

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Электроэнергетики

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В. И. Пантелеев

подпись инициалы, фамилия

« ____ » декабря 2023г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Оптимизация режима напряжения линии электропередачи

тема

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код и наименование направления

13.04.02.09 «Автоматизация энергетических систем»

код и наименование магистерской программы

Руководитель	_____	доц. каф ЭМиАТ, к.т.н	А. В. Коловский
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		С. В. Степанов
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	дисп. ОДС ф.ОА «СО ЕЭС»	Д. В. Баранов
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____	доц. каф ЭМиАТ, к.т.н	А. В. Коловский
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Абакан 2023

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

«Электроэнергетика»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г. Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия
« 01 » ноября 2020 г

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации**

Абакан 2020

Студенту Степанову Станиславу Владимовичу

фамилия, имя, отчество

Группа ОЗХЭН 20-01 Направление (специальность) 13.04.02

номер

код

«Электроэнергетика и электротехника»

полное наименование

Тема выпускной квалификационной работы Оптимизация режима напряжения линии электропередачи

Утверждена приказом по университету № 752 от 20.10.2020

Руководитель ВКР А. В. Коловский, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика», ХТИ – филиал СФУ

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР

1. Поопорная схема воздушной линии 10 кВ ф. 37-02 от П/С №37 «Имисская» «Красноярскэнерго»
2. Схема сети 0,4 кВ

Перечень разделов ВКР

1. Анализ методов оптимизации режима напряжения ЛЭП;
2. Создание модели воздушной линии 10 кВ в программе RastrWin;
3. Разработать мероприятия по повышению качества электроэнергии на ВЛ 10 кВ;
4. Проверка эффективности разработанных мероприятий с использованием программы RastrWin;
5. Создание модели участка сети 0,4 кВ в среде динамического моделирования «SimInTech»;
6. Создание модели вольто-добавочного трансформатора в среде динамического моделирования «SimInTech»;
7. Сравнение моделей участка сети 0,4 кВ без подключения ВДТ и с учетом его подключения.

Руководитель ВКР

подпись

А. В. Коловский

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись,

С. В. Степанов

инициалы и фамилия студента

« ____ » _____ 2020 г.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Оптимизация режима напряжения линии электропередачи» содержит 51 страницу текстового документа, 4 таблицы, 48 рисунков, 27 использованных источников.

ЛЭП, ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР, ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ, СТАБИЛИЗАЦИЯ.

Объект исследования – воздушная линия 10 кВ ф. 37-02 от П/С №37 «Имисская» «Красноярскэнерго» и линия сетей 0,4 кВ.

Предмет исследования – мероприятия, обеспечивающие повышение качества электроэнергии.

Метод исследования – графическое моделирование в программном комплексе «RastrWin», моделирование в среде динамического моделирования «SimInTech», анализ полученных результатов.

Цель работы заключается в разработке мероприятий по повышению качества электроэнергии в сетях 10 и 0,4 кВ.

Задачи работы:

- произвести анализ ряда мероприятий, направленных на повышение качества электроэнергии;
- разработать модель ВЛ 10кВ в программе «RastrWin»;
- разработать модель сети 0,4 кВ в среде динамического моделирования «SimInTech».

В процессе выполнения работы были получены следующие результаты:

- разработана модель и мероприятия, направленные на повышения качества электроэнергии на ВЛ 10 кВ;
- разработана модель и получены данные от использования вольтодобавочного трансформатора в сетях 0,4 кВ.

ABSTRACT

The master's thesis on the topic “Optimization of the voltage regime of a power transmission line” contains 51 pages of text document, 4 tables, 48 figures, 27 used sources.

POWER LINE, SUPPLEMENTAL TRANSFORMER, VOLTAGE LOSSES.

The object of study is an overhead line 10 kV f. 37-02 from P/S No. 37 “Imisskaya” “Krasnoyarskenergo” and a 0.4 kV line electrical grid.

The subject of the study is measures to improve the quality of electricity.

Research method – graphical modeling in the “RastrWin” software package, modeling in the dynamic modeling environment “SimInTech”, analysis of the results obtained.

The purpose of the work is to develop measures to improve the quality of electricity in 10 and 0.4 kV electrical grid.

Tasks of the master's thesis:

- analyze a number of measures aimed at improving the quality of electricity;
- develop a 10 kV overhead lines model in the “RastrWin” program;
- develop a model of a 0.4 kV electrical grid in the dynamic modeling environment “SimInTech”.

In the process of performing the work, the following results were obtained:

- a model and measures have been developed aimed at improving the quality of electricity on 10 kV overhead lines;
- a model was developed and data was obtained from the use of a booster transformer in 0.4 kV electrical grid.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Методы оптимизации режима напряжения линии электропередачи	8
1.2 Установки поперечной и продольной компенсации реактивной мощности.....	9
1.3 Батареи статических конденсаторов.....	11
1.4 Расщепление провода ЛЭП, изменение сечения провода ЛЭП...	13
1.5 Повышение номинального напряжения (реконструкция).....	14
1.6 Установка вольтодобавочного трансформатора.....	14
2 Моделирование линии 10кВ в программном комплексе RastrWin	16
2.1 Описание моделируемого участка электрической сети.....	17
2.2 Разработка первоначального состояния модели участка сети в программе RastrWin	18
2.3 Разработка мероприятий по повышению качества электроэнергии в линии электропередач и проверка их эффективности в программном комплексе «RastrWin» на линии 10 кВ	22
2.3.1 Повышение уровня напряжения на ВЛ с помощью вольтодобавочного трансформатора, повышения сечения некоторых участков и расщепления ЛЭП на отдельных участках	22
2.3.2 Повышение уровня напряжения ВЛ с помощью двух ВДТ и повышения сечения некоторых участков	25
3 Моделирование линии 0,4 кВ в среде динамического моделирования «SimInTech»	27
3.1 Описание моделируемого участка сети 0,4 кВ	27
3.2 Разработка первоначального состояния модели сети 0,4 кВ в среде динамического моделирования «SimInTech»	28

3.3 Моделирование ВДТ для трехфазной в среде динамического моделирования «SimInTech».....	36
3.4 Моделирование сети 0,4 кВ с учетом установки ВДТ в среде динамического моделирования «SimInTech».....	38
3.5 Сравнение полученных результатов двух моделей.....	43
4. Применение вольтодобавочных трансформаторов в сетях 6-20 кВ и 0,4 кВ	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Цель энергетической политики РФ заключается в максимальном эффекте от использования энергетических ресурсов, потенциала сектора энергетики для устойчивого экономического роста, повышения уровня жизни граждан страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций.

В данной магистерской диссертации объектом исследования является воздушная линия 10 кВ ф. 37-02 от П/С №37 «Имисская» «Красноярскэнерго» и линия сетей 0,4 кВ.

На данных линиях наблюдаются падения напряжения более 10% от номинальных значений. Таким образом, для обеспечения необходимого качества электроэнергии требуется повысить уровень напряжения у самых удалённых потребителей. Выбор наиболее эффективного мероприятия является актуальной задачей, имеющей высокую практическую значимость.

Цель работы заключается в разработке мероприятий по повышению качества электроэнергии в сетях 10 и 0,4 кВ.

Задачи работы:

- произвести анализ ряда мероприятий, направленных на повышение качества электроэнергии;
- разработать модель ВЛ 10кВ в программе «RastrWin»;
- разработать модель сети 0,4 кВ в среде динамического моделирования «SimInTech».

1 Методы оптимизации режима напряжения линии электропередачи

Работа электроприемников во многом зависит от качества электроэнергии.

Качество электрической энергии - степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных значений показателей качества электрической энергии[1]. Под параметрами электрической энергии понимают напряжение, частоту, форму кривой электрического тока. Качество электрической энергии является составляющей электромагнитной совместимости, характеризующей электромагнитную среду[2,3].

При низком качестве электроэнергии снижается эффективность работы электроприемников (вплоть до полного прекращения работы), быстро изнашивается изоляция оборудования, сокращается срок его службы. Поэтому необходимо стремиться к поддержанию такого качества электроэнергии на зажимах электроприемников, при котором сохраняется их работоспособность и срок службы максимален, а потери электроэнергии в питающей сети минимальны.

Одним из показателей качества электроэнергии являются медленные изменения напряжения. Медленные изменения напряжения – изменение напряжения, длительностью более одной минуты, которые возникают при изменении нагрузки электрической сети (например в течении дня). Показателями качества электроэнергии являются положительные $\delta U_{(+)}$ и отрицательные $\delta U_{(-)}$ отклонения напряжения электропитания в точке подключения потребителей электрической энергии от согласованного/номинального значения, %:

$$\delta U_{(+)} = [(U_{m(+)} - U_0)/U_0] * 100\% \quad (1)$$

$$\delta U_{(-)} = [(U_0 - U_{m(-)})/U_0] * 100\% \quad (2)$$

где $U_{m(-)}, U_{m(+)}$ – значения напряжения в точке подключения, меньшие U_0 и большие U_0 соответственно, усредненные в интервале десяти минут.

U_0 – напряжение, равное согласованному напряжению линии U_C (для линий среднего и высокого напряжения) или стандартному номинальному напряжению линии $U_{ном}$ (220В между фазным и нулевым проводниками в однофазных и четырехпроводных трехфазных линиях; 380В между фазными проводниками в трех- и четырехпроводных трехфазных линиях)

Для данного показателя качества электроэнергии предусмотрены следующие нормы (согласно ГОСТ 32144 – 2013) : отрицательные и положительные отклонения напряжения в точке подключения потребителей не должны превышать более чем в 1,1 раза согласованного или номинального значений напряжения в течении всего времени. [4]

По всей длине ВЛ существуют способы для обеспечения нормального уровня напряжения:

- установки поперечной и продольной компенсации реактивной мощности;
- батареи статических конденсаторов;
- увеличение сечения провода ЛЭП, расщепление линий ЛЭП;
- повышение номинального напряжения (реконструкция);
- установка вольтдобавочного трансформатора.

1.2 Установки поперечной и продольной компенсации реактивной мощности

Установки поперечной и продольной компенсации используются для компенсации реактивной энергии (энергии, которая вырабатывается от электродвигателей) непосредственно у мощных потребителей электроэнергии. Такие установки целесообразно применять на предприятиях, где идет отдельный учет электроэнергии, то есть считается отдельно

активная электроэнергия и реактивная электроэнергия. Применение конденсаторной установки позволяет сэкономить реактивную электроэнергию вплоть до 70 %.

Принцип работы конденсаторной установки: микропроцессорный контроллер, подключается к измерительному трансформатору тока на вводе предприятия, считывает информацию о работе сети. Далее, он определяет реактивную мощность в данный момент времени и включает посредством управляемых выключателей нужное количество конденсаторных батарей, то есть регулятор анализирует сеть и дает команду на управляемые выключатели о включении или отключении. Каждая ступень компенсации реактивной мощности защищена рубильником с собственными предохранителями, на вводе установки стоит автоматический выключатель, также на вводе может ставиться рубильник с предохранителями, который используется для обеспечения видимого разрыва, при обслуживании данной конденсаторной установки.

Упрощенно сегодня различают виды компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения:

- параллельную (или поперечную) компенсацию, при которой устройство компенсации реактивной мощности подключается в однофазную (или трехфазную) сеть параллельно нагрузке и не зависит от напряжения в точке присоединения.

К достоинствам этого вида компенсации относят независимость установки коррекции коэффициента мощности ($\cos \varphi$) от напряжения в точке присоединения, плавное регулирование выдаваемой реактивной мощности, эффективность при стабилизации напряжения в сети. С другой стороны, параллельная (поперечная) компенсация ограничена по скорости изменения колебаний активной составляющей полной мощности;

- последовательная (продольная) компенсация, при которой генерирующее реактивную энергию устройство подключено в однофазную сеть последовательно и, по факту балансирует реактивную мощность всей

передающей линии.

Достоинствами этого вида компенсации считают возможность подавления перетоков реактивной мощности всем фазам напряжения одновременно, значительную эффективность компенсации, скорость и малую сложность при работе по установке устройств изменения коэффициента мощности ($\cos \varphi$) в электрическую сеть. Недостатками же последовательной компенсации являются – невозможность регулирования напряжения в сети; высокий шанс возникновения перенапряжения в сети при неправильных расчетах или быстрых изменениях нагрузки; сложность контроля и управления генерацией реактивной мощности при периодически изменяющихся нагрузках.

1.3 Батареи статических конденсаторов

Конденсаторные установки (КУ) – набор батарей статических конденсаторов, которые могут быть соединены между собой параллельно или последовательно. Изготавливаются они как в однофазном, так и в трехфазном исполнении на различные характеристики (напряжение, мощность). Наиболее эффективное соединение фаз – в треугольник, так как мощность такой установки будет в 3 раза больше, чем при соединении фаз в звезду. Батареи широко применяются на предприятиях, как средство компенсации реактивной мощности. Выпускаются в широком диапазоне мощностей и напряжений, имеют возможность ступенчатого регулирования на разные диапазоны мощности[5].

К основным преимуществам КУ можно отнести:

- простота конструкции;
- малая стоимость;
- малогабаритность;
- несложность управления;
- снижение нагрузки;

- экономия электрической энергии;
- улучшение качества электроэнергии;

Существуют следующие виды компенсации реактивной мощности:

– индивидуальная компенсация – КУ ставится к каждому электроприемнику в отдельности, и соответственно режим компенсации получается самый оптимальный. Т.к. вся необходимая для электроприемника реактивная мощность, генерируется непосредственно на зажимах приемника, и электроприемник не нагружает сеть реактивной энергией. Недостаток заключается в том, что экономически данный вид компенсации достаточно затратен, и окупается в течении очень долгого времени. Позволяет скомпенсировать реактивную мощность на наиболее мощных электродвигателях (индивидуально) (рис. 1, а);

– групповая компенсация – установка, подключаемая на группу электроприемников, подключается к шинам до/свыше 1 кВ, и позволяет частично компенсировать реактивную мощность на всех электроприемниках. Групповую установку целесообразно ставить на стороне высокого напряжения на вводе предприятия, чтобы уменьшить реактивную нагрузку в ЛЭП, но для предприятия это не будет нести никакой видимой пользы, т.к. внутренняя сеть предприятия будет нагружена реактивной мощностью (рис. 1, б);

– централизованная компенсация – в данном случае установка может устанавливаться как на стороне высшего напряжения (подключение к шинам 6/10кВ), так и на стороне низшего напряжения (подключение к шинам 0,4 кВ) (рис. 1, в) [6].

На рисунке 1 представлены виды компенсации реактивной мощности по способу подключения компенсирующих устройств:

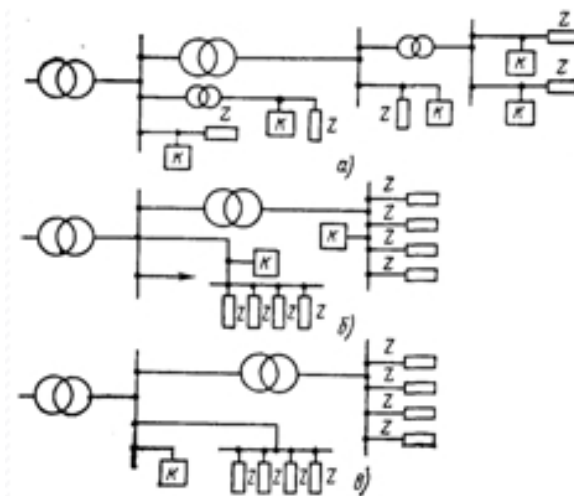


Рисунок 1 –Виды подключения компенсирующих установок реактивной мощности

Количество подключаемых конденсаторов определяет число ступеней регулирования, от 4 и более. Каждая ступень характеризуется реактивной мощностью кВАр (киловольт-ампер реактивная), которая протекает через конденсаторные батареи и которую она компенсирует.

1.4 Расщепление провода ЛЭП, изменение сечения провода ЛЭП

В процессе эксплуатации электрической сети могут возникать проблемы связанные с повышением потерь электроэнергии и напряжения. Связано это с увеличением потребления электроэнергии, а следовательно с увеличением токовой нагрузки. Так же одной из причин является появление коронного разряда, который вызывает дополнительные потери в проводах, но и создает дополнительные искажения первоначально синусоидальной формы тока, на работу с которыми сети переменного тока не рассчитаны. В некоторых случаях возможна реконструкция ЛЭП с расщеплением ее провода. При невозможности данных мероприятий возможна постройка параллельной ЛЭП, что связано со значительным увеличением как

капитальных, так и эксплуатационных затрат.

Так же, одним из возможных решений становится замена проводов воздушных линии на провода большего сечения. Данное мероприятие может быть осуществлено лишь в случае достаточной механической прочности опор и возможности установки на данные опоры проводов большего сечения.

1.5 Повышение номинального напряжения (реконструкция)

Одним из способов повышения номинального напряжения вдоль ЛЭП является замена трансформатора на головном источнике питания и замена трансформаторов на подстанциях потребителей. Однако этот метод требует больших вложений и существенных временных затрат. Так же требуется проводить расчеты для выбора новых трансформаторов и выявления соответствия действующих проводов необходимым параметрам, после реконструкции.

1.6 Установка вольтодобавочного трансформатора

Линейный ВДТ имеет переменный коэффициент трансформации, он включается своей вторичной обмоткой последовательно в линию электропередач [7].

При использовании ВТД можно добиться регулирования напряжения от -15% до +15%, от напряжения сети. Они применяются при невозможности реконструкции сети, для регулировки отдельных линий либо группе линий. Установка вольтодобавочного трансформатора позволяет:

- выравнять (приводить близко к номинальному) напряжение в сети;
- убирать несимметричность на определенном участке цепи;
- снижает вредные последствия, в случае отгорания нулевого проводника.

Вольтодобавочные трансформаторы формируют определенное

добавочное напряжение независимо от того, какая нагрузка подключена и получает питание от данной сети в текущий момент. Величину надбавки выбирают исходя из максимальной и минимальной нагрузки потребителя, чтобы не возникало перенапряжение в сети.

Различают регулируемые и нерегулируемые ВДТ.

На рисунке 2 изображена принципиальная схема включения вольтодобавочного трансформатора без регулировки. Первичные обмотки трех однофазных трансформаторов включены по схеме «звезда» и питаются от трех фаз основной регулируемой сети. Вторичные обмотки данных трансформаторов, как было отмечено выше, включены последовательно в рассечку, причем рассчитаны они на более высокие токи I .

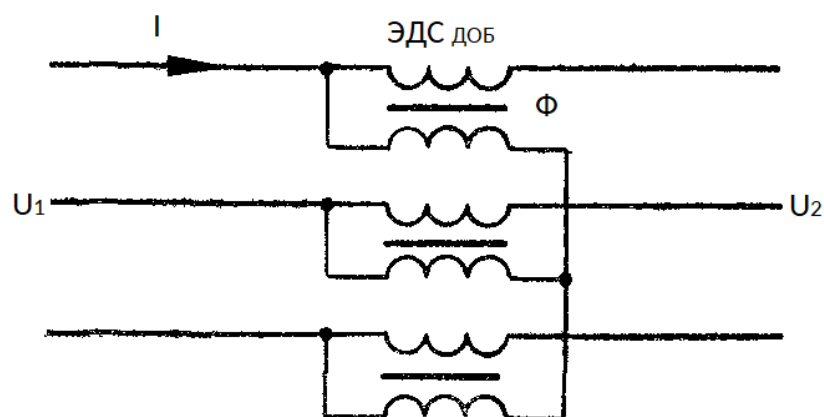


Рисунок 2 – Принципиальная схема включения вольтодобавочного трансформатора без регулировки

Во вторичных обмотках и создаются добавочные ЭДС_{доб}, которые складываются или вычитаются из напряжения U_1 сети, которую необходимо регулировать. U_2 представляет собой сумму ЭДС_{доб} и U_1 .

На рисунке 3 приведена схема регулируемого вольтодобавочного трансформатора. В основе регулируемого ВДТ выступает автотрансформатор, который получает питание от напряжения основной сети. Вторичные же напряжения снимаются через переключатели П, как это обычно бывает у всех автотрансформаторов, и подаются на первичные обмотки отдельных трансформаторов, включенных в регулируемую линию

последовательно своими вторичными обмотками.

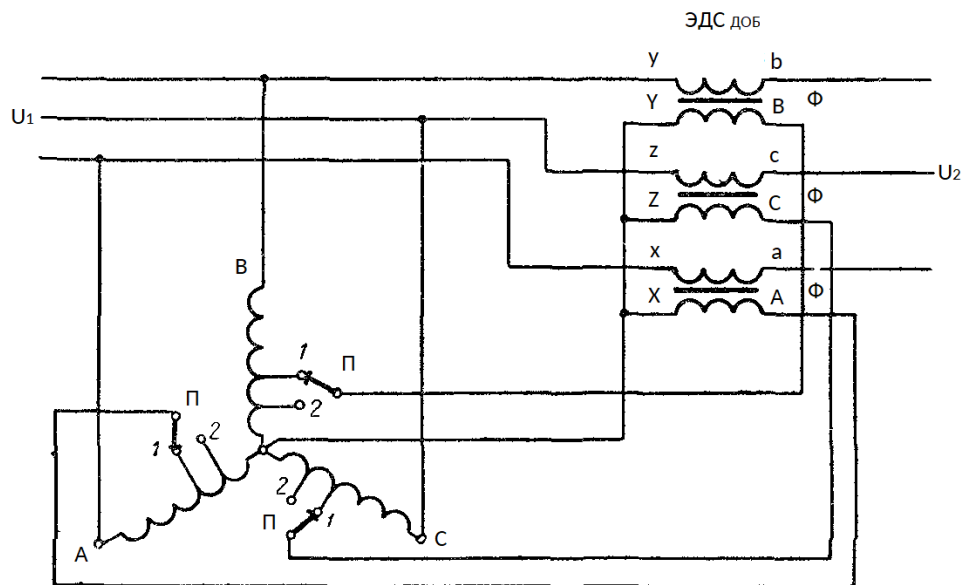


Рисунок 3 – Схема регулируемого вольтодобавочного трансформатора

Принцип действия такой же, как у нерегулируемого трансформатора: токи первичных обмоток создают магнитные потоки в магнитопроводах понижающих трансформаторов, во вторичных обмотках наводятся ЭДС, которые последовательно складываются или вычитаются (в зависимости от фазировки подключения) с напряжениями основной сети в каждой из фаз. В зависимости от положения переключателя П, изменяется напряжение $\mathcal{E}_{доб}$, и как следствие – изменяется выходное напряжение U_2 .

Удобство применения регулируемого вольтодобавочного трансформатора заключается в возможности изменять добавочное напряжение, не разрывая основной линии электропитания.

2 Моделирование линии 10кВ в программном комплексе RastrWin

Моделирование участка сети произведено в программном комплексе “RastrWin”. Создание модели требует задание узлов и их параметров, а также типов линий электрической сети. Параметрами узлов являются их номинальные напряжения и присоединенные мощности. Линии в модели –

это участки электрической сети между узлами, являющиеся выключателями, ЛЭП или трансформаторы. К параметрам линий относятся сопротивления и проводимости линии. Если моделью линии является трансформатор то также параметром является коэффициент трансформации. Параметры трансформаторов должны быть приведены к напряжению первичной обмотки трансформатора с учетом положения устройств ПБВ и РПН.

Исходя из этого, для начала требуется определить данные параметры и рассчитать параметры схемы замещения элементов.

2.1 Описание моделируемого участка электрической сети

Участок, который будет моделироваться, берет начало на ПС 35/10 кВ, и включает в себя множество потребителей.

Суммарная протяженность головного участка составляет 61 км, выполненная проводами А-95 длиной 16,32 км, А-70 длиной 18,08 км, А-50 длиной 11,91 км, АС-50 длиной 1,26 км, А-35 длиной 7,06 км, АС-35 длиной 4,31 км.

На рисунке 4 представлена поопорная схема моделируемого участка:

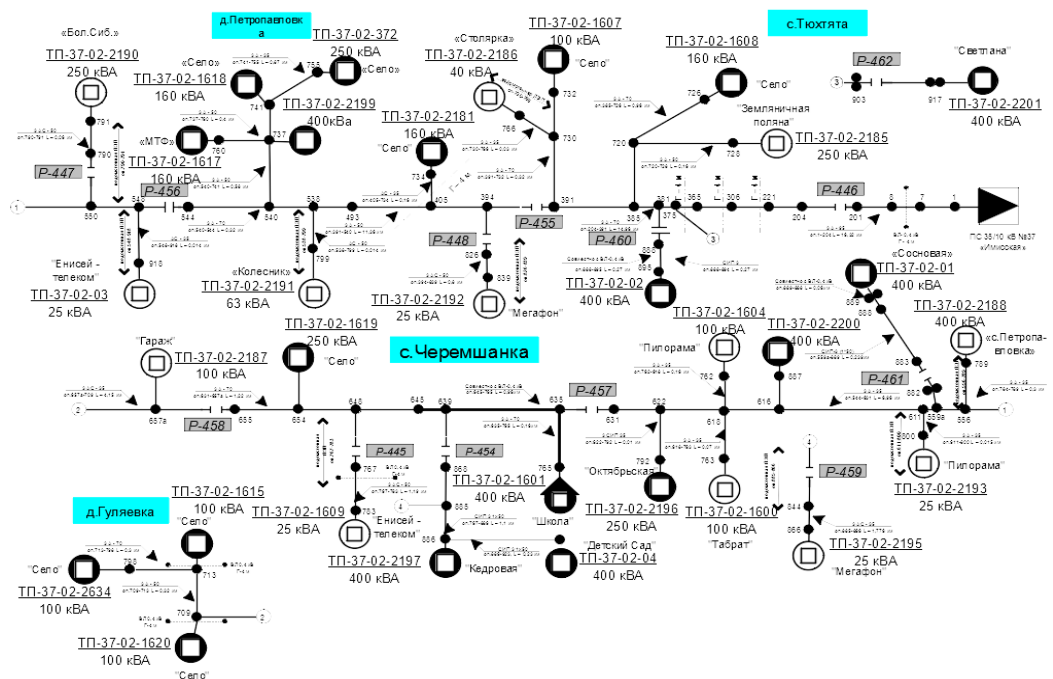


Рисунок 4 – Поопорная схема моделируемого участка

2.2 Разработка первоначального состояния модели участка сети в программе RastrWin

При создании модели в программе “RastrWin” определяющими характеристиками являются параметры ветвей (трансформаторы, ЛЭП) и параметры узлов (нагрузка).

Расчет параметров был выполнен на основании данных, предоставленных филиалом ПАО “МРСК Сибири” – “Красноярскэнерго”.

Модель с помощью таблиц, а которой прописываются параметры узлов и ветвей. Также задаются параметры трансформатора, РПН и ПБВ.

Параметры узлов в программе «RastrWin» представлены на рисунке 5:

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N_схм	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	В_ш	V	Delta	Тер...	dV
1	<input type="checkbox"/>		База	100	ИП 10кВ	35	1				1,5	0,3	37,0				37,00			5,71
2	<input type="checkbox"/>		Нагр	101	N0	35	1										37,00	-0,02		5,71
3	<input type="checkbox"/>		Нагр	110	10 c1	10	1										10,76	-0,02		7,60
4	<input type="checkbox"/>		Нагр	120	10 c2	10	1										10,75	-0,29		7,54
5	<input type="checkbox"/>		Нагр	200	оп 201	10	1										10,00	-3,43		-0,04
6	<input type="checkbox"/>		Нагр	201	оп 202	10	1										10,00	-3,43		-0,04
7	<input type="checkbox"/>		Нагр	300	оп 375 (ПС 2201 400 кВА)	10	3	1	0,1000	0,0329							9,14	-6,70		-8,58
8	<input type="checkbox"/>		Нагр	400	оп 381 (ПС 02 400 кВА)	10	3	1	0,1000	0,0329							9,12	-6,81		-8,85
9	<input type="checkbox"/>		Нагр	500	оп 385	10	1										9,10	-6,88		-9,01
10	<input type="checkbox"/>		Нагр	510	оп 720 ПС 2185 250 кВА, ПС 1608 160 кВА	10	3	1	0,1150	0,0690							9,09	-6,90		-9,06
11	<input type="checkbox"/>		Нагр	600	оп 391	10	1										9,08	-6,98		-9,24
12	<input type="checkbox"/>		Нагр	601	оп 392	10	1										9,08	-6,98		-9,24
13	<input type="checkbox"/>		Нагр	610	оп 730 ПС 2186 40 кВА, ПС 1607 100 кВА	10	3	1	0,0390	0,0235							9,08	-6,98		-9,25
14	<input type="checkbox"/>		Нагр	700	оп 394 (ПС 2192 25 кВА)	10	3	1	0,0050	0,0016							9,07	-7,01		-9,34
15	<input type="checkbox"/>		Нагр	790	оп 401 (ПС 06 100 кВА)	10	3	1	0,0200	0,0066							9,03	-7,12		-9,68
16	<input type="checkbox"/>		Нагр	800	оп 405 (ПС 2181 160 кВА)	10	3	1	0,0448	0,0269							9,01	-7,18		-9,88
17	<input type="checkbox"/>		Нагр	900	оп 526	10	1										8,46	-9,12		-15,43
18	<input type="checkbox"/>		Нагр	910	ПС 11 63 кВА, ПС 10 63 кВА	10	3	1	0,0300	0,0099							8,45	-9,13		-15,47
19	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 000	оп 538 (ПС 2191 63 кВА)	10	3	1	0,0200	0,0066							8,40	-9,31		-15,96
20	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 100	оп 540	10	1										8,40	-9,34		-16,04
21	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 110	оп 737 ПС 2199 400 кВА, ПС 1617 160 кВА	10	3	1	0,1885	0,1131							8,39	-9,36		-16,07
22	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 120	оп 741 ПС 1618 160 кВА, ПС 372 250 кВА	10	3	1	0,0700	0,0230							8,39	-9,35		-16,07
23	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 200	оп 544	10	1										8,39	-9,39		-16,14
24	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 201	оп 545	10	1										8,39	-9,39		-16,14
25	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 300	оп 548 (ПС 03 25 кВА)	10	3	1	0,0050	0,0016							8,37	-9,43		-16,28
26	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 400	оп 550 (ПС 2190 250 кВА)	10	3	1	0,0700	0,0420							8,36	-9,46		-16,38
27	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 500	оп 553 (ПС 2188 400 кВА)	10	3	1	0,0500	0,0164							8,35	-9,50		-16,50
28	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 600	оп 558а (ПС 01 400 кВА)	10	3	1	0,0500	0,0164							8,33	-9,58		-16,74
29	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 700	оп 611 (ПС 2193 25 кВА)	10	3	1	0,0030	0,0010							8,13	-10,13		-18,65
30	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 800	оп 612 (ПС 2195 25 кВА)	10	3	1	0,0030	0,0010							8,13	-10,14		-18,69
31	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 900	оп 616 (ПС 2200 400 кВА)	10	3	1	0,0500	0,0164							8,12	-10,18		-18,83
32	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 000	оп 618 (ПС 1604 100 кВА, ПС 1600 100 кВА)	10	3	1	0,0200	0,0066							8,11	-10,20		-18,90
33	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 100	оп 622 (ПС 2196 250 кВА)	10	3	1	0,0500	0,0164							8,10	-10,23		-19,02
34	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 200	оп 631	10	1										8,07	-10,31		-19,27
35	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 201	оп 632	10	1										8,07	-10,31		-19,27
36	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 300	оп 635 (ПС 1601 400 кВА)	10	3	1	0,0882	0,0529							8,07	-10,32		-19,30
37	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 400	оп 639	10	1										8,07	-10,34		-19,32
38	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 410	оп 886 ПС 04 400 кВА, ПС 2197 100 кВА	10	3	1	0,1000	0,0329							8,06	-10,36		-19,42
39	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 500	оп 648 (ПС 1609 25 кВА)	10	3	1	0,0070	0,0042							8,06	-10,35		-19,36
40	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 600	оп 654 (ПС 1619 250 кВА)	10	3	1	0,1000	0,0329							8,06	-10,37		-19,40
41	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 700	оп 655	10	1										8,06	-10,37		-19,40
42	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 701	оп 656	10	1										8,06	-10,37		-19,40
43	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 800	оп 657а (ПС 2187 100 кВА)	10	3	1	0,0400	0,0131							8,06	-10,38		-19,40
44	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 900	оп 709 (1620 100 кВА)	10	3	1	0,0400	0,0131							8,04	-10,47		-19,64
45	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 910	оп 713 ПС 2634 100 кВА, ПС 1615 100 кВА	10	3	1	0,0280	0,0168							8,04	-10,47		-19,64

Рисунок 5 – Параметры узлов в программе «RastrWin»

Параметры трансформатора, РПН и ПБВ в программе «RastrWin» представлены на рисунке 6 и 7 :

N	Название	Марка	Тип	S	N_B	N_C	N_M	N_HD	N_D	N_пр	N_30	Tc	I_горН	I_ВН	I_горСН	I_СН	I_горСО	I_30	...	анч_РПН	анч_РПН	N_РБВ	N_РПН	N_БВТ	N_32	Вд.расч.
1	T1	ТРДНС-6300...	Зв.обор.са...	100				120	110	101				984,2	24,3							15		2	1	

Рисунок 6 – Параметры трансформатора в программе «RastrWin»

N_bd	Названия	ЕИ	+/-	Тип	Место	К...	V_нр	V_рег	N_анц	Шаг	N_анц	Шаг	N_анц	Шаг	N_анц	Шаг
1	1	РПН	%	+	РПН	ВН	1	10,5	37,0	8	1,500	8	1,500			
2	2	ПБВ	%	+	РПН	НН	1	37,0	10,5	2	2,500	2	2,500			

Рисунок 7 – Параметры РПН и ПБВ в программе «RastrWin»

Параметры ветвей в программе «RastrWin» представлены на рисунке 8:

O	S	Тип	N_нач	N_кон	N_п	ID Г...	Название	R	X	B	Ктр/r	N_анц	БД...	P_нач	Q_нач	Na	I_max	I_загр.
1		Тр-р	100	101			ИП 10кВ - NO	0,0439	0,3148	130,8	1,000			-2			24	2,5
2		Тр-р	101	110			NO - 10 к1	0,0878	4,4495		0,291							
3		Тр-р	101	120			NO - 10 к2	0,0878	4,4495		0,291			-1			23	0,7
4		ЛЭП	120	200			10 к2 - on 201	5,2800	4,3800					-1			80	
5		Выкл	200	201			on 201 - on 202							-1				
6		ЛЭП	201	300			on 202 - on 375 (ПС 2201 400 кВА)	6,2000	3,9200					-1			80	
7		ЛЭП	300	400			on 375 (ПС 2201 400 кВА) - on 381 (ПС 02 400 кВА)	0,2160	0,1360					-1			74	
8		ЛЭП	400	500			on 381 (ПС 02 400 кВА) - on 385	0,1440	0,0910					-1			68	
9		ЛЭП	500	510			on 385 - on 720 ПС 2185 250 кВА, ПС 1608 160 кВА	0,4320	0,2720								7	
10		ЛЭП	500	600			on 385 - on 391	0,2160	0,1360					-1			62	
11		ЛЭП	600	610			on 391 - on 730 ПС 2186 40 кВА, ПС 1607 100 кВА	0,1440	0,0910								2	
12		Выкл	600	601			on 391 - on 392							-1				
13		ЛЭП	601	700			on 392 - on 394 (ПС 2192 25 кВА)	0,0970	0,0460					-1			60	
14		ЛЭП	700	790			on 394 (ПС 2192 25 кВА) - on 401 (ПС 06 100 кВА)	0,3400	0,1600					-1			59	
15		ЛЭП	790	800			on 401 (ПС 06 100 кВА) - on 405 (ПС 2181 160 кВА)	0,1940	0,0910					-1			58	
16		ЛЭП	800	900			on 405 (ПС 2181 160 кВА) - on 526	5,8970	2,7800					-1			56	
17		ЛЭП	900	910			on 526 - ПС 11 63 кВА, ПС 10 63 кВА	1,5040	0,7090								2	
18		ЛЭП	900	1000			on 526 - on 538 (ПС 2191 63 кВА)	0,5820	0,2740					-1			54	
19		ЛЭП	1000	1100			on 538 (ПС 2191 63 кВА) - on 540	0,0970	0,0460					-1			53	
20		ЛЭП	1100	1110			on 540 - on 737 ПС 2199 400 кВА, ПС 1617 160 кВА	0,1400	0,0740								11	
21		ЛЭП	1100	1120			on 540 - on 741 ПС 1618 160 кВА, ПС 372 250 кВА	0,3654	0,1723								4	
22		ЛЭП	1100	1200			on 540 - on 544	0,1440	0,0910					-1			38	
23		Выкл	1200	1201			on 544 - on 545							-1				
24		ЛЭП	1201	1300			on 545 - on 548 (ПС 03 25 кВА)	0,2210	0,0750					-1			39	
25		ЛЭП	1300	1400			on 548 (ПС 03 25 кВА) - on 550 (ПС 2190 250 кВА)	0,1470	0,0500					-1			38	
26		ЛЭП	1400	1500			on 550 (ПС 2190 250 кВА) - on 553 (ПС 2188 400 кВА)	0,2210	0,0980								34	
27		ЛЭП	1500	1600			on 553 (ПС 2188 400 кВА) - on 558a (ПС 01 400 кВА)	0,4420	0,1960								32	
28		ЛЭП	1600	1700			on 558a (ПС 01 400 кВА) - on 611 (ПС 2193 25 кВА)	3,9070	1,3220								29	
29		ЛЭП	1700	1800			on 611 (ПС 2193 25 кВА) - on 612 (ПС 2195 25 кВА)	0,0740	0,0250								29	
30		ЛЭП	1800	1900			on 612 (ПС 2195 25 кВА) - on 616 (ПС 2200 400 кВА)	0,2950	0,1000								29	
31		ЛЭП	1900	2000			on 616 (ПС 2200 400 кВА) - on 618 (ПС 1604 100 кВА, ПС 1600 100 кВА)	0,1470	0,0500								26	
32		ЛЭП	2000	2100			on 618 (ПС 1604 100 кВА, ПС 1600 100 кВА) - on 622 (ПС 2196 250 кВА)	0,2950	0,1000								25	
33		ЛЭП	2100	2200			on 622 (ПС 2196 250 кВА) - on 631	0,6630	0,2250								22	
34		Выкл	2200	2201			on 631 - on 632											
35		ЛЭП	2201	2300			on 632 - on 635 (ПС 1601 400 кВА)	0,0880	0,0550								22	
36		ЛЭП	2300	2400			on 635 (ПС 1601 400 кВА) - on 639	0,0880	0,0550								17	
37		ЛЭП	2400	2410			on 639 - on 886 ПС 04 400 кВА, ПС 2197 100 кВА	1,0150	0,3290								6	
38		ЛЭП	2400	2500			on 639 - on 648 (ПС 1609 25 кВА)	0,1980	0,1240								12	
39		ЛЭП	2500	2600			on 648 (ПС 1609 25 кВА) - on 654 (ПС 1619 250 кВА)	0,1900	0,1200								11	
40		ЛЭП	2600	2700			on 654 (ПС 1619 250 кВА) - on 655	0,0220	0,0140								6	
41		Выкл	2700	2701			on 655 - on 656											
42		ЛЭП	2701	2800			on 656 - on 657a (ПС 2187 100 кВА)	0,0440	0,0280								6	
43		ЛЭП	2800	2900			on 657a (ПС 2187 100 кВА) - on 709 (1620 100 кВА)	3,7800	1,6700								4	
44		ЛЭП	2900	2910			on 709 (1620 100 кВА) - on 713 ПС 2634 100 кВА, ПС 1615 100 кВА	0,2000	0,1000								2	

Рисунок 8 – Параметры ветвей в программе «RastrWin»

Параметры статических характеристик электрических нагрузок (СХН) в программе «RastrWin» представлены на рисунке 9:

	№схн	P0	P1	P2	Frec P	Q0	Q1	Q2	Frec Q
1	2	0,830	-0,300	0,470	1,100				
2	3	-0,200	1,200			3,600	-8,900	5,300	

Рисунок 9 – Параметры СХН в программе «RastrWin»

Параметры потерь в программе «RastrWin» представлены на рисунке 10.

	U_ном	dP	dP_ЛЭП	dP_Тр-р	Корона	XX_тр	dP_Ш-нт	dQ	dQ_ЛЭП	dQ_Тр-р	Q_Ген_ЛЭП	Q_XX_тр	dQ_Ш-нт
1	10	0,31	0,31					0,20	0,20				
2	35	0,05				0,05		0,19		0,01		0,18	

Рисунок 10 – Параметры потерь в программе «RastrWin»

Параметры токовой нагрузки ЛЭП в программе «RastrWin» представлены на рисунке 11:

	N_нач	N_кон	Название	I_нач	I_кон	Место
1	120	200	10 с2 - оп 201	80	80	ВН
2	201	300	оп 202 - оп 375 (ПС 2201...	80	80	ВН
3	300	400	оп 375 (ПС 2201 400 кВА...	74	74	ВН
4	400	500	оп 381 (ПС 02 400 кВА) - ...	68	68	ВН
5	500	510	оп 385 - оп 720 ПС 2185 ...	7	7	ВН
6	500	600	оп 385 - оп 391	62	62	ВН
7	600	610	оп 391 - оп 730 ПС 2186 ...	2	2	ВН
8	601	700	оп 392 - оп 394 (ПС 2192...	60	60	ВН
9	700	790	оп 394 (ПС 2192 25 кВА) ...	59	59	ВН
10	790	800	оп 401 (ПС 06 100 кВА) - ...	58	58	ВН
11	800	900	оп 405 (ПС 2181 160 кВА...	56	56	ВН
12	900	910	оп 526 - ПС 11 63 кВА, П...	2	2	ВН
13	900	1000	оп 526 - оп 538 (ПС 2191...	54	54	ВН
14	1000	1100	оп 538 (ПС 2191 63 кВА) ...	53	53	ВН
15	1100	1110	оп 540 - оп 737 ПС 2199 ...	11	11	ВН
16	1100	1120	оп 540 - оп 741 ПС 1618 ...	4	4	ВН
17	1100	1200	оп 540 - оп 544	38	38	ВН
18	1201	1300	оп 545 - оп 548 (ПС 03 2...	39	39	ВН
19	1300	1400	оп 548 (ПС 03 25 кВА) - о...	38	38	ВН
20	1400	1500	оп 550 (ПС 2190 250 кВА...	34	34	ВН
21	1500	1600	оп 553 (ПС 2188 400 кВА...	32	32	ВН
22	1600	1700	оп 558а (ПС 01 400 кВА) ...	29	29	ВН
23	1700	1800	оп 611 (ПС 2193 25 кВА) ...	29	29	ВН
24	1800	1900	оп 612 (ПС 2195 25 кВА) ...	29	29	ВН
25	1900	2000	оп 616 (ПС 2200 400 кВА...	26	26	ВН
26	2000	2100	оп 618 (ПС 1604 100 кВА...	25	25	ВН
27	2100	2200	оп 622 (ПС 2196 250 кВА...	22	22	ВН
28	2201	2300	оп 632 - оп 635 (ПС 1601...	22	22	ВН
29	2300	2400	оп 635 (ПС 1601 400 кВА...	17	17	ВН
30	2400	2410	оп 639 - оп 886 ПС 04 40...	6	6	ВН
31	2400	2500	оп 639 - оп 648 (ПС 1609...	12	12	ВН
32	2500	2600	оп 648 (ПС 1609 25 кВА) ...	11	11	ВН
33	2600	2700	оп 654 (ПС 1619 250 кВА...	6	6	ВН
34	2701	2800	оп 656 - оп 657а (ПС 218...	6	6	ВН
35	2800	2900	оп 657а (ПС 2187 100 кВ...	4	4	ВН
36	2900	2910	оп 709 (1620 100 кВА) - о...	2	2	ВН

Рисунок 11 – Параметры токовой нагрузки ЛЭП в программе «RastrWin»

Из рисунка 11 видно, что ток головного участка составляет 80 А, следовательно, можно сделать вывод о достоверности моделированной схемы участка.

В данной работе при моделировании были применены статические характеристики электрических нагрузок. Статические характеристики нагрузки – это зависимость потребляемой активной и реактивной мощности узлом нагрузки от напряжения и частоты в узле $P = f(u, f)$ и $Q = f(u, f)$ соответственно.

После указания всех заданных параметров узлов и ветвей можно построить необходимую модель в программе «RastrWin». Модель участка изображена на рисунке 12:

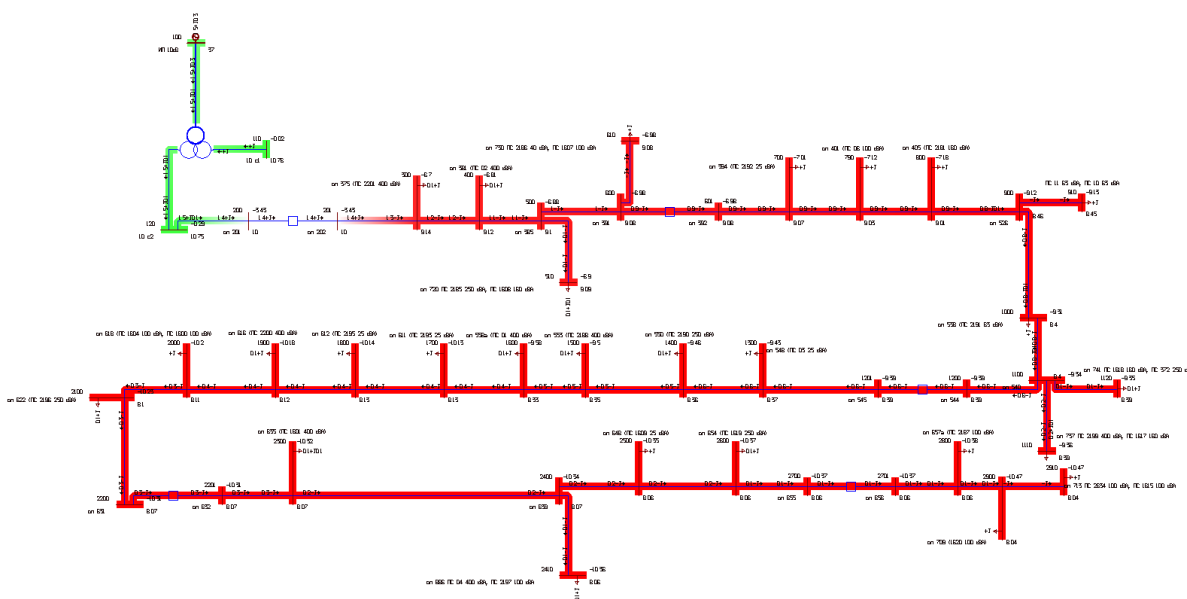


Рисунок 12 – Модель участка в программе «RastrWin»

Для удобства анализа на схеме красным цветом указано отрицательное отклонение, зеленым положительное отклонение от номинального напряжения сети.

Из рисунка 12 видно, что данный участок имеет проблемы с напряжением. Из-за недостаточных сечений проводов и больших нагрузок происходит большое падение напряжения и большие технические потери.

2.3 Разработка мероприятий по повышению качества электроэнергии в линии электропередач и проверка их эффективности в программном комплексе «RastrWin» на линии 10 кВ

2.3.1 Повышение уровня напряжения на ВЛ с помощью вольтодобавочного трансформатора, повышения сечения некоторых участков и расщепления ЛЭП на отдельных участках

На рисунке 13 представлены узлы в программе «RastrWin»:

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N_омн	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_за	Q_min	Q_max	В_ш	V	Delta	Тер...	dV
1	<input type="checkbox"/>		База	100	ИП 10кВ	35		1			1,8	0,5	37,0				37,00			5,71
2	<input type="checkbox"/>		Нагр	101	NO	35		1									37,00	-0,02		5,70
3	<input type="checkbox"/>		Нагр	110	10 с1	10		1									10,76	-0,02		7,59
4	<input type="checkbox"/>		Нагр	120	10 с2	10		1									10,75	-0,35		7,47
5	<input type="checkbox"/>		Нагр	200	он 201	10		1									10,26	-1,95		2,57
6	<input type="checkbox"/>		Нагр	201	он 202	10		1									10,26	-1,95		2,57
7	<input type="checkbox"/>		Нагр	210	ВДТ №2	10		1									9,41	-5,22		-5,94
8	<input type="checkbox"/>		Нагр	300	он 375 (ПС 2201 400 кВА)	10	3	1	0,1								10,74	-6,42		7,44
9	<input type="checkbox"/>		Нагр	400	он 381 (ПС 02 400 кВА)	10	3	1	0,1								10,72	-6,51		7,21
10	<input type="checkbox"/>		Нагр	500	он 385	10		1									10,71	-6,56		7,08
11	<input type="checkbox"/>		Нагр	510	он 720 ПС 2185 250 кВА, ПС 1608 160 кВА	10	3	1	0,1	0,1							10,70	-6,58		7,02
12	<input type="checkbox"/>		Нагр	600	он 391	10		1									10,69	-6,64		6,89
13	<input type="checkbox"/>		Нагр	601	он 392	10		1									10,69	-6,64		6,89
14	<input type="checkbox"/>		Нагр	610	он 730 ПС 2186 40 кВА, ПС 1607 100 кВА	10	3	1									10,69	-6,64		6,89
15	<input type="checkbox"/>		Нагр	700	он 394 (ПС 2192 25 кВА)	10	3	1									10,68	-6,66		6,83
16	<input type="checkbox"/>		Нагр	790	он 401 (ПС 06 100 кВА)	10	3	1									10,66	-6,74		6,63
17	<input type="checkbox"/>		Нагр	800	он 405 (ПС 2181 160 кВА)	10	3	1									10,65	-6,79		6,52
18	<input type="checkbox"/>		Нагр	900	он 526	10		1									10,33	-8,16		3,28
19	<input type="checkbox"/>		Нагр	910	ПС 11 63 кВА, ПС 10 63 кВА	10	3	1									10,32	-8,17		3,24
20	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 000	он 538 (ПС 2191 63 кВА)	10	3	1									10,30	-8,29		2,97
21	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 100	он 540	10		1									10,29	-8,31		2,92
22	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 110	он 737 ПС 2199 400 кВА, ПС 1617 160 кВА	10	3	1	0,2	0,1							10,29	-8,32		2,90
23	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 120	он 741 ПС 1618 160 кВА, ПС 372 250 кВА	10	3	1	0,1								10,29	-8,32		2,90
24	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 200	он 544	10		1									10,28	-8,35		2,85
25	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 201	он 545	10		1									10,28	-8,35		2,85
26	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 300	он 548 (ПС 03 25 кВА)	10	3	1									10,28	-8,37		2,79
27	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 400	он 550 (ПС 2190 250 кВА)	10	3	1	0,1								10,28	-8,39		2,75
28	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 500	он 553 (ПС 2188 400 кВА)	10	3	1	0,1								10,27	-8,41		2,70
29	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 600	он 558а (ПС 01 400 кВА)	10	3	1	0,1								10,26	-8,46		2,61
30	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 700	он 611 (ПС 2193 25 кВА)	10	3	1									10,18	-8,80		1,84
31	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 800	он 612 (ПС 2195 25 кВА)	10	3	1									10,18	-8,81		1,83
32	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 900	он 616 (ПС 2200 400 кВА)	10	3	1	0,1								10,18	-8,83		1,77
33	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 000	он 618 (ПС 1604 100 кВА, ПС 1600 100 кВА)	10	3	1									10,17	-8,84		1,75
34	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 100	он 622 (ПС 2196 250 кВА)	10	3	1	0,1								10,17	-8,87		1,70
35	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 200	он 631	10		1									10,16	-8,91		1,60
36	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 201	он 632	10		1									10,16	-8,91		1,60
37	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 300	он 635 (ПС 1601 400 кВА)	10	3	1	0,1	0,1							10,16	-8,92		1,57
38	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 400	он 639	10		1									10,16	-8,93		1,55
39	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 410	он 886 ПС 04 400 кВА, ПС 2197 100 кВА	10	3	1	0,1								10,15	-8,95		1,45
40	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 500	он 648 (ПС 1609 25 кВА)	10	3	1									10,15	-8,95		1,52
41	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 600	он 654 (ПС 1619 250 кВА)	10	3	1	0,1								10,15	-8,96		1,49
42	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 700	он 655	10		1									10,15	-8,96		1,49
43	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 701	он 656	10		1									10,15	-8,96		1,49
44	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 800	он 657а (ПС 2187 100 кВА)	10	3	1									10,15	-8,96		1,49
45	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 900	он 709 (1620 100 кВА)	10	3	1									10,14	-9,01		1,39
46	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 910	он 713 ПС 2634 100 кВА, ПС 1615 100 кВА	10	3	1									10,14	-9,01		1,39

Рисунок 13 – Параметры узлов в программе «RastrWin»

На рисунке 14 представлены параметры ветвей в программе «RastrWin»:

O	S	Тип	N_мвч	N_кон	N_л	I...	Название	R	X	B	Кт/р	N_внц	БД...	P_мвч	Q_мвч	Na	I_max	I_загр.
1		Тр-р	100	101			ИП 10кВ - N0	0,0439	0,3148	130,8	1,000			-2			29	3,0
2		Тр-р	101	110			N0 - 10 c1	0,0878	4,4495		0,291							
3		Тр-р	101	120			N0 - 10 c2	0,0878	4,4495		0,291			-2			28	0,8
4		ЛЭП	120	200	2		10 c2 - on 201	5,2800	4,3800					-1				48
5		ЛЭП	120	200	1		10 c2 - on 201	5,2800	4,3800					-1				48
6		Выкл	200	201			on 201 - on 202							-2				
7		ЛЭП	201	210			on 202 - ВДТ №2	4,6990	3,9020					-2				96
8		Тр-р	210	300			ВДТ №2 - on 375 (ПС 2201 400 кВА)	0,3100	1,2006	102,1	1,150			-2				96
9		ЛЭП	300	400			on 375 (ПС 2201 400 кВА) - on 381 (ПС 02 400 кВА)	0,1580	0,1320					-1				78
10		ЛЭП	400	500			on 381 (ПС 02 400 кВА) - on 385	0,1060	0,0880					-1				72
11		ЛЭП	500	510			on 385 - on 720 ПС 2185 250 кВА, ПС 1608 160 кВА	0,4320	0,2720									7
12		ЛЭП	500	600			on 385 - on 391	0,1580	0,1320					-1				65
13		ЛЭП	600	610			on 391 - on 730 ПС 2186 40 кВА, ПС 1607 100 кВА	0,1440	0,0910									2
14		Выкл	600	601			on 391 - on 392							-1				
15		ЛЭП	601	700			on 392 - on 394 (ПС 2192 25 кВА)	0,0510	0,0420					-1				63
16		ЛЭП	700	790			on 394 (ПС 2192 25 кВА) - on 401 (ПС 06 100 кВА)	0,1780	0,1480					-1				63
17		ЛЭП	790	800			on 401 (ПС 06 100 кВА) - on 405 (ПС 2181 160 кВА)	0,1020	0,0840					-1				61
18		ЛЭП	800	900			on 405 (ПС 2181 160 кВА) - on 526	3,0890	2,5650					-1				59
19		ЛЭП	900	910			on 526 - ПС 11 63 кВА, ПС 10 63 кВА	1,5040	0,7090									2
20		ЛЭП	900	1000			on 526 - on 538 (ПС 2191 63 кВА)	0,3050	0,2530					-1				57
21		ЛЭП	1000	1100			on 538 (ПС 2191 63 кВА) - on 540	0,0510	0,0420					-1				56
22		ЛЭП	1100	1110			on 540 - on 737 ПС 2199 400 кВА, ПС 1617 160 кВА	0,1400	0,0740									11
23		ЛЭП	1100	1120			on 540 - on 741 ПС 1618 160 кВА, ПС 372 250 кВА	0,3654	0,1723									4
24		ЛЭП	1100	1200			on 540 - on 544	0,1060	0,0880					-1				41
25		Выкл	1200	1201			on 544 - on 545							-1				
26		ЛЭП	1201	1300			on 545 - on 548 (ПС 03 25 кВА)	0,0800	0,0670					-1				41
27		ЛЭП	1300	1400			on 548 (ПС 03 25 кВА) - on 550 (ПС 2190 250 кВА)	0,0530	0,0440					-1				41
28		ЛЭП	1400	1500			on 550 (ПС 2190 250 кВА) - on 553 (ПС 2188 400 кВА)	0,0800	0,0670					-1				37
29		ЛЭП	1500	1600			on 553 (ПС 2188 400 кВА) - on 558a (ПС 01 400 кВА)	0,1600	0,1330					-1				34
30		ЛЭП	1600	1700			on 558a (ПС 01 400 кВА) - on 611 (ПС 2193 25 кВА)	1,4170	1,1760					-1				31
31		ЛЭП	1700	1800			on 611 (ПС 2193 25 кВА) - on 612 (ПС 2195 25 кВА)	0,0270	0,0220					-1				31
32		ЛЭП	1800	1900			on 612 (ПС 2195 25 кВА) - on 616 (ПС 2200 400 кВА)	0,1070	0,0890					-1				30
33		ЛЭП	1900	2000			on 616 (ПС 2200 400 кВА) - on 618 (ПС 1604 100 кВА, ПС 1600 100 кВА)	0,0530	0,0440									27
34		ЛЭП	2000	2100			on 618 (ПС 1604 100 кВА, ПС 1600 100 кВА) - on 622 (ПС 2196 250 кВА)	0,1070	0,0890									26
35		ЛЭП	2100	2200			on 622 (ПС 2196 250 кВА) - on 631	0,2410	0,2000									23
36		Выкл	2200	2201			on 631 - on 632											
37		ЛЭП	2201	2300			on 632 - on 635 (ПС 1601 400 кВА)	0,0640	0,0530									23
38		ЛЭП	2300	2400			on 635 (ПС 1601 400 кВА) - on 639	0,0640	0,0530									18
39		ЛЭП	2400	2410			on 639 - on 886 ПС 04 400 кВА, ПС 2197 100 кВА	1,0150	0,3290									6
40		ЛЭП	2400	2500			on 639 - on 648 (ПС 1609 25 кВА)	0,1450	0,1200									12
41		ЛЭП	2500	2600			on 648 (ПС 1609 25 кВА) - on 654 (ПС 1619 250 кВА)	0,1390	0,1150									12
42		ЛЭП	2600	2700			on 654 (ПС 1619 250 кВА) - on 655	0,0160	0,0130									6
43		Выкл	2700	2701			on 655 - on 656											
44		ЛЭП	2701	2800			on 656 - on 657a (ПС 2187 100 кВА)	0,0320	0,0270									6
45		ЛЭП	2800	2900			on 657a (ПС 2187 100 кВА) - on 709 (1620 100 кВА)	1,3700	1,1370									4
46		ЛЭП	2900	2910			on 709 (1620 100 кВА) - on 713 ПС 2634 100 кВА, ПС 1615 100 кВА	0,2000	0,1000									2

Рисунок 14 – Параметры ветвей в программе «RastrWin»

На рисунке 15 представлены параметры вольтодобавочной силовой трансформаторов в программе «RastrWin»:

N	Название	Марка	Тип	S	N_В	N_С	N_Н	N_Н2	N_0	N_пер	N_Г(0)	Tс	I_донН	I_ВН	I_донСН	I_СН	I_донОО	I_оо	...	внц_ТВ	внц_РН	внц_ВДТ	N_ТВ	N_РН	N_ВДТ	N_Х1	БД расч.
1	T1	Тр-ПС 4300...	2х-обн-ра...	300			300	110	301				984,2	29,3						<input type="checkbox"/>	3	15		2	1		
2	3	ВДТ №2	2х-обн	210										96,4						<input type="checkbox"/>	17				3		

Рисунок 15 – Параметры вольтодобавочной силовой трансформаторов в программе «RastrWin»

На рисунке 16 представлены параметры РПН, ПБВ силового и вольтодобавочного трансформатора в программе «RastrWin»:

	N_bd	Названия	ЕИ	+/-	Тип	Место	K...	V_нр	V_пер	N_анц	Шаг	N_анц	Шаг	N_анц	Шаг	N_анц	Шаг
1	1	РПН	%	+	РПН	ВН	1	10,5	37,0	8	1,500	8	1,500				
2	2	ПБВ	%	+	РПН	НН	1	37,0	10,5	2	2,500	2	2,500				
3	3	ВДТ	%	+	РПН	НН	1	10,0	10,0	16	0,938	16	0,938				

Рисунок 16 – Параметры РПН и ПБВ в программе «RastrWin»

Модель участка изображена на рисунке 16:

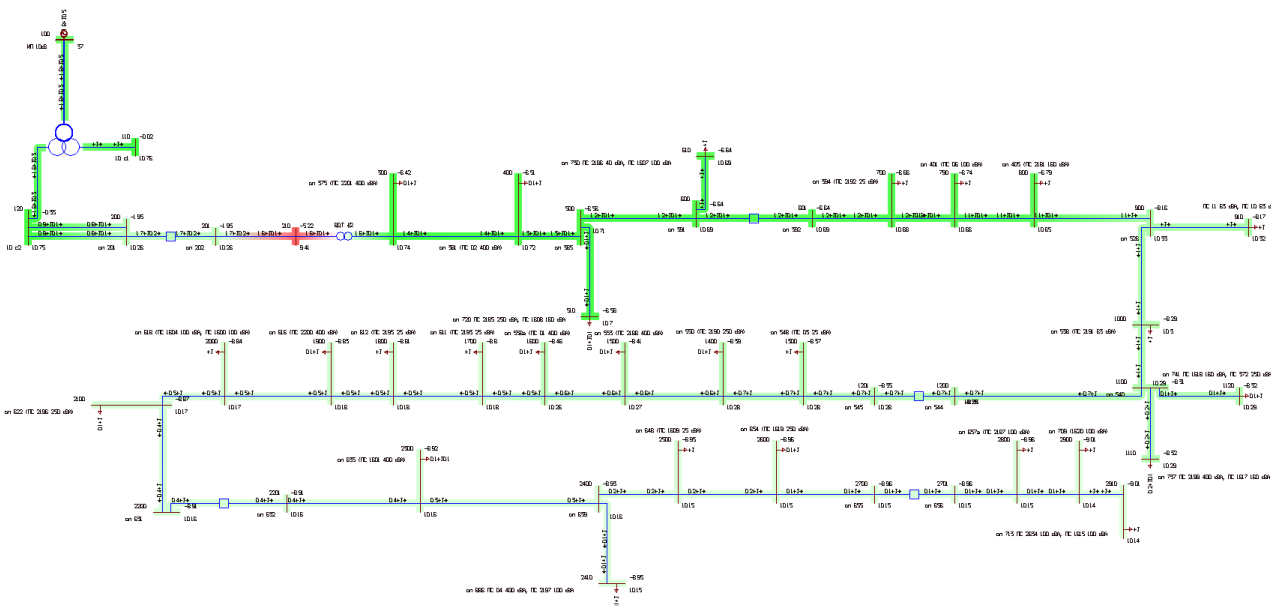


Рисунок 16 – Модель участка в программе “RastrWin”

В данном мероприятии была выполнено расщепление линии, проходящей от оп. 1 до оп. 201, длина участка составляет 16км, линия выполнена сечением марки А-95. Вольтодобавочный трансформатор был помещен между опорами 202 и 375. Данные мероприятия значительно улучшили ситуацию в плане напряжения на головном участке, по рисунку 163 видно, что теперь ни на одной линии нет отклонения напряжения больше, чем в 1,1 раза. Было произведено повышение сечения проводов на всех участках, с А-35, А-50, А-70 на А-95. Также с помощью данного мероприятия удалось снизить потери в ЛЭП, которые составили 0,26 МВт, а в исходном варианте схемы – 0,31 МВт (рис. 10). Ток в начале головного участка составил 96 А.

2.3.2 Повышение уровня напряжения ВЛ с помощью двух ВДТ и повышения сечения некоторых участков

Данное мероприятие схоже с тем, которое было описано в пункте 2.3.1. Отличия в том, что в данном варианте используются два вольтодобавочных трансформатора, а не один, также не было произведено расщепление ЛЭП.

На рисунке 17 представлены параметры узлов в программе «RastrWin»:

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N_скн	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	V_ш	V	Delta	Тер...	dV
1	<input type="checkbox"/>		База	100	ИП 10кВ	35		1				2,0	0,7	37,0			37,00			5,71
2	<input type="checkbox"/>		Нагр	101	№0	35		1									36,99	-0,02		5,70
3	<input type="checkbox"/>		Нагр	110	10 с1	10		1									10,76	-0,02		7,59
4	<input type="checkbox"/>		Нагр	120	10 с2	10		1									10,74	-0,38		7,41
5	<input type="checkbox"/>		Нагр	200	оп 201	10		1									9,62	-3,72		-3,80
6	<input type="checkbox"/>		Нагр	201	оп 202	10		1									9,62	-3,72		-3,80
7	<input type="checkbox"/>		Нагр	210	ВДТ №2	10		1									8,66	-7,42		-13,44
8	<input type="checkbox"/>		Нагр	300	оп 375 (ПС 2201 400 кВА)	10	3	1	0,1000	0,0329							9,87	-8,85		-1,35
9	<input type="checkbox"/>		Нагр	400	оп 381 (ПС 02 400 кВА)	10	3	1	0,1000	0,0329							9,84	-8,95		-1,60
10	<input type="checkbox"/>		Нагр	500	оп 385	10		1									9,82	-9,01		-1,76
11	<input type="checkbox"/>		Нагр	510	оп 720 ПС 2185 250 кВА, ПС 1608 160 кВА	10	3	1	0,1150	0,0680							9,82	-9,03		-1,81
12	<input type="checkbox"/>		Нагр	600	оп 391	10		1									9,80	-9,10		-1,98
13	<input type="checkbox"/>		Нагр	601	оп 392	10		1									9,80	-9,10		-1,98
14	<input type="checkbox"/>		Нагр	610	оп 730 ПС 2186 40 кВА, ПС 1607 100 кВА	10	3	1	0,0390	0,0235							9,80	-9,10		-1,99
15	<input type="checkbox"/>		Нагр	700	оп 394 (ПС 2192 25 кВА)	10	3	1	0,0050	0,0016							9,79	-9,13		-2,05
16	<input type="checkbox"/>		Нагр	790	оп 401 (ПС 06 100 кВА)	10	3	1	0,0200	0,0066							9,77	-9,22		-2,29
17	<input type="checkbox"/>		Нагр	800	оп 405 (ПС 2181 160 кВА)	10	3	1	0,0448	0,0269							9,76	-9,27		-2,43
18	<input type="checkbox"/>		Нагр	810	ВДТ №1	10		1									9,36	-10,88		-6,35
19	<input type="checkbox"/>		Нагр	900	оп 526	10		1									10,72	-11,73		7,18
20	<input type="checkbox"/>		Нагр	910	ПС 11 63 кВА, ПС 10 63 кВА	10	3	1	0,0300	0,0099							10,71	-11,74		7,13
21	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 000	оп 538 (ПС 2191 63 кВА)	10	3	1	0,0200	0,0066							10,69	-11,86		6,86
22	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 100	оп 540	10		1									10,68	-11,88		6,81
23	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 110	оп 737 ПС 2199 400 кВА, ПС 1617 160 кВА	10	3	1	0,1885	0,1131							10,68	-11,88		6,78
24	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 120	оп 741 ПС 1618 160 кВА, ПС 372 250 кВА	10	3	1	0,0700	0,0230							10,68	-11,88		6,78
25	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 200	оп 544	10		1									10,67	-11,91		6,73
26	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 201	оп 545	10		1									10,67	-11,91		6,73
27	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 300	оп 548 (ПС 03 25 кВА)	10	3	1	0,0050	0,0016							10,67	-11,93		6,67
28	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 400	оп 550 (ПС 2190 250 кВА)	10	3	1	0,0700	0,0420							10,66	-11,95		6,63
29	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 500	оп 553 (ПС 2188 400 кВА)	10	3	1	0,0500	0,0164							10,66	-11,97		6,58
30	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 600	оп 558а (ПС 01 400 кВА)	10	3	1	0,0500	0,0164							10,65	-12,01		6,48
31	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 700	оп 611 (ПС 2193 25 кВА)	10	3	1	0,0030	0,0010							10,57	-12,33		5,70
32	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 800	оп 612 (ПС 2195 25 кВА)	10	3	1	0,0030	0,0010							10,57	-12,34		5,68
33	<input type="checkbox"/>		Нагр	1 900	оп 616 (ПС 2200 400 кВА)	10	3	1	0,0500	0,0164							10,56	-12,36		5,62
34	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 000	оп 618 (ПС 1604 100 кВА, ПС 1600 100 кВА)	10	3	1	0,0200	0,0066							10,56	-12,37		5,60
35	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 100	оп 622 (ПС 2196 250 кВА)	10	3	1	0,0500	0,0164							10,55	-12,39		5,55
36	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 200	оп 631	10		1									10,54	-12,43		5,44
37	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 201	оп 632	10		1									10,54	-12,43		5,44
38	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 300	оп 635 (ПС 1601 400 кВА)	10	3	1	0,0882	0,0529							10,54	-12,45		5,42
39	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 400	оп 639	10		1									10,54	-12,45		5,40
40	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 410	оп 886 ПС 04 400 кВА, ПС 2197 100 кВА	10	3	1	0,1000	0,0329							10,53	-12,47		5,29
41	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 500	оп 648 (ПС 1609 25 кВА)	10	3	1	0,0070	0,0042							10,54	-12,47		5,36
42	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 600	оп 654 (ПС 1619 250 кВА)	10	3	1	0,1000	0,0329							10,53	-12,48		5,33
43	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 700	оп 655	10		1									10,53	-12,48		5,33
44	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 701	оп 656	10		1									10,53	-12,48		5,33
45	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 800	оп 657а (ПС 2187 100 кВА)	10	3	1	0,0400	0,0131							10,53	-12,48		5,33
46	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 900	оп 709 (1620 100 кВА)	10	3	1	0,0400	0,0131							10,52	-12,52		5,23
47	<input type="checkbox"/>		Нагр	2 910	оп 713 ПС 2634 100 кВА, ПС 1615 100 кВА	10	3	1	0,0280	0,0168							10,52	-12,52		5,23

Рисунок 17 – Параметры узлов в программе «RastrWin»

На рисунке 18 представлены параметры ветвей в программе «RastrWin»:

	О	S	Тип	N_нач	N_кон	N_п	ID Г...	Название	R	X	B	Кт/р	N_анц	БД...	P_мнч	Q_нач	Na	I max	I зар.
1	<input type="checkbox"/>		Тр-р	100	101			ИП 10кВ - N0	0,0439	0,3148	130,8	1,000			-2	-1		33	3,3
2	<input type="checkbox"/>		Тр-р	101	110			N0 - 10 c1	0,0878	4,4495		0,291							
3	<input type="checkbox"/>		Тр-р	101	120			N0 - 10 c2	0,0878	4,4495		0,291			-2		31	0,9	
4	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	120	200			10 c2 - оп 201 (выкл)	5,2800	4,3800					-2		107		
5	<input type="checkbox"/>		Выкл	200	201			оп 201 (выкл) - оп 202 (выкл)							-2				
6	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	201	210			оп 202 (выкл) - ВДТ N92	4,6990	3,9020					-2		107		
7	<input type="checkbox"/>		Тр-р	210	300			ВДТ N92 - оп 375 (ПС 2201 400 кВА)	0,3100	1,2006	102,1	1,150			-2		107		
8	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	300	400			оп 375 (ПС 2201 400 кВА) - оп 381 (ПС 02 400 кВА)	0,1580	0,1320					-1		87		
9	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	400	500			оп 381 (ПС 02 400 кВА) - оп 385	0,1060	0,0880					-1		81		
10	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	500	510			оп 385 - оп 720 ПС 2185 250 кВА, ПС 1608 160 кВА	0,4320	0,2720							7		
11	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	500	600			оп 385 - оп 391 (выкл)	0,1580	0,1320					-1		75		
12	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	600	610			оп 391 (выкл) - оп 730 ПС 2186 40 кВА, ПС 1607 100 кВА	0,1440	0,0910							2		
13	<input type="checkbox"/>		Выкл	600	601			оп 391 (выкл) - оп 392 (выкл)							-1				
14	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	601	700			оп 392 (выкл) - оп 394 (ПС 2192 25 кВА)	0,0510	0,0420					-1		72		
15	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	700	790			оп 394 (ПС 2192 25 кВА) - оп 401 (ПС 06 100 кВА)	0,1780	0,1480					-1		72		
16	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	790	800			оп 401 (ПС 06 100 кВА) - оп 405 (ПС 2181 160 кВА)	0,1020	0,0840					-1		71		
17	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	800	810			оп 405 (ПС 2181 160 кВА) - ВДТ N91	3,0890	2,5650					-1		68		
18	<input type="checkbox"/>		Тр-р	810	900			ВДТ N91 - оп 526	0,3100	1,2006	102,1	1,150			-1		68		
19	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	900	910			оп 526 - ПС 11 63 кВА, ПС 10 63 кВА	1,5040	0,7090							2		
20	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	900	1000			оп 526 - оп 538 (ПС 2191 63 кВА)	0,3050	0,2530					-1		57		
21	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1000	1100			оп 538 (ПС 2191 63 кВА) - оп 540	0,0510	0,0420					-1		56		
22	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1100	1110			оп 540 - оп 737 ПС 2199 400 кВА, ПС 1617 160 кВА	0,1400	0,0740							11		
23	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1100	1120			оп 540 - оп 741 ПС 1618 160 кВА, ПС 372 250 кВА	0,3654	0,1723							4		
24	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1100	1200			оп 540 - оп 544 (выкл)	0,1060	0,0880					-1		41		
25	<input type="checkbox"/>		Выкл	1200	1201			оп 544 (выкл) - оп 545 (выкл)							-1				
26	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1201	1300			оп 545 (выкл) - оп 548 (ПС 03 25 кВА)	0,0800	0,0670					-1		41		
27	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1300	1400			оп 548 (ПС 03 25 кВА) - оп 550 (ПС 2190 250 кВА)	0,0530	0,0440							41		
28	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1400	1500			оп 550 (ПС 2190 250 кВА) - оп 553 (ПС 2188 400 кВА)	0,0800	0,0670					-1		37		
29	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1500	1600			оп 553 (ПС 2188 400 кВА) - оп 558a (ПС 01 400 кВА)	0,1600	0,1330					-1		34		
30	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1600	1700			оп 558a (ПС 01 400 кВА) - оп 611 (ПС 2193 25 кВА)	1,4170	1,1760					-1		31		
31	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1700	1800			оп 611 (ПС 2193 25 кВА) - оп 612 (ПС 2195 25 кВА)	0,0270	0,0220					-1		31		
32	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1800	1900			оп 612 (ПС 2195 25 кВА) - оп 616 (ПС 2200 400 кВА)	0,1070	0,0890					-1		31		
33	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1900	2000			оп 616 (ПС 2200 400 кВА) - оп 618 (ПС 1604 100 кВА, ПС 1600 100 кВА)	0,0530	0,0440					-1		28		
34	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2000	2100			оп 618 (ПС 1604 100 кВА, ПС 1600 100 кВА) - оп 622 (ПС 2196 250 кВА)	0,1070	0,0890							26		
35	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2100	2200			оп 622 (ПС 2196 250 кВА) - оп 631	0,2410	0,2000							24		
36	<input type="checkbox"/>		Выкл	2200	2201			оп 631 - оп 632											
37	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2201	2300			оп 632 - оп 635 (ПС 1601 400 кВА)	0,0640	0,0530							24		
38	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2300	2400			оп 635 (ПС 1601 400 кВА) - оп 639	0,0640	0,0530							18		
39	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2400	2410			оп 639 - оп 886 ПС 04 400 кВА, ПС 2197 100 кВА	1,0150	0,3290							6		
40	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2400	2500			оп 639 - оп 648 (ПС 1609 25 кВА)	0,1450	0,1200							13		
41	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2500	2600			оп 648 (ПС 1609 25 кВА) - оп 654 (ПС 1619 250 кВА)	0,1390	0,1150							12		
42	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2600	2700			оп 654 (ПС 1619 250 кВА) - оп 655	0,0160	0,0130							6		
43	<input type="checkbox"/>		Выкл	2700	2701			оп 655 - оп 656											
44	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2701	2800			оп 656 - оп 657a (ПС 2187 100 кВА)	0,0320	0,0270							6		
45	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2800	2900			оп 657a (ПС 2187 100 кВА) - оп 709 (1620 100 кВА)	1,3700	1,1370							4		
46	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2900	2910			оп 709 (1620 100 кВА) - оп 713 ПС 2634 100 кВА, ПС 1615 100 кВА	0,2000	0,1000							2		

Рисунок 18 – Параметры ветвей в программе “RastrWin”

Модель участка изображена на рисунке 19:

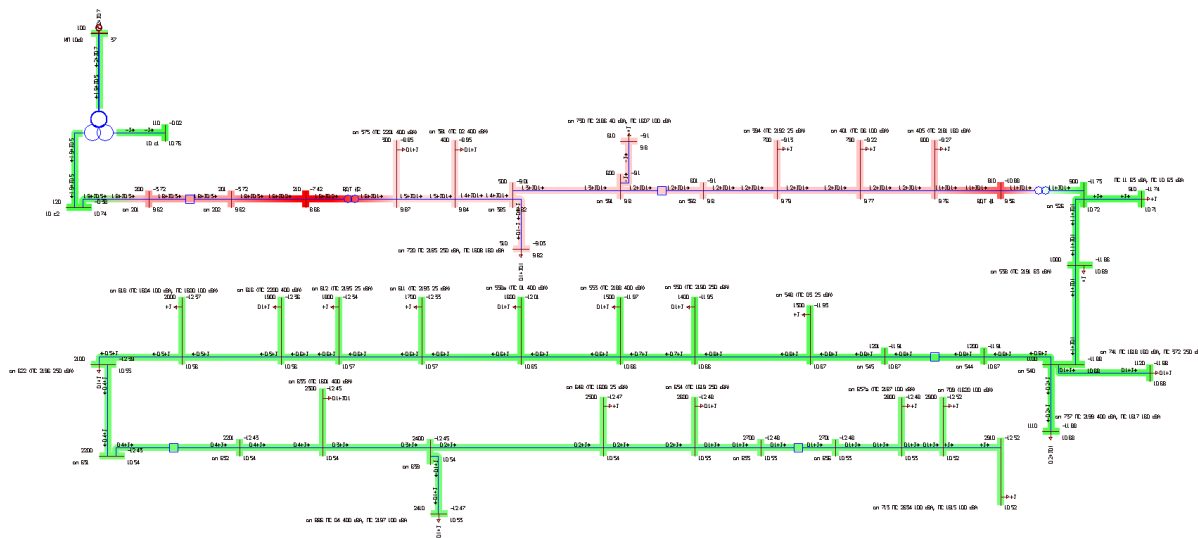


Рисунок 19 – Модель участка в программе «RastrWin»

В данном мероприятии один ВДТ был помещен между опорами 202 и 375, другой – между опорами 405 и 526. Данные мероприятия значительно улучшили ситуацию в плане напряжения на головном участке, по рисунку 19 видно, что теперь ни на одной линии нет отклонения напряжения больше, чем на 10%. Было произведено повышение сечения проводов на всех участках, с А-35, А-50, А-70 на А-95. С помощью данного мероприятия не удалось снизить потери в ЛЭП, которые составили 0,41МВт, против исходных 0,31 МВт (рис. 10). Ток в начале головного участка составил 107 А.

Параметры трансформаторов, РПН и ПБВ были представлены ранее на рисунках 15 и 16 соответственно.

3 Моделирование линии 0,4 кВ в среде динамического моделирования «SimInTech»

Моделирование участка сети 0,4 кВ было произведено в среде динамического моделирования «SimInTech». Для создания модели потребуется собрать схему из различных элементов: источника питания, участки ЛЭП, нагрузки потребителей, трансформаторы и измерительные устройства. Так же необходимо рассчитать параметры модели, такие как сопротивления линий, параметры трансформатора, активные и реактивные составляющие мощности нагрузок потребителей, суточный график нагрузок.

3.1 Описание моделируемого участка сети 0,4 кВ

Рассматриваемый участок представляет из себя источник питания 0,4 кВ (ИП), несколько линий (Л1-Л6) с отпайками и группы приемников (П1-П6). На рисунке 20 представлена схема моделируемого участка сети.

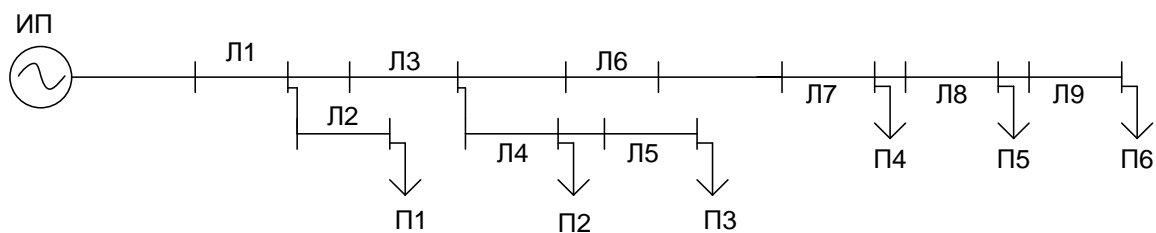


Рисунок 20 - Схема моделируемого участка сети 0,4кВ

Суммарная протяженность сети равняется 2,4 км, выполненная 4-х проводными линиям АС-95.

3.2 Разработка первоначального состояния модели сети 0,4 кВ в среде динамического моделирования «SimInTech»

При создании модели необходимо задать активные и реактивные удельные сопротивления ЛЭП и ее длину; параметры мощностей потребителей, такие как суточный график изменения нагрузки, ее активную составляющую и коэффициент реактивной мощности $\cos\phi_1$.

В таблице 1 представлены основные параметры ЛЭП:

Таблица 1 – Основные параметры ЛЭП.

Параметр	Ед. измерения	Величина
Длина Л1	км	0,05
Длина Л2	км	0,5
Длина Л3	км	0,35
Длина Л4	км	0,2
Длина Л5	км	0,25
Длина Л6	км	0,25
Длина Л7	км	0,3
Длина Л8	км	0,3
Длина Л9	км	0,2
Удельное активное сопротивление провода АС-95	Ом/км	0,34
Удельное реактивное сопротивление провода АС-95	Ом/км	0,28

В таблице 2 представлены основные параметры группы потребителей:

Таблица 2 – Основные параметры группы потребителей

Параметр	Ед. измерения	Величина
Мощность П1 (фаза А/ фаза В/ фаза С)	кВт	8/ 7,5/ 9,5
Коэффициент реактивной мощности П1 $\text{tg}\varphi_1$	о.е.	0,33
Мощность П2 (фаза А/ фаза В/ фаза С)	кВт	7/ 6/ 6,5
Коэффициент реактивной мощности П2 $\text{tg}\varphi_2$	о.е.	0,35
Мощность П3 (фаза А/ фаза В/ фаза С)	кВт	8,5/ 7,5/ 6
Коэффициент реактивной мощности П3 $\text{tg}\varphi_3$	о.е.	0,3
Мощность П4 (фаза А/ фаза В/ фаза С)	кВт	5/ 5,5/ 4
Коэффициент реактивной мощности П4 $\text{tg}\varphi_4$	о.е.	0,32
Мощность П5 (фаза А/ фаза В/ фаза С)	кВт	8/ 8,5/ 9
Коэффициент реактивной мощности П5 $\text{tg}\varphi_5$	о.е.	0,31
Мощность П6 (фаза А/ фаза В/ фаза С)	кВт	7/ 7,5/ 8
Коэффициент реактивной мощности П6 $\text{tg}\varphi_6$	о.е.	0,35

На рисунках 21, 22, 23 представлен суточный график нагрузки потребителей на фазе А, фазе В и фазе С:

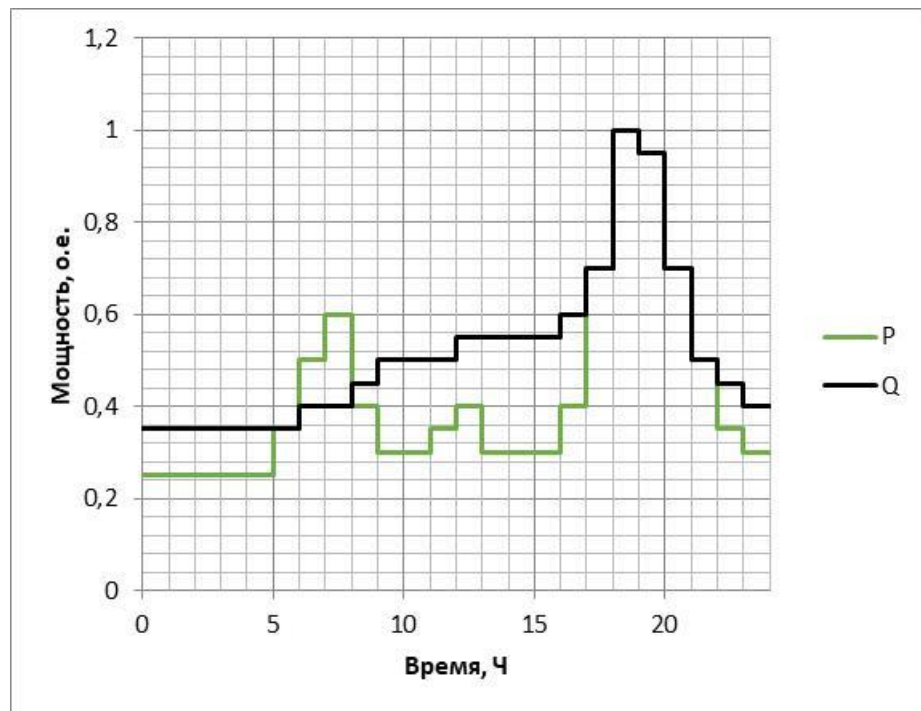


Рисунок 21 – Суточный график нагрузки потребителей на фазе А

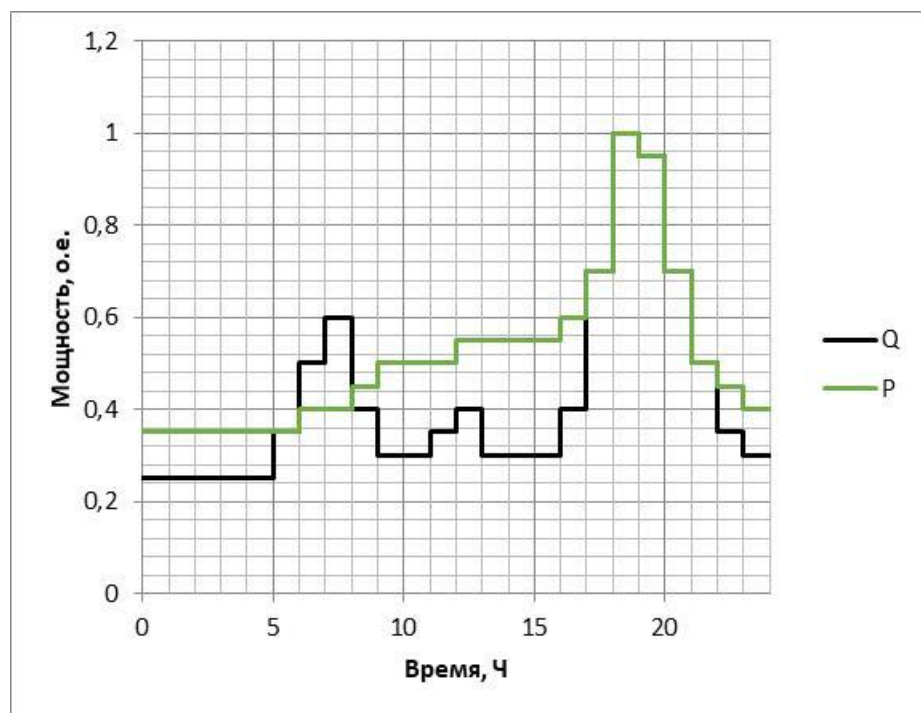


Рисунок 22 – Суточный график нагрузки потребителей на фазе В

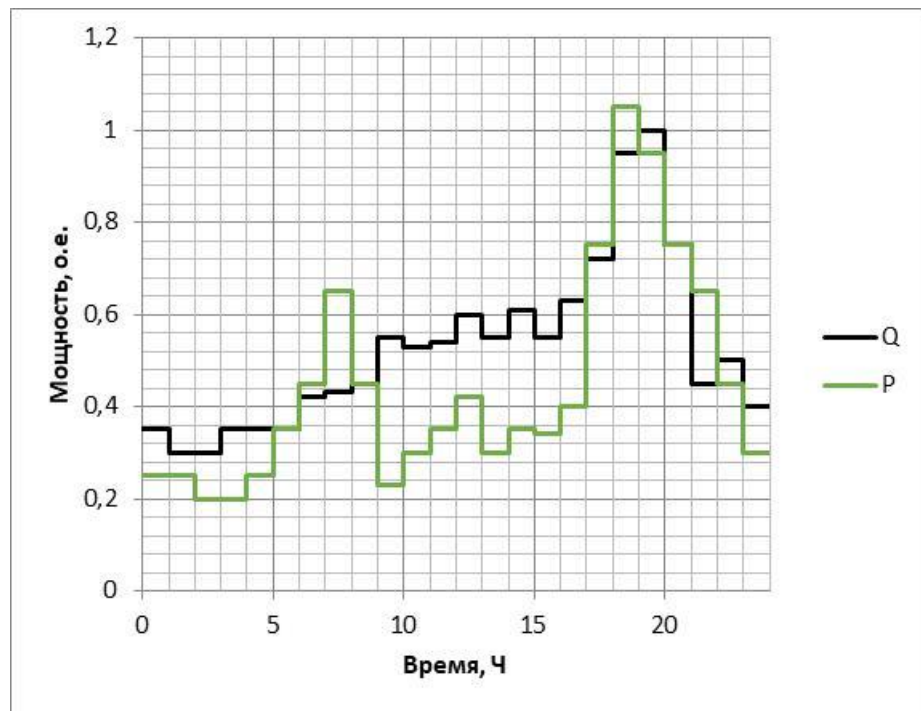


Рисунок 23 – Суточный график нагрузки потребителей на фазе С

В данной модели источником питания будет выступать трехфазный источник напряжения, линейное напряжение которого равно 0,4 кВ, частота 50 Гц (рисунок 24). В качестве линии выступает трехфазная R-Л-цепь (рисунок 25), параметры которой определяются через формулы 3 и 4:

$$R = r_0 * l_i; \tag{3}$$

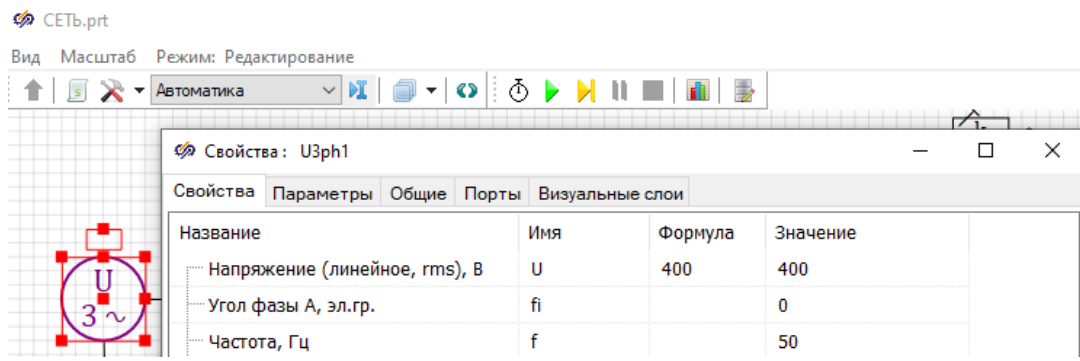
$$L = x_0 / 2\pi f * l_i \tag{4}$$

где r_0 – удельное активное сопротивление линии (Ом/км);

L – индуктивность (Гн);

x_0 – удельное реактивное сопротивление линии (Ом/км);

l_i – длина i -ой линии.



Рисунок

24 – Источник питания и его параметры

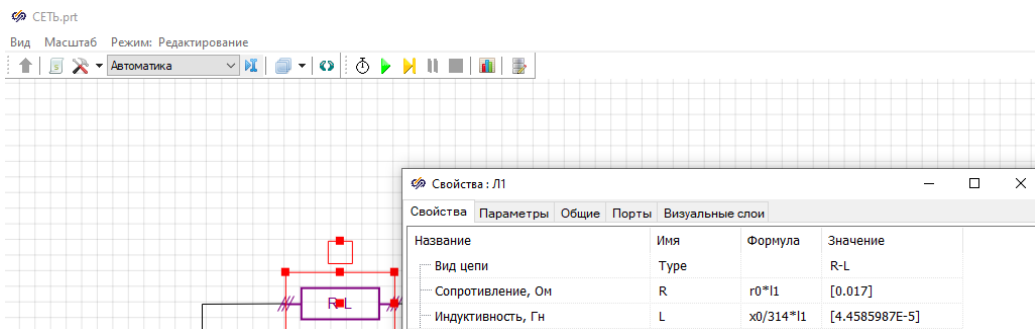


Рисунок 25 – ЛЭП и ее параметры

В качестве группы потребителей используется субмодель, которая включает в себя три управляемые статические нагрузки (по одной на каждую из фаз), подключенные к ним суточные графики нагрузок, для изменения мощности во времени и временные графики, для снятия показаний мощностей и напряжений на каждой фазе (рисунок 26).

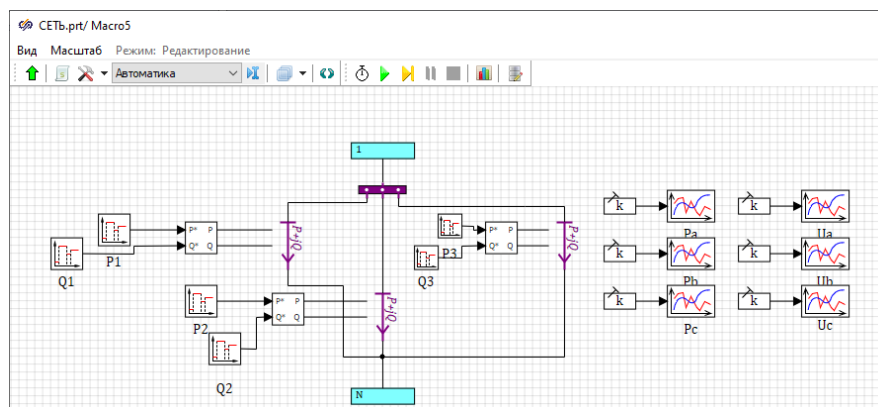


Рисунок 26 – Субмодель потребителя электроэнергии

На рисунке 27 представлена модель рассматриваемой сети:

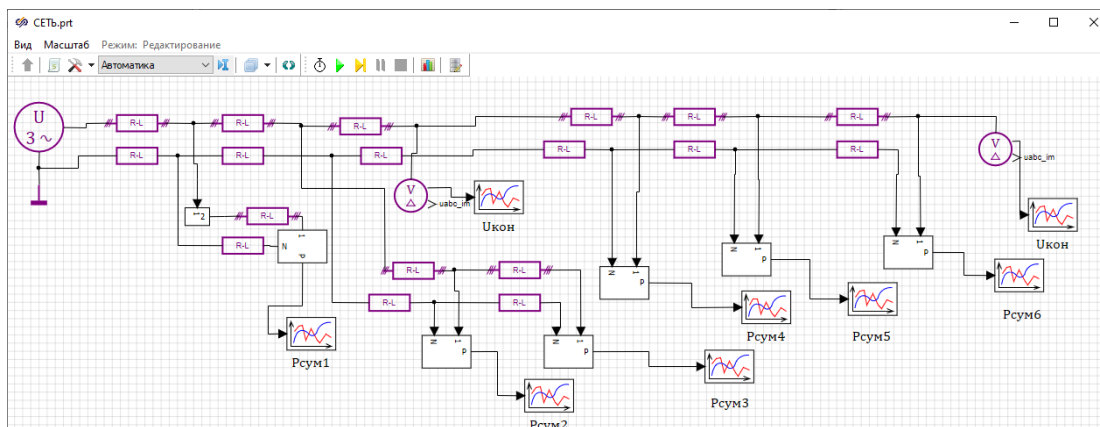


Рисунок 27 – Модель сети без добавления ВДТ

По результатам моделирования были получены следующие данные:

- суммарный суточный график нагрузок потребителей и потерь в ЛЭП (рисунок 28)
- фазные напряжения в конце второй отпайки (рисунок 29)
- фазные и линейные напряжения в конце линии (рисунки 30 и 31)



Рисунок 28 – Суммарный суточный график нагрузок потребителей и потерь в ЛЭП

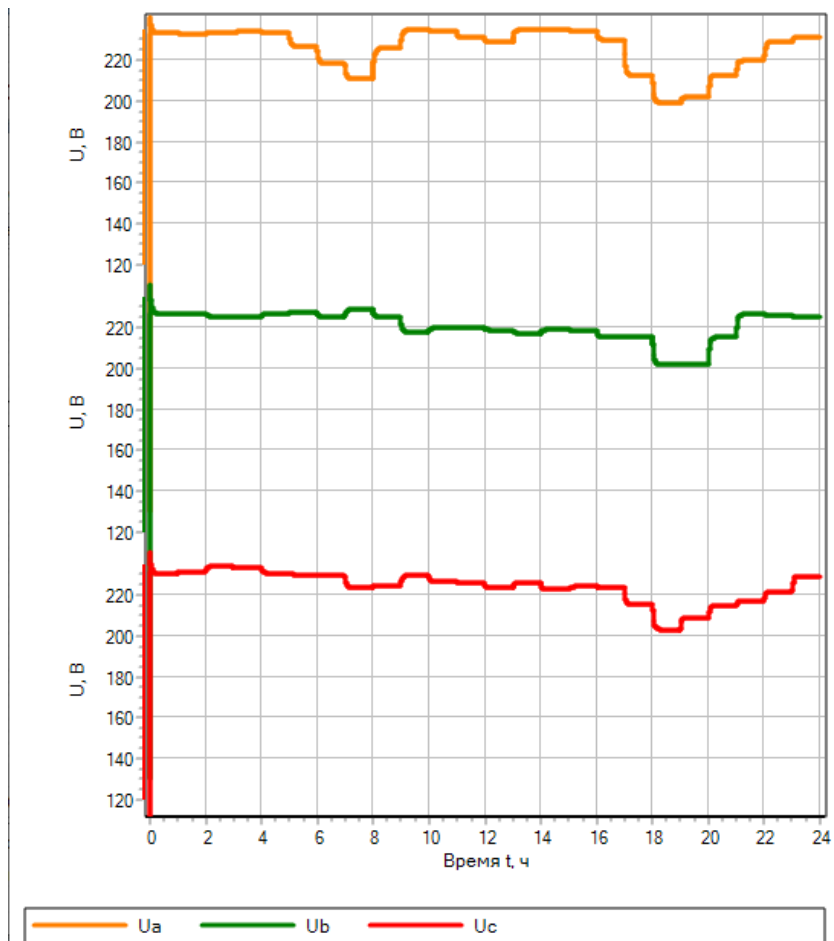


Рисунок 29 – Фазные напряжения в конце второй отпайки

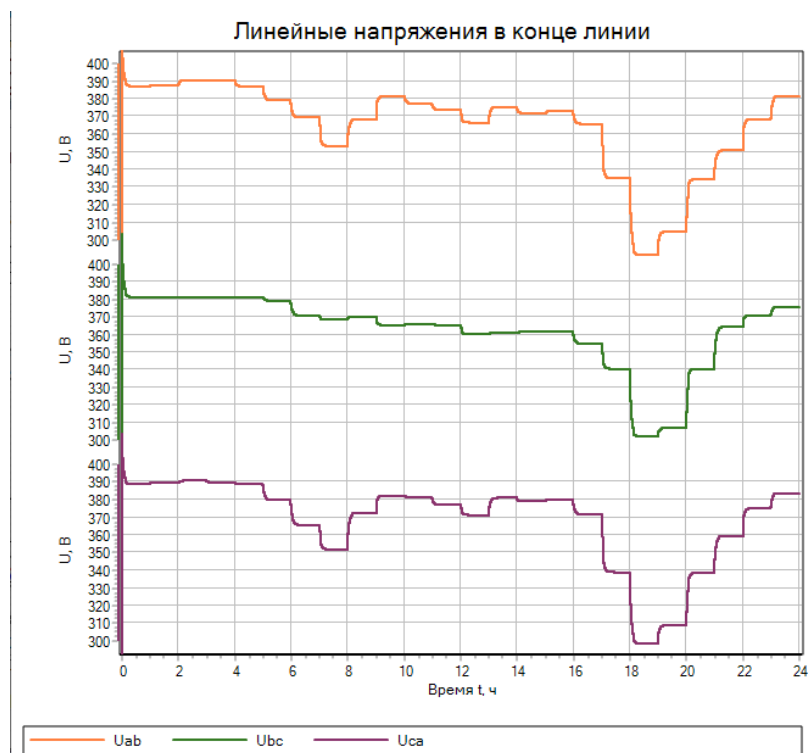


Рисунок 30 – Линейные напряжения в конце линии

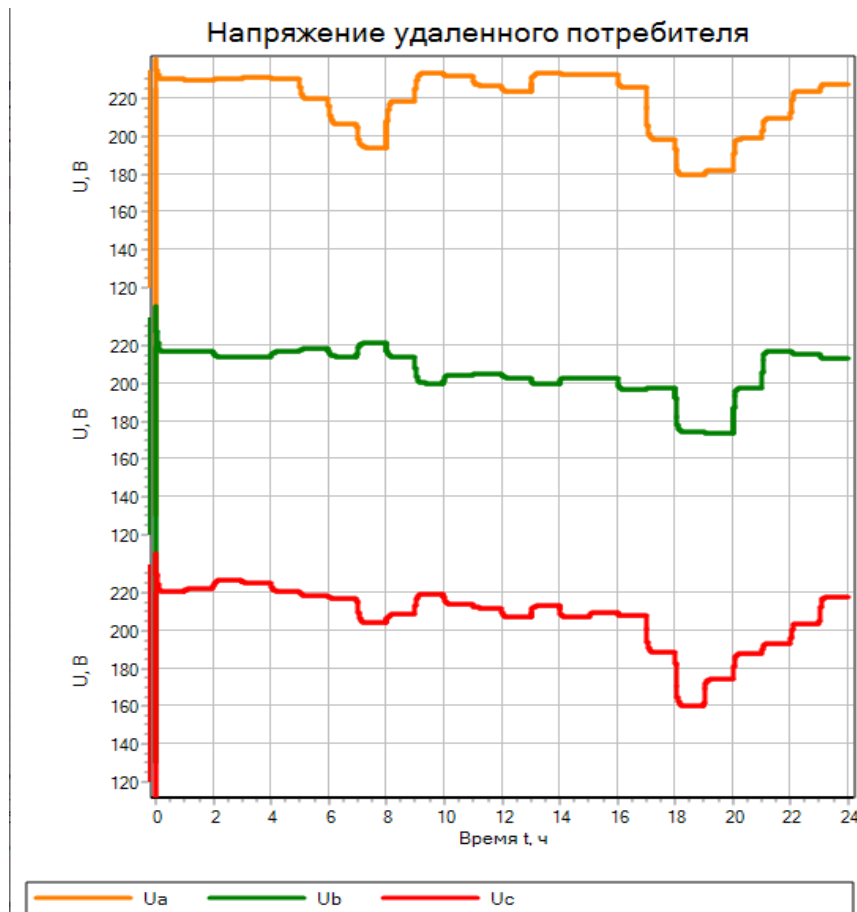


Рисунок 31 – Фазные напряжения в конце линии

Исходя из графика на рисунке 28, мы видим, что сеть наиболее загружена в период с 17 до 22 часов. В это же время мы видим просадки напряжений в линиях.

В конце второй отпайки напряжение падает до 200 В (не более 10% от номинально), тогда как в конце линии падение напряжения составляет около 27% от номинального и составляет 160 В на фазе С, что является недопустимым согласно ГОСТ 32144 – 2013.

В качестве меры повышения уровня напряжения и качества электроэнергии установим после Лб вольтодобавочный трансформатор.

3.3 Моделирование ВДТ для трехфазной в среде динамического моделирования «SimInTech»

В качестве ВДТ будем рассматривать два трансформатора в которых , вторичная обмотка первого трансформатора будет включена последовательно в ЛЭП, а первичная обмотка последовательно будет связана с вторичной обмоткой второго трансформатора. На первичную обмотку второго трансформатора будем подавать напряжение управления, вычисляемое по формуле 5:

$$U_{\text{упр}} = 4 * U_{\text{л}} - 3 * U_{\text{треб}}, \quad (5)$$

где $U_{\text{упр}}$ – напряжение управления,

$U_{\text{л}}$ – напряжение в линии до включения ВДТ,

$U_{\text{треб}}$ – требуемое напряжение в линии, которое возможно задавать дистанционно.

Схема вольтодобавочного трансформатора представлена на рисунке 32:

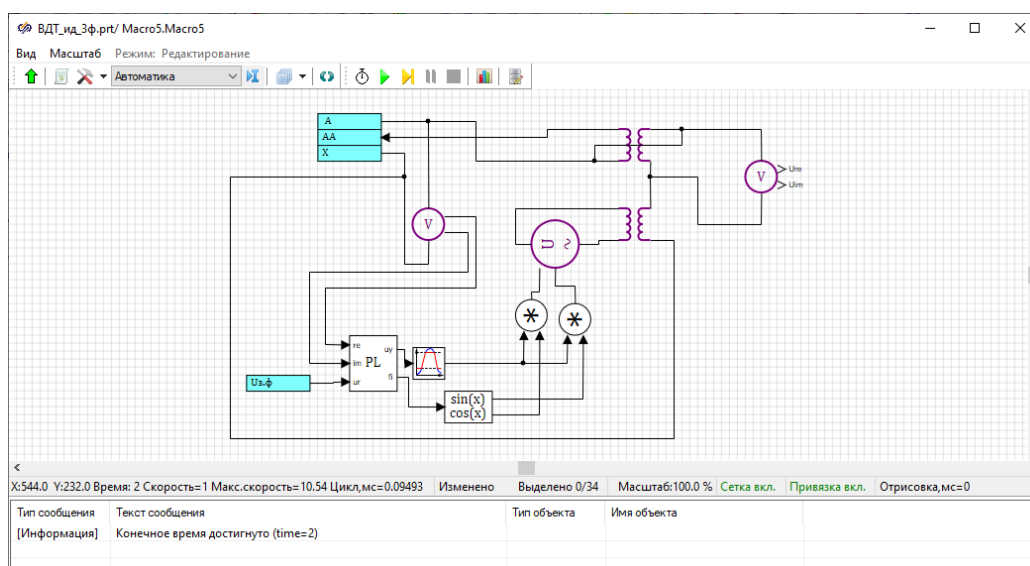


Рисунок 32 – Схема вольтодобавочного трансформатора в среде динамического моделирования «SimInTech»

Модель подключения вольтодобавочного трансформатора на каждую фазу представлена на рисунке 33:

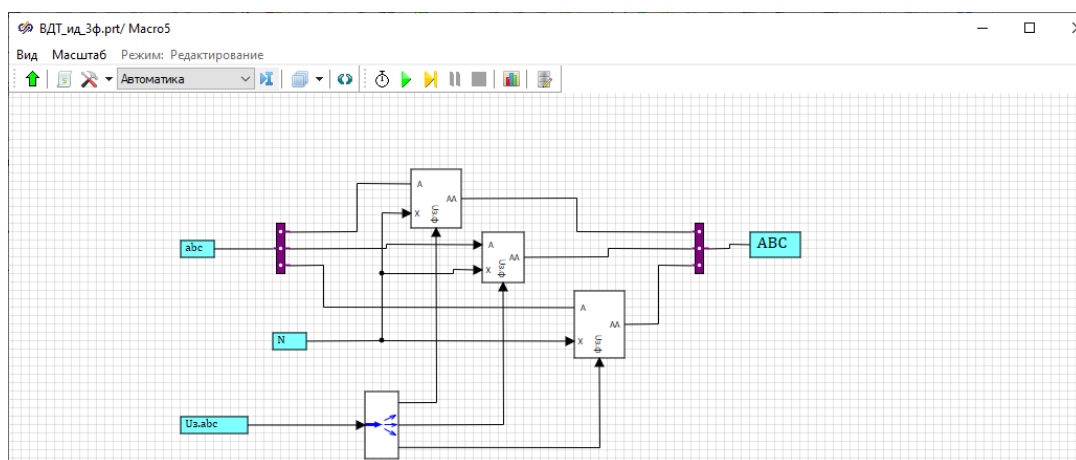


Рисунок 33 – Модель подключения вольтодобавочного трансформаторов в среде динамического моделирования «SimInTech»

При моделировании трехфазной сети, с искусственно заданным низким линейным напряжением (равное 300 В), на рисунке 34 можно увидеть, что напряжение у потребителя находится ниже 10% уровня от номинального 220 В.

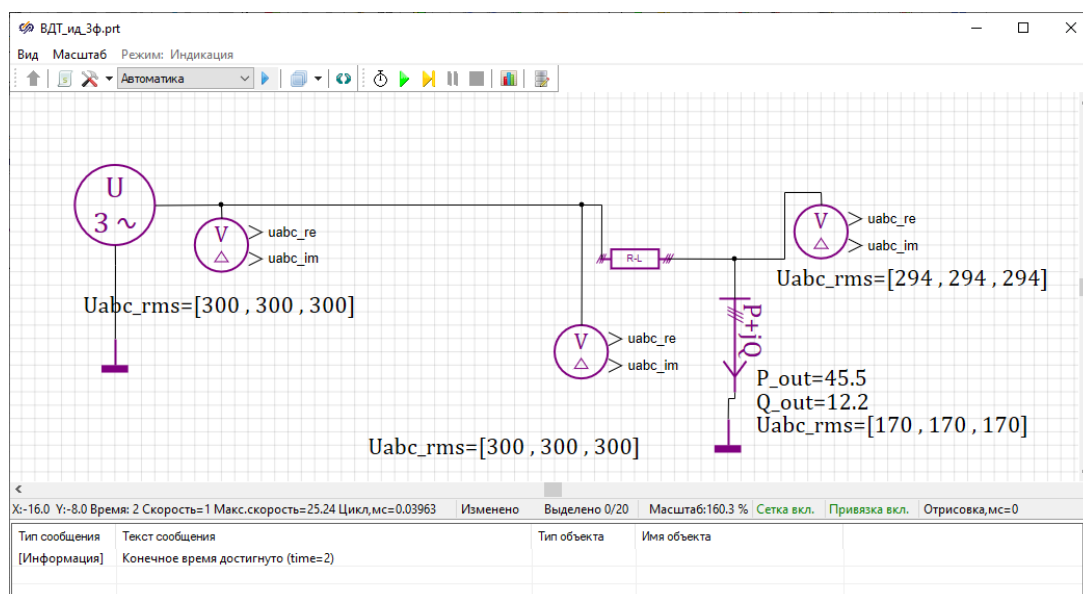


Рисунок 34 – Модель трехфазной сети, без подключения ВДТ

При подключении в линию вольтодобавочного трансформатора, с сохранением всех остальных параметров схемы, на рисунке 35 видно, что идет повышение фазного и линейного напряжения в конце линии, повышается мощность у потребителя. Требуемое напряжение на ВДТ выставили равным 220 В.

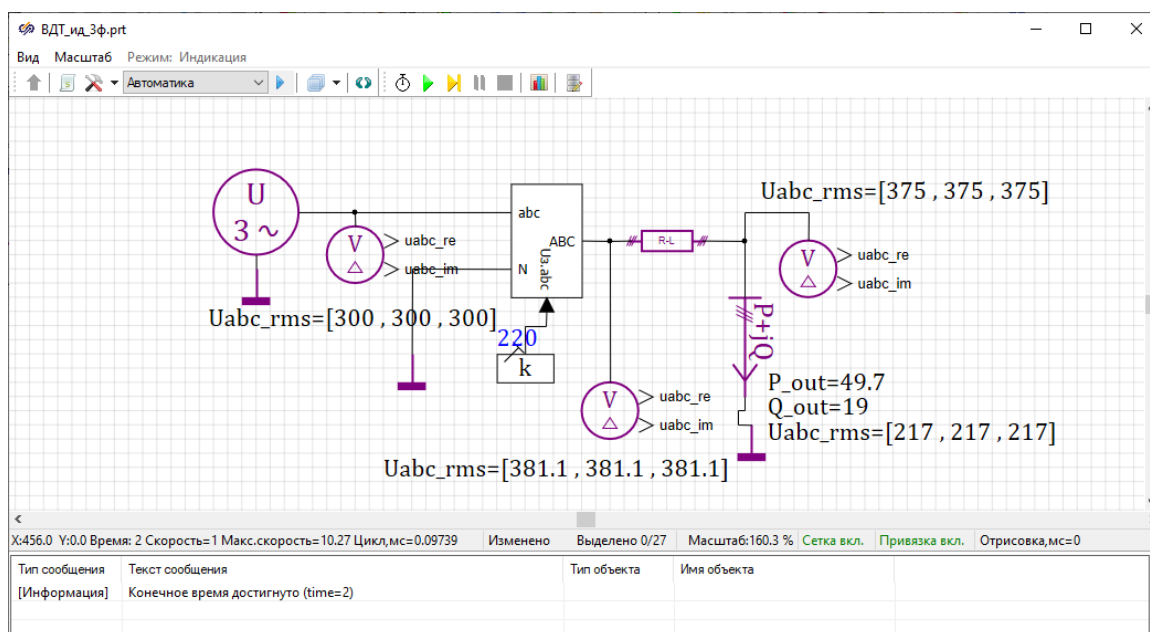


Рисунок 35 – Модель трехфазной сети, с подключением ВДТ

Данная модель вольтодобавочного трансформатора корректно выполняет свою функцию, поэтому ее и будем использовать для регулирования моделируемой сети.

3.4 Моделирование сети 0,4 кВ с учетом установки ВДТ в среде динамического моделирования «SimInTech»

Установим вольтодобавочный трансформатор в моделируемую сеть, между линиями Л6 и Л7. Для упрощения работы со схемой так же сделаем управляемое шунтирование ВДТ, для упрощения моделирования сети с ВДТ и без него. Так же установим амперметры до и после ВДТ, для измерения влияния на ток в линии.

На рисунке 36 представлено подключение ВДТ, с использованием управляемых ключей (Управление ВДТ) и подключения измерительных амперметров (А):

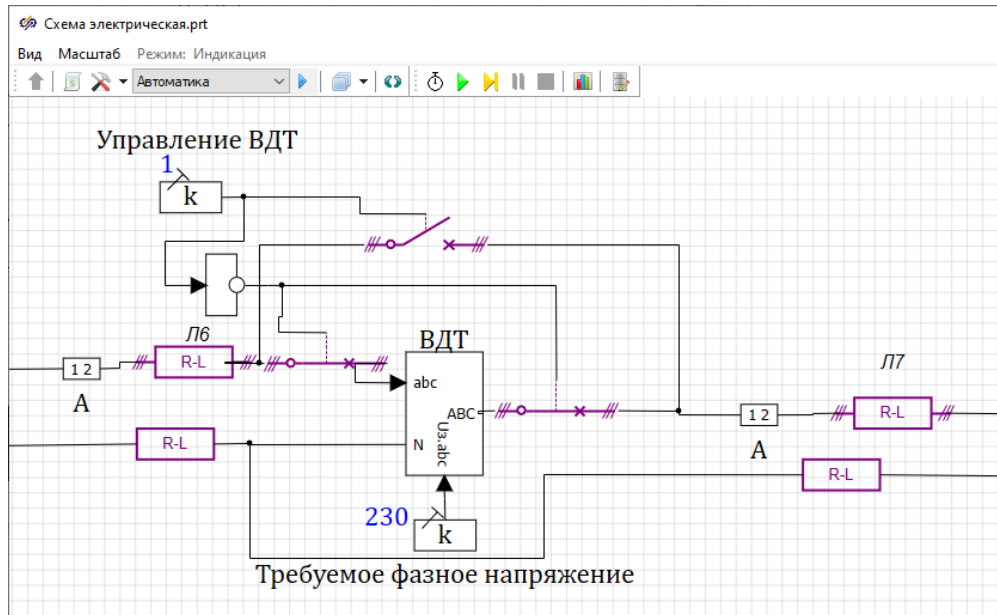


Рисунок 36 – Модель подключения ВДТ, с использованием ключей

Итоговая модель сети 0,4 кВ, с использованием вольтодобавочного трансформатора, представлена на рисунке 37:

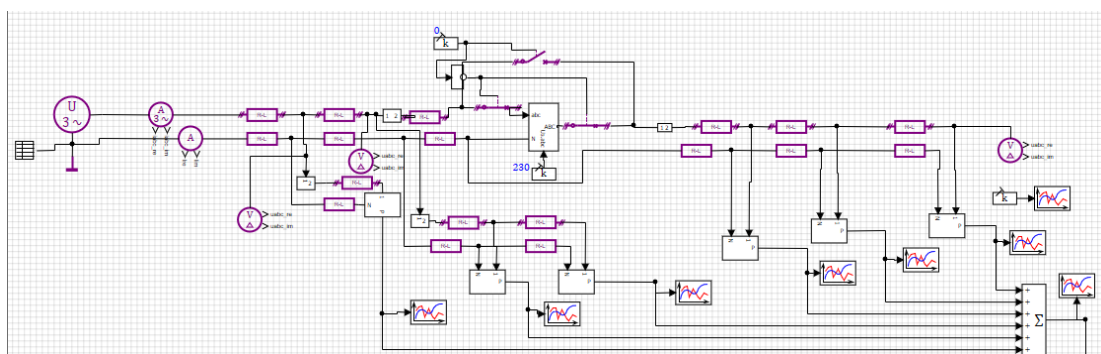


Рисунок 37 – Модель сети 0,4 кВ, с подключенным ВДТ в среде динамического моделирования «SimInTech»

Параметры моделирования остались такими же (таблица 1 и 2), напряжение источника питания равно 0,4 кВ, требуемое напряжение ($U_{\text{треб}}$)

на вольтодобавочном трансформаторе равно 230 В.

В результате моделирования после подключения ВДТ были получены следующие данные:

- суммарный суточный график нагрузок потребителей и потерь в ЛЭП (рисунок 38)
- фазные и линейные напряжения в конце линии (рисунки 39 и 40)
- Токи в Л6 и Л7, до и после подключения ВДТ (рисунки 41, 42 и 43)



Рисунок 38 – Суммарный суточный график нагрузок потребителей и потерь в ЛЭП после подключения ВДТ

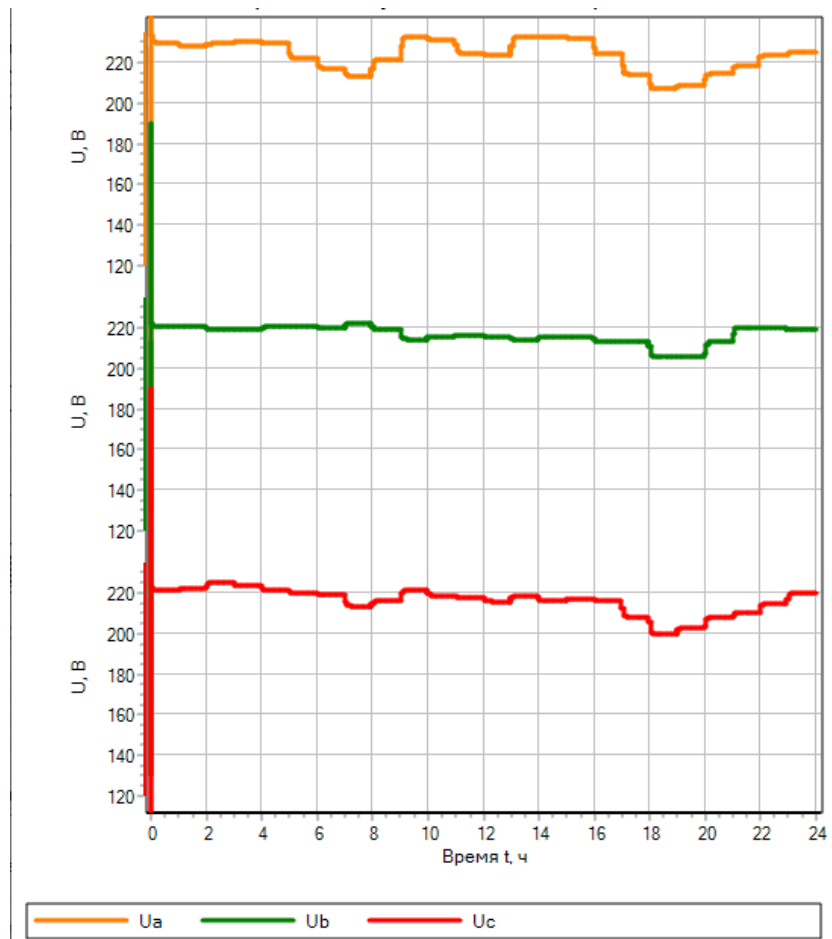


Рисунок 39 – Фазные напряжения в конце линии после подключения ВДТ

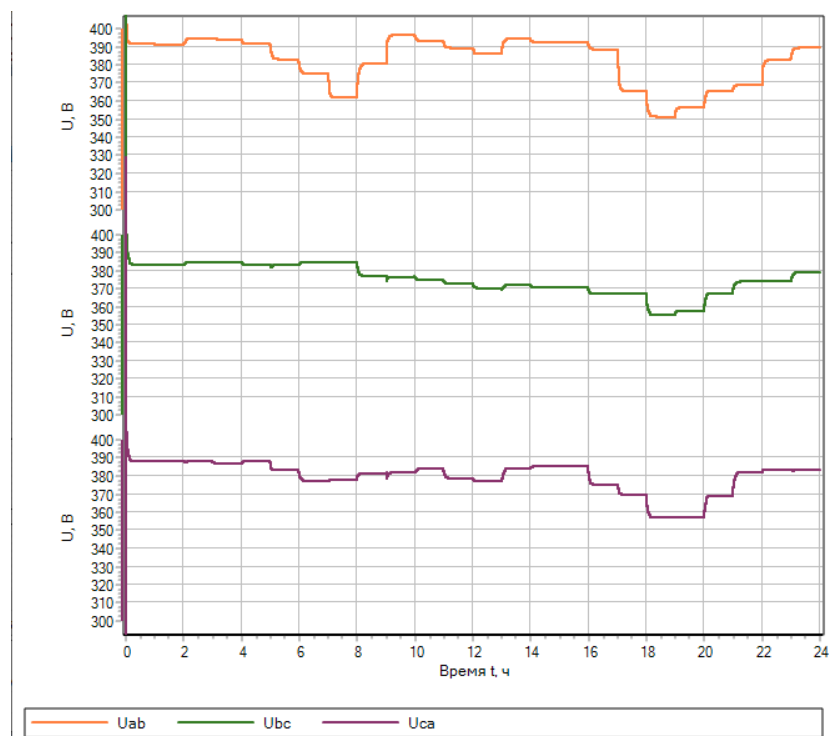


Рисунок 40 – Линейные напряжения в конце линии после подключения ВДТ

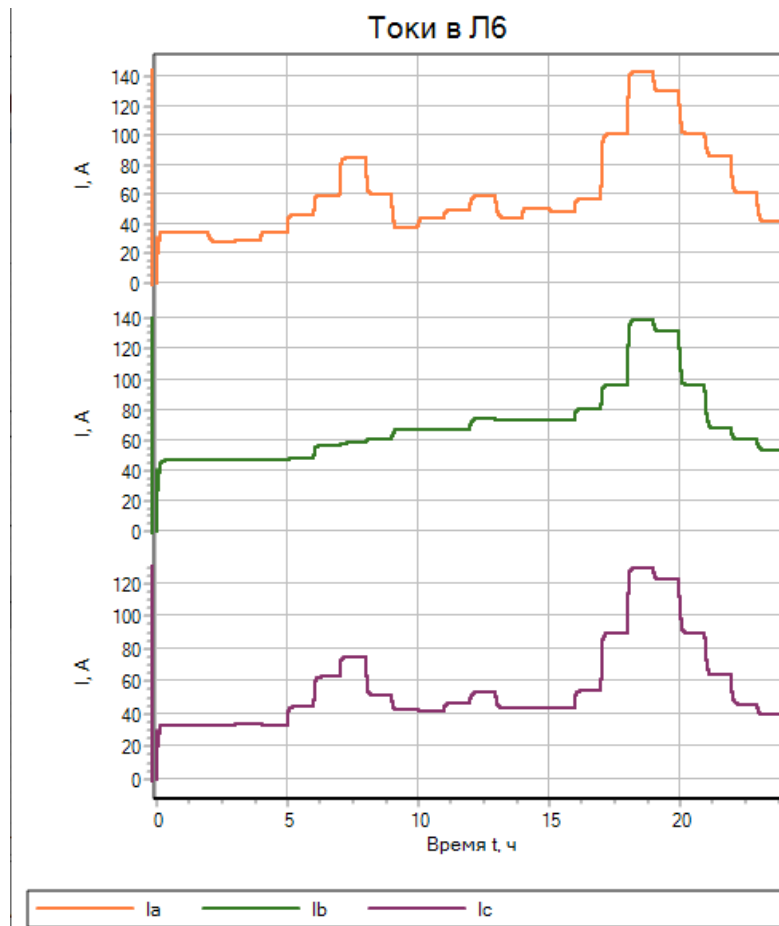


Рисунок 41 – Ток в линии Л6 после подключения ВДТ

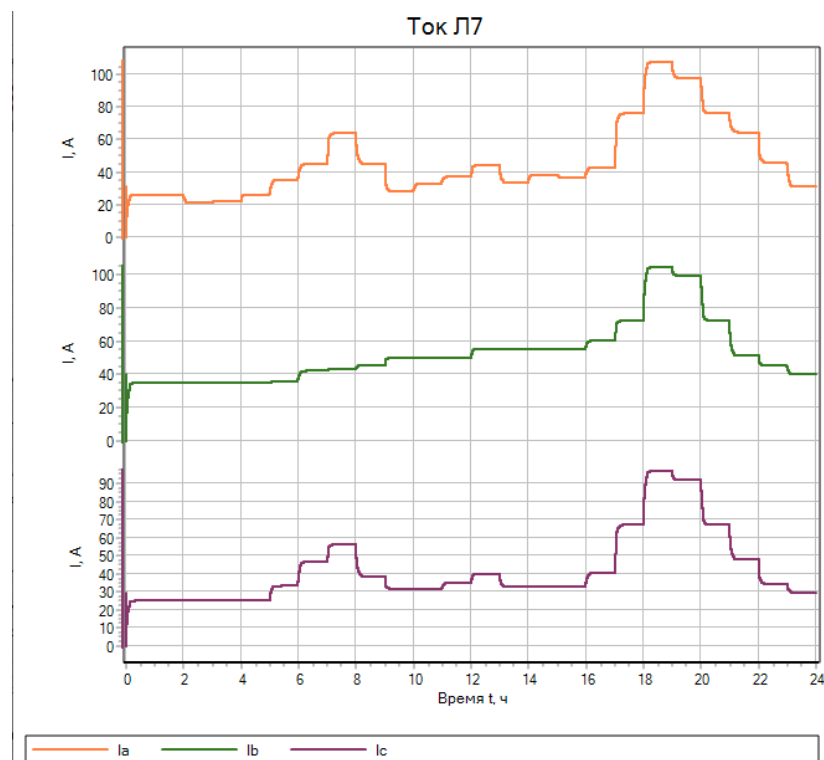


Рисунок 42 – Ток в линии Л7 после подключения ВДТ

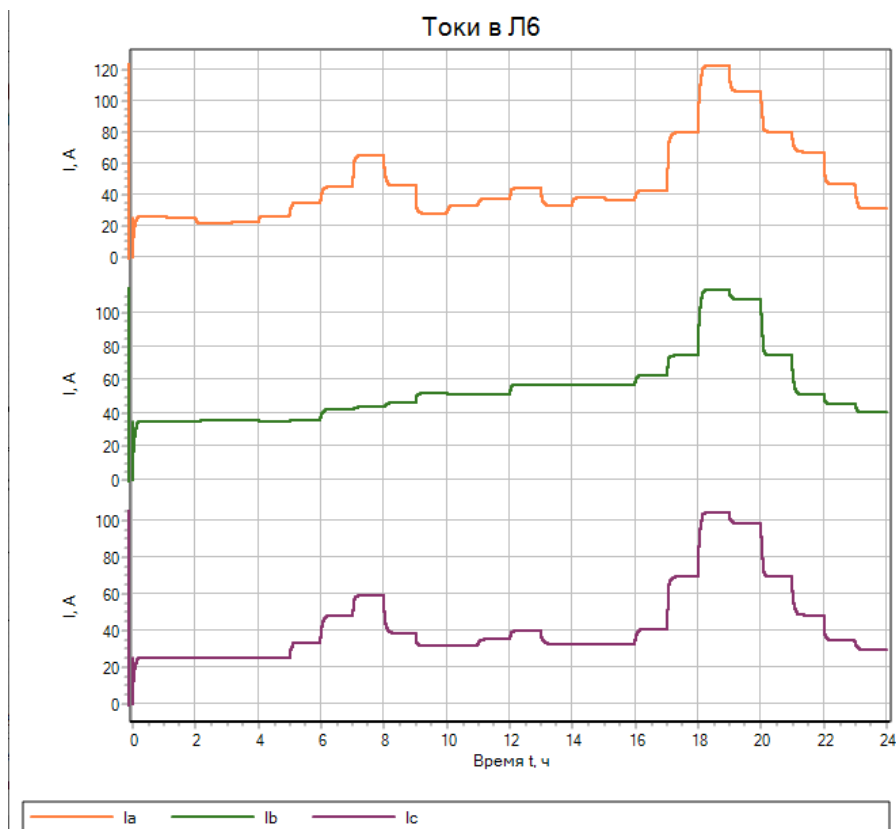


Рисунок 43 – Ток в линии Л6 и Л7 до подключения ВДТ

3.5 Сравнение полученных результатов двух моделей

Исходя из рисунков 29, 30, 39, 40 можно заметить, что после установки ВДТ повысилось фазное и линейное напряжение на конечном участке сети до уровня не выходящего за 10% барьер от номинального напряжения сети (220 В). Данные параметры являлись основной причиной модернизации рассматриваемой сети, и смоделированный ВДТ успешно справился с улучшением качества электроэнергии.

Так же были рассчитаны суммарные суточные потребления электроэнергии ($W_{\text{наг}}$) и потери электроэнергии в линии (ΔW), до и после установки ВДТ. До установки трансформатора $W_{\text{наг}} = 1417$ кВт*ч, $\Delta W = 145$ кВт*ч, уровень потерь составляет 10,2%. После установки трансформатора незначительно повышается потребление электроэнергии $W_{\text{наг}} = 1429$ кВт*ч, а так же потери в линиях $\Delta W = 182$ кВт*ч. Так же повышается уровень потерь

электроэнергии с 10,2% до 12,7%.

Так же сравним токи в линия Л6 и Л7 до и после установки трансформатора. После установки ВДТ ток до трансформатора, на линии Л6, возрос на 16% (со 120 А на фазе А, до 140 А), ток после трансформатора, на линии Л7, упал на 9% (со 120 А на фазе А, до 110 А)

Отсюда можно сделать вывод, что установка ВДТ вызывает повышение напряжения в линии и повышение тока в начале сети, и как следствие, повышаются потери в ЛЭП. Но необходимо учитывать, что добавление трансформатора так же повышает потери в ЛЭП, приблизительно на 1,5%.

4. Применение вольтодобавочных трансформаторов в сетях 6-20 кВ и 0,4 кВ

Установка ВДТ массой не более 300 кг выполняется на одной опоре в разрыв ЛЭП-0,4 кВ (рисунок 44):

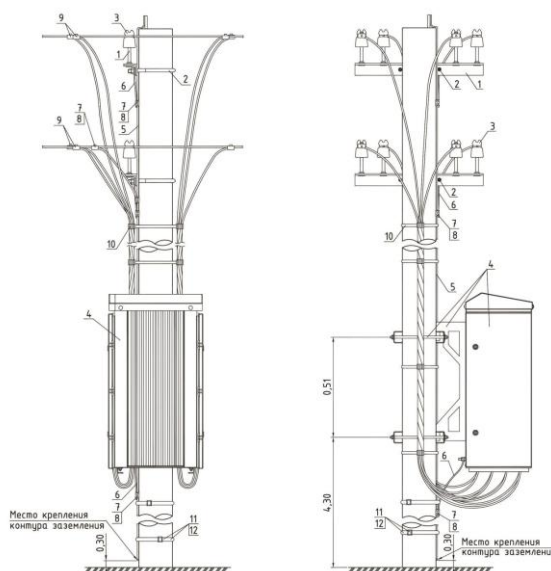


Рисунок 44 – Установка ВДТ 0,4 кВ на одной опоре ЛЭП.

Установка вольтодобавочного трансформатора массой более 300 кг выполняется между двух опор в разрыв воздушных ЛЭП-0,4 кВ,

проходящих в том числе вблизи жилых домов, построек и пр. (рисунок 45):

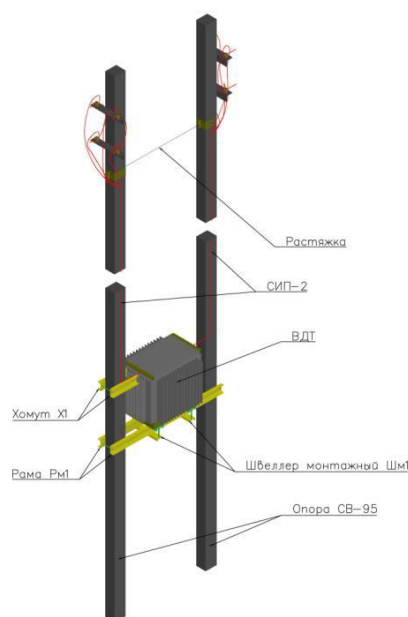


Рисунок 45 – Установка ВДТ 0,4 кВ на двух опорах ЛЭП

Рекомендуется устанавливать ОПН на опорах в местах спуска проводов на вход и выход ВДТ. ВДТ размещается непосредственно у опор воздушной ЛЭП на высоте не менее 2,0 м. от уровня земли. ВДТ устанавливается на металлическую конструкцию, закрепленную на одну или две опоры ЛЭП.

Все монтажные работы выполняются с использованием грузоподъемного оборудования и автовышки. В районах с сильной ветровой нагрузкой рекомендуется применить дополнительный крепеж ВДТ к опорам. При выполнении монтажных, пуско-наладочных работ необходимо следовать рекомендациям заводов-производителей оборудования. Все работы выполняются в строгом соответствии с требованиями НТД по охране труда и промышленной безопасности.

Опоры должны устанавливаться в пробуренные скважины диаметром 300 мм. не менее 2,0 м. Обратную засыпку скважин производить вынутым при бурении грунтом за исключением растительного слоя. Уплотнение грунта нужно производить слоями не более 0,2 м.

В зависимости от требуемого диапазона регулирования напряжения

возможны два варианта схем подключения ПРН из однофазных ВДТ в трехфазную сеть: два ВДТ по схеме «неполный треугольник» (рисунок 46) и три ВДТ по схеме «полный треугольник» (рисунок 47). Схема «неполный треугольник» обеспечивает регулирования напряжения в диапазоне $\pm 10\%$, схема «полный треугольник» обеспечивает регулирования напряжения в диапазоне $\pm 15\%$, векторные диаграммы представлены на рисунках 46 и 47.

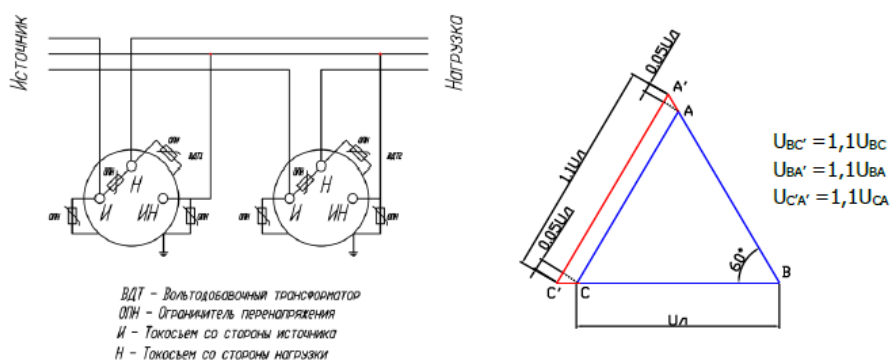


Рисунок 46 – Подключение однофазных ВДТ по схеме «неполный треугольник»

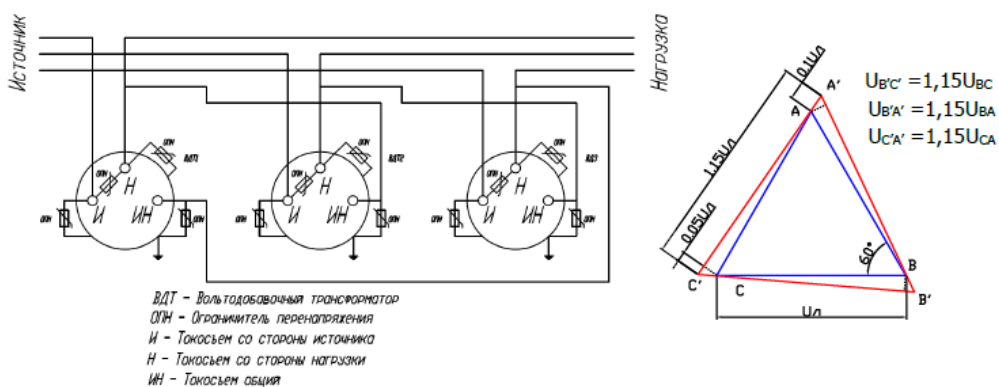


Рисунок 47 – Подключение однофазных ВДТ по схеме «полный треугольник»

Для обеспечения безопасной работы при текущем обслуживании, вывода в ремонт, а также обеспечения электроснабжения потребителей при выводе ВДТ из работы используются три трехполюсных разъединителя:

два последовательных и один обходной (рисунок 48).

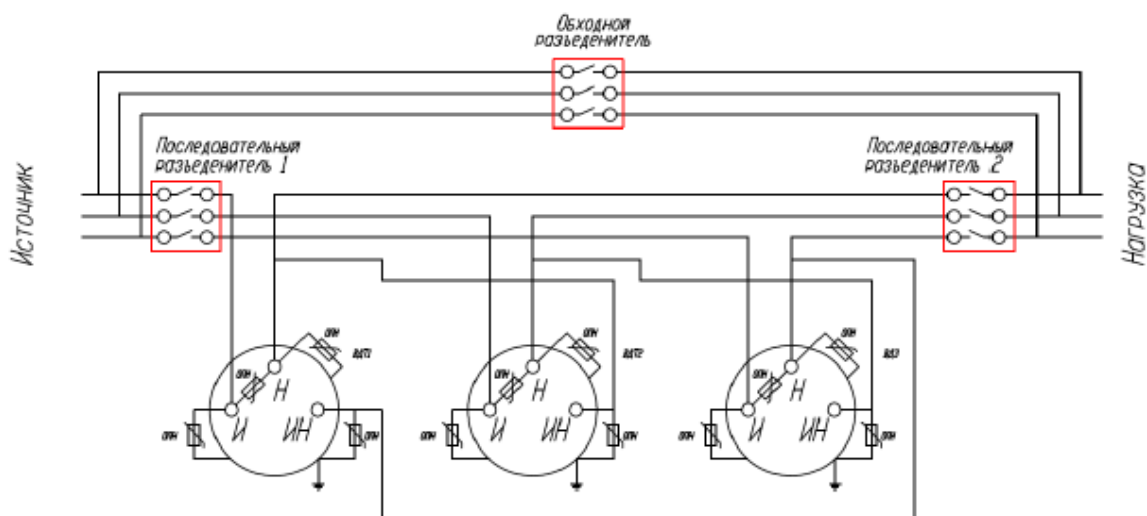


Рисунок 48 – Электрическая схема подключения разъединителей на ВДТ

Решения по связи позволяют выполнить интеграцию в существующие SCADA системы. Перечень возможных каналов связи представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Каналы связи системы SCADA

Тип дистанционного управления	Канал передачи данных SCADA	Протокол передачи данных
SCADA	GRPS/GSM	МЭК 60870-5-104
	ВОЛС, RS232/485	МЭК 61850 90-2, при необходимости МЭК 60870-5-104

В случае слабого или неустойчивого сигнала сотовой сети в месте установки ВДТ необходимо применять направленную антенну или использовать две сим-карты разных сотовых операторов.

Перечень сигналов по телеизмерению (ТИ), телесигнализации (ТС) и телеуправлению (ТУ) от каждого ВДТ 6-20 кВ представлен в Таблице 4.

Таблица 4 – Перечень передаваемых сигналов

№ п/п	Наименование	Тип сигнала
<i>Измерение электрических параметров</i>		
1.	Напряжение со стороны источника, кВ	ТИ
2.	Напряжение со стороны нагрузки, кВ	ТИ
3.	Ток в линии, А	ТИ
4.	Коэффициент мощности	ТИ
<i>Интегральные параметры ТИ</i>		
5.	Количество переключений	ТИ
<i>Уставки по прямому направлению мощности</i>		
6.	Уставка по напряжению, В	ТИ
7.	Уставка по диапазону чувствительности, В	ТИ
8.	Уставка по времени, С	ТИ
9.	Уставка по компенсации падения напряжения на активном сопротивлении, В	ТИ
10.	Уставка по компенсации падения напряжения на реактивном сопротивлении, В	ТИ
<i>Уставки по обратному направлению мощности</i>		
11.	Уставка по напряжению, В	ТИ
12.	Уставка по диапазону чувствительности, В	ТИ
13.	Уставка по времени, С	ТИ
14.	Уставка по компенсации падения напряжения на активном сопротивлении, В	ТИ
15.	Уставка по компенсации падения напряжения на реактивном сопротивлении, В	ТИ
<i>Телесигнализация</i>		
16.	Режим управления авт./ручн.	ТС
17.	Телеуправление вкл./откл.	ТС
18.	Направление потока мощности прямое/обратное	ТС
19.	Нейтральное положение РПН да/нет	ТС
20.	Неисправность ВДТ да/нет	ТС
<i>Телеуправление</i>		
21.	Переключение ступени на повышение	ТУ
22.	Переключение ступени на понижение	ТУ
23.	Переключение режима автоматический/ручной	ТУ
<i>Изменение уставок по прямому направлению мощности</i>		
24.	Уставка по напряжению, В	ТУ
25.	Уставка по диапазону чувствительности, В	ТУ
26.	Уставка по времени, С	ТУ
27.	Уставка по компенсации падения напряжения на активном сопротивлении, В	ТУ
28.	Уставка по компенсации падения напряжения на реактивном сопротивлении, В	ТУ
<i>Изменение уставок по обратному направлению мощности</i>		
29.	Уставка по напряжению, В	ТУ
30.	Уставка по диапазону чувствительности, В	ТУ
31.	Уставка по времени, С	ТУ
32.	Уставка по компенсации падения напряжения на активном сопротивлении, В	ТУ
33.	Уставка по компенсации падения напряжения на реактивном сопротивлении, В	ТУ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с поставленной целью в диссертации выполнен анализ участка ВЛ 10 кВ и ВЛ 0,4 кВ.

При выполнении магистерской диссертации были достигнуты следующие результаты:

- произведен анализ ряда мероприятий, направленных на повышение качества электроэнергии в ВЛ;
- Разработана модель сети 10 кВ и рассмотрены различные мероприятия, направленные на повышение качества электроэнергии;
- Разработана модель ВДТ, смоделирована сеть 0,4 кВ без учета ВДТ и с учетом ВДТ.

Для решения поставленных задач было использовано программное обеспечение Microsoft Excel, RastrWin и SimInTech.

Для повышения качества электроэнергии на ВЛ 10 кВ и обеспечения нормального уровня напряжения во всех узлах рассматриваемого участка. Было предложено два мероприятия:

- с добавлением одного ВДТ, расщеплением линии и увеличением сечения отдельных участков;
- с добавлением двух ВДТ и увеличением сечения отдельных участков.

При моделировании сетей 0,4 кВ были сняты показания напряжений и мощности до и после установки ВДТ, а так же произведен расчет активной электроэнергии и потерь в ЛЭП.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 54130-2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Качество электрической энергии. Термины и определения.
2. Управление качеством электроэнергии / И. И. Карташев, В. Н. Тульский, Р. Г. Шамонов и др.; под ред. Ю. В. Шарова. — М. : Издательский дом МЭИ, 2006. — 320 с.: ил.
3. Управление качеством электроэнергии при несинусоидальных режимах / А. В. Агунов. — СПб., СПбГМТУ, 2009. — 134 с.
4. ГОСТ 32144 – 2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
5. Международный научно-исследовательский журнал [Электронный ресурс] : Пропускная способность линии электропередачи и методы её увеличения. – Режим доступа: <https://research-journal.org>.
6. Компенсация реактивной мощности: способы и средства // Конденсаторный завод «Нюкон» [Электронный ресурс] :. – Режим доступа: <https://www.nucon.ru/reactive-power/reactive-power-and-types-of-compensation.php>.
7. Перинский Т.В. Увеличение пропускной способности линии 6-10 кВ // Третья Российская с международным участием научно-практическая конференция. Новосибирск [Электронный ресурс] :- Режим доступа: <https://www.elsi.ru/upload/medialibrary/386/386b15b1af57fc00b9998ffd5d610c15.pdf>
8. Конденсаторный завод «Нюкон» [Электронный ресурс] : Компенсация реактивной мощности: способы и средства. – Режим доступа: <https://www.nucon.ru/reactive-power/reactive-power-and-types-of-compensation.php>.
9. Новости Электротехники [Электронный ресурс] : Новые технологии повышения способности ЛЭП. – Режим доступа: <http://news.elteh.ru/arh/2007/46/07.php>.

10. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. – Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. – 720 с.
11. Инновационная энергетика [Электронный ресурс] : ПАРН. – Режим доступа: <http://www.ipenet.ru/vr-32.shtml>.
12. Применение вольтодобавочных трансформаторов в РЭС 0,4-10 кВ для улучшения показателей качества электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2011/C01/V01/005.pdf>.
13. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>.
14. Беляевский, Р. В. Вопросы компенсации реактивной мощности : учебное пособие / Р. В. Беляевский. – Кемерово: КузГТУ, 2011. – 132 с.
15. Карагодин, В. В. Оптимизация размещения устройств компенсации реактивной мощности в распределительных электрических сетях / В. В. Карагодин, Д. В. Рыбаков // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ, 2015. - №17. С. 43-50.
16. Тарабин, И. В. Компенсации реактивной мощности как метод повышения качества электрической энергии и сокращения потерь на примере данных «МРСК СИБИРИ» / И. В. Тарабин, Р. Б. Скоков, И. А. Терехин // Фундаментальные исследования, 2015. - №2-22. С. 4876-4879.
17. Дьяков, В. А. Mathcad : учебный курс / В. А. Дьяков – СПб.: Питер, 2009. – 592 с.
18. Программный комплекс RastrWin3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rastrwin.ru/>.
19. Железко, Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии / Ю. С. Железко. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
20. Управление электропотреблением : курс лекций для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» / авт. – сост. А. В. Сычев –

Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 100 с.

21. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : курс лекций / сост. Н. В. Дулесова ; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – 228 с.

22. СТО 34.01-3.2-013-2017. Вольтодобавочные трансформаторы. Общие технические требования

23. СТО 34.01-3.2.17-014.2-2020. Методические указания по применению вольтодобавочных трансформаторов (пунктов регулирования напряжения) 6-20 кВ и вольтодобавочных трансформаторов 0,4 кВ в линиях электропередачи распределительных сетей

24. Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы третьей всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 13-17 мая 2013 г. Иркутск: В 2 т. – Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2013. - 547 с.

25. Актуальные проблемы электроэнергетики: Сборник статей всероссийской научно-технической конференции, 2015 г. Нижний Новгород – Режим доступа:

https://ape.ntu.ru/frontend/web/ngtu/files/sborniki/sbornik_ape_2015.pdf

26. Опыт применения вольтодобавочных трансформаторов в низковольтных электрических сетях /Т.Васильева, Ю.Костин[Электронный ресурс]: Сборник статей – Режим доступа:<https://ske-electro.ru/wp-content/uploads/2022/01/Опыт-применения-вольтодобавочных-трансформаторов-в-низковольтных-электрических-сетях.-Т.Васильева-Ю.Костин>

27. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. (Выпуск 47 2015г.) [Электронный ресурс]: Научный журнал – Режим доступа: <https://ojs.irgups.ru/index.php/stsam>

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Электроэнергетики

кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой



В. И. Пантелеев
инициалы, фамилия

« 22 » декабря 2023 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Оптимизация режима напряжения линии электропередачи




тема

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код и наименование направления

13.04.02.09 «Автоматизация энергетических систем»

код и наименование магистерской программы

Руководитель	 22.12.23	доц. каф ЭМиАТ, к.т.н	А. В. Коловский
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	 20.12.23		С. В. Степанов
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	 22.12.23	дисп. ОДС ф.ОА «СО ЕЭС»	Д. В. Баранов
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 22.12.23	доц. каф ЭМиАТ, к.т.н	А. В. Коловский
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Абакан 2023