

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

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

_____ 2018 г.
« _____ » _____

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующая кафедрой ЭССиСЭ

д.т.н., профессор

И.М. Кирпичникова

_____ 2018 г.
« _____ » _____

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УСТАНОВОК
КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА
«БУХАРА-УРАЛ» НА УЧАСТКЕ 1926 КМ – 1932 КМ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 13.04.02.2018.343.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель проекта

Доцент кафедры ЭССиСЭ, к.т.н.

_____ В.В. Пястолов

_____ 2018 г.

Автор проекта

студент группы ПЗ-385

_____ А.Н. Давыдкин

_____ 2018 г.

Нормоконтролер

старший преподаватель

_____ Н.Ю. Аверина

_____ 2018 г.

Челябинск 2018

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

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующая кафедрой ЭССиСЭ
д.т.н., профессор
_____ И.М. Кирпичникова
« _____ » _____ 2017 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента

Давыдкина Андрея Николаевича

Группа ПЗ-385М

1. Тема работы «Реконструкция системы электроснабжения установок катодной защиты магистрального газопровода «Бухара-Урал» на участке 1926 км – 1932 км»
Утверждена приказом ректора ЮУрГУ от 25 декабря 2017 г., № 2438
Срок сдачи студентом законченной работы – 05.01.2018 г.
2. Исходные данные к работе – результаты проведения научно-исследовательской работы
3. Перечень вопросов, подлежащих разработке
 - 3.1. Введение
 - 3.2. Проблема несимметрии токов в трёхфазных сетях
 - 3.3. Расчет несимметричных режимов сети
 - 3.4. Электрический расчет вариантов реконструкции
 - 3.5. Заключение
4. Дата выдачи задания: _____

Научный руководитель _____ /В.В. Пястолов/
Задание принял к исполнению _____ /А.Н. Давыдкин/

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Сроки выполнения этапов работы	Отметки руководителя о выполнении
1	Введение	01.09.2015 г.	
2	Постановка задачи	10.02.2016 г.	
3	Проблема несимметрии токов в трёх-фазных сетях	01.05.2016 г.	
4	Расчет несимметричных режимов сети	05.12.2016 г.	
5	Электрический расчет вариантов реконструкции	15.04.2017 г.	
6	Заключение	20.11.2017 г.	
7	Библиографический список	30.11.2017 г.	
8	Оформление пояснительной записки	01.12.2017 г.	
9	Сдача готовой работы на кафедру, представление работы на рецензию	05.01.2018 г.	

Зав. кафедрой ЭССиСЭ _____ / И.М. Кирпичникова /
 Научный руководитель работы _____ / В.В Пястолов /
 Магистрант _____ / А.Н Давыдкин /

АННОТАЦИЯ

Давыдкин А.Н. Реконструкция системы электроснабжения установок катодной защиты магистрального газопровода «Бухара-Урал» на участке 1926км-1932км. Челябинск: ЮУрГУ, Энергетический, 2018. – 54 с., 5 рис., 8 табл., библиогр. список – 28 наим., 1 приложение.

Ключевые слова: Качество электроэнергии, несимметрия токов и напряжений, методы симметрирования, однофазная нагрузка, реклоузер, реконструкция, потери электроэнергии.

Объект исследования – Система электроснабжения установок катодной защиты магистрального газопровода «Бухара-Урал» на участке 1926км – 1932км.

Цель работы – Реконструкция системы электроснабжения установок катодной защиты магистрального газопровода «Бухара-Урал» на участке 1926км – 1932км. Улучшение условий эксплуатации сетей электроснабжения, повышение эффективности регулирования напряжения в распределительных сетях промышленных предприятий, и у отдаленных потребителей. Снижение до минимума потерь электрической энергии, при соблюдении норм ее качества как на шинах главных понижающих подстанций, так и в удаленных точках электросети.

Новизна выпускной квалификационной работы заключается в применении коммутирующего устройства на основе вакуумного выключателя, автоматически отключающее линии электропередачи в случае аварии.

Результаты исследования – работа ориентирована на решение актуальных проблем улучшения эксплуатационных качеств электрических сетей.

Работа может представлять интерес для организаций, проектирующих, а также эксплуатирующих устройства с неполно фазной нагрузкой.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1 ПРОБЛЕМА НЕСИММЕТРИИ ТОКОВ В ТРЁХФАЗНЫХ СЕТЯХ	8
1.1 Характеристика объекта исследования	8
1.2 Причины возникновения несимметрии токов	11
1.3 Возникновение несимметричных напряжений в трёхфазной сети	13
1.4 Влияние несимметрии токов на показатели качества электроэнергии	14
1.5 Влияние несимметрии токов на работу потребителей электроэнергии	16
Постановка задачи	22
2 РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ СЕТИ	23
2.1 Характеристики потребителей и схемы электроснабжения	23
2.2 Расчет несимметрии напряжения сети	26
2.3 Методы симметрирования токов и напряжений	29
Вывод по разделу 2	32
3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВАРИАНТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ	33
3.1 Расчет потерь энергии до реконструкции	33
3.2 Выбор трансформатора для ТП - 88П, ТП - 88аП, ТП - 89П	35
3.3 Применение коммутационных аппаратов нового поколения	42
3.4 Замена проводов отпаечной ВЛ	45
3.5 Изменение конфигурации ЛЭП на ТП - 88П, ТП - 88аП, ТП - 89П	45
3.6 Выбор сечения проводов по экономической плотности тока	46
3.7 Определение потерь напряжения	47
3.8 Расчет потерь энергии после реконструкции	48
Вывод по разделу 3	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	50
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	52
ПРИЛОЖЕНИЕ А	55

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВКР	Выпускная квалификационная работа
ГПА	Газоперекачивающий агрегат
ЗРУ	Закрытое распределительное устройство
КИП	Контрольно-измерительный пункт
КТП	Комплектная трансформаторная подстанция
КЭ	Качество электрической энергии
СЭС	Система электроснабжения
СКЗ	Станции катодной защиты
УКЗ	Установка катодной защиты
УКЗВ	Установка катодной защиты высоковольтная
ЛПУ МГ	Линейное производственное управление магистральных газопроводов
ЮУрГУ	Южно-Уральский государственный университет

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В настоящее время энергетический комплекс России переживает кризис, в связи с частыми нарушениями и перебоями электроснабжения потребителей, что не позволительно. Многие элементы энергетических систем, а также распределительные сети давно выработали свой ресурс, так как у большей части энергетического оборудования закончился срок службы, установленный заводом изготовителем. Данные элементы представляют различные виды опасностей, связанные в основном с изменением физических и механических свойств изоляции и конструкции. Также устарели решения по применению различных видов схем электроснабжения, которые не соответствуют современным представлениям о надежности и эффективности.

Все больше развитие производства базируется на современных технологиях, широко использующих электроэнергию. Возросли требования к качеству электрической энергии, к надежности электроснабжения объектов, к ее экономическому использованию и рациональному расходованию материальных ресурсов при проектировании систем электроснабжения. Поэтому в последние годы обеспечение надежного электроснабжения вышло на первое место ввиду количественных, и качественных изменений потребителей электроэнергии.

В связи с этим актуально решение по реконструкции, то есть технического перевооружения существующих объектов энергетического комплекса. При выборе варианта реконструкции важным критерием служат показатели структурной надежности схем систем электроснабжения.

Решение задачи поддержания напряжения на целесообразном уровне в системе электроснабжения промышленных предприятий является актуальным, и позволяет свести к минимуму потери электрической энергии в распределительных сетях, также уменьшить электроэнергетическую составляющую себестоимости конечного продукта промышленных предприятий [

Объект исследования – Система электроснабжения установок катодной защиты магистрального газопровода «Бухара-Урал» на участке 1926 км – 1932 км.

Цель работы – Реконструкция системы электроснабжения установок катодной защиты магистрального газопровода «Бухара-Урал» на участке 1926 км – 1932 км.

Задачи исследования – Улучшение условий эксплуатации сетей электроснабжения, повышение эффективности регулирования напряжения в распределительных сетях промышленных предприятий, и у отдаленных потребителей. Снижение до минимума потерь электрической энергии, при соблюдении норм ее качества как на шинах главных понизительных подстанций, так и в удаленных точках электросети.

Новизна выпускной квалификационной работы заключается в применении коммутирующего устройства на основе вакуумного выключателя, автоматически отключающего линии электропередачи в случае аварии.

Практическая значимость. Работа может представлять интерес для организаций, проектирующих, а также эксплуатирующих устройства с неполно фазной нагрузкой.

1 ПРОБЛЕМА НЕСИММЕТРИИ ТОКОВ В ТРЁХФАЗНЫХ СЕТЯХ

1.1 Характеристика объекта исследования

В 1963 году было образовано Красногорское линейное производственное управление магистральных газопроводов (ЛПУ МГ), современное название присвоено в 1992 году. Обслуживает 1079,6 км газопроводов. В ведении Управления 36 газораспределительных станций, компрессорный цех, оснащенный восемью газоперекачивающими агрегатами (ГПА) суммарной мощностью 50,4 МВт. Обеспечивает поставку газа промышленным предприятиям и населению юга Челябинской области.

Катодная защита газопровода является одним из основных факторов, влияющих на бесперебойную подачу газа потребителю [28].

Основные функции службы защиты от коррозии:

- выдача технических условий на проектирование средств электрохимической защиты от электрохимической коррозии подземных трубопроводов;
- разработка проектов средств электрохимической защиты от электрохимической коррозии подземных трубопроводов;
- рассмотрение проектно-сметной документации на соответствие выданным техническим условиям на установку средств электрохимической защиты;
- услуги по техническому надзору за строительством средств электрохимической защиты трубопроводов;
- строительство средств электрохимической защиты трубопроводов;
- техническое обслуживание средств электрохимической защиты трубопроводов;
- пуско-наладочные работы средств электрохимической защиты трубопроводов;
- текущий и капитальный ремонт средств электрохимической защиты трубопроводов;

– оптимизация систем электрохимической защиты подземных трубопроводов на территории Челябинской области с выдачей рекомендаций по размещению средств электрохимической защиты трубопроводов, изолирующих соединений, определению участков трубопроводов, подлежащих защите.

Для защиты подземных трубопроводов от коррозии сооружаются установки катодной защиты (УКЗ). В состав УКЗ входят источники электроснабжения, анодное заземление, станции катодной защиты (преобразователи), контрольно-измерительные пункты (КИП), соединительные кабели и провода. При необходимости в состав УКЗ включаются блоки совместной защиты, блоки дистанционного контроля и регулирования параметров защиты. В зависимости от условий защитные установки могут питаться от сети переменного тока 0,23 кВ, 6 – 10 кВ или автономных источников электроснабжения.

В основном сети электроснабжения трехфазные. При неравномерном распределении нагрузки, когда одна или две фазы перегружены, а остальные недогружены, происходит несимметрия токов и напряжений. На практике это происходит следующим образом: подавляющее большинство однофазных нагрузок питаются от одной фазы, тогда как остальные могут использоваться по минимуму либо быть вовсе не задействованы.

Учитывая, что установки катодной защиты имеют протяжённые питающие линии и являются однофазными, то симметричность обеспечить трудно.

В момент несимметрии токов и напряжений наблюдается неравномерная нагрузка на фазы – на задействованной напряжении падает ниже нормы, тогда как недогруженная фаза испытывает скачок напряжения, превышающий допустимые показатели. Результаты такого положения могут быть плачевными для многих электроприборов и в первую очередь, снижается качество электрической энергии. Пониженное качество электроэнергии оказывает негативное влияние как на нормальное функционирование энергосистемы в целом, так и на работу отдельных электроприемников.

При понижении качества электроэнергии в электрических сетях имеют место следующие отрицательные последствия [13]:

- рост потребления электроэнергии и необходимой мощности электрооборудования;
- перегрев вращающихся машин, ускоренное старение изоляции, выход из строя электрооборудования или сокращение срока службы;
- сбои электронных систем управления и вычислительной техники, помехи в работе теле- и радиоаппаратуры;
- ложные срабатывания и нарушение работы устройств релейной защиты и автоматики;
- негативное влияние на линии связи и устройства автоблокировки на железных дорогах;
- увеличение потерь электроэнергии во всех элементах электрической сети;
- снижение показателей хозяйственной деятельности промышленных предприятий и т.д.

Наличие электрических связей между энергосистемами значительно расширяет зону отрицательного влияния снижения качества электроэнергии, обостряя тем самым проблему электромагнитной совместимости. Появилась необходимость контролировать и оценивать качество электроэнергии не только в данной точке присоединения потребителя к энергоснабжающей организации, но и в различных удаленных точках электрической сети [3].

Пренебрежение качеством электроэнергии в процессе эксплуатации электрических сетей приводит к нарушениям в работе электроприемников и прогрессирующему расстройству электроснабжения потребителей.

Экономический прогресс тесно связан с потреблением различных видов энергии, и ее заметным ростом [24]. Поэтому рациональное использование энергетических ресурсов, совершенствование процессов генерации и распределения энергии является актуальной проблемой.

Один из вариантов решения данной проблемы минимизация потерь при передаче и потреблении большого количества электрической энергии. Потери от несимметричного режима работы трехфазных сетей составляют значительную часть потерь электрической энергии [4].

1.2 Причины возникновения несимметрии токов

На возникновение несимметричного распределения нагрузки влияет множество причин:

а) Наличие независимых однофазных потребителей

Электроснабжение потребителей происходит при помощи распределительной подстанции, которая преобразует высокое напряжение в часто используемое низкое напряжение 380 В. Так как нагрузка на потребителях преимущественно однофазная и не зависит друг от друга, то в данной сети постоянно возникает ее несимметричное распределение. Также появляется нулевая последовательность токов, которая загружает нейтральный провод. На стадии проектирования фазы распределяют так, чтобы количество потребителей было одинаковым. В городских условиях такое решение часто достаточно, но в сельской местности может наблюдаться потребление токов с выраженной несимметрией, потому что запросы потребляемых мощностей у каждого потребителя различны [2].

б) Включение в трехфазную энергосистему однофазной нагрузки

Значительную несимметрию вызывает мощная однофазная нагрузка. Примером такой нагрузки могут служить электропоезда [19]. Включение в сеть такой мощной нагрузки вызывает значительные токи обратной последовательности, которые приводят к значительным непроизводительным потерям мощности в обмотках тяговых трансформаторов – выше 25% потерь мощности, вызываемых токами прямой последовательности, и также вызывают несимметрию напряжения сети. Для их снижения тяговые подстанции соединяют по схеме «винта» и использованием симметрирующих трансформаторов. К мощным однофазным нагрузкам можно причислить электропечи индуктивного типа, которые в большинстве являются одно- или двухфазными. Для печей канального типа мощность однофазной индукционной единицы 50 – 1000 кВА и для печей тигельного типа 18 – 10000 кВА при питании их напряжением 0,38; 6; 10 кВ. В этом случае широко распространена схема Штейнмеца и ее модификации для симметрирования токов.

в) Характер трёхфазной установки.

Несимметрия потребляемых токов вызывается также трёхфазными установками, например, трёхфазными дуговыми электропечами [25]. В таких печах величина потребления токов по каждой из фаз зависит от распределения погружённой шихты и носит случайный характер вплоть до резкой несимметрии.

г) Различные значения комплексных сопротивлений в линиях электропередач:

- неравномерное распределение паразитных емкостей в длинных линиях.
- наличие высокочастотных заградителей;
- отсутствие транспозиции в линии электропередачи;
- электромагнитная связь между линиями при передаче по одним опорам двух несвязанных сетей;

д) Воздействие несимметричного напряжения сети.

Появление несимметрии напряжений сети возможно не только из-за влияния нагрузки, которую она питает, но и из-за внешних факторов, такие как аварии на соседних участках, потребление мощностей в соседних участках сети с резко выраженной несимметрией, а также нарушение правил в организации электроснабжения приводят к несимметрии напряжения во всей системе. При несимметрии напряжения в сети протекают также несимметричные токи. В этом случае компенсация токов несимметрии, вызванные несимметрией напряжения является лишней, так как эти токи компенсации не оказывают полезного эффекта, а только дополнительно загружают устройство компенсации.

е) Аварийные режимы:

- короткое замыкание фаз между собой и на землю [1];
- обрыв фазы.

Согласно ГОСТ 32144-2013 [6] поставщик электроэнергии обязан предоставлять потребителю качественное напряжение, но на практике добиться этого может быть сложной задачей. Одним из решений этой проблемы является установка устройства симметрирования напряжения на стороне потребителя.

1.3 Возникновение несимметричных напряжений в трёхфазной сети

Несимметричное напряжения сети возникает при несимметричном падение напряжений в сопротивлениях линий передач, вследствие протекания в них несимметричных токов.

Различают два вида несимметрии: продольную и поперечную.

Продольная несимметрия проявляется при включении неодинаковых сопротивлений в фазы линии. К продольной несимметрии относится, обрыв одного или двух проводов.

Поперечная несимметрия проявляется при включении неодинаковых сопротивлений между фазами и нейтралью (землей), или между отдельными фазами. Поперечная несимметрия наиболее распространена в электроустановках. Наблюдается при коротком замыкание одной или двух фаз на землю или фаз между собой. Однофазные короткие замыкания могут происходить только в сетях с заземленной нейтралью. Междофазные короткие замыкания (двухфазные и трехфазные) возникают в сетях, как с изолированной, так и с заземленной нейтралью.

Для однофазного потребителя несимметрия напряжения сети проявляется в отклонении напряжения от номинального напряжения, что вызывает последствия, описанные для отклонений напряжений (провалы напряжения, превышения номинального значения напряжения) [9,11]. Для симметричных и несимметричных трёхфазных нагрузок несимметрия напряжения приводит к возникновению протекания дополнительных токов обратной и нулевой последовательностей. Отрицательный эффект, вызванный несимметрией напряжения, оказывает различное влияние в зависимости от типа нагрузки. Устройства с нелинейными характеристиками, например, электрические машины имеют определенные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей указанные в заводских данных [7].

Для статических не вращающихся устройств (трансформаторы, линии и т.п.) сопротивления прямой и обратной последовательностей равны. Для линий электропередач сопротивления прямой и обратной последовательностей одинаковы, а со-

противление нулевой последовательности может в несколько раз превышать сопротивление прямой последовательности. Объясняется это различием величин ЭДС взаимной индукции, наводимых в фазе токами прямой и нулевой последовательностей, протекающим по двум другим фазам, а также сопротивлением земли или обшивки транспортного средства, по которому проложена сеть.

Для вращающихся электрических машин обычно сопротивление прямой последовательности выше, разница которых вызвана различными направлениями вращения магнитных полей. Направление вращения ротора совпадает с направлением вращения магнитного поля, созданного токами прямой последовательности, а магнитное поле, образованное токами обратной последовательности, вращается в противоположную сторону [14].

1.4 Влияние несимметрии токов на показатели качества электроэнергии

Одна из наиболее сложных и важных задач, решаемая при проектировании и обслуживании электросетей, это обеспечение надлежащего качества электрической энергии на вводе у потребителя и снижение потерь при ее передаче.

ГОСТ 32144-2013 регламентирует значение показателей качества электроэнергии [6]. Согласно ГОСТа, несимметрия напряжений трехфазной системы оценивается двумя основными показателями качества коэффициентом несимметрии напряжения по обратной последовательности K_{2U} , % и коэффициентом несимметрии напряжения по нулевой последовательности K_{0U} , %.

Для данных показателей качества электроэнергии установлены нормы:

- коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности (K_{2U} , K_{0U}) в месте разграничения эксплуатационной ответственности с потребителем, средние значения, которые взяты в течении 10 мин, за 7 дней на протяжении 95% промежутка времени не должны быть выше 2%;
- коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности (K_{2U} , K_{0U}) в месте разграничения эксплуатационной ответственности с

потребителем, средние значения, которые взяты в течении 10 мин, за 7 дней на протяжении 100% промежутка времени не должны быть выше 4%;

Повсеместное применение однофазных установок высокой мощности различного рода приводит к существенному увеличению доли несимметричных нагрузок, вызывая тем самым несимметрию токов (образование токов нулевой и обратной последовательностей). В связи с этим наблюдается смещение нулевой точки системы фазных напряжений, вызывая тем самым несимметрию напряжений.

Нормы качества, установленные ГОСТом, являются обязательными во всех режимах работы систем электроснабжения общего назначения, кроме режимов, зависящих от непредвиденных обстоятельств.

Коэффициент несимметрии напряжения по обратной (нулевой) последовательности характеризует трехфазную систему напряжений основной частоты по отклонению междуфазных (фазных) напряжений от симметрии. При этом учитывается не только неравенство действующих значений напряжений в трех фазах сети, но также и относительный угловой сдвиг фазы между ними.

Значения коэффициентов несимметрии напряжения прямой и обратной последовательности основной частоты трехфазной сети определяются в процентах по формулам:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} * 100\%; \quad K_{0U} = \frac{U_{0(1)}}{U_{1(1)}} * 100\%, \quad (1)$$

где $U_{2(1)}$ – напряжение обратной последовательности в i -м наблюдении;

$U_{0(1)}$ – напряжение нулевой последовательности в i -м наблюдении;

$U_{1(1)}$ – напряжение прямой последовательности в i -м наблюдении.

Коэффициенты несимметрии токов определяют аналогично уравнению (1):

$$K_{2I} = \frac{I_{2(1)}}{I_{1(1)}} * 100\%; \quad K_{0I} = \frac{I_{0(1)}}{I_{1(1)}} * 100\%, \quad (2)$$

где $I_{2(1)}$ – ток обратной последовательностей в i -м наблюдении;

$I_{0(1)}$ – ток нулевой последовательностей в i -м наблюдении;

$I_{1(1)}$ – ток прямой последовательности в i -м наблюдении.

Для нахождения более точного значения $U_{2(1)}$, $U_{0(1)}$ и $U_{1(1)}$ применяется метод симметричных составляющих [12]. Исходя из этого метода, несимметричная трехфазная система может быть представлена в виде трех симметричных, образующих обратную U_2 , нулевую U_0 и прямую U_1 последовательности.

Каждому проценту величины коэффициента несимметрии напряжений соответствует 1,73% дополнительного отклонения напряжения, которое приводит к дополнительным потерям мощности и уменьшению срока службы электрооборудования.

1.5 Влияние несимметрии токов на работу потребителей электроэнергии

Потребители электрической энергии подразделяются на:

- Однофазная нагрузка;
- Асинхронные электродвигатели;
- Конденсаторные установки;
- Линии электропередачи и трансформаторы;
- Многофазные выпрямители.

а) Однофазная нагрузка

В связи с широким внедрением в отрасли производства электрической энергии, качество электрической энергии, передаваемой потребителю, на прямую влияет на качество и эксплуатационные характеристики электроприемников, их надежность и срок службы. Экспериментально доказано, что больше 50% всех абонентов бытовых потребителей в сельской местности получают некачественную электроэнергию [17, 22]. Режим работы потребителей с однофазной нагрузкой электроэнергии сильно зависит от стабильности величины напряжения.

Однофазные электроприемники, включенные в сеть на разноименные фазы сети с несимметрией напряжений, подвергаются влиянию перенапряжения или низкому напряжению, причем оба явления оказывают негативное влияние. В большей степени подвергаются потребители с нелинейной вольтамперной характеристикой.

Источники света также испытывают отрицательное влияние несимметричной сети. При подключении ламп на разноименные фазы с разным напряжением, лампы, подключенные к фазе, испытывающей перенапряжение, имеют усиленный световой поток, но короткий срок службы, чем лампы, которые подключены к фазе с меньшим напряжением.

В результате исследований обнаружено:

- при увеличении напряжения на 5% световой поток ламп увеличивается на 20%, а срок эксплуатации сокращается в 2 раза.
- при понижении напряжения на 5% световой поток уменьшается на 18%, а срок эксплуатации увеличивается в 2,4 раза.
- при увеличении напряжения на 10% срок эксплуатации люминесцентных ламп понижается на 20-30%,
- при понижении напряжения на 25 – 30% розжиг газоразрядных ламп невозможен [20].

Появление несимметрии напряжений в сети, так же возможно при неравномерном распределении ламп по фазам сети, сами лампы могут служить источником появления несимметрии в сети.

Несимметрия в сетях с глухо заземленной нейтралью отрицательно воздействует на работу релейной защиты и автоматики, создает погрешность в узле учета электроэнергии и т.д.

б) Асинхронные электродвигатели

В качестве привода на производстве наибольшее распространение получили асинхронные электродвигатели. В этих двигателях несимметричный режим сети вызывает дополнительный нагрев и, как результат, увеличиваются потери мощности. Также вызывает возникновение противодействующего вращающего момента, который снижает КПД двигателя и полезный момент. Снижение полезного момента, вычисляется по следующему выражению [18]:

$$m = \frac{s}{2-s} * \frac{Z_1^2 * U_2^2}{Z_2^2 * U_1^2} = \frac{s}{2-s} * \frac{Z_1^2}{Z_2^2} * k_U^2, \quad (3)$$

где S – скольжение;

Z_1 и Z_2 – сопротивления прямой и обратной последовательностей;

K_U – коэффициент несимметрии напряжений.

Для индукционного двигателя в номинальном режиме $Z_2 \approx 0,16 \cdot Z_1$, а максимальное скольжение при полной нагрузке равно 0,05 [18]. Следовательно,

$$m = \frac{0.05}{1.95} * \frac{1}{0.16} * \frac{U_2^2}{U_1^2} \approx k_U^2, \quad (4)$$

Таким образом, уменьшение вращающего и пускового моментов асинхронного двигателя при несимметрии напряжений равно квадрату коэффициента несимметрии напряжений. Отметим, что для заторможенного двигателя $S = 1$ а, $Z_1=Z_2$ [3, 18], то выражение (4) справедливо и для пускового режима.

Поскольку сопротивление обратной последовательности асинхронных электродвигателей в 5 – 7 раз меньше сопротивления прямой последовательности, то при наличии даже небольшой по величине, составляющей напряжений обратной последовательности, возникает ток значительной величины. Этот ток обуславливает дополнительный нагрев ротора и статора, в результате чего происходит старение изоляции и уменьшается располагаемая мощность двигателя. Доказано, что если асинхронный электродвигатель работающий с полной нагрузкой, при несимметрии напряжений в 4%, то срок эксплуатации сокращается в 2 раза [3, 18].

В сумме дополнительные потери мощности в асинхронных электродвигателях из-за несимметрии напряжений в сети равны 37,3%, от суммы потерь в этих двигателях, в условиях работы при номинальной нагрузке и напряжении.

Исследования показали, что снижение полезного момента равняется квадрату коэффициента несимметрии напряжений. В результате работы при несимметрии токов и напряжений сети, более 20% асинхронных двигателей приходят в негодность [12]. Допускается несимметрия напряжений для асинхронных электродвигателей в 2%. Из выражения (4) видно, что снижение вращающего момента при этом будет также незначительным. При коэффициенте несимметрии более 2% для prolongation срока эксплуатации двигателя требуется уменьшение нагрузки двигателя, либо замена его более мощным. При несимметрии равной 10% номинальная мощность асинхронного двигателя уменьшается на 20-50% [18].

в) Конденсаторные установки.

Включение в несимметричную электрическую сеть трехфазной батареи конденсаторов с одинаковыми емкостями приводит к увеличению несимметрии. При этом реактивная мощность в этих батареях также неравномерно загружается по фазам, их общая реактивная мощность изменяется и распределяется неравномерно.

Анализ режимов работы батареи конденсаторов в несимметричной электрической сети [25] показал, что их эксплуатация допускается при условии, если мощность потерь в каждой фазе не превышает номинальной величины. Располагаемая мощность установки $Q_{расп}$ уменьшается по сравнению с номинальной мощностью Q_H и вычисляется по формуле:

$$Q_{расп} = Q_H (1 + K_U^2) \left(\frac{U'}{U_{max}} \right)^2, \quad (5)$$

где U' – рабочее напряжение конденсаторной батареи;

U_{max} – напряжение наиболее загруженной фазы установки;

K_U – коэффициент несимметрии напряжения.

Располагаемая мощность – это верхний предел реактивной мощности трехфазной конденсаторной установки, которая может быть полезно использована при несимметричном напряжении без снижения срока службы конденсаторов наиболее загруженной фазы.

г) Линии электропередачи и трансформаторы.

В трехфазной системе электроснабжения несимметрия токов и напряжений в линиях электропередачи, распределительных сетях и трансформаторах является причиной снижения пропускной способности сети. Неравномерно распределенная нагрузка влияет на то, что одна фаза перегружена, в то время как другие фазы недогружены. При передаче электроэнергии по сетям низкого напряжения потеря мощности, в случае несимметричного режима, может быть в 3 – 4 раза больше, чем при симметричном распределении токов по фазам [14].

Соответственно, в симметричном распределении токов по фазам потери электроэнергии состоят из $3I^2r$, где r – активное сопротивление фазы линии. В случае

если в какой-то из фаз ток повысить, в другой же уменьшить на значение ΔI , то потери повысятся:

$$I^2 r + (I + \Delta I)^2 r + (I - \Delta I)^2 r = 3I^2 r = 2\Delta I^2 r. \quad (6)$$

Несимметричный режим в трансформаторах состоит из, как из несимметрии напряжений питающей сети, так и несимметрично подключенных однофазных нагрузок, со стороны линий электропередач. Под располагаемой мощностью трансформатора понимается мощность, соответствующая току прямой последовательности при номинальной нагрузке, когда полный ток обмотки достигает номинального значения. Соответственно полезная мощность, отдаваемая трансформатором в сеть при несимметрии напряжения – это мощность, которая соответствует току прямой последовательности.

Под действием токов несимметричного режима в трансформаторах, имеющих повышенное сопротивление нулевой последовательности (примером может служить соединение обмоток трансформатора «звезда – звезда – ноль»), добавочные потери от магнитных потоков нулевой последовательности по сравнению с холостым ходом достигают 25 – 35%, соответственно потери напряжения достигают 15 – 20%, по сравнению с 4% в режиме с симметрией токов.

Токи нулевой последовательности создают магнитные потоки, которые замыкаются через ферромагнитные элементы трансформатора с выделением тепловой энергии. Этот процесс вызывает нагрев активной части трансформатора, соответственно изоляция токоведущих жил обмоток трансформатора разогревается выше допустимой температуры и незагруженный трансформатор может испытывать перегрузку, причём нередко до выхода из строя. При этом подлежит увеличению установленная номинальная мощность трансформатора на 1 – 2 ступени выше требуемой. Эффект считается незначительным, хотя значительно снижает потери электроэнергии и мощности в сети. При несимметричном режиме сети основным признаком у трансформатора считается увеличение общего шума.

Дополнительные потери мощности в электросетях, вызванные несимметрией токов, определяются коэффициентом увеличения потерь мощности K_P [17]:

$$K_p = \Delta P_H / \Delta P_C = 1 + K_{0I}^2 (r_0 / r_1) + K_{2I}^2, \quad (7)$$

где ΔP_H – потери мощности в сети при несимметричном режиме;

ΔP_C – потери мощности в сети, обусловленные протеканием токов прямой последовательности;

K_{0I} – коэффициент несимметрии токов нулевой последовательности; I_{0K}

K_{2I} – коэффициент несимметрии токов обратной последовательности; I_{2K}

r_0, r_1 – сопротивления, соответственно, нулевой и прямой последовательностей.

В отдельном случае, для трехфазной четырехпроводной сити [17]:

$$K_p = 1 + K_{2I}^2 + K_{2I}^2 (1 + 3r_N / r_\phi), \quad (8)$$

где r_N, r_ϕ – активные сопротивления нулевого и фазного проводов линии.

Следовательно, снижая значение протекающего по линии тока, или снижая сопротивление этих линий, снижаются потери мощности в линии электропередачи.

Таким образом несимметричный режим сети не оказывает значительного влияния на работу трансформаторов и линий электропередачи.

д) Многофазные выпрямители.

Несимметричный режим сети также вызывает негативное воздействие на эффективность работы многофазных выпрямителей. В случае если при симметричном напряжении токи (к примеру, в мостовой схеме) одинаковы во всех выпрямителях и имеют одинаковую длительность протекания, то при несимметрии напряжений они существенно различаются. В соответствии с этим одни выпрямители испытывают перегрузку, а другие остаются загруженными ниже нормы и как следствие уменьшается допустимая мощность выпрямителя.

Несимметрия напряжений также отрицательно влияет на режим работы 3, 6, 12-фазных и другие варианты конструкций выпрямителей. Несимметричное напряжение вызывает пульсации тока и напряжения на выходе выпрямителя (гармоники двойной частоты), амплитуда которых пропорциональна коэффициенту несимметрии напряжений. Сглаживающие фильтры выпрямителей не рассчитанные на эти пульсации также испытывают перегрузки и не редко выходят из строя.

Постановка задачи

В связи с ложными срабатываниями устройств релейной защиты и автоматики на ячейке 3 – 9 ЗРУ - 6кВ подстанции «КС - 19. Красногорская», связанные с нарушением качества электроэнергии на данной ячейке в следствии включения в сеть однофазной нагрузки такой как станции катодной защиты, а также неполно фазные протяженные линии питания этих потребителей определены задачи исследования:

- выявление участка сети влияющего на качество электроэнергии в большей степени;
- требуется выяснить коэффициент несимметрии и сравнить его с нормированным значением согласно ГОСТ 32144-2013 [6];
- также следует определить мероприятия по симметрированию режимов работы сети;
- провести электрический расчёт вариантов реконструкции на объекте линейной части магистрального газопровода.

2 РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ СЕТИ

2.1 Характеристики потребителей и схемы электроснабжения

Электроснабжение установок катодной защиты магистральных газопроводов выполнено от ВЛ - 6кВ фидер «Охранные краны» яч. 3 – 9 ЗРУ - 6кВ ПС 220/6 кВ «КС - 19 Красногорск» (Рисунок 1).

Год ввода ПС 220/6 кВ в эксплуатацию – 1996 г.

Воздушные линии 6-кВ выполнена на железобетонных опорах с проводом А – 70 ВЛ-6 кВ введены в эксплуатацию в 1963 – 1965 гг.

Трансформаторные подстанции 4/6/0,23 кВ введены в эксплуатацию в 1963 – 1965 гг.

В процессе эксплуатации было выявлено, что наибольшее влияние на несимметрию напряжения вдольтрассовой ВЛ - 6кВ оказывает участок от линейного разъединителя № 1 опоры № 33 до опоры № 178. На данном участке проведены измерения (Приложение А) и результаты обследования сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты обследования ВЛ - 6 кВ, электроснабжения

УКЗ 88.88А.89 МГ Бухара-Урал.

Участок ВЛ	R (Мом)	ТП	R (Мом)
1	2	3	4
33-178 (без ТП УКЗ 88.88А)	108	УКЗ 88 26 км. Ф-А (без ОМП)	1000
33-178 (без ТП УКЗ 88.88А.89) Ф-А	235	УКЗ 88 26 км. Ф-В (без ОМП)	816
33-178 (без ТП УКЗ 88.88А.89) Ф-В	220	УКЗ 88 26 км. ОМП-ЛР	507
33-178 (без ТП УКЗ 88,88А,89) А-В	446	УКЗ 88 26 км. ОМП	1000
ВЛ 29-32 км Ф-А	770	УКЗ 88А 29 км. Ф-А (без ОМП)	150000
ВЛ 29-32 км Ф-В	780	УКЗ 88А 29 км, Ф-В (без ОМП)	180000
ВЛ 19-28 км + КЛ Ф-А	176	УКЗ 88А 29 км, ОМП	204

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
ВЛ 19-28 км + КЛ Ф-В	181	УКЗ 89 32 км. ОМП	1000
КЛ (Резерв)	2400		
ВЛ 19-28 км Ф-А	220		
ВЛ 19-28 км Ф-В	230		
КЛ А-В	4000		
КЛ Ф-А	2900		
КЛ Ф-В	3400		
КЛ А-Резерв	10000		

Сопротивления участка ВЛ оп. 33-178 (19-32 км) 76 Мом

Напряжение на 3 - СШ ЗРУ ПС «Красногорская КС-19» по данным вольтметра в ячейке 3 – 9:

$$U_{AB} = 6,3 \text{ кВ}$$

$$U_{BC} = 6,3 \text{ кВ}$$

$$U_{CA} = 5,9 \text{ кВ}$$

$$U_{A0} = 3,3 \text{ кВ}$$

$$U_{B0} = 4,0 \text{ кВ}$$

$$U_{C0} = 3,3 \text{ кВ}$$

По результатам обследования видно неравенство нагрузок и напряжений по фазам. Для более точного определения качества электроэнергии требуется произвести необходимые расчеты.

Однолинейная схема электроснабжения КС-19
 ф.Охранные краны УКЗ № 86, 87, 88, 88А, 89.

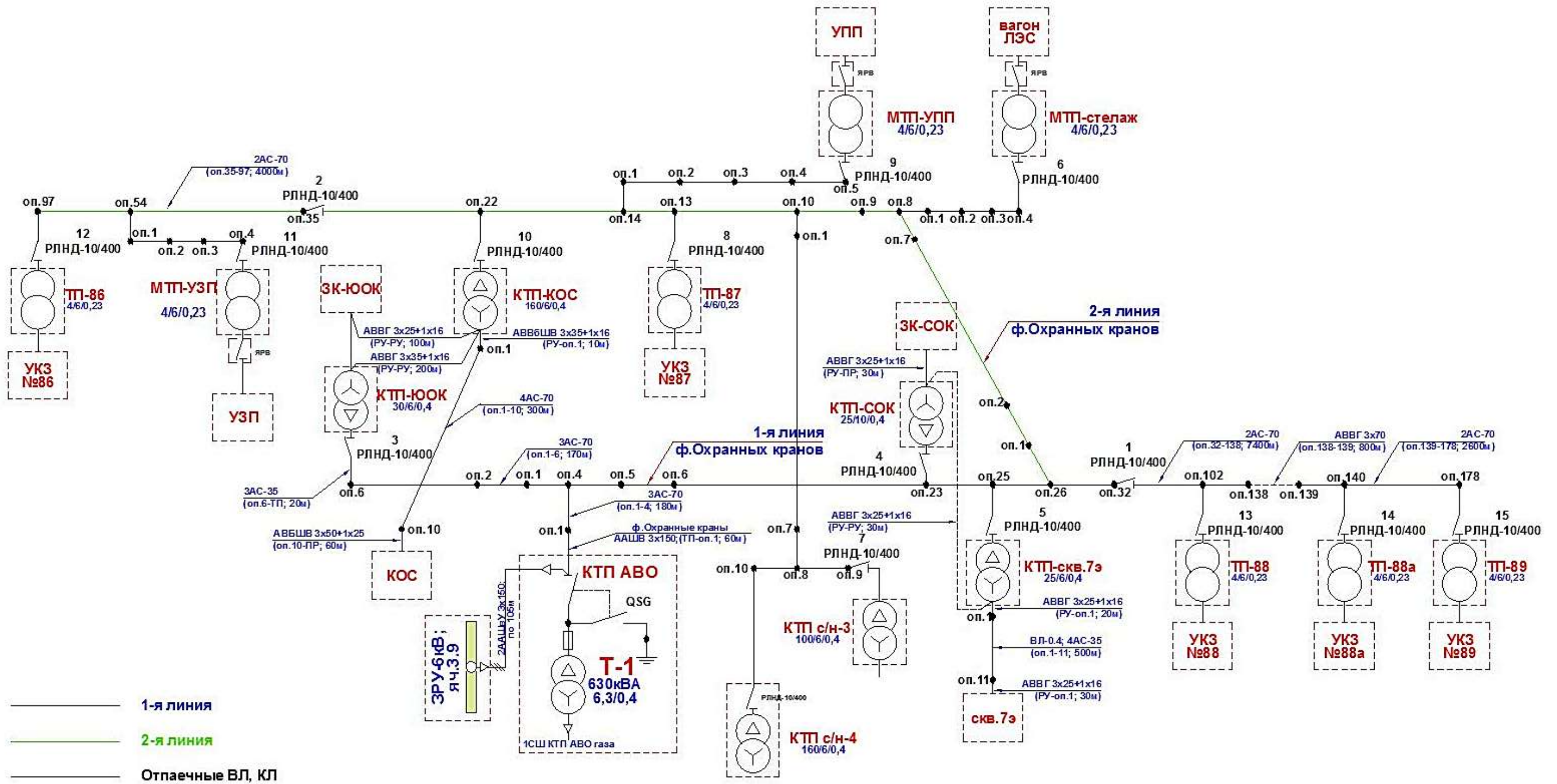


Рисунок 1 – Однолинейная схема электроснабжения ВЛ - 6кВ фидер «Охранные краны».

2.2 Расчет несимметрии напряжения сети

ГОСТ 32144-2013 регламентирует значение показателей качества электроэнергии. Согласно ГОСТа, несимметрия напряжений трехфазной системы оценивается двумя основными показателями качества – это коэффициенты несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательности K_{2U} , %; K_{0U} , %.

Согласно ГОСТ 32144-2013 [6] для данных показателей качества электроэнергии установлены следующие нормы:

- коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности (K_{2U} , K_{0U}) в месте разграничения эксплуатационной ответственности с потребителем, средние значения, которые взяты в течении 10 мин, за 7 дней на протяжении 95% промежутка времени не должны быть выше 2%;

- коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности (K_{2U} , K_{0U}) в месте разграничения эксплуатационной ответственности с потребителем, средние значения, которые взяты в течении 10 мин, за 7 дней на протяжении 100% промежутка времени не должны быть выше 4%;

Методом симметричных составляющих согласно ГОСТ 30804.4.30-2013 [5] оценивают несимметрию напряжений в трехфазной системе энергоснабжения. Дополнительно к напряжению прямой последовательности U_1 в трехфазной системе электроснабжения в условиях несимметрии присутствует, ещё одна из следующих составляющих: напряжение обратной последовательности U_2 и/или напряжение нулевой последовательности U_0 .

Во время проведения измерений (10 периодов для энергосистемы с рабочей частотой 50 Гц или 12 периодов - для систем частотой 60 Гц), также проводят измерения основной составляющей входного сигнала.

Оценка несимметрии сети при наличии гармоник считается не точной если проводится лишь, опираясь на среднеквадратичные значения фазных напряжений не учитывая воздействие угловых сдвигов на несимметрию. Наиболее точные и под-

ходящие для конкретного использования результаты гарантирует оценка несимметрии на основе расчетов напряжений обратной и нулевой последовательности. Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности равен, %

$$K_{2(U)} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100, \quad (9)$$

где $U_{1(1)}$ – действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты, В.

$U_{2(1)}$ – действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений, В;

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_2 , %, возможно рассчитать (U_{jjfund} — основная составляющая напряжения между фазами i и j) по формуле:

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{1-\sqrt{3-6\beta}}{1+\sqrt{3-6\beta}}} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где

$$\beta = \frac{U_{12fund}^4 + U_{23fund}^4 + U_{31fund}^4}{(U_{12fund}^2 + U_{23fund}^2 + U_{31fund}^2)^2}, \quad (11)$$

Согласно приложения 1 получены следующие значения напряжений:

$$U_{AB} = 5900\text{В}; \quad U_{BC} = 5900\text{В}; \quad U_{CA} = 6300\text{В}$$

$$\beta = \frac{5900^4 + 5900^4 + 6300^4}{(5900^2 + 5900^2 + 6300^2)^2} = 0,3347$$

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{1-\sqrt{3-6*0,3347}}{1+\sqrt{3-6*0,3347}}} \cdot 100\% = 4,47\%$$

$$K_{2U} = 4,47\%$$

При определении $U_{2(1)}$ допускается:

- 1) определять $U_{2(1)}$ методом симметричных составляющих;
- 2) вычислять $U_{2(1)}$ по приближенной формуле:

$$U_{2(1)} = 0,62 (U_{нб(1)i} - U_{нм(1)i}), \quad (12)$$

где $U_{нб(1)i}$, $U_{нм(1)i}$ – наибольшее и наименьшее действующие значения из трех междуфазных напряжений основной частоты в i -м наблюдении, В, кВ;

$$U_{нб} = U_{AB} = U_{BC} = 5900\text{В}$$

$$U_{нм} = U_{CA} = 6300\text{В}$$

$$U_{2(1)} = 0,62 (6300-5900) = 248 \text{ В.}$$

3) вычислять K_{2U} по формуле:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{\text{ном.мф}}} \cdot 100, \quad (13)$$

где $U_{\text{ном. мф}}$ - номинальное значение междуфазного напряжения, В, кВ;

$$K_{2U} = \frac{248}{6300} \cdot 100 = 3,94 \text{ \%}.$$

Вычисляют значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} в процентах как результат усреднения N наблюдений K_{2Ui} на интервале времени TVS, равном 3 с, по формуле

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{2Ui}^2}{N}}, \quad (14)$$

Число наблюдений N должно быть не менее 9.

Так как все измерения неизменны во времени, то принимаем $K_{2U} = 7,38\%$.

Значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности по определению равно нулю при измерении междуфазных напряжений. Однако напряжения «фаза - нейтраль» или «фаза - земля» могут содержать напряжения нулевой последовательности.

При этом получаем $K_{2U_{\text{доп}}} < K_{2U}$, следовательно, совместная работа трехфазной и однофазной нагрузок недопустима. Поэтому следует предпринимать действия по снижению несимметрии напряжений.

Реконструкция сетей электроснабжения обусловлена следующим:

1. Физический износ опор и проводов воздушных линий электропередачи напряжением 6 кВ более 80%;
2. Введение новых технологий, а именно замена неизолированных проводов ВЛ - 6кВ на самонесущие изолированные провода типа СИП;
3. Необходимость эффективного распределения электрических нагрузок в связи с зафиксированной несимметрией напряжений на ячейки 3 – 9 ЗРУ - 6кВ;
4. Снижение технических и коммерческих потерь;
5. Повышение надежности электроснабжения потребителей.

2.3 Методы симметрирования токов и напряжений

При стабильном графике нагрузок понижение регулярной несимметрии токов в сети возможно добиться перераспределением нагрузок по фазам при помощи переключения части нагрузок с перегруженной фазы на ненагруженную [15,21], хотя такой метод не всегда способствует понижению несимметрии токов до требуемого значения. Поэтому были разработаны устройства для понижения несимметрии в том числе конденсаторные установки, работающие в несимметричном режиме и установки на основе схемы Штейнмеца и её модификаций.

а) Конденсаторные установки

Основными элементами конденсаторных установок являются: конденсаторные батареи, коммутационная аппаратура, а также система управления. Конденсаторная батарея считается несложным и надёжным статическим устройством. Эти установки считаются источником реактивной мощности и повсеместно используются для регулировки реактивной мощности в электросетях с целью поддержания уровня напряжения.

Конденсаторные установки обладают кроме того симметрирующим эффектом. Чтобы достичь желаемого результата необходимо реализовать управление коммутационной аппаратурой, позволяющей подключать конденсаторные батареи на работу в несимметричном режиме (рисунке 2, а). В добавок треугольник конденсаторов практически постоянно выполняет функцию компенсации реактивной мощности индуктивного характера. Недостаток конденсаторной схемы заключается в том, что компенсация мощности небаланса и реактивной мощности взаимосвязаны и не всегда могут параллельно регулироваться в сторону уменьшения [16].

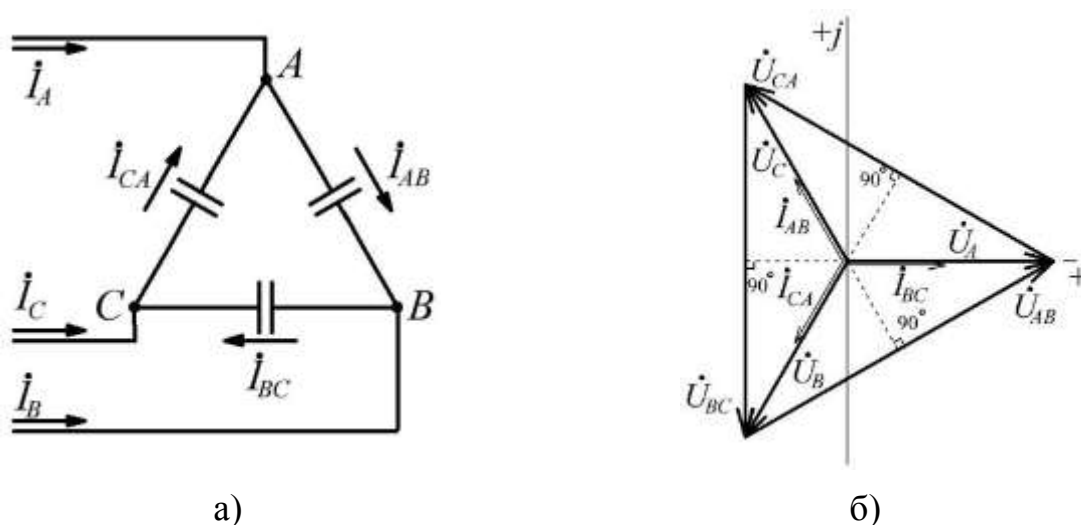


Рисунок 2. Полные токи конденсаторной батареи (а) и векторная диаграмма токов и напряжений в ветвях симметрирующей батареи (б)

На рисунке 2, б представлена векторная диаграмма токов и напряжений в ветвях симметрирующих конденсаторных батарей. При работе установки в несимметричном режиме имеет смысл ветви с отключенными конденсаторными батареями подключать в другие ветви. В такой ситуации батарея обеспечит протекание в сети бóльших емкостных токов прямой последовательности в сравнении с частичным отключением конденсаторов. Также, предусматривая возможность переключения конденсаторов на различное междуфазное напряжение, во многих случаях можно получить необходимый симметрирующий эффект при меньшей установленной мощности батареи.

Конденсаторная установка имеет следующие недостатки:

- при работе в несимметричном режиме существенно усложняется управление (дополнительно появляется угол обратной последовательности);
- в конденсаторной установке должна применяться специальная коммутационная аппаратура, чтобы избежать сваривания контактов и других проблем, так как при включении батарей к сети происходит скачок тока;
- применение конденсаторных установок может вызвать нежелательные переходные процессы в энергосистеме – могут появиться резонансные контура;

- при работе установки в несимметричном режиме дополнительно генерируется реактивная мощность;
- в связи со ступенчатой регулировкой конденсаторной установки невозможно обеспечить плавное регулирование и высокую точность компенсации. Повышение точности компенсации приводит к возрастанию количества коммутирующих аппаратов и конденсаторных батарей;
- невозможность работы при динамических режимах работы сети.

б) Симметрирование с применением схемы Штейнмеца

Схема Штейнмеца (рисунок 3) используется для понижения несимметрии токов, которые образуются при включении однофазной нагрузки на линейное напряжение.

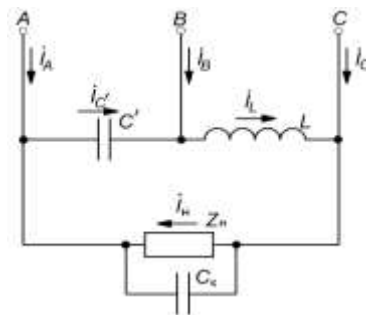


Рисунок 3. Схема Штейнмеца

Схемы Штейнмеца имеет следующие недостатки:

- наличие двух регулируемых элементов;
- Не полное использование мощности симметрирующих элементов (коэффициент использования составляет 0,866);
- без повышения мощности симметрирующего устройства (до 173 % мощности нагрузки) невозможно плавного управления ёмкостью (бесконтактно);
- сложность регулирования работы при динамических режимах работы сети.

Существуют разработки симметрирующих устройств, в основе которых лежит схеме Штейнмеца, которые реализуют возможность существенно снизить установленные мощности устройств и дают возможность автоматического поддержания режима симметрии с помощью лишь одной индуктивности, которая регулируется

бесконтактно, например, подмагничиванием. Подобные устройства позволяют расширить применение схемы Штейнмеца, но большинство недостатков остаются [10].

Компенсация токов несимметрии пассивными элементами имеет множество недостатков. Такие установки находят и будут находить применение в условиях статической несимметрии для конкретных установок и в линиях электропередач с определённой устойчивой несимметрией.

Компенсация токов несимметрии пассивными элементами имеет большое количество недостатков. Эти установки используются и будут находить использование в условиях устойчивой несимметрии для определенных установок и в линиях электропередач с определённой систематической несимметрией.

в) Существует другой класс устройств компенсации токов и напряжений, выполненных на тиристорно-реакторной группе [26]. При помощи встречно включённых параллельных тиристоров возможно реализовать как бы переменную индуктивность с плавным регулированием её величины, что раньше достигалось подмагничиванием и применением механических аппаратов, которые меняют значение при помощи дискретного переключения обмоток, либо плавным регулированием (скользящим контактом).

Вывод по разделу 2

В результате обследования вдольтрассовой ВЛ - 6 кВ был выявлен участок, который оказывает наибольшее влияние на качество электроэнергии.

На данном участке вычисленное значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности составляет 7,38%, что не соответствует требованиям ГОСТ 32144-2013 [6]. В связи с этим нужно провести мероприятия по симметрированию режимов работы сети. Из ранее перечисленных методов симметрирования токов был выбран наиболее подходящий вариант реконструкции, основанный на распределении нагрузок по фазам и применение современных материально-технических ресурсов для достижения поставленной задачи.

3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВАРИАНТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ

3.1 Расчет потерь энергии до реконструкции

Место расположения трансформаторных подстанций не меняется и определяется расположением средств защиты от коррозии.

Потери энергии определяются как на стадии проектирования электрических сетей, так и при их эксплуатации. Наиболее распространенным является метод максимальных потерь, согласно которому потери энергии определяются по максимальной нагрузке и числу использования максимума нагрузок.

Потери энергии в трехфазной линии определяем по формуле:

$$\Delta W = 3 I_{max}^2 \cdot r_o \cdot l \cdot \tau \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (15)$$

Потери энергии в однофазной линии определяются по формуле:

$$\Delta W = 2 I_{max}^2 \cdot r_o \cdot l \cdot \tau \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (16)$$

где I_{max} – максимальный ток, А;

r_o – удельное сопротивление провода, Ом/км;

l – длина линии, км;

τ – время максимальных потерь, то есть время в течении, которого электроустановка, работая с максимальной нагрузкой, имеет такие же потери, как и при работе по действительному графику нагрузок.

Значение времени потерь τ можно определить из уравнения:

$$\tau = 0,69 \cdot T_m - 584, \quad (17)$$

где T_m – число часов использования максимума нагрузки в год.

В следствии постоянной нагрузки для расчетов можно принять $T_m = 8760$ часов.

$$\tau = 0,69 \cdot 8760 - 584 = 5460,4$$

$$\Delta W_{32-102} = 2 \cdot 2^2 \cdot 0,92 \cdot 4,9 \cdot 5460,4 \cdot 10^{-3} = 196,92 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\Delta W_{102-138} = 2 \cdot 1,33^2 \cdot 0,92 \cdot 2,5 \cdot 5460,4 \cdot 10^{-3} = 44,65 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\Delta W_{\text{КЛ}} = 2 \cdot 1,33^2 \cdot 0,89 \cdot 0,8 \cdot 5460,4 \cdot 10^{-3} = 13,83 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\Delta W_{139-140} = 2 \cdot 1,33^2 \cdot 0,92 \cdot 0,07 \cdot 5460,4 \cdot 10^{-3} = 1,25 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\Delta W_{140-178} = 2 \cdot 0,67^2 \cdot 0,92 \cdot 2,53 \cdot 5460,4 \cdot 10^{-3} = 11,30 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\sum \Delta W = 267,95 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Потери напряжения на участках линий рассчитываем по формуле:

$$\Delta U = \frac{(P_l \cdot l_l \cdot r_o + Q_l \cdot l_l \cdot x_o)}{U_n}, \text{ В} \quad (18)$$

где ΔU – потери напряжения в линии, В;

P_l – максимальное значение активной мощности на участке сети, кВт;

Q_l – максимальное значение реактивной мощности на участке сети, кВА;

l – длина участка линии, км;

r_o – удельное электрическое сопротивление электрическому току, Ом/км;

x_o – индуктивное сопротивление провода, Ом/км.

Проведем расчет потерь напряжения на участках линий по формуле (18). Результаты расчета сведем в таблицу 2.

Потери напряжения в линии определяются по формуле:

$$\Delta U\% = \frac{\sum \Delta U}{U_n} \cdot 100\%, \quad (19)$$

где $\sum \Delta U$ – суммарные потери напряжения по участкам линии, В;

$U_n = 6000$ – номинальное напряжение сети, В

Проведем расчет потерь напряжения в линии по формуле (19). Результаты расчета сведем в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчёт потерь напряжения сети до реконструкции

Номер участка.	Длина участка, км.	$P_{в,}$ кВт	$Q_{в,}$ кВАр.	$S_{в,}$ кВА.	$r_o,$ Ом/км.	$x_o,$ Ом/км.	$\Delta U_{в,}$ В.	$\Delta U_{в,}$ %.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
32-102	4,9	9	7,94	12	0,92	0,382	9,24	1,54
102-138	2,5	6	5,29	8	0,92	0,382	3,14	0,52
КЛ	0,8	6	5,29	8	0,89	0,095	0,78	0,13
139-140	0,07	6	5,29	8	0,92	0,382	0,09	0,01
140-178	2,53	3	2,65	4	0,92	0,382	1,59	0,26
Итого:							14,84	2,47

В данном случае потери напряжения находятся в пределах нормы, менее 7%, однако в связи с зафиксированной несимметрией напряжений на ячейки 3 – 9 ЗРУ - 6кВ существует необходимость эффективного распределения электрических нагрузок. Возможно данная проблема исчезнет если выбрать наиболее рациональную схему электроснабжения с равномерным распределением нагрузки.

3.2 Выбор трансформатора для ТП - 88П, ТП - 88аП, ТП - 89П.

В связи с тем, что был выявлен факт несимметрии токов и напряжений, а также установленное оборудование имеет моральный и физический износ, то предлагается заменить КТП на установки катодной защиты высоковольтные (УКЗВ). На рисунке 4 представлен общий вид УКЗВ и его габаритные размеры.

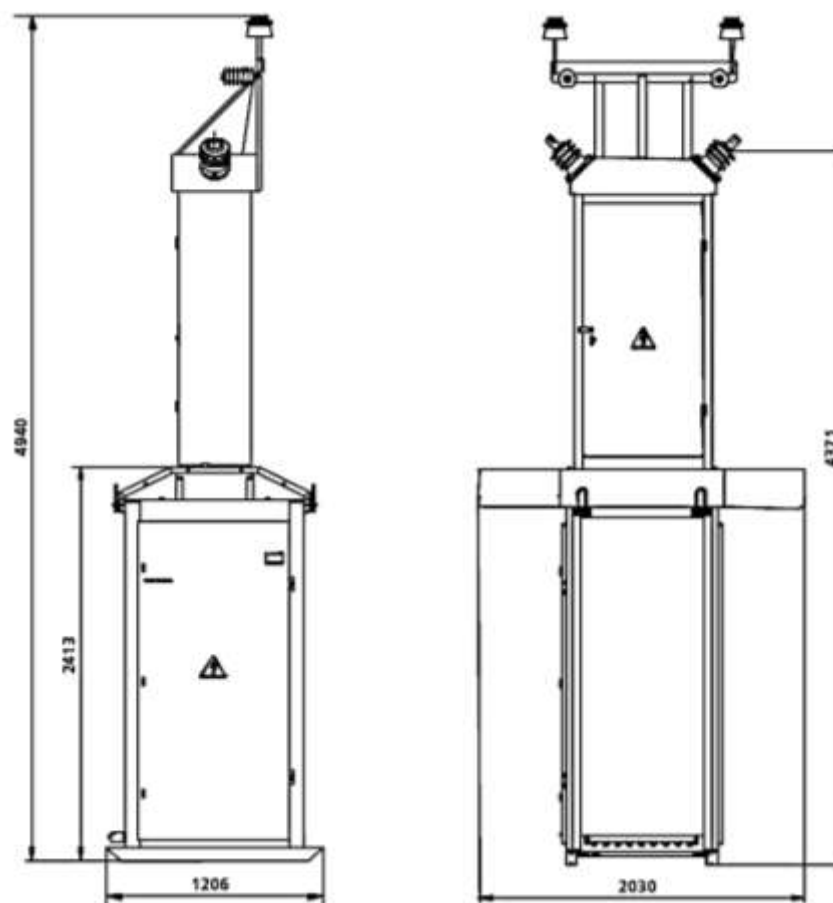


Рисунок 4 – Общий вид и габаритные размеры УКЗВ

Основные технические характеристики и параметры устройств УКЗВ приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные технические характеристики и параметры устройств УКЗВ

Наименование характеристики	Значения
1	2
Мощность силового трансформатора устройств, кВА	1,25 – 10,00
Номинальное напряжение устройств, кВ – на стороне высокого напряжения (ВН) – на стороне низкого напряжения (НН)	6,00; 10,00 0,23
Номинальный ток главной цепи устройств, А, не более – на стороне высокого напряжения, 6 или 10 кВ (ВН) – на стороне низкого напряжения (НН)	2 50
Ток динамической стойкости УКЗВ, кА – при номинальном напряжении на стороне ВН - 6 кВ – при номинальном напряжении на стороне ВН - 10 кВ	21 32
Время действия тока термической стойкости УКЗВ, с	1
Номинальное напряжение питания вспомогательных цепей устройств, однофазное, переменное, В	220
Способ обслуживания главных цепей устройств	одностороннее
Способ обслуживания вспомогательных цепей внутри низковольтного отсека устройств	двустороннее
Рабочая температура окружающей среды, о - для климатического исполнения У - для климатического исполнения УХЛ	-45 ... +45 -60 ... +40
Относительная влажность, при температуре окружающей среды +25 °С, %, не более	98
Высота над уровнем моря, м, не более	1000
Степень защиты оболочки устройств, по ГОСТ 14254-96, сверху, боковая поверхность / снизу	IP43 / IP31
Количество преобразователей катодной защиты, (ПКЗ), размещаемых в устройстве	1, 2
Номинальная выходная мощность преобразователей катодной защиты (ПКЗ), размещаемых в устройстве, кВт ¹⁾	0,3 - 5,0
Количество блоков совместной защиты (БСЗ), размещаемых в устройстве	1, 2

Продолжение таблицы 3

1	2
Количество устройств автоматического включения резервного преобразователя (АВРП)	1
Габаритные размеры основных составных частей устройства (длина, ширина, высота), мм – коробка воздушного ввода (КВВ) – шкафа (без КВВ)	1214 x 524 x 2520 1206 x 1033 x 2450
Габаритные размеры устройства в сборе (длина, ширина, высота), мм	1206 x 2030 x 4940
Масса основных составных частей, кг, не более – коробка воздушного ввода (КВВ) – шкафа (без КВВ)	125 460
Общая масса устройства в сборе (без преобразователей катодной защиты и блоков совместной защиты), кг, не более ²⁾	640
<p>1 Конкретные значения определяются типом, мощностью и количеством преобразователей катодной защиты, размещённых в устройстве.</p> <p>2 Масса преобразователей катодной защиты и блоков совместной защиты должна быть указана в паспорте на конкретный тип оборудования.</p>	

Таким образом, УКЗВ имеет полный набор необходимых устройств.

Основное преимущество – максимальная заводская готовность, обеспечивающая быстроту и удобство монтажа на объекте.

Сокращение потерь электроэнергии достигается заменой трансформаторов при устойчивом недоиспользовании их мощности. При коэффициенте загрузки трансформатора 10(6) /0,23 кВ меньше 0,5 имеет место существенное относительное увеличение потерь электроэнергии за счет потерь холостого хода.

В настоящее время установлены трансформаторы типа ОМП-4/6/0,23 мощностью 4 кВА, и станции катодной защиты (СКЗ) типа В-ОПЕ-М2-42-48 У1 полной потребляемой мощностью в номинальном режиме 2,77 кВА. Режим работы СКЗ составляет порядка 0,2 кВт. В связи с этим предлагается заменить установленные трансформаторы на трансформаторы типа ОЛ-0,63/6 мощностью 0,63 кВА и СКЗ на В-ОПЕ-ТМ-1-25-24-У1 номинальной мощностью 0,38 кВА. Общий вид трансформаторов типа ОЛ представлен на рисунке 5.

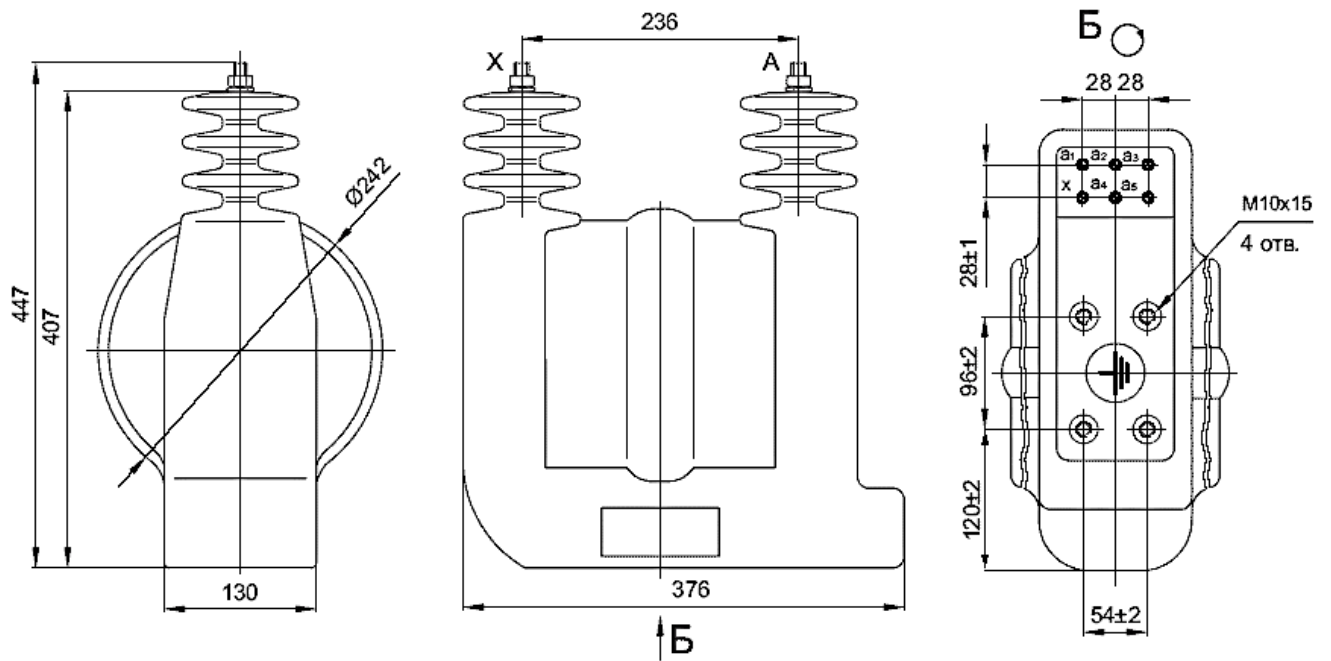


Рисунок 5 – Общий вид трансформаторов ОЛ

Основные технические характеристики и параметры трансформатора ОЛ-0,63/6 приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные технические характеристики и параметры трансформатора ОЛ-0,63/6

Наименование параметра	Значение для типов			
	ОЛ-СЭЩ-0,63/6	ОЛ-СЭЩ-0,63/10	ОЛ-СЭЩ-1,25/6	ОЛ-СЭЩ-1,25/10
1	2	3	4	5
Класс напряжения, кВ	6	10	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2	12,0	7,2	12,0
Номинальное напряжение первичной обмотки, кВ	6,0	10,0	6,0	10,0
	6,3	10,5	6,3	10,5
	6,6	11,0	6,6	11,0

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5
Номинальное напряжение вторичной обмотки, на ответвлениях, В:				
x – a1		218		
x – a2		224		
x – a3		230		
x – a4		236		
x – a5		242		
Номинальная мощность, В·А	630		1250	
Ток холостого хода, %, не более	50		35	
Потери холостого хода, Вт, не более		50		
Напряжение короткого замыкания, %		5		
Потери короткого замыкания, Вт, не более		55		
Схема и группа соединения обмоток		1/1-0		
Предельная мощность в течение 0,1 с и периодичности включения через 2 с (3 повторных включения), кВ·А		2,0		
Номинальная частота, Гц		50 или 60		
Предельные отклонения на основные характеристики, %:				
– коэффициент трансформации		±0,5		
– ток холостого хода		+30		
– потери холостого хода		+15		
– потери короткого замыкания		+10		
– напряжение короткого замыкания		±10		

Расчет снижения потерь электроэнергии в результате замены трансформаторов (таблица 4) определяется по формуле:

$$\Delta W = (\Delta P_{x.x.1} - \Delta P_{x.x.2}) \cdot T + (\Delta P_{к.з.1} K_{31}^2 - \Delta P_{к.з.2} K_{32}^2) \cdot \tau, \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (20)$$

где $\Delta P_{x.x.1}$, $\Delta P_{x.x.2}$ - потери мощности холостого хода трансформаторов, кВт;

$\Delta P_{кз.1}, \Delta P_{кз.2}$ - потери мощности короткого замыкания трансформаторов, кВт;

T - время использования максимальной нагрузки;

τ - время максимальных потерь.

K_3 - коэффициент загрузки трансформатора в период годового максимума, определяемый как:

$$K_3 = \frac{I_{ср.макс}}{I_{ни}}, \quad (21)$$

где $I_{ни}$ - номинальный ток i -го трансформатора, А;

$I_{ср.макс}$ - средний максимальный ток по суточным графикам в период контрольных замеров.

Приблизительно величину τ определяют по следующей формуле:

$$\tau = \left(0.124 + \frac{T}{10^4}\right)^2 \cdot 8760, \quad \text{ч} \quad (22)$$

где T - число часов использования максимальной нагрузки, ч.

Число часов использования максимальной нагрузки T определяется по формуле:

$$T = \frac{W_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{тр.н} \cdot \sum_{i=1}^n I_{ср.макс}}, \quad \text{ч} \quad (23)$$

где $U_{тр.н}$ - номинальное линейное напряжение трансформатора на низкой стороне.

Таблица 5 – Данные расчета эффективности замены малозагруженных трансформаторов трансформаторами меньшей мощности

Номер ТП	Номинальная мощность трансформатора, кВА		Потери холостого хода, кВт		Потери короткого замыкания, кВт		Номинальный ток, А		Макс. ток I_m , А	Коэффициент загрузки		Число часов макс. потерь	Снижение потерь $\delta A = \Delta W1 - \Delta W2$, кВт·ч
	S_{H1}	S_{H2}	$\Delta_{x.x1}$	$\Delta_{x.x2}$	$\Delta_{к.з1}$	$\Delta_{к.з2}$	I_{H1}	I_{H2}		K_{31}	K_{32}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
88П	4	0,63	0,045	0,05	0,14	0,055	0,67	0,11	0,063	0,09	0,57	158	120
88аП	4	0,63	0,045	0,05	0,14	0,055	0,67	0,11	0,063	0,09	0,57	158	120
89П	4	0,63	0,045	0,05	0,14	0,055	0,67	0,11	0,063	0,09	0,57	158	120

3.3 Применение коммутационных аппаратов нового поколения.

Развитие современной техники требует совершенствования электротехнических систем и комплексов, в частности коммутационных контактных и без контактных электрических аппаратов, которые являются одним из основных средств автоматизации производства и технологических процессов, предназначенных для коммутации (включения, отключения, переключения) и защиты электрических нагрузок.

Одним из наиболее эффективных способов снижения времени отключений электроэнергии на воздушных линиях среднего класса напряжения является использование реклоузеров [8].

Технические характеристики представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики реклоузеров.

Параметр	Значение
1	2
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12,0
Номинальный ток главных цепей, А	400; 630; 1000
Номинальный ток отключения выключателя, кА	20
Номинальный ток термической стойкости (3 сек), кА	20
Ток электродинамической стойкости, кА	51
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	
– переменного оперативного тока	220
– постоянного оперативного тока	220
– цепи трансформаторов напряжения (защиты, измерения, учёта, АВР)	100
– цепи трансформаторов собственных нужд	220
Уровень изоляции по ГОСТ 1516.3-76	Нормальная, уровень "б"
Вид изоляции	Воздушная

Продолжение таблицы 6

1	2
Изоляция ошиновки	С неизолированными шинами
Род установки	Для наружной установки на опоры ВЛ
Вид управления	Местное, дистанционное и телемеханическое
Масса, кг	Не более 300
Степень защиты со всех сторон	IP54
Срок службы не менее	25 лет
Гарантийный срок	2 года

Реклоузер применяется для:

- Для повышения надежности линий электропередач 6 (10) кВ, обеспечение защиты электротехнического оборудования на ответвлении сети;
- Секционирования линий с односторонним и двухсторонним питанием;
- Автоматическая локализация повреждений и подача резервного питания;
- Технического и коммерческого учета энергии;
- Сетевого резервирования воздушных линий;
- Плавки гололеда.

Внедрение реклоузеров позволяет:

- Снизить затраты на обслуживание сети.
- Снизить недоотпуск электроэнергии, а соответственно повысить надежность электроснабжения.
- Повысить надежность и технический уровень эксплуатации распределительных сетей. Реализовать современные принципы построения, управления и автоматизации распределительных сетей.
- Получать необходимый объем информации для принятия оперативных и плановых решений.

- Создать автоматически управляемую сеть.
- Оптимизировать режимы работы сети.

Предлагается заменить устаревший линейный разъединитель типа РЛНД-1-10/400 У1 на реклоузер типа ПСС-6-20/630-50/5-ВВР-БЗП УХЛ1.

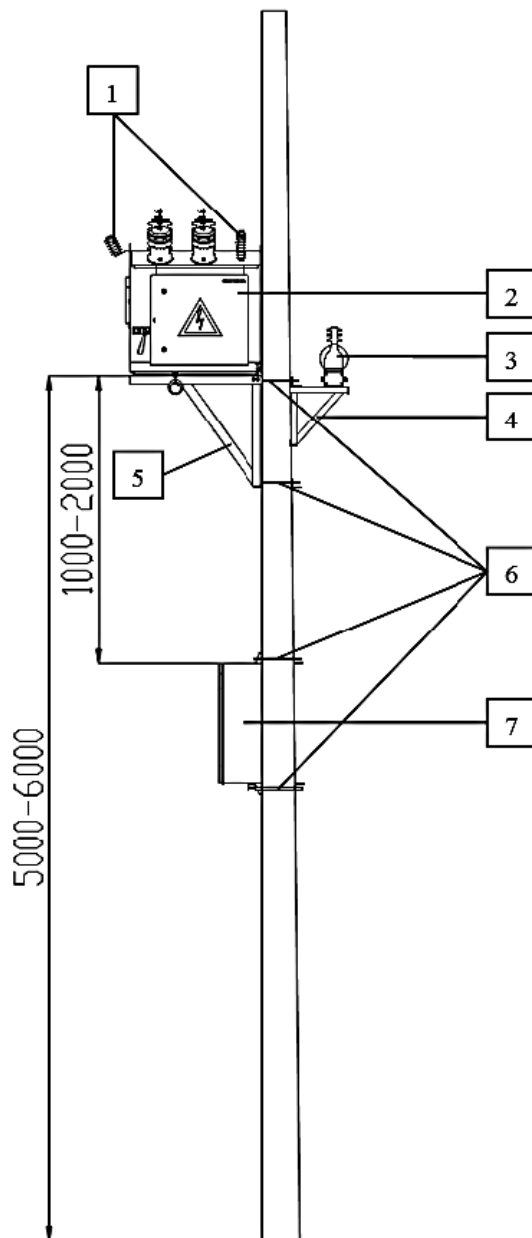


Рисунок 6 – Общий вид реклоузера на опоре

- 1 – ограничители перенапряжений, 2 – высоковольтный модуль,
 3 – трансформатор собственных нужд, 4 – рама опоры трансформатора
 собственных нужд, 5 – рама опоры (платформа), 6 – скоба,
 7 – модуль низковольтный.

3.4 Замена проводов отпаечной ВЛ

В реконструкции системы электроснабжения предлагается изменить конфигурацию сетей с использованием современных проводов СИП. Выбор проводов СИП обусловлен их явным преимуществом над голыми проводами [27]:

- существенно уменьшены габариты линии и соответственно требования к просеке для прокладки и в процессе эксплуатации;
- провода защищены от сжестывания;
- простота монтажных работ и соответственно уменьшения их сроков;
- высокая механическая прочность проводов и соответственно невозможность их обрыва;
- на таких проводах практически не образуется гололед;
- сравнительно небольшая стоимость линии (примерно на 35 % дороже "голых"). При этом происходит значительное сокращение эксплуатационных расходов (реальное сокращение доходит до 80 %).
- исключено воровство проводов, так как они не подлежат вторичной переработки;
- пожаробезопасность таких линий, основана на исключении КЗ при сжестывании;

Для ВЛ - 6кВ выбираем СИП - 3.

3.5 Изменение конфигурации ЛЭП на ТП - 88П, ТП - 88аП, ТП - 89П

Данные ТП рассчитаны на фазное напряжение, то есть подключены по двухпроводной схеме.

Предлагается распределить нагрузку по фазам и использовать трехпроводную схему электроснабжения.

Произведем расчёт распределения мощности по участкам сети, результаты сведем в таблицу 6.

3.6 Выбор сечения проводов по экономической плотности тока

Согласно ПУЭ рекомендуется для определения экономического сечения провода использовать формулу [23]:

$$F_э = \frac{I_{max}}{j_э} \cdot K_n, \quad (24)$$

где $F_э$ – экономически целесообразное сечение провода, мм²;

I_{max} – сила тока, протекающего по проводам линии в нормальном режиме при максимальной нагрузке, А;

$j_э$ – экономическая плотность тока, $j_э = 1,2$ А/мм²;

K_n – поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность нагрузки на линии.

Определение силы тока, протекающего по проводам линии в нормальном режиме при максимальной нагрузке:

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (25)$$

где $U_n = 6$ кВ – номинальное напряжение сети, В

Поправочный коэффициент определяется по формуле:

$$K_n = \sqrt{\frac{I_{max}^2 \cdot l}{\sum_{i=1}^n I_{maxi}^2 \cdot l_i}}, \quad (26)$$

где l – полная длина линии, км;

l_i – длина i -го участка линии, км;

I_{max} – максимальный ток наиболее загруженного участка сети, А;

I_{maxi} – максимальный ток i -го участка сети, А.

Пример расчёта экономического сечения провода по участкам линии

$$I_{max} = \frac{1,89}{\sqrt{3} \cdot 6} = 0,182$$

$$K_n = \sqrt{\frac{0,182^2 \cdot 10,8}{0,727}} = 0,49$$

$$F_э = 0,182 / 1,2 \cdot 0,49 = 0,07 \text{ мм}^2$$

Провода сечением $0,07 \text{ мм}^2$ не существует поэтому необходимо выбрать ближайший из стандартных сечений, примем провод СИП - 3 1×16 , кабель АВББШВ $3 \times 16-6$ и проверим линию по потерям напряжения.

Значения активного и индуктивного сопротивления одного километра провода выбранного сечения, сводим в таблицу 7 и одновременно определяем потери напряжения по участкам линии.

3.7 Определение потерь напряжения

Потери напряжения на участках линий рассчитываем по формуле 4, 5 и сводим в таблицу 7.

Таблица 7 – Потери напряжения после преобразования сети

Номер участка.	Длина участка, км.	$P_{в,}$ кВт.	$Q_{в,}$ кВАр.	$S_{в,}$ кВА.	$r_0,$ Ом/км.	$x_0,$ Ом/км.	$\Delta U_{в,}$ В.	$\Delta U_{в,}$ %.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
32-102	4,9	9	7,94	12	0,369	0,278	4,51	0,75
102-138	2,5	6	5,29	8	0,369	0,278	1,54	0,26
КЛ	0,8	6	5,29	8	1,16	0,095	1,00	0,17
139-140	0,07	6	5,29	8	0,369	0,278	0,04	0,01
140-178	2,53	3	2,65	4	0,369	0,278	0,78	0,13
Итого:							7,86	1,31

В данном случае потери напряжения находятся в пределах нормы, менее 7%, тем самым мы можем принять данную схему реконструкции.

Для проведения реконструкции понадобится установить УКЗВ, заменить провода участков на СИП -3 1×16 , заменить кабель на КРБК 3×16 и изменить конфигурацию сетей на трехпроводную с равномерным распределением нагрузки.

3.8 Расчет потерь энергии после реконструкции

Потери энергии определяются как на стадии проектирования электрических сетей, так и при их эксплуатации. Потери энергии по участкам линии определяем по формуле (18, 19) результаты сводим в таблицу 8.

Таблица 8 – Расчет потерь энергии по участкам сети

Номер участка.	Длина участка, км.	$P_{в}$, кВт.	$Q_{в}$, кВАр.	$S_{в}$, кВА.	r_0 , Ом/км.	x_0 , Ом/км.	$\Delta U_{в}$, В.	$\Delta U_{в}$, %.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
32-102	4,9	1,62	0,96	1,89	0,923	0,299	1,46	0,24
102-138	2,5	1,08	0,64	1,26	0,923	0,299	0,50	0,08
КЛ	0,8	1,08	0,64	1,26	1,16	0,095	0,18	0,03
139-140	0,07	1,08	0,64	1,26	0,923	0,299	0,01	0,00
140-178	2,53	0,54	0,32	0,63	0,923	0,299	0,25	0,04
Итого:							2,39	0,40

Общие потери энергии в реконструированной схеме электроснабжения по формуле (15).

$$\Delta W_{32-102} = 3 \cdot 1,18^2 \cdot 0,92 \cdot 4,9 \cdot 5460,4 \cdot 10^{-3} = 0,98 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\Delta W_{102-138} = 3 \cdot 1,21^2 \cdot 0,92 \cdot 2,5 \cdot 5460,4 \cdot 10^{-3} = 0,67 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\Delta W_{\text{КЛ}} = 3 \cdot 1,21^2 \cdot 0,92 \cdot 0,8 \cdot 5460,4 \cdot 10^{-3} = 0,67 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\Delta W_{139-140} = 3 \cdot 1,21^2 \cdot 0,92 \cdot 0,07 \cdot 5460,4 \cdot 10^{-3} = 0,02 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\Delta W_{140-178} = 2 \cdot 1,11^2 \cdot 0,92 \cdot 2,53 \cdot 5460,4 \cdot 10^{-3} = 0,11 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\sum \Delta W_{\text{рек}} = 2,45 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Потери энергии до реконструкции составляли – $\sum \Delta W_{\text{сущ}} = 267,95 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$,

Снижение потерь после реконструкции снизились в 109 раза.

Вывод по разделу 3

После проведения расчётов по реконструкции, было выявлено значительное снижение потерь энергии, которые в основном состоят из рационального выбора мощности трансформаторов и распределению нагрузок по фазам сети. Также было предложено решение по применению реклоузеров для повышения надежности электроснабжения и снижения эксплуатационных затрат на обслуживание сети.

Предложен наиболее эффективный и экономически выгодный метод по достижению требуемого уровня качества электроэнергии и достижению надежности электроснабжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрен вопрос реконструкция системы электроснабжения установок катодной защиты магистрального газопровода с целью повышения надежности электроснабжения и качества передаваемой электроэнергии. Необходимость реконструкции спровоцирована низким качеством электроэнергии, в связи с изменением распределения мощностей на предприятии. Также рассмотрены причины влияющие на качество электроэнергии и все возможные варианты повышения качества электроэнергии. При этом:

1. Обнаружено, что на исследуемом объекте система энергоснабжения не соответствует современным представлениям о надежности и эффективности, также не соответствует нормам качества электроэнергии ГОСТ 32144-2013 [6].

2. Анализ состояния исследуемого объекта приводит к выводу, что требуется повышение показателей структурной надежности схем (реконструкция). Возросшие требования к качеству электроэнергии, предъявляемые к сетям, вызвали необходимость в конструировании сетей последнего поколения, отвечающих этим требованиям.

3. В работе проведен электрический расчет варианта реконструкции и выбраны материально-технические ресурсы для обновления электротехнического комплекса, с целью снижения остроты проблемы, а именно:

- устройство распределительное катодной защиты высоковольтное типа УКЗВ-1-6/0,23-10 С1 У1-А;
- трансформатор типа ОЛ-0,63/6;
- потребитель электроэнергии типа В-ОПЕ-ТМ-1-25-24-У1;
- реклоузер типа ПСС-6-20/630-50/5-ВВР-БЗП УХЛ1;
- провод ВЛ типа СИП - 3 1х16;
- кабель типа АВББШВ 3х16-6.

4. Учитывая стратегию предприятия по планированию работ на момент дефицита материально-технических ресурсов, предлагаются наименее затратные, но наиболее эффективные в складывающихся условиях мероприятия по достижению

качества электроэнергии и поддержанию работоспособности распределительных сетей.

5. Работа может представлять интерес для организаций, проектирующих, а также эксплуатирующих устройства с неполно фазной нагрузкой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белкин, Г.С. Коммутационные процессы в электрических аппаратах / Г.С. Белкин. – М.: Знак, 2003. – 244 с.
2. Будзко, И.А. Электроснабжение сельского хозяйства / И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукаманов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
3. Висящев, А.Н. Качество электрической энергии и электромагнитная совместимость в электрических системах: учебное пособие / А.Н. Висящев. – Иркутск, 1997. – 187 с.
4. Воротницкий, В.Э. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / В.Э. Воротницкий, Ю.С. Железко, В.Н. Казанцев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.
5. ГОСТ 30804.4.30-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии / Межгос. совет по стандартизации, метролог. и сертифицик. – М.: Стандартиформ, 2014. – 18 с.
6. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Межгос. совет по стандартизации, метролог. и сертифицик. – М.: Стандартиформ, 2014. – 16 с.
7. Демирчан, К.С.. Теоретические основы электротехники. В 3-х т. Учебник для вузов / К.С. Демирчан, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. – СПб.: Питер, 2006. – 463 с.
8. Евдокунин Г.А., Тилер Г. Современная вакуумная коммутационная техника для среднего напряжения. — СПб.: Изд. Сизова М.П., 2002. – 325 с.
9. Жежеленко, И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.
10. Железко, Ю.С. Научно-методические основы стратегии снижения потерь и повышения качества электроэнергии в электрических сетях: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.14.02 / Ю.С. Железко. – М., 1996. – 46 с.

11. Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
12. Железко, Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь в электрических сетях: руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко, А.В. Артемьев, О.В. Савченко. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 280 с.
13. Иванов, В.С. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий / В.С. Иванов, В.И. Соколов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 336 с.
14. Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины. Учебник для вузов в двух томах / А.В. Иванов-Смоленский. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 652 с.
15. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов / В.И. Идельчик. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
16. Карташев, И.И. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов, Ю.В. Шаров, А.Ю. Воробьев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 320 с.
17. Косоухов, Ф.Д. Несимметрия напряжений и токов в сельских распределительных сетях: монография / Ф.Д. Косоухов, И.В. Наумов. – Иркутск, 2003. – 257с.
18. Майер, В.Я. Исследование влияния симметричного и несимметричного отклонения напряжения на эксплуатационные характеристики асинхронного двигателя/ В.Я.Майер // Промышленная энергетика. –1993. –№ 9. – С. 30 – 34.
19. Марквардт, К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог / К.Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 524 с.
20. Мельников, Н.А. Несимметрия напряжений в промышленных электрических сетях / Н.А. Мельников, Л.А. Солдаткина. – М.: Энергия, 1975. – 78 с.
21. Мукосеев, Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для вузов / Ю.Л. Мукосеев. – М.: Энергия, 1973. – 584 с.
22. Наумов, И.В. Методика расчета показателей несимметрии токов и напряжений в сети 0,38 кВ с симметрирующим устройством / И.В. Наумов, Г.В. Лукина, С.В. Сукьясов, С.В. Подъячих // Ползуновский вестник. –2001. – № 2. – С. 49 – 56.

23. Правила устройства электроустановок: утв. Приказом Минэнерго России от 20 июня 2003 г. № 242 / М-во энергетики Российской Федерации. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.

24. Прогноз электропотребления в России на среднесрочный период: Информационно-аналитический материал ГК «Внешэкономбанк». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.veb.ru/common/upload/files/veb/analytics/fld/20140122_2.pdf.

25. Рыжнев, Ю.Л. Влияние дуговых электропечей на системы электроснабжения / Ю.Л. Рыжнев, Р.В. Минеев, А.П. Михеев, М.Я. Смелянский. – М.: Энергия, 1975. – 184 с.

26. Скороходов, В.А. Методы и технические средства повышения качества электроэнергии и компенсации / В.А. Скороходов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 152 с.

27. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д. Л. Файбисовича, И. Г. Карапетян, И.М. Шапиро. – Москва: ЭНАС. 2012. – 376 с.

28. Трасса сквозь время. История становления и развития УМГ «Бухара-Урал» - ООО «Уралтрансгаз». – Екатеринбург, «Уральский рабочий», 2005. – 686 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

АКТ
обследования ВЛ-6 кВ,
электроснабжения УКЗ 88.88А.89 МГ Бухара-Урал.

Напряжение на 3-СШ ЗРУ ПС «Красногорская КС-19» по данным вольтметра в ячейке 3-7:

$U_{AB} = 6300\text{В}$
 $U_{BC} = 6300\text{В}$
 $U_{CA} = 5900\text{В}$
 $U_{A0} = 3300\text{В}$
 $U_{B0} = 4000\text{В}$
 $U_{C0} = 3300\text{В}$

Измерение сопротивления участка ВЛ оп. 33-178 (19-32 км) 13Мом

Участок ВЛ	R (Мом)	ТП	R (Мом)
33-178 (без ТП УКЗ 88.88А)	108	УКЗ 88 26 км. ф-А (без ОМП)	1000
33-178 (без ТП УКЗ 88.88А.89) ф-А	235	УКЗ 88 26 км. ф-В (без ОМП)	816
33-178 (без ТП УКЗ 88.88А.89) ф-В	220	УКЗ 88 26 км. ОМП-ЛР	507
33-178 (без ТП УКЗ 88,88А,89) А-В	446	УКЗ 88 26 км. ОМП	1000
ВЛ 29-32 км ф-А	770	УКЗ 88А 29 км. ф-А (без ОМП)	150000
ВЛ 29-32 км ф-В	780	УКЗ 88А 29 км. ф-В (без ОМП)	180000
ВЛ 19-28 км + КЛ ф-А	176	УКЗ 88А 29 км, ОМП	204
ВЛ 19-28 км + КЛ ф-В	181	УКЗ 89 32 км. ОМП	1000
КЛ (Резерв)	2400		
ВЛ 19-28 км ф-А	220		
ВЛ 19-28 км ф-В	230		
КЛ А-В	4000		
КЛ ф-А	2900		
КЛ ф-В	3400		
КЛ А-Рез	10000		

После проведения текущего ремонта и сбора всей схемы - 76 Мом.

Измерения провели:

Монтер службы защиты от коррозии  Е.М. Шалабанов 04.07.2017

Монтер службы защиты от коррозии  А.Н. Давыдкин 04.07.2017

Принял:

Начальник службы защиты от коррозии  М.Ю. Белый 04.07.2017

