

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте

Факультет техники и технологии

Кафедра электрооборудования и автоматизации производственных процессов

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ Ю.С. Сергеев
_____ 2018 г.

«Автоматизация поиска места повреждения однофазных
замыканий в электрических сетях»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ– 13.03.02.2018.148.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты

Безопасность жизнедеятельности
доцент

_____ С.Н. Трофимова
_____ 2018 г.

Руководитель работы
доцент

_____ С.Н. Трофимова
_____ 2018 г.

Экономическая часть
доцент

_____ С.Н. Трофимова
_____ 2018 г.

Автор работы
студент группы ФТТ-403

_____ Т.А.Хозяшева
_____ 2018 г.

Нормоконтролер
ст. преподаватель

_____ О.В. Терентьев
_____ 2018 г.

Златоуст 2018

АННОТАЦИЯ

Хозяшева Т.А. Автоматизация поиска места повреждения однофазных замыканий в электрических сетях – г. Златоуст: филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте, кафедра ЭАПП; 2018 г., 60 с., 20 ил., библиогр. список – 19 наим., 8 листов чертежей ф. А1.

В выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы автоматизации поиска места повреждения однофазных замыканий в воздушных линиях 6-35 кВ. Целью ВКР является уменьшение времени определения места повреждения однофазных замыканий в электрических сетях среднего класса напряжения.

В ходе выполнения работы был проведен анализ различных способов определения однофазных замыканий на землю, их недостатков и достоинств. Разработаны и созданы алгоритм и методика определения места повреждения воздушной линии 6 – 35 кВ на основе метода стоячих волн.

В разделе безопасность жизнедеятельности рассмотрены вопросы безопасного обслуживания линий 6-35 кВ в период их аварийного режима работы

					13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.	Хозяшева Т.А.				Автоматизация поиска места повреждения однофазных замыканий в электрических сетях. Пояснительная записка	Литера	Лист	Листов
Пров.	Трофимова С.Н.					д	5	60
Т. контр.	Сандалов В.М.					Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте		
Н. контр.	Терентьев О.В.					Кафедра ЭАПП		
Утв.	Сергеев Ю.С.							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ	7
2 АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	16
3 ИСЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-35 КВ	21
3.1 Напряжение и токи нулевой последовательности в сети с изолированной нейтралью в установившемся режиме	22
3.2 Длинная линия и режимы ее работы	27
4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОИСКА МЕСТА ОЗЗ МЕТОДОМ СТОЯЧИХ ВОЛН	33
4.1 Математические основы процесса поиска места ОЗЗ	33
4.2 Анализ результатов моделирования	34
5 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ОЗЗ.....	48
5.1 Разработка алгоритма ОМП.....	48
5.2 Методика определения места повреждения методов стоячих волн.....	48
6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	46
6.1 Общие положения	46
6.2 Планирование работ на ВЛ и оформление технической Документации	46
6.3 Техническое обслуживание ВЛ	48
6.4 Осмотры ВЛ	52
6.5 Капитальный ремонт ВЛ	55
6.6 Аварийно – восстановительные работы	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	58
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИ СПИСОК	59

ВВЕДЕНИЕ

Существует множество причин выхода линий электропередач из строя, что приводит к снижению показателей качества электроэнергии, прерыванию электроснабжения объектов и немалым экономическим затратам. На сегодняшний день остается главной составляющей частью обслуживания электрической линии – это техническая диагностика, функцией которой является своевременное обнаружение и локализация неисправности.

Самым часто встречающимся видом повреждения в сетях 6–35 кВ являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ), которые могут привести к пробое изоляционного слоя в его ослабленных местах. Длина воздушной линии напряжением 6–35 кВ может достигать 100 км и более и проходить по районам с затруднительным передвижением. Часто именно в таких линиях происходят ОЗЗ, что затягивает поиск неисправности на несколько дней в связи с трудоемкостью работ по определению места повреждения. На протяжении всего этого времени воздушные линии вынуждены работать в режиме однофазного замыкания на землю. Такой режим работы линии приводит к аварийному режиму, чаще к переходу из однофазного в междуфазное замыкание на землю, в некоторых случаях и в многоместные замыкания на землю, реже к образованию электрической дуги.

При однофазном замыкании на землю остается без изменения линейное напряжение воздушной линии, а наличие тока объясняется лишь емкостью воздушной линии переходным сопротивлением в месте контакта с землей, именно поэтому линия не требует оперативного отключения электроснабжения. Несмотря на то, что режим однофазного замыкания протекает неявно выражено, причина повреждения в воздушной линии должна быть незамедлительно установлена и локализована, по следующим причинам:

- 1) Появляется возможность перехода однофазного замыкания на землю в междуфазное короткое замыкание.
- 2) Ускоряется процесс старения изоляции, в связи с увеличением напряжения на соседних фазах, относительно земли.
- 3) Возможно поражение током вызванным шаговым напряжением, если приблизиться к месту повреждения.

Целью ВКР является уменьшение времени определения места повреждения однофазных замыканий в электрических сетях среднего класса напряжения.

В рамках поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести сравнение отечественных и передовых зарубежных технологий, и решений;
- 2) провести анализ статистики повреждений электрических сетей;
- 3) исследовать достоинства и недостатки существующих методов ОМП;
- 4) смоделировать процесс поиска места ОЗЗ методом стоячих волн;
- 5) разработать алгоритм и методику определения места ОЗЗ;
- 6) рассмотреть положения безопасности жизнедеятельности

									Лист
									5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ				

Объект работы – воздушные линии электропередач напряжением 6 – 35 кВ.
Предмет работы – методы диагностики однофазные замыкания на землю в воздушных линиях 6 – 35 кВ.

					13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

Однофазное замыкание на землю является самым часто встречаемым видом повреждения воздушной линии 6 – 35 кВ, что составляет 75% всех повреждений. Именно поэтому существует большое разнообразие видов и характера повреждений, множество структур и условий работы сети. Это и привело в большому разнообразию методов поиска определения места однофазных замыканий. Все методы можно условно разделить на две большие группы – дистанционные и топографические.



Рисунок 1.1 – Классификация методов определения места повреждений

Дистанционные методы можно разделить на подгруппы: метод стоячих волн, емкостный, петлевой, по параметрам аварийного режима, импульсный, который в свою очередь делится на локационный и волновой.

Метод стоячих волн включает в себя измерение полного входного сопротивления поврежденной линии электропередач в достаточно широком диапазоне частот. Известно, что расстояние между резонансными частотами, т.е. максимальное и минимальное входные значения сопротивления зависят от расстояния до места однофазного замыкания или обрыва. Суть метода стоячих волн заключается в том, что после отключения поврежденной линии к ней присоединяют источник периодического (синусоидального) сигнала высокой частоты. Допустимо при высоких частотах рассматривать воздушную линию как длинную линию, т.е. как линию с распределительными параметрами. Напряжение и ток в длинной линии будут являться функциями двух независимых переменных: времени t и пространственной координаты x , определяющей место на линии, в котором рассматривается ток и (или) напряжение. При синусоидальном напряжении источника питания напряжение в любой точке длинной линии можно представить в виде суммы двух слагаемых. Каждое из этих слагаемых будет описывать гармоническую волну напряжения в том случае, если момент времени считать определенным, (например, $t = 0$) и рассматривать изменение мгновенного значения напряжения вдоль линии в зависимости от координаты x . Волна, которую описывает первое слагаемое, называется прямой или падающей. Распространение волны характеризуется постоянной распространения. Форма волны напряжения и ее положение относительно линии не зависят от времени, такую волну принято называть стоячей. Так формируется название метода – метод стоячих волн. По-другому этот метод можно назвать высокочастотным, так как частота источника должна быть высокой и входить в резонанс с собственной частотой участка длинной линии до места замыкания. Главным достоинством данного метода является точность определения места повреждения, негабаритная аппаратура, на точность измерения большое влияние не оказывают внешние факторы, применим даже при неустойчивых однофазным замыканий на землю. Недостатком является необходимость в отключение линии.

Емкостным методом определяют расстояние до места повреждения при обрыве проводов. Измерение начинают с емкости сначала с одного конца оборванной жилы, затем с емкости с другого конца этой же жилы. Длину кабеля делят пропорционально полученным емкостям и определяют расстояние до места замыкания l_x , используя формулу

$$l_x = \frac{LC_1}{C_1 + C_2} \quad (1.1)$$

Если поврежденная жила глухо заземлена, то измерение емкости проходит с одного конца одного участка и целой жилы, после определяют расстояние до замыкания по формуле

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ				

$$I_x = \frac{LC_1}{C} \quad (1.2)$$

Если можно замерить только с одного конца емкость поврежденной жилы, а остальные жилы имеют глухое заземление, то определяют расстояние до замыкания по формуле

$$I_x = \frac{1000 \cdot C_1}{C_0}, \quad (1.3)$$

где C_0 - удельная емкость провода, принимаемая по таблицам характеристик ВЛ.

При использовании данного метода необходимы генераторы частотой 1000 Гц и мосты постоянного или переменного тока. Мост постоянного тока применяется только при чистом обрыве жил, переменного при переходных сопротивлениях 5 кОм и выше. Достоинство емкостного метода заключается в том, что для определения места повреждения не требуется сложное вычислительное оборудование, а недостаток в том, что для измерения параметров сети требуется производить замер с двух сторон поврежденной линии, что занимает много времени.

Петлевой метод применим лишь тогда, когда величина переходного сопротивления в месте повреждения не превышает 5 кОм. Проводится измерение сопротивления до места замыкания, при этом переключкой соединяется поврежденная фаза с неповрежденной, и образовавшийся контур подключается к мосту постоянного тока. При необходимости снижения величины переходного сопротивления изоляцию дожигают кенотроном или газотронной установкой. Питание схемы — от аккумулятора, а при больших переходных сопротивлениях — от сухой батареи БАС-60 или БАС-80. Для определения места повреждения на одном конце ВЛ соединяют неповрежденную жилу с поврежденной, а на другом конце к этим жилам присоединяют измерительный мост с гальванометром, питаемый аккумулятором или батареей. Уравновешивая мост, определяют место повреждения по формуле

$$I_x = \frac{2LR_1}{R_1 + R_2}, \quad (1.4)$$

где I_x - расстояние от места измерения до места повреждения;

L – длина ВЛ;

R_1, R_2 - сопротивления плеч моста.

Достоинство данного метода заключается в измерении параметров линии с одной стороны, а недостатком является то, что метод применим только при устойчивых металлических замыканиях, а большинство ОЗЗ имеют неустойчивый характер, причем на точность измерения параметров сети будет оказывать влияние сопротивление соединительных проводов.

Метод по параметрам аварийного режима включает в себя, замер зафиксированных до аварии и во время ее протекания токи и напряжения

									Лист
									9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ				

отдельных фаз или их последовательностей. Рассматривать данный метод можно с односторонним и двухсторонним замером параметров.

Одностороннее ОМП по ПАР основаны на решении уравнения петли КЗ или использовании модели линии и требуют наличия параметров аварийного режима с одного конца поврежденной линии. Достоинством является то, что требуется только один фиксирующий прибор на одном из концов линии, а недостатком – необходимость моделирования переходных процессов при ОЗЗ.

Двухсторонние методы ОМП по ПАР, основанные на теории многополосников, предполагают наличие полной и синхронизированной информации с двух концов линии. Для этого необходимы установка фиксирующих приборов с двух концов поврежденной линии, средства или методы синхронизации, а также наличие каналов связи. Этот метод обладает значительными недостатками, такими как: сложность технической реализации, дорогостоящие фиксирующие приборы, а самое главное, зависимость надежности от правильной работы этих приборов, средств синхронизации показаний приборов и каналов связи.

Импульсный метод основывается на измерении интервалов времени распространения электромагнитных импульсов (волн) по участкам линии. Данный метод разделяют на локационный и волновой.

При использовании локационного метода ОМП необходимо измерение времени между моментом посылки в линию зондирующего электрического импульса и моментом возвращения к началу линии импульса, отраженного от места повреждения. За определенное время импульсы проходят двойной путь, равный расстоянию до места повреждения. На осциллограмме создается возмущение в месте повреждения, по которому можно рассчитать расстояние до замыкания. Расстояние до места замыкания можно рассчитать по формуле

$$l = \frac{t_{\text{д}}}{2} v \quad (1.5)$$

где v – скорость распространения импульса в линии.

Достоинством данного метода является то, что не требуется много оборудования, а недостатком метода можно считать затруднение в получении отраженного импульса достаточной амплитуды, при определении места замыкания.

Волновой метод разделяют на метод односторонних измерений и двухсторонних.

Волновые методы односторонних измерений используют либо измерение времени между приходами волн первого и второго отражений от места повреждения, либо разновременность прихода волн по каналу фаза - фаза и по каналу фаза - земля.

Волновой метод двухсторонних измерений основан на измерении времени между моментами достижения двух концов линии фронтами электромагнитных

									Лист
									10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ				

волн, возникающих в месте повреждения (волн разряда замкнувшейся на землю фазы). Необходимым условием реализации метода является синхронный счет времени на двух концах с точностью до микросекунд. Для этого с конца на конец посылаются хронизирующие сигналы, что само по себе является сложной технической задачей.

Вторая большая группа методов ОМП – топографические методы. Ее разделяют на индукционные и контактные.

При использовании индукционного метода поисковая рабочая группа направляется вдоль трассы ВЛ, специальным оборудованием улавливает изменение магнитного и электрического поля, который создается током, протекающим по данной линии. Ток вырабатывается специальным генератором, подключаемым на подстанции к уже отключенной линии.

Контактные методы ОМП разделяют на электромеханические, акустические и потенциальные.

Электромеханический метод в основном используют в воздушных сетях 6 – 10 кВ сельскохозяйственного назначения. Суть метода заложена в фиксации механических усилий, создаваемых за счет энергии тока при коротком замыкании.

Электродинамические усилия могут использоваться между током в токоведущих частях и наводимым током в расположенном вблизи датчика и электромагнитные силы, приложенные к якорю из магнитного материала. Электромеханические устройства (указатели) устанавливают стационарно в распределительных устройствах и на опорах ВЛ. Протекание тока КЗ через контролируемый объект сигнализируется с помощью бликера. Восстановление исходного состояния указателя (возврат бликера) в ряде конструкций осуществляется автоматически при включении ВЛ под напряжение.

Акустические методы предназначены для ОМП воздушных линий, основаны на улавливании на трассе акустических (механических) колебаний, возникающих при искровом разряде в изоляции провода. Оператор с акустическим датчиком и усилителем перемещается в зоне $\pm (15 - 40)$ м, выделенной дистанционным методом, и определяет место максимального уровня приема по индикатору или на слух с помощью телефона. Искровой разряд в месте повреждения изоляции создается посредством специальных устройств, подключаемых на конце ВЛ.

Потенциальные методы предназначены для ОМП воздушных линий. Данные методы основаны на фиксации вдоль трассы электрических потенциалов, создаваемых протекающими по оболочке ВЛ. Используются постоянный и переменный токи повышенной частоты. Оператор перемещается по трассе с двумя контактными стержнями или пластинами. В первом случае осуществляется непосредственное измерение разности потенциалов, во втором – через емкость пластин. Пластины используют при асфальтобетонных покрытиях на трассе ВЛ. В переносное устройство входят усилитель и индикатор. Ток в поврежденную жилу подается с конца ВЛ. Главные достоинства и недостатки рассмотренных методов представлены в таблице 1.1.

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ					

Таблица 1.1 – Достоинства и недостатки методов определения места повреждения

Метод ОМП	Достоинства метода	Недостатки метода	Величина погрешност и от длины линии, %
Емкостный метод	- не требуется сложное вычислительное оборудование.	- замер поврежденной линии производится с двух сторон, что значительно увеличивает время определения места повреждения.	8-10
Метод стоячих волн	- высокая точность при определении места замыкания; - негабаритная аппаратура; - на точность измерения большое влияние не оказывают внешние факторы; - применим даже при неустойчивых однофазных замыканий.	- необходимость в отключении линии.	3-5
Импульсный метод (волновой, локационный)	- наличие серийно выпускаемой аппаратуры; - минимум используемой аппаратуры.	- сложное получение необходимого отраженного импульса; - применим лишь на отключенных линиях; - большие погрешности в использовании метода в сетях 6 – 35 кВ из-за разветвленности сети.	10-12

Окончание таблицы 1.1

Метод ОМП	Достоинства метода	Недостатки метода	Величина погрешности и от длины линии, %
Петлевой метод	- переходное сопротивление в месте повреждения не оказывает влияния на математическое моделирование.	- отключение линии с двух сторон; - присоединительные провода и контакты будут влиять на сопротивление сети; - метод применим лишь при устойчивых замыканиях на землю.	9-13
Метод по параметрам аварийного режима с односторонним замером	- необходимость всего одного фиксирующего прибора на одном конце линии.	- необходимость моделирования переходных процессов при ОЗЗ; - сложная техническая реализация.	8-11
Метод по параметрам аварийного режима с двухсторонним замером	- обладает относительной точностью.	- требуются значительные капитальные вложения; - надежность зависит только от фиксирующих приборов.	5-9

Причины появления погрешностей при ОМП можно разделить на три основные группы: погрешности, появляющиеся из – за неверного замера параметров, погрешности из –за упрощения параметров элементов энергосистемы (ПЭЭС), погрешности представления оперативных схем ЭЭС.

На рисунке 1.2 приведена классификация причин погрешностей при определении места повреждения.

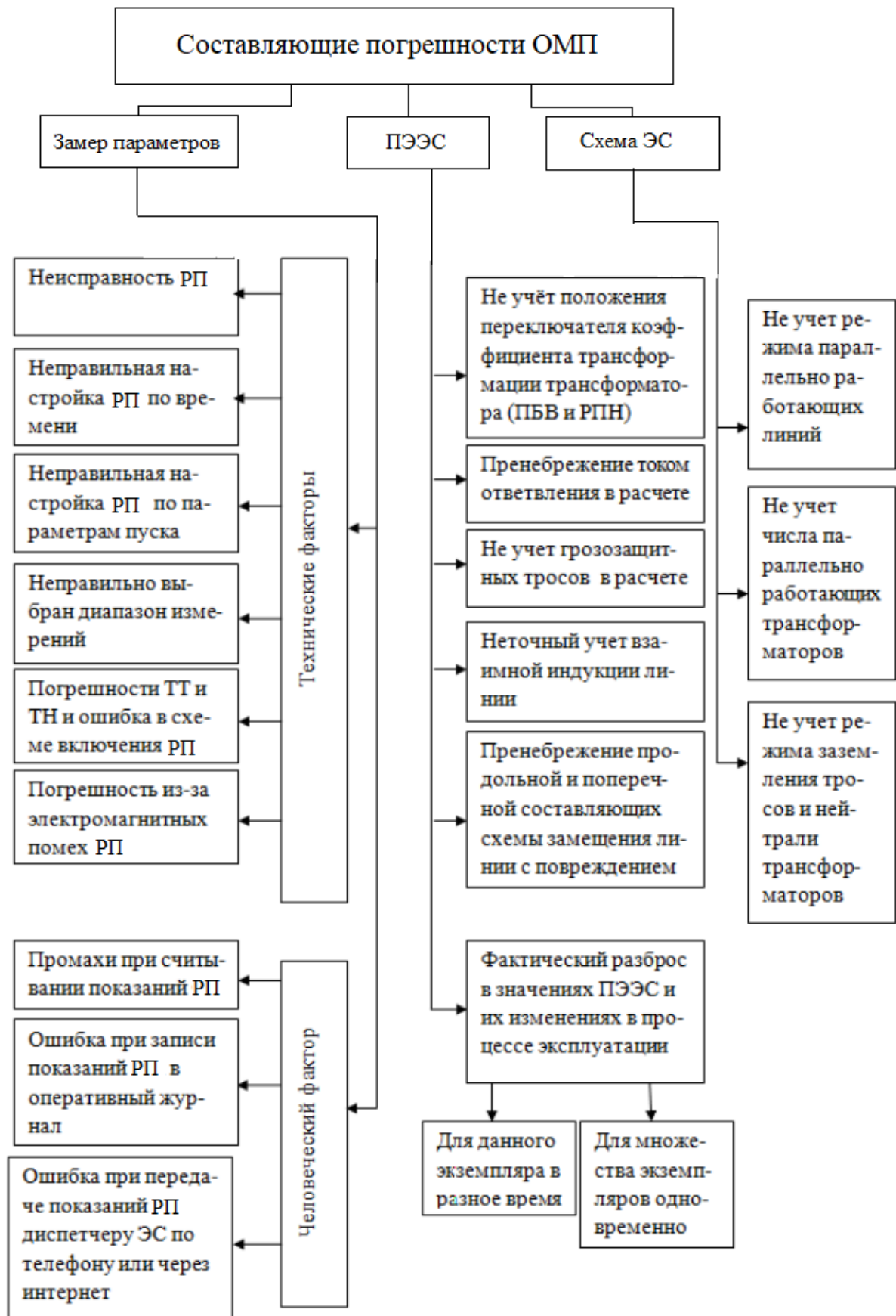


Рисунок 1.2 – Причины погрешностей ОМП

Анализ рассмотренных методов и анализ погрешностей при ОМП показали, что неисправность РП могут содержать в себе емкостный метод и ПАР, неправильная настройка РП по времени влияет на импульсный и метод ПАР, погрешность из –за электромагнитных помех оказывает влияние на емкостный и импульсный методы, неправильная настройка РП по параметрам пуска, неправильно выбранный диапазон измерений, погрешности ТТ и ТН и ошибка в схеме включения РП и погрешности связанные с человеческим фактором влияют на все рассмотренные методы ОМП.

Величина погрешности от длины линии представлена в таблице 1.1.

Вывод по главе один:

Анализ показал, что наиболее приемлемым методом ОМП является метод стоячих волн, имеющий погрешность 3-5 % от длины линии. Метод стоячих волн с учетом особенностей распределительных сетей с напряжением 6–35 кВ обладает большей точностью и может определить место предполагаемого повреждения, как при устойчивых, так и при неустойчивых коротких замыканиях.

					13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

2 АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

На основании анализа аварий на воздушных линиях 6-35 кВ за 2015 – 2018 гг. в ЗГО выделены технические и организационные причины, показанные на рисунке 2.1.

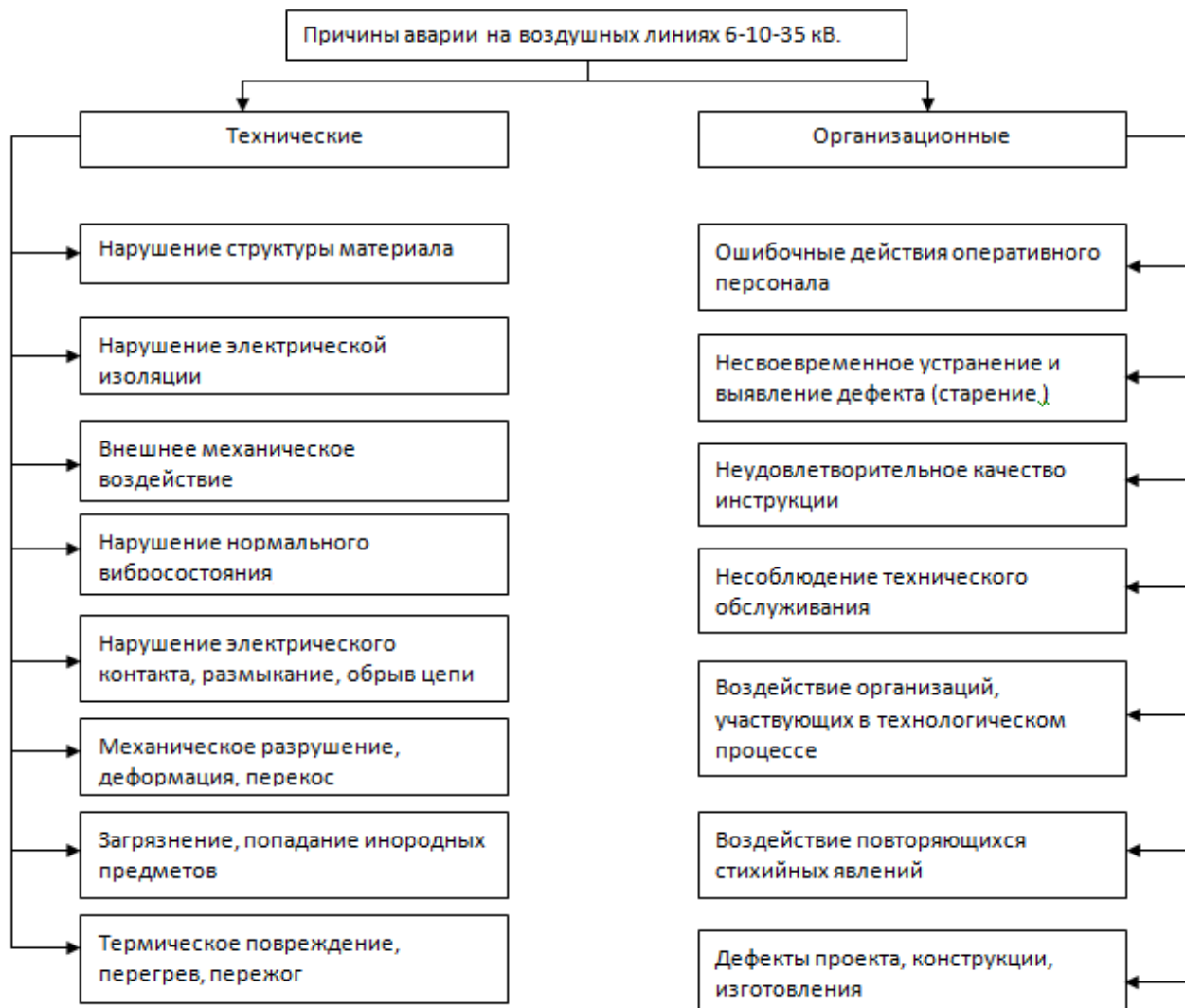


Рисунок 2.1 – Причины аварий на линиях электропередачи 6-35 КВ

Статистика отказов по причине ОЗЗ за период 2015 – 2017 представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Статистика отказов по причине ОЗЗ за период 2015 – 2018 гг.

Год	Количество отказов, шт	Время работы сети в аварийном режиме, ч
2015	92	2 – 4
2016	106	4 – 5
2017	114	4 – 5
Итого	312	

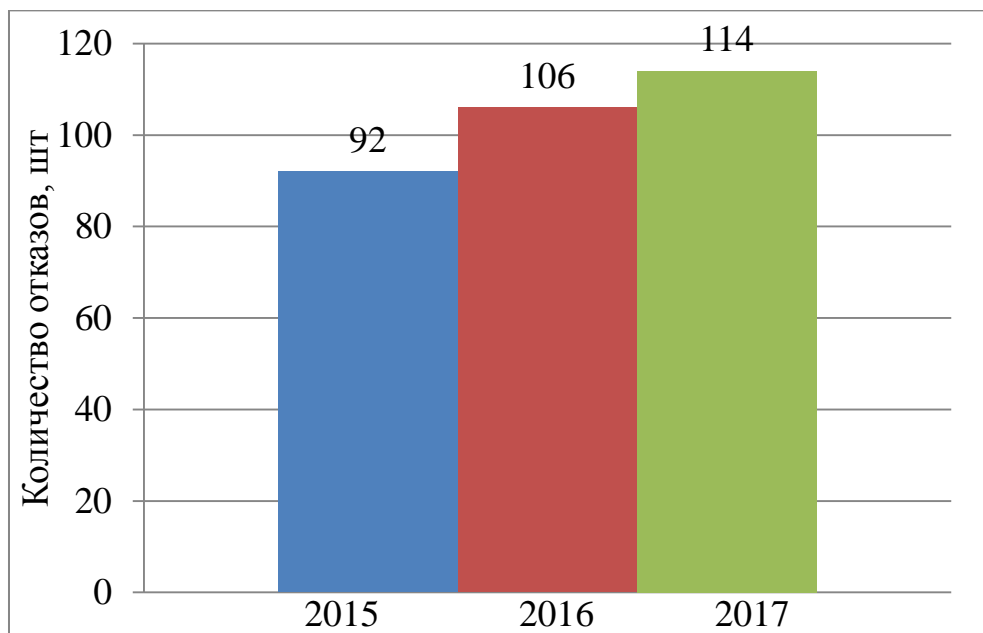


Рисунок 2.2 – Количество отказов за период 2015-2018г.г.

Анализ повреждений в воздушных линиях 6-35 кВ за период 2015 – 2017г.г. показал, что в 60% случаев аварии происходят по техническим причинам. Основная доля таких повреждений составляет 38%, по причине нарушения электрической изоляции таблица 2.2.

Таблица 2.2 - Статистика отказов за период 2015-2017г.г. АО Челябинэнерго в МРСК «Урала»

Технические причины	Шт, (%)	Организационные причины	Шт, (%)
1.Нарушение электрической изоляции	118 (38)	1.Несоблюдение технического обслуживания	68 (22)
2.Нарушение электрического контакта, размыкание, обрыв цепи	53 (17)	2.Воздействие сторонних организаций	10 (3)
3.Нарушение структуры материала	12 (4)	3.Воздействие природно-климатических факторов	43 (14)
4.Загрязнение, попадание инородных предметов	4 (1)	4.Несвоевременное устранение и выявление дефекта (старение)	4 (1)

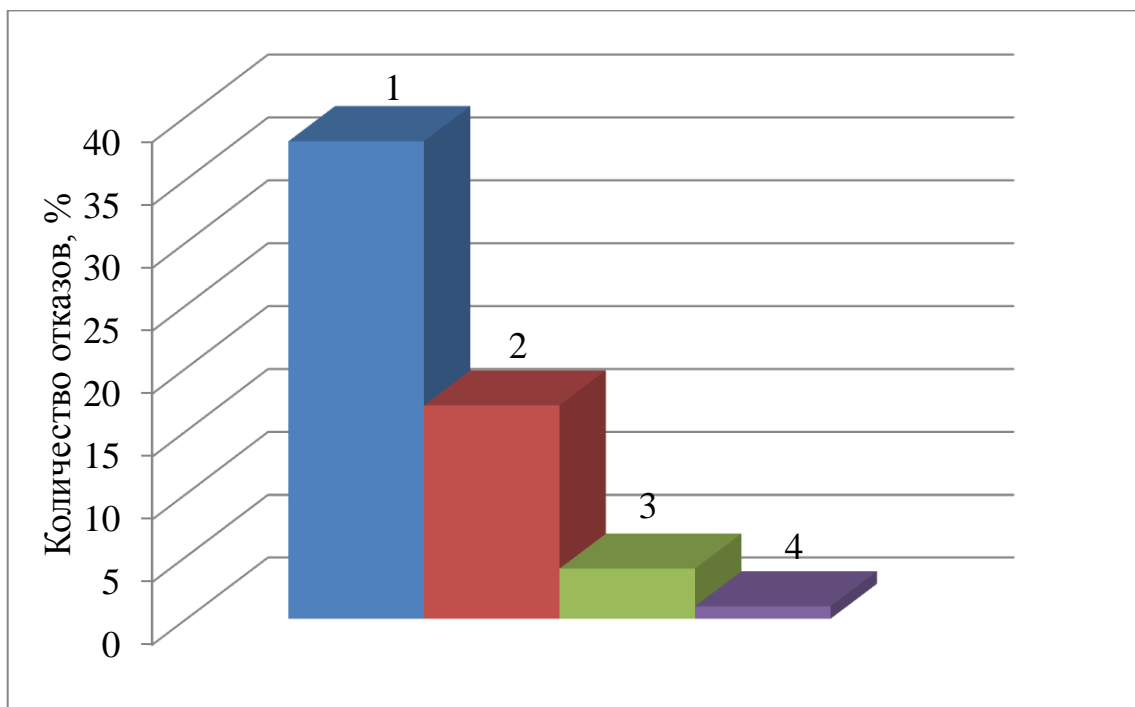


Рисунок 2.3 - Технические причины ОЗЗ в воздушных линиях 6-35 кВ

1 – Нарушение электрической изоляции;

2 - Нарушение электрического контакта, размыкание, обрыв цепи;

3 – Нарушение структуры материала;

4 – Загрязнение, попадание инородных предметов.

Гистограмма ОЗЗ в электрических сетях 6-35 кВ по техническим причинам, изображенная на рисунке 2.3, показала, что основная доля таких повреждений, представленная в таблице 2.2, (38%) приходится на нарушение электрической изоляции.

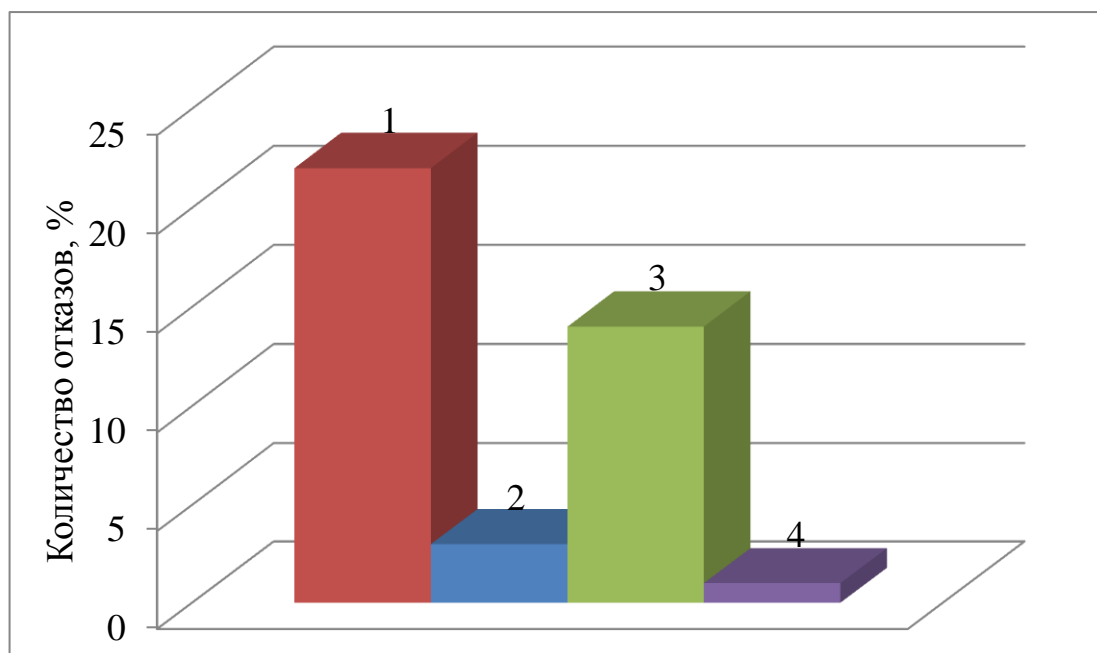


Рисунок 2.4 - Организационные причины ОЗЗ в воздушных линиях 6-35 кВ:

- 1 – Несоблюдение технического обслуживания;
- 2 – Воздействие сторонних организаций;
- 3 – Воздействие природно климатических факторов;
- 4 – Несвоевременное устранение и выявление дефекта.

Анализ повреждений в воздушных линиях 6-35 кВ по организационным причинам (40%), представленный на рисунке 2.4 показал, что основная доля таких повреждений приходится на несоблюдение технического обслуживания (22%).

Электрические сети среднего класса напряжения сильно разветвлены и слабо оснащены средствами мониторинга. При этом сети 6–35 кВ в России в основном работают в режиме изолированной нейтрали. Чтобы повысить надежность бесперебойной подачи электроэнергии, важно знать об особенностях аварий в сетях с изолированной нейтралью. Значительную часть (до 78%) всех аварийных процессов составляют однофазные замыкания на землю (ОЗЗ).

При возникновении однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью аварийный ток в большинстве случаев по величине существенно меньше тока нагрузки. По статистике 80% аварийных процессов в сетях с изолированной нейтралью, обусловленных ОЗЗ, сопровождаются скачком тока менее 10А. Протекающий в таком режиме аварийный процесс сложен с точки зрения его обнаружения. Из-за низких аварийных токов автоматика отключения во время ОЗЗ часто не срабатывает, линия остается под напряжением. В таком режиме работы линии возникает опасность поражения персонала оперативно-выездных бригад (ОВБ) и людей, случайно оказавшихся вблизи места

ОЗЗ. Важно в максимально короткие сроки обнаружить место аварии, прежде всего с точки зрения безопасности.

Общее время отключения складывается из нескольких составляющих:

- время от момента аварийного отключения линии до получения об этом информации дежурным диспетчером РЭС;
- время проезда оперативно-выездной бригады (ОВБ) до подстанции, где произошло отключение, определение поврежденной секции ВЛ;
- время от определения поврежденной секции ВЛ до обнаружения места повреждения;
- время локализации поврежденного участка с восстановлением питания потребителей неповрежденной части фидера;
- время восстановительного ремонта повреждения;
- время, затрачиваемое ОВБ на восстановление нормальной схемы фидера путем производства оперативных переключений после завершения ремонтных работ.

Как правило, решить проблему с обрывом провода или заменить вышедший из строя изолятор не сложно, сложно найти место аварии. По статистике от 30% до 85% от общего времени отключения одного потребителя составляет время обнаружения места повреждения. Зачастую дежурные оперативно-выездные бригады вынуждены пешком обходить километры линий электропередач, прежде чем обнаружат место разрыва. Задача поиска поврежденного участка существенно усложняется, если линия расположена в труднодоступных для проезда местах — пересекает болота, поднимается на вершины гор, преодолевает широкие водные преграды.

Из-за различных причин повреждений и ошибок работы персонала ЭЭС создаются аварийные ситуации. В таких случаях, главной задачей является быстрое ликвидирование проблемы и восстановление нормального режима работы. Следует заметить, что аварийная повреждаемость линии всегда связана с недоотпуском электрической энергии. Процесс поиска ОМП при ОЗЗ занимает сравнительно много времени – от 0,5 до 3 ч. Недоотпуск электроэнергии характеризует не только все основные свойства надежности системы, но и режим загрузки системы электроснабжения. В результате отказа система оказалась способна удовлетворять не всю нагрузку, а только ее часть.

Выводы по главе два

Сократить время поиска и недоотпуск электроэнергии возможно путем дистанционного определения места повреждения воздушной линии 6 – 35 кВ на основе метода стоячих волн.

									Лист
									20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ				

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6–35 КВ

Из известных данных опыта эксплуатации известно, что от 75 до 90% всех проблем с электроснабжением потребителей приходится на электрические сети 6–35кВ, причем главной причиной повреждения электрооборудования являются однофазные замыкания на землю, которые сопровождаются значительным экономическим ущербом.

Однофазные замыкания на землю делятся на две основные группы: устойчивые и неустойчивые. Устойчивые однофазные замыкания на землю характеризуются наличием в токах и напряжениях, только принужденных составляющих промышленной частоты и высших гармоник. Они возникают при наличии надежной гальванической связи поврежденной фазы с землей.

Основным видом однофазных замыканий на землю являются неустойчивые дуговые замыкания, характеризующиеся прерывистой формой тока. В этом токе преобладают свободные составляющие переходного процесса, амплитуды, которого достигают в зависимости от: расстояния от шин подстанции до точки однофазного замыкания на землю, суммарного емкостного тока сети $I_{c\Sigma}$, параметров электросети, напряжения на поврежденной фазе в момент повреждения и пробоя изоляции и др.

Неустойчивые однофазные замыкания на землю делятся на два основных вида:

- однократные самоустраняющиеся пробои изоляции;
- дуговые прерывистые замыкания, в которых последовательность самоустраняющихся пробоев изоляции неперIODическая.

Если зажигания дуги повторяются через небольшие интервалы времени (менее чем 0,1 с), ОЗЗ происходит с дополнительным смещением нейтрали сети и накоплением зарядов на фазах линии. Их называют дуговыми перемежающимися замыканиями на землю. При дуговых перемежающихся однофазных замыканиях на землю в электрических сетях с изолированной нейтралью минимальные бестоковые паузы между повторными пробоями изоляции чаще всего не превышают 40 – 50 мс. Иногда погасания и зажигания дуги могут повторяться каждый период или полупериод. Горение дуги между бестоковыми паузами обычно длится не более 20 – 40 мс.

С точки зрения защиты возможные повреждения при однофазных замыканиях на землю можно разделить на несколько основных категорий:

- бездуговые, «металлические» однофазные замыкания на землю;
- обрывы воздушных линий без длительного однофазного замыкания на землю;
- дуговые однофазные замыкания на землю;

										Лист
										21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ					

– однофазных замыканий на землю через большие переходные сопротивления;

– кратковременные пробои.

Кратковременные неустойчивые пробои изоляции, продолжительность которых составляет от 1 до 10 мс, между значительными по длительности бестоковыми паузами (от 1 до 17 минут) являются причиной большинства «устойчивых» однофазных замыканий на землю. Устойчивое однофазное замыкание на землю возникает через отрезок времени от 1 минуты до 10 суток и более после первого кратковременного пробоя.

При появлении надежной гальванической связи поврежденной фазы с землей (например, с заземленным корпусом электроустановки) возникает бездуговое однофазное замыкание на землю. Токи и напряжения нулевой последовательности можно считать синусоидальными и максимальными по величине. Простейший режим функционирования с точки зрения защиты – это бездуговое однофазное замыкание на землю.

Контакт земли и фазы через неметаллические предметы (например, при падении провода на сухую почву, через деревянные части конструкции и т.д.) может привести к однофазному замыканию на землю с очень большим переходным сопротивлением. Переходное сопротивление, при падении провода воздушной линии 10 кВ на песок, изменяется примерно от 7 до 5 кОм в течение нескольких секунд. В Польше величина сопротивления равна 13,5 кОм, а в Канаде – 7,5 кОм. Большие переходные сопротивления могут значительно усложнить требования к защитам воздушных линий от однофазных замыканий на землю, так как рост переходного сопротивления приводит к уменьшению и напряжения U_0 , и токи нулевой последовательности I_0 .

При пробоях и перекрытиях фазной изоляции возникает дуговое замыкание. Во время замыкания в дуге появляется «прерывистая» форма кривой тока. Такую дугу называют перемежающейся. При однофазном замыкании на землю ток в реле защиты может прерываться на некоторое время и содержать большое количество высокочастотных составляющих.

Иногда в токе и напряжении нулевой последовательности могут возникать субгармонические составляющие.

Возможно прерывание дуги на значительное время, превышающее несколько периодов промышленной частоты.

Время горения дуги и протяженность бестоковых пауз могут варьироваться при различных значениях тока однофазного замыкания на землю и фазах развития процесса.

3.1 Напряжение и токи нулевой последовательности в сети с изолированной нейтралью в установившемся режиме замыкания на землю

Защиты от однофазных замыканий на землю реагируют на токи и напряжение нулевой последовательности. Разумность использования

									Лист
									22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ				

составляющих нулевой последовательности для работы защит от однофазных замыканий на землю обуславливается тем, что в симметричной системе они отсутствуют в рабочих режимах и при междуфазных коротких замыканиях и появляются только при замыканиях фаз на землю. Такие защиты обеспечивают значительное повышение их чувствительности.

На рисунке 3.1 представлена трехфазная сеть переменного тока при нормальной работе по фазам, которой протекают токи, вызванные емкостями фаз на землю C_{0A}, C_{0B}, C_{0C} и токи нагрузки. Токи, вызванные активными проводимостями фаз сети на землю G_{0A}, G_{0B}, G_{0C} , в сети с изолированной нейтралью 2–6 % не превышают емкостных токов и при анализе установившихся режимов ими можно пренебречь без однофазных замыканий на землю и с однофазными замыканиями на землю. Активные проводимости и емкости между фазами линии на установившиеся значения параметров нулевой последовательности не влияют и в схеме на рисунке 3.1 не учтены.

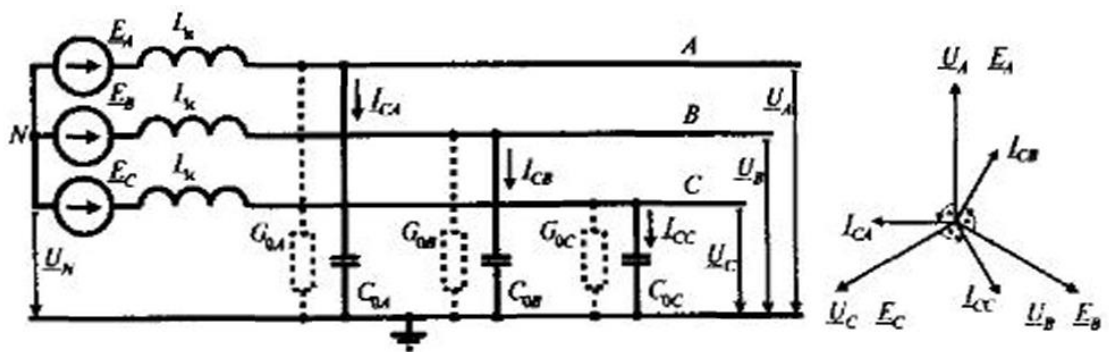
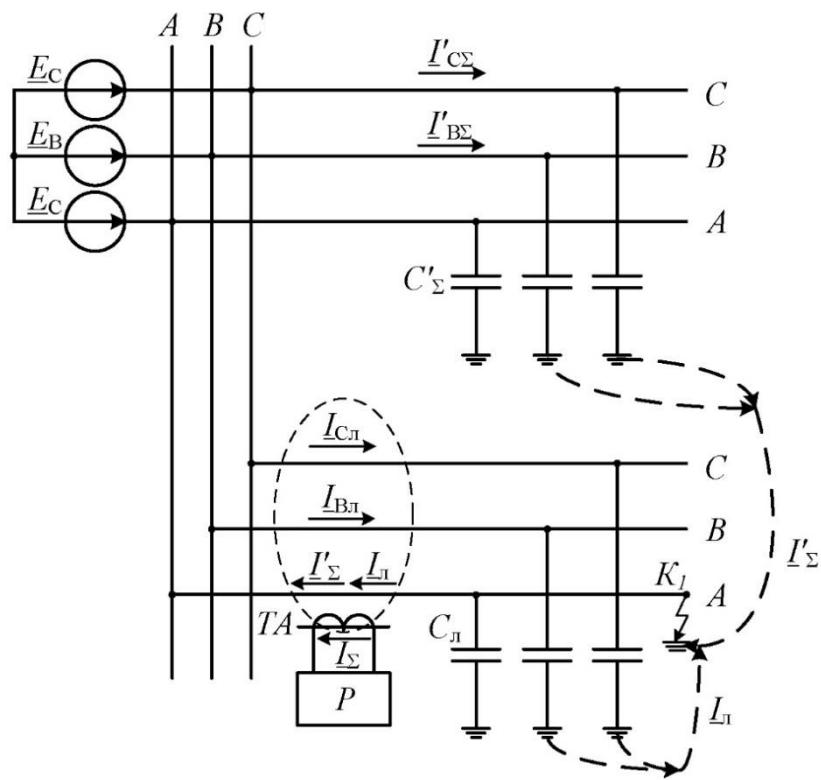
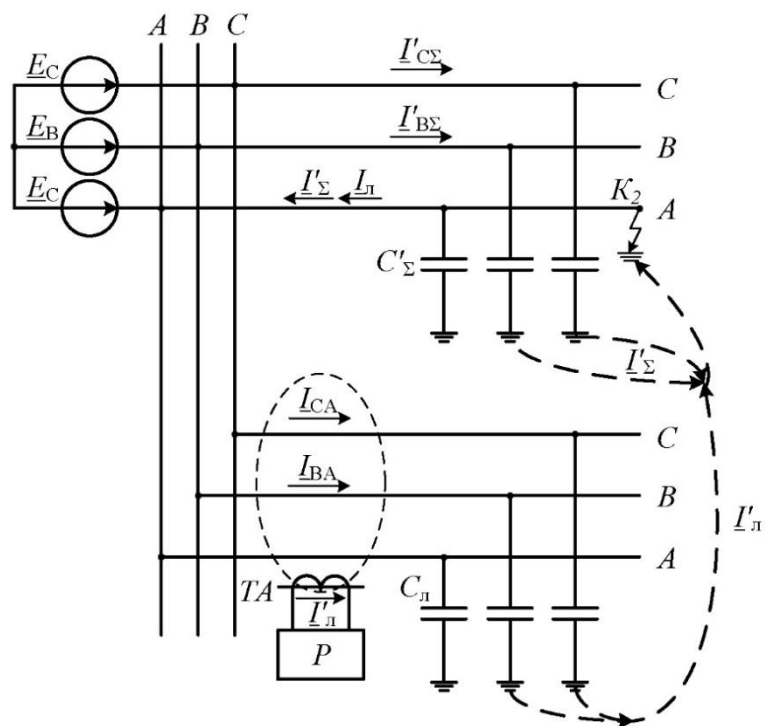


Рисунок 3.1 – Векторные диаграммы емкостных токов и напряжений в нормальном режиме сети с изолированной нейтралью

По сравнению с падениями напряжения на емкостных сопротивлениях падение напряжения от емкостных токов и токов нагрузки в продольных сопротивлениях воздушной линии и источника питания, ничего не значат. Напряжение $3U_0$ в установившемся режиме однофазного замыкания на землю в любой точке электрически связанной сети практически одинаково и не зависит от расположения места повреждения в сети (кроме повреждений в обмотках электрических машин и трансформаторов). Возникновение изменение напряжения фаз и напряжения $3U_0$ относительно земли используются для работы неселективной сигнализации однофазных замыканий на землю и контроля изоляции фаз воздушных линий относительно земли или общей неселективной защиты от однофазных замыканий на землю (с действием на отключение).



а)



б)

Рисунок 3.2 – Схема электрической сети с изолированной нейтралью при

а - Внутреннем замыкании на землю;

б - Внешнем замыкании на землю

На схеме электрической сети с изолированной нейтралью, изображенной на рисунке 3.2, отражены процессы при внутреннем и внешнем замыкании на землю: защищаемая линия показана суммирующим трансформатором ТА и защитой Р в начале линии. Все остальные элементы сети, подключенные к шинам, замещаются другой линией.

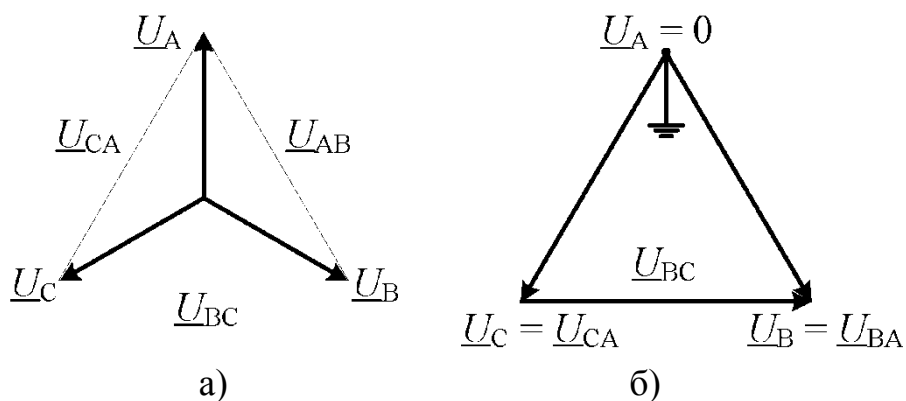


Рисунок 3.3 – Напряжения сети с изолированной нейтралью:
а - нормальный режим;
б - замыкание на землю фазы А

При замыкании фазы А на землю на защищаемой линии изображенной на рисунке 3.3 (а), потенциал фазы А и защищаемой линии, и всех электрически связанных с ней элементов становится равен нулю, а потенциал неповрежденных фаз В и С, изображенных на рисунке 3.3 (б), увеличиваются до линейного напряжения. Каждая из фаз обладает определенной емкостью относительно земли ($C_{\text{Л}}$ – емкость защищаемой линии, C'_{Σ} – эквивалентная емкость остальных элементов).

С учетом этого, потенциал фаз В и С относительно земли соответственно равен: $U_B = E_B - E_A = a^2 E_A - E_A$; $U_C = E_C - E_A = a E_A - E_A$.

Емкостные токи $I'_{B\Sigma}$ и $I'_{C\Sigma}$ от эквивалентных внешних элементов равны:

$$I'_{B\Sigma} = j\omega \cdot C'_{\Sigma} \cdot (a^2 - 1) \cdot E_A; \quad I'_{C\Sigma} = j\omega \cdot C'_{\Sigma} \cdot (a - 1) \cdot E_A, \quad (3.1)$$

где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота, рад/с;

f – промышленная частота, Гц.

Результирующий емкостный ток $I'_{\Sigma} = I'_{B\Sigma} + I'_{C\Sigma}$ подтекает к т. K_1 на защищаемой линии.

Ток, вытекающий из точки K_1 и протекающий через защищаемую линию, имеет противоположную току I'_{Σ} полярность (направление от линии к шинам на рисунке 3.2 (а)):

$$3I_0 = -I'_{\Sigma} = -(I'_{B\Sigma} + I'_{C\Sigma}) = 3j\omega \cdot C'_{\Sigma} \cdot E_A. \quad (3.2)$$

Емкостные токи $I_{Вл}$ и $I_{Сл}$, подтекающие от фаз поврежденной линии к месту замыкания K_1 , соответственно равны:

$$I_{Вл} = j\omega_0 \cdot C_{Л} \cdot (a^2 - 1) \cdot E_A; I_{Сл} = j\omega \cdot C_{Л} \cdot (a - 1) \cdot E_A, \quad (3.3)$$

Суммарный емкостной ток линии $I'_{л} = I_{Вл} + I_{Сл}$ по знаку противоположен току $I_{л}$, протекающему к шинам по поврежденной фазе А. С учетом этого, в суммирующем трансформаторе ТА емкостные токи поврежденной линии взаимно компенсируются, так как $I_{Вл} + I_{Сл} + I_{л} = 0$.

Поэтому, при однофазных замыканиях на землю на защищаемой линии суммирующий трансформатор тока ТА измеряет сумму емкостных токов, которые создаются всеми внешними по отношению к защищаемой линии элементами энергосистемы.

При замыкании на землю в т. К2 на любом элементе энергосистемы вне рассматриваемой линии на рисунке 3.2 (б) через трансформатор ТА протекают только емкостные токи неповрежденных фаз линии. Утроенный ток нулевой последовательности, измеряемый защитой, равен:

$$3I_0 = I_{Вл} + I_{Сл} = -(I'_{B\Sigma} + I'_{C\Sigma}) = -3j\omega \cdot C_{л} \cdot E_A. \quad (3.4)$$

Следовательно, селективная защита от замыканий на землю выполняется с контролем токов нулевой последовательности, а ток срабатывания выбирается отстройкой от внешних замыканий от собственных емкостных токов линии по выражению (3.4). Отстройка производится при перемежающихся дуговых замыканиях с учетом возможных бросков емкостного тока. Также отстройка производится с учетом небаланса по току $3I_0$, обусловленного не идеальностью характеристик намагничивания трансформатора тока нулевой последовательности. Селективность защиты определяется различием емкостных токов при внешних и внутренних замыканиях на землю. Она обеспечивается лишь при условии, что емкость защищаемой линии значительно меньше эквивалентной суммарной емкости внешних элементов.

Принцип действия селективной токовой защиты нулевой последовательности основан на отслеживании значений тока $3I_0$ в защищаемом присоединении с заданной постоянной величиной тока срабатывания защиты при внутренних и внешних однофазных замыканиях на землю, его также называют принципом «абсолютного замера» тока $3I_0$. Этот принцип можно использовать для выполнения селективной защиты от однофазного замыкания на землю, если $(I_{C\Sigma} - I_{C1}) > I_{C1}$. Для сетей с довольно большим количеством присоединений выполняется соотношение $I_{C\Sigma} > I_{C1}$. Для подобных сетей ток $3I_0$ в поврежденном присоединении всегда больше, чем в любом из неповрежденных.

																			Лист	
																				26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																

При данных условно положительных направлениях токов нулевой последовательности в линиях ток $3I_0$ в поврежденном присоединении отстает, а в неповрежденном присоединении опережает напряжение $3U_0$ на угол $\pi/2$.

Замеряя ток фазы $3I_0$ по отношению к напряжению $3U_0$ можно определить присоединение с однофазным замыканием на землю. Данный метод абсолютного замера определения поврежденного присоединения используется в направленной токовой защите от однофазных замыканий на землю. Полная мощность нулевой последовательности, которая передается при однофазном замыкании на землю по линиям, фактически равна реактивной составляющей мощности. Если учесть малое значение активной составляющей токов $3I_0$, то направленную защиту разумно выполнять реагирующей на полную мощность нулевой последовательности.

В поврежденном и неповрежденном присоединениях фазы токов $3I_0$ всегда противоположны. Поврежденное присоединение можно определить, сравнивая между собой фазы токов $3I_0$ во всех присоединениях защищаемого объекта. Данный способ используется в централизованной токовой направленной защите относительного замера.

Общая неселективная сигнализация однофазных замыканий на землю по напряжению $3U_0$, токовая защита нулевой последовательности абсолютного замера и токовая направленная защита, которая реагирует на направление мощности нулевой последовательности в защищаемой линии при однофазных замыканиях на землю, получили практическое применение в электрических сетях.

3.2 Длинная линия и режимы ее работы

Длинная линия — модель линии передачи, продольный размер (длина) которой превышает длину волны, распространяющейся в ней (либо сравнима с длиной волны), а поперечные размеры (например, расстояние между проводниками, образующими линию) значительно меньше длины волны. Характерной особенностью длинной линии является проявление интерференции двух волн, распространяющихся навстречу друг другу. Одна из этих волн создается подключенным ко входу линии генератором электромагнитных колебаний и называется падающей. Другая волна называется отражённой и возникает из-за частичного отражения падающей волны от нагрузки, подключенной к выходу (противоположному генератору концу) линии. Всё разнообразие колебательных и волновых процессов, происходящих в длинной линии, определяется соотношениями амплитуд и фаз падающей и отраженной волн.

Длина колебания λ связана с частотой f зависимостью

$$\lambda = \frac{300}{f} \quad (3.5)$$

Различают три режима работы длинной линии:

										Лист
										27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ					

- режим бегущей волны;
- режим стоячей волны;
- режим смешанных волн.

Режим бегущей волны характеризуется наличием только падающей волны, распространяющейся от генератора к нагрузке. Отраженная волна отсутствует. Мощность, переносимая падающей волной, полностью выделяется в нагрузке.

Режим стоячей волны характеризуется тем, что амплитуда отраженной волны равна амплитуде падающей, то есть энергия падающей волны полностью отражается от нагрузки и возвращается обратно в генератор.

В режиме смешанных волн амплитуда отраженной волны удовлетворяет условию, что часть мощности падающей волны теряется в нагрузке, а остальная часть в виде отраженной волны возвращается обратно в генератор.

Любая длинная линия характеризуется рядом параметров, таких как волновое сопротивление, входное сопротивление линии передачи, условие постоянства входного сопротивления, работа источника сигнала с согласованной и рассогласованной нагрузкой и коэффициентом отражения, которые будут рассмотрены ниже.

3.2.1 Волновое сопротивление длинной линии

Упрощенная схема любой длинной линии может быть представлена в виде рисунка 3.4. На схеме Z_c означает сопротивление потерь, L и C – индуктивность и емкость, которые определяются конструктивными особенностями линии передачи.

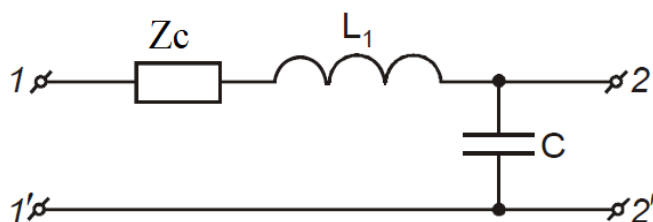


Рисунок 3.4 - Упрощенная схема длинной линии

Волновое, или как его ещё называют характеристическое, сопротивление линии передачи определяется именно этими конструктивными параметрами:

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3.6)$$

3.2.2 Входное сопротивление линии передачи

Входное сопротивление линии передачи зависит как от импеданса нагрузки, так и от плоскости, в которой осуществляется измерение. Выражение

для входного сопротивления длинной линии с волновым сопротивлением, нагруженной на комплексное сопротивление, будет равно:

$$Z_{\text{вх}} = Z_c \frac{Z_{\text{н}} + jZ_c \tan \beta l}{Z_c + jZ_{\text{н}} \tan \beta l}, \quad (3.7)$$

где - $Z_{\text{н}}$ - комплексное сопротивление;

$\beta = 2\pi/\lambda$ - фазовая постоянная;

l – длина длинной линии, отсчитываемая от плоскости включения нагрузки.

В общем случае, для разных плоскостей отсчета будет справедливо $Z_{\text{вх.1}} \neq Z_{\text{вх.2}} \neq Z_{\text{вх.3}}$, как показано на рисунке 3.5.

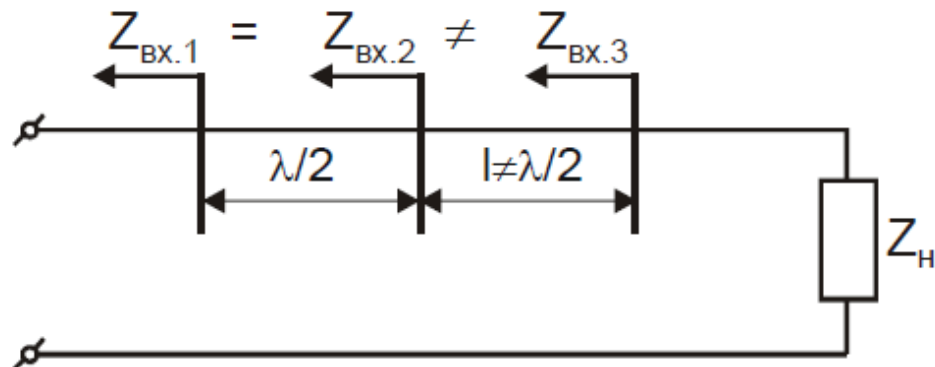


Рисунок 3.5 - Упрощенная схема длинной линии для разных плоскостей отсчета

Таким образом, продвигаясь в плоскости сечения длинной линии от комплексного сопротивления в направлении к генератору, ее входное сопротивление будет изменяться по формуле (3.6). В некоторых плоскостях оно будет носить емкостный характер, в некоторых – индуктивный, а в некоторых будет обладать чисто активным сопротивлением. Важно отметить, что через длины путей, кратные $\lambda/2$, численное значение входного сопротивления длинной линии (импеданса) будет повторяться.

3.2.3 Условие постоянства входного сопротивления длинной линии

Предположим, что в формуле (3.6) комплексное сопротивление нагрузки равно волновому сопротивлению длинной линии, т.е. $Z_{\text{н}} = R_{\text{н}} = Z_c$, то такая линия будет называться согласованной. Входное сопротивление такой длинной линии будет чисто активным, в ней отсутствуют реактивные составляющие, и равным сопротивлению нагрузки, соответственно и характеристическому сопротивлению линии передачи, вне зависимости от плоскости отсчета рисунок 3.5. Значит в таких линиях $Z_{\text{вх}} = R_{\text{вх}} = Z_c = R_{\text{н}}$.

3.2.4 Работа источника сигнала с согласованной длиной линии передачи

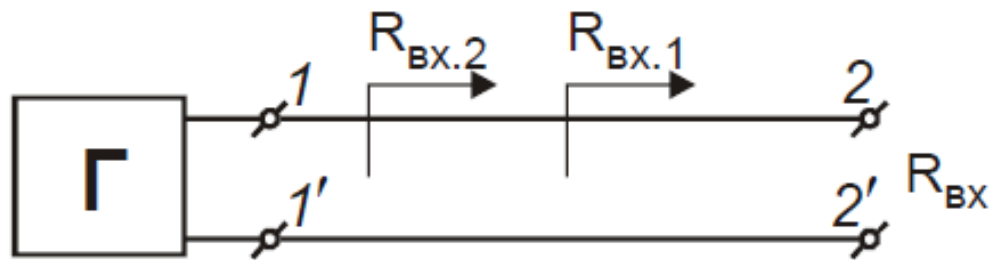


Рисунок 3.6 – Упрощенная схема работы источника сигнала с согласованной длиной линией

Опираясь на выше изложенный материал, можно сделать вывод, что входное сопротивление согласованной длиной линии, на клеммах 2-2', рисунок 3.6, всегда будет равно выходному сопротивлению источника сигнала, т.е. $R_{\Gamma} = Z_c = R_{\text{вх}}$. Если такую линию нагрузить на согласованную нагрузку $R_{\text{н}} = Z_c = R_{\Gamma}$, то в такую нагрузку будет поступать максимальная мощность от источника сигнала.

По аналогии будет вести себя согласованная линия, включенная на согласованную нагрузку рисунок 3.7.

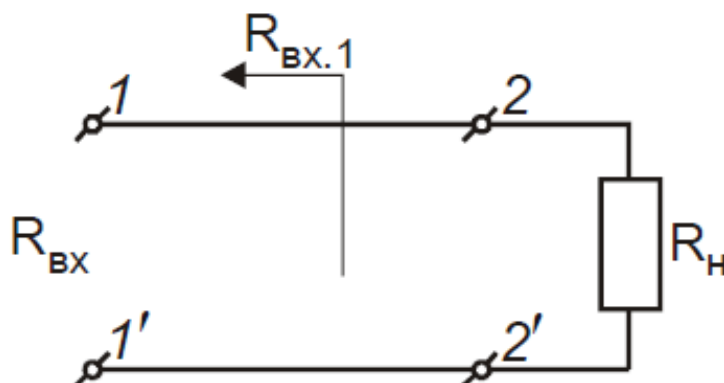


Рисунок 3.7 – Упрощенная схема согласованной длиной линии, включенной в согласованную нагрузку

Входное сопротивление такой линии передачи в любой плоскости будет равно сопротивлению согласованной нагрузки, т.е. $R_{\text{вх}} = Z_c = R_{\text{н}}$.

3.2.5 Работа линии на рассогласованную нагрузку

Работа линии на рассогласованную нагрузку на практике встречается довольно часто. Экспериментально сложно создать требуемое устройство с постоянным частотно независимым входным и выходным сопротивлением ($R_{\text{вх}} = R_{\text{вых}}$). Гораздо чаще встречаются случаи, когда различны сопротивление генератора, входное и волновое сопротивления длиной линии, т.е. $R_{\Gamma} \neq R_{\text{н}} \neq Z_c$. Для простоты рассуждений более удобно предположить, что сопротивление

генератора равно волновому сопротивлению длинной линии, т.е. $R_{\Gamma} = Z_c$ рисунок 3.8.

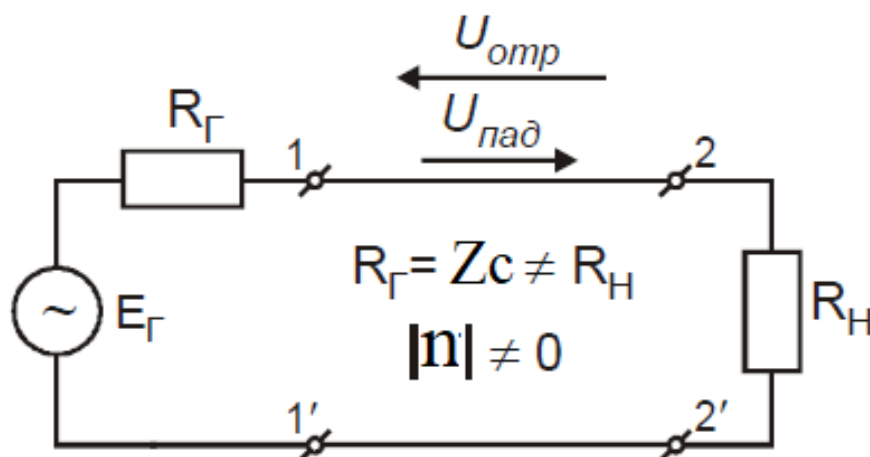


Рисунок 3.8 – Упрощенная схема рассогласованной линии

В этом случае, в плоскости сечений 1-1' и 2-2' входные сопротивления всегда останутся неизменными, по отношению к генератору, и равными волновому сопротивлению (для линии без потерь).

3.2.6 Коэффициент отражения

В рассогласованной линии электропередачи не вся номинальная мощность генератора будет поступать в нагрузку. Часть мощности (в зависимости от степени рассогласования линии) будет отражаться от сопротивления нагрузки R_N . Степень рассогласования такой линии характеризуется коэффициентом отражения – n .

$$|n| = \frac{U_{отр}}{U_{пад}} \leq 1, \quad (3.8)$$

где $U_{отр}$ – мощность отражения волны обратно в направлении к генератору;

$U_{пад}$ - мощность падения волны в направлении от генератора.

При наличии рассогласования в линии передачи ($R_{\Gamma} \neq R_N$) часть мощности отражается обратно в направлении к генератору $U_{отр}$ рисунок 3.8. В общем случае, коэффициент отражения n является комплексной величиной, характеризующей не только процент отражаемого напряжения, но и фазовый сдвиг между падающей $U_{пад}$ и отраженной $U_{отр}$ волнами. Однако на практике в большинстве случаев пользуются только понятием модуля коэффициента отражения - $|n|$. Исходя из физического смысла, модуль коэффициента отражения изменяется в пределах $0 \leq |n| \leq 1$ ($|n| > 1$ для нагрузок, обладающих отрицательным сопротивлением, например, туннельные диоды).

Очевидно, что идеальным случаем является $|n| = 0$ (режим полного согласования). В этом случае отражения от нагрузки отсутствуют. Наихудшим случаем является работа линии на короткозамкнутую нагрузку ($R_N = 0$) или обрыв линии ($R_N = \infty$). Для таких режимов $|n| = 1$ (100% отражения) и амплитуды

падающей и отраженной волн равны между собой. Напряжение в такой линии зависит от рассматриваемой плоскости сечения и изменяется от нуля до удвоенной амплитуды падающей волны $U_{пад}$.

3.3 Собственные резонансные частоты стоячих волн

Резонанс — это явление отклика колебательной системы на внешнее воздействие. При совпадении периодов воздействия и отклика системы возникает резонанс — резкое увеличение амплитуды рассматриваемых колебаний.

Частота колебаний - количественная характеристика периодического колебательного процесса, равная числу полных колебаний, совершаемых в единицу времени.

В случае свободных колебаний некоторых физических систем, например струн, столбов газа и др., устанавливаются стоячие волны, частоты которых удовлетворяют определенным условиям, т. е. могут принимать только определенные дискретные значения, называемые собственными частотами данной колебательной системы. Частоты стоячих волн называют собственными, или резонансными, т. к. такие колебания сопровождаются резонансными явлениями.

Выводы по главе три:

Исследование показало, что метод стоячих волн предполагает рассматривать линию электропередачи как длинную линию без потерь, то есть как линию с распределенными параметрами, так как она находится в довольно высоких частотах.

Расстояние между резонансными частотами, минимумом и максимумом входного сопротивления зависит от расстояния до однофазного замыкания на землю.

									Лист
									32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ				

4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОИСКА МЕСТА ОЗЗ МЕТОДОМ СТОЯЧИХ ВОЛН

4.1 Математические основы процесса поиска места ОЗЗ

Метод стоячих волн предполагает, что будет измеряться полное входное сопротивление поврежденной линии в достаточно широком диапазоне частот. Как известно, расстояние между резонансными частотами, минимумом и максимумом входного сопротивления зависит от расстояния до однофазного замыкания на землю.

Предполагается рассмотреть линию электропередачи как длинную линию, то есть как линию с распределенными параметрами, так как она находится в довольно высоких частотах.

Электрический ток и напряжение в длинной линии будут являться функциями двух независимых переменных: времени t и пространственной координаты x , которая определяет место на линии, где рассматривается ток и (или) напряжение.

При синусоидальном напряжении источника питания напряжение в любой точке длинной линии электропередачи можно представить в виде суммы двух слагаемых:

$$U = U_m^+ \cdot e^{j\omega t - \gamma x} + U_m^- \cdot e^{j\omega t + \gamma x}, \quad (4.1)$$

где U_m^+ – комплексная амплитуда прямой волны напряжения;

U_m^- – активная мощность трансформатора;

γ – постоянная распространения.

Пусть в точке $x = 0$ однофазное замыкание на землю через переходное сопротивление Z_n . Тогда выражение примет вид:

$$U(x, t) = U_m^+ \cdot (e^{j\omega t - \gamma x} + n e^{j\omega t + \gamma x}), \quad (4.2)$$

где n – коэффициент отражения волны напряжения в месте повреждения.

Коэффициент отражения определяется по выражению:

$$n = \frac{Z_n - Z_c}{Z_n + Z_c}, \quad (4.3)$$

где Z_c – волновое сопротивление линии, Ом.

Рассматривая воздушную линию, как линию без потерь, необходимо определить собственную резонансную частоту для поврежденного участка линии, при которой напряжение и ток будут достигать максимального значения:

$$f_{\text{РЕЗ}} = \frac{V_\phi}{4l_k}, \quad (4.4)$$

где l_k – расстояние от начала линии до места повреждения, км;

V_ϕ – фазовая скорость (скорость распространения волны), км/с.

Тогда фазовый коэффициент определяется следующим выражением:

									Лист
									33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ				

$$\beta = \omega \sqrt{L_0 C_0} = \frac{\omega}{v_\Phi} = \frac{2\pi f_{\text{рез}}}{v_\Phi}, \quad (4.5)$$

где L_0 - удельная индуктивность линии электропередачи, Гн/км;

C_0 - удельная емкость линии, Ф/км.

Волновое сопротивление линии и длина волны, соответственно, будут равны:

$$Z_C = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}, \quad (4.6)$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}, \quad (4.7)$$

Длина волны λ , полученная в выражении, пропорциональна расстоянию от начала линии до места однофазного замыкания.

При однофазном замыкании на землю в конце линии распределение тока и напряжения описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \dot{U} = jI_2 Z_C \sin \beta x' \\ i = I_2 \cos \beta x' \end{cases}, \quad (4.8)$$

$$\begin{cases} u = I_{2m} Z_C \sin \beta x' \cdot \sin(\omega t + 90^\circ) = U_{2m} \cdot \sin \beta x' \cdot \sin(\omega t + 90^\circ) \\ i = I_{2m} \cos \beta x' \cdot \sin \omega t \end{cases}, \quad (4.9)$$

где I_{2m} – амплитудное значение тока, А;

U_{2m} – амплитудное значение напряжения, В;

x' - расстояние от рассматриваемой точки до начала линии, км.

4.2 Анализ результатов моделирования

Определение графиков распределения напряжения и тока вдоль линии рассматривается на примере действующей подстанции Алишезская 110/10кВ г. Челябинск, которая питает садовое независимое товарищество Курчатовец пос. Трубный.

Схема электроснабжения потребителей ПС Алишезская 110/10 кВ представлена на рисунке 4.1.

					13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

ВЛ 110кВ, "Алишевская"

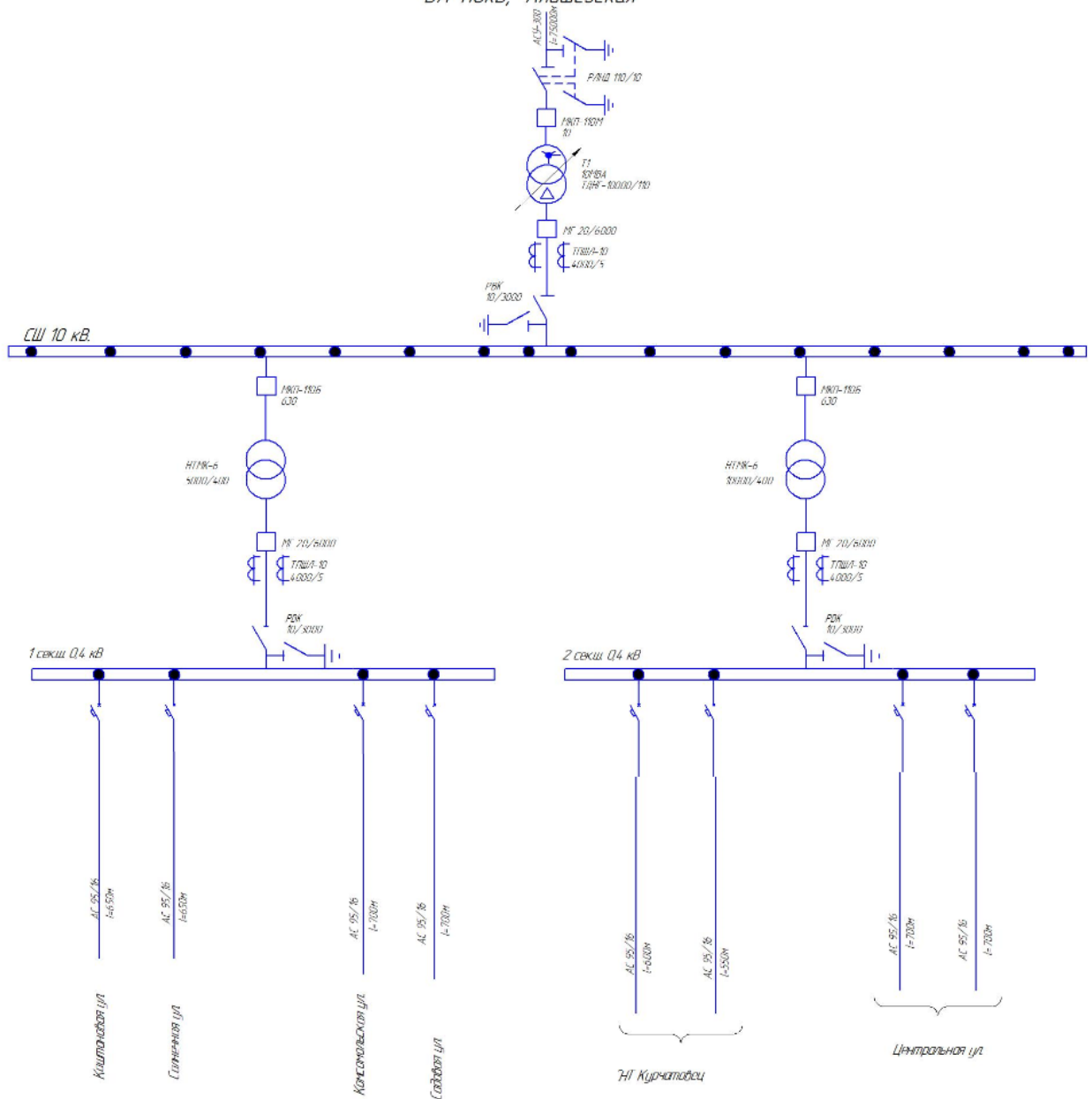


Рисунок 4.1 – Электроснабжение потребителей подстанции Алишевская 110/10 кВ

Протяженность ВЛ составляет 75 км. Все потребители ПС относятся к 3 категории надежности электроснабжения, которая допускает отключение электроснабжения не более 24 часов подряд. Предполагается, что в конце линии на расстоянии $l = l_k = 5$ км произошло однофазное замыкание. Необходимо определить резонансную частоту поврежденного участка, при которой возникает эффект стоячих волн, и построить графики распределения напряжения и тока в линии при следующих параметрах: $r_0 = 0,241 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$; $L_0 = 0,0013 \frac{\text{Гн}}{\text{км}}$; $C_0 = 0,008 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Ф}}{\text{км}}$; $V_\Phi = 300000 \frac{\text{кВ}}{\text{с}}$.

Рассматривая данную линию как линию без потерь, получим следующие значения резонансной частоты, фазового коэффициента, волнового сопротивления и длины волны:

$$f_{\text{РЕЗ}} = \frac{V_{\Phi}}{4l_{\text{к}}} = \frac{300000}{4 \cdot 5} = 15 \text{ кГц};$$

$$\beta = \frac{2\pi f_{\text{рез}}}{V_{\Phi}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 15000}{300000} = 0,314 \frac{\text{рад}}{\text{км}};$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \sqrt{\frac{0,0013}{0,08 \cdot 10^{-6}}} = 403,11 \text{ Ом};$$

Длина волны при этом будет равна:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2 \cdot 3,14}{0,314} = 20 \text{ км.}$$

Согласно системе уравнений (4.9), напряжение опережает ток на 90 градусов. Построим графики распределения тока и напряжения вдоль линии при частоте $f_{\text{РЕЗ}} = 15 \text{ кГц}$. Амплитудное значение напряжения $U_{2m} = 50 \text{ В}$, тока $I_{2m} = 1 \text{ А}$. Зависимости представлены на рисунке 4.2. Согласно рисунку, величина тока в начале линии достигает максимального значения только в случае $\lambda \sim l_{\text{к}}$.

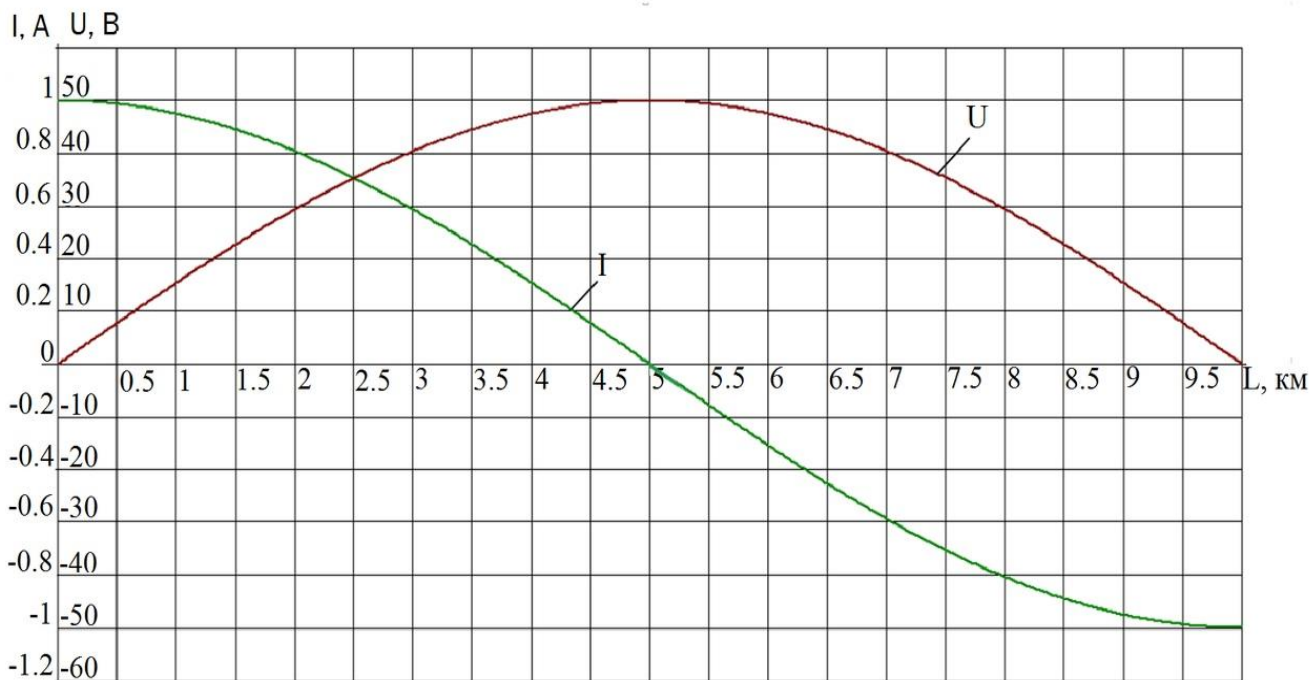


Рисунок 4.2 - График распределения напряжения и тока вдоль линии

На рисунке 4.3 представлена зависимость действующего значения тока в начале линии от частоты источника питания, подключаемого в начале линии



$$I = f(f_{\text{РЕЗ}}).$$

Рисунок 4.3 – Зависимость действующего значения тока в начале линии от частоты источника питания

Полученные результаты наглядно показывают, что при использовании метода стоячих волн линию электропередачи можно рассматривать как длинную линию и условия резонанса возникают только в том случае, если $\lambda \sim l_{\text{к}}$.

Зачастую, при однофазном замыкании на землю, в месте повреждения присутствует переходное сопротивление. Оно имеет активных характер и обозначается как $R_{\text{п}}$. При наличии переходного сопротивления, амплитуда тока в начале линии будет уменьшаться. Полученные зависимости при значениях $0 \leq R_{\text{п}} \leq 500$ Ом представлены на рисунке 4.4.

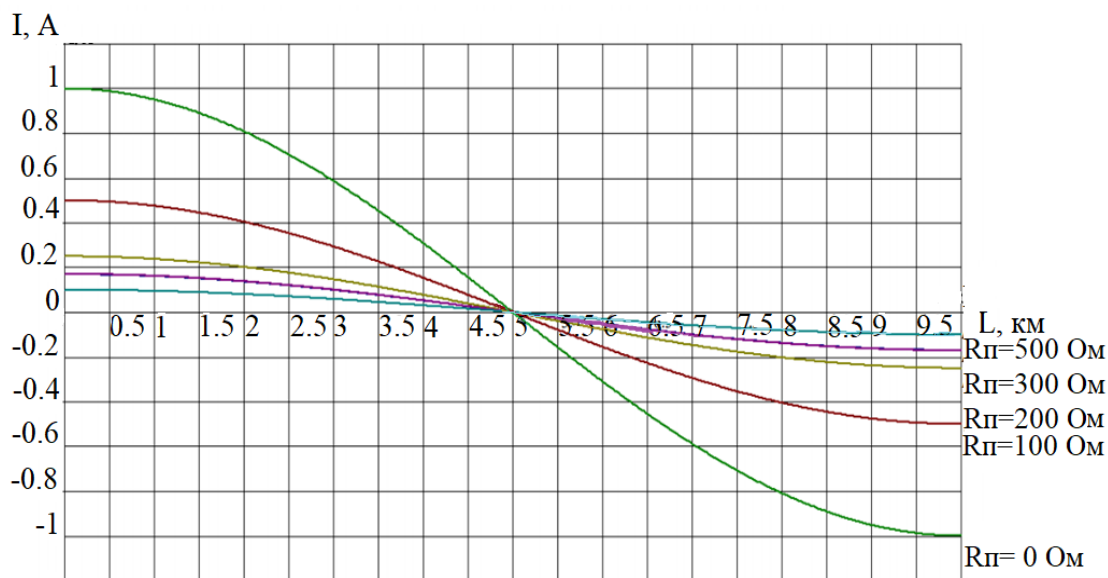


Рисунок 4.4 – Зависимость распределения тока вдоль линии при различных

значениях R_n

Было установлено, что при $R_n < 100$ Ом погрешность в определении расстояния до места ОЗЗ не превышает 1%. При увеличении переходного сопротивления до 500 Ом погрешность линейно возрастает до 3,5%. Зависимость погрешности определения расстояния до места повреждения от R_n представлена на рисунке 4.5. Величина переходного сопротивления при пробое линейного изолятора может достигать 100-200 Ом. При падении провода на землю или снег R_n может достигать нескольких кОм.

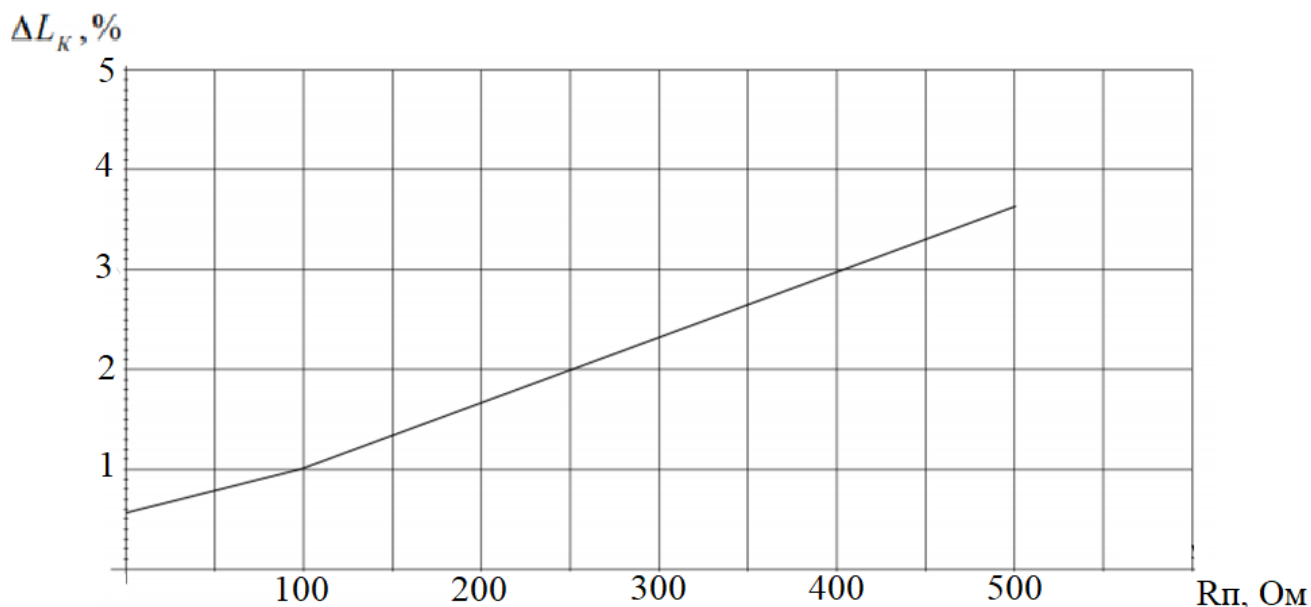


Рисунок 4.5 – Зависимость погрешности определения расстояния до места повреждения от переходного сопротивления R_n

Выводы по главе четыре:

- при использовании метода стоячих волн линию электропередачи можно рассматривать как длинную линию и длина волны будет пропорциональна расстоянию до места ОЗЗ;
- погрешность в определении расстояния до места ОЗЗ при $R_n < 100$ не превышает 1%;
- при увеличении переходного сопротивления до 500 Ом погрешность линейно возрастает до 3,5%.

5 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ОЗЗ

5.1 Разработка алгоритма ОМП

На основе использования метода стоячих волн, был разработан алгоритм определения места повреждения ВЛ при ОЗЗ. Алгоритм условно можно разделить на две части:

- выполнение измерений на одной из неповрежденных фаз линии с целью определения резонансной частоты f_1 ;
- проведение измерений непосредственно на поврежденной фазе и определение частоты f_2 .

Согласно методу стоячих волн, расстояние до места однофазного замыкания на землю будет пропорционально длине волны только в том случае, если значение тока в линии максимально (при этом входное сопротивление линии минимально). Определить минимальное входное сопротивление легче всего измерением тока, текущего по линии, при поддержании напряжения на входе постоянным.

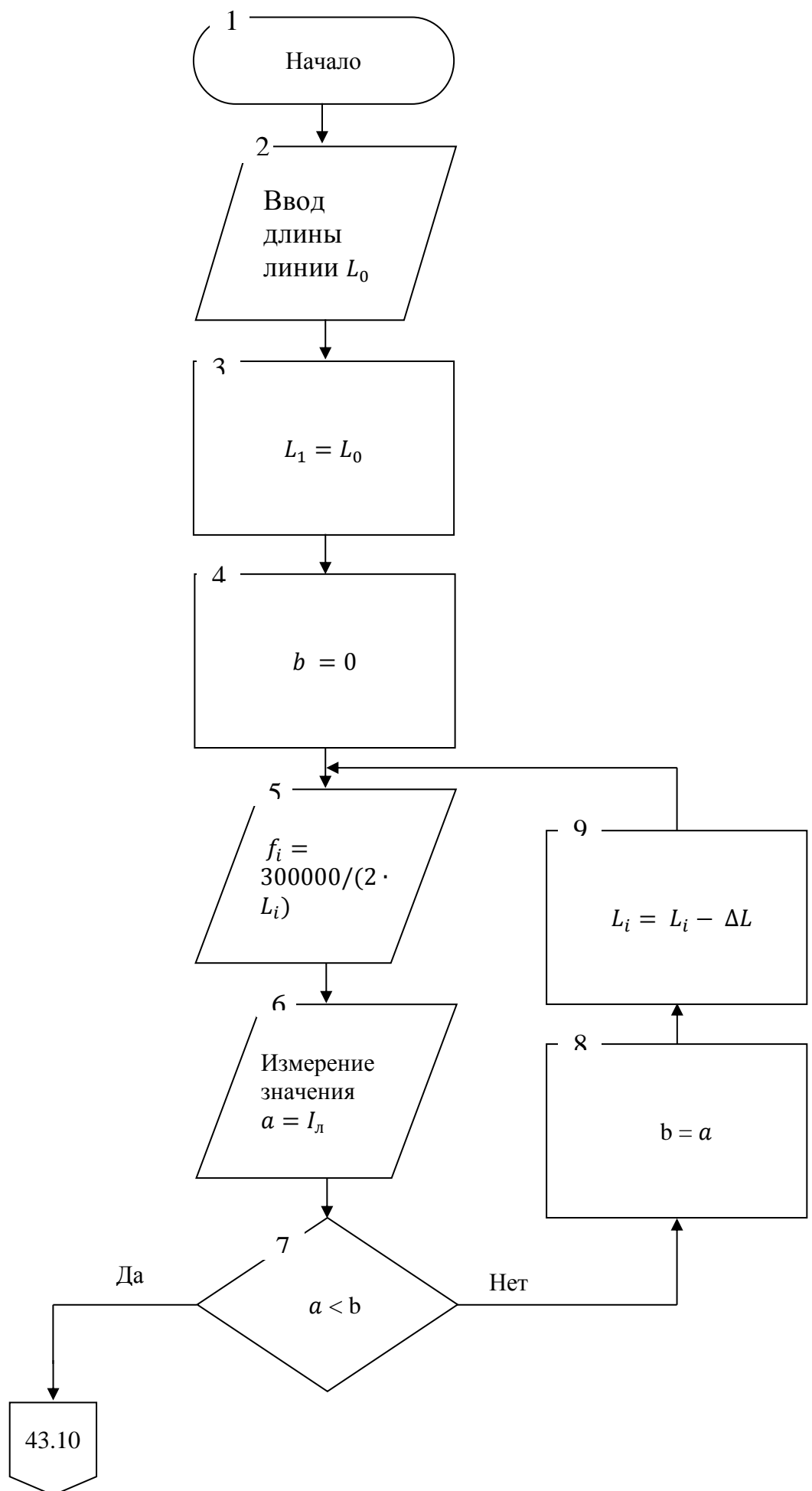
Описание алгоритма:

1. Выполняется подключение к одной из неповрежденных фаз линии электропередачи.
2. Осуществляется ввод исходных данных: длины линии L_0 .
3. Значение длины линии приравнивается начальному значению $L_i = L_0$.
4. Принимается начальное, нулевое значение тока в начале линии $b = 0$.
5. Осуществляется генерация синусоидального сигнала с частотой $f_1 = \frac{300000}{2L_1}$.
6. Определяется значение тока в линии при частоте f_i , $a = I_l$.
7. Выполняется сравнение полученного и заданного значений токов в линии $a < b$. Если это условие не выполняется, то цикл должен повториться, при этом значение b приравнивается к a . Длина линии L_i уменьшается на величину ΔL .
8. После того, как определено максимальное значение тока в линии и условие $a < b$ выполняется, цикл на этом завершается и последнее значение частоты $f_1 = f_i$ сохраняется.
9. Для определения расстояния до места повреждения выполняются аналогичные измерения на поврежденной фазе линии электропередачи. Только при этом определяется резонансная частота для поврежденного участка $f_2 = f_i$.
10. На основе полученных измерений выполняется определение расстояния до места повреждения $L_k = \frac{300000}{2 \cdot (f_2 - f_1)}$.

					13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

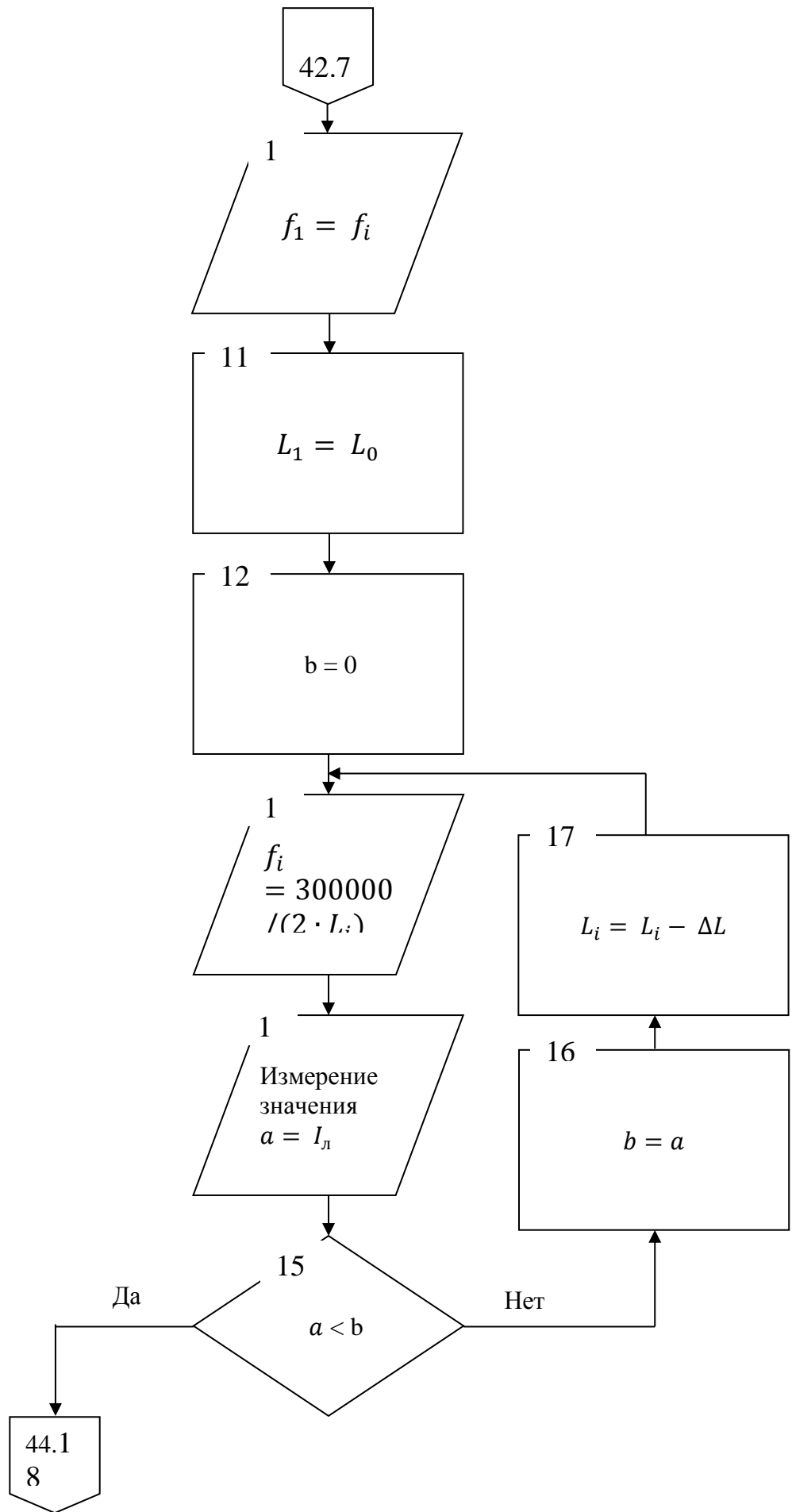
Выражение $L_k = \frac{300000}{2 \cdot (f_2 - f_1)}$ будет являться основой предполагаемой алгоритма дистанционного определения места повреждения на основе метода стоячих волн.

					13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ

Лист

42

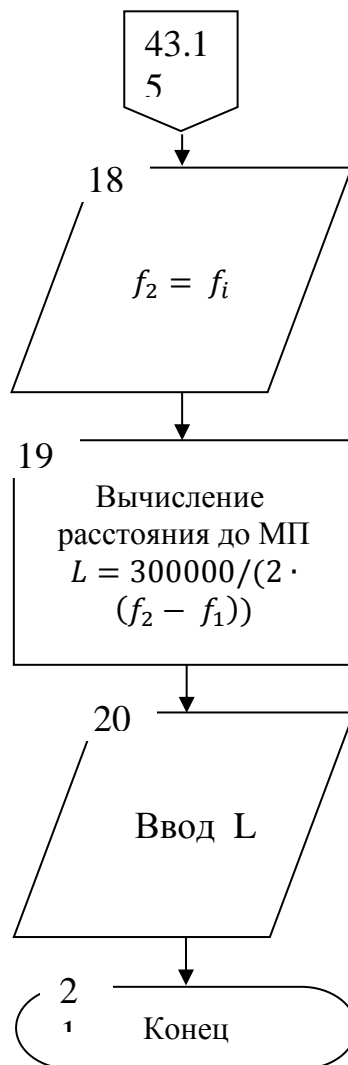


Рисунок 5.1 – Алгоритм определения места однофазного замыкания на землю

Алгоритм определения места ОЗЗ представлен на рисунке 5.1. На первом этапе используется с помощью дистанционного метода стоячих волн осуществляется оценка технического состояния и определяются присоединения. Для этого предлагается высокочастотное устройство. Выходные характеристики параметров поврежденной линии в момент ОЗЗ загружаются в математическую модель, выполненную в графической среде «Simulink», из которой извлекаются необходимые данные для определения места однофазного замыкания на землю, размещаются в математическую программу «Mathcad», с помощью которой вычисляется расстояние до места ОЗЗ.

5.2 Методика определения места повреждения методом стоячих волн

Определение места повреждения линии электропередач в общем случае включает в себя следующие последовательные операции:

1. Регистрация факта возникновения однофазного замыкания на землю. Для этого используется либо неселективная сигнализация, либо селективные защиты от однофазных замыканий на землю.
2. Определение поврежденного присоединения, в случае использования неселективной сигнализации замыканий на землю.
3. Отключение поврежденного присоединения согласно порядку выполнения оперативных переключений.
4. После отключения линии, она разземляется со стороны подключения устройства ОМП. С противоположной стороны заземление не снимают. При этом необходимо полностью исключить возможность поражения электрическим током.
5. Когда необходимые операции выполнены, приступают к определению расстояния до места повреждения. Согласно алгоритму, приведенному выше, измерения выполняются на одной из неповрежденных фаз. Измерительный ввод устройства подключается непосредственно к линии электропередачи. В качестве исходных данных оператор вводит длину поврежденной линии.
6. После того как длина линии задана, осуществляется генерация синусоидального сигнала переменной частоты.
7. Когда измерения на неповрежденной фазе линии выполнены, устройство переключается на поврежденную фазу линии электропередачи. Выполняется определение резонансной частоты поврежденного участка линии и расстояния до места повреждения. На этом процесс дистанционного определения места повреждения считается завершенным.

Вывод по главе пять:

Проведенное исследование показало актуальность создания комплексного способа, позволяющего дистанционно определять место повреждения, после чего ремонтная бригада направляется к месту повреждения.

					13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

6.1 Общие положения

Эксплуатация ВЛ заключается в проведении технического обслуживания и капитального ремонта, направленных на обеспечение их надежной работы. Техническое обслуживание состоит из комплекса мероприятий, направленных на предохранение элементов ВЛ от преждевременного износа. При техническом обслуживании должны выполняться осмотры, проверки, измерения, отдельные виды работ. При капитальном ремонте ВЛ должен быть выполнен комплекс мероприятий по поддержанию или восстановлению первоначальных эксплуатационных показателей и параметров ВЛ или отдельных ее элементов. При этом изношенные детали и элементы либо ремонтируются, либо заменяются более прочными и экономичными, улучшающими эксплуатационные характеристики линии. Устранение неисправностей, а также повреждений непредвиденного характера должно производиться при очередном капитальном ремонте, техническом обслуживании. Повреждения, которые могут привести к аварии, должны устраняться немедленно. Техническое обслуживание и капитальные ремонты ВЛ, а также реконструктивные, погрузочно-разгрузочные работы, непосредственно связанные с эксплуатацией ВЛ, должны производиться с использованием машин, механизмов и приспособлений, предусмотренных «Нормативами комплектования автотранспортными средствами, спецмеханизмами и тракторами производственных подразделений Минэнерго СССР для технического обслуживания и ремонта электрических сетей». [12]

При техническом обслуживании и капитальном ремонте ВЛ применяется один из следующих методов:

- комплексный, когда одна или несколько бригад выполняет полный объем работ на данном участке ВЛ в течение возможно более короткого срока;
- по видам работ, т.е. специализированные бригады выполняют однотипные работы на одной или нескольких параллельных ВЛ (например, замену приставок и выправку опор под напряжением, окраску металлических опор, расчистку трасс от зарослей и т.д.).

Техническое обслуживание и капитальный ремонт рекомендуется выполнить преимущественно комплексным методом.

Работы по техническому обслуживанию и капитальному ремонту комплексным методом или по видам работ рекомендуется выполнять бригадами централизованного обслуживания, организуемыми в службе линий или территориальных производственных подразделений предприятиями электрических сетей.

При определении зон обслуживания ВЛ бригадами централизованного обслуживания рекомендуется руководствоваться следующим:

- оптимальная зона обслуживания ВЛ одной ремонтно-производственной базой (РПБ), при которой обеспечивается наиболее эффективная загрузка

										Лист
										45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ					

персонала и рациональное использование средств механизации: протяженность ВЛ (в зависимости от плотности электрических сетей, их состояния и состояния дорог) - от 500 до 1500 км линий по цепям и расстояние до наиболее удаленных объектов в зоне обслуживания - 40 км.

- допустимая зона обслуживания: наименьшая протяженность ВЛ - 200-300 км линий по цепям и наибольшее расстояние до объектов обслуживания (в зависимости от плотности электрических сетей и состояния дорог) - 80-100 км.

Бригады централизованного обслуживания ВЛ должны быть обеспечены:

- механизмами, автотранспортом, инструментом, защитными средствами;
- производственными и бытовыми помещениями: кладовыми, складами, мастерскими, гаражами для автомашин и механизмов, раздевалками, душевыми и т.п.

Ответственность за техническое состояние машин, механизмов, специализированного оборудования, их своевременный ремонт и испытания возлагается на службу механизации и транспорта (или аналогичную службу) предприятия электрических сетей (энергосистемы, объединения). Производственные подразделения ПЭС, обслуживающие ВЛ, несут ответственность за нормальную эксплуатацию закрепленных за ними средств механизации. Ответственность за эксплуатацию такелажных приспособлений, инструмента и другого оборудования, их своевременный ремонт и испытания возлагается на руководителей (мастеров) производственных подразделений, за которыми закреплено это оборудование. Механизмы, инструмент и приспособления для работ на ВЛ должны постоянно содержаться в исправном состоянии, своевременно испытываться и ремонтироваться. Конструктивные изменения опор и других элементов ВЛ, а также закрепление опор в грунте должны выполняться только при наличии технического обоснования и с разрешения главного инженера ПЭС. Плановые работы по ремонту и техперевооружению ВЛ, проходящих по сельскохозяйственным угодьям, должны производиться по согласованию с землепользователями и, как правило, в период, когда эти угодья не заняты сельскохозяйственными культурами или когда возможно обеспечение сохранности этих культур. Работы по ликвидации аварий и техническому обслуживанию ВЛ могут производиться в любой период без согласования с землепользователем, но с уведомлением его о проводимых работах. После выполнения указанных работ ПЭС, в ведении которого находятся ВЛ, должно привести земельные угодья в состояние, пригодное для использования по целевому назначению, а также возместить землепользователям убытки, причиненные при проведении работ.

Порядок эксплуатации ВЛ на территории предприятий и организаций, в полосах отвода железных и автомобильных дорог, вблизи аэродромов, в охранных зонах трубопроводов и линий связи должен согласовываться ПЭС, в ведении которого находятся эти ВЛ, с соответствующими предприятиями и организациями. Техническому персоналу ПЭС, в ведении которых находятся эти

										Лист
										46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ					

ВЛ, должно предоставляться право беспрепятственного доступа к ВЛ для их ремонта и технического обслуживания. [11]

Если ВЛ расположены на территории запретных зон, то соответствующие организации должны выдавать работникам, обслуживающим эти ВЛ, пропуска для проведения осмотров и ремонтных работ в любое время суток.

6.2 Планирование работ на ВЛ и оформление технической документации

Для обеспечения планирования работ должны составляться годовые и месячные планы и графики технического обслуживания и ремонта ВЛ. Годовые планы работ по техническому обслуживанию и ремонту ВЛ составляются службой линий или руководством РЭС на основании многолетних графиков. Планы материально-технического снабжения должны полностью соответствовать объемам и срокам, предусмотренным планом проведения капитального ремонта.

Годовые планы работ на ВЛ рекомендуется оформлять в виде: планов-графиков работ по техническому обслуживанию и ремонту каждой ВЛ. Планы-графики составляются в нескольких экземплярах (для мастера бригады централизованного обслуживания, службы линий, планового отдела и вышестоящей организации) и утверждаются ПЭС. При составлении планов и планов-графиков комплексных работ должен учитываться сезонный характер отдельных видов работ. Все изменения на существующих ВЛ, а также технические данные новых объектов после их приемки подлежат немедленному занесению в техническую документацию. В сроки, установленные руководством ПЭС, мастерами бригад, обслуживающих ВЛ, и инженерно-техническим персоналом службы линий или территориальных производственных подразделений, производится сдача-приемка выполненных объемов работ по каждой линии с соответствующим оформлением в планах-графиках и оценкой качества проведения этих работ. Плановый отдел на основании принятых службой линий объемов работ составляет сводный отчет в денежном выражении с указанием физических объемов выполненных основных работ по капитальному ремонту и представляет его в вышестоящую организацию.

Техническая документация по эксплуатируемым ВЛ - утвержденный проект, паспорт ВЛ, рабочие чертежи и схемы, исполнительная трасса (профиль), журналы монтажа, акты на скрытые работы, протоколы испытаний и измерений, акты измерений и осмотров, акты приемки и эксплуатацию, материалы учета технического обслуживания и ремонта ВЛ - должна храниться в ПЭС.

При отсутствии проектной документации по ВЛ необходимые характеристики ее элементов и конструкций должны быть определены на основании технической инвентаризации и расчетов.

6.3 Техническое обслуживание ВЛ

					13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Техническое обслуживание ВЛ осуществляется за счет средств, выделяемых на эти работы. Работы, не отличающиеся по своему характеру от производимых при техническом обслуживании, но выполняемые одновременно с капитальным ремонтом, осуществляются за счет средств на капитальный ремонт. Перечень и сроки проведения работ (осмотры, проверки и измерения, выполнение отдельных видов работ по устранению мелких повреждений и неисправностей), выполняемых при техническом обслуживании ВЛ, приведены в Таблице 6.1

Таблица 6.1 – Перечень работ, выполняемых при техническом обслуживании ВЛ, и сроки их проведения.

Наименование работы	Сроки проведения	Примечание
Периодические осмотры в дневное время без подъема на опоры	Не реже 1 раза в год	По графикам, утвержденным главным инженером ПЭС
Верховые осмотры с выборочной проверкой состояния проводов и тросов в зажимах и дистанционных распорках	Не реже 1 раза в 6 лет	При обнаружении повреждения проводов от вибрации производится сплошная проверка с выемкой проводов из поддерживающих зажимов
Выборочные осмотры отдельных ВЛ (или их участков), выполняемые инженерно-техническими работниками ПЭС	Не реже 1 раза в год	-
Осмотры ВЛ (или их участков), на которых производился капитальный ремонт, инженерно-техническими работниками ПЭС	После каждого капитального ремонта	-
Проверка противопожарного состояния трассы в зоне возможных пожаров	При осмотрах ВЛ	-
Проверка расстояний от проводов до поверхности земли и различных объектов, до пересекаемых сооружений	При осмотрах ВЛ	-
Проверка положения опор	При осмотрах ВЛ	-
Проверка и подтяжка бандажей, болтовых соединений и гаек анкерных болтов опор	Не реже 1 раза в 6 лет	-
Проверка состояния антикоррозионного покрытия металлических опор и траверс, металлических подножников и анкеров оттяжек с выборочным	Не реже 1 раза в 6 лет	Одновременно с верховыми осмотрами ВЛ

вскрытием грунта

Окончание таблицы 6.1

Наименование работы	Сроки проведения	Примечание
Проверка фарфоровых и стеклянных изоляторов всех типов	При осмотрах ВЛ	Проверка производится визуально
Проверка наличия и состояния заземляющих проводников и их соединений с заземлителями на опорах ВЛ	При осмотрах ВЛ, после капитального ремонта или реконструкции заземляющего устройства	
Проверка трубчатых разрядников и защитных промежутков	При осмотрах ВЛ	Трубчатые разрядники 1 раз в 3 года должны быть сняты с опор для проверки
Вырубка отдельных деревьев (угрожающих падением на ВЛ или разрастанием в сторону ВЛ на недопустимые расстояния), обрезка сучьев	По мере необходимости	
осстановление знаков и плакатов на отдельных опорах	По мере необходимости	
Замена отдельных элементов ВЛ (утративших в период между очередными капитальными ремонтами нормативные характеристики), выправка отдельных опор, замена трубчатых разрядников, подтяжка болтовых соединений	По мере необходимости	
Технический надзор за проведением работ при сооружении ВЛ	При сооружении новых ВЛ	

Осмотры, проверки и измерения производятся для выявления нарушений и неисправностей, возникающих на ВЛ и трассах. Их рекомендуется производить комплексно, одновременно на одной или нескольких параллельно идущих ВЛ, если по технологическим требованиям это возможно в данное время года. Проверка загнивания деталей деревянных опор выполняется в летнее время и может совмещаться с другими работами по техническому обслуживанию данной ВЛ. Работы по техническому обслуживанию ВЛ выполняются электромонтерами ПЭС, за исключением выборочных осмотров и осмотров ВЛ

после капитального ремонта, которые выполняются инженерно-техническими работниками.

6.4 Осмотры ВЛ

При эксплуатации ВЛ должны производиться их периодические и внеочередные осмотры.

Периодические осмотры производятся в дневное время для подетальной и тщательной проверки состояния всех элементов ВЛ и ее трассы; графики периодических осмотров утверждаются главным инженером ПЭС. Периодические осмотры производятся без подъема на опоры, с подъемом на высоту (верховые осмотры), с выборочной проверкой состояния проводов и тросов в зажимах и дистанционных распорках. Периодические осмотры отдельных ВЛ (или их участков) инженерно-техническими работниками производятся выборочно с выборочными измерениями изоляции, соединений проводов и тросов, загнивания древесины. Осмотры ВЛ инженерно-техническими работниками производятся также после окончания капитального ремонта ВЛ.

Верховые осмотры ВЛ проводятся для выявления неисправностей крепления подвесок, проводов, грозозащитных тросов, верхней части опор, изоляторов и степени их загрязненности, проверки правильности и надежности крепления гасителей вибрации, трубчатых разрядников, для закрепления оттяжек и т.п. Такие осмотры с выборочной проверкой состояния проводов, тросов в зажимах и дистанционных распорках производятся с выемкой проводов (тросов) из зажимов.

Внеочередные осмотры производятся для выявления неисправностей на ВЛ, которые могут возникнуть после стихийных явлений или в условиях, которые могут привести к повреждениям ВЛ (сверхрасчетный гололед, ледоход и разливы рек на участках ВЛ в поймах рек, пожары вблизи ВЛ, ураганы, оползни, обвалы, пляска проводов и тросов, туманы и морозящие дожди в зонах загрязнения и т.п.). Внеочередные осмотры производятся также после автоматического отключения ВЛ действием релейной защиты; по усмотрению руководства ПЭС они могут быть произведены и после успешного повторного включения ВЛ. Внеочередные осмотры ВЛ после автоматических отключений следует производить с учетом показаний приборов определения мест повреждений и работы релейной защиты. При выполнении внеочередного осмотра после отключения ВЛ или успешного повторного включения ВЛ основное внимание должно быть обращено на выяснение причины отключения или появления земли и на определение места и объема повреждения. При этом необходимо тщательно осмотреть места пересечения отключившейся ВЛ с другими ВЛ и линиями связи в целях обнаружения следов оплавления на них.

					13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Осмотры (периодические и внеочередные) производятся пешком, а также с использованием транспортных средств, в том числе самолетов, вертолетов.

Лица, производящие осмотры, обязаны принять на месте все возможные меры для устранения обнаруженных нарушений требований [13], обращаясь за содействием к органам власти и администрации соответствующих предприятий. Лица, производящие осмотры, обязаны немедленно доложить руководству или дежурному диспетчеру ПЭС о неисправностях, могущих привести к повреждению ВЛ, используя для этого телефонную связь, радиосвязь, попутный транспорт.

Расстояния от проводов до зданий и сооружений, расположенных вблизи ВЛ, должны проверяться от проекции крайнего провода при наибольшем его расчетном отклонении до ближайших выступающих частей этих зданий и сооружений. При измерениях расстояний от проводов до поверхности земли и различных объектов, а также стрел провеса следует фиксировать температуру воздуха.

6.5 Капитальный ремонт ВЛ

6.5.1 Общие положения

Капитальный ремонт ВЛ или отдельных участков должен производиться в сроки, устанавливаемые в зависимости от конструкции ВЛ, технического состояния ее элементов и условий эксплуатации (природные условия, агрессивность атмосферы и грунтовых вод, состояние грунтов и др.)

Периодичность капитального ремонта ВЛ на железобетонных и металлических опорах - не реже 1 раза в 12 лет, ВЛ на опорах с деревянными деталями - не реже 1 раза в 6 лет.

За счет средств на капитальный ремонт выполняются все подготовительные работы по ремонту, в том числе измерения и испытания, необходимые для определения объема капитального ремонта. В тех случаях, когда проведение капитального ремонта ВЛ или отдельного ее участка экономически нецелесообразно, за счет средств на капитальный ремонт должны осуществляться только работы по поддержанию отдельных элементов ВЛ в состоянии, обеспечивающем ее нормальную эксплуатацию в течение соответствующего периода. К таким случаям относятся такие случаи, как намечаемый перенос ВЛ в связи с предстоящим строительством на одном из участков трассы предприятий, отдельных сооружений и зданий и проектируемые или предполагаемые техническое перевооружение, реконструкция или модернизация ВЛ [14].

При капитальном ремонте выполняются следующие виды работ:

- расчистка трасс (очистка просек от кустарника, порубочных остатков, хвороста, сучьев, зарослей, сваленных деревьев); на работы по очистке трасс в пределах просеки не требуется оформление разрешения в органах лесного хозяйства;

									Лист
									51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ				

- поддержание ширины просеки в размере, установленном проектом ВЛ;
- предохранение опор от низовых пожаров;
- вырубка вне просеки деревьев, угрожающих падением на провода ВЛ;
- планировка грунта у опор, подсыпка и подтрамбовка грунта у основания опор;
- ремонт ледозащитных сооружений опор в поймах рек.

Ремонтные работы на ВЛ должны производиться или в соответствии с требованиями специальных инструкций (типовых, местных), или согласно технологическим картам, или схемам производства работ, утвержденным главным инженером ПЭС. Определение необходимого количества бригад, транспортных средств и механизмов, распределение отдельных видов работ между бригадами возлагается на инженерно-технического работника, руководящего выполнением капитального ремонта ВЛ. Каждая бригада, работающая на ВЛ, должна производить по возможности весь комплекс ремонтных работ. Капитальный ремонт ВЛ или ее участков должен выполняться в возможно короткие сроки, в полном объеме и без недоделок. При необходимости отключения ВЛ все подготовительные работы должны быть выполнены до отключения линии.

6.5.2 Работы на трассе ВЛ

Трассы ВЛ в лесистой местности должны периодически расчищаться от древесно-кустарниковой растительности высотой более 4 м. Такие работы должны выполняться, как правило, с применением механизмов. Расчистка трасс от зарослей должна производиться с некоторым опережением по срокам выполнения капитального ремонта ВЛ. При наличии на трассе лиственных пород древесно-кустарниковой растительности (береза, ива, ольха, осина, лещина) может быть применен химический способ расчистки трасс. Расчистка трасс от кустарника химическим способом производится согласно специальным инструкциям.

При прохождении ВЛ через лесные массивы обрезка деревьев должна производиться ПЭС, обслуживающим ВЛ. Если же ВЛ проходят через парки, сады, ценные лесные массивы и другие многолетние насаждения, то обрезка деревьев производится ПЭС, в ведении которого находятся ВЛ, либо при обоюдном согласии сторон - организацией, в ведении которой находятся эти насаждения, или индивидуальными владельцами садов и других многолетних насаждений в порядке, определяемом ПЭС [15].

При вырубке деревьев на трассе ВЛ следует обращать внимание на то, чтобы высота пней была минимальной, а сами пни были ошкурены. Срубленные и сломанные деревья, а также валежник и сучья должны быть сложены вне охранной зоны или на краю трассы. Вокруг каждой опоры на деревянных приставках в местах, где имеется опасность возникновения низовых пожаров, должна быть вырыта канава глубиной 0,4 м, шириной 0,6 м, отстоящая от опоры на расстоянии 1,5-2 м. В радиусе 2 м от опоры трава и кустарники могут быть

										Лист
										52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ					

удалены химическим способом. Перечень участков ВЛ, где необходимо проведение противопожарных мероприятий, должен утверждаться главным инженером ПЭС.

6.5.3 Ремонт железобетонных опор, приставок, свай и фундаментов

Объем ремонта железобетонных опор, свай, приставок и фундаментов определяется при осмотрах ВЛ, а также выборочным вскрытием подземной части опор на глубину 0,5 - 0,7 м. Ширину трещин следует определять с помощью микроскопа Бринелля или лупы Польди, снабженных шкалой с ценой деления 0,1 мм. Предельная прочность бетона опоры определяется с помощью эталонного молотка Кашкарова, специальных приборов.

При обнаружении агрессивного действия внешней среды на бетон опор, под воздействием которого произошло шелушение поверхности, образование волосяных трещин, ржавых пятен и потеков, растрескивание бетона вдоль арматуры, необходимо произвести определение степени агрессивности среды, привлекая для этой цели специальные лаборатории. Для ремонта железобетонных опор рекомендуется применять полимерцементные растворы и краски.

Выправка промежуточных одностоечных свободстоящих одноцепных и двухцепных опор, имеющих наклон поперек ВЛ, производится созданием тяжения в сторону, противоположную наклону опоры. Тяжение создается с помощью тягового механизма, обеспечивающего плавное увеличение усилия, прилагаемого к тяговому тросу. Механизм должен быть удален от опоры, подлежащей выправке, на расстояние не менее 1,2 ее высоты. Тяговый трос крепится на опоре на высоте около 4 м от уровня земли. По окончании выправки вершина опоры должна перейти на 20-30 см за вертикальное положение. До начала работ по выправке опор со стороны, противоположной наклону опоры, откапывается узкий котлован по диаметру стойки глубиной 1,2-1,5 м. При откапывании грунта экскаватором котлован должен быть ориентирован вдоль линии, возможно ближе к стволу опоры, чтобы избежать чрезмерного нарушения грунта в плоскости действия тягового усилия. Выправке подлежат опоры при угле наклона стойки более 1° (т.е. при отклонении вершины опоры от вертикального положения более чем на 25-40 см при длине стоек от 16 до 26 м). При наклоне стойки опоры на угол более 3° от вертикали выправка должна производиться немедленно.

6.5.4 Ремонт проводов, грозозащитных тросов и контактных соединений

Для соединения проводов и грозозащитных тросов должны применяться соединительные зажимы заводского изготовления. Запрещается применять соединительные зажимы из материала, отличающегося от того, из которого изготовлены провода (тросы). Для соединения проводов из разных материалов (меди и алюминия и т.п.) следует применять прессуемые переходные

									Лист
									53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ				

соединительные зажимы или сварку. Болтовые переходные контактные зажимы разрешается устанавливать лишь временно с последующей их заменой. Монтаж всех видов соединений должен производиться в соответствии со специальными инструкциями (указаниями).

При обрыве двух-трех проволок провода или грозозащитного троса в поддерживающем зажиме концы этих проволок следует вырезать на длине 1 м (по 0,5 м в обе стороны от оси зажима). В освободившиеся от проволок места необходимо вложить отрезки проволок длиной 1 м и затем закрепить их по концам двумя проволочными бандажами. При массовых повреждениях провода или грозозащитного троса в местах крепления их в поддерживающих зажимах от вибрации или коррозии рекомендуется производить ремонт (сдвиг) провода или троса во всем анкерном пролете так, чтобы поврежденные места вышли из поддерживающих зажимов. При массовых повреждениях проводов в местах установки дистанционных распорок необходимо произвести ремонт поврежденных участков, изменить места установки распорок и надежно затянуть болтовые соединения распорок.

Ремонт проводов сечением 120 мм² и более необходимо производить с перекладкой проводов на промежуточных опорах в монтажные ролики. Для продления срока службы и во избежание ржавления грозозащитных стальных тросов рекомендуется производить периодически их смазку с помощью специальных устройств. В качестве антикоррозионных покрытий могут быть использованы смазки ЗЭС. Смазку следует производить до появления коррозии тросов.

6.6 Аварийно – восстановительные работы на ВЛ

Аварийно-восстановительные работы на ВЛ должны производиться в неплановом порядке. Объем работ по ликвидации аварийных повреждений следует определять на основе данных о характере и объеме повреждений, местах повреждений. На ПЭС должны быть разработаны организационно-технические мероприятия по сокращению продолжительности аварийных простоев ВЛ и быстрейшему вводу их в работу, в частности, должно быть проведено обучение персонала методам и технологии производства восстановительных работ (противоаварийные тренировки), подготовлены материалы и оборудование, транспортные средства, намечены маршруты скорейшей доставки бригад к месту работ, отлажена четкая связь между диспетчером и руководителями работ, производителями работ и бригадами.

Для перевода ВЛ на работу двумя фазами должно быть обеспечено пофазное управление выключателем или разъединителем на питающей стороне и разъединителем на приемной стороне. Отключение поврежденной фазы разъединителем с приемной стороны следует осуществлять на полностью обесточенной ВЛ. Если ВЛ осталась отключенной вследствие однофазного замыкания на землю, перевод ВЛ на работу двумя фазами в зависимости от

					13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

местных условий может быть произведен немедленно после установления вида замыкания или после проверки линии с помощью приборов для определения места повреждения. Предельная мощность, которая может быть передана по двум фазам ВЛ, должна быть определена расчетом и испытанием по условиям асимметрии токов в генераторах, влияния на линии связи, автоблокировки и пр.

Аварийный запас материалов и оборудования создается за счет средств, выделяемых на строительство новых воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше. Аварийный запас для ВЛ 35 кВ, создаваемый в энергоуправлении, следует определять, исходя из общей протяженности (по трассе) ВЛ 35 кВ и соответствующего материала опор, находящихся на балансе энергоуправления. Аварийный резерв для ВЛ 35 кВ, создаваемый в регионе, следует определять, исходя из общей протяженности ВЛ того же класса напряжения и материала опор в энергосистемах в составе региона.

Материалы аварийного запаса должны храниться в специально отведенных местах. Запрещается хранение аварийного запаса вместе с материалами и оборудованием, предназначенными для выполнения капитального ремонта.

При ликвидации аварий, связанных с массовыми повреждениями ВЛ, в первую очередь должен расходоваться аварийный запас энергоуправления, а в случае его нехватки - аварийный запас соответствующего региона. При массовых повреждениях, которые не могут быть ликвидированы за счет аварийных запасов энергоуправлений и регионов, руководству энергоуправления следует организовать получение недостающего количества материалов от строительных организаций или заводов стройиндустрии.

При разрушениях ВЛ, вызванных стихийными бедствиями (гололед, наводнение, ледоход, ураган, лесной пожар и др.), или при возникновении угрозы их разрушения руководству ПЭС, в ведении которых находятся эти ВЛ, рекомендуется при необходимости обратиться за помощью в местные органы исполнительной власти, которые в пределах своих полномочий могут привлекать граждан, транспортные средства и механизмы к работам по предотвращению и ликвидации разрушений этих ВЛ. Оплата восстановительных работ производится ПЭС.

6.7 Меры безопасности при эксплуатации ВЛ

Работы на ВЛ должны выполняться с соблюдением требований «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок» [16].

Требования по безопасному проведению работ:

- все виды работ на ВЛ должны выполняться только по нарядам или распоряжениям;
- при осмотре ВЛ в темное время суток идти под проводами не разрешается;
- подниматься на опору и работать на ней разрешается только в тех случаях, когда имеется полная уверенность в достаточной прочности опоры, в частности ее основания;

					13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

- способы валки и установки опоры, необходимость и способы ее укрепления во избежание отклонения опоры должны быть разработаны до начала производства работ;

- опоры, не рассчитанные на одностороннее тяжение проводов и грозозащитных тросов и временно подвергаемые такому тяжению, должны быть укреплены во избежание их падения;

- при замене деталей опор должна быть исключена возможность смещения или падения опоры;

- выбирать схему подъема груза и размещать блоки следует с таким расчетом, чтобы не возникали усилия, которые могут вызвать повреждения опоры.

Для работ со снятием напряжения, основными требованиями безопасности работ при эксплуатации ВЛ, подлежащими безусловному выполнению, являются следующие:

- выполнение технических мероприятий по отключению ВЛ, обеспечивающих невозможность подачи рабочего напряжения к месту работы;

- проверка отсутствия напряжения на рабочем месте;

- правильность установки заземлений на рабочем месте;

- выполнение технических мероприятий по обеспечению напряжения на проводах и грозозащитных тросах отключенных и заземленных, а также строящихся ВЛ не более 42 В при работах вблизи ВЛ переменного тока, находящихся под напряжением, и на одной отключенной и заземленной цепи многоцепной ВЛ, когда другие цепи находятся под напряжением.

Для работ под напряжением на токоведущих частях, основными требованиями безопасности работ при эксплуатации ВЛ, подлежащими безусловному выполнению, являются следующие:

- выполнение работ согласно специальным инструкциям и технологическим картам, предусматривающим необходимые меры безопасности;

- применение средств защиты, удовлетворяющих требованиям действующих

Выводы по главе восемь:

В данном разделе рассмотрены вопросы безопасности эксплуатации и обслуживания воздушных линий 6-35 кВ.

					13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе были рассмотрены вопросы автоматизации поиска повреждения однофазных замыканий в воздушных линиях 6-35 кВ.

Произведен анализ существующих методов диагностики однофазных замыканий на землю который показал, что наиболее приемлемым методом является метод стоячих волн, который обладает большей точностью.

Проведенный анализ статистики повреждений ЭС показал, что с помощью метода стоячих волн возможно сократить время поиска повреждения и до 0,5 – 3ч.

По результатам математического моделирования однофазных замыканий на землю определено, что при использовании метода стоячих волн, длина волны будет пропорциональна расстоянию до места замыкания.

По результатам исследования были разработаны алгоритм и методика определения места однофазного замыкания на землю, позволяющие диагностировать место однофазного замыкания на землю с точностью до 1% от длины линии.

					13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «Определение места повреждения на воздушных линиях электропередач в распределительных сетях»./ И. В. Болдырев, Л. В. Владимиров, В. А. Ощепков.-М.: Омский научный вестник. - 2011.-205 с.
2. «Алгоритм и методика определения места повреждения в распределительных сетях электроэнергетических систем методом стоячих волн»./Л. В. Владимиров, В. И. Суриков , В. А. Ощепков.-М.: Омский научный вестник. - 2011.-209 с».
3. СТО ЮУрГУ 04–2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.
4. Дистанционное определение места повреждения при однофазном замыкании на землю в распределительных сетях волновым методом./ Л. В. Владимиров, В. А. Ощепков.; Энергетика и энергосбережение.- Омск. : Изд-во ОмГТУ. - 2011.-15 с.
5. Методы и средства автоматизированного анализа аварийных ситуаций в электрической части энергообъектов./ Е.А. Аржанников, М.Г. Марков, М.Ш. Мисриханов, А.М. Чухин. - – Иваново: ИГЭУ. 2002. – 288 с
6. VisSim+Malhcad+MATLAB/ В.П. Дьяканов. – М.:СОЛОН, 2004.-384с.
7. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях. К.М.Великанов./ Е.А. Аржанников, А.М. Чухин. – Иваново: Издательство ИГЭУ, 1998. – 74 с.
8. Арцишевский, Я.Л. Определение мест повреждения линий электропередач в сетях с заземленной нейтралью / Я.Л. Арцишевский. – М.: Высшая школа, 1988. – 94 с.
9. Висящев, А.Н. Приборы и методы определения места повреждения на линиях электропередачи: Учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1/ А.Н. Висящев. – Иркутск: Издательство ИрГТУ, 2001. – 188 с.
10. Трофимова, С.Н. Методические рекомендации для студентов электротехнических специальностей. Выполнение раздела «Безопасность жизнедеятельности» в дипломном проекте, С.Н. Трофимова. – Ч.: Изд-во ЮУрГУ, 2012. – 30 с.
11. Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше. - М.: Энергосетьпроект, 1978. – 34с.

										Лист
										58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ					

12. «Инструкция по проектированию изоляции в районах с чистой и загрязненной атмосферой». – М.: СПО Союзтехэнерго, 1984. – 21 с.

13. «Правила охраны электрических сетей напряжением свыше 1000 вольт» – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 25с.

14. «Правилами приемки в эксплуатацию энергообъектов электростанций, электрических и тепловых сетей после технического перевооружения: ПР 34-70-002-83». – М.: СПО Союзтехэнерго, 1983. – 65 с.

15. Письмо Государственного комитета по лесу от 05.08.89 № 187/9.

16. «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок». - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 5с.

17. Лебедева, Ю.В. Техническое состояние электрических сетей России и перспективы их развития / Ю.В. Лебедева, Н.Ю. Шевченко, К.Н. Бахтиаров // Современные проблемы науки и образования. – 2013.

18. Автоматизированные методы и средства определения мест повреждения линий электропередачи: Уч. пособие / О.Г. Гриб, А.А. Светелик, Г.А. Сендерович, Д.Н. Калужный. Под общей редакцией О.Г. Гриба. – Харьков: ХГАГХ, 2003. -146 с.

19. Аржанников Е.А., Чухин А.М. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях. – Иваново: Ивановский гос. энерг. ун-т, 1998. – 74 с.

									Лист
									59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.206.00.00 ПЗ				