



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, машиностроение и автомобильный транспорт»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Г. Н. Чистяков  
подпись      инициалы, фамилия  
«   »            202 г.

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

Абакан 2023

Студенту Трухину Дмитрию Сергеевичу

фамилия, имя, отчество

Группа ОЗ-11

Направление (специальность)

13.04.02.

номер

код

«Электроэнергетика и электротехника»

полное наименование

Тема выпускной квалификационной работы Управление коэффициентом трансформации силовых трансформаторов.

Утверждена приказом по университету № 682 от 29.09.2021

Руководитель ВКР Е. В. Платонова, к.т.н., доцент кафедры «Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР: замеры междуфазных напряжений ПС «Кирба», однолинейная схема узла сети, ее параметры, графики нагрузок потребителей

Перечень разделов ВКР:

- 1 Проблема встречного регулирования напряжения в распределительных сетях
2. Характеристика объекта исследования
3. Анализ отклонений междуфазных напряжений
4. Анализ характерных режимов
  - 4.1 Максимальный режим
  - 4.2 Минимальный режим
- 5 Регулирование коэффициента трансформации
  - 5.1 Максимальный режим с регулированием отпаяк РПН
  - 5.2 Минимальный режим с положением отпаяк максимального режима
  - 5.3 Минимальный режим с нормализацией напряжения
  - 5.4 Максимальный режим с положением отпаяк минимального режима
6. Оптимизация режимов работы системы по напряжению

Руководитель ВКР

подпись

Е. В. Платонова

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись, инициалы и фамилия студента

Д. С. Трухин

202 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Управление коэффициентом трансформации силовых трансформаторов» содержит 52 страницы текстового документа, 33 использованных источника, 11 рисунков, 15 таблиц, приложений нет.

**КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ, УПРАВЛЕНИЕ, КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, АНАЛИЗ, РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ОПТИМИЗАЦИЯ.**

Объект исследования – Узел электрической сети Республики Хакасия.

Методы исследования – анализ режимов работы узла энергосистемы, имитационное моделирование режимов работы узла энергосистемы, оптимизация режимов работы.

Основной целью выпускной квалификационной работы является применение устройств регулирования напряжения в распределительных сетях при совместной работе мощной резкопеременной нагрузки и коммунально-бытовой нагрузки.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- Анализ методов и средств регулирования коэффициента трансформации силовых трансформаторов;
- Анализ характерных режимов работы участка распределительной сети 35/10 кВ.
- Применение системы автоматического регулирования напряжения для оптимизации уровней напряжения участка сети 35/10 кВ.

В процессе работы был произведен анализ отклонений междуфазных напряжений на ПС «Кирба»; произведен анализ характерных режимов работы участка электросети; разработана модель электрической сети в программном комплексе RastrWin3; предложены мероприятия по оптимизации уровней напряжения на шинах низкого напряжения ПС «Кирба» с применением системы автоматического регулирования напряжения трансформатора.

Данная работа актуальна для электросетевых организаций, стремящихся повышать надежность электроснабжения конечного потребителя. Результаты данной диссертационной работы могут быть полезны для специалистов в области энергетики и электроснабжения, а также могут быть использованы при проектировании и эксплуатации распределительных сетей. Результаты данной работы могут быть полезны при проектировании и эксплуатации распределительных сетей.

## THE ABSTRACT

The final qualifying work on the topic "Control of the transformation coefficient of power transformers" contains 52 pages of a text document, 33 sources used, 11 figures, 15 tables, no appendices.

TRANSFORMATION COEFFICIENT, CONTROL, POWER QUALITY, ANALYSIS, VOLTAGE REGULATION, OPTIMIZATION.

The object of the study is a node of the electric network of the Republic of Khakassia.

Research methods – analysis of operating modes of a power system node, simulation of operating modes of a power system node, optimization of operating modes.

The main purpose of the final qualification work is the use of voltage regulation devices in distribution networks when working together with a powerful alternating load and a household load.

The tasks of the final qualification work:

- Analysis of methods and means of regulating the transformation coefficient of power transformers;
- Analysis of the typical operating modes of the 35/10 kV distribution network section.
- The use of an automatic voltage regulation system to optimize the voltage levels of the 35/10 kV network section.

In the course of work, the analysis of phase-to-phase voltage deviations on the Kirba substation was performed; the analysis of the characteristic operating modes of the power grid section was performed; a model of the electric network was developed in the RastrWin3 software package; measures were proposed to optimize voltage levels on low-voltage buses of the Kirba substation using an automatic transformer voltage control system.

This work is relevant for power grid organizations seeking to improve the reliability of power supply to the end user. The results of this dissertation work can be useful for specialists in the field of energy and electricity supply, and can also be used in the design and operation of distribution networks. The results of this work can be useful in the design and operation of distribution networks.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
1 Проблема встречного регулирования напряжения в распределительных сетях. .....	9
2 Характеристика объекта исследования.....	10
3 Анализ отклонений междуфазных напряжений .....	11
4 Анализ характерных режимов .....	14
4.1 Максимальный режим .....	15
4.2 Минимальный режим.....	19
5 Регулирование коэффициента трансформации.....	23
5.1 Максимальный режим с регулированием отпаек РПН .....	23
5.2 Минимальный режим с положением отпаек максимального режима.....	28
5.3 Минимальный режим с нормализацией напряжения.....	32
5.4 Максимальный режим с положением отпаек минимального режима .....	37
6 Оптимизация режимов работы системы по напряжению .....	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	48
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	50

## ВВЕДЕНИЕ

Организационные и технологические изменения последних десятилетий в электроэнергетике России требуют разработки и внедрения новых подходов к регулированию коэффициента трансформации силовых трансформаторов (далее КТ). [1]

С помощью регулирования КТ в энергетических системах решаются основные задачи [5]:

1. Обеспечение требуемого уровня напряжения на выводах трансформаторов и выводах потребителей электрической энергии.
2. Снижение потерь активной и реактивной мощностей.

Снижение напряжения приводит к ряду отрицательных последствий электромагнитного и технологического характера. Среди них следует отметить такие, как [10]:

- увеличение потерь активной и реактивной мощности;
- сокращение срока службы электрооборудования потребителей;
- увеличение капитальных вложений в СЭС;
- нарушение условий нормального функционирования электрооборудования потребителей;
- нанесение вреда окружающей среде и здоровью человека.

На качество электроэнергии есть стандарт. ГОСТ 32144-2013, который нормирует отклонения напряжения. [2]

**Актуальность** работы заключается в диффузии методов регулирования напряжения для мощных потребителей с резкопеременной нагрузкой и потребителей с коммунально-бытовой нагрузкой.

**Объектом исследования** диссертации является участок сети напряжением 35/10 кВ, включающий в себя мощную резкопеременную нагрузку и коммунально-бытовые нагрузки.

**Методы исследования** Анализ режимов работы узла энергосистемы, имитационное моделирование режимов работы узла энергосистемы, оптимизация режимов работы.

**Целью магистерской диссертации** является применение устройств регулирования напряжения в распределительных сетях при совместной работе резкопеременной и коммунально-бытовой нагрузки.

В связи с поставленной целью решаются следующие **задачи**:

1. Анализ методов и средств регулирования коэффициента трансформации силовых трансформаторов;
2. Анализ характерных режимов работы участка распределительной сети 35/10 кВ;
3. Применение системы автоматического регулирования напряжения для оптимизации уровней напряжения участка сети 35/10 кВ.

**Научная новизна.** Предложен метод оптимального регулирования напряжения в узле, содержащим нелинейную резкопеременную нагрузку и коммунально-бытовую нагрузку.

**Практическая значимость.** Представленная в работе модель позволяет решить проблему встречного регулирования напряжения в электроэнергетических сетях с нагрузкой разного характера.

**Апробация работы.** Основные результаты были представлены в 2022 году на XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный – 2022», в секции «Интеллектуальные энергетические системы в промышленности». Награжден сертификатом очного участия. Научная статья была опубликована в материалах XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный – 2022». Основные результаты также были представлены в 2023 году на XIX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный 2023», в секции «Интеллектуальные энергетические системы в промышленности». Награжден сертификатом заочного участия. Научная статья на тему «Управление коэффициентом трансформации силовых трансформаторов» была опубликована в Материалах XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный – 2023».

**Структура и объем работы.** Выпускная квалификационная работа по теме «Управление коэффициентом трансформации силовых трансформаторов» содержит 52 страницы текстового документа, 33 использованных источника, 11 рисунков, 15 таблиц, приложений нет.

## **1 Проблема встречного регулирования напряжения в распределительных сетях**

Проблема встречного регулирования напряжения в распределительных сетях заключается в разработке эффективных методов и алгоритмов, которые бы могли учитывать колебания в изменении величины нагрузки и поддерживать напряжение в заданных пределах. Это может включать в себя использование умных сетей, адаптивных алгоритмов регулирования, учет неопределенности и динамических изменений в распределительных сетях.

Вопросу встречного регулирования напряжения посвятили свои работы Ф.С. Непша, А.А. Шевченко, В.В. Дабаров, Д.С. Безбородов, Э.В. Кретов и др. [31, 32]

Одним из ключевых элементов в управлении напряжением в распределительных сетях является управление коэффициентом трансформации силовых трансформаторов.

Процесс управления коэффициентом трансформации не только способствует улучшению электроснабжения конечного потребителя, но и поддерживает стабильность энергосистемы. Это позволяет улучшить ход производственных процессов на предприятиях, включая сокращение производственных браков, улучшение качества продукции, обеспечение повышенной эффективности труда и оборудования, а также, в некоторых случаях, уменьшение потерь энергии. [6]

Вопросу регулирования коэффициентом трансформации всегда уделялось много внимания, поскольку эффективность этого процесса имеет важное практическое значение и оказывает прямое воздействие на все аспекты современного общества.

Задачи регулирования коэффициента трансформации всегда имели материальную основу в виде наличия у трансформаторов систем переключения без возбуждения (ПБВ) и регулирования под нагрузкой (РПН). Сегодня, когда энергетика уверенно идет по пути цифровизации, наука предлагает способы оптимизации и автоматизации данных процессов. [23, 24]

К наиболее значимым в решении этого вопроса относятся работы: Д.С. Трухина, М.М. Волошкина, В.В. Полищука, Д.А. Котова, А.О. Хилько, В.Р. Жандарова, Е.А. Елисеевой, С.С. Ананичева, В.А. Веникова, Б.Н. Абрамовича, А.П. Шевчука, Р.Р. Насырова, В.Н. Тульского и др. [6, 13, 22, 28, 29, 30]

Вопросами автоматизации, а также повышения энергетической эффективности электроэнергетических систем занимались Ф.С. Непша, Е.И. Жмак, А.С. Федюк, В.Э. Воротницкий, И.В. Жежеленко, Г.Г. Трофимов и др. [8, 18]

Интеллектуальная электроэнергетическая система с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС) – это энергосистема нового поколения, основанная на мультиагентном принципе управления ее функционированием и развитием. Для

осуществления реализации вышеупомянутой системы, могут успешно служить разработанные авторами структурно-функциональные схемы интеллектуального диагностического мониторинга динамических объектов энергосистемы, таких как силовые трансформаторы и их параметры, включая коэффициент трансформации. Разработка таких систем будет способствовать результативности принятия решений на основе данных непрерывного диагностического мониторинга электрической сети. Разработке систем регулирования напряжения посредством изменения коэффициента трансформации в активно-адаптивных сетях занимались Ю.А. Липатов, Д.С. Пономарев, Д.В. Федоров, С.С. Тазин, П.В. Глущенко, В.В. Дорофеев, А.А. Макаров и др. [21, 26, 27]

Наиболее эффективным техническим решением в распределительной электрической сети является автоматическая стабилизация рационального уровня напряжения с использованием микропроцессорной системы управления электроприводом РПН трансформатора. Различными авторами рассматривалась применение адаптивной системы управления, которая позволяет усовершенствовать существующие технические решения в данном вопросе. [25]

Системам автоматического регулирования коэффициента трансформации посвятили свои работы Д.Н. Нурбосынов, Т.В. Табачникова, А.В. Шарыгин, Д.А. Котов, А.О. Хилько и др. [16, 20]

## 2 Характеристика объекта исследования

Объектом исследования является участок сети Республики Хакасия, включающий в себя подстанцию «Аршаново» 35/10 кВ, подстанцию «Кирба» 35/10 кВ и подстанцию угольного разреза «Майрыхский» 35/10 кВ (рисунок 2.1)

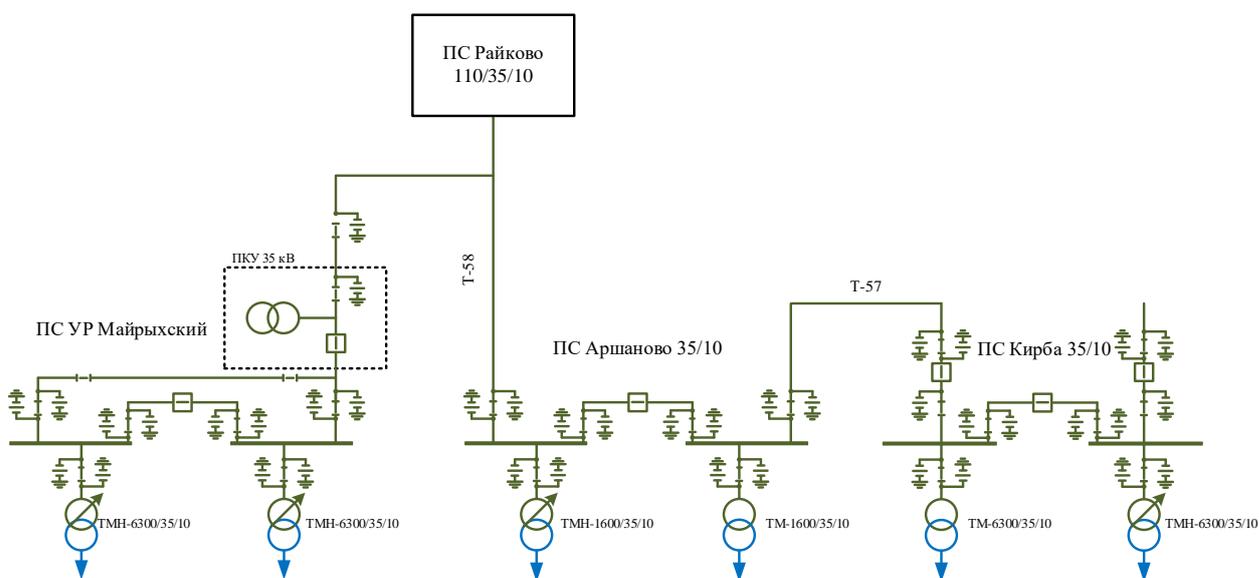


Рисунок 2.1 – Объект исследования

На подстанции «Аршаново» установлены 2 силовых трансформатора серии ТМН-1600/35/10 и ТМ-1600/35/10 соответственно. Питание подстанции осуществляется через ПС «Аршаново» по одноцепной линии Т-58.

На подстанции «Кирба» установлены 2 силовых трансформатора серии ТМ-6300/35/10 и ТМН-6300/35/10 соответственно. Питание подстанции осуществляется через ПС «Аршаново» по одноцепной линии Т-57 «Аршаново-Кирба», протяженностью 19,9 км. Подстанция Кирба по своему типу является тупиковой, т.к. питание осуществляется от одного источника питания. Достоинством такого типа подстанций высокая надежность в отношении энергосистемы – выход подстанции из строя никак не отражается на электросистеме, другие объекты по-прежнему получают питание. [9]

На подстанции угольного разреза «Майрыхский» установлено 2 силовых трансформатора серии ТМН-6300/35/10.

Питание узла энергосети осуществляется от ПС «Райково» 110/35/10 по одноцепным линиям Т-58 и Т-57.

Схема подстанций «Аршаново» и «Кирба» является типовой и имеет номер 5Н, название схемы – мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линии [3]. Такого типа схема может применяться на тупиковых, ответвительных и проходных подстанциях напряжением 35-220 кВ. На тупиковых подстанциях ремонтная перемычка и перемычка с выключателем нормально разомкнуты. Преимущество такой схемы заключается в том, что в случае аварии на одной из линий автоматически отключается выключатель со стороны поврежденной линии и включается выключатель в перемычке, оба трансформатора остаются в работе. Трансформаторы рассматриваемых подстанций оборудованы системами РПН и ПБВ. [11]

### **3 Анализ отклонений междуфазных напряжений**

С целью решения поставленных задач был проведен анализ отклонений междуфазных напряжений на конечной подстанции узла - ПС «Кирба». В ходе анализа были определены наиболее характерные изменения отклонения напряжений.

В ходе анализа рассмотрены результаты отклонения междуфазных напряжений. Согласно ГОСТ 32144-2013, предельно допустимое отклонение от нормативных значений междуфазных напряжений составляет  $\pm 10\%$ . [2]

Графики отклонений междуфазных напряжений на I СШ и II СШ представлены на рисунках 3.1 и 3.2 соответственно.

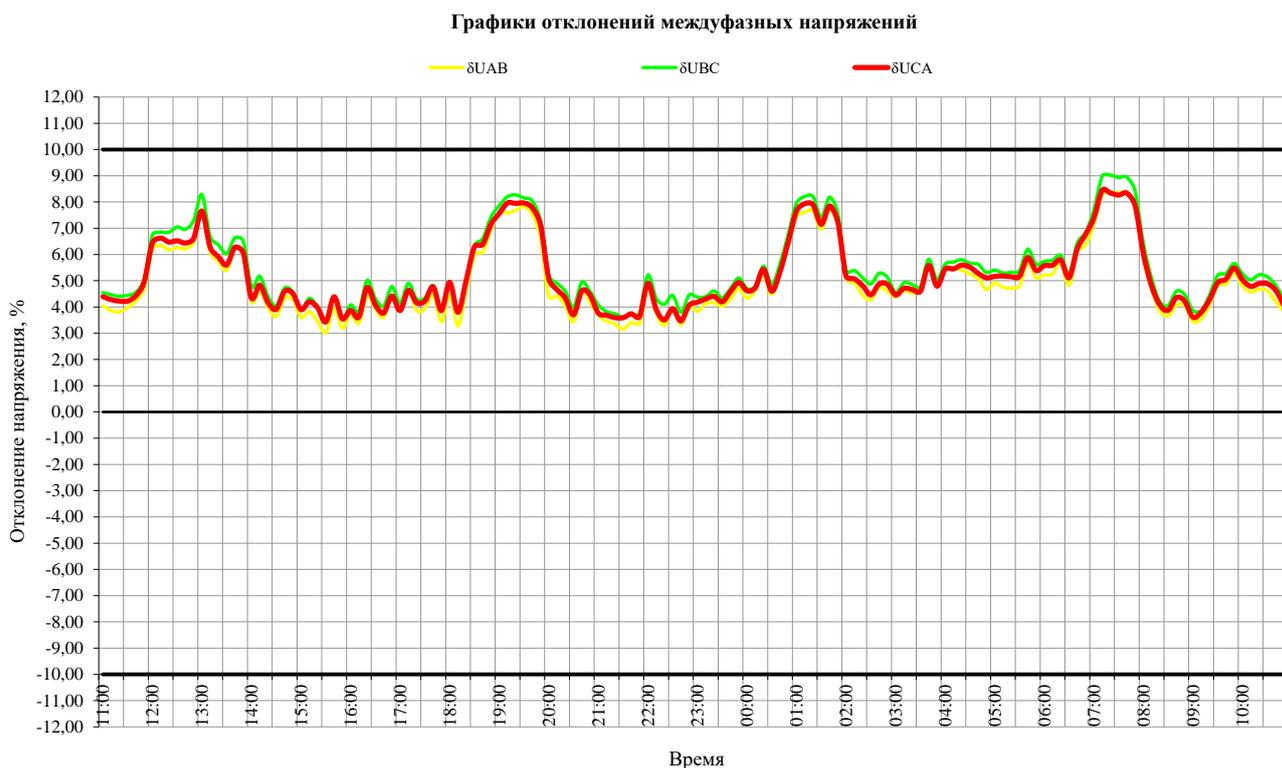


Рисунок 3.1 – График отклонений междуфазных напряжений на I СШ



Рисунок 3.2 – График отклонений междуфазных напряжений на II СШ

Из графиков, представленных на рисунках 2, 3 видно, что значение отклонения напряжений на шинах ПС «Кирба» имеет импульсный характер. В промежутки времени 11:30 – 14:00, 18:00 – 20:00, 00:30 – 02:00, 06:30 – 08:00 наблюдаются идентичные скачки кривой на обеих секциях шин. Если на I секции

шин отклонения не превышают допустимых значений (рассмотренные отклонения в большей мере не превышают нормально допустимых значений, однако такое изменение напряжения нежелательно для потребителей ПС «Кирба»), то на II секции шин напряжение превышает допустимые значения и достигает 11,5% в наиболее неблагоприятный момент.

Выявленные скачки напряжения на шинах ПС обусловлены технологическим простоем оборудования на ПС разреза «Майрыхский»: согласно рабочему графику предприятия в периоды 07:00 – 08:00 и 19:00-20:00 происходит пересменок рабочих бригад - дневной и ночной; в периоды 13:00 – 14:00 и 01:00 – 02:00 у работающих бригад обеденное время. На рисунке 3.3 представлен график потребляемой активной и реактивной мощностей угольным разрезом «Майрыхский».

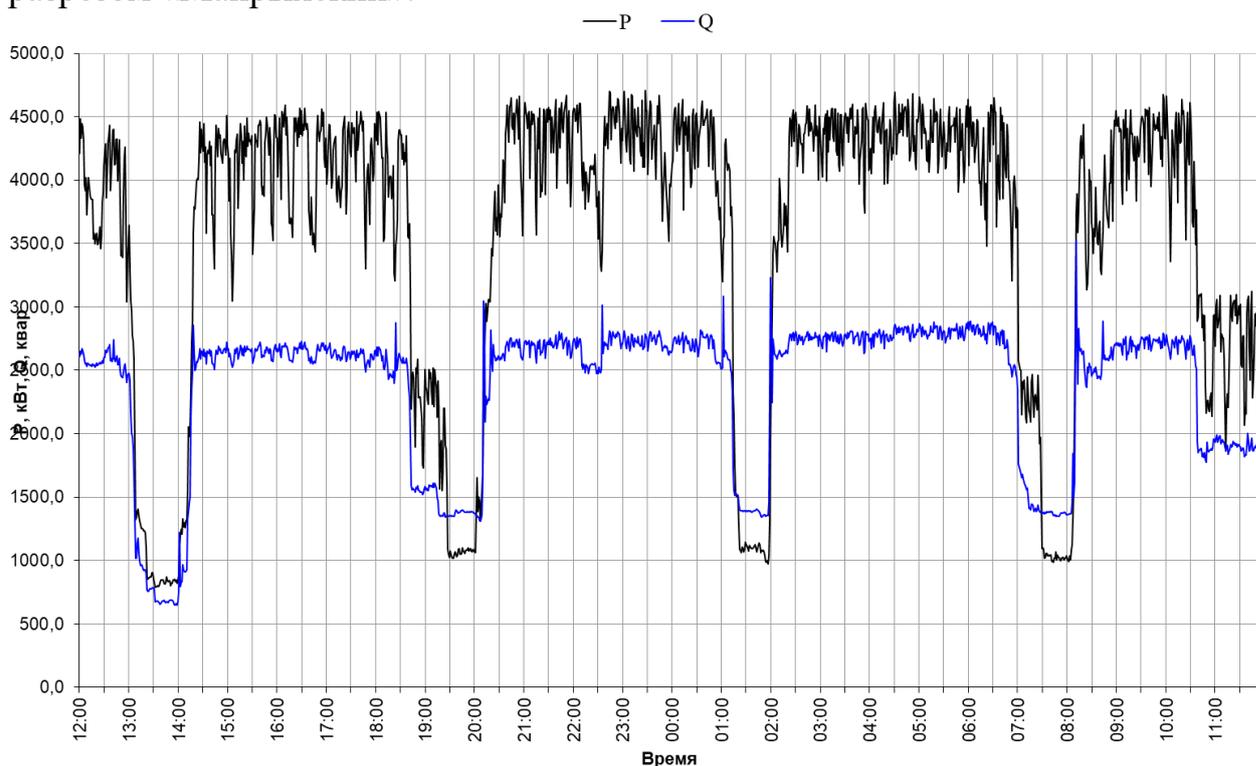


Рисунок 3.3 – График потребляемой мощности УР «Майрыхский»

Сопоставляя графики, представленные на рисунках 2 и 3, и график мощностей, наблюдаются аналогичные изменения кривых в такие же промежутки времени, что подтверждает гипотезу о том, что изменение потребляемой мощности влияет на напряжение в сети, а именно – при увеличении потребляемой нагрузки на УК, снижается напряжение на соседних подстанциях, и наоборот.

Резкое снижение потребляемой разрезом мощности провоцирует повышение напряжения в ЛЭП и в узлах конечных подстанций. Несмотря на повышенное напряжение на шинах ПС «Кирба», центром обслуживания клиентов филиала ПАО «Россети Сибирь» - «Хакасэнерго» регистрируются жалобы жителей с. Кирба на низкое напряжение. Данное расхождение требует поиска оптимальных правил регулирования напряжений в узлах участка сети. Задача может быть решена путем разработки имитационной модели

рассматриваемого узла энергосети, с использованием которой можно провести анализ режимов работы сети и разработку правил регулирования коэффициентов трансформации на подстанциях.

#### 4 Анализ характерных режимов

Для разработки мероприятий по регулированию КТ силовых трансформаторов и стабилизации напряжения у конечного потребителя с. Кирба, использовался программный комплекс RastrWin3.[4] В программе создается комплексная модель, которая позволяет оценить уровни напряжения во всех узлах одновременно. Модель узла энергосистемы, в состав которой входят ПС «Аршаново», ПС «Кирба», ПС разреза Майрыхский разрабатывается с целью оперативного и комплексного решения выявленных проблем, связанных с качеством электроэнергии.

В ходе анализа рассматриваются характерные режимы работы электрической сети – режим максимальных и режим минимальных нагрузок на ПС УР «Майрыхский». Целью анализа является выявление неблагоприятных случаев отклонения напряжения в узлах нагрузки ПС «Кирба» 35. Рассматриваются варианты улучшения напряжения в узлах нагрузки путем создания методики по регулированию КТ силовых трансформаторов.

С целью дальнейшей автоматизации процесса регулирования КТ трансформаторов, те трансформаторы, которые не оснащены системами РПН, были заменены на трансформаторы с аналогичной мощностью, оснащенные РПН. Характеристики систем РПН трансформаторов представлены в таблице 4.1. Информация, содержащаяся в данной таблице, является основополагающим источником информации для дальнейшего процесса регулирования коэффициента трансформации.

Таблица 4.1 – Характеристика устройств РПН трансформаторов

№ п.п.	Название	ЕИ	Тип	V <sub>нр</sub> , кВ	V <sub>рег</sub> , кВ	N <sub>анц</sub>	Шаг	N <sub>анц</sub>	Шаг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ТМН-6300/35	%	РПН	11	35	4	-1,5	4	1,5
2	ТМН-6300/35	%	РПН	11	35	4	-1,5	4	1,5
3	ТМН-6300/35	%	РПН	11	35	4	-1,5	4	1,5
4	ТМН-6300/35	%	РПН	11	35	4	-1,5	4	1,5
5	ТМН-1600/35	%	РПН	11	35	4	-1,5	4	1,5
6	ТМН-1600/35	%	РПН	11	35	4	-1,5	4	1,5

Моделируемые трансформаторы оборудованы системами РПН с характеристиками  $\pm 4 \times 1,5\%$ : 9 ступеней регулирования напряжения, 4 в сторону уменьшения, 4 в сторону увеличения. [14, 15]

## 4.1 Максимальный режим

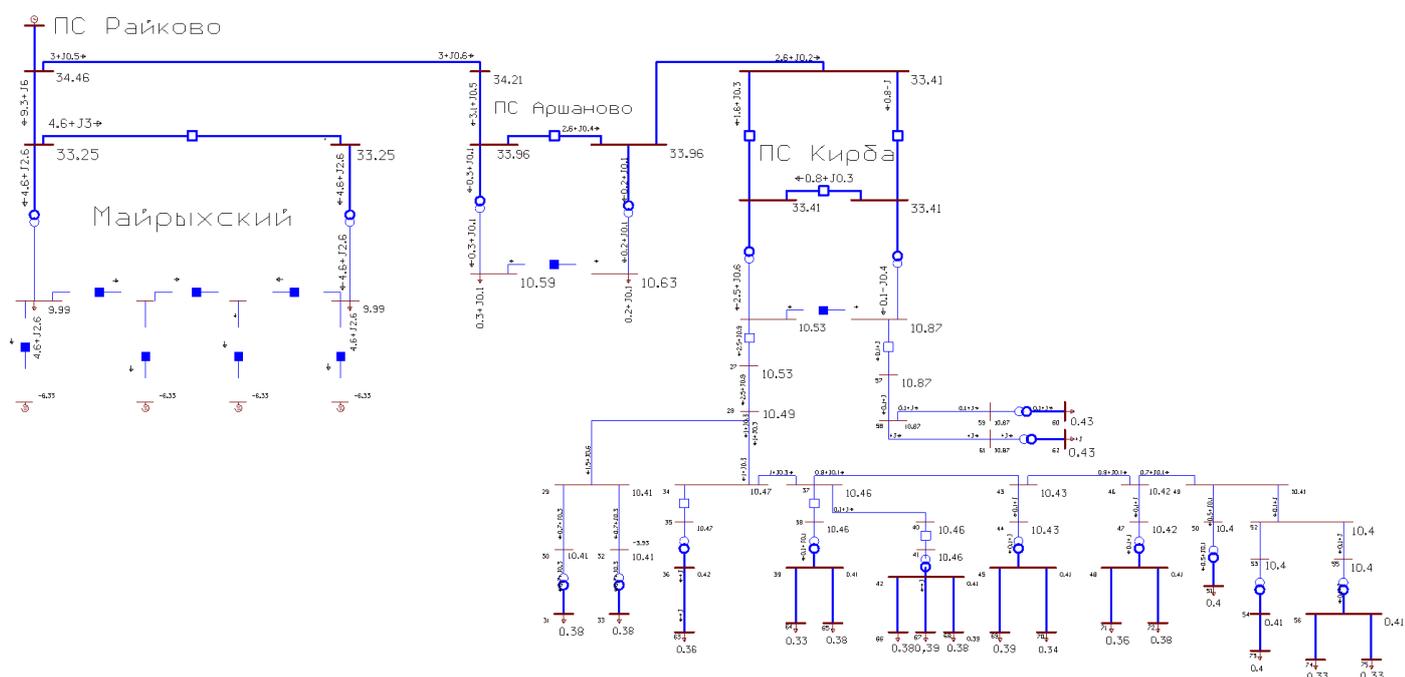


Рисунок 4.1 – Расчетная схема максимального режима

Таблица 4.2 – Расчетные значения узлов в максимальном режиме

Номер	Название узла	U <sub>ном</sub> , кВ	P <sub>н</sub> , МВт	Q <sub>н</sub> , МВАр	V, кВ
1	2	3	4	5	6
1	Ответвление от Т-58	36,7	0	0	34,46
2	ВН 4000	35	0	0	33,25
3	Нагрузка	10,5	4,6	2,6	9,99
4	ВН 6300	35	0	0	33,25
5	Нагрузка	11	4,6	2,6	9,99
6	Реактор	11	0	0	0,00
8	Секция на реактор 2	11	0	0	0,00
9	Реактор 2	11	0	0	0,00
10	Секция на реактор 3	11	0	0	0,00
11	Реактор 3	11	0	0	0,00
14	Реактор 4	11	0	0	0,00
16	Аршаново БАЗА	37	0	0	34,21
17	ВН тр-ра Аршаново	36,52	0	0	33,96
18	ВН тр-ра Аршаново	37	0	0	33,96
19	Нагрузка Аршаново 2	11	0,23	0,05	10,63
20	Нагрузка Аршаново 1	10,58	0,35	0,11	10,59
21	ПС Кирба БАЗА	37	0	0	33,41
22	ВН тр-ра Кирба	37	0	0	33,41
23	ВН тр-ра Кирба	37	0	0	33,41
24	НН ПС Кирба	10,58	0	0	10,53
25	Нагрузка Кирба 2	11	0	0	10,87
26	ПС Райково	35,93	0	0	35,93
27	НН Кирба	10	0	0	10,53

28	оп. 6	10	0	0	10,49
----	-------	----	---	---	-------

Окончание таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6
29	оп. 6-17	10	0	0	10,41
30	ВН 61-06-14	10	0	0	10,41
31	НН 61-06-14	0,4	0,7	0,2	0,38
32	ВН 61-06-02	10	0	0	10,41
33	НН 61-06-02	0,4	0,7	0,2	0,38
34	оп. 15	10	0	0	10,47
35	ВН 61-06-13	10	0	0	10,47
36	НН 61-06-13	0,4	0	0	0,42
37	оп. 19	10	0	0	10,46
38	ВН 61-06-04	10	0	0	10,46
39	НН 61-06-04	0,4	0	0	0,41
40	оп. 19-3	10	0	0	10,46
41	ВН 61-06-05	10	0	0	10,46
42	НН 61-06-05	0,4	0	0	0,41
43	оп. 34	10	0	0	10,43
44	ВН 61-06-08	10	0	0	10,43
45	НН 61-06-08	0,4	0	0	0,41
46	оп. 38	10	0	0	10,42
47	ВН 61-06-11	10	0	0	10,42
48	НН 61-06-11	0,4	0	0	0,41
49	оп. 38-8	10	0	0	10,41
50	ВН 61-06-10	10	0	0	10,40
51	НН 61-06-10	0,4	0,5	0,05	0,40
52	оп. 38-8-6	10	0	0	10,40
53	ВН 61-06-03	10	0	0	10,40
54	НН 61-06-03	0,4	0	0	0,41
55	ВН 61-06-12	10	0	0	10,40
56	НН 61-06-12	0,4	0	0	0,41
57	НН Кирба 2	10	0	0	10,87
58	оп. 8	10	0	0	10,87
59	ВН 61-05-03	10	0	0	10,87
60	НН 61-05-03	0,4	0,08	0,002	0,43
61	ВН 61-05-04	10	0	0	10,87
62	НН 61-05-04	0,4	0,04	0,03	0,43
63	Потребитель 61-05-13	0,4	0,03	0,01	0,36
64	1 Потребитель 61-05-04	0,4	0,02	0,05	0,33
65	2 Потребитель 61-05-04	0,4	0,02	0,05	0,38
66	1 Потребитель 61-05-05	0,4	0,025	0,005	0,38
67	2 Потребитель 61-05-05	0,4	0,025	0,005	0,38
68	3 Потребитель 61-05-05	0,4	0,025	0,005	0,39
69	1 Потребитель 61-05-08	0,4	0,034	0,007	0,39
70	2 Потребитель 61-05-08	0,4	0,034	0,007	0,34
71	1 Потребитель 61-05-11	0,4	0,05	0,008	0,36
72	2 Потребитель 61-05-11	0,4	0,05	0,005	0,38
73	1 Потребитель 61-05-03	0,4	0,03	0,003	0,40
74	1 Потребитель 61-05-12	0,4	0,03	0,005	0,33
75	2 Потребитель 61-05-12	0,4	0,06	0,005	0,33

Таблица 4.3 – Расчетные значения ветвей в максимальном режиме

N нач	N кон	Название	R	X	B	Кт/г	N анц	БД анц
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	Ответвление от Т-58 - ВН 4000	2,25	3,2	0,17	0	0	0
2	3	ВН 4000 - Нагрузка	1,4	14,6	0	0,314	5	1
2	4	ВН 4000 - ВН 6300	0	0	0	0	0	0
4	5	ВН 6300 - Нагрузка	1,4	14,6	0	0,314	5	2
3	6	Нагрузка - Реактор	0	0	0	0	0	0
3	8	Нагрузка - Секция на реактор 2	0	0	0	0	0	0
8	9	Секция на реактор 2 - Реактор 2	0	0	0	0	0	0
8	10	Секция на реактор 2 - Секция на реактор 3	0	0	0	0	0	0
10	11	Секция на реактор 3 - Реактор 3	0	0	0	0	0	0
5	10	Нагрузка - Секция на реактор 3	0	0	0	0	0	0
5	14	Нагрузка - Реактор 4	0	0	0	0	0	0
16	17	Аршаново БАЗА - ВН тр-ра Аршаново	2,25	3,2	0,17	0	0	0
17	18	ВН тр-ра Аршаново - ВН тр-ра Аршаново	0	0	0	0	0	0
18	19	ВН тр-ра Аршаново - Нагрузка Аршаново 2	8,6	49,8	0	0,314	5	6
17	20	ВН тр-ра Аршаново - Нагрузка Аршаново 1	8,6	49,8	0	0,314	5	5
20	19	Нагрузка Аршаново 1 - Нагрузка Аршаново 2	0	0	0	0	0	0
18	21	ВН тр-ра Аршаново - ПС Кирба БАЗА	6,21	8,81	0,52	0	0	0
21	22	ПС Кирба БАЗА - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
21	23	ПС Кирба БАЗА - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
22	23	ВН тр-ра Кирба - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
22	24	ВН тр-ра Кирба - НН ПС Кирба	1,4	14,6	0	0,319	6	3
23	25	ВН тр-ра Кирба - Нагрузка Кирба 2	1,4	14,6	0	0,324	7	4
24	25	НН ПС Кирба - Нагрузка Кирба 2	0	0	0	0	0	0
26	1	ПС Райково - Ответвление от Т-58	2,25	3,2	0,17	0	0	0
1	16	Ответвление от Т-58 - Аршаново БАЗА	2,25	3,2	0,17	0	0	0
24	27	НН ПС Кирба - НН Кирба	0	0	0	0	0	0
27	28	НН Кирба - оп. 6	0,149	0,121	0	0	0	0
28	29	оп. 6 - оп. 6-17	0,41	0,33	0	0	0	0
29	30	оп. 6-17 - ВН 61-06-14	0,043	0,035	0	0	0	0
29	32	оп. 6-17 - ВН 61-06-02	0,044	0,035	0	0	0	0
30	31	ВН 61-06-14 - НН 61-06-14	5,92	17	0	0,04	0	0
32	33	ВН 61-06-02 - НН 61-06-02	5,92	17	0	0,04	0	0
28	34	оп. 6 - оп. 15	0,165	0,133	0	0	0	0
34	35	оп. 15 - ВН 61-06-13	0	0	0	0	0	0
35	36	ВН 61-06-13 - НН 61-06-13	10,4	26,2	0	0,04	0	0
34	37	оп. 15 - оп. 19	0,081	0,065	0	0	0	0
37	38	оп. 19 - ВН 61-06-04	0	0	0	0	0	0
38	39	ВН 61-06-04 - НН 61-06-04	10,4	26,2	0	0,04	0	0
37	40	оп. 19 - оп. 19-3	0,050	0,04	0	0	0	0
40	41	оп. 19-3 - ВН 61-06-05	0	0	0	0	0	0

41	42	ВН 61-06-05 - НН 61-06-05	10,4	26,2	0	0,04	0	0
----	----	---------------------------	------	------	---	------	---	---

### Окончание таблицы 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
37	43	оп. 19 - оп. 34	0,357	0,289	0	0	0	0
43	44	оп. 34 - ВН 61-06-08	0,042	0,034	0	0	0	0
44	45	ВН 61-06-08 - НН 61-06-08	5,92	17	0	0,04	0	0
43	46	оп. 34 - оп. 38	0,098	0,079	0	0	0	0
46	47	оп. 38 - ВН 61-06-11	0,252	0,204	0	0	0	0
47	48	ВН 61-06-11 - НН 61-06-11	3,44	10,7	0	0,04	0	0
46	49	оп. 38 - оп. 38-8	0,176	0,142	0	0	0	0
49	50	оп. 38-8 - ВН 61-06-10	0,042	0,034	0	0	0	0
50	51	ВН 61-06-10 - НН 61-06-10	5,92	17	0	0,04	0	0
49	52	оп. 38-8 - оп. 38-8-6	0,046	0,037	0	0	0	0
52	53	оп. 38-8-6 - ВН 61-06-03	0,151	0,122	0	0	0	0
53	54	ВН 61-06-03 - НН 61-06-03	10,4	26,2	0	0,04	0	0
52	55	оп. 38-8-6 - ВН 61-06-12	0,126	0,102	0	0	0	0
55	56	ВН 61-06-12 - НН 61-06-12	5,92	17	0	0,04	0	0
25	57	Нагрузка Кирба 2 - НН Кирба 2	0	0	0	0	0	0
57	58	НН Кирба 2 - оп. 8	0,168	0,136	0	0	0	0
58	59	оп. 8 - ВН 61-05-03	0,021	0,017	0	0	0	0
59	60	ВН 61-05-03 - НН 61-05-03	19,7	40,7	0	0,04	0	0
58	61	оп. 8 - ВН 61-05-04	0,21	0,17	0	0	0	0
61	62	ВН 61-05-04 - НН 61-05-04	3,44	10,7	0	0,04	0	0
36	63	НН 61-06-13 - Потребитель 61-05-13	0,605	0,326	0	0	0	0
39	64	НН 61-06-04 - 1 Потребитель 61-05-04	0,531	0,286	0	0	0	0
39	65	НН 61-06-04 - 2 Потребитель 61-05-04	0,226	0,121	0	0	0	0
42	66	НН 61-06-05 - 1 Потребитель 61-05-05	0,417	0,225	0	0	0	0
42	67	НН 61-06-05 - 2 Потребитель 61-05-05	0,524	0,282	0	0	0	0
42	68	НН 61-06-05 - 3 Потребитель 61-05-05	0,277	0,149	0	0	0	0
45	69	НН 61-06-08 - 1 Потребитель 61-05-08	0,285	0,153	0	0	0	0
45	70	НН 61-06-08 - 2 Потребитель 61-05-08	0,682	0,367	0	0	0	0
48	71	НН 61-06-11 - 1 Потребитель 61-05-11	0,399	0,214	0	0	0	0
48	72	НН 61-06-11 - 2 Потребитель 61-05-11	0,254	0,136	0	0	0	0
54	73	НН 61-06-03 - 1 Потребитель 61-05-03	0,159	0,085	0	0	0	0
56	74	НН 61-06-12 - 1 Потребитель 61-05-12	0,882	0,475	0	0	0	0
56	75	НН 61-06-12 - 2 Потребитель 61-05-12	0,441	0,237	0	0	0	0

В данном режиме рассматривается режим максимальных нагрузок на УР «Майрыхский». Из таблицы 4.3 видно, что положение отпаяк регулировочных

устройств трансформаторов ПС «Кирба» не обеспечивает должного уровня напряжения в узлах нагрузки потребителей I СШ.

Так у потребителей, запитанных от самой удаленной от ПС ТП 61-06-12 напряжение составляет 0,33 кВ, что составляет меньше нормативного значения в 0,38 кВ на 13%. Данное значение напряжения недопустимо, требуется регулировка коэффициента трансформации путем регулирования отпаек устройств РПН. У потребителей, запитанных от II СШ, питающихся от ТП 61-05-03 и ТП 61-05-04 регистрируется повышенное напряжение в 0,43 кВ, также требуется регулировка отпаек.

## 4.2 Минимальный режим

На рисунке 4.2 представлена модель рассматриваемого режима

В таблицах 4.4 и 4.5 указаны расчетные параметры узлов и ветвей электрической системы соответственно.

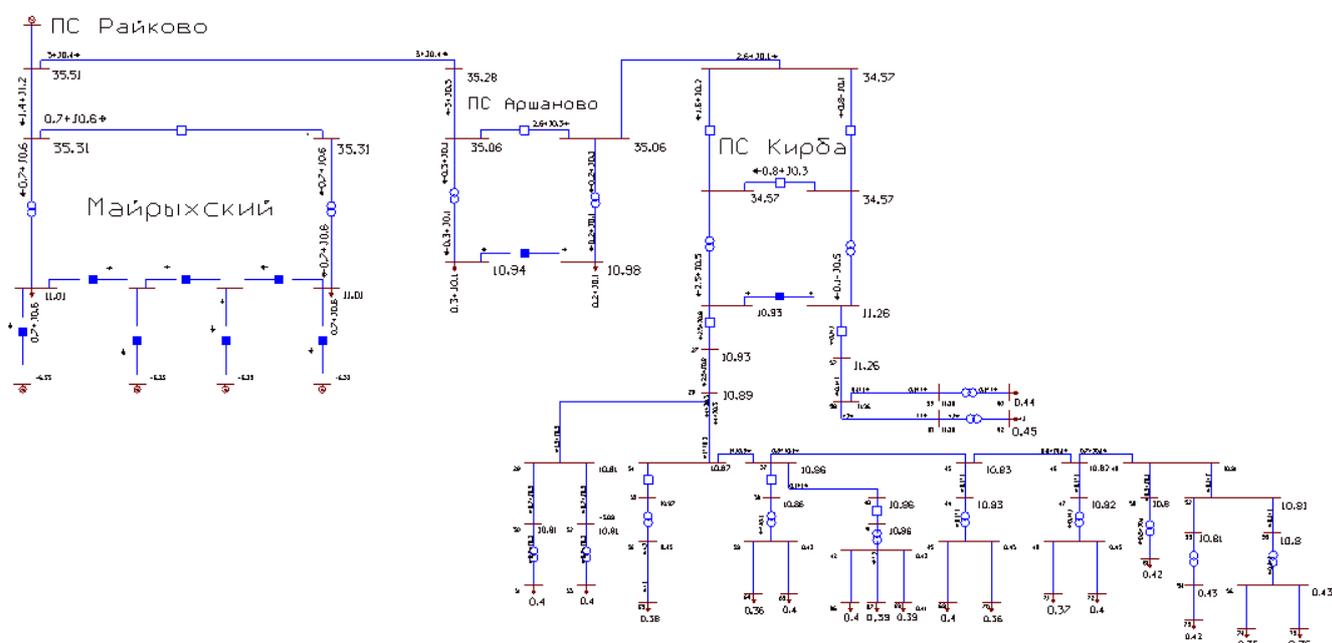


Рисунок 4.2 – Расчетная схема минимального режима

Таблица 4.4 – Расчетные значения узлов в минимальном режиме

Номер	Название узла	U <sub>ном</sub> , кВ	P <sub>н</sub> , МВт	Q <sub>н</sub> , МВАр	V, кВ
1	2	3	4	5	6
1	Ответвление от Т-58	36,70	0,00	0,00	35,51
2	ВН 4000	35,00	0,00	0,00	35,31
3	Нагрузка	10,50	0,70	0,60	11,01
4	ВН 6300	35,00	0,00	0,00	35,31
5	Нагрузка	11,00	0,70	0,60	11,01
6	Реактор	11,00	0,00	0,00	0,00
8	Секция на реактор 2	11,00	0,00	0,00	0,00
9	Реактор 2	11,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6
10	Секция на реактор 3	11,00	0,00	0,00	0,00
11	Реактор 3	11,00	0,00	0,00	0,00
14	Реактор 4	11,00	0,00	0,00	0,00
16	Аршаново БАЗА	37,00	0,00	0,00	35,28
17	ВН тр-ра Аршаново	36,52	0,00	0,00	35,06
18	ВН тр-ра Аршаново	37,00	0,00	0,00	35,06
19	Нагрузка Аршаново 2	11,00	0,23	0,05	10,98
20	Нагрузка Аршаново 1	10,58	0,35	0,11	10,94
21	ПС Кирба БАЗА	37,00	0,00	0,00	34,57
22	ВН тр-ра Кирба	37,00	0,00	0,00	34,57
23	ВН тр-ра Кирба	37,00	0,00	0,00	34,57
24	НН ПС Кирба	10,58	0,00	0,00	10,93
25	Нагрузка Кирба 2	11,00	0,00	0,00	11,26
26	ПС Райково	35,93	0,00	0,00	35,93
27	НН Кирба	10,00	0,00	0,00	10,93
28	оп. 6	10,00	0,00	0,00	10,89
29	оп. 6-17	10,00	0,00	0,00	10,81
30	ВН 61-06-14	10,00	0,00	0,00	10,81
31	НН 61-06-14	0,40	0,70	0,20	0,40
32	ВН 61-06-02	10,00	0,00	0,00	10,81
33	НН 61-06-02	0,40	0,70	0,20	0,40
34	оп. 15	10,00	0,00	0,00	10,87
35	ВН 61-06-13	10,00	0,00	0,00	10,87
36	НН 61-06-13	0,40	0,00	0,00	0,43
37	оп. 19	10,00	0,00	0,00	10,86
38	ВН 61-06-04	10,00	0,00	0,00	10,86
39	НН 61-06-04	0,40	0,00	0,00	0,42
40	оп. 19-3	10,00	0,00	0,00	10,86
41	ВН 61-06-05	10,00	0,00	0,00	10,86
42	НН 61-06-05	0,40	0,00	0,00	0,43
43	оп. 34	10,00	0,00	0,00	10,83
44	ВН 61-06-08	10,00	0,00	0,00	10,83
45	НН 61-06-08	0,40	0,00	0,00	0,43
46	оп. 38	10,00	0,00	0,00	10,82
47	ВН 61-06-11	10,00	0,00	0,00	10,82
48	НН 61-06-11	0,40	0,00	0,00	0,43
49	оп. 38-8	10,00	0,00	0,00	10,81
50	ВН 61-06-10	10,00	0,00	0,00	10,80
51	НН 61-06-10	0,40	0,50	0,05	0,42
52	оп. 38-8-6	10,00	0,00	0,00	10,81
53	ВН 61-06-03	10,00	0,00	0,00	10,81
54	НН 61-06-03	0,40	0,00	0,00	0,43
55	ВН 61-06-12	10,00	0,00	0,00	10,80
56	НН 61-06-12	0,40	0,00	0,00	0,43
57	НН Кирба 2	10,00	0,00	0,00	11,26
58	оп. 8	10,00	0,00	0,00	11,26
59	ВН 61-05-03	10,00	0,00	0,00	11,26
60	НН 61-05-03	0,40	0,08	0,00	0,44
61	ВН 61-05-04	10,00	0,00	0,00	11,26
62	НН 61-05-04	0,40	0,04	0,03	0,45
63	Потребитель 61-05-13	0,40	0,03	0,01	0,38

Окончание таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6
64	1 Потребитель 61-05-04	0,40	0,02	0,05	0,36
65	2 Потребитель 61-05-04	0,40	0,02	0,05	0,40
66	1 Потребитель 61-05-05	0,40	0,03	0,01	0,40
67	2 Потребитель 61-05-05	0,40	0,03	0,01	0,39
68	3 Потребитель 61-05-05	0,40	0,03	0,01	0,41
69	1 Потребитель 61-05-08	0,40	0,03	0,01	0,40
70	2 Потребитель 61-05-08	0,40	0,03	0,01	0,36
71	1 Потребитель 61-05-11	0,40	0,05	0,01	0,37
72	2 Потребитель 61-05-11	0,40	0,05	0,01	0,40
73	1 Потребитель 61-05-03	0,40	0,03	0,00	0,42
74	1 Потребитель 61-05-12	0,40	0,03	0,01	0,35
75	2 Потребитель 61-05-12	0,40	0,06	0,01	0,36

Таблица 4.5 – Расчетные значения ветвей в минимальном режиме

N нач	N кон	Название	R	X	B	Кт/г	N анц	БД анц
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	Ответвление от Т-58 - ВН 4000	2,25	3,2	0,17	0	0	0
2	3	ВН 4000 - Нагрузка	1,4	14,6	0	0,314	5	1
2	4	ВН 4000 - ВН 6300	0	0	0	0	0	0
4	5	ВН 6300 - Нагрузка	1,4	14,6	0	0,314	5	2
3	6	Нагрузка - Реактор	0	0	0	0	0	0
3	8	Нагрузка - Секция на реактор 2	0	0	0	0	0	0
8	9	Секция на реактор 2 - Реактор 2	0	0	0	0	0	0
8	10	Секция на реактор 2 - Секция на реактор 3	0	0	0	0	0	0
10	11	Секция на реактор 3 - Реактор 3	0	0	0	0	0	0
5	10	Нагрузка - Секция на реактор 3	0	0	0	0	0	0
5	14	Нагрузка - Реактор 4	0	0	0	0	0	0
16	17	Аршаново БАЗА - ВН тр-ра Аршаново	2,25	3,2	0,17	0	0	0
17	18	ВН тр-ра Аршаново - ВН тр-ра Аршаново	0	0	0	0	0	0
18	19	ВН тр-ра Аршаново - Нагрузка Аршаново 2	8,6	49,8	0	0,314	5	6
17	20	ВН тр-ра Аршаново - Нагрузка Аршаново 1	8,6	49,8	0	0,314	5	5
20	19	Нагрузка Аршаново 1 - Нагрузка Аршаново 2	0	0	0	0	0	0
18	21	ВН тр-ра Аршаново - ПС Кирба БАЗА	6,21	8,81	0,52	0	0	0
21	22	ПС Кирба БАЗА - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
21	23	ПС Кирба БАЗА - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
22	23	ВН тр-ра Кирба - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
22	24	ВН тр-ра Кирба - НН ПС Кирба	1,4	14,6	0	0,319	6	3
23	25	ВН тр-ра Кирба - Нагрузка Кирба 2	1,4	14,6	0	0,324	7	4
24	25	НН ПС Кирба - Нагрузка Кирба 2	0	0	0	0	0	0
26	1	ПС Райково - Ответвление от Т-58	2,25	3,2	0,17	0	0	0

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	16	Ответвление от Т-58 - Аршаново БАЗА	2,25	3,2	0,17	0	0	0
24	27	НН ПС Кирба - НН Кирба	0	0	0	0	0	0
27	28	НН Кирба - оп. 6	0,149	0,121	0	0	0	0
28	29	оп. 6 - оп. 6-17	0,41	0,33	0	0	0	0
29	30	оп. 6-17 - ВН 61-06-14	0,043	0,035	0	0	0	0
29	32	оп. 6-17 - ВН 61-06-02	0,044	0,035	0	0	0	0
30	31	ВН 61-06-14 - НН 61-06-14	5,92	17	0	0,04	0	0
32	33	ВН 61-06-02 - НН 61-06-02	5,92	17	0	0,04	0	0
28	34	оп. 6 - оп. 15	0,165	0,133	0	0	0	0
34	35	оп. 15 - ВН 61-06-13	0	0	0	0	0	0
35	36	ВН 61-06-13 - НН 61-06-13	10,4	26,2	0	0,04	0	0
34	37	оп. 15 - оп. 19	0,081	0,065	0	0	0	0
37	38	оп. 19 - ВН 61-06-04	0	0	0	0	0	0
38	39	ВН 61-06-04 - НН 61-06-04	10,4	26,2	0	0,04	0	0
37	40	оп. 19 - оп. 19-3	0,050	0,040	0	0	0	0
40	41	оп. 19-3 - ВН 61-06-05	0	0	0	0	0	0
41	42	ВН 61-06-05 - НН 61-06-05	10,4	26,2	0	0,04	0	0
37	43	оп. 19 - оп. 34	0,357	0,289	0	0	0	0
43	44	оп. 34 - ВН 61-06-08	0,042	0,034	0	0	0	0
44	45	ВН 61-06-08 - НН 61-06-08	5,92	17	0	0,04	0	0
43	46	оп. 34 - оп. 38	0,098	0,079	0	0	0	0
46	47	оп. 38 - ВН 61-06-11	0,252	0,204	0	0	0	0
47	48	ВН 61-06-11 - НН 61-06-11	3,44	10,7	0	0,04	0	0
46	49	оп. 38 - оп. 38-8	0,176	0,142	0	0	0	0
49	50	оп. 38-8 - ВН 61-06-10	0,042	0,034	0	0	0	0
50	51	ВН 61-06-10 - НН 61-06-10	5,92	17	0	0,04	0	0
49	52	оп. 38-8 - оп. 38-8-6	0,046	0,037	0	0	0	0
52	53	оп. 38-8-6 - ВН 61-06-03	0,151	0,122	0	0	0	0
53	54	ВН 61-06-03 - НН 61-06-03	10,4	26,2	0	0,04	0	0
52	55	оп. 38-8-6 - ВН 61-06-12	0,126	0,102	0	0	0	0
55	56	ВН 61-06-12 - НН 61-06-12	5,92	17	0	0,04	0	0
25	57	Нагрузка Кирба 2 - НН Кирба 2	0	0	0	0	0	0
57	58	НН Кирба 2 - оп. 8	0,168	0,136	0	0	0	0
58	59	оп. 8 - ВН 61-05-03	0,021	0,017	0	0	0	0
59	60	ВН 61-05-03 - НН 61-05-03	19,7	40,7	0	0,04	0	0
58	61	оп. 8 - ВН 61-05-04	0,21	0,17	0	0	0	0
61	62	ВН 61-05-04 - НН 61-05-04	3,44	10,7	0	0,04	0	0
36	63	НН 61-06-13 - Потребитель 61-05-13	0,605	0,326	0	0	0	0
39	64	НН 61-06-04 - 1 Потребитель 61-05-04	0,531	0,286	0	0	0	0
39	65	НН 61-06-04 - 2 Потребитель 61-05-04	0,226	0,121	0	0	0	0
42	66	НН 61-06-05 - 1 Потребитель 61-05-05	0,417	0,225	0	0	0	0
42	67	НН 61-06-05 - 2 Потребитель 61-05-05	0,524	0,282	0	0	0	0
42	68	НН 61-06-05 - 3 Потребитель 61-05-05	0,277	0,149	0	0	0	0

#### Окончание таблицы 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	69	НН 61-06-08 - 1 Потребитель 61-05-08	0,285	0,153	0	0	0	0
45	70	НН 61-06-08 - 2 Потребитель 61-05-08	0,682	0,367	0	0	0	0
48	71	НН 61-06-11 - 1 Потребитель 61-05-11	0,399	0,214	0	0	0	0
48	72	НН 61-06-11 - 2 Потребитель 61-05-11	0,254	0,136	0	0	0	0
54	73	НН 61-06-03 - 1 Потребитель 61-05-03	0,159	0,085	0	0	0	0
56	74	НН 61-06-12 - 1 Потребитель 61-05-12	0,882	0,475	0	0	0	0
56	75	НН 61-06-12 - 2 Потребитель 61-05-12	0,441	0,237	0	0	0	0

В периоды времени, когда технологический процесс на УК «Майрыхский» останавливается, регистрируется повышенное напряжение на II СШ ПС «Кирба» - 11,26 кВ, что превышает нормативные значения на 12,6%, а значит и высокое напряжение у потребителей ТП 61-05-03 и ТП 61-05-04, которое составляет 0,44 и 0,45 кВ соответственно.

В то время, когда напряжение у потребителей II СШ ПС «Кирба» завышено, у потребителей I СШ напряжение принимает значения, близкие к номинальным (0,36 – 0,4 кВ), тогда как на секции шин напряжение составляет 10,93 кВ.

## 5 Регулирование коэффициента трансформации

### 5.1 Максимальный режим с регулированием отпаек РПН

Моделирование максимальных и минимальных режимов показывает, что выбранные положения отпаек на ПС «Кирба» не обеспечивают нормальные уровни напряжения в узлах нагрузки конечных потребителей электроэнергии, что говорит о необходимости регулирования отпаек в периоды изменения потребляемой нагрузки УР «Майрыхский».

С целью нормализации напряжения в узлах нагрузки потребителей ПС «Кирба» в периоды изменения нагрузки на УК «Майрыхский», требуется принимать меры по регулированию коэффициента трансформации силовых трансформаторов путем регулирования отпаек трансформаторов, т.е. осуществлять встречное регулирование напряжения. Схема рассматриваемого режима представлена на рисунке 5.1

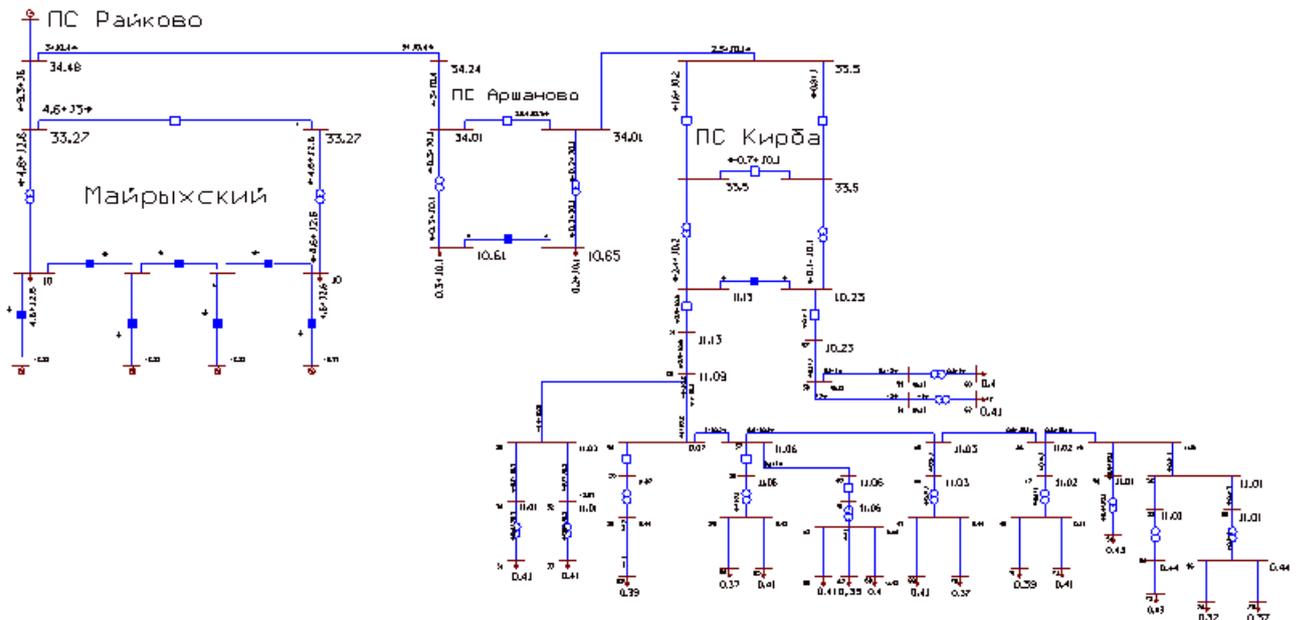


Рисунок 5.1 – Расчетная схема максимального режима с регулировкой коэффициента трансформации

Таблица 5.1 – Расчетные значения узлов с регулированием отпаяк

Номер	Название узла	U <sub>ном</sub> , кВ	P <sub>н</sub> , МВт	Q <sub>н</sub> , МВАр	V, кВ
1	2	3	4	5	6
1	Ответвление от Т-58	36,7	0	0	34,48
2	ВН 4000	35	0	0	33,27
3	Нагрузка	10,5	4,6	2,6	10,00
4	ВН 6300	35	0	0	33,27
5	Нагрузка	11	4,6	2,6	10,00
6	Реактор	11	0	0	0,00
8	Секция на реактор 2	11	0	0	0,00
9	Реактор 2	11	0	0	0,00
10	Секция на реактор 3	11	0	0	0,00
11	Реактор 3	11	0	0	0,00
14	Реактор 4	11	0	0	0,00
16	Аршаново БАЗА	37	0	0	34,24
17	ВН тр-ра Аршаново	36,52	0	0	34,01
18	ВН тр-ра Аршаново	37	0	0	34,01
19	Нагрузка Аршаново 2	11	0,23	0,05	10,65
20	Нагрузка Аршаново 1	10,58	0,35	0,11	10,61
21	ПС Кирба БАЗА	37	0	0	33,50
22	ВН тр-ра Кирба	37	0	0	33,50
23	ВН тр-ра Кирба	37	0	0	33,50
24	НН ПС Кирба	10,58	0	0	11,13
25	Нагрузка Кирба 2	11	0	0	10,23
26	ПС Райково	35,93	0	0	35,93
27	НН Кирба	10	0	0	11,13

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6
28	оп. 6	10	0	0	11,09
29	оп. 6-17	10	0	0	11,02
30	ВН 61-06-14	10	0	0	11,01
31	НН 61-06-14	0,4	0,7	0,2	0,41
32	ВН 61-06-02	10	0	0	11,01
33	НН 61-06-02	0,4	0,7	0,2	0,41
34	оп. 15	10	0	0	11,07
35	ВН 61-06-13	10	0	0	11,07
36	НН 61-06-13	0,4	0	0	0,44
37	оп. 19	10	0	0	11,06
38	ВН 61-06-04	10	0	0	11,06
39	НН 61-06-04	0,4	0	0	0,43
40	оп. 19-3	10	0	0	11,06
41	ВН 61-06-05	10	0	0	11,06
42	НН 61-06-05	0,4	0	0	0,44
43	оп. 34	10	0	0	11,03
44	ВН 61-06-08	10	0	0	11,03
45	НН 61-06-08	0,4	0	0	0,44
46	оп. 38	10	0	0	11,02
47	ВН 61-06-11	10	0	0	11,02
48	НН 61-06-11	0,4	0	0	0,44
49	оп. 38-8	10	0	0	11,01
50	ВН 61-06-10	10	0	0	11,01
51	НН 61-06-10	0,4	0,5	0,05	0,43
52	оп. 38-8-6	10	0	0	11,01
53	ВН 61-06-03	10	0	0	11,01
54	НН 61-06-03	0,4	0	0	0,44
55	ВН 61-06-12	10	0	0	11,01
56	НН 61-06-12	0,4	0	0	0,44
57	НН Кирба 2	10	0	0	10,23
58	оп. 8	10	0	0	10,23
59	ВН 61-05-03	10	0	0	10,23
60	НН 61-05-03	0,4	0,08	0,002	0,40
61	ВН 61-05-04	10	0	0	10,23
62	НН 61-05-04	0,4	0,04	0,03	0,41
63	Потребитель 61-05-13	0,4	0,03	0,01	0,39
64	1 Потребитель 61-05-04	0,4	0,02	0,05	0,37
65	2 Потребитель 61-05-04	0,4	0,02	0,05	0,41
66	1 Потребитель 61-05-05	0,4	0,025	0,005	0,41
67	2 Потребитель 61-05-05	0,4	0,025	0,005	0,40
68	3 Потребитель 61-05-05	0,4	0,025	0,005	0,42
69	1 Потребитель 61-05-08	0,4	0,034	0,007	0,41
70	2 Потребитель 61-05-08	0,4	0,034	0,007	0,37

Окончание таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6
71	1 Потребитель 61-05-11	0,4	0,05	0,008	0,39
72	2 Потребитель 61-05-11	0,4	0,05	0,005	0,41
73	1 Потребитель 61-05-03	0,4	0,03	0,003	0,43
74	1 Потребитель 61-05-12	0,4	0,03	0,005	0,37
75	2 Потребитель 61-05-12	0,4	0,06	0,005	0,37

Таблица 5.2 – Расчетные значения ветвей при регулировании отпаяк

N_на ч	N_ко н	Название	R	X	B	Кт/г	N_ан ц	БД_а нц
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	Ответвление от Т-58 - ВН 4000	2,25	3,2	0,17	0	0	0
2	3	ВН 4000 - Нагрузка	1,4	14,6	0	0,314	5	1
2	4	ВН 4000 - ВН 6300	0	0	0	0	0	0
4	5	ВН 6300 - Нагрузка	1,4	14,6	0	0,314	5	2
3	6	Нагрузка - Реактор	0	0	0	0	0	0
3	8	Нагрузка - Секция на реактор 2	0	0	0	0	0	0
8	9	Секция на реактор 2 - Реактор 2	0	0	0	0	0	0
8	10	Секция на реактор 2 - Секция на реактор 3	0	0	0	0	0	0
10	11	Секция на реактор 3 - Реактор 3	0	0	0	0	0	0
5	10	Нагрузка - Секция на реактор 3	0	0	0	0	0	0
5	14	Нагрузка - Реактор 4	0	0	0	0	0	0
16	17	Аршаново БАЗА - ВН тр-ра Аршаново	2,25	3,2	0,17	0	0	0
17	18	ВН тр-ра Аршаново - ВН тр-ра Аршаново	0	0	0	0	0	0
18	19	ВН тр-ра Аршаново - Нагрузка Аршаново 2	8,6	49,8	0	0,314	5	6
17	20	ВН тр-ра Аршаново - Нагрузка Аршаново 1	8,6	49,8	0	0,314	5	5
20	19	Нагрузка Аршаново 1 - Нагрузка Аршаново 2	0	0	0	0	0	0
18	21	ВН тр-ра Аршаново - ПС Кирба БАЗА	6,21	8,81	0,52	0	0	0
21	22	ПС Кирба БАЗА - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
21	23	ПС Кирба БАЗА - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
22	23	ВН тр-ра Кирба - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
22	24	ВН тр-ра Кирба - НН ПС Кирба	1,4	14,6	0	0,334	9	3
23	25	ВН тр-ра Кирба - Нагрузка Кирба 2	1,4	14,6	0	0,305	3	4
24	25	НН ПС Кирба - Нагрузка Кирба 2	0	0	0	0	0	0
26	1	ПС Райково - Ответвление от Т-58	2,25	3,2	0,17	0	0	0
1	16	Ответвление от Т-58 - Аршаново БАЗА	2,25	3,2	0,17	0	0	0

## Окончание таблицы 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24	27	НН ПС Кирба - НН Кирба	0	0	0	0	0	0
27	28	НН Кирба - оп. 6	0,149	0,121	0	0	0	0
28	29	оп. 6 - оп. 6-17	0,41	0,33	0	0	0	0
29	30	оп. 6-17 - ВН 61-06-14	0,043 68	0,035 36	0	0	0	0
29	32	оп. 6-17 - ВН 61-06-02	0,044 1	0,035 7	0	0	0	0
30	31	ВН 61-06-14 - НН 61-06-14	5,92	17	0	0,04	0	0
32	33	ВН 61-06-02 - НН 61-06-02	5,92	17	0	0,04	0	0
28	34	оп. 6 - оп. 15	0,165	0,13	0	0	0	0
34	35	оп. 15 - ВН 61-06-13	0	0	0	0	0	0
35	36	ВН 61-06-13 - НН 61-06-13	10,4	26,2	0	0,04	0	0
34	37	оп. 15 - оп. 19	0,081	0,065	0	0	0	0
37	38	оп. 19 - ВН 61-06-04	0	0	0	0	0	0
38	39	ВН 61-06-04 - НН 61-06-04	10,4	26,2	0	0,04	0	0
37	40	оп. 19 - оп. 19-3	0,050	0,040	0	0	0	0
40	41	оп. 19-3 - ВН 61-06-05	0	0	0	0	0	0
41	42	ВН 61-06-05 - НН 61-06-05	10,4	26,2	0	0,04	0	0
37	43	оп. 19 - оп. 34	0,357	0,289	0	0	0	0
43	44	оп. 34 - ВН 61-06-08	0,042	0,034	0	0	0	0
44	45	ВН 61-06-08 - НН 61-06-08	5,92	17	0	0,04	0	0
43	46	оп. 34 - оп. 38	0,098	0,079	0	0	0	0
46	47	оп. 38 - ВН 61-06-11	0,252	0,204	0	0	0	0
47	48	ВН 61-06-11 - НН 61-06-11	3,44	10,7	0	0,04	0	0
46	49	оп. 38 - оп. 38-8	0,176	0,142	0	0	0	0
49	50	оп. 38-8 - ВН 61-06-10	0,042	0,034	0	0	0	0
50	51	ВН 61-06-10 - НН 61-06-10	5,92	17	0	0,04	0	0
49	52	оп. 38-8 - оп. 38-8-6	0,046	0,037	0	0	0	0
52	53	оп. 38-8-6 - ВН 61-06-03	0,151	0,122	0	0	0	0
53	54	ВН 61-06-03 - НН 61-06-03	10,4	26,2	0	0,04	0	0
52	55	оп. 38-8-6 - ВН 61-06-12	0,126	0,102	0	0	0	0
55	56	ВН 61-06-12 - НН 61-06-12	5,92	17	0	0,04	0	0
25	57	Нагрузка Кирба 2 - НН Кирба 2	0	0	0	0	0	0
57	58	НН Кирба 2 - оп. 8	0,168	0,136	0	0	0	0
58	59	оп. 8 - ВН 61-05-03	0,021	0,017	0	0	0	0
59	60	ВН 61-05-03 - НН 61-05-03	19,7	40,7	0	0,04	0	0
58	61	оп. 8 - ВН 61-05-04	0,21	0,17	0	0	0	0
61	62	ВН 61-05-04 - НН 61-05-04	3,44	10,7	0	0,04	0	0
36	63	НН 61-06-13 - Потребитель 61-05-13	0,606	0,326	0	0	0	0
39	64	НН 61-06-04 - 1 Потребитель 61-05-04	0,532	0,286	0	0	0	0
39	65	НН 61-06-04 - 2 Потребитель 61-05-04	0,226	0,122	0	0	0	0
42	66	НН 61-06-05 - 1 Потребитель 61-05-05	0,418	0,225	0	0	0	0
42	67	НН 61-06-05 - 2 Потребитель 61-05-05	0,525	0,282	0	0	0	0
42	68	НН 61-06-05 - 3 Потребитель 61-05-05	0,278	0,149	0	0	0	0
45	69	НН 61-06-08 - 1 Потребитель 61-05-08	0,285	0,154	0	0	0	0
45	70	НН 61-06-08 - 2 Потребитель 61-05-08	0,683	0,368	0	0	0	0
48	71	НН 61-06-11 - 1 Потребитель 61-05-11	0,399	0,215	0	0	0	0
48	72	НН 61-06-11 - 2 Потребитель 61-05-11	0,254	0,137	0	0	0	0
54	73	НН 61-06-03 - 1 Потребитель 61-05-03	0,159	0,086	0	0	0	0
56	74	НН 61-06-12 - 1 Потребитель 61-05-12	0,883	0,475	0	0	0	0
56	75	НН 61-06-12 - 2 Потребитель 61-05-12	0,441	0,238	0	0	0	0

Из таблиц 5.1, 5.2 видно, что мероприятия по регулированию отпаек на ПС «Кирба» показали, что оптимальным положением отпаек в максимальном режиме являются +4 на I СШ и -2 на II СШ. Регулированием отпаек удалось достичь оптимальных уровней напряжения в узлах нагрузки потребителей, подключенных к I СШ: 0,37 кВ у самого удаленного от ПС потребителя; у потребителей, подключенных от II СШ – 0,41 кВ

## 5.2 Минимальный режим с положением отпаек максимального режима

В разделе рассматривается режим нагрузок в момент, когда отрегулированная отпайками максимальная нагрузка переходит в минимальную. Данный режим происходит в промежуток времени, равный технологическим простоям оборудования.

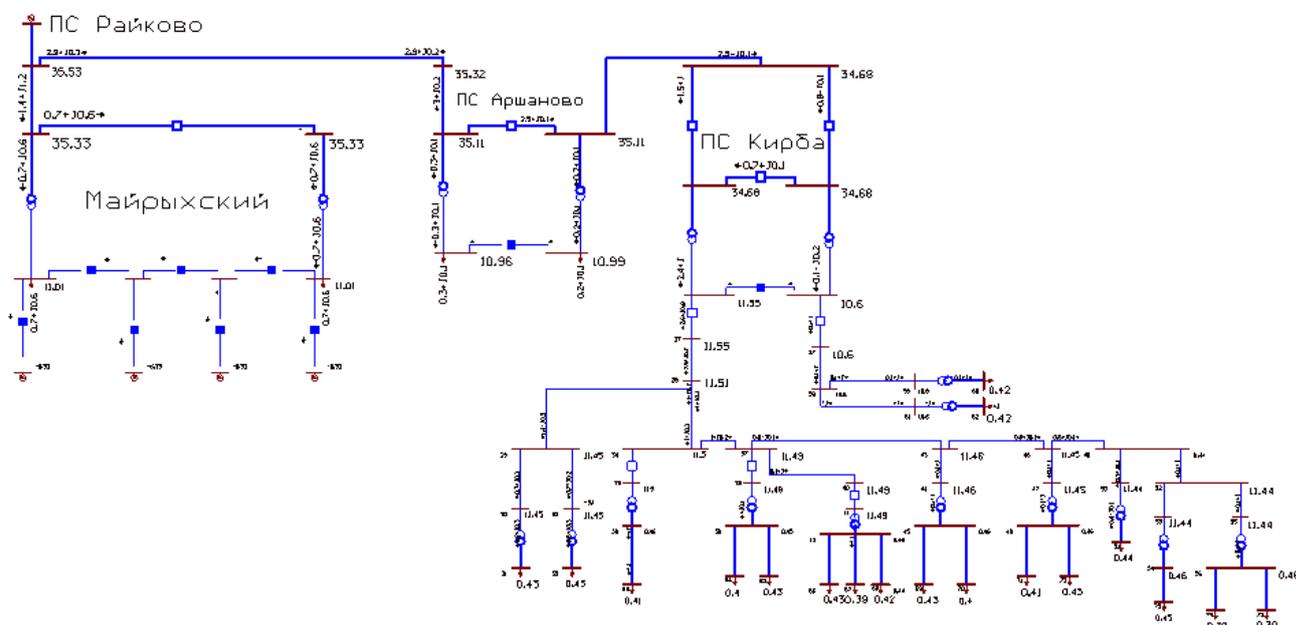


Рисунок 5.2 – Расчетная схема минимального режима с положением отпаек максимального режима

Таблица 5.3 – Расчетные значения узлов

Номер	Название узла	U <sub>ном</sub> , кВ	P <sub>н</sub> , МВт	Q <sub>н</sub> , МВАр	V, кВ
1	2	3	4	5	6
1	Ответвление от Т-58	36,70	0,00	0,00	35,53
2	ВН 4000	35,00	0,00	0,00	35,33
3	Нагрузка	10,50	0,70	0,60	11,01
4	ВН 6300	35,00	0,00	0,00	35,33
5	Нагрузка	11,00	0,70	0,60	11,01
6	Реактор	11,00	0,00	0,00	0,00
8	Секция на реактор 2	11,00	0,00	0,00	0,00
9	Реактор 2	11,00	0,00	0,00	0,00
10	Секция на реактор 3	11,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6
11	Реактор 3	11,00	0,00	0,00	0,00
14	Реактор 4	11,00	0,00	0,00	0,00
16	Аршаново БАЗА	37,00	0,00	0,00	35,32
17	ВН тр-ра Аршаново	36,52	0,00	0,00	35,11
18	ВН тр-ра Аршаново	37,00	0,00	0,00	35,11
19	Нагрузка Аршаново 2	11,00	0,23	0,05	10,99
20	Нагрузка Аршаново 1	10,58	0,35	0,11	10,96
21	ПС Кирба БАЗА	37,00	0,00	0,00	34,68
22	ВН тр-ра Кирба	37,00	0,00	0,00	34,68
23	ВН тр-ра Кирба	37,00	0,00	0,00	34,68
24	НН ПС Кирба	10,58	0,00	0,00	11,55
25	Нагрузка Кирба 2	11,00	0,00	0,00	10,60
26	ПС Райково	35,93	0,00	0,00	35,93
27	НН Кирба	10,00	0,00	0,00	11,55
28	оп. 6	10,00	0,00	0,00	11,51
29	оп. 6-17	10,00	0,00	0,00	11,45
30	ВН 61-06-14	10,00	0,00	0,00	11,45
31	НН 61-06-14	0,40	0,70	0,20	0,43
32	ВН 61-06-02	10,00	0,00	0,00	11,45
33	НН 61-06-02	0,40	0,70	0,20	0,43
34	оп. 15	10,00	0,00	0,00	11,50
35	ВН 61-06-13	10,00	0,00	0,00	11,50
36	НН 61-06-13	0,40	0,00	0,00	0,46
37	оп. 19	10,00	0,00	0,00	11,49
38	ВН 61-06-04	10,00	0,00	0,00	11,49
39	НН 61-06-04	0,40	0,00	0,00	0,45
40	оп. 19-3	10,00	0,00	0,00	11,49
41	ВН 61-06-05	10,00	0,00	0,00	11,49
42	НН 61-06-05	0,40	0,00	0,00	0,46
43	оп. 34	10,00	0,00	0,00	11,46
44	ВН 61-06-08	10,00	0,00	0,00	11,46
45	НН 61-06-08	0,40	0,00	0,00	0,46
46	оп. 38	10,00	0,00	0,00	11,45
47	ВН 61-06-11	10,00	0,00	0,00	11,45
48	НН 61-06-11	0,40	0,00	0,00	0,46
49	оп. 38-8	10,00	0,00	0,00	11,44
50	ВН 61-06-10	10,00	0,00	0,00	11,44
51	НН 61-06-10	0,40	0,50	0,05	0,44
52	оп. 38-8-6	10,00	0,00	0,00	11,44
53	ВН 61-06-03	10,00	0,00	0,00	11,44
54	НН 61-06-03	0,40	0,00	0,00	0,46
55	ВН 61-06-12	10,00	0,00	0,00	11,44
56	НН 61-06-12	0,40	0,00	0,00	0,46
57	НН Кирба 2	10,00	0,00	0,00	10,60
58	оп. 8	10,00	0,00	0,00	10,60
59	ВН 61-05-03	10,00	0,00	0,00	10,60
60	НН 61-05-03	0,40	0,08	0,00	0,42
61	ВН 61-05-04	10,00	0,00	0,00	10,60
62	НН 61-05-04	0,40	0,04	0,03	0,42
63	Потребитель 61-05-13	0,40	0,03	0,01	0,41
64	1 Потребитель 61-05-04	0,40	0,02	0,05	0,40

Окончание таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6
65	2 Потребитель 61-05-04	0,40	0,02	0,05	0,43
66	1 Потребитель 61-05-05	0,40	0,03	0,01	0,43
67	2 Потребитель 61-05-05	0,40	0,03	0,01	0,42
68	3 Потребитель 61-05-05	0,40	0,03	0,01	0,44
69	1 Потребитель 61-05-08	0,40	0,03	0,01	0,43
70	2 Потребитель 61-05-08	0,40	0,03	0,01	0,40
71	1 Потребитель 61-05-11	0,40	0,05	0,01	0,41
72	2 Потребитель 61-05-11	0,40	0,05	0,01	0,43
73	1 Потребитель 61-05-03	0,40	0,03	0,00	0,45
74	1 Потребитель 61-05-12	0,40	0,03	0,01	0,39
75	2 Потребитель 61-05-12	0,40	0,06	0,01	0,39

Таблица 5.4 – Расчетные значения ветвей

N_нач	N_кон	Название	R	X	B	Кт/г	N_анц	БД_анц
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	Ответвление от Т-58 - ВН 4000	2,25	3,2	0,17	0	0	0
2	3	ВН 4000 - Нагрузка	1,4	14,6	0	0,314	5	1
2	4	ВН 4000 - ВН 6300	0	0	0	0	0	0
4	5	ВН 6300 - Нагрузка	1,4	14,6	0	0,314	5	2
3	6	Нагрузка - Реактор	0	0	0	0	0	0
3	8	Нагрузка - Секция на реактор 2	0	0	0	0	0	0
8	9	Секция на реактор 2 - Реактор 2	0	0	0	0	0	0
8	10	Секция на реактор 2 - Секция на реактор 3	0	0	0	0	0	0
10	11	Секция на реактор 3 - Реактор 3	0	0	0	0	0	0
5	10	Нагрузка - Секция на реактор 3	0	0	0	0	0	0
5	14	Нагрузка - Реактор 4	0	0	0	0	0	0
16	17	Аршаново БАЗА - ВН тр-ра Аршаново	2,25	3,2	0,17	0	0	0
17	18	ВН тр-ра Аршаново - ВН тр-ра Аршаново	0	0	0	0	0	0
18	19	ВН тр-ра Аршаново - Нагрузка Аршаново 2	8,6	49,8	0	0,314	5	6
17	20	ВН тр-ра Аршаново - Нагрузка Аршаново 1	8,6	49,8	0	0,314	5	5
20	19	Нагрузка Аршаново 1 - Нагрузка Аршаново 2	0	0	0	0	0	0
18	21	ВН тр-ра Аршаново - ПС Кирба БАЗА	6,21	8,81	0,52	0	0	0
21	22	ПС Кирба БАЗА - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
21	23	ПС Кирба БАЗА - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
22	23	ВН тр-ра Кирба - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
22	24	ВН тр-ра Кирба - НН ПС Кирба	1,4	14,6	0	0,334	9	3
23	25	ВН тр-ра Кирба - Нагрузка Кирба 2	1,4	14,6	0	0,305	3	4
24	25	НН ПС Кирба - Нагрузка Кирба 2	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
26	1	ПС Райково - Ответвление от Т-58	2,25	3,2	0,17	0	0	0
1	16	Ответвление от Т-58 - Аршаново БАЗА	2,25	3,2	0,17	0	0	0
24	27	НН ПС Кирба - НН Кирба	0	0	0	0	0	0
27	28	НН Кирба - оп. 6	0,149	0,121	0	0	0	0
28	29	оп. 6 - оп. 6-17	0,41	0,33	0	0	0	0
29	30	оп. 6-17 - ВН 61-06-14	0,044	0,035	0	0	0	0
29	32	оп. 6-17 - ВН 61-06-02	0,044	0,036	0	0	0	0
30	31	ВН 61-06-14 - НН 61-06-14	5,92	17	0	0,040	0	0
32	33	ВН 61-06-02 - НН 61-06-02	5,92	17	0	0,040	0	0
28	34	оп. 6 - оп. 15	0,17	0,13	0	0	0	0
34	35	оп. 15 - ВН 61-06-13	0	0	0	0	0	0
35	36	ВН 61-06-13 - НН 61-06-13	10,4	26,2	0	0,040	0	0
34	37	оп. 15 - оп. 19	0,0815	0,066	0	0	0	0
37	38	оп. 19 - ВН 61-06-04	0	0	0	0	0	0
38	39	ВН 61-06-04 - НН 61-06-04	10,4	26,2	0	0,040	0	0
37	40	оп. 19 - оп. 19-3	0,050	0,041	0	0	0	0
40	41	оп. 19-3 - ВН 61-06-05	0	0	0	0	0	0
41	42	ВН 61-06-05 - НН 61-06-05	10,4	26,2	0	0,040	0	0
37	43	оп. 19 - оп. 34	0,357	0,289	0	0	0	0
43	44	оп. 34 - ВН 61-06-08	0,042	0,034	0	0	0	0
44	45	ВН 61-06-08 - НН 61-06-08	5,92	17	0	0,040	0	0
43	46	оп. 34 - оп. 38	0,099	0,080	0	0	0	0
46	47	оп. 38 - ВН 61-06-11	0,252	0,204	0	0	0	0
47	48	ВН 61-06-11 - НН 61-06-11	3,44	10,7	0	0,040	0	0
46	49	оп. 38 - оп. 38-8	0,176	0,143	0	0	0	0
49	50	оп. 38-8 - ВН 61-06-10	0,042	0,034	0	0	0	0
50	51	ВН 61-06-10 - НН 61-06-10	5,92	17	0	0,04	0	0
49	52	оп. 38-8 - оп. 38-8-6	0,046	0,037	0	0	0	0
52	53	оп. 38-8-6 - ВН 61-06-03	0,151	0,122	0	0	0	0
53	54	ВН 61-06-03 - НН 61-06-03	10,4	26,2	0	0,04	0	0
52	55	оп. 38-8-6 - ВН 61-06-12	0,126	0,102	0	0	0	0
55	56	ВН 61-06-12 - НН 61-06-12	5,92	17	0	0,04	0	0
25	57	Нагрузка Кирба 2 - НН Кирба 2	0	0	0	0	0	0
57	58	НН Кирба 2 - оп. 8	0,168	0,136	0	0	0	0
58	59	оп. 8 - ВН 61-05-03	0,021	0,017	0	0	0	0
59	60	ВН 61-05-03 - НН 61-05-03	19,7	40,7	0	0,04	0	0
58	61	оп. 8 - ВН 61-05-04	0,21	0,17	0	0	0	0
61	62	ВН 61-05-04 - НН 61-05-04	3,44	10,7	0	0,04	0	0
36	63	НН 61-06-13 - Потребитель 61-05-13	0,606	0,326	0	0	0	0
39	64	НН 61-06-04 - 1 Потребитель 61-05-04	0,532	0,286	0	0	0	0
39	65	НН 61-06-04 - 2 Потребитель 61-05-04	0,226	0,122	0	0	0	0
42	66	НН 61-06-05 - 1 Потребитель 61-05-05	0,418	0,225	0	0	0	0
42	67	НН 61-06-05 - 2 Потребитель 61-05-05	0,525	0,282	0	0	0	0

#### Окончание таблицы 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	68	НН 61-06-05 - 3 Потребитель 61-05-05	0,278	0,149	0	0	0	0
45	69	НН 61-06-08 - 1 Потребитель 61-05-08	0,285	0,154	0	0	0	0
45	70	НН 61-06-08 - 2 Потребитель 61-05-08	0,683	0,368	0	0	0	0
48	71	НН 61-06-11 - 1 Потребитель 61-05-11	0,399	0,215	0	0	0	0
48	72	НН 61-06-11 - 2 Потребитель 61-05-11	0,254	0,137	0	0	0	0
54	73	НН 61-06-03 - 1 Потребитель 61-05-03	0,159	0,086	0	0	0	0
56	74	НН 61-06-12 - 1 Потребитель 61-05-12	0,883	0,475	0	0	0	0
56	75	НН 61-06-12 - 2 Потребитель 61-05-12	0,441	0,238	0	0	0	0

В данном режиме рассматривается момент, когда нагрузка на УК спала и фиксируются перенапряжения на секциях шин ПС «Кирба» из-за повышенных положений отпаек трансформаторов. Напряжения на I СШ ПС «Кирба» 11,55 кВ, у потребителей 0,39-0,43 кВ – напряжение высокое. На II СШ напряжение 10,6 кВ, у потребителей 0,42 кВ. Указанные напряжения не соответствуют нормативным значениям, требуется регулирование отпаек с целью достижения оптимальных уровней напряжения.

### 5.3 Минимальный режим с нормализацией напряжения

На рисунке 5.3 представлена расчетная схема рассматриваемого режима. В таблицах 5.5 и 5.6 представлены расчетные параметры узлов и ветвей схемы соответственно.

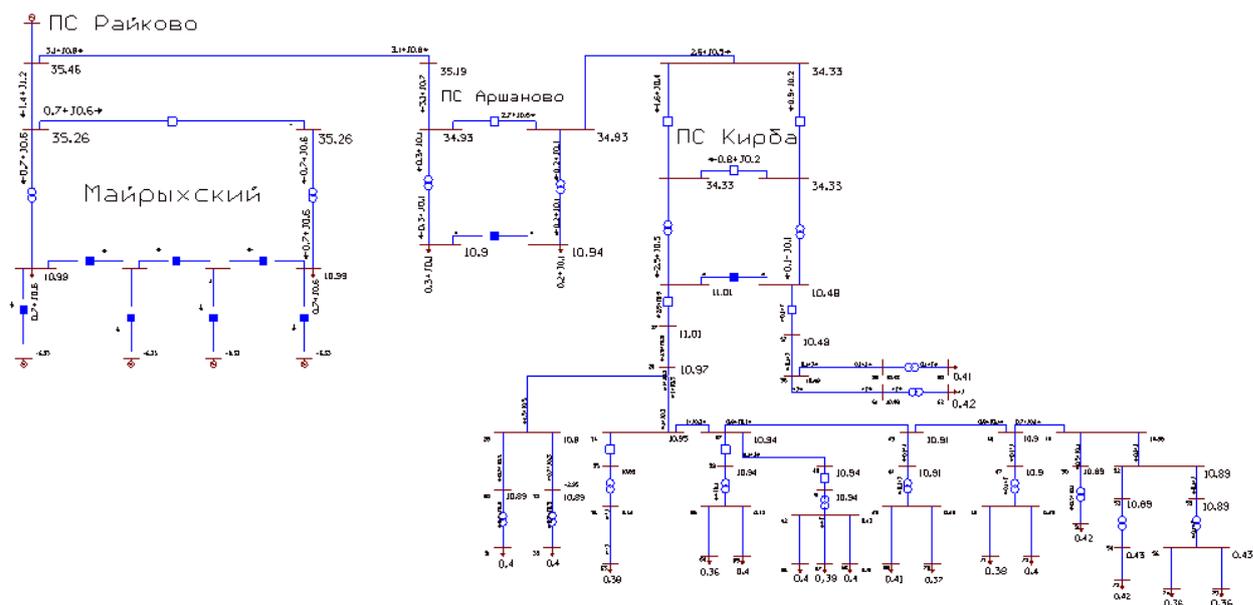


Рисунок 5.3 – Минимальный режим с регулированием отпаяк

Таблица 5.5 – Расчетные значения узлов с регулированием напряжения

Номер	Название узла	U <sub>ном</sub> , кВ	P <sub>н</sub> , МВт	Q <sub>н</sub> , МВАр	V, кВ
1	2	3	4	5	6
1	Ответвление от Т-58	36,7	0	0	35,46
2	ВН 4000	35	0	0	35,26
3	Нагрузка	10,5	0,7	0,6	10,99
4	ВН 6300	35	0	0	35,26
5	Нагрузка	11	0,7	0,6	10,99
6	Реактор	11	0	0	0,00
8	Секция на реактор 2	11	0	0	0
9	Реактор 2	11	0	0	0
10	Секция на реактор 3	11	0	0	0
11	Реактор 3	11	0	0	0
14	Реактор 4	11	0	0	0
16	Аршаново БАЗА	37	0	0	35,19
17	ВН тр-ра Аршаново	36,52	0	0	34,93
18	ВН тр-ра Аршаново	37	0	0	34,93
19	Нагрузка Аршаново 2	11	0,23	0,05	10,94
20	Нагрузка Аршаново 1	10,58	0,35	0,11	10,90
21	ПС Кирба БАЗА	37	0	0	34,33
22	ВН тр-ра Кирба	37	0	0	34,33
23	ВН тр-ра Кирба	37	0	0	34,33
24	НН ПС Кирба	10,58	0	0	11,01
25	Нагрузка Кирба 2	11	0	0	10,48
26	ПС Райково	35,93	0	0	35,93
27	НН Кирба	10	0	0	11,01
28	оп. 6	10	0	0	10,97
29	оп. 6-17	10	0	0	10,90
30	ВН 61-06-14	10	0	0	10,89
31	НН 61-06-14	0,4	0,7	0,2	0,40
32	ВН 61-06-02	10	0	0	10,89
33	НН 61-06-02	0,4	0,7	0,2	0,40

Продолжение таблицы 5.5

1	2	3	4	5	6
34	оп. 15	10	0	0	10,95
35	ВН 61-06-13	10	0	0	10,95
36	НН 61-06-13	0,4	0	0	0,44
37	оп. 19	10	0	0	10,94
38	ВН 61-06-04	10	0	0	10,94
39	НН 61-06-04	0,4	0	0	0,43
40	оп. 19-3	10	0	0	10,94
41	ВН 61-06-05	10	0	0	10,94
42	НН 61-06-05	0,4	0	0	0,43
43	оп. 34	10	0	0	10,91
44	ВН 61-06-08	10	0	0	10,91
45	НН 61-06-08	0,4	0	0	0,43
46	оп. 38	10	0	0	10,90
47	ВН 61-06-11	10	0	0	10,90
48	НН 61-06-11	0,4	0	0	0,43
49	оп. 38-8	10	0	0	10,89
50	ВН 61-06-10	10	0	0	10,89
51	НН 61-06-10	0,4	0,5	0,05	0,42
52	оп. 38-8-6	10	0	0	10,89
53	ВН 61-06-03	10	0	0	10,89
54	НН 61-06-03	0,4	0	0	0,43
55	ВН 61-06-12	10	0	0	10,89
56	НН 61-06-12	0,4	0	0	0,43
57	НН Кирба 2	10	0	0	10,48
58	оп. 8	10	0	0	10,48
59	ВН 61-05-03	10	0	0	10,48
60	НН 61-05-03	0,4	0,08	0,002	0,41
61	ВН 61-05-04	10	0	0	10,48
62	НН 61-05-04	0,4	0,04	0,03	0,42
63	Потребитель 61-05-13	0,4	0,03	0,01	0,38
64	1 Потребитель 61-05-04	0,4	0,02	0,05	0,36
65	2 Потребитель 61-05-04	0,4	0,02	0,05	0,40
66	1 Потребитель 61-05-05	0,4	0,025	0,005	0,40
67	2 Потребитель 61-05-05	0,4	0,025	0,005	0,40
68	3 Потребитель 61-05-05	0,4	0,025	0,005	0,41
69	1 Потребитель 61-05-08	0,4	0,034	0,007	0,41
70	2 Потребитель 61-05-08	0,4	0,034	0,007	0,37
71	1 Потребитель 61-05-11	0,4	0,05	0,008	0,38
72	2 Потребитель 61-05-11	0,4	0,05	0,005	0,40
73	1 Потребитель 61-05-03	0,4	0,03	0,003	0,42
74	1 Потребитель 61-05-12	0,4	0,03	0,005	0,36
75	2 Потребитель 61-05-12	0,4	0,06	0,005	0,36

Таблица 5.6 – Расчетные значения ветвей с регулированием отпаяк

N_на ч	N_ко н	Название	R	X	B	Кт/г	N_ан ц	БД_ан ц
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	Ответвление от Т-58 - ВН 4000	2,25	3,2	0,1 7	0	0	0
2	3	ВН 4000 - Нагрузка	1,4	14,6	0	0,31 4	5	1
2	4	ВН 4000 - ВН 6300	0	0	0	0	0	0
4	5	ВН 6300 - Нагрузка	1,4	14,6	0	0,31 4	5	2
3	6	Нагрузка - Реактор	0	0	0	0	0	0
3	8	Нагрузка - Секция на реактор 2	0	0	0	0	0	0
8	9	Секция на реактор 2 - Реактор 2	0	0	0	0	0	0
8	10	Секция на реактор 2 - Секция на реактор 3	0	0	0	0	0	0
10	11	Секция на реактор 3 - Реактор 3	0	0	0	0	0	0
5	10	Нагрузка - Секция на реактор 3	0	0	0	0	0	0
5	14	Нагрузка - Реактор 4	0	0	0	0	0	0
16	17	Аршаново БАЗА - ВН тр-ра Аршаново	2,25	3,2	0,1 7	0	0	0
17	18	ВН тр-ра Аршаново - ВН тр-ра Аршаново	0	0	0	0	0	0
18	19	ВН тр-ра Аршаново - Нагрузка Аршаново 2	8,6	49,8	0	0,31 4	5	6
17	20	ВН тр-ра Аршаново - Нагрузка Аршаново 1	8,6	49,8	0	0,31 4	5	5
20	19	Нагрузка Аршаново 1 - Нагрузка Аршаново 2	0	0	0	0	0	0
18	21	ВН тр-ра Аршаново - ПС Кирба БАЗА	6,21	8,81	0,5 2	0	0	0
21	22	ПС Кирба БАЗА - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
21	23	ПС Кирба БАЗА - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
22	23	ВН тр-ра Кирба - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
22	24	ВН тр-ра Кирба - НН ПС Кирба	1,4	14,6	0	0,32 4	7	3
23	25	ВН тр-ра Кирба - Нагрузка Кирба 2	1,4	14,6	0	0,30 5	3	4
24	25	НН ПС Кирба - Нагрузка Кирба 2	0	0	0	0	0	0
26	1	ПС Райково - Ответвление от Т-58	2,25	3,2	0,1 7	0	0	0
1	16	Ответвление от Т-58 - Аршаново БАЗА	2,25	3,2	0,1 7	0	0	0
24	27	НН ПС Кирба - НН Кирба	0	0	0	0	0	0
27	28	НН Кирба - оп. 6	0,149	0,12 1	0	0	0	0
28	29	оп. 6 - оп. 6-17	0,41	0,33	0	0	0	0
29	30	оп. 6-17 - ВН 61-06-14	0,04	0,04	0	0	0	0
29	32	оп. 6-17 - ВН 61-06-02	0,04	0,04	0	0	0	0
30	31	ВН 61-06-14 - НН 61-06-14	5,92	17	0	0,04	0	0
32	33	ВН 61-06-02 - НН 61-06-02	5,92	17	0	0,04	0	0
28	34	оп. 6 - оп. 15	0,17	0,13	0	0	0	0
34	35	оп. 15 - ВН 61-06-13	0	0	0	0	0	0
35	36	ВН 61-06-13 - НН 61-06-13	10,4	26,2	0	0,04	0	0

Продолжение таблицы 5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
34	37	оп. 15 - оп. 19	0,08	0,07	0	0	0	0
37	38	оп. 19 - ВН 61-06-04	0	0	0	0	0	0
38	39	ВН 61-06-04 - НН 61-06-04	10,4	26,2	0	0,04	0	0
37	40	оп. 19 - оп. 19-3	0,05	0,04	0	0	0	0
40	41	оп. 19-3 - ВН 61-06-05	0	0	0	0	0	0
41	42	ВН 61-06-05 - НН 61-06-05	10,4	26,2	0	0,04	0	0
37	43	оп. 19 - оп. 34	0,36	0,29	0	0	0	0
43	44	оп. 34 - ВН 61-06-08	0,04	0,03	0	0	0	0
44	45	ВН 61-06-08 - НН 61-06-08	5,92	17	0	0,04	0	0
43	46	оп. 34 - оп. 38	0,10	0,08	0	0	0	0
46	47	оп. 38 - ВН 61-06-11	0,25	0,20	0	0	0	0
47	48	ВН 61-06-11 - НН 61-06-11	3,44	10,7	0	0,04	0	0
46	49	оп. 38 - оп. 38-8	0,18	0,14	0	0	0	0
49	50	оп. 38-8 - ВН 61-06-10	0,04	0,03	0	0	0	0
50	51	ВН 61-06-10 - НН 61-06-10	5,92	17	0	0,04	0	0
49	52	оп. 38-8 - оп. 38-8-6	0,05	0,04	0	0	0	0
52	53	оп. 38-8-6 - ВН 61-06-03	0,15	0,12	0	0	0	0
53	54	ВН 61-06-03 - НН 61-06-03	10,4	26,2	0	0,04	0	0
52	55	оп. 38-8-6 - ВН 61-06-12	0,126	0,10 2	0	0	0	0
55	56	ВН 61-06-12 - НН 61-06-12	5,92	17	0	0,04	0	0
25	57	Нагрузка Кирба 2 - НН Кирба 2	0	0	0	0	0	0
57	58	НН Кирба 2 - оп. 8	0,2	0,1	0	0	0	0
58	59	оп. 8 - ВН 61-05-03	0,0	0,0	0	0	0	0
59	60	ВН 61-05-03 - НН 61-05-03	19,7	40,7	0	0,04	0	0
58	61	оп. 8 - ВН 61-05-04	0,21	0,17	0	0	0	0
61	62	ВН 61-05-04 - НН 61-05-04	3,44	10,7	0	0,04	0	0
36	63	НН 61-06-13 - Потребитель 61-05-13	0,606	0,32 6	0	0	0	0
39	64	НН 61-06-04 - 1 Потребитель 61-05-04	0,532	0,28 6	0	0	0	0
39	65	НН 61-06-04 - 2 Потребитель 61-05-04	0,226	0,12 2	0	0	0	0
42	66	НН 61-06-05 - 1 Потребитель 61-05-05	0,418	0,22 5	0	0	0	0
42	67	НН 61-06-05 - 2 Потребитель 61-05-05	0,525	0,28 2	0	0	0	0
42	68	НН 61-06-05 - 3 Потребитель 61-05-05	0,278	0,14 9	0	0	0	0
45	69	НН 61-06-08 - 1 Потребитель 61-05-08	0,285	0,15 4	0	0	0	0
45	70	НН 61-06-08 - 2 Потребитель 61-05-08	0,683	0,36 8	0	0	0	0
48	71	НН 61-06-11 - 1 Потребитель 61-05-11	0,399	0,21 5	0	0	0	0
48	72	НН 61-06-11 - 2 Потребитель 61-05-11	0,254	0,13 7	0	0	0	0
54	73	НН 61-06-03 - 1 Потребитель 61-05-03	0,159	0,08 6	0	0	0	0

## Окончание таблицы 5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
56	74	НН 61-06-12 - 1 Потребитель 61-05-12	0,883	0,47 5	0	0	0	0
56	75	НН 61-06-12 - 2 Потребитель 61-05-12	0,441	0,23 8	0	0	0	0

Из таблицы 5.6 видно, что мероприятия по регулированию вторичного напряжения трансформаторов отпайками привели к следующим изменениям: напряжения на шинах НН ПС «Кирба» составили 11,01 кВ и 10,48 кВ на первой и второй секциях шин соответственно; напряжения в узлах нагрузки потребителей составили: 0,36 - 0,4 кВ (0,36 кВ у самого удаленного) у потребителей, подключенных от I СШ; 0,41 кВ у потребителей, подключенных от II СШ. Напряжение нормализовалось. Повышенное напряжение на I СШ необходимо для достижения нормальных уровней напряжения у потребителей.

### 5.4 Максимальный режим с положением отпайк минимального режима

В данном режиме рассматривается процесс перехода из минимального режима в максимальный, демонстрируется необходимость регулирования напряжения отпайками трансформаторов. На рисунке 5.4 представлена расчетная схема рассматриваемого режима. В таблицах 5.7 и 5.8 представлены расчетные значения узлов и ветвей схемы рассматриваемого режима соответственно.

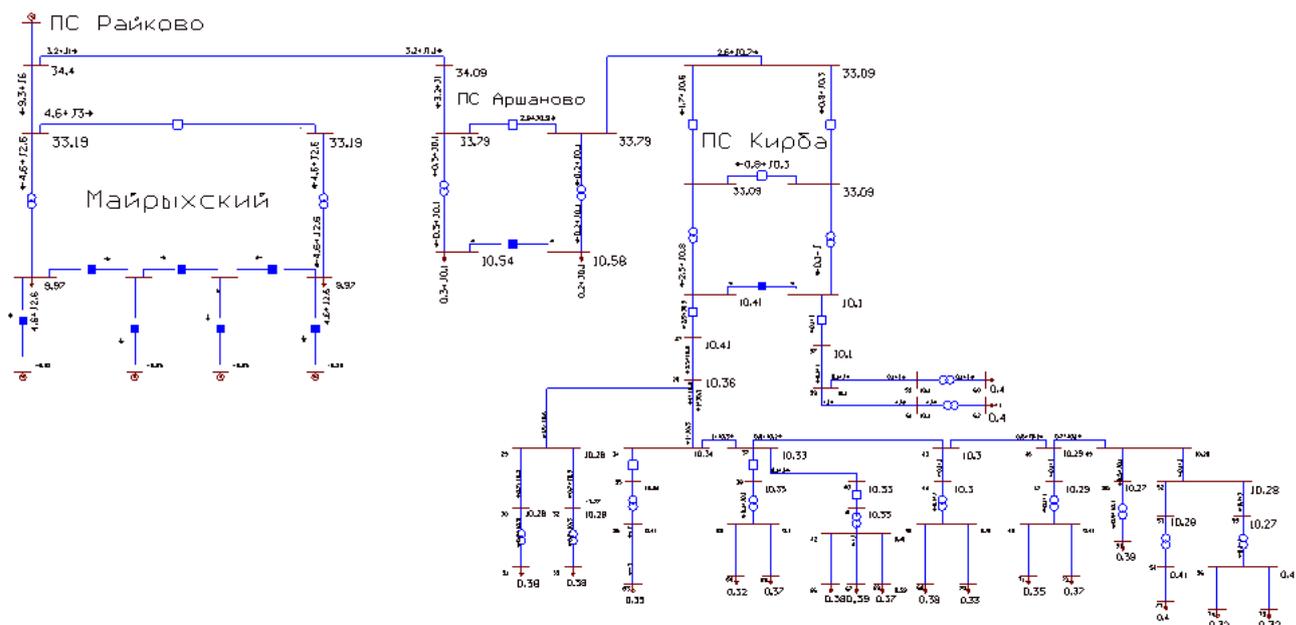


Рисунок 5.4 - Максимальный режим с положением отпайк минимального режима

Таблица 5.7 – Расчетные значения узлов

Номер	Название узла	U <sub>ном</sub> , кВ	P <sub>н</sub> , МВт	Q <sub>н</sub> , МВАр	V, кВ
1	2	3	4	5	6
1	Ответвление от Т-58	36,7	0	0	34,40
2	ВН 4000	35	0	0	33,19
3	Нагрузка	10,5	0,7	0,6	9,97
4	ВН 6300	35	0	0	33,19
5	Нагрузка	11	0,7	0,6	9,97
6	Реактор	11	0	0	0
8	Секция на реактор 2	11	0	0	0
9	Реактор 2	11	0	0	0
10	Секция на реактор 3	11	0	0	0
11	Реактор 3	11	0	0	0
14	Реактор 4	11	0	0	0
16	Аршаново БАЗА	37	0	0	34,09
17	ВН тр-ра Аршаново	36,52	0	0	33,79
18	ВН тр-ра Аршаново	37	0	0	33,79
19	Нагрузка Аршаново 2	11	0,23	0,05	10,58
20	Нагрузка Аршаново 1	10,58	0,35	0,11	10,54
21	ПС Кирба БАЗА	37	0	0	33,09
22	ВН тр-ра Кирба	37	0	0	33,09
23	ВН тр-ра Кирба	37	0	0	33,09
24	НН ПС Кирба	10,58	0	0	10,41
25	Нагрузка Кирба 2	11	0	0	10,10
26	ПС Райково	35,93	0	0	35,93
27	НН Кирба	10	0	0	10,41
28	оп. 6	10	0	0	10,36
29	оп. 6-17	10	0	0	10,28
30	ВН 61-06-14	10	0	0	10,28
31	НН 61-06-14	0,4	0,7	0,2	0,38
32	ВН 61-06-02	10	0	0	10,28
33	НН 61-06-02	0,4	0,7	0,2	0,38
34	оп. 15	10	0	0	10,34
35	ВН 61-06-13	10	0	0	10,34
36	НН 61-06-13	0,4	0	0	0,41
37	оп. 19	10	0	0	10,33
38	ВН 61-06-04	10	0	0	10,33
39	НН 61-06-04	0,4	0	0	0,40
40	оп. 19-3	10	0	0	10,33
41	ВН 61-06-05	10	0	0	10,33
42	НН 61-06-05	0,4	0	0	0,41
43	оп. 34	10	0	0	10,30
44	ВН 61-06-08	10	0	0	10,30
45	НН 61-06-08	0,4	0	0	0,41

Продолжение таблицы 5.7

1	2	3	4	5	6
46	оп. 38	10	0	0	10,29
47	ВН 61-06-11	10	0	0	10,29
48	НН 61-06-11	0,4	0	0	0,41
49	оп. 38-8	10	0	0	10,28
50	ВН 61-06-10	10	0	0	10,27
51	НН 61-06-10	0,4	0,5	0,05	0,39
52	оп. 38-8-6	10	0	0	10,28
53	ВН 61-06-03	10	0	0	10,28
54	НН 61-06-03	0,4	0	0	0,41
55	ВН 61-06-12	10	0	0	10,27
56	НН 61-06-12	0,4	0	0	0,41
57	НН Кирба 2	10	0	0	10,10
58	оп. 8	10	0	0	10,10
59	ВН 61-05-03	10	0	0	10,10
60	НН 61-05-03	0,4	0,08	0,002	0,40
61	ВН 61-05-04	10	0	0	10,10
62	НН 61-05-04	0,4	0,04	0,03	0,40
63	Потребитель 61-05-13	0,4	0,03	0,01	0,35
64	1 Потребитель 61-05-04	0,4	0,02	0,05	0,32
65	2 Потребитель 61-05-04	0,4	0,02	0,05	0,37
66	1 Потребитель 61-05-05	0,4	0,025	0,005	0,38
67	2 Потребитель 61-05-05	0,4	0,025	0,005	0,37
68	3 Потребитель 61-05-05	0,4	0,025	0,005	0,39
69	1 Потребитель 61-05-08	0,4	0,034	0,007	0,38
70	2 Потребитель 61-05-08	0,4	0,034	0,007	0,33
71	1 Потребитель 61-05-11	0,4	0,05	0,008	0,35
72	2 Потребитель 61-05-11	0,4	0,05	0,005	0,37
73	1 Потребитель 61-05-03	0,4	0,03	0,003	0,40
74	1 Потребитель 61-05-12	0,4	0,03	0,005	0,32
75	2 Потребитель 61-05-12	0,4	0,06	0,005	0,32

Таблица 5.8 – Расчетные значения ветвей

N_на ч	N_кон	Название	R	X	B	Кт/г	N_анц	БД_анц
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	Ответвление от Т-58 - ВН 4000	2,25	3,2	0,17	0	0	0
2	3	ВН 4000 - Нагрузка	1,4	14,6	0	0,314	5	1
2	4	ВН 4000 - ВН 6300	0	0	0	0	0	0
4	5	ВН 6300 - Нагрузка	1,4	14,6	0	0,314	5	2
3	6	Нагрузка - Реактор	0	0	0	0	0	0
3	8	Нагрузка - Секция на реактор 2	0	0	0	0	0	0
8	9	Секция на реактор 2 - Реактор 2	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы 5.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	10	Секция на реактор 2 - Секция на реактор 3	0	0	0	0	0	0
10	11	Секция на реактор 3 - Реактор 3	0	0	0	0	0	0
5	10	Нагрузка - Секция на реактор 3	0	0	0	0	0	0
5	14	Нагрузка - Реактор 4	0	0	0	0	0	0
16	17	Аршаново БАЗА - ВН тр-ра Аршаново	2,25	3,2	0,17	0	0	0
17	18	ВН тр-ра Аршаново - ВН тр-ра Аршаново	0	0	0	0	0	0
18	19	ВН тр-ра Аршаново - Нагрузка Аршаново 2	8,6	49,8	0	0,314	5	6
17	20	ВН тр-ра Аршаново - Нагрузка Аршаново 1	8,6	49,8	0	0,314	5	5
20	19	Нагрузка Аршаново 1 - Нагрузка Аршаново 2	0	0	0	0	0	0
18	21	ВН тр-ра Аршаново - ПС Кирба БАЗА	6,21	8,81	0,52	0	0	0
21	22	ПС Кирба БАЗА - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
22	23	ВН тр-ра Кирба - ВН тр-ра Кирба	0	0	0	0	0	0
22	24	ВН тр-ра Кирба - НН ПС Кирба	1,4	14,6	0	0,324	7	3
23	25	ВН тр-ра Кирба - Нагрузка Кирба 2	1,4	14,6	0	0,305	3	4
24	25	НН ПС Кирба - Нагрузка Кирба 2	0	0	0	0	0	0
26	1	ПС Райково - Ответвление от Т-58	2,25	3,2	0,17	0	0	0
1	16	Ответвление от Т-58 - Аршаново БАЗА	2,25	3,2	0,17	0	0	0
24	27	НН ПС Кирба - НН Кирба	0	0	0	0	0	0
27	28	НН Кирба - оп. 6	0,149	0,121	0	0	0	0
28	29	оп. 6 - оп. 6-17	0,41	0,33	0	0	0	0
29	30	оп. 6-17 - ВН 61-06-14	0,04	0,04	0	0	0	0
29	32	оп. 6-17 - ВН 61-06-02	0,04	0,04	0	0	0	0
30	31	ВН 61-06-14 - НН 61-06-14	5,92	17	0	0,04	0	0
32	33	ВН 61-06-02 - НН 61-06-02	5,92	17	0	0,04	0	0
28	34	оп. 6 - оп. 15	0,17	0,13	0	0	0	0
34	35	оп. 15 - ВН 61-06-13	0	0	0	0	0	0
35	36	ВН 61-06-13 - НН 61-06-13	10,4	26,2	0	0,04	0	0
34	37	оп. 15 - оп. 19	0,08	0,07	0	0	0	0
37	38	оп. 19 - ВН 61-06-04	0	0	0	0	0	0
38	39	ВН 61-06-04 - НН 61-06-04	10,4	26,2	0	0,04	0	0
37	40	оп. 19 - оп. 19-3	0,05	0,04	0	0	0	0
40	41	оп. 19-3 - ВН 61-06-05	0	0	0	0	0	0
41	42	ВН 61-06-05 - НН 61-06-05	10,4	26,2	0	0,04	0	0
37	43	оп. 19 - оп. 34	0,36	0,29	0	0	0	0
43	44	оп. 34 - ВН 61-06-08	0,04	0,03	0	0	0	0
44	45	ВН 61-06-08 - НН 61-06-08	5,92	17	0	0,04	0	0

## Окончание таблицы 5.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	46	оп. 34 - оп. 38	0,10	0,08	0	0	0	0
46	47	оп. 38 - ВН 61-06-11	0,25	0,20	0	0	0	0
47	48	ВН 61-06-11 - НН 61-06-11	3,44	10,7	0	0,04	0	0
46	49	оп. 38 - оп. 38-8	0,18	0,14	0	0	0	0
49	50	оп. 38-8 - ВН 61-06-10	0,04	0,03	0	0	0	0
50	51	ВН 61-06-10 - НН 61-06-10	5,92	17	0	0,04	0	0
49	52	оп. 38-8 - оп. 38-8-6	0,05	0,04	0	0	0	0
52	53	оп. 38-8-6 - ВН 61-06-03	0,15	0,12	0	0	0	0
53	54	ВН 61-06-03 - НН 61-06-03	10,4	26,2	0	0,04	0	0
52	55	оп. 38-8-6 - ВН 61-06-12	0,126	0,102	0	0	0	0
55	56	ВН 61-06-12 - НН 61-06-12	5,92	17	0	0,04	0	0
25	57	Нагрузка Кирба 2 - НН Кирба 2	0	0	0	0	0	0
57	58	НН Кирба 2 - оп. 8	0,2	0,1	0	0	0	0
58	59	оп. 8 - ВН 61-05-03	0,0	0,0	0	0	0	0
59	60	ВН 61-05-03 - НН 61-05-03	19,7	40,7	0	0,04	0	0
58	61	оп. 8 - ВН 61-05-04	0,21	0,17	0	0	0	0
61	62	ВН 61-05-04 - НН 61-05-04	3,44	10,7	0	0,04	0	0
36	63	НН 61-06-13 - Потребитель 61-05-13	0,606	0,326	0	0	0	0
39	64	НН 61-06-04 - 1 Потребитель 61-05-04	0,532	0,286	0	0	0	0
39	65	НН 61-06-04 - 2 Потребитель 61-05-04	0,226	0,122	0	0	0	0
42	66	НН 61-06-05 - 1 Потребитель 61-05-05	0,418	0,225	0	0	0	0
42	67	НН 61-06-05 - 2 Потребитель 61-05-05	0,525	0,282	0	0	0	0
42	68	НН 61-06-05 - 3 Потребитель 61-05-05	0,278	0,149	0	0	0	0
45	69	НН 61-06-08 - 1 Потребитель 61-05-08	0,285	0,154	0	0	0	0
45	70	НН 61-06-08 - 2 Потребитель 61-05-08	0,683	0,368	0	0	0	0
48	71	НН 61-06-11 - 1 Потребитель 61-05-11	0,399	0,215	0	0	0	0
48	72	НН 61-06-11 - 2 Потребитель 61-05-11	0,254	0,137	0	0	0	0
54	73	НН 61-06-03 - 1 Потребитель 61-05-03	0,159	0,086	0	0	0	0
56	74	НН 61-06-12 - 1 Потребитель 61-05-12	0,883	0,475	0	0	0	0
56	75	НН 61-06-12 - 2 Потребитель 61-05-12	0,441	0,238	0	0	0	0

Из таблицы 5.8 видно, что при переходе энергосистемы из минимального режима в максимальный, включенных отпаяк трансформаторов недостаточно. Напряжения на шинах ПС «Кирба» составляют 10,41 и 10,1 кВ на I СШ и II СШ соответственно. Напряжения в узлах нагрузки потребителей Кирбы составляют 0,32-0,38 кВ у потребителей, запитанных от I СШ и 0,4 кВ у потребителей, запитанных от II СШ. С целью исключения такого значительного провала

напряжения, требуется регулировка отпаяк трансформаторов с применением рассмотренного алгоритма.

## **6 Оптимизация режимов работы системы по напряжению**

Целью данного раздела является оптимизация процесса регулирования коэффициента трансформации путем модернизации ее с уклоном в активно-адаптивную сеть.

Активно-адаптивная сеть (ААС) – это совокупность электротехнического оборудования, предназначенного для генерации, трансформации, передачи, распределения электроэнергии, информационно-технологических и управляющих систем. Данный комплекс, может обеспечивать сочетание централизованного и распределенного автоматизированного управления рассматриваемого узла энергосистемы. Управляющие воздействия, вырабатываемые по данным информационно-измерительной системы обеспечат надежную и экономичную работу всех объектов электроэнергетической системы.

Преимущества ААС перед обычной сетью заключаются в следующем:

- Насыщенность сети активными элементами, позволяющими изменять параметры сети;
- Обильное количество измерительной аппаратуры, регистрирующей текущие режимные параметры для оценки состояния сети ;
- Система сбора, передачи и обработки информации. Программы адаптивного управления с возможностью воздействия в реальном масштабе времени на активные элементы сети;
- Возможность автоматической оценки текущей и прогнозирования будущей ситуации в энергосистеме, а также воздействия на ее объекты и оборудования для предотвращения нарушений электроснабжения
- Высокое быстродействие управляющей системы и информационного обмена с целью управления.

Основной целью модернизации энергосистемы является обеспечение надежности электроснабжения потребителей с соблюдением показателей качества электроэнергии. Необходимо решить задачу оптимизации, т.е. обеспечить максимум соответствия поставляемой электроэнергии ГОСТ. Особенностью активно-адаптивной сети состоит в том, что система управления в совокупности с функционально новыми элементами сети позволяет обеспечить качественно новый уровень системной надежности.

Одним из важнейших нормируемых показателей качества электроэнергии является напряжение в контрольных точках сети и в точках подключения потребителей. [33]

Оптимизация режима выполняется для выбора напряжения в узлах-источниках и коэффициентов трансформации трансформаторов, имеющих РПН.

Обычно эти устройства используют для поддержания напряжений в заданных пределах:

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad (6.1)$$

Для осуществления вышеупомянутых условий в процессе оптимизации по напряжению необходимо выполнение условий, касаемых коэффициента трансформации силового трансформатора, оборудованного РПН:

$$k_i^{Tmin} \leq k_i^T \leq k_i^{Tmax} \quad (6.2)$$

Для проведения оптимизации в исходных данных указываются регулируемые трансформаторы. Узлы считаются контролируруемыми по напряжению, если в них задано  $U_{min} \leq U \leq U_{max}$ . В таких узлах расчетное напряжение в заданных пределах путем регулирования отпаек трансформации.

Для осуществления процесса оптимизации регулирования напряжения трансформатора, необходимо внедрение системы автоматического регулирования напряжения трансформатора.

Автоматическое регулирование напряжения трансформаторов (АРНТ) используется для поддержания напряжений в узловых точках электрической системы в заданных пределах, которое осуществляется для обеспечения технически допустимых условий работы потребителей электрической энергии и собственно системы, а также для повышения экономичности их работы. [13]

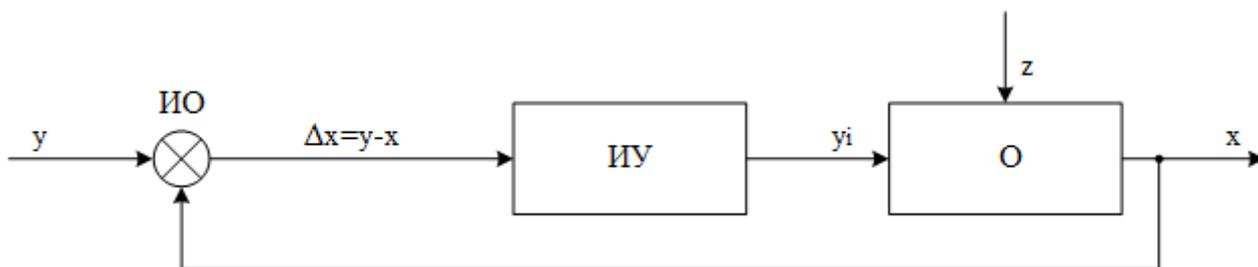


Рисунок 6.1 – Алгоритм работы системы АРНТ

При получении возмущающего воздействия  $z$  (изменение величины напряжения трансформатора) изменяется режим объекта регулирования  $O$ , в результате изменения  $z$  меняется параметр  $x$  (напряжение на шинах ПС), которая контролируется измерительным органом  $ИО$  регулятора. Возмущающее воздействие не измеряется непосредственно измерительным органом, однако оно отражается на контролируемой величине  $x$ , которая в  $ИО$  сравнивается с установкой автоматического регулятора. Если между сравниваемыми величинами возникает рассогласование, то на выходе  $ИО$  появляется сигнал, который поступает на исполнительное устройство  $ИУ$ , воздействующее на объект регулирования для компенсации возникшего возмущения – регулирование отпаек в сторону уменьшения или увеличения. [17]

Каждое устройство АРНТ имеет следующие уставки, определяющие его способность к качественному автоматическому регулированию напряжения [21]:

- Напряжение поддержания – оптимальный уровень напряжения на шинах подстанции для большинства электроприемников или точек передачи электрической энергии. В некоторых АРНТ возможна установка нескольких уровней поддержания;
- Ширина зоны нечувствительности, если напряжение на шинах ПС находится в пределах зоны нечувствительности, то сигнал не поступает и регулирования напряжения не происходит;
- Уставки, осуществляющие блокировку управляющего воздействия при недопустимом отклонении определенных параметров;
- Временные уставки, определяющие задержку формирования управляющего сигнала и обеспечивающие регулирование чувствительности АРНТ к изменениям уровня напряжения.

От правильного определения вышеуказанных уставок во много зависит уровень напряжения на зажимах электроприемников, тем не менее, устройства АРНТ имеют следующие недостатки:

1. АРНТ осуществляет контроль напряжения только на шинах подстанции, не учитывая топологию сети в целом. Таким образом, на электрически близких ТП будут обеспечиваться нормативные требования, а на других удаленных нет;
2. При работе устройств АРНТ не учитывается ресурс работы РПН, что вызывает его быстрый износ.

Несмотря на упомянутые недостатки, устройства АРНТ имеют значительный ряд преимуществ:

1. Обеспечение требуемых уровней напряжения у потребителей в автоматическом режиме без участия человека;
2. Регулирование напряжения в любое время суток, в зависимости от параметров электрической сети;
3. Возможность включения в активно-адаптивную сеть;
4. Постоянный мониторинг уровня напряжения на шинах НН подстанций в режиме онлайн.

В работе рассмотрен процесс автоматизации регулирования коэффициента трансформации на основе регулятора напряжения микропроцессорного РНМ-1. [19]

Регулятор напряжения микропроцессорный РНМ-1 предназначен для управления электроприводами РПН при автоматическом регулировании коэффициента трансформации силовых трансформаторов. Подробная блок-схема алгоритма работы системы АРНТ на базе микропроцессорного регулятора напряжения РНМ-1 представлена на рисунке 6.2

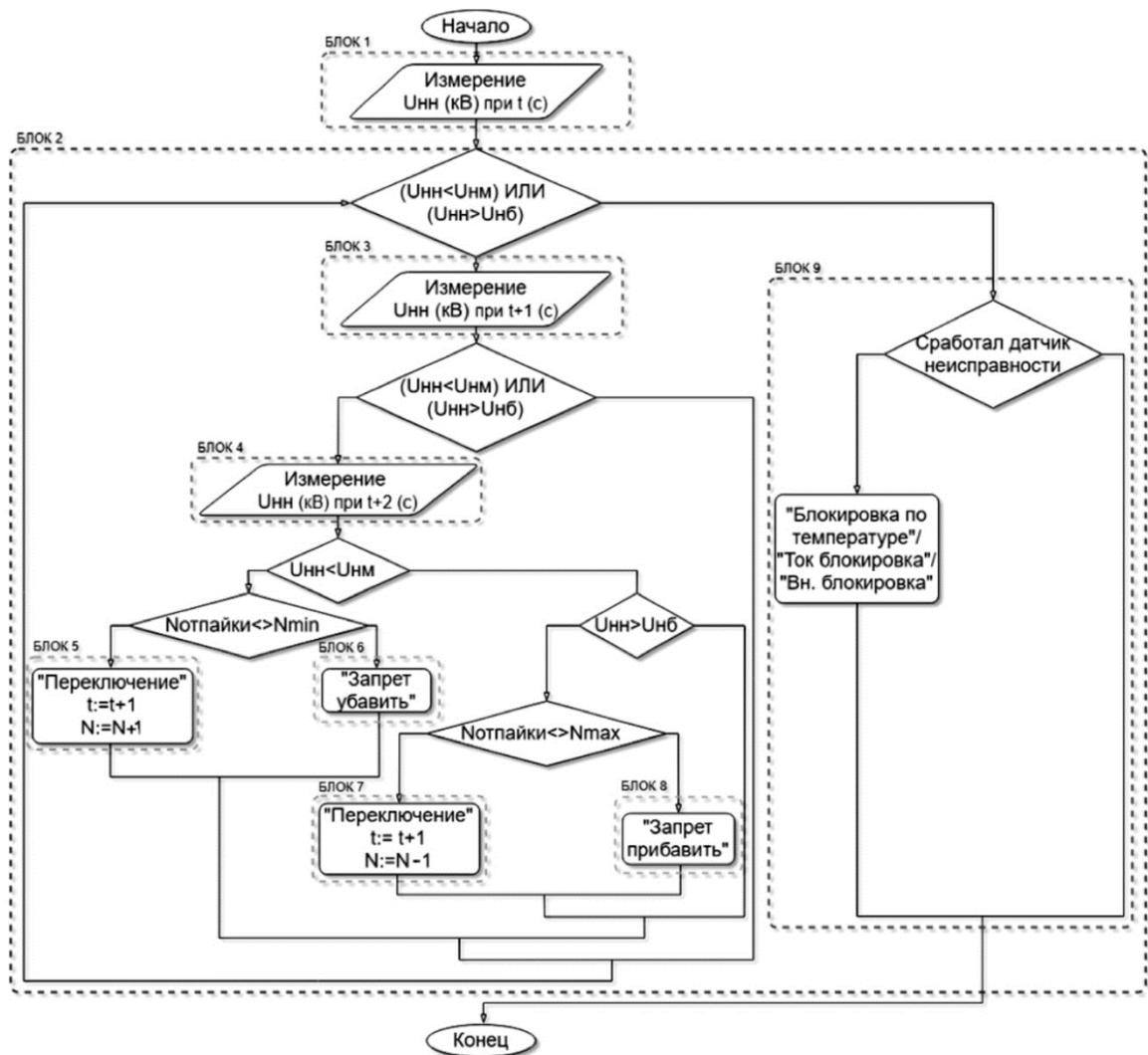


Рисунок 6.2 – Блок-схема алгоритма работы системы АРНТ

Изменение нагрузки приводит к изменению напряжения на шинах НН, которое измеряется измерительными трансформаторами напряжения. Сигналы с его вторичных обмоток поступают входными данными на модуль устройства РПН трансформатора (Блок 1)

Полученные аналоговые сигналы преобразуются в цифровую форму и обрабатываются микропроцессором (Блок 2), который выполняет действия в соответствии с прописанным алгоритмом. При выходе напряжения за зону нечувствительности происходит снятие измерений напряжения еще несколько секунд (Блок 3, Блок 4), ввиду выдержки времени работы автоматического регулятора устройства РПН. Если напряжение продолжает увеличиваться (уменьшаться) подается сигнал на переключающее устройство РПН и уставка переходит на другую позицию (Блок 5, Блок 7).

С помощью программного комплекса RastrWin3 удалось смоделировать процесс оптимизации регулирования напряжения. Условия оптимизации представлены в таблице 6.1 [4,7]

Таблица 6.1– Параметры оптимизации режима

Миним. Потерь по ветвям	Все
Участие ИРМ в регулир.	Нет
Регулирование ИРМ/ТРАНСФ.	ТРАНСФ.
Расчет анцапф	ДА
Максимальное число итераций	150
Число итераций для смены базиса	7
Штрафной коэффициент	90
Сдвиг предела по V	0,05
Множитель градиента по Kт	20
Число делений шага на итерации	3

Результаты оптимизации представлены в таблице 6.2

Таблица 6.2 – Оптимизация режимов работы по напряжению.

Режим	Узел	Наименование	U, кВ	Команда	Анцапфы
1	2	3	4	5	6
Начальный МАХ	24	СШ 1	10,53	УВЕЛИЧЕНИЕ	5
	25	СШ 2	10,87	УМЕНЬШЕНИЕ	5
МАХ 1	24	СШ 1	11,11	НОРМ	9
	25	СШ 2	10,23	НОРМ	3
MIN 1	24	СШ 1	11,55	УМЕНЬШЕНИЕ	9
	25	СШ 2	10,6	НОРМ	3
MIN 0,5	24	СШ 1	11,01	НОРМ	7
	25	СШ 2	10,48	НОРМ	3
МАХ 0,5	24	СШ 1	10,41	УВЕЛИЧЕНИЕ	7
	25	СШ 2	10,1	УВЕЛИЧЕНИЕ	3

Зоной нечувствительности для 1 СШ является диапазон  $11,01 \div 11,1$  кВ. Из таблицы видно, что напряжение на 1 СШ в начальном максимальном режиме составило 10,53 кВ, что недостаточно для обеспечения нормального уровня напряжения в узлах потребителей. Была подана команда на увеличение числа отпаек с целью повышения напряжения, в следствие чего напряжение составило 11,11 кВ и является нормальной величиной. При смене режима с максимального на минимальный, напряжение на 1 СШ составило 11,55 кВ, что выше зоны нечувствительности. Была подана команда на уменьшение числа отпаек, в следствие чего напряжение составило 11,01 кВ, что является нормальной величиной. При смене режима снова на максимальный, напряжение составило 10,1 кВ, что является недопустимым уровнем напряжения. Была подана команда на увеличение числа отпаек. Данный процесс цикличен и аналогичен представленному на рисунке (6.2).

Зоной нечувствительности для 2 СШ является диапазон  $10,23 \div 10,6$  кВ. На 2 СШ напряжение в начальном максимальном режиме составило 10,87 кВ. Был подан сигнал на уменьшение числа отпаек, в результате чего напряжение составило 10,23 кВ, что является нормальным значением в максимальном режиме с регулированием отпаек. При смене режима на минимальный,

напряжение на 2 СШ составило 10,6 кВ, что тоже является нормальным значением. При смене режима снова на максимальный, был подан сигнал на регулирование числа отпаяк в сторону увеличения, т.к. напряжение составило 10,1 кВ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрено применение устройств регулирования напряжения в распределительных сетях при совместной работе мощной резкопеременной нагрузки и коммунально-бытовой нагрузки.

Поставленная цель была достигнута путем решения следующих задач:

1) Произведен анализ методов и средств регулирования коэффициента трансформации силовых трансформаторов. Произведенный анализ показал, что целесообразно применение устройств РПН на трансформаторных подстанциях напряжением 35/10 кВ.

2) Произведен анализ характерных режимов работы участка распределительной сети, который показал необходимость внедрения методов регулирования напряжения.

3) Применена система автоматического регулирования напряжения трансформаторов для оптимизации уровней напряжения участка сети 35/10 кВ. С помощью системы АРНТ удалось автоматизировать процесс регулирования напряжения трансформаторов программной модели. Тем самым была обоснована актуальность внедрения подобных систем на силовых подстанциях.

Исследование по управлению коэффициентом трансформации силовых трансформаторов имеет большое практическое значение для эффективной работы распределительных сетей при совместной работе мощной резкопеременной нагрузки и коммунально-бытовой нагрузки. Использование устройств автоматического регулирования напряжения трансформаторов позволяет поддерживать стабильное напряжение в сети, предотвращая перенапряжения и снижая риск возникновения сбоев в работе электрооборудования. Одновременно с этим, управление коэффициентом трансформации силовых трансформаторов способствует оптимальному использованию энергии и повышению энергетической эффективности.

Результаты данной диссертационной работы могут быть полезны для специалистов в области энергетики и электроснабжения, а также могут быть использованы при проектировании и эксплуатации распределительных сетей.

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

ГОСТ – государственный стандарт

УР – угольный разрез

РПН – регулирование под нагрузкой

ПБВ – переключение без возбуждения

АРНТ – автоматическое регулирование напряжения трансформации

КТ – коэффициент трансформации

БСК – батарея статических конденсаторов

КБ – конденсаторная батарея

ВН – высшее напряжение

НН – низшее напряжение

КЭ – качество электроэнергии

ЛЭП – линия электропередачи

ПКЭ – показатели качества электроэнергии

ПС – подстанция

СШ – секция шин

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Качество электрической энергии: современное состояние, проблемы и предложения по их решению / Л.И. Коверникова, В.В. Суднова, Р.Г. Шамонов и др.; отв. Ред. Н.И. Воропай. – Новосибирск: Наука, 2017. – 219 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 25.03.2013. – Москва.: Стандартинформ, 2013. – 20 с.
3. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. – Взамен документа «Схемы принципиальные электрические ОРУ от 20.12.2007 №441» Введ.20.12.2007. – ОАО «ФСК ЕЭС». – 132 с.
4. Программный комплекс «RastrWin3» - Руководство пользователя // Неуймин В.Г., 2019 г. – 324 с.
5. Исмоилов С.Т. Регулирование напряжения на подстанциях распределительной электрической сети с контролем режима прилегающего района. Новосибирский государственный университет – 132 с.
6. Волошкин М.М. Управление коэффициентом силовых трансформаторов / Записки Горного института – 2017 г., 3с.
7. Неуймин В.Г. Комплекс Rastr. Версия 3.4 // Учебное пособие., 1999г. - 93 с.
8. Непша Ф.С. Особенности применения устройства автоматического регулирования напряжения трансформаторов в распределительных сетях 35-110 кВ / Кузбасский государственный технический университет. – 7 с.
9. Шеметов А.Н. Надежность электроснабжения: учебное пособие для студентов специальности 140211 «Электроснабжение». – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006.
10. Отклонения напряжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpiks.org/9-35018.html>
11. Назначение и принцип действия РПН и ПБВ трансформатора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lider-energo.ru/articles/rpn-i-pbv-transformatora-naznachenie-i-princzip-dejstviya>
12. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html>.
13. Жмак Е.И. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах на основе нечеткой логики // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2004 г. 24 с.
14. Передача и распределение электрической энергии / Герасименко А.А.,

- Федин В.Т. – Изд. 2-е. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 715, [2] с. – (Высшее образование).
15. Костин В. Н., Распопов Е. В., Родченко Е. А.. Передача и распределение электроэнергии: Учеб. Пособие. – СПб.: СЗТУ, 2003 – 147 с.
  16. Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Шарыгин А.В.. Алгоритмы и математические модели автоматического изменения уставок РПН в режиме ONLINE / Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск 2016. – 5 с.
  17. Регулятор напряжения трансформаторов АРТ-1М / Бессмертнов В.Б., под ред. Широкова В.А. М.: Рижский опытный завод «Энергоавтоматика», 1988. 29 с
  18. Воротницкий В. Э., Жежеленко И. В., Трофимов Г. Г.. Повышение энергетической эффективности электрических сетей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energy.s-kon.ru/v-e-vorotnitskii-i-v-jejenko-g-g-trofimov-povishenie-energeticheskoi-effektivnosti-elektricheskikh-tsepei/>
  19. Регулятор напряжения трансформатора микропроцессорный «РНМ-1». Техническое описание, руководство по эксплуатации, паспорт. М.: ЗАО «Радиус Автоматика», 2003. 46 с
  20. Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Шарыгин А.В. Двухуровневая автоматическая стабилизация уровня напряжения в электротехническом комплексе предприятия. // Газовая промышленность. – 2014. – № 701. – С. 77-78.
  21. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть — новое качество ЕЭС России. //Журнал «Энергоэксперт». — 2009 — № 4 — с. 28—34
  22. Веников В.А. Электрические системы. М.: Высшая школа, 1973. — 320 с.
  23. Регулирование напряжения трансформатора. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/elstipod/1953-regulirovanie-naprjazhenija.html>
  24. Трансформаторы с ПБВ и РПН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studopedia.ru/6\\_153429\\_transformatori-s-pbv-i-rpn.html](https://studopedia.ru/6_153429_transformatori-s-pbv-i-rpn.html)
  25. Кузнецов М. И. / Основы электротехники. – 5-е изд. перераб. – Москва: Трудрезервиздат, 1957. – 424 с.
  26. Глущенко П.В.. Активно-адаптивные электросети: интеллектуальный мультиагентный диагностико-прогнозирующий комплекс и интеллектуальный алгоритм мультиагента решений диагностического мониторинга // Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2015 г., 15 с.
  27. Дорофеев В.В., Макаров А.А.. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России // Сборник научных статей ЭНЕРГОЭКСПЕРТ №4, 2009 г., 8 с.
  28. Трухин Д.С. Управление коэффициентом трансформации силовых трансформаторов // Материалы XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Проспект Свободный – 2023, 2023 г., с. 452-454.
  29. Абрамович Б.Н., Шевчук А.П., Тарасов Д.М. Устройство управления

- режимом напряжения в электрических сетях предприятий сырьевого комплекса // Санкт-Петербургский государственный горный университет, 2012 г., 4 с.
30. Насыров Р.Р., Тульский В.Н. Разработка способа управления средствами регулирования напряжения в распределительных сетях 6-10(20)/0,38 кВ // Сборник тезисов XVI Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». – М.: МЭИ, 2010 г.
31. Ф.С. Непша, А.А. Шевченко, В.В. Дабаров Оценка эффективности оптимизации положений устройств встречного регулирования напряжения на примере сетей филиала ОПО «МРСК Сибири» - «Кузбассэнерго – РЭС» // Кузбасский государственный технический университет, 2015 г., 4 с.
32. Д.С. Безбородов, Э.В. Кретов Улучшение качества электроэнергии путем регулирования напряжения в электрических сетях // Сборник научных статей «Вестник магистратуры», 2020 г., 2 с.
33. М.О. Балаев, В.В. Власюк, С.В. Алешин, Г.А. Кардашев Анализ поведения системы активно-адаптивного управления напряжением при нештатных ситуациях // Московский государственный машиностроительный университет, 2016 г., 7 с.

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

Политехнический институт  
институт

Электроэнергетики  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

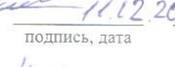
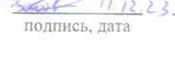
 В.И. Пантелеев  
инициалы, фамилия  
« 19 » 12 2023 г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Управление коэффициентом трансформации силовых трансформаторов.  
наименование темы

13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»  
код и наименование направления

13.04.02.09 «Автоматизация энергетических систем»  
код и наименование магистерской программы

Руководитель	 подпись, дата	доц. каф ЭМиАТ, к.т.н. должность, ученая степень	<u>Е. В. Платонова</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата		<u>Д. С. Трухин</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 подпись, дата	начальник ОБиАП должность, ученая степень	<u>С. Н. Сигаев</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 подпись, дата	доц. каф ЭМиАТ, к.т.н. должность, ученая степень	<u>А. В. Коловский</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2023