342	-92	194	113	20	-1	19	-119	0	0	17	-5	9	177
	N2	220	-1	208	-120	213	116	370	27	365	-92	369	148	22	-1	21	-121	21	116	2	-145	1	89
	N3	191	-1	185	-119	0	0	186	60	339	-92	192	113	20	-2	19	-119	0	0	17	-5	11	177
	ТП	230	-1	223	-122	231	117	396	28	395	-92	395	148	115	-1	146	-121	151	115	25	-21	2	-5
Обрыв фазы С в точке 5	N1	201	-12	172	-118	4	108	173	59	342	-92	204	110	20	-2	17	-118	0	0	15	-15	15	170
	N2	219	166	186	-120	3	111	185	60	365	-92	218	110	22	-2	19	-120	0	0	18	-14	7	171
	N3	198	-12	169	-118	5	108	171	59	339	-92	202	110	20	-2	17	-118	0	0	14	-15	16	170
	ТП	237	5	206	-123	245	114	400	28	395	-92	394	149	157	-2	133	-120	0	0	124	-14	6	-9
Обрыв фазы С в сети 10кВ	N1	171	-2	171	-92	0	0	171	87	342	-92	171	87	17	-2	17	-92	0	0	0	0	0	0
	N2	182	-1	182	-92	0	0	182	87	365	-92	182	87	18	-2	18	-92	0	0	0	0	0	0
	N3	169	-2	169	-92	0	0	169	87	339	-92	169	87	17	-2	17	-92	0	0	0	0	0	0
	ТП	197	-2	197	-92	0	0	197	88	395	-92	197	88	131	-2	131	-92	0	0	0	0	0	0

Таблица 2.3 – Результаты исследования сети при коротком замыкании проводов

Режим работы	Потребитель	U _{Ап}		U _{Вп}		U _{Сп}		U _{АВ}		U _{ВС}		U _{СА}		I _А		I _В		I _С		I _Н		U _Н	
		В	Град	В	Град	В	Град	В	Град	В	Град	В	Град	А	Град	А	Град	А	Град	А	Град	В	Град
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
КЗ фазы АВ в точке 1	В точке КЗ	99	-62	99	-62	198	117	0	0	297	-62	297	117	402	16	398	-161	20	117	0	0	0	0
	N1	98	-62	98	-62	197	117	0	0	296	-62	296	117	10	-62	10	-62	20	117	0	0	0	0
	N2	197	-11	170	-117	211	117	278	24	338	-86	352	140	18	-11	17	-117	21	117	0	0	0	0
	N3	99	-54	98	-70	195	117	27	24	293	-65	294	119	10	-54	10	-70	20	117	0	0	0	0
	ТП	227	-5	215	-123	228	118	379	24	381	-91	401	146	490	9	467	-152	151	117	0	0	0	0
КЗ фазы ВС в точке 2	В точке КЗ	106	-62	106	-62	211	117	0	0	317	-62	317	117	723	13	718	-164	21	117	0	0	0	0
	N1	143	-22	127	-109	197	117	185	20	300	-80	320	133	14	-22	13	-109	20	117	0	0	0	0
	N2	105	-62	105	-62	211	117	0	0	316	-62	316	117	10	-62	10	-62	21	117	0	0	0	0
	N3	141	-22	126	-109	195	117	183	20	297	-80	317	133	14	-22	13	-109	20	117	0	0	0	0
	ТП	225	-8	203	-124	228	118	364	21	368	-92	406	144	808	-9	775	-159	151	117	0	0	0	0
КЗ фазы АС в точке 3	В точке КЗ	98	57	197	-122	98	57	295	57	295	-122	0	0	345	-40	20	-122	348	136	0	0	0	0
	N1	103	36	197	-122	106	76	297	50	300	-115	72	144	10	36	20	-122	11	76	0	0	0	0
	N2	175	2	211	-122	184	109	342	32	355	-98	291	144	18	2	21	-122	19	109	0	0	0	0
	N3	97	57	195	-122	97	57	293	57	293	-122	0	0	10	57	20	-122	10	57	0	0	0	0
	ТП	217	-3	228	-121	227	115	383	28	400	-93	381	145	420	-30	151	-122	442	129	0	0	0	0
КЗ фазы АВ в точке 4	В точке КЗ	103	-62	103	-62	207	117	0	0	311	-62	311	117	845	12	836	-165	40	117	0	0	0	0
	N1	98	-62	98	-62	197	117	0	0	296	-62	296	117	10	-62	10	-62	20	117	0	0	0	0
	N2	145	-25	127	-104	211	117	173	20	317	-78	339	132	14	-25	13	-104	21	117	0	0	0	0
	N3	97	-62	97	-62	195	117	0	0	293	-62	293	117	10	-62	10	-62	20	117	0	0	0	0
	ТП	225	-9	199	-125	228	118	359	20	364	-91	407	144	909	9	868	-161	151	117	0	0	0	0
КЗ нуля и фазы А в точке 1	В точке КЗ	0	0	251	-138	248	134	251	41	343	-92	248	134	271	-13	25	-138	25	133	232	164	59	-14
	N1	1	1	249	-138	246	133	250	41	342	-92	247	134	0	0	25	-138	25	133	36	-2	58	-14
	N2	156	-9	237	-126	213	125	337	29	365	-92	343	144	16	-9	24	-126	22	125	12	21	3	-83
	N3	21	-6	239	-136	235	132	254	39	339	-92	252	135	2	-6	24	-136	24	132	32	-1	48	-17
	ТП	210	-10	256	-122	216	124	386	27	395	-91	394	146	353	-12	175	-129	162	128	150	146	14	161

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
КЗ нуля и фазы В в точке 2	В точке КЗ	273	18	0	0	286	100	273	18	286	-79	367	147	28	17	422	-140	29	100	380	36	65	-140
	N1	209	9	109	-133	236	110	304	22	302	-88	342	147	21	9	11	-133	24	110	19	-105	14	170
	N2	271	17	1	-116	283	100	272	18	285	-79	365	147	28	17	0	0	29	100	43	-119	64	-140
	N3	206	9	110	-132	232	110	301	22	298	-88	339	147	21	9	11	-132	24	110	18	-105	14	164
	ТП	214	11	191	-138	282	116	392	25	380	-92	395	148	163	12	497	-140	187	109	295	20	13	23
КЗ нуля и фазы С в точке 3	В точке КЗ	248	-19	246	-106	0	0	341	27	246	-106	248	161	25	-18	25	-106	236	107	198	-74	61	107
	N1	237	-15	231	-109	44	112	342	27	266	-102	266	157	24	15	23	-109	4	112	28	119	42	104
	N2	233	-5	212	-115	164	111	365	27	346	-95	341	149	24	-5	21	-115	17	111	10	142	2	13
	N3	244	-18	243	-106	2	120	339	27	244	-106	246	160	25	-18	25	-106	0	0	36	117	59	106
	ТП	252	-2	217	-116	212	110	395	28	394	-93	387	147	172	-8	160	-112	325	108	127	-92	13	-77
КЗ нуля и фазы А в точке 4	В точке КЗ	0	0	278	-139	264	137	278	40	359	-92	264	137	511	-21	51	-137	49	134	438	154	52	-25
	N1	15	2	253	-137	241	134	265	40	342	-92	251	137	1	1	26	-137	24	134	35	1	40	-36
	N2	92	-17	266	-131	232	134	315	32	365	92	316	142	9	-17	27	-131	23	134	26	13	15	-41
	N3	18	1	248	-137	236	134	262	40	339	-92	249	137	2	2	25	-137	24	134	33	-1	37	-39
	ТП	185	-20	289	-124	215	133	377	27	395	-91	391	145	555	-21	193	-133	172	135	333	138	19	147

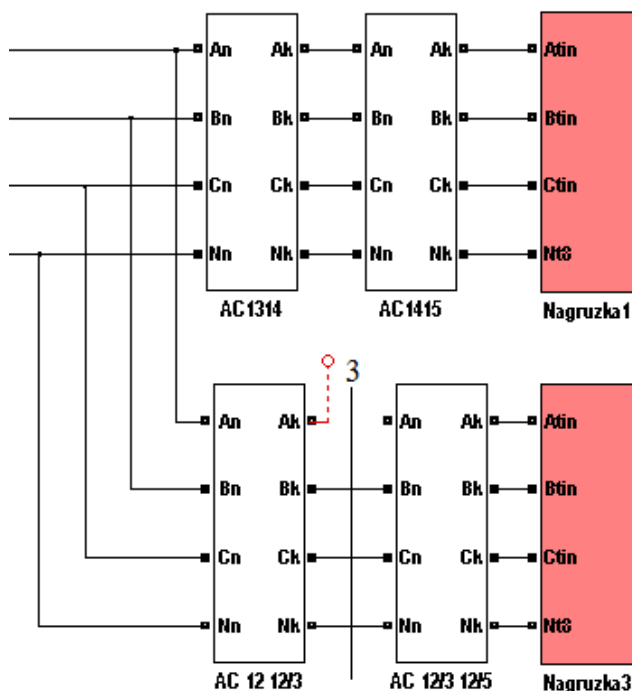


Рисунок 2.3 – Обрыв провода ручным разрывом цепи модели

Пытаясь понять, возможность логического определения обрыва фазного и нулевого провода был проведен эксперименты. В ходе эксперимента мы видим, как изменяется фазное напряжение на контрольных точках, было обнаружено, что при обрыве фазного провода в месте обрыва точка 1, у потребителя N1 будет отсутствовать фазное поражение и ток оборванной фазы. Потребители N2, N3 почувствуют лишь небольшую несимметрию. То же самое можно сказать про места обрывов фазных проводов в точке 2, 3. Если обрыв фазного провода произойдет в точке 4, фазное напряжение и ток будут равны нулю у потребителей N1, N3. У потребителя N2 нечего не изменится. При обрыве в точке 5, либо перегорании вставки в низковольтном щите ТП, будет отсутствовать фазное напряжение и ток оборванной фазы у всех потребителей, что может быть одним из критериев. При обрыве провода со стороны высокого напряжения, было замечено, что направление векторов фаз отличается от направления векторов при обрыве провода у ТП со стороны низкого напряжения, что может быть критерием определение обрыва со стороны высокого напряжения или низкого напряжения.

На основе данных определяем построение метода обнаружение обрывов фазных проводов напрямую связано с напряжением. По сравнению с обнаружением обрывов нулевого провода этот процесс производится гораздо проще для аварийной ситуации, связанной с фазным проводом является простое исчезновение фазного напряжения. В случае с нулевым проводом и несимметрией в сети все гораздо сложнее. Однако, этот фактор свидетельствует что, напряжение само по себе является удобным для создания устройств релейной защиты и критерий для обнаружения обрывов

нулевого провода, основанный именно на нем был бы очень удобен для дальнейшего использования.

Выводы по разделу 2

1 Для системы с потребителями, питающимися по всей длине воздушной линии с неизолированными проводами в качестве критерия для обнаружения обрывов нулевого провода могут быть использованы критерии, основанные как на токе, так и на напряжении.

2 На основании этих признаков предлагается дополнить применяемые в настоящее время в электрических сетях напряжением 380 В микропроцессорные счётчики определёнными функциями, позволяющими выявлять обрывы фазных и нулевого проводов ВЛ 380 В.

3 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ОБРЫВА ПРОВОДОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 380 В С ПОМОЩЬЮ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СЧЕТЧИКОВ

Развитие телекоммуникаций и интернета дало человечеству поистине безграничные возможности обмена информацией, навсегда изменив окружающий нас мир.

В последние 20 лет возникло множество беспроводных технологий передачи, отвечающих требованиям постоянно растущего объема передачи данных между измерительными приборами и пунктом сбора и обработки данных.

3.1 Сравнение технологий передачи данных

Системы распределения низшего напряжения обычно неоднородны, и соответствующие технологии зависят от локальной топологии (крупный город, сельский регион), следовательно, она должна быть специально предназначена для каждой местности. Рассмотрим некоторые технологии передачи данных.

3.1.1 Построение систем автоматизации на PLC

Линии электропитания окружают нас повсюду: дома, на улице, в офисе, на производстве. Идея передавать по ним информацию не нова – она родилась еще в 20-х годах прошлого столетия. Однако лишь благодаря последним достижениям в области микроэлектроники эта идея нашла свое воплощение в компактных и доступных по цене устройствах [34].

В качестве коммуникаций при построении системы PLC применяются непосредственно силовые линии электроснабжения (см. рисунок 3.1). Упрощенно эту технологию можно представить системой взаимосвязанных между собой электросчетчиков абонентов.

Устройства связаны посредством линий 380 В с концентраторами, расположенными в трансформаторной подстанции (ТП) и передающими диспетчеру информацию о потребляемой электроэнергии через GSM-модемы.

Счетчики и концентраторы используют интерфейс RS-485 — международный стандарт, описывающий характеристики дифференциальных линий связи (тип общая шина), который позволяет беспрепятственно загрузить необходимую информацию просто подключив ноутбук.

Выделяют два подвида технологии PLC — PLC-I и PLC-II [34]:

PLC-I прекрасно справляется с учетом электроэнергии в бытовых условиях многочисленных потребителей. Данные собираются в пределах определенных временных интервалов с возможностью анализировать и рассчитывать объемы потребления электрической энергии.

PLC-II предоставляет более широкие функциональные возможности, и, помимо статистики потребления, позволяет осуществлять оперативный контроль качества электроснабжения.

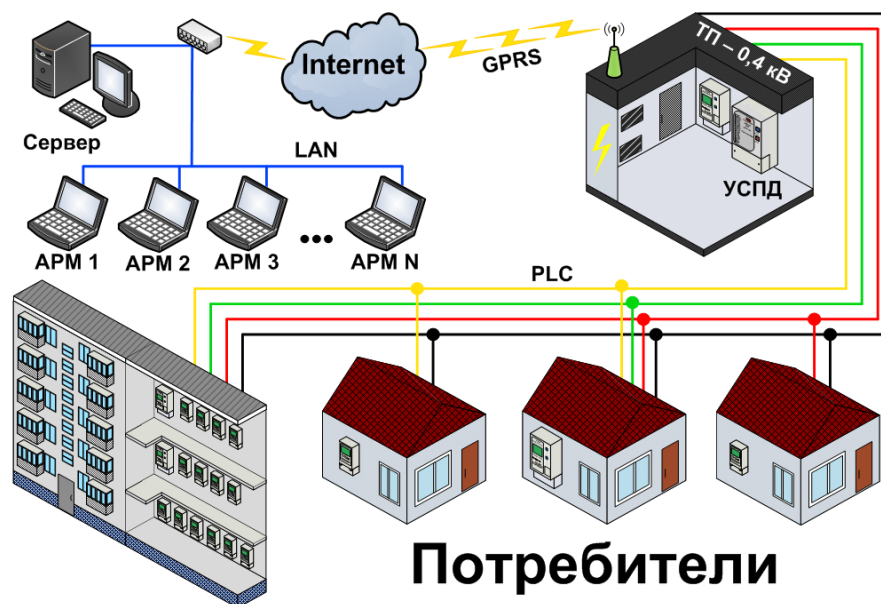


Рисунок 3.1 – Схема передачи данных с применением технологии PLC

Характеристики PLC-I и PLC-II могут различаться в зависимости от производителя оборудования. PLC-I работает в диапазоне частот 20-95 кГц, PLC-II — 62,5-82,5 кГц.

Система PLC-II предоставляет возможность подключения большего количества точек учета, определенных пределами одной подстанции — 3072 шт. по сравнению с 2048 шт. у PLC-I.

PLC-II имеет 15 ступеней ретрансляции, в то время как PLC-I всего 3. При этом в системе на PLC-II каждый прибор учета сам по себе является ретранслятором, что позволяет не использовать в качестве ретрансляторов дополнительные концентраторы. PLC-II поддерживает сеть, протяженностью 2,5 км, против 1,2 км у PLC-I. PLC-I необходимо предварительное присвоение сетевых адресов.

Компания «Меркурий» — один из представителей рынка проводных систем диспетчеризации. Для технологий PLC-I используются модели «Меркурий 200.04 М», «Меркурий 206 PLNO», «Меркурий 201.22М», «Меркурий 230 AR», «Меркурий 230 ART», «Меркурий 234ART». Линейка приборов учета, используемых в системах PLC-II, представлена моделями «Меркурий 203.2Т», «Меркурий 233ART», «Меркурий 234ARTM».

Помимо этого, в системах PLC себя зарекомендовали счетчики СЭТ, ПСЧ и СЭБ, выпускаемые АО «НППО им. Фрунзе».

Технология PLC подходит, главным образом, тем, кто разворачивает сеть в условиях ограниченного бюджета. При этом пуско-наладочные работы могут проводиться персоналом обычной квалификации.

К основным преимуществам PLC-технологий относятся [34]:

- Низкие совокупные затраты на оборудование, материалы, электромонтажные и строительные-монтажные работы, отсутствие эксплуатационных затрат.
- Отсутствие трудностей с получением разрешений на монтаж и эксплуатацию, поскольку такие разрешения не требуются.
- Разветвленная топология сети без использования повторителей.

- Оперативность развертывания.
- Устойчивость связи к изменению погодных условий.

Одним из недостатков технологии является низкая надежность системы и низкие показатели масштабируемости. Дальность распространения сигнала в PLC могут оказывать влияние различные факторы:

состояние линий электропередач (большое количество "скруток" на пути прохождения сигнала, способствует его затуханию);

наличие в линии помех от электробытовых приборов или приборов иного назначения (особое влияние оказывают помехи, которые пересекаются по диапазону с полезным сигналом) некоторые другие факторы.

Самым главным недостатком PLC технологии, при обрыве провода линии, сигнал не сможет дойти до принимающего устройства, тем самым информация не будет передана в место сбора данных.

3.1.2 Построение систем автоматизации на базе GSM

Системы беспроводного учета, использующие оборудование с подключением к GSM-модемам, передают данные через сотовую сеть оператора (см. рисунок 3.2). Один GSM-модем позволяет собирать показания как с одного счетчика, так и с группы устройств.

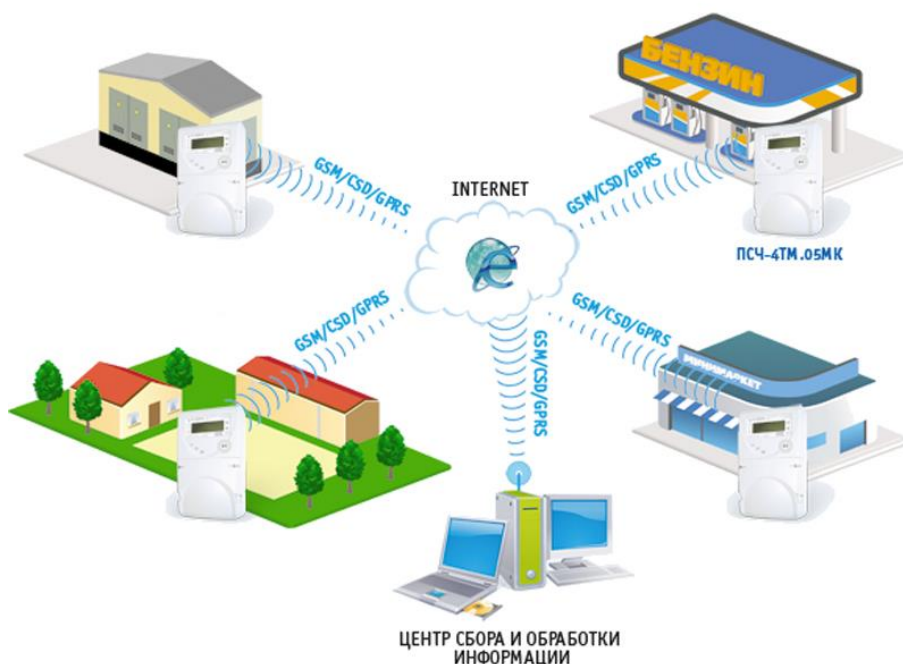


Рисунок 3.2 – Схема передачи данных с применением технологии GSM

Для считывания данных существует широкий ассортимент различных программ-конфигураторов, а бесперебойность поступления информации гарантируют встроенные в модем таймеры перезагрузки.

К главным недостаткам систем, применяющих технологии GSM, можно отнести высокую стоимость модемных устройств. Кроме того, для развертывания

системы необходимо покрытие территории сотовой сетью оператора, а статические IP-адреса, требуемые для подключения, обойдутся заказчику недешево.

Счетчики со встроенным GSM-модулем уже более десяти лет производят концерн «Энергомера» и ООО «Эльстер Метроника». К таким счетчикам относятся устройства серии «Меркурий» и «Альфа».

Поскольку GPRS — своего рода, надстройка технологии GSM, то особенности, описанные для GSM, будут справедливы и для GPRS. По сравнению с GSM, GPRS обладает повышенной скоростью передачи данных [35].

Казалось бы, скорость открывает больше возможностей. Но на практике высокая скорость при передаче данных потребления электроэнергии становится редко востребованной. Для того, чтобы раз в месяц или, самое частое, раз в сутки, снять показания потребления абонентов, высокая скорость передачи данных не нужна.

3.1.3 Технологии автоматизации для «умных домов»

ZigBee, Z-Wave и M-Bus, являются самыми популярными в сфере создания «умных домов» и широко применяется в Европе для контроля потребления энергоносителей еще с 90-х годов (см. рисунок 3.3).

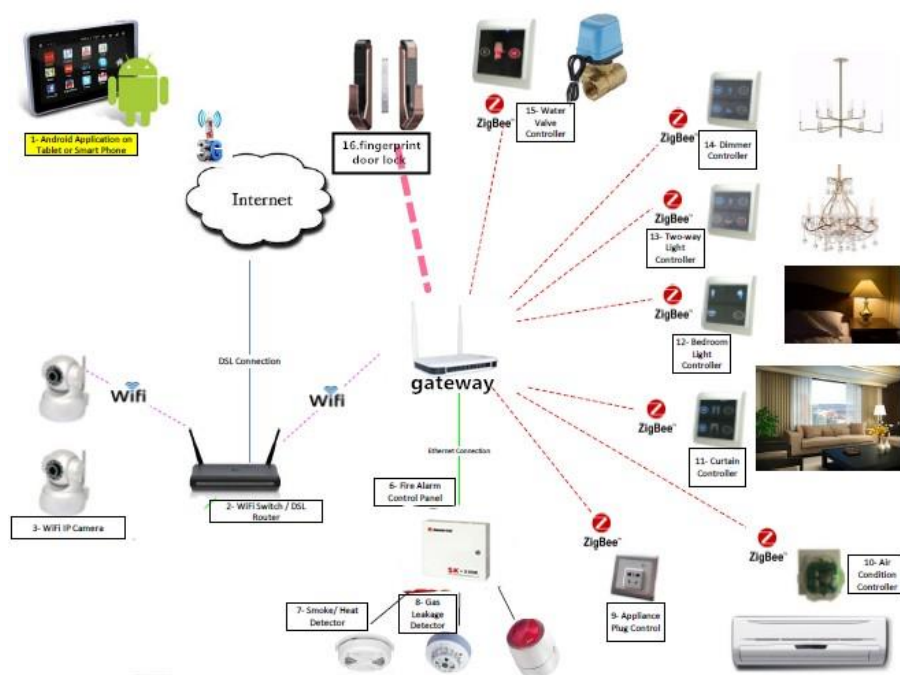


Рисунок 3.3 – Схема передачи данных с применением технологии ZigBee, Z-Wave и M-Bus

Как и Wi-Fi, ZigBee работает в диапазоне частот 2,4 ГГц, но при этом ZigBee не ограничена одним каналом и может использовать разные. Z-Wave использует диапазон частот до 1 ГГц, что делает ее более защищенной от помех. Обе технологии оптимизированы для передачи небольших команд включить/выключить, прибавить или снизить яркость освещения и т.п.

Технология передачи данных M-Bus тоже считается беспроводной, но с некоторыми оговорками – все приборы учета соединяются шиной m-bus, посредством которой коммутируется оборудование и передаются данные.

К несомненным преимуществам всех трех технологий можно отнести умеренные затраты на монтаж и низкое энергопотребление. Однако до сих пор эти технологии продолжают быть применимы, главным образом, для европейского формата.

Радиус передачи данных до 50 м вызывает необходимость дополнительных уровней ретрансляции, что увеличивает стоимость системы.

Применяемые структуры сети подразумевают наличие разнотипного оборудования, что также ведет к удорожанию системы и снижению ее надежности.

Построенную сеть обслуживает только интегратор, что делает поддержание готовой системы очень дорогим [36].

3.1.4 Построение системы автоматизации на базе технологии LPWAN

LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) — новый подход в радиосвязи, применяемый для устройств и крупных распределенных беспроводных сетей телеметрии. Его особенность — низкое энергопотребление (low-power) и широкий территориальный охват (wide-area).

Технология позволяет надежно и при умеренных финансовых затратах коммутировать электросчетчики, передающие информацию об энергопотреблении с территорий, удаленных на десятки километров.

Существующие беспроводные технологии не способны обеспечить потребности отдельных приложений в передаче небольших по объему данных на дальние расстояния при высокой автономности и низкой стоимости подключения.

LPWAN — это технология, поддерживающая совершенно новый класс телематических устройств. Ее появление стало возможным благодаря развитию компонентной базы: радиомодулей и приемопередающего оборудования.

Основными достоинствами технологии LPWAN являются [37]:

–Больше 10 км в городских условиях, на открытой местности свыше 50 км, зависимости от местности. Покрытие одной БС в городских условиях — порядка 300 км², на открытой местности — порядка 8 000 км²; Эти показатели в разы превосходят возможности мобильных сетей, за счет чего достигается существенная экономия на оборудовании и инфраструктуре.

–Передачик потребляет до 50 мА во время передачи данных и 3 мкА в режиме ожидания.

–Высокая проникающая способность: энергетический потенциал канала связи (link budget) составляет 166 дБм. Этого хватает, чтобы сигнал легко «добивал» из подвалов, через бетонные стены и металлические шкафы. Кроме того, сигнал устойчив к помехам и позволяет прием в условиях сосуществования с другими радиоустройствами;

–Использование не лицензируемого спектра: передача происходит на частоте 868,8 МГц при мощности до 25 мВт. На этом диапазоне разрешено свободное

и бесплатное использование радиопередающих устройств на основании Решений ГКРЧ.

Основными недостатками технологии LPWAN являются:

–Задержка сигнала равна нескольким секундам.

–Скорость передачи данных: составляет 50 — 25 600 бит/сек.

3.2 Возможность использования микропроцессорных счетчиков для выявления обрыва проводов

Рассмотрим возможность использования трёхфазных микропроцессорных счётчиков электроэнергии для выявления несимметричных режимов работы ВЛ–380 В. На рисунке 3.4 показана схема установки таких счётчиков с передачей информации по радио связи – GSM-каналу.

В качестве примера рассмотрена система сбора и передачи информации о электропотреблении, построенная на базе продукции компании «ВАВИОТ». Рассмотрим подробнее возможности применяемого оборудования.

Подход, используемый для передачи данных в сети «ВАВИОТ» очень похож на принцип работы сотовых сетей.

Счетчики, подключенные к модемам «ВАВИОТ», либо устройства с уже интегрированными радио модулями, передают показания в интернет через базовую станцию. Далее на серверах «ВАВИОТ», либо на серверах сетевой компании данные обрабатываются и предоставляются в удобном виде в специально разработанном веб-интерфейсе. Обратный канал связи позволяет управлять приборами и устройствами удаленно [38].

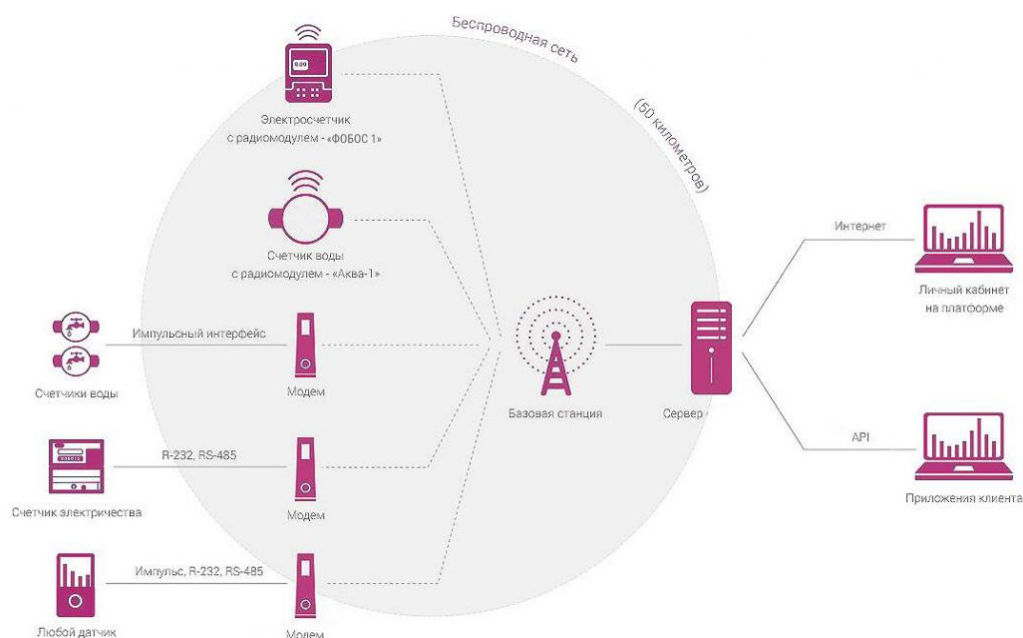


Рисунок 3.4– Схема передачи данных микропроцессорных счетчиков с использованием радио-технологии

3.2.1 Счетчики электрической энергии ФОБОС3

ФОБОС 3–трехфазный счетчик электроэнергии прямого, полукосвенного или косвенного включения со встроенным LPWAN-радиомодулем показан на рисунке 3.5 [39]. ФОБОС 3 предназначен для дистанционного учета электроэнергии на объектах жилого, коммерческого или производственного назначения. Встроенный LPWAN-модуль обеспечивает двустороннюю радиосвязь с базовой станцией, благодаря чему реализуется удаленное управление электросчетчиком и передача показаний в интернет.

Температура работы -40°C до 70°C , позволит устанавливать электросчетчики на фасаде здания или опоры без каких-либо дополнительных средств обогрева.

При исчезновении напряжения на всех трех фазах электросчетчик сможет передать изменения параметров сети за счет резервного питания, счетчик оснащен батареей, срок службы которой 16 лет [39].

Электросчетчик производит учет потребления активной и реактивной составляющих электроэнергии и передает показания и параметры электросети в личный интернет-кабинет пользователя. Позволяет быстро и без лишних затрат разворачивать автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии.



Рисунок 3.5 – Счетчики электрической энергии ФОБОС 3

Данные со счетчика передаются по радиоканалу на базовую станцию NB-300 (рисунок 3.6), а с неё через GSM в личный кабинет.

Сигналы со счетчика «ФОБОС 3» обладают отличной проникающей способностью благодаря протоколу NB-Fi, что делает возможной установку устройства за бетонными стенами, в металлические ящики и подвалы на расстоянии до 10 км от базовой станции в условиях городской застройки. Дистанционное ограничение мощности и отключение абонентов. Без

концентраторов. Для построения топологии передачи данных не требуется лишнее оборудование. Счетчик передает показания и получает команды от УСПД без проводов, сумматоров, концентраторов или ретрансляторов.

3.2.2 Базовая радиостанция NB-300



Рисунок 3.6 – Базовая радиостанция NB-300

Базовая радиостанция NB-300 представляет собой стационарный приемопередатчик маломощного радиосигнала (устройство сбора и передачи данных), работающий на технологии сверхузкополосной беспроводной связи в субгигагерцовом нелицензируемом диапазоне радиочастот. Базовая радиостанция обеспечивает прием и передачу информации по радиоканалу от устройств и на устройства, работающие в пределах рабочей частоты приемопередатчика, и передачу информации на вышестоящие уровни.

Критерии выбора места для установки антенны [38].

- Место установки антенны на мачте, на крыше самого высокого дома.
- Высота мачты должна быть не менее трех метров.
- Антенна должна быть установлена минимум на 3 метра выше любого объекта (стены, выступа, ограждения, другого оборудования).
- Вокруг антенны не должно быть выступов, парапетов, других антенн и грозоотводов, находящихся на одном уровне с ней.

Базовая станция имеет следующие разъемы (см. рисунок 3.7):

- SMA-разъем для соединения с принимающей антенной. Обозначение: Rx. Расположен, как правило, слева.
- SMA-разъем для соединения с передающей антенной. Обозначение: Tx. Расположен, как правило, справа.
- Ethernet-разъем для соединения с PoE-адаптером.

Для соединения функционального блока с блоком питания PoE (Power over Ethernet), то есть «питание посредством стандарта Ethernet», необходимо использовать экранированный Ethernet кабель 5-ой категории (Cat. 5). Длина

кабеля не должна превышать 80 метров. А для передачи данных на сервер к блоку питания PoE подключается Ethernet роутер или GSM модем, при помощи которого вся информация передается на сервер.

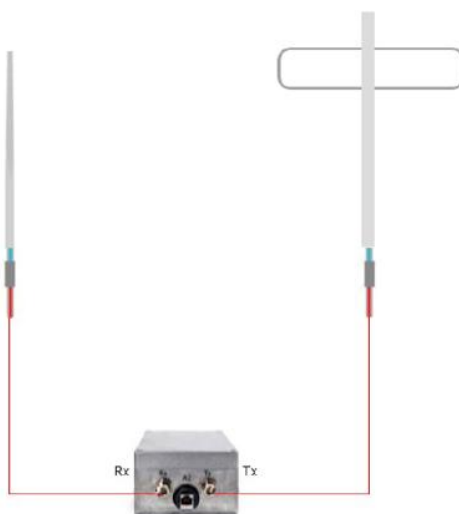


Рисунок 3.7 – Разъемы базовой станции

После включения базовая радиостанция должна загрузиться в течение двух минут, соединиться с сервером и начать принимать и передавать сообщения. Состояние станции и сообщения можно увидеть на телеком-сервере «ВАВИОТ» <https://b.waviot.ru> при вводе логина и пароля, выданного при покупке. Доступ в программно-технический комплекс «ВАВИОТ» (личный кабинет пользователя), позволяющий осуществлять управление устройствами, а также руководство по эксплуатации программно-технического комплекса предоставляется покупателям устройств [38].

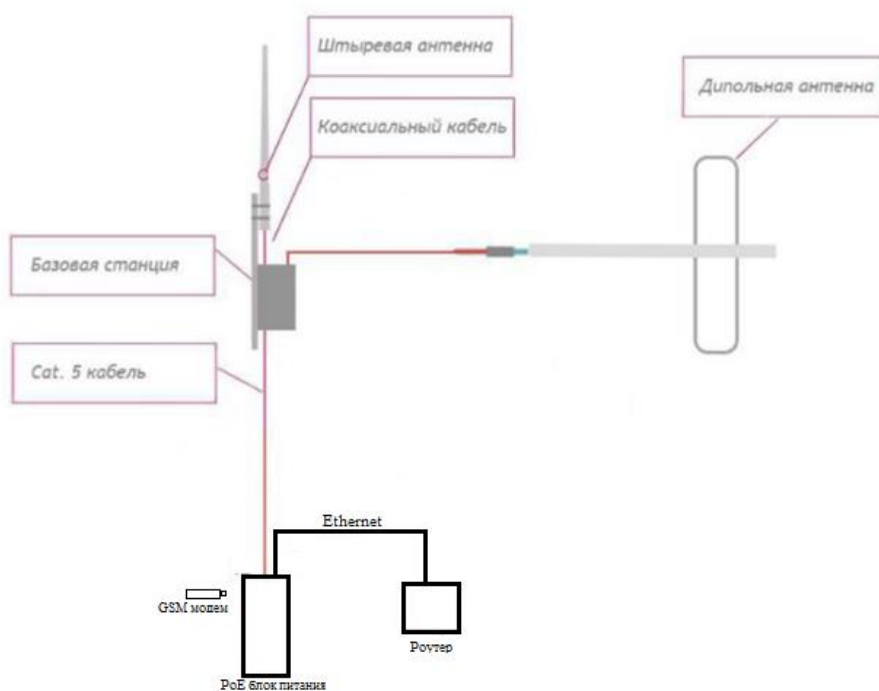


Рисунок 3.8 – Схема монтажа базовой радиостанции NB-300 с принимающей коллинеарной и передающей (дипольной) антенной

3.3 Диспетчерское управление и сбор данных

SCADA (supervisory control and data acquisition, диспетчерское управление и сбор данных) — программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте (мониторинг), а также возможного контроля и управления данным объектом.

Диспетчерское управление и сбор является основным и в настоящее время остается наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами (процессами) жизненно важных и критичных с точки зрения безопасности и надежности областях. Именно на принципах диспетчерского управления строятся крупные автоматизированные системы в промышленности и энергетике, на транспорте, в космической и военной областях, в различных государственных структурах.

За последние 10–15 лет резко возрос интерес к проблемам построения высокоэффективных и высоконадежных систем диспетчерского управления и сбора данных. С одной стороны, это связано со значительным прогрессом в области вычислительной техники, программного обеспечения и телекоммуникаций, что увеличивает возможности и расширяет сферу применения автоматизированных систем. С другой стороны, развитие информационных технологий, повышение степени автоматизации и перераспределение функций между человеком и аппаратурой обострило проблему взаимодействия человека-оператора с системой управления.

Основными областями применения систем диспетчерского управления являются [40]:

- управление передачей и распределением электроэнергии;
- промышленное производство;
- производство электроэнергии;
- водозабор, водоочистка и водораспределение;
- добыча, транспортировка и распределение нефти и газа;
- управление на транспорте (все виды транспорта: авиа, метро, железнодорожный, автомобильный, водный);
- телекоммуникации;
- военная область.

SCADA представляет собой программное обеспечение, выполняющее следующие функции:

- сбор данных о состоянии инженерного оборудования от контроллеров щитов локальной автоматики;
- хранение и отображение информации о функционировании оборудования за весь срок его работы;
- уведомление обслуживающего персонала о требующих внимания событиях с помощью e-mail, SMS или факс;
- доступ к контролю и управлению оборудованием по локальной сети объекта, через Интернет и т.д.

Сервер диспетчеризации с установленной на нем SCADA системой часто называют «верхний уровень».

SCADA система имеет возможность расширяться/сращиваться с другими системами управления.

SCADA - процесс сбора информации реального времени с удаленных точек (объектов) для обработки, анализа и возможного управления удаленными объектами. Требование обработки реального времени обусловлено необходимостью доставки (выдачи) всех необходимых событий (сообщений) и данных на центральный интерфейс оператора (диспетчера).

Зачастую необходимо, чтобы информация о событиях, требующих внимания и быстрого реагирования обслуживающего персонала, доходила помимо диспетчерского пункта лицам, которые непосредственно обслуживают систему, у которых не всегда под рукою персональный компьютер. В этом случае помимо передачи данных на диспетчерский пункт, информация с помощью SMS может передаваться непосредственно на мобильный телефон.

Диспетчерский пункт (см. рисунок 3.9) предназначен для [40]:

1 Диспетчеризация позволяет предотвратить аварийную ситуацию или порчу установленного оборудования. В случае выхода за пределы параметров технологического оборудования система своевременно отреагирует на отклонение и, в зависимости от степени приоритета аварии, передаст на ЦДП сообщение об отклонении параметра с возможностью блокирования вышедших из строя элементов или их отключения. Если авария все же случилась, оперативная бригада выезжает на место происшествия уже зная, что произошло и почему, с необходимым инструментом, запчастями, комплектующими. В конечном итоге это повлияет на скорость устранения аварии.

2 Диспетчеризация позволяет избежать поспешных действий персонала и дистанционно точно спланировать комплекс оперативных мероприятий персонала станции до приезда сервисной бригады.

В полноценную систему диспетчеризации обычно включается сразу сервер диспетчеризации – специально выделенный компьютер, на который устанавливается SCADA система.

В зависимости от способа передачи информации различают проводную стационарную связь (посредством передачи пакетов информации по телефонным линиям) и мобильную радиосвязь (посредством радиосигнала).

Услуги проводной телефонной связи оказывают как государственные компании, так и некоторые коммерческие операторы.

При использовании проводной связи оптимальным решением является использование защищенных каналов связи, называемых еще VPN каналами. Информация, передаваемая по таким каналам, кодируется специальными аппаратными средствами и не может быть использована сторонними пользователями. Есть также возможность защитить каналы, используя обмен только между конечными точками каналов.



Рисунок 3.9 – Диспетчерский пункт

Существует три варианта подключения: используя выделенную Ethernet линию или широкополосное ADSL соединение (использование сети Интернет) и по коммутированному телефонному соединению с помощью телефонных модемов. Каждый из приведенных вариантов зависит от технической возможности оператора в том или ином регионе. Схема связи между диспетчерским пунктом и управляемым оборудованием представлено на рисунке 3.10.

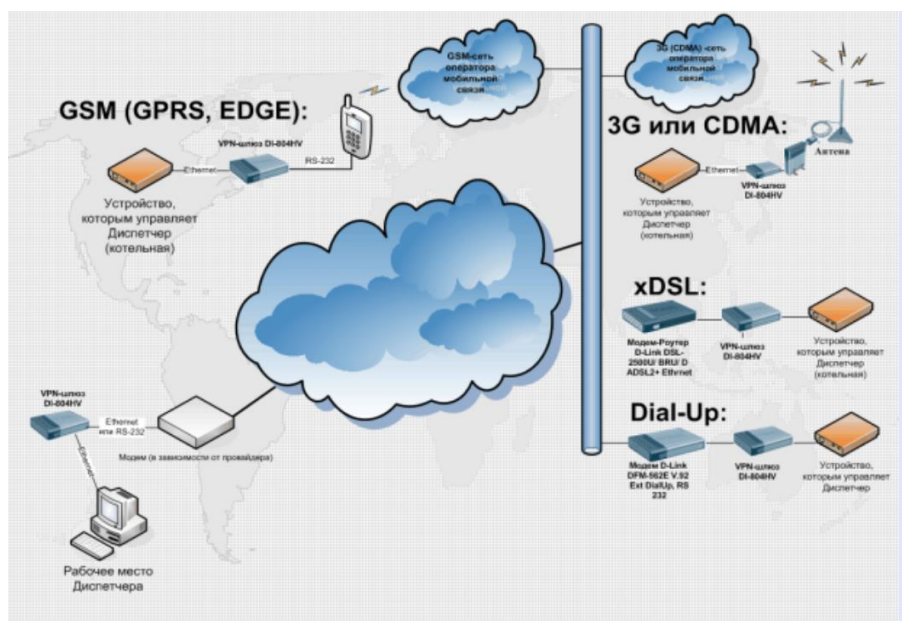


Рисунок 3.10 – Схема связи между диспетчерским пунктом и управляемым оборудованием

Основная тенденция развития технических средств (аппаратного и программного обеспечения) SCADA миграция в сторону полностью открытых систем. Открытая архитектура позволяет независимо выбирать различные

компоненты системы от различных производителей; в результате расширение функциональных возможностей, облегчение обслуживания и снижение стоимости SCADA-систем.

3.4 Разработка функциональной схемы и дополнительных функций для микропроцессорного счётчика электроэнергии с целью определения места обрыва проводов в электрических сетях напряжением 380 В

На основе обзора технологий передачи информации можно сделать следующие выводы. Проводные технологии дешевле в процессе построения сети, однако такие системы будут ненадежны в использовании, и в конечном счете выльются в дорогое обслуживание.

Системы на базе GSM/GPRS, а также технологии «умных домов», подходят для решения ряда задач на частном уровне, но не применимы в масштабных проектах по диспетчеризации ресурсов на производстве, в коттеджных поселках или многоквартирных домах. Большое количество промежуточного оборудования, необходимое для стабильной работы таких систем, снижает надежность и увеличивает расходы на установку и обслуживание.

Современные беспроводные технологии, такие как протокол радиосвязи LPWAN, позволяют за разумный бюджет добиться высоких результатов в отношении устойчивости передачи данных.

Подводя итоги сказанному, можно сделать общий вывод, что если микропроцессорные счётчики наделить дополнительными функциями, позволяющими определять состояние электрической сети, используя каналы передачи данных передавать информацию на диспетчерский пункт, можно организовать систему определения обрыва проводов.

Диспетчерский пункт обеспечить программным обеспечением SCADA, позволяющим получать и запрашивать информацию о состоянии электрической сети от микропроцессорных счётчиков, давать команду отключающего сигнала в трансформаторную подстанцию на отключение повреждённой воздушной линии, то можно построить систему защиты воздушной линии от обрывов фазных и нулевого проводов [40].

Рассмотрим возможность использования трёхфазных микропроцессорных счётчиков электрической энергии для выявления обрывов фазных и нулевого проводов четырёхпроводной воздушной линии электрической сети напряжением 380 В. Передавать информацию на диспетчерский пункт, на примере трёхфазного микропроцессорного счётчика активной и реактивной электрической энергии типа ФОБОС3, выпускаемого ООО «Телематические решения, Вавиот» [37–39].

На рисунке 3.11 показана функциональная схема определения обрывов фазных и нулевого провода, построенной с использованием микропроцессорного счётчика и передачи команды диспетчера отключающего сигнала в трансформаторную подстанцию.

Здесь показаны: трансформаторная подстанция напряжением 10/0,4 кВ с силовым трансформатором Т, от которой по четырёхпроводной воздушной линии ВЛ 380 В питаются потребители электрической энергии; воздушная линия

подключена к трансформаторной подстанции с помощью автоматического выключателя QF; перед потребителями установлены трёхфазные счётчики электрической энергии; передача команды диспетчера отключающего сигнала организована с помощью программного обеспечением SCADA через GSM связь, в трансформаторной подстанции установлена схема отключения выключателя QF.

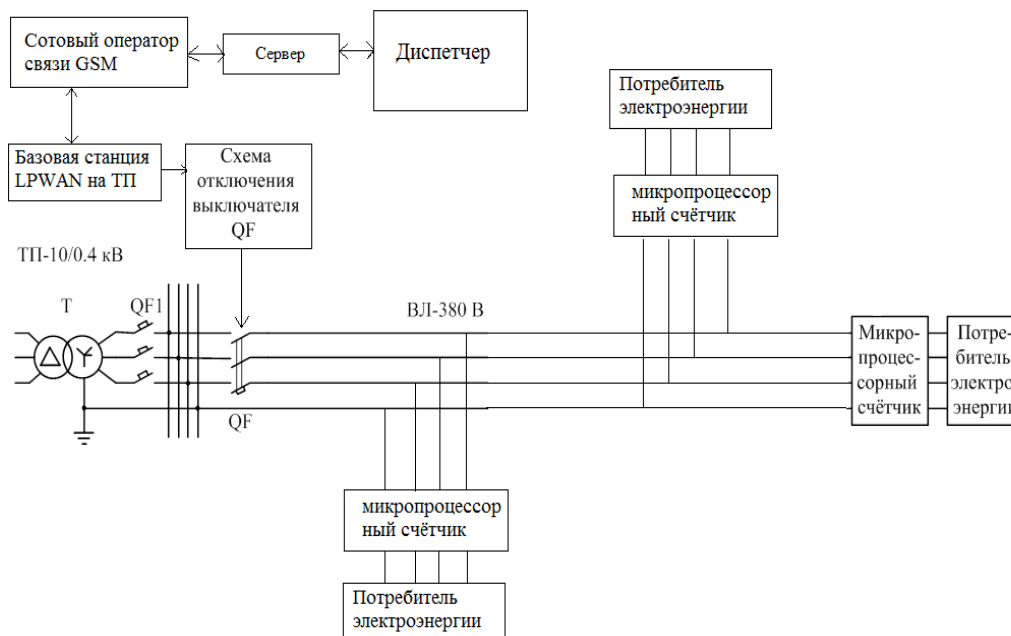


Рисунок 3.11 – Функциональная схема системы определения обрывов фазных и нулевого проводов

Микропроцессорные счётчики электрической энергии устанавливаются на конечных участках ВЛ на вводе потребителя. При обрывах фазных и нулевого проводов формируется команда передачи состояния электрической сети, которая по LPWAN-каналу передаётся на базовую станцию, которая устанавливается на ТП, затем по GSM модему команда передаётся на диспетчерский пункт.

Программное обеспечение SCADA анализирует полученную информацию о состоянии электрической сети. Затем отправляет повторный запрос информации от всех счётчиков, установленных на линии, произошло аварийное событие. После выводит на экран компьютера, данные полученные от счётчиков, в виде схемы, линию на которой установлены счётчики, где произошло аварийное событие. В нормальном режиме счётчики, установленные у потребителей и на ТП, будут подсвечиваться зеленым цветом, если будет аварийный режим они поменяют зеленый цвет на красный. Напротив, красного значка появится окно с информацией аварийного режима (см. рисунок 3.12). Далее диспетчер анализирует полученные данные микропроцессорных счётчиков, делает выводы о состоянии сети, затем подает команду отключающего сигнала, которая по GSM каналу передаётся на базовую станцию, где формируется радиосигнал, подает команду на трансформаторную подстанцию, где автоматический выключатель QF обеспечивает отключение повреждённой воздушной линии.

Рассмотрим последовательно построение и функционирование элементов системы защиты от обрывов фазных и нулевого проводов.

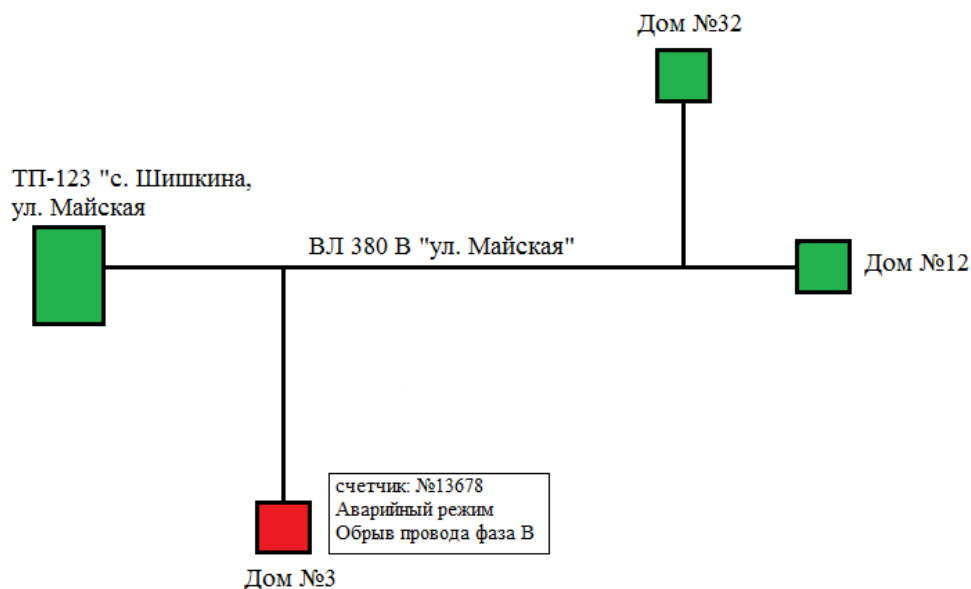


Рисунок 3.12 – Схема электроснабжения потребителей

Основной функцией микропроцессорного счётчика (см. рисунок 3.13) является измерение и учёт активной и реактивной энергии, потребляемой потребителем. Для передачи данных о потребляемой энергии в счётчике предусмотрен радио модуль.

Для выполнения микропроцессорным счётчиком возможности защиты воздушной линии он дополнен рядом функций, которые позволяют выявлять обрывы фазных и нулевого проводов воздушной линии, передавать и получать команду на передачу информации на диспетчерский пункт.

Выполняя основные функции, микропроцессорный счётчик электрической энергии, производит обработку информации о напряжениях фаз относительно нулевого провода и токов, протекающих по фазным проводам. При этом формируется информация о трёх фазных напряжениях электрической сети относительно нулевого провода.

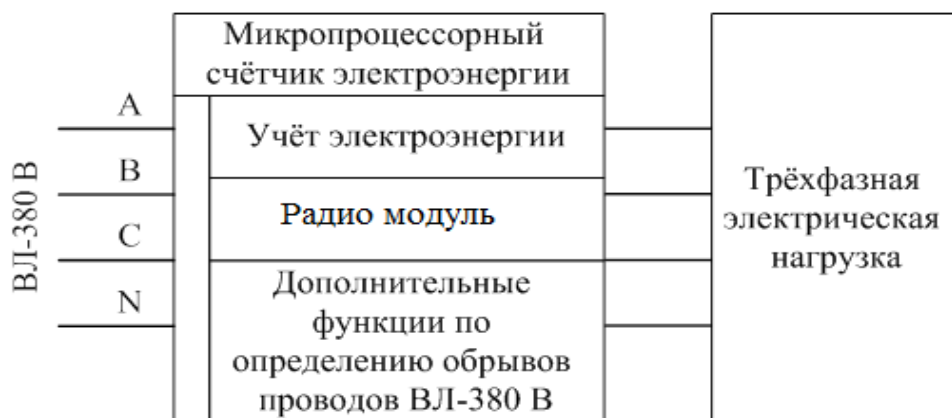


Рисунок 3.13 – Структурная схема микропроцессорного счётчика электрической энергии

В результате анализа изменений напряжений фаз сети относительно нулевого провода на вводе потребителя можно выявлять и фиксировать три состояния электрической сети:

- нормальный режим работы;
- обрыв фазного провода;
- обрыв нулевого провода.

В измерительно-логическом блоке микропроцессорного счётчика предложено внести следующие дополнительные функции:

1. Сравнение напряжений всех трёх фаз относительно нулевого провода с заданной минимальной уставкой по напряжению $U_{\Phi i, N2} \leq U_{уст.1}$. Снижение напряжения $U_{\Phi i, N2}$ любой из фаз ниже уровня минимальной уставки является признаком обрыва фазного провода.

2. Сравнение напряжения несимметрии с другой заданной максимальной уставкой по напряжению $U_{НС} \geq U_{уст.2}$. Повышение напряжения $U_{НС}$ выше уровня максимальной уставки является признаком обрыва нулевого провода.

3. Формирование логического сигнала о возникновении аварийного режима работы воздушной линии – обрыве фазного или нулевого проводов.

4. Передача информации о состоянии электрической сети.

На рисунке 3.14 приведена схема формирования, отправки и передачи команды отключающего сигнала. Микропроцессорный счётчик содержит последовательно соединённые блок дополнительных функций, блок преобразования логического сигнала в радио сигнал и передающий радио-модуль, выход которого через канал передачи связан с принимающим радио-модулем базовой станции, которая по GSM модему связана с диспетчерским пунктом. Диспетчерский пункт через канал передачи сотового оператора связи GSM через базовую станцию связан с принимающим радио модулем схемы отключения выключателя QF.

Блок дополнительных функций микропроцессорного счётчика при обрыве фазного или нулевого проводов ВЛ-380 В формирует логический сигнал

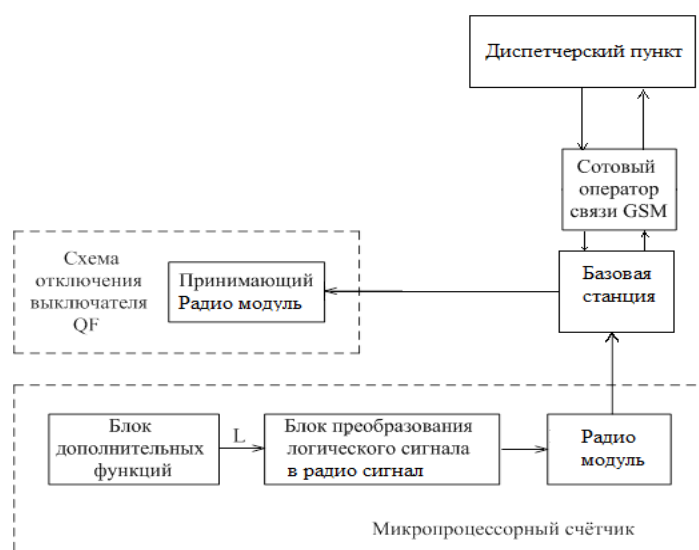


Рисунок 3.14 – Схема формирования, отправки и передачи команды отключающего сигнала

(аварийный сигнал), который преобразуется в радио сигнал. Радио-модуль передает сигнал на базовую станцию, которая с помощью GSM-модема, передает сигнал в диспетчерский пункт. Диспетчер после просмотра сигнала, с помощью SCADA по GSM отправляет команду отключения до принимающего радио модуля, находящегося в трансформаторной подстанции схемы отключения автоматического выключателя QF.

На рисунке 3.15 приведена схема отключения выключателя QF, основываясь на работе [41]. Здесь обозначено: принимающий радио модуль, БОВ – блок отключения выключателя; VD – симистор; QF – автоматический выключатель.

Модуль дистанционного управления по радио каналу позволяет дистанционно включать и отключать электронную или электрическую аппаратуру и оборудование. После исполнения команды модуль дистанционного управления автоматически сбрасывает команду. Блок отключения БОВ предназначен для организации подачи напряжения на независимый расцепитель НР, который воздействуя на механизм расцепления автоматического выключателя QF, размыкает его силовые контакты. Для подачи фазного напряжения ($U_{\phi} = 220 \text{ В}$) на независимый расцепитель НР используется полупроводниковый ключ, выполненный в виде симистора V2, управляемого блоком отключения выключателя БОВ.

Автоматический выключатель QF содержит кроме силовых контактов встроенные внутри его независимый расцепитель и вспомогательные контакты 1–4–2.

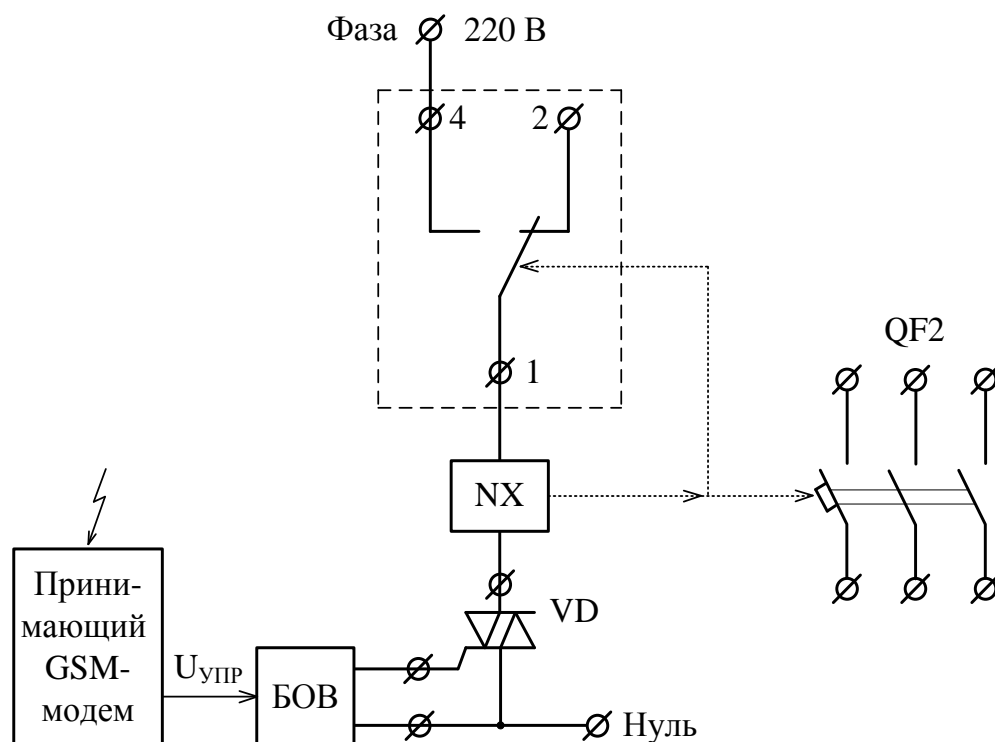


Рисунок 3.15 – Схема отключения выключателя QF

Силовые и вспомогательные контакты выключателя механически жестко связаны, а независимый расцепитель для отключения выключателя воздействует на

его механизм расцепления. Напряжение питания 220 В подаётся на независимый расцепитель через последовательно включенные с ним вспомогательные контакты 1–2–4 и симистор VD.

В нормальном режиме работы воздушной линии при включенных силовых контактах автоматического выключателя QF замкнуты вспомогательные контакты 1–4, подготавливая к работе независимый расцепитель. При возникновении аварийной ситуации, когда приходит команда отключающего сигнала, открывается симистор VD, подавая напряжение на независимый расцепитель. Последний, воздействуя на механизм расцепления силовых контактов выключателя QF, отключает его. Одновременно при размыкании силовых контактов происходит разрывание вспомогательных контактов 1–4, при этом с независимого расцепителя снимается напряжение 220 В.

Выводы по разделу 3

1 Рассмотренные функции и характеристики микропроцессорного счётчика электрической энергии компании «ВАВИОТ» показал, что, измеряя входные напряжения и токи, они кроме определения основных расчётных параметров, связанных с электрической энергией, могут выполнять широкий круг дополнительных функций.

2 Если микропроцессорный счётчик наделить дополнительными функциями (дополнительной программой), позволяющими определять состояние электрической сети, а используя каналы передачи данных, передавать и получать команду на передачу информации в диспетчерский пункт.

Диспетчерский пункт обеспечить программным обеспечением SCADA, позволяющим анализировать полученные данные и запрашивать информацию о состоянии электрической сети от микропроцессорных счётчиков, давать команду отключающего сигнала в трансформаторную подстанцию на отключение повреждённой воздушной линии, то можно построить систему защиты воздушной линии от обрывов фазных и нулевого проводов.

3 Разработана система определения обрыва фазных и нулевого проводов, основанная на применении выпускаемого в нашей стране микропроцессорного счётчика электроэнергии ФОБОСЗ, логическая часть которого дополнена программой выявления обрывов фазных и нулевого проводов.

4 Разработана организация передачи команды отключающего сигнала от диспетчерского пункта до автоматического выключателя, устанавливаемого в начале воздушной линии (в трансформаторной подстанции) для её отключения в случаях возникновения обрывов фазных и нулевого проводов.

4 ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ОБРЫВА ПРОВОДОВ ВЛ 380 В

4.1 Оценка условий электробезопасности

Воздействие электрического тока на человека в настоящее время достаточно хорошо изучено, чтобы предотвратить и уберечь людей от электротравм.

Действие электрического тока на живую ткань в отличие от действия других факторов (пара, химических веществ, излучения и т. п.) носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и механическое (динамическое) действия, являющиеся обычными физико-химическими процессами; одновременно электрический ток оказывает биологическое действие, которое является специфическим процессом, свойственным лишь живой ткани.

Действие электрического тока на организм человека зависит от двух факторов:

- Длительность протекания тока через тело человека;
- Интенсивности и частоты тока.

Эти два фактора являются независимыми друг от друга, но уровень риска будет больше или меньше, в зависимости от доли того или иного фактора. Сила тока, опасная для человека, будет зависеть от напряжения и сопротивления организма человека.

На практике, интенсивность тока определяется на основе предела напряжения порядка 50 В. Это напряжение принимает значения максимального тока, которое человек с минимальным внутренним электрическим сопротивлением может выдерживать при определенных условиях.

Указанное многообразие действий электрического тока на организм человека нередко приводит к различным электротравмам, которые условно можно свести к двум видам [42]:

1 Местные электротравмы, при которых возникает локальное повреждение организма. Это ярко выраженное локальное нарушение целостности тканей тела, в том числе костных тканей, вызванное воздействием электрического тока или электрической дуги.

Чаще всего это поверхностные повреждения, т. е. поражения кожи, иногда других мягких тканей, а также связок и костей.

Опасность местных травм и сложность их лечения зависят от места, характера и степени повреждения тканей, а также от реакции организма на это повреждение. Как правило, местные травмы излечиваются, и работоспособность пострадавшего восстанавливается полностью или частично.

В редких случаях (обычно при тяжелых ожогах) человек погибает. При этом непосредственной причиной смерти является не электрический ток, а местное повреждение организма, вызванное током.

К характерным местным электротравмам относятся: электрические ожоги, электрические знаки, электрометаллизация кожи, механические повреждения

в следствие резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием тока, проходящего через тело человека, электрофтальмия.

2 Общие электротравмы, так называемый электрический удар, когда из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем поражается весь организм (или создается угроза поражения).

К числу общих электротравм относится электрический удар, под которым следует понимать возбуждение живых тканей организма протекающим через него электрическим током, проявляющееся в непроизвольных судорожных сокращениях различных мышц тела. Появляется рассеянность, ослабевают память и внимание. Если подобных ярко выраженных заболеваний не наступает, то и в этом случае считается, что электрический удар резко ослабляет сопротивляемость организма к болезням, в первую очередь к сердечно-сосудистым и нервным.

Электрический удар является следствием протекания тока через тело человека; при этом под угрозой поражения оказывается весь организм из-за нарушения нормальной работы различных его органов и систем, в том числе сердца, легких, центральной нервной системы и т. д.

В зависимости от исхода поражения электрические удары можно условно разделить на следующие пять степеней [42]:

I – судорожное едва ощутимое сокращение мышц;

II – судорожное сокращение мышц, сопровождающееся сильными, едва переносимыми болями, без потери сознания;

III – судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимися дыханием и работой сердца;

IV – потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания;

V – клиническая смерть, т. е. отсутствие дыхания и кровообращения.

Исход воздействия электрического тока на организм человека зависит от ряда факторов, в том числе от значения и длительности прохождения тока, его рода и частоты, а также от индивидуальных свойств человека.

Электротравма – травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

Оба вида травм часто сопутствуют друг другу. Тем не менее, они различны и должны рассматриваться отдельно.

Сопротивление тела человека является переменной величиной, имеющей нелинейную зависимость от множества факторов, в том числе от состояния кожи, параметров электрической цепи, физиологических факторов и состояния окружающей среды.

Классификация факторов, влияющих на исход поражения человека электрическим током, представлена на рисунке 4.1.

Параметры электрической сети и цепи поражения

Если человек касается одновременно двух точек, между которыми существует напряжение, и при этом образуется замкнутая цепь, через его тело проходит ток.



Рисунок 4.1 – Классификация факторов, влияющих на исход поражения человека электрическим током

Значение этого тока зависит от схемы прикосновения, т. е. от того, каких частей электрической установки касается человек, а также от параметров электрической сети.

Цепь протекания поражающего тока называется цепью поражения. Напряжение прикосновения – напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека или животного. Во всех случаях контакта человека с проводящими частями ЭУ, нормально или случайно находящимися под напряжением, это напряжение прикладывается ко всей цепи, куда входят сопротивления тела человека, обуви, пола или грунта, на котором стоит человек, и т. п. Напряжение прикосновения прикладывается только к человеку и его можно определить, как падение напряжения в теле человека:

Электрическое сопротивление различных тканей тела человека неодинаково: кожа, кости, жировая ткань, сухожилия и хрящи имеют относительно большое сопротивление, а мышечная ткань, кровь, лимфа и особенно спинной и головной мозг – малое. Следовательно, по сравнению с другими тканями кожа обладает очень большим удельным сопротивлением, которое является главным фактором, определяющим сопротивление тела человека в целом. Строение кожи весьма

сложно. Она состоит из двух основных слоев: наружного, называемого эпидермисом, и внутреннего, являющегося собственно кожей.

Электрическое сопротивление. Обычно различают внешнее сопротивление (сопротивление кожи) и внутреннее сопротивление (сопротивление внутренних тканей: мышц, нервов и т. д.). Сопротивление внутренних органов не зависит от величины приложенного напряжения, а зависит только от изменения температуры тела. В среднем его значение может быть принято равным 500-1000 Ом.

Непосредственным физическим фактором поражения при электротравмах является электрический ток, проходящий через тело человека.

Токи различного рода неодинаково опасны (при прочих равных условиях) для организма. Наиболее опасным следует считать переменный ток промышленной частоты 50–60 Гц. Постоянный ток примерно в 4–5 раз безопаснее переменного частотой 50 Гц. Проходя через тело человека, он вызывает более слабые сокращения мышц и менее неприятные ощущения по сравнению с переменным током того же значения.

Влияние пути тока на исход поражения. Практикой и опытами установлено, что путь прохождения тока через тело человека играет существенную роль в исходе поражения. Так, если на пути тока оказываются жизненно важные органы: сердце, легкие, головной мозг, то опасность поражения весьма велика, поскольку ток воздействует непосредственно на эти органы. Если же ток проходит иными путями, то воздействие его на жизненно важные органы может быть лишь рефлекторным. При этом опасность тяжелого поражения сохраняется, но вероятность ее резко снижается.

Электроустановки в отношении мер электробезопасности разделяются на несколько видов [42]:

- электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с глухо заземленной или эффективно заземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с глухо заземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью.

Глухозаземленная нейтраль – нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная непосредственно к заземляющему устройству. Глухо заземленным может быть также вывод источника однофазного переменного тока или полюс источника постоянного тока в двухпроводных сетях, а также средняя точка в трехпроводных сетях постоянного тока.

Изолированная нейтраль – нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление приборов сигнализации, измерения, защиты и других аналогичных им устройств.

В сетях, изолированных от земли, решающее влияние на исход однофазного прикосновения оказывает уровень сопротивления изоляции токоведущих частей относительно земли.

В электрической сети переменного тока напряжением до 1 кВ с глухо заземленной нейтралью нулевой проводник, совмещающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников (PEN-проводник), должен иметь повторные заземления. Нулевой рабочий проводник (N-проводник) тоже желательно (но не обязательно) повторно заземлять. При этом сопротивление заземлителя повторного заземления независимого проводника не нормируется.

Повторные заземления PEN-проводников должны быть выполнены на концах воздушных линий (ВЛ) или ответвлений от них длиной более 200 м [43], а также на вводах к электроустановкам, в которых в качестве защитной меры при косвенном прикосновении применено автоматическое отключение питания.

При этом в первую очередь следует использовать естественные заземлители, например, проложенные в земле металлические трубопроводы различных назначений, за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей, трубопроводов канализации и центрального отопления, другие находящиеся в земле металлические конструкции и сооружения, подземные части опор ВЛ, а также заземляющие устройства, предназначенные для защиты от грозových перенапряжений. Указанные повторные заземления нулевого провода электрической сети выполняют, если более частые заземления не требуются по условию защиты ВЛ от грозových перенапряжений.

Общее сопротивление всех заземляющих устройств, служащих для повторных заземлений PEN-проводника (в том числе и заземляющих устройств, выполненных на базе естественных заземлителей) для каждой из ВЛ в любое

время года, включая самые неблагоприятные периоды (летние, приводящие к высыханию слоя земли, в котором находится заземлитель, и зимние, вызывающие промерзание указанного слоя) не должно превышать 5, 10 и 20 Ом при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В, соответственно. При этом сопротивление заземляющего устройства каждого из повторных заземлений должно быть не более 15, 30 и 60 Ом, соответственно, при тех же значениях линейных напряжений.

В основу разработки требований к повторному заземлению проводников системы зануления был положен тщательный анализ многочисленных случаев гибели людей и сельскохозяйственных животных. Рассматривались аварийные режимы, связанные с обрывами и падениями на землю фазных проводов сети, замыканиями на землю и на зануленный корпус, нарушениями целостности нулевых проводов.

При разработке требований к повторным заземлениям нулевого провода электрической сети руководствовались следующими тремя главными принципами:

- все требования должны учитывать имеющийся мировой опыт, иметь строгое научное обоснование и лишь в виде исключения основываться на экспертных оценках;

- надежные электрозащитные и рабочие характеристики заземляющих устройств должны достигаться при наименьших затратах, включая затраты на проектирование;

- должен быть технически осуществим контроль соответствия заземляющих устройств, предъявляемым к ним требованиям.

В настоящее время в [43] п.п. 1.7.102–1.7.103 отсутствуют какие бы то ни было требования к повторному заземлению РЕ-проводника. Его нужно обязательно повторно заземлять и в первую очередь в сельских электрических сетях, в которых канализация электроэнергии, как правило, осуществляется по воздушным линиям.

При нарушении целостности нулевого защитного проводника без повторных заземлителей, например, при обрыве, нормальная работа электроустановки не нарушится, в силу чего повреждение может длительное время, иногда месяцами, оставаться незамеченным. Но при появлении замыкания на корпус в каком-либо одном электроприемнике за местом обрыва (считая по ходу движения энергии), на корпусах, всех соединенных с РЕ-проводником электроприемников (холодильников, стиральных машин, электроплит, компьютеров, электроутюгов и др.) во всех квартирах и домах появится опасное для жизни человека полное фазное напряжение 220 В. Это напряжение тоже может длительно оставаться на корпусах электрооборудования, по крайней мере до тех пор, пока не начнут гибнуть люди. Это самая опасная ситуация, связанная с наличием РЕ-проводника, не имеющего повторных заземлений. Эта ситуация может стать причиной групповых электропоражений. Но даже в том случае, когда целостность РЕ-проводника не нарушена, при любом замыкании на корпус на нем обязательно появится опасное для жизни человека электрическое напряжение. Точно такое же напряжение появится на корпусах всех остальных присоединенных к РЕ-проводнику электроприемников, находящихся за местом замыкания. Длиться это напряжение будет до тех пор, пока не сработает основная или резервная защита.

4.1.1 Поражение человека электрическим током при касании оборванного фазного провода

Проанализируем несчастные случаи, произошедшие из-за обрыва фазного провода. Информация о несчастных случаях предоставлена службой производственного контроля и охраны труда.

Шестилетняя девочка, получила смертельные электротравмы, дотронувшись до оголенного провода. Шквалистый ветер, бушевавший в регионе, стал причиной обрыва проводов линии электропередачи. Ребёнок поднял с земли оборванный провод.

Несмотря на реанимационные мероприятия, проводившиеся сельским фельдшером до прибытия скорой помощи, спасти ребёнка не удалось.

Иллюстрация данного несчастного случая приведена на рисунке 4.2.

Проанализируем какое напряжение было приложено к человеку. При нормальном режиме работы сети, проводимости фазных и нулевого проводов относительно земли имеют малые значения и с некоторым допущением могут быть приравнены к нулю.

Напряжение прикосновения – это напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

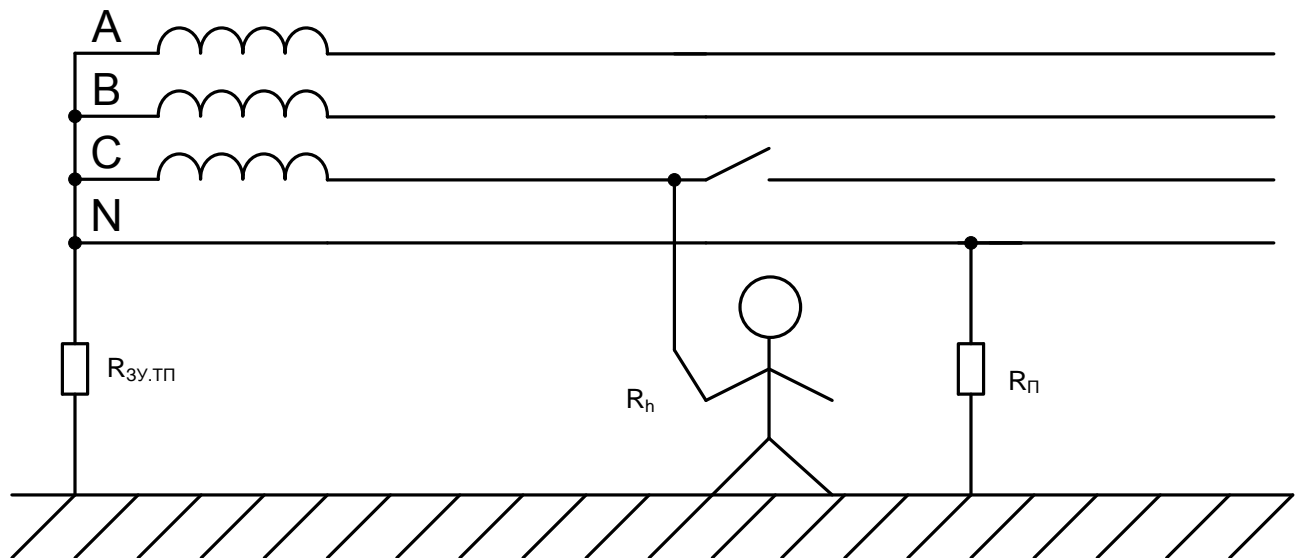


Рисунок 4.2 – Прикосновение человека к оборванному фазному проводу

Напряжение прикосновения в действительной форме будет [44]:

$$U_{\text{пр}} = U_{\phi} \frac{R_h}{R_h + R_{3y.тп}}, \quad (4.1)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение сети, В;

R_h – активное сопротивление тела человека, Ом;

$R_{3y.тп}$ – активное сопротивление заземлителя трансформатора, Ом.

По формуле (4.1) получаем:

$$U_{\text{пр}} = 220 \frac{1000}{1000+4} = 219,12 \text{ В.}$$

Сопротивление $R_{3y.тп}$ измеряется в единицах Ом ; сопротивление же тела человека не опускается ниже нескольких сотен Ом. Следовательно, без большой ошибки можно пренебречь значением $R_{3y.тп}$ и считать, что при прикосновении к одной из фаз трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью человек оказывается практически под фазным напряжением, а ток проходящий через его тело равен [20]:

$$I_h = \frac{U_{\phi}}{R_h + R_{3y.тп}}. \quad (4.2)$$

В расчетах не будем учитывать сопротивление обуви, так как несчастный случай произошел в летнее время, и пострадавшая могла быть без нее. Сопротивление тела человека примем равным $R_h=1000$ Ом, а сопротивление заземлителя $R_{3y.тп} = 4$ Ом. Тогда, согласно (4.2), получаем:

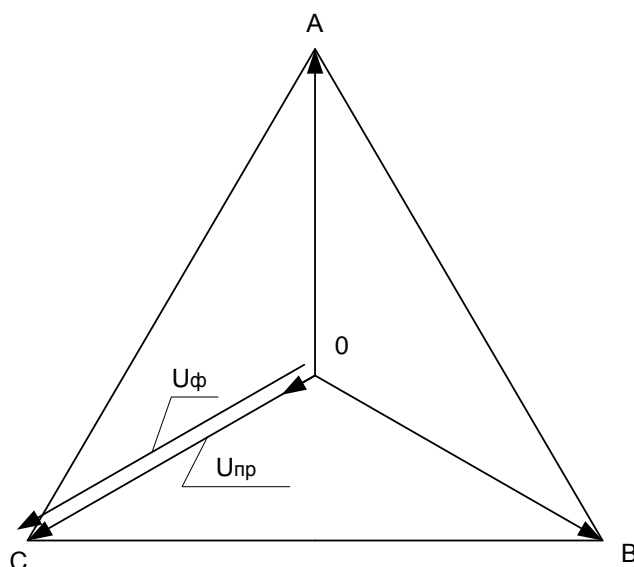


Рисунок 4.3 – Диаграмма напряжений при прикосновении человека к фазному проводу в нормальном режиме работы сети

$$I_h = \frac{220}{1000+4} = 0,219 \text{ А.}$$

Такая величина проходящего через тело тока является для человека смертельной.

Диаграмма напряжений для вышерассмотренного случая представлена на рисунке 4.3.

В летнее время года, во время грозы произошло прямое попадание молнии в фазный провод ВЛ-0,4 кВ, ф-1 от КТП, что привело к его пережогу и падению на землю. Мальчик (4 года) приблизился на недопустимое расстояние и попал под воздействие электрического тока. Его брат (7 лет) попытался спасти его и так же оказался под воздействием электрического тока. Проходивший мимо мужчина освободил пострадавших от действия электрического тока. Прибывшая на место происшествия фельдшер констатировал смерть младшего мальчика. Старший брат был направлен в районное отделение больницы для проведения дополнительного обследования, его жизни опасность не угрожает.

Иллюстрация данного несчастного случая приведена на рисунке 4.4.

Упавший на землю провод будет представлять собой одиночный заземлитель. Рассчитаем по формуле [44] сопротивление одиночного протяженного заземлителя растеканию тока:

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l^2}{d^2}; \quad (4.3)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом/м;

l – длина провода, лежащего на земле, м;

d – диаметр упавшего провода, м.

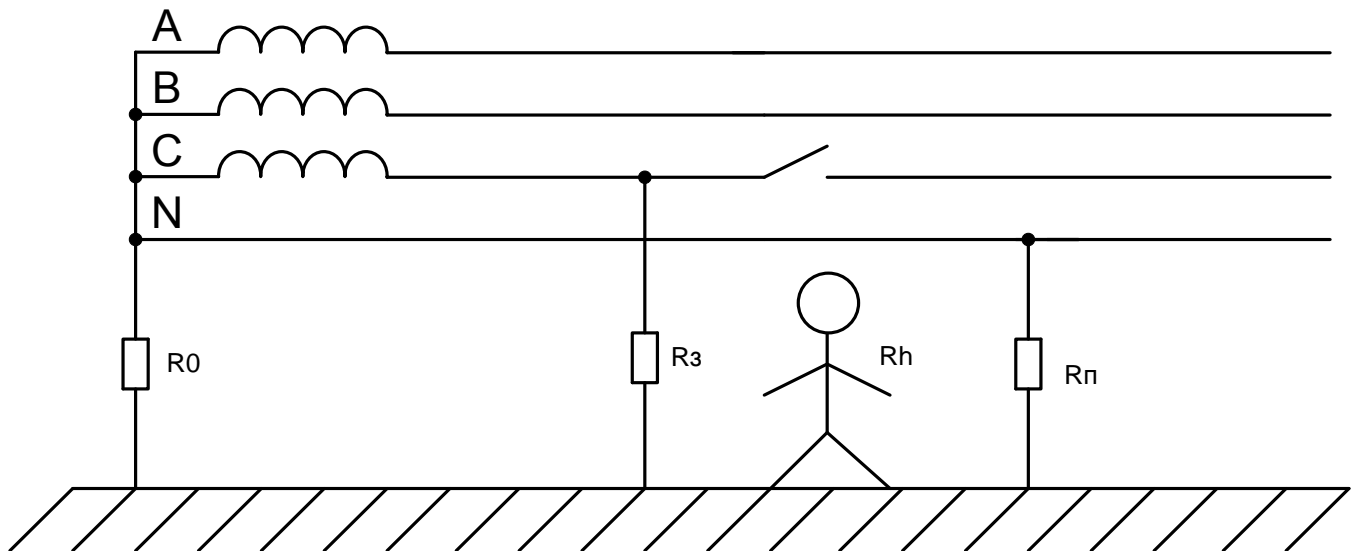


Рисунок 4.4 – Поражение человека электрическим током при падении фазного провода трехфазной четырехпроводной сети

Несчастный случай произошел во время грозы, земля была мокрой, примем удельное сопротивление грунта $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Длина провода лежащего на земле равна $l = 30 \text{ м}$. По формуле (4.3) получаем:

$$R_3 = \frac{100}{2\pi \cdot 30} \ln \frac{4 \cdot 30^2}{(50 \cdot 10^{-3})^2} = 7,52 \text{ Ом}.$$

Зная сопротивление заземлителя, найдем ток, стекающий в землю [44]:

$$I_3 = \frac{U_\Phi}{R_3 + R_{3\text{у.тп}}}; \quad (4.4)$$

У протяженного заземлителя круглого сечения, находящегося на поверхности земли, изменения потенциальной кривой различны в разных направлениях. Наиболее резко потенциал падает вдоль оси заземлителя, а наиболее плавно - поперек оси по линии, проведенной через его середину.

Уравнения потенциальных кривых этого заземлителя имеют следующий вид:

$$\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{2x+1}{2x-1}; \quad (4.5)$$

$$\varphi_y = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{\sqrt{l^2 + 4y^2} + 1}{2y}; \quad (4.6)$$

Эквипотенциальные кривые на поверхности земли вокруг протяженного заземлителя приближаются по форме к эллипса ; на большом расстоянии от заземлителя и переходят в окружности, как показано на рисунке 4.5.

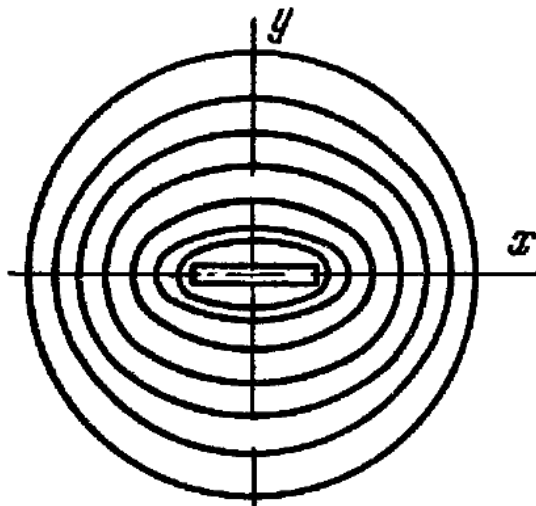


Рисунок 4.5 – Распределение потенциала на поверхности земли вдоль протяженного заземлителя круглого сечения, лежащего на земле

Напряжением шага называется напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися одна от другой на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек.

Напряжение шага рассчитывается по формуле [44]:

$$U_{\text{ш}} = \varphi_X - \varphi_{X+A} \quad (4.7)$$

Поскольку φ_X и φ_{X+A} являются частями потенциала заземлителя, разность их так же есть часть этого потенциала. Поэтому выражение (4.7) можно записать в виде [20]:

$$U_{\text{ш}} = \varphi_3 \cdot \beta_1, \quad (4.8)$$

где β_1 - коэффициент шага, учитывающий форму потенциальной кривой.

Потенциал заземлителя определяется по формуле [45]:

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{d} \quad (4.9)$$

Найдем потенциал заземлителя:

$$\varphi_3 = \frac{19,09 \cdot 100}{2\pi \cdot 30} \ln \frac{2 \cdot 30}{50 \cdot 10^{-3}} = 71,84 \text{ В}$$

Для протяженного заземлителя на поверхности земли примем $\beta_1 = 0,3$. Тогда по формуле (4.8) получаем:

$$U_{\text{ш}} = 71,84 \cdot 0,3 = 21,55 \text{ В.}$$

В вечернее время во дворе частного дома гражданин спиливал древесную поросль. При попытке подняться с колен, дотронулся рукой за стойку

металлического забора, на котором крепилась телеантенна, и был поражен электрическим током. Забор находился под напряжением вследствие того, что оборванная оттяжка трубы из стальной проволоки касалась фазного провода ввода в дом.

О происшествии узнали от хозяйки дома примерно. Когда машина ОВБ прибыла на место, пострадавший в это время был уже увезен на машине скорой помощи в больницу. Согласно медицинскому заключению гражданин получил электротравму, электроожог левой кисти III Б-ГУ степени, площадь поражения тела 8–10 %.

На рисунке 4.6 приведена иллюстрация данного несчастного случая.

В данном случае заземлитель выполнен в виде вбитой в землю трубы, его сопротивление растеканию тока рассчитывается по формуле [44]:

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}. \quad (4.10)$$

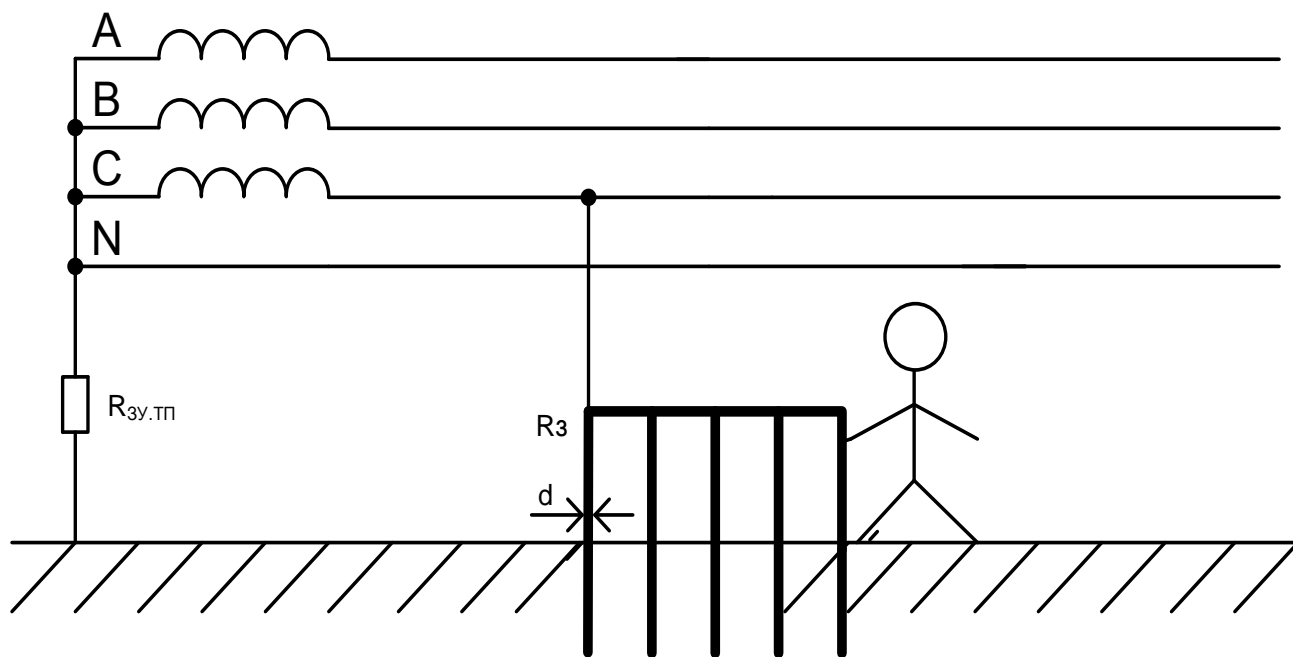


Рисунок 4.6 – Поражение человека электрическим током при касании металлической конструкции, находящейся под напряжением

Пусть в нашем случае металлическая труба имела диаметр 60 мм и была заглублена на 1,0 м. Удельное сопротивление грунта примем равным $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Тогда, по формуле (4.10) получаем:

$$R_3 = \frac{100}{2\pi \cdot 1} \ln \frac{4 \cdot 1}{60 \cdot 10^{-3}} = 66,82 \text{ Ом}.$$

Забор состоял из 15 забитых в землю труб, с закрепленными между ними листами профнастила. Найдем полное сопротивление растеканию тока забора. Сопротивления входящих в него труб соединены параллельно, таким образом получаем:

$$R_{\text{забора}} = \frac{R_3}{15} = \frac{66,87}{15} = 4,46 \text{ Ом.}$$

Потенциал, который появился на заборе определяется по формуле:

$$\varphi_3 = \frac{U_{\Phi}}{R_3 + R_{3\text{У.П}}} \cdot R_3; \quad (4.11)$$

Определим потенциал забора:

$$\varphi_3 = \frac{220}{4,46+4} \cdot 4,46 = 115,98 \text{ В.}$$

Напряжение прикосновения рассчитывается по формуле [44]:
где α_1 – коэффициент прикосновения.

Примем согласно [20] $\alpha_1 = 0.4$, тогда:

$$U_{\text{пр}} = 115,98 \cdot 0,4 = 46,39 \text{ В.}$$

Такое напряжение является опасным для человека.

4.1.2 Поражение человека электрическим током при касании оборванного нулевого провода

Прикосновение к заземленному проводу нередко считают безопасным, полагая, что напряжение этого провода относительно земли незначительно. Как было рассмотрено выше при значительной не симметрии нагрузки по фазам напряжение на оборванном нулевом проводе может быть опасным для человека. Опасность значительно возрастает, если в момент касания человеком оборванного нулевого провода в сети произойдет короткое замыкание.

Проанализируем изменение напряжения между нейтральной точкой нагрузки и землей, при пофазном изменении нагрузки в различных режимах работы системы. Все измерения проведены на компьютерной модели. Параметры системы такие же как в рассмотренных ниже пунктах.

Рассмотрим режим работы, когда оборван нулевой провод. Построим диаграммы, когда в одной и двух фазах отсутствует нагрузка.

В случае, рассмотренном на рисунке 4.7а при отсутствии нагрузки на одной фазе ($P_A \approx 0$ кВт) и отсутствии заземляющего устройства у потребителя ($R_{3\text{У.П}} = \infty$) потенциал нейтрали N2 трёхфазной нагрузки переместится из центра треугольника t линейных напряжений на середину вектора линейного напряжения \underline{U}_{BC} . При этом напряжение на фазе А возрастёт до значения $U_{A2.N2} = 1,5 \cdot U_{\Phi}$, а два других напряжения снизятся до $U_{B2.N2} = U_{C2.N2} = 0,866 \cdot U_{\Phi}$.

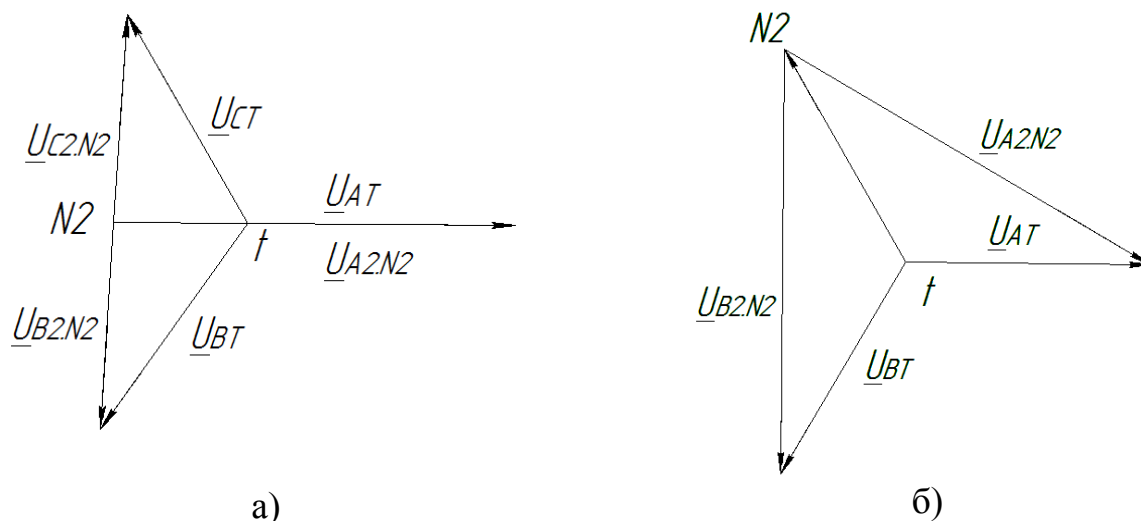


Рисунок 4.7 – Диаграмма напряжений: а – отсутствует нагрузка в фазе А; б – отсутствует нагрузка в двух фазах (А и В)

В случае, рассмотренном на рисунке 4.7б при отсутствии нагрузки на двух фазах ($P_A \approx P_B \approx 0$ кВт) и $R_{3У.П} = \infty$ потенциал нейтрали $N2$ трёхфазной нагрузки переместится из центра треугольника t линейных напряжений в вершину треугольника в точку C . При этом напряжения на нагрузке потребителя будут $U_{C2.N2} = 0$, $U_{A2.N2} = U_{B2.N2} = \sqrt{3} \cdot U_{\Phi} = U_{Л}$.

В этих двух случаях соответственно напряжения на оборванном нулевом проводе со стороны потребителя относительно земли составят $U_{N2,t} = 0,5 \cdot U_{\Phi}$ и $U_{N2,t} = U_{\Phi}$. Именно оборванный нулевой провод со стороны потребителя с указанными напряжениями $U_{N2,t}$ является опасным для человека.

4.2 Оценка технико-экономической эффективности

4.2.1 Оценка движущих и сдерживающих сил и ресурсов разработки метода определения места обрыва фазного и нулевого проводов ВЛ–380 В при помощи счетчиков.

Произведем оценку потенциала проекта использования счетчиков для защиты от обрывов фазного или нулевого проводов при помощи «Поля сил» Курта Левина.

Согласно данному методу анализа, любую сложившуюся в экономике ситуацию можно рассматривать как модель, находящуюся в состоянии равновесия между движущими и сдерживающими силами реализации целей. Поле сил характеризует организационную надежность состояния, устойчивость и направленность развития.

Для того, чтобы произвести изменения необходимо вывести ситуацию из равновесия, то есть величина или количество движущих сил должны быть больше сдерживающих сил. Схема поля сил представлена на рисунке 4.8.



Рисунок 4.8 – Поле сил проекта защиты ВЛ–380 В от обрывов фазных и нулевого провода при помощи счетчиков

Главной сдерживающей силой является нехватка финансовых ресурсов. Создание принципиально новой системы защиты ее испытание и получение разрешения на применение связано со значительными финансовыми вложениями, которые не могут быстро окупиться.

Главной движущей силой является неизбежность перехода к микропроцессорным счетчикам, которые помимо выполнения основных функций по контролю энергопотребления могут анализировать состояние системы электроснабжения в непосредственной близости от потребителя. А имеющиеся каналы связи счетчика с системами более высокого уровня могут использоваться для передачи информации об аварийных режимах.

Анализ показал, что движущие силы преобладают над сдерживающими. Это указывает на способность проекта к развитию, а также на то, что данная цель будет достигнута [46].

4.2.2 STEP-анализ для факторов внешней среды проекта

STEP анализ – инструмент анализа дальнего окружения, позволяющий выявлять возможности и угрозы по отношению к анализируемому проекту с точки зрения поставленной цели. Рассмотрим различные факторы, которые могут влиять на реализацию проекта.

Политические факторы (P):

- идут процессы либерализации рынка электроэнергии;
- нет однозначной правовой базы на рынке бытового учета электроэнергии.

Экономические факторы (E):

- многочисленные хищения электроэнергии бытовыми потребителями;
- после ликвидации существующего в России перекрестного субсидирования и неизбежного отказа от системы самообслуживания перед российскими стоит проблема минимизации затрат на снятие показаний счетчиков и выписку счетов потребителям, а также проблемы заключения с каждым бытовым потребителем персонального договора на условия поставки электроэнергии;
- многочисленные создаваемые сбытовые организации в условиях реструктуризации и жесткой конкуренции могут экономически выжить, только предлагая своим потребителям гибкие взаимовыгодные тарифные системы, дифференцированные как по уровням потребления (блочные тарифы), так и по времени;

Социальные факторы (S):

- нехватка специалистов, способных работать с современным оборудованием;
- многочисленные пострадавшие от обрывов фазного или нулевого проводов ВЛ 0,38 В.

Технологические факторы (T):

- применение счетчиков нового поколения на строящихся объектах и постепенная их замена на уже функционирующих;
- возможность расширения функций счетчика;
- наличие каналов связи для быстрого обмена информацией счетчика с системами более высокого уровня;
- неэффективность существующей системы защиты от обрывов фазного и нулевого проводов.

Таким образом мы имеем ситуацию идеальную для применения новой системы защиты. Так как страна только переходит на новые счетчики и только создается единая система контроля и учета, то сейчас можно дополнять средства учета электроэнергии новыми функциями при том, что их технические возможности в настоящее время используются не до конца [46].

4.2.3 SWOT-анализ необходимости реализации проекта

Для доказательства необходимости реализации проекта создания новой системы защиты ВЛ 0,38 В от обрыва фазного или нулевого проводов SWOT проведем сравнительный анализ для двух вариантов методом SWOT:

1 Сеть работает с существующей на данный момент системой защиты (см. таблицу 4.1);

2 Сеть работает с системой защиты, рассчитанной в данном проекте (см. таблицу 4.2).

После проведения SWOT анализа можно сделать вывод о том, что реализовывать данный проект необходимо: предлагаемый проект имеет больше сильных сторон, он более защищен от угроз внешней среды и имеет широкие возможности для развития [46].

Таблица 4.1 – Сеть работает с существующей на данный момент системой

<p>S – сильные стороны:</p> <p>1) наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы с данным оборудованием.</p>	<p>W – слабые стороны:</p> <p>1) случаи электротравм у населения; 2) неэффективная работа релейной защиты; 3) возникновение перерывов в работе;</p>
<p>O – возможности во внешней среде:</p> <p>1) стабильная работа системы учета электропотребления бытовых потребителей</p>	<p>T – угрозы внешней среды:</p> <p>1) штрафы за недоотпуск электроэнергии; 2) ущербы за неэффективную работу релейной защиты</p>

Таблица 4.2 – Сеть работает с системой защиты, рассчитанной в данном проекте

<p>S – сильные стороны:</p> <p>1) уменьшается количество электротравм; 2) эффективнее выявляются случаи обрыва фазного или нулевого проводов; 3) обеспечение непрерывной работы сети;</p>	<p>W – слабые стороны:</p> <p>1) необходимость больших затрат на разработку и внедрение; 2) необходимость обучения эксплуатационного персонала.</p>
<p>O – возможности во внешней среде:</p> <p>1) уменьшение убытков энергоснабжающей организации за счет надежной работы устройств релейной защиты и автоматики;</p>	<p>T – угрозы внешней среды:</p> <p>1) Нежелание потребителей переходить на трехфазный учет электроэнергии; 2) адаптация к новому оборудованию.</p>

4.2.4 Планирование целей проекта в дереве целей

Дерево целей представляет собой структурную модель, которая показывает соподчиненность и связь целей подразделений в иерархии управления. Для его построения сверхзадача высшего уровня, или миссия предприятия, делится на проектные цели его подразделений, операционные цели исполнителей. Дерево целей представлено на рисунке 4.9.

4.2.5 Срок окупаемости вложений

Окупаемость капитальных вложений один из показателей, характеризующий период, в течение которого возместятся (окупятся) дополнительные капитальные вложения за счет экономии на себестоимости продукции, или отношение капитальных вложений к экономическому эффекту, получаемому благодаря этим вложениям. Определим срок окупаемости создания системы защиты воздушных линий напряжением 380 В от обрывов фазных и нулевого проводов для одной улицы поселка, питающейся от одной ТП (см. рисунок 2.1).



Рисунок 4.9 – Дерево целей проекта

Срок окупаемости вложений определяется по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\Delta Y}, \quad (4.12)$$

где K – единовременные капитальные вложения на внедрение новой системы защиты линий, руб.;

ΔY – годовая прибыль за продажу кВт·ч.

Расчет капитальных затрат на внедрение новой системы защиты воздушных линий напряжением 380 В от обрывов фазных и нулевых проводов выполняется в форме сметы в ценах 2017 года (см. таблицу 4.4).

Определим годовую прибыль за продажу кВт·ч:

$$\Delta Y = T_r \cdot Y_0 \cdot P_p, \quad (4.13)$$

где Y_0 – стоимость 1 кВт·ч за передачу электроэнергии, $Y_0=0,2$ руб/кВт·ч;

P_p – количество потребляемой активной мощности, $P_p=168$ кВт (см. таблица 2.1);

T_r – время пиков нагрузки в год, $T_r=2900$ ч.

Подставив найденные значения в формулу (4.13), получим:

$$\Delta Y = 2900 \cdot 0,2 \cdot 168 = 97440 \text{ рублей.} \quad (4.14)$$

Таблица 4.4 – Смета капитальных затрат на организацию учета электроэнергии с помощью счетчиков компании «Вавиот», программное обеспечение SCADA

Блок системы	Кол-во, шт.	Стоимость оборудования, руб.	Стоимость установки и наладки, руб.	Капитальные затраты, руб.
Счетчик с радиомодулем «ФОБОС3»	12	56280	20256	73536
Счетчик с радиомодулем «ФОБОС3 Т»	1	4690	1876	6566
Базовая станция	1	79000	10270	89270
Технологическое программное обеспечение	1	0	0	0
программное обеспечение SCADA	1	13071	0	13071
Итого				182443

Определим капитальные затраты:

$$K = 73536 + 6566 + 89270 + 13071 = 182443 \text{ рублей}$$

Тогда по формуле (4.12) получаем:

$$T_{OK} = \frac{182443}{97440} = 1,9 \text{ года.}$$

В энергетике проект считается жизнеспособным, если его время окупаемости меньше 8 лет.

Выводы по разделу 4:

1 Проведённый анализ литературных источников по проблеме обрывов фазных и нулевого проводов воздушных линий электрических сетей напряжением 380 В с глухо заземлённой нейтралью показал, что данный вид повреждения электрической сети является опасным как для питающихся электроприёмников в связи с частичной пофазной потерей напряжений или значительной несимметрией напряжений фаз относительно нулевого рабочего провода, так и населения и животных, которые могут оказаться около места повреждения воздушной линии.

2 При обрыве фазного провода наиболее опасным является оборванный и свисающий с опоры фазный провод со стороны источника питания трансформаторной подстанции напряжением 10/0,4 кВ. Напряжение на этом проводе практически равно фазному напряжению и является опасным для людей и животных, которые при определённых условиях могут касаться оборванного провода.

3 При обрыве нулевого провода воздушной линии опасным является провод, свисающий с опоры со стороны потребителя. Величина напряжения на этом проводе зависит от несимметрии фазных нагрузок и может изменяться в широком диапазоне от нуля до значения фазного напряжения.

4 Проведенный анализ технико-экономической эффективности показал, что реализация системы определения места обрыва проводов в электрических сетях напряжением 380 В с помощью микропроцессорных счётчиков экономически оправдано.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложено новое решение актуальной научно-технической задачи, состоящее в обеспечении условий электробезопасности при эксплуатации воздушных линий напряжением 380 В посредством внедрения в эксплуатацию метода определения места обрыва фазных и нулевого проводов в указанных линиях.

Выполненные исследования позволяют сформулировать следующие основные результаты и выводы работы:

1 На компьютерной модели электрической сети напряжением 380 В были проведены исследования различных режимов её работы при обрывах фазных и нулевого проводов, результаты которых позволили установить критерии выявления обрыва фазного и нулевого провода воздушной линии напряжением 380 В.

2 Предложено использовать для выявления обрывов проводов воздушной линии напряжением 380 В микропроцессорные счётчики электрической энергии, устанавливаемые у потребителя.

3 Разработан алгоритм работы системы защиты, который предложено внести в микропроцессорный счетчик электроэнергии компании «ВАВИОТ» в качестве дополнительной программы. Это позволит выявлять обрывы фазных и нулевого проводов воздушной линии напряжением 380 В и производить отключение автоматического выключателя, установленного в начале линии.

4 Предложено использовать программное обеспечение SCADA для анализа полученной информации от микропроцессорных счётчиков, выведение на экран компьютера информации, для дальнейшего принятия мер диспетчерским пунктом.

5 Полученные в ходе написания работы результаты могут быть рекомендованы для внедрения учебном процессе по специальности «Электроснабжение», могут быть интересны для электрических сетей ОАО «Челябэнерго», также использованы для дальнейших исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Васильева, Т.Н. Надежность и техническое обслуживание электроэнергетических систем в сельском хозяйстве [Текст] / Т.Н. Васильева. – Рязань: Из-во «ФГБОУ ВПО РГАТУ», 2013. – 195 с.
- 2 Сидоров, А.И. Основы электробезопасности: учебное пособие [Текст] / А.И. Сидоров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 344 с.
- 3 Илюхина, Ю.Ю. Гражданский кодекс Российской Федерации [Текст] / А.Е. Ватутин. – Москва: Изд-во Проспект, 2017. – 80 с.
- 4 Васильева, Т.Н. Оценка влияния климатических факторов на отказы воздушных линий 0,4 кВ [Текст] / Т.Н. Васильева, Д.Н. Микрюков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 6. – С. 16–18.
- 5 Саидов Р.А. Разработка и исследование устройства для обеспечения непрерывности технологического процесса при неполнофазных режимах погружных электродвигателей с.х. водоснабжения: автореф. ... канд. техн. наук: 05.20.02 [Текст] / Р.А. Саидов. – Челябинск: ЧИМЭСХ, 1981. – 19 с.
- 6 Сколько стоит человеческая жизнь в России/ Политический клас URL: <http://politklass.ru/skolko-stoit-chelovecheskaya-zhizn-v-rossii.html> (дата обращения: 10.01.2018).
- 7 Программа инновационного развития ОАО «МРСК» [Текст]. – Москва: ОАО «МРСК» –339 с.
- 8 IEEE Standards 1366-2003 IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices // 2004, 44 с.
- 9 Мониторинг показателей надежности/ ОАО «Сетевая компания» URL: <http://cet.tatarstan.ru/file/File/2%20ГАЛИЦКИЙ.pdf> (дата обращения: 10.01.2018).
- 10 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок [Текст]: утв. приказом Минтруда РФ от 24.07.2013 № 328н. – Екатеринбург: ИД «Урал-ЮрИздат», 2014. – 240 с.
- 11 Умные сети Smart Grid в электроэнергетике/ Инженерные системы и сети. URL: <http://slgaz.com/2016/03/smart-grid.html> (дата обращения: 08.01.2018).
- 12 Цифровой РЭС – это реальность/ РОССЕТИ. URL: http://www.rosseti.ru/press/news/ELEMENT_ID=28960 (дата обращения: 08.01.2018).
- 13 Пат. № 2273936 Российская Федерация, МПК Н 02 Н 5/10, Н 02 Н 5/12. Устройство защитного отключения / Е.В. Халин, С.И. Коструба, Д.С. Стребков. – № 2004137355/09; заявл. 22.12.2004; опубл. 10.04.2006. – 4 с.
- 14 Пат. на п. м. № 124069 Российская Федерация, МПК Н 02 Н 3/16. Устройство защитного отключения электроустановки от сети переменного тока с тремя фазными проводами и нулевым проводом / В.С. Шкрабак, В.П. Сакулин, А.Е. Суетин и др. – № 2012115812/07; заявл. 19.04.2012; опубл. 10.01.2013. – 5 с.
- 15 Пат. на п. м. № 94077 Российская Федерация, МПК Н 02 Н 99/00. Устройство для обнаружения трехфазных сетей с обрывами фазных проводов / Н.М. Попов, А.Н. Клочков. – № 2009148481/22; заявл. 25.12.2009; опубл. 10.05.2010. – 4 с.

16 Херсонский, А.С. Селективная защита от однофазных коротких замыканий ФО-0,4 для распределительных сетей 0,4 кВ / А.С. Херсонский, А.Ш. Левин, Я.М. Фексон // Электрические станции. – 1975. – № 3. – С. 47–48.

17 Спеваков, П.И. Выбор сечения нулевых проводов в четырёхпроводных сетях / П.И. Спеваков // Промышленная энергетика. – 1961. – № 3. – С. 46–52.

18 Спеваков, П.И. К проектированию сетей зануления в силовых установках / П.И. Спеваков // Электричество. – 1939. – № 8. – С. 69.

19 Спеваков, П.И. Определение расчётного сопротивления петли зануления / П.И. Спеваков // Электричество. – 1965. – № 9. – С. 71–75.

20 Спеваков, П.И. Проверка на автоматическое отключение линий в сетях до 1000 В [Текст] / П.И. Спеваков – М.: Энергия, 1971. – 86 с.

21 Методические указания по выбору устройств релейной защиты в сетях 0,38–35 кВ сельскохозяйственного назначения // Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства, № 11. – М.: ВГПИНИИ «Сельэнергопроект», 1976. – 116 с.

22 Номограммы и таблицы расчётов электрических сетей 0,38 кВ // Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства, № 7. – М.: ВГПИНИИ «Сельэнергопроект», 1996. – 148 с.

23 Пособие по проектированию городских и поселковых электрических сетей (к ВСН 97–83) / Гипрокоммунэнерго, МНИИТЭП. – М.: Стройиздат, 1987. – 208 с.

24 Коструба, С.И. Человека защитит УЗО при авариях на воздушных линиях электропередачи / С.И. Коструба // Новости электротехники. – 2004. – № 1 (25).

25 Ключков, А.Н. Устройство для обнаружения трехфазных сетей с обрывом фазного провода / А.Н. Ключков // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 1. – С. 221–223.

26 Halevidis, C.D. Proposal of a protection method against probable consequences to humans and the environment from short-circuit or abruption of a low-voltage distribution line conductor. – IET Generation, Transmission & Distribution, 2010, Vol. 4, Iss. 7, pp. 793–800.

27 Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

28 Ануфриев, И.Е. Matlab 7 [Текст] / И.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н. Смирнова – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.

29 Валеев, Р.Г. Исследование токов и напряжений в различных режимах работы воздушных линий напряжением 380 В на компьютерной модели [Текст] / Р.Г. Валеев, А.В. Млотов, А.М. Ершов, Г.С. Валеев, А.И. Сидоров // Наука ЮУрГУ: материалы 65-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – Т.2. – С. 149–150.

30 Валеев, Р.Г. Моделирование электрической сети напряжением 380 В с воздушными линиями в программной среде MATLAB–SIMULINK [Текст] / Р.Г. Валеев, А.В. Млотов, А.М. Ершов, А.И. Сидоров // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2013. – № 9–10. – С. 116–128.

31 Ершов, А.М. Исследование аварийных режимов в сельских электрических сетях напряжением 380 В [Текст] / А.М. Ершов, Р.Г. Валеев, А.В. Млотов, А.И. Сидоров // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 6. – С. 18–21.

32 Ершов, А.М. Физическая модель для исследования несимметричных режимов работы электрической сети напряжением 380 В [Текст] / А.М. Ершов, Р.Г. Валеев, А.В. Млоток, А.И. Сидоров // Энергетика в современном мире: Сборник статей VI Международной заочной научно-практической конференции. – Чита: ЗабГУ, 2013. – С. 46–52.

33 Ершов, А.М. Разработка физической модели электрической сети напряжением 380 В [Текст] / Ершов А.М., Валеев Р.Г., Сидоров А.И., Млоток А.В. – Электробезопасность. – 2014. – № 1. – С. 3–18.

34 PLC-технологии. Безграничный потенциал для управления сетями [Текст] // Новости электротехники. – 2007. – № 5 (47).

35 Интеллектуальные электросети / Руководство разработчика. Вып. 1 [Текст]. – Innovation Delivered «Maxim», 2011. – 56 с.

36 Сравнение технологий ZigBee, Z-Wave и M-Bus /Технология умный дом. URL: [http:// smart home.com/2017/03/smart.html](http://smart.home.com/2017/03/smart.html) (дата обращения: 08.01.2018).

37 Автоматизированные беспроводные системы контроля учета ВАВИОТ /Беспроводная диспетчеризация URL: [http:// waviot.ru](http://waviot.ru) (дата обращения: 08.01.2018).

38 Базовая радиостанция NB-300/ Руководство по эксплуатации [Текст]. – Москва: ООО «Телематические Решения» 2017. – 21 с.

39 Счетчики электрической энергии статические трехфазные ФОБОС 3 / Руководство по эксплуатации [Текст]. – Москва: ООО «Телематические Решения» 2017. – 44 с.

40 Программное обеспечение SCADA для энергетики /Академик URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/10915> (дата обращения: 08.01.2018).

41 Млоток, А.В. Обеспечение электробезопасности при обрывах фазных и нулевого проводов воздушных линий напряжением 380 В: дис. канд. техн. наук: 05.26.01 [Текст] / Млоток Алексей Владимирович. – Челябинск: ЮУрГУ, 2014. – 191 с.

42 Никольский, О.К. Электробезопасность в России на рубеже XXI века [Текст] / О.К. Никольский // Вестник АлтГТУ. – 2000. – № 3. – С. 11–16.

43 Долин, П.А. Основы техники электробезопасности в электрических установках: учебное пособие / П.А. Долин – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.

44 Семенова, М.Н. Обоснование перехода от глухозаземленного режима нейтрали к изолированной в сетях электроустановок сельскохозяйственного назначения до 1000 В: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 [Текст] / М.Н. Семенова. – Челябинск: ЮУрГУ, 2011. – 153 с.

45 Рожавский, С.М. Статистические характеристики несимметрии токов и напряжений в сельских сетях 0,4/0,23 кВ [Текст] / С.М. Рожавский, Ю.Ф. Свергун // Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. – М.: Изд-во ОНТИ «Сельэнергопроект». – 1971. – № 9. – С. 53–62.

46 Жариков В.В. Антикризисное управление предприятием: учебное пособие / В.В. Жариков, И.А. Жариков, А.И. Евсейчев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009.