

## Реферат

Выпускная квалификационная работа страницы 82, рис. 7, табл. 15, 23 источников, 7 приложений.

**Ключевые слова:** подстанция, воздушная линия электропередачи, установившийся режим, ремонтный режим, батарея статических конденсаторов.

**Ключевые слова на английском языке:** substation, power line, steady-state regime, repairing process, battery of static capacitors.

Объектом исследования является энергорайона Кузбасской энергосистемы, запитанный от ПС 500 кВ Новокузнецкая.

**Цель работы:** выбор мероприятия по регулированию напряжения в энергорайоне, запитанном от ПС 500 кВ Новокузнецкая.

В ходе работы были проведены расчеты установившегося и ремонтного режимов в исследуемом энергорайоне. Рассмотрены компенсирующие устройства и произведен выбор батареи статических конденсаторов для регулирования напряжения.

|           |            |          |       |      |                      |                        |      |        |
|-----------|------------|----------|-------|------|----------------------|------------------------|------|--------|
|           |            |          |       |      | ФЮРА.13.03.02.004 ПЗ |                        |      |        |
| Изм       | Лист       | № докум. | Подп. | Дата | РЕФЕРАТ              | Лит.                   | Лист | Листов |
| Разраб.   | Гашков А.Г |          |       |      |                      |                        | 11   | 82     |
| Руков.    | Бацева Н.Л |          |       |      |                      |                        |      |        |
|           |            |          |       |      |                      |                        |      |        |
| Н. контр. | Бацева Н.Л |          |       |      |                      |                        |      |        |
|           |            |          |       |      |                      | ТПУ ИнЭО<br>Гр. 3-5A12 |      |        |

## Содержание

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ведение.....                                                                                                        | 17 |
| 1 Раздел 1 Описание исследуемого энергорайона. Сбор исходных данных.....                                            | 18 |
| 2 Раздел 2 Расчет и анализ установившегося и ремонтных режимов....                                                  | 23 |
| 2.1 Описание программного комплекса по расчету и анализу режимов.....                                               | 24 |
| 2.1.1 Ввод исходных данных по схеме сети.....                                                                       | 24 |
| 2.1.2 Контроль исходной информации.....                                                                             | 27 |
| 2.2 Расчет и анализ установившегося режима.....                                                                     | 27 |
| 2.2.1 Расчет и анализ установившегося режима исследуемого энергорайона.....                                         | 28 |
| 2.2.2 Расчет и анализ ремонтного режима.....                                                                        | 29 |
| 2.3 Сведения о компенсирующих устройствах, используемых для повышения напряжения в электрических сетях 110 кВ ..... | 29 |
| 2.3.1 Синхронные компенсаторы в режиме перевозбуждения.                                                             | 30 |
| 2.3.2 Батареи статических конденсаторов.....                                                                        | 32 |
| 2.3.3 Статический тиристорный компенсатор.....                                                                      | 33 |
| 2.4 Расчет и анализ ремонтного режима после установки компенсирующих устройств.....                                 | 34 |
| 3 Раздел 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....                                     | 37 |
| 3.1 Планирование научно-исследовательских работ.....                                                                | 37 |

|           |            |          |       |      |                      |                        |      |        |
|-----------|------------|----------|-------|------|----------------------|------------------------|------|--------|
|           |            |          |       |      | ФЮРА.13.03.02.004 ПЗ |                        |      |        |
| Изм       | Лист       | № докум. | Подп. | Дата | СОДЕРЖАНИЕ           | Лит.                   | Лист | Листов |
| Разраб.   | Гашков А.Г |          |       |      |                      |                        | 14   | 82     |
| Руков.    | Бацева Н.Л |          |       |      |                      |                        |      |        |
|           |            |          |       |      |                      |                        |      |        |
| Н. контр. | Бацева Н.Л |          |       |      |                      |                        |      |        |
|           |            |          |       |      |                      | ТПУ ИнЭО<br>Гр. 3-5А12 |      |        |

|       |                                                              |    |
|-------|--------------------------------------------------------------|----|
| 3.2   | Структура работ в рамках научного исследования.....          | 37 |
| 3.3   | Разработка графика проведения проектирования.....            | 40 |
| 3.4   | Материальные затраты.....                                    | 43 |
| 3.5   | Затраты на оплату труда.....                                 | 43 |
| 3.6   | Отчисление в социальные фонды.....                           | 45 |
| 3.7   | Смета затрат на оборудование.....                            | 47 |
| 4     | Социальная ответственность.....                              | 49 |
| 4.1   | Производственная и экологическая безопасность.....           | 49 |
| 4.1.1 | Анализ опасных и вредных производственных факторов.....      | 50 |
| 4.2   | Техника безопасности.....                                    | 50 |
| 4.3   | Производственная санитария.....                              | 52 |
| 4.3.1 | Микроклимат.....                                             | 53 |
| 4.3.2 | Шумы и мероприятия по их снижению и его<br>нормирование..... | 53 |
| 4.3.3 | Освещение на рабочем месте.....                              | 54 |
| 4.3.4 | Требования к клавиатуре.....                                 | 54 |
| 4.3.5 | Требования к монитору.....                                   | 55 |
| 4.4   | Электромагнитное излучение.....                              | 56 |
| 4.5   | Пожарная безопасность.....                                   | 57 |
| 4.6   | Охрана окружающей среды.....                                 | 58 |
| 4.7   | Чрезвычайные ситуации.....                                   | 59 |
| 4.8   | Расчет уровня шума.....                                      | 61 |
|       | Заключение.....                                              | 64 |
|       | Список литературы.....                                       | 66 |
|       | Приложение 1 - Принципиальная схема Кузбасской ЭС.....       | 68 |
|       | Приложение 2 - Схема замещения Кузбасской ЭС.....            | 69 |
|       | Приложение 3 - Расчетные данные установившегося режима.....  | 70 |
|       | Приложение 4 - Графика нормального установившегося           | 73 |

режима.....

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Приложение 5 - Расчетные данные ремонтного режима при отключении ВЛ 220 кВ-Новокузнецкая- Опорная9.....                            | 74 |
| Приложение 6 - Графика ремонтного режима при отключении ВЛ 220 кВ Новокузнецкая – Опорная-9.....                                   | 77 |
| Приложение 7 - Расчетные данные по узлам ремонтного режима при отключении ВЛ 220 кВ Новокузнецкая – Опорная-9 и установки БСК..... | 78 |
| Приложение 8 - Графика ремонтного режима при отключении ВЛ 220 кВ Новокузнецкая – Опорная-9 и установки БСК.....                   | 82 |

## Введение

Существует три основных критерия функционирования электроэнергетических систем: надежность электроснабжения; качество электрической энергии; экономическая эффективность [23, с. 256].

Данные критерии должны соблюдаться не только в нормальных установившихся режимах, но и в режимах, когда электроустановка, например, линия или трансформатор выводится в плановый ремонт.

Показатели качества электрической энергии нормируются в [6, с. 25], где внимание уделяется и показателям качества по напряжению. Ввод напряжений в узлах электрической сети в диапазон нормируемых значений (процесс регулирования напряжения) может быть достигнут различными способами: изменением располагаемого диапазона регулирования реактивной мощности источников, например, генераторов электростанций; трансформаторами с регулированием напряжения под нагрузкой и с переключением без возбуждения; компенсирующими устройствами.

Для того чтобы выбрать наиболее подходящий способ регулирования напряжения необходимо моделирование и анализ режимов электрических сетей энергосистем в современных программных комплексах по расчету режимов энергосистем, которые позволяют выявить узлы электрической сети с напряжениями, выходящими за область допустимых значений, оценить изменение значения напряжения в узлах после проведения мероприятий по регулированию напряжения, выбрать мероприятие, наиболее подходящее с точки зрения технической и экономической эффективности.

Цель настоящей выпускной квалификационной работы заключается в выборе мероприятия по регулированию напряжения в энергорайоне, запитанном от ПС 500 кВ Новокузнецкая.

|           |            |          |       |      |                      |                        |      |        |
|-----------|------------|----------|-------|------|----------------------|------------------------|------|--------|
|           |            |          |       |      | ФЮРА.13.03.02.004 ПЗ |                        |      |        |
| Изм       | Лист       | № докум. | Подп. | Дата | ВВЕДЕНИЕ             | Лит.                   | Лист | Листов |
| Разраб.   | Гашков А.Г |          |       |      |                      |                        | 17   | 82     |
| Руков.    | Бацева Н.Л |          |       |      |                      |                        |      |        |
|           |            |          |       |      |                      |                        |      |        |
| Н. контр. | Бацева Н.Л |          |       |      |                      |                        |      |        |
|           |            |          |       |      |                      | ТПУ ИнЭО<br>Гр. 3-5А12 |      |        |

## РАЗДЕЛ 1 ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМОГО ЭНЕРГОРАЙОНА. СБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Рассматриваемый в выпускной квалификационной работе энергорайон является частью Кузбасской энергосистемы, находится в ведении Кузбасского районного диспетчерского управления (Кузбасское РДУ).

Принципиальная схема и схема замещения энергорайона приведены в Приложениях 1 и 2 соответственно.

При расчете электрических режимов за базисный узел была принята подстанция (ПС) 500 кВ Новокузнецкая.

В табл. 1.1 – 1.6 приведены исходные данные по трансформаторам и автотрансформаторам (АТ), воздушным линиям электропередачи (ВЛ), электрическим нагрузкам и перетокам мощностей, количеству трансформаторов, реакторов на ПС 500 кВ Новокузнецкая.

|           |            |          |       |      |                                                                |                        |      |        |
|-----------|------------|----------|-------|------|----------------------------------------------------------------|------------------------|------|--------|
|           |            |          |       |      | ФЮРА.13.03.02.004 ПЗ                                           |                        |      |        |
| Изм       | Лист       | № докум. | Подп. | Дата | ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМОГО<br>ЭНЕРГОРАЙОНА. СБОР<br>ИСХОДНЫХ ДАННЫХ | Лит.                   | Лист | Листов |
| Разраб.   | Гашков А.Г |          |       |      |                                                                |                        | 18   | 82     |
| Руков.    | Бацева Н.Л |          |       |      |                                                                |                        |      |        |
|           |            |          |       |      |                                                                | ТПУ ИнЭО<br>Гр. 3-5А12 |      |        |
| Н. контр. | Бацева Н.Л |          |       |      |                                                                |                        |      |        |

Таблица 1.1 - Каталожные данные трансформаторов и автотрансформаторов

| Тип                   | $S_{\text{ном}}$ | Пределы регулирования | $U_{\text{нобм}}, \text{кВ}$ |                |                 | $R_{\text{T}}, \text{Ом}$ |      |     | $X_{\text{T}}, \text{Ом}$ |    |      |
|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------------------|----------------|-----------------|---------------------------|------|-----|---------------------------|----|------|
|                       | МВА              |                       | ВН                           | СН             | НН              | ВН                        | СН   | НН  | ВН                        | СН | НН   |
| АТДЦТН-200000/220/110 | 200              | $\pm 6 \times 12 \%$  | 230                          | 121            | —               | 0,3                       | 0,3  | 0,6 | 30,4                      | 0  | 54,2 |
| АТДЦТН-125000/220/110 | 125              | $\pm 6 \times 12 \%$  | 230                          | 121            | 11              | 0,52                      | 0,52 | 3,2 | 49                        | 0  | 131  |
| ТДТНЖ-40000/115/6,3   | 40               | $\pm 8 \times 12 \%$  | 115                          | 35,5           | 6,6             | 0,9                       | 0,9  | 0,9 | 35,5                      | 0  | 20,7 |
| ТРДЦН-160000/230/11   | 160              | $\pm 8 \times 12 \%$  | 20                           |                | 35              | 1,08                      |      |     | 44,9                      |    |      |
| АОДЦТН-267000/500/230 | 267              | $\pm 8 \times 12 \%$  | $500/\sqrt{3}$               | $230/\sqrt{3}$ | $38,5/\sqrt{3}$ | 0,28                      | 0,28 | 0,9 | 39,8                      | 0  | 75,6 |

Таблица 1.2. - Параметры ВЛ

| Наименование ВЛ          | Марка провода | Длина $L$ , км | $R$ , Ом | $X$ , Ом | $B$ , мкСм | $r_0$ , Ом/км | $x_0$ , Ом/км | $b_0$ , мкСм/км |
|--------------------------|---------------|----------------|----------|----------|------------|---------------|---------------|-----------------|
| Новокузнецкая-СШГЭС      | АСО-300*3     | 447,5          | 12,9775  | 137,83   | 1612,79    | 0,029         | 0,308         | 3,604           |
|                          | АСО-300*3     | 447,2          | 12,9688  | 137,738  | 1611,709   | 0,029         | 0,308         | 3,604           |
| Новокузнецкая-Кузбасская | АСО-400*3     | 88,6           | 2,15298  | 27,1116  | 320,9978   | 0,024         | 0,306         | 3,623           |

| Наименование ВЛ                | Марка<br>провода | Длина $L$ ,<br>км | $R$ , Ом | $X$ , Ом | $B$ , мкСм | $r_0$ , Ом/к<br>м | $x_0$ ,<br>Ом/км | $b_0$ ,<br>мкСм/км |
|--------------------------------|------------------|-------------------|----------|----------|------------|-------------------|------------------|--------------------|
| Новокузнецкая-<br>Барнаульская | АСО-300*3        | 256,7             | 7,4443   | 79,0636  | 925,1468   | 0,029             | 0,308            | 3,604              |
| Новокузнецкая-КМК -1           | АСО-500          | 27,7              | 1,6343   | 11,4401  | 75,898     | 0,059             | 0,413            | 2,74               |
|                                | АСО-500          | 29,6              | 1,7464   | 12,2248  | 81,104     | 0,059             | 0,413            | 2,74               |
| КМК-1-Опорная 9                | АСО-500          | 0,9               | 0,0531   | 0,3717   | 2,466      | 0,059             | 0,413            | 2,74               |
| КМК-1-Северный Маганак         | АС-240           | 22                | 2,596    | 8,91     | 61,776     | 0,118             | 0,405            | 2,808              |
| КМК-1-Ширпотреб                | АС-300           | 4,5               | 0,432    | 1,9305   | 11,9025    | 0,096             | 0,429            | 2,645              |
| Ширпотреб-ТЭЦ КМК              | АС-300           | 4,2               | 0,4032   | 1,8018   | 11,109     | 0,096             | 0,429            | 2,645              |
| КМК-1-Опорная 3                | АС-240           | 2,7               | 0,3186   | 1,0935   | 7,5816     | 0,118             | 0,405            | 2,808              |
| КМК-1-Опорная 6                | АС-240           | 3,7               | 0,4366   | 1,4985   | 10,3896    | 0,118             | 0,405            | 2,808              |

Таблица 1.3. - Электрические нагрузки и притыкающие перетоки

| Наименование ПС       | $P_n$ , МВт | $Q_n$ , МВА |
|-----------------------|-------------|-------------|
| ПС Новокузнецкая -500 | 0,8         | 0,4         |
| ПС Кузбасская- 500    | 147         | 240         |
| Новокузнецкая 220 кВ  | 387,2       | 102,5       |
| Новокузнецкая 220 кВ  | 94,3        | 40,8        |
| КМК-1-220 кВ          | 80,1        | 43,7        |
| Опорная -3 6 кВ-2     | 34,9        | 17          |
| Опорная -3 6 кВ-1     | 34,9        | 17          |
| Опорная -6 6 кВ-2     | 34,9        | 17          |
| Опорная -6 6 кВ-1     | 34,9        | 17          |
| Опорная -6 110кВ-1    | 42,8        | 25,2        |
| Ширпотреб-10кВ-2      | 34,8        | 18,4        |
| Ширпотреб-10кВ-1      | 34,8        | 18,4        |
| ТЭЦ КМК               | 36,4        | 16,6        |

Таблица 1.4. - Количество трансформаторов и автотрансформаторов на ПС

| Тип трансформатора    | Количество | Подстанция       |
|-----------------------|------------|------------------|
| АТДЦТН-200000/220/110 | 3          | Северный Маганак |
| АТДЦТН-125000/220/110 | 2          | КМК-1            |
| ТДТНЖ-40000/115/6,3   | 2          | Опорная-3        |
|                       | 2          | Опорная-6        |
|                       | 2          | Ширпотреб        |
| ТРДЦН-160000/230/11   | 2          | Опорная-9        |
| АОДЦТН-267000/500/230 | 6          | Новокузнецкая    |

Таблица 1.5 – Параметры реакторов на ПС 500 кВ Новокузнецкая

| Наименование параметра РТУ- 180000/500 | Данные параметра |
|----------------------------------------|------------------|
| номинальная мощность                   | 180000 кВА       |

Продолжение таблицы 1.5

| Наименование параметра РТУ- 180000/500                          | Данные параметра  |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------|
| количество фаз                                                  | 3                 |
| частота                                                         | 50 Гц             |
| номинальное напряжение сетевой обмотки                          | 525 кВ            |
| номинальное напряжение обмотки управления                       | 35 кВ             |
| напряжение питания преобразователя                              | 0,4 кВ            |
| напряжение питания системы управления                           | 220 В             |
| диапазон изменения мощности                                     | 1800...180000 кВА |
| потребляемая мощность в форсированном режиме                    | 240...360 МВА     |
| диапазон уставки по напряжению                                  | 500...525 кВ      |
| диапазон уставки по току                                        | 2...198 А         |
| потери холостого хода                                           | 150 кВт           |
| потери короткого замыкания                                      | 750 кВт           |
| средние потери при коэффициенте графика заполнения нагрузки 0.7 | 450 кВт           |
| ток искажения фазы высшими гармониками не более                 | 4 А               |

## РАЗДЕЛ 2 РАСЧЕТ И АНАЛИЗ УСТАНОВИВШЕГОСЯ И РЕМОНТНЫХ РЕЖИМОВ

Режимом электроэнергетической системы (ЭЭС) называется некоторое состояние, определяемое значениями параметров режима – мощностей, напряжений, токов, частоты, характеризующих процесс преобразования, передачи и распределения мощности и энергии.

Режимы энергетической системы должны удовлетворять ряду требований: надежность режима работы; бесперебойность энергоснабжения потребителей; качество электроэнергии; экономичность.

Параметры режима работы могут быть разделены на параметры режима узловых точек (напряжение, частота, давление и температура пара, скорость вращения) и параметры режима ветвей (ток, активная и реактивная мощности).

Расчеты установившихся режимов (УР) электрических сетей осуществляются для определения напряжений в узлах электрической сети, а также для оценки распределения перетоков активной, реактивной мощностей и токов по элементам электрической сети. Определение этих параметров осуществляется для нормальной схемы электрической сети при различных уровнях электрических нагрузок, зависящих от времени года (зима/лето), дня (рабочий/выходной), времени суток (день/ночь). Такие режимы называются нормальными установившимися режимами.

Помимо анализа установившихся режимов часто требуется проанализировать и ремонтные режимы работы.

Ремонтный режим – рабочее состояние объекта, при котором часть его элементов находится в состоянии предупредительного или аварийного ремонта [6, с.5].

|           |            |          |       |      |                                                           |                        |      |        |
|-----------|------------|----------|-------|------|-----------------------------------------------------------|------------------------|------|--------|
|           |            |          |       |      | ФЮРА.13.03.02.004 ПЗ                                      |                        |      |        |
| Изм       | Лист       | № докум. | Подп. | Дата | РАСЧЕТ И АНАЛИЗ<br>УСТАНОВИВШЕГОСЯ И<br>РЕМОНТНЫХ РЕЖИМОВ | Лит.                   | Лист | Листов |
| Разраб.   | Гашков А.Г |          |       |      |                                                           |                        | 23   | 182    |
| Руков.    | Бацева Н.Л |          |       |      |                                                           |                        |      |        |
| Н. контр. | Бацева Н.Л |          |       |      |                                                           | ТПУ ИнЭО<br>Гр. 3-5А12 |      |        |
|           |            |          |       |      |                                                           |                        |      |        |

## **2.1 Описание программного комплекса по расчету и анализу режимов**

Программный комплекс (ПК) RastrWin3 предназначен для решения задач по расчету и оптимизации режимов электрических сетей энергосистем.

В Российской Федерации основными пользователями ПК являются

Системный оператор Единой Энергетической Системы (СО ЕЭС) и его филиалы, Федеральная Сетевая Компания (ФСК), МРСК, проектные и научно-исследовательские институты [2].

### **2.1.1 Ввод исходных данных по схеме сети**

Перед проведением расчетов в ПК необходимо подготовить исходные данные, а именно:

- Начертить принципиальную схему и схему замещения исследуемого района с указанием номеров узлов;
- Для каждого узла установить напряжение и нанести на схему;
- Для каждого узла нагрузки определить активную и реактивную мощность нагрузки;
- Для узлов с генераторами и компенсаторами определить активную мощность генерации, пределы регулирования реактивной мощности ( $Q_{\min}$ -  $Q_{\max}$ ) и модуль напряжения  $V_{зд}$ ;
- При наличии компенсирующих устройств определить их проводимость (в микросименсах) и нанести на схему;
- Для линий электропередачи (ЛЭП) рассчитать активное и реактивное сопротивления и проводимости. Если имеются несколько параллельных линий, то необходимо каждому из них присвоить номер параллельности.
- Для трансформаторов и автотрансформаторов определить активное и реактивное сопротивления, приведенные к стороне высокого напряжения, коэффициент трансформации;
- Выбрать балансирующий узел.

Ввод исходных данных по схеме рекомендуется начинать с данных по узлам. Минимальной информацией для каждого узла является его номер и номинальное напряжение. Для узлов нагрузки требуется дополнительно ввести активную и реактивную мощности нагрузки ( $P_{\text{н}}$ ,  $Q_{\text{н}}$ ). Для узлов с синхронными машинами необходимо задать область изменения реактивной мощности ( $Q_{\text{min}}$ ,  $Q_{\text{max}}$ ), в графе  $V_{\text{зд}}$  для этих узлов указать заданный модуль напряжения, который будет выдержан, если позволят пределы регулирования по реактивной мощности.

Вводимые по узлам параметры показаны на рис. 2.1.

Узлы

Ветви

Графика

|    | O                                   | S | Тип  | Номер | Название              | U_ном | N... | Район | P_н   | Q_н   | P_г   | Q_г   | V_зд  | Q_min    | Q_max   | В_ш     | V      | Delta  |
|----|-------------------------------------|---|------|-------|-----------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|---------|---------|--------|--------|
| 1  | <input type="checkbox"/>            |   | База | 1     | ПС Новокузнецкая-500  | 500   |      |       |       |       | 872,7 | 500,0 | 507,0 | -1 000,0 | 1 000,0 | 1 440,0 | 507,00 |        |
| 2  | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 2     | ПС Кузбасская-500     | 500   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |         | 507,11 | 0,00   |
| 3  | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 3     | ПС Барнаульская-500   | 500   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |         | 526,37 | -0,21  |
| 4  | <input checked="" type="checkbox"/> |   | Нагр | 4     | ГЭС Саяна-Шушенская   | 500   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |         |        |        |
| 5  | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 5     | ПС Новокзнецкая-220   | 220   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |         | 223,61 | -5,89  |
| 6  | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 6     | ГРЭС Беловская-220    | 220   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |         | 223,66 | -5,90  |
| 7  | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 7     | ПС Соколовская-220    | 220   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |         | 224,04 | -5,91  |
| 8  | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 8     | ПС Кузбасская-220     | 220   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |         | 223,75 | -5,90  |
| 9  | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 10    | НКАЗ-220              | 220   |      |       | 387,2 | 102,5 |       |       |       |          |         |         | 219,98 | -8,10  |
| 10 | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 11    | КМК-1-220             | 220   |      |       | 40,0  | 21,8  |       |       |       |          |         |         | 218,69 | -8,09  |
| 11 | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 12    | КМК-1-220             | 220   |      |       | 40,0  | 21,8  |       |       |       |          |         |         | 218,22 | -8,28  |
| 12 | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 13    | КМК-1-110             | 110   |      |       | 42,8  | 25,2  |       |       |       |          |         |         | 109,53 | -20,53 |
| 13 | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 14    | ПС Северный Маган...  | 110   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |         | 109,56 | -20,54 |
| 14 | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 15    | ПС Опорная-3-110      | 110   |      |       | 110,5 | 32,8  |       |       |       |          |         |         | 109,10 | -20,79 |
| 15 | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 16    | ПС Опорная-6-110      | 110   |      |       | 139,6 | 68,0  |       |       |       |          |         |         | 108,57 | -20,96 |
| 16 | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 17    | ПС Северный Маган...  | 110   |      |       | 50,5  | 23,3  |       |       |       |          |         |         | 103,78 | -24,35 |
| 17 | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 18    | ПС Ширпотреб-110      | 110   |      |       | 69,7  | 26,7  |       |       |       |          |         |         | 109,43 | -20,78 |
| 18 | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 19    | Центральная ТЭЦ 1...  | 110   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |         | 109,96 | -20,68 |
| 19 | <input type="checkbox"/>            |   | Нагр | 20    | Центральная ТЭЦ 1...  | 10    |      |       |       |       |       |       |       |          |         |         | 10,28  | -19,73 |
| 20 | <input type="checkbox"/>            |   | Ген+ | 21    | ТЭЦ ЦКК Генератор ... | 10    |      |       |       |       | 19,0  | 29,0  | 10,5  | -19,0    | 29,0    |         | 10,29  | -19,72 |

Рисунок 2.1. – Фрагмент ввода исходных данных по узлам

По рис. 2.1 слева направо: Состояние узла - отключен/включен; Район - номер района, к которому относится узел; Номер - номер узла;  $P_{\text{н}}$ ,  $Q_{\text{н}}$  - активная и реактивная мощность нагрузки;  $N_{\text{сxn}}$  - номер статической характеристики нагрузки; Название - название узла;  $P_{\text{г}}$ ,  $Q_{\text{г}}$  - активная и реактивная мощность генерации;  $Q_{\text{min}}$ ,  $Q_{\text{max}}$ ,  $V_{\text{зд}}$  - пределы генерации реактивной мощности и заданный модуль напряжения. В узле фиксируется модуль  $V_{\text{зд}}$ , если он не равен нулю и задано  $Q_{\text{min}} < Q_{\text{max}}$ ;  $U_{\text{ном}}$  - номинальное

напряжение;  $V$ , Delta- расчетный модуль и угол напряжения.  $G_{ш}$ ,  $B_{ш}$  - проводимость шунта на землю (ШР или БСК), мкСм. [2]

При вводе данных по ветвям задаются номера узлов, из которых состоит ветвь.

Разделение ветвей на ЛЭП и трансформаторы осуществляется ПК автоматически по значению, проставленному в поле  $K_{т/г}$  (коэффициент трансформации): для ЛЭП это поле остается пустым, для трансформаторов - обязательно к заполнению.

При вводе трансформаторных ветвей важен порядок задания номеров узлов. Первым (поле  $N_{нач}$ ) должен стоять номер узла, к напряжению которого приведено сопротивление, тогда вторым (поле  $N_{кон}$ ) будет номер узла низшего напряжения.

Вводимые по ветвям параметры показаны на рис. 2.2.

| Узлы X Ветви X Графика X |                                     |                                     |      |       |       |     |                             |      |       |        |       |       |       |      |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------|-------|-------|-----|-----------------------------|------|-------|--------|-------|-------|-------|------|
|                          | O                                   | S                                   | Тип  | N_нач | N_кон | N_п | Название                    | R    | X     | B      | Kт/г  | P_нач | Q_нач | dP   |
| 1                        | <input checked="" type="checkbox"/> |                                     | ЛЭП  | 1     | 2     |     | ПС Новокузнецкая-500 - ...  | 0,47 | 5,92  | -70,1  |       | 0     | 18    | 0,00 |
| 2                        | <input type="checkbox"/>            |                                     | ЛЭП  | 1     | 3     |     | ПС Новокузнецкая-500 - ...  | 7,47 | 79,31 | -928,0 |       | 0     | 243   | 0,45 |
| 3                        | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | Выкл | 1     | 4     |     | ПС Новокузнецкая-500 - ...  |      |       |        |       |       |       |      |
| 4                        | <input type="checkbox"/>            |                                     | Тр-р | 1     | 100   |     | ПС Новокузнецкая-500 - ...  | 1,05 | 57,50 |        | 1,000 | -436  | -196  | 0,93 |
| 5                        | <input type="checkbox"/>            |                                     | ЛЭП  | 5     | 6     |     | ПС Новокузнецкая-220 - Г... | 4,58 | 35,05 | -12,6  |       | 0     | 1     | 0,00 |
| 6                        | <input type="checkbox"/>            |                                     | ЛЭП  | 5     | 7     |     | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 3,43 | 24,04 | -159,5 |       | 0     | 8     | 0,00 |
| 7                        | <input type="checkbox"/>            |                                     | ЛЭП  | 5     | 8     | 1   | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 0,80 | 10,13 | -119,9 |       | 0     | 6     | 0,00 |
| 8                        | <input type="checkbox"/>            |                                     | Тр-р | 1     | 101   |     | ПС Новокузнецкая-500 - ...  | 1,05 | 57,50 |        | 1,000 | -436  | -196  | 0,93 |
| 9                        | <input type="checkbox"/>            |                                     | Тр-р | 100   | 5     |     | АТДЦТН-500000/500/220...    |      |       |        | 0,460 | -435  | -144  |      |
| 10                       | <input type="checkbox"/>            |                                     | Тр-р | 101   | 5     |     | АТДЦТН-500000/500/220...    |      |       |        | 0,460 | -435  | -144  |      |
| 11                       | <input type="checkbox"/>            |                                     | ЛЭП  | 5     | 8     | 2   | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 0,80 | 10,13 | -119,9 |       | 0     | 6     | 0,00 |
| 12                       | <input type="checkbox"/>            |                                     | ЛЭП  | 5     | 10    | 1   | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 2,17 | 15,20 | -100,8 |       | -130  | -35   | 0,79 |
| 13                       | <input type="checkbox"/>            |                                     | ЛЭП  | 5     | 10    | 2   | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 2,17 | 15,20 | -100,8 |       | -130  | -35   | 0,79 |
| 14                       | <input type="checkbox"/>            |                                     | ЛЭП  | 5     | 10    | 3   | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 2,16 | 15,16 | -100,6 |       | -130  | -35   | 0,79 |
| 15                       | <input type="checkbox"/>            |                                     | ЛЭП  | 5     | 11    |     | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 1,18 | 8,26  | -54,8  |       | -242  | -102  | 1,63 |
| 16                       | <input type="checkbox"/>            |                                     | ЛЭП  | 5     | 12    |     | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 1,30 | 9,09  | -60,3  |       | -239  | -102  | 1,76 |
| 17                       | <input type="checkbox"/>            |                                     | Тр-р | 11    | 102   |     | КМК-1-220 - АТДЦТН-12...    | 0,52 | 48,60 |        | 1,000 | -200  | -73   | 0,49 |
| 18                       | <input type="checkbox"/>            |                                     | Тр-р | 12    | 103   |     | КМК-1-220 - АТДЦТН-12...    | 0,52 | 48,60 |        | 1,000 | -197  | -70   | 0,48 |
| 19                       | <input type="checkbox"/>            |                                     | Тр-р | 102   | 13    |     | АТДЦТН-125000/220/110...    |      |       |        | 0,530 | -200  | -77   |      |
| 20                       | <input type="checkbox"/>            |                                     | Тр-р | 103   | 13    |     | АТДЦТН-125000/220/110...    |      |       |        | 0,530 | -196  | -76   |      |

Рисунок 2.2 – Фрагмент ввода исходных данных по ветвям

По рис. 2.2 слева направо:  $N_{кон}$ ,  $N_{нач}$  - номера узлов, ограничивающих ветвь;  $N_п$  - номер ветви в группе параллельных;  $R$ ,  $X$  - активное и реактивное сопротивления;  $G$ ,  $B$  - проводимости;  $K_{т/г}$ ,  $K_{т/i}$  - вещественная и

мнимая составляющие коэффициента трансформации для большинства трансформаторов коэффициент трансформации совпадает с его вещественной частью (при отсутствии поперечного регулирования);  $I_{\max}$  – максимальный ток по элементу. [3, с. 15]

### 2.1.2 Контроль исходной информации

Контроль исходной информации необходим для проверки введенных данных. Его необходимо выполнять перед расчетом режима, а после прохождения контроля можно производить сам расчет.

Контролю исходных данных выявляет: изолированные узлы; наличие фрагментов сети, несвязанных с балансирующим узлом; наличие ветвей, у которых отсутствует информация об узлах (или хотя бы об одном узле), ограничивающих эти ветви; соответствие коэффициента трансформации номинальным напряжениям узлов, ограничивающих трансформаторную ветвь.

Следует обращать внимание на выдаваемый ПК протокол и при наличии ошибок, устранять их.

### 2.2 Расчет и анализ установившегося режима

Для выполнения расчета УР необходимо перейти в меню «Расчет» и выбрать команду «Режим». В процессе расчета в протоколе выдается таблица сходимости, в которой отображаются величины, характеризующие итерационный процесс метода Ньютона (рис. 2.3).

| Протокол                                     |          |       |      |    |      |      |      |      |      |       |        |       |
|----------------------------------------------|----------|-------|------|----|------|------|------|------|------|-------|--------|-------|
| Контроль исходных данных                     |          |       |      |    |      |      |      |      |      |       |        |       |
| Расчет установившегося режима. Сообщений - 6 |          |       |      |    |      |      |      |      |      |       |        |       |
| Ит                                           | Мах.неб. |       | Узлы |    | >V   | Узел | <V   | Узел | Угол | Линия | Rk     | Шаг   |
| 0                                            | 0.0      | 50.4  | 41   | 21 | 1.14 | 15   | 1.00 | 5    | 8.3  | 36-39 | 0.00   | 1.000 |
| 1                                            | 5.3      | 75.4  | 20   | 20 | 1.14 | 15   | 1.00 | 5    | 8.3  | 22-24 | 0.86   | 1.000 |
| 2                                            | 1.6      | 4.9   | 20   | 20 | 1.11 | 15   | 0.97 | 39   | 9.6  | 36-39 | 14.07  | 1.000 |
| 3                                            | 1.0      | 0.0   | 42   | 20 | 1.11 | 15   | 0.96 | 39   | 10.0 | 36-39 | 62.12  | 1.000 |
| 4                                            | 2.5      | 513.2 | 41   | 41 | 1.12 | 15   | 1.00 | 5    | 9.1  | 22-24 | 0.00   | 1.000 |
| 5                                            | 0.0      | 0.9   | 41   | 41 | 1.12 | 15   | 1.00 | 5    | 9.2  | 22-24 | 549.14 | 1.000 |

Рисунок 2.3 – Вывод результатов расчета установившегося режима в протоколе

По рис. 2.3 слева направо: Ит - номер итерации; Мах.неб. - значение и номер узла для максимального небаланса мощности; > V -

максимальная величина и номер узла для превышения напряжения по отношению к номинальному -  $(V/V_{\text{ном}})_{\text{max}}$ ;  $<V$ - то же самое для снижения напряжения по отношению к номинальному; Угол - значение и номер линии для максимального разворота угла (в градусах). Для анализа режима в ПК существуют различные формы представления результатов. Все они сосредоточены в меню «Открыть». Основная форма «Узлы + Ветви», имеющая вид, показанный на рис. 2.4.

|    | Номер | Название              | V      | Delta | P_н  | Q_н  | P_г   | Q_г   | V_зд  | Q_min    | Q_max   | Q_ш |
|----|-------|-----------------------|--------|-------|------|------|-------|-------|-------|----------|---------|-----|
| 1  | 1     | ПС Новокузнецкая-500  | 507,00 |       |      |      | 875,0 | 410,4 | 507,0 | -1 000,0 | 1 000,0 | 370 |
| 2  | 2     | ПС Кузбасская-500     | 507,1  | 0,0   | 0    | 18   | 0,00  | 0,00  | 21    |          | -18,02  |     |
| 3  | 3     | ПС Барнаульская-500   | 526,4  | -0,2  | 0    | 243  | 0,45  | 4,73  | 277   |          | -247,84 |     |
| 4  | 4     | ГЭС Саяна-Шушенская   |        |       |      |      |       |       |       |          |         |     |
| 5  | 100   | АТДЦТН-500000/500/220 | 491,5  | -5,8  | -437 | -151 | 0,87  | 47,86 | 527   |          |         |     |
| 6  | 101   | АТДЦТН-500000/500/220 | 491,5  | -5,8  | -437 | -151 | 0,87  | 47,86 | 527   |          |         |     |
| 7  | 2     | ПС Кузбасская-500     | 507,11 | 0,00  |      |      |       |       |       |          |         |     |
| 8  | 1     | ПС Новокузнецкая-500  | 507,0  | 0,0   | 0    | 0    | 0,00  | 0,00  | 0     |          | -18,02  |     |
| 9  | 3     | ПС Барнаульская-500   | 526,37 | -0,21 |      |      |       |       |       |          |         |     |
| 10 | 1     | ПС Новокузнецкая-500  | 507,0  | 0,2   | 0    | 0    | 0,45  | 4,73  | 0     |          | -247,84 |     |
| 11 | 4     | ГЭС Саяна-Шушенская   |        |       |      |      |       |       |       |          |         |     |
| 12 | 1     | ПС Новокузнецкая-500  |        |       |      |      |       |       |       |          |         |     |
| 13 | 5     | ПС Новокузнецкая-220  | 225,99 | -5,86 |      |      |       |       |       |          |         |     |

Рисунок 2.4 – Таблица «Узлы + Ветви»

При расчете режима возможна ситуация, когда режим не балансируется (аварийное окончание расчета). Это может возникнуть в двух случаях: либо установившийся режим не существует, либо режим существует, но итерационный процесс расчета расходится.

В последнем случае расхождение итерационного процесса обычно связано с неточным начальным приближением модулей и углов напряжений. Такое начальное приближение может возникнуть, если расчет режима завершился аварийно, но после коррекции исходных данных он повторяется, тогда программа предлагает восстановить номинальные напряжения. Для улучшения начального приближения в ПК используется специальный стартовый алгоритм, основанный на методе Зейделя.

В ситуации, когда режим не существует, предварительно следует проанализировать причину аварийного окончания. Недопустимое снижение

напряжения обычно свидетельствует о дефиците реактивной мощности в узле с наибольшим снижением напряжения. Недопустимое увеличение напряжения, наоборот, свидетельствует об избытке реактивной мощности, и, наконец, недопустимый угол по линии связан с недостаточной пропускной способностью линии по активной мощности.

Для устранения первых двух причин обычно фиксируют модуль напряжения в узлах с наибольшим отклонением напряжения от номинального. После выполнения расчета генерация реактивной мощности в этих узлах показывает необходимую мощность компенсирующего устройства.

Для устранения последней из причин необходимо либо разгрузить линию, либо ее усилить.

### **2.2.1 Расчет и анализ установившегося режима исследуемого энергорайона**

Для расчета УР была составлена расчетная модель энергорайона.

В соответствии с ГОСТ 32144- 2013 [6, с.6] допустимые отклонения напряжения на шинах, не должны превышать  $\pm 10 \%$ . Наибольшие расчётные напряжения в питающих пунктах электрической сети не должны быть выше максимальных рабочих напряжений по ГОСТ 721-77 [4, с. 8].

Токовая загрузка автотрансформаторов и трансформаторов должна соответствовать ГОСТ 14209-97 [5, с. 5], а токовая загрузка ВЛ не должна превышать длительно допустимый ток согласно [9, с. 94].

По результатам можно сделать вывод о том, что уровни напряжения во всех узлах, загрузка трансформаторов и автотрансформаторов входят в область допустимых значений, токи ВЛ не превышают длительно допустимые значения. (табл. 2.1).

Таблица 2.1– Токи ВЛ 110-220 кВ в УР

| Название | Марка провода | $I_{\text{доп}}, \text{ А}$ | $I_{\text{max}}, \text{ А}$ |
|----------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
|----------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|

| Название                         | Марка провода | $I_{\text{доп}}, \text{ A}$ | $I_{\text{max}}, \text{ A}$ |
|----------------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Новокузнецкая - Кузбасская       | 3*АСО-400     | 860                         | 332                         |
| Новокузнецкая 220 кВ КМК-1       | АСО-500       | 945                         | 326                         |
| Новокузнецкая 220 - КМК-1        | АСО-500       | 945                         | 300                         |
| КМК-1-110 кВ - Опорная-6 110     | АС-240        | 610                         | 463                         |
| КМК-1-110кВ Опорная-6 110кВ-     | АС-240        | 610                         | 214                         |
| КМК-1-110 кВ - Опорная110 кВ     | АС-240        | 610                         | 214                         |
| КМК-1-110 кВ- Опорная-3 110 кВ   | АС-240        | 610                         | 214                         |
| Сев Маганак 110 кВ- КМК-1-110 кВ | АС-240        | 610                         | 473                         |
| КМК-1-110 кВ- Ширпотреб-110 кВ   | АСУ-300       | 690                         | 141                         |
| КМК-1-110 кВ- Ширпотреб-110 кВ   | АСУ-300       | 690                         | 143                         |
| Ширпотреб-110 кВ- ТЭЦ КМК        | АСО-300       | 690                         | 156                         |
| КМК-1 отп-2 - Опорная-9 220 кВ-2 | АСО-500       | 945                         | 0                           |
| КМК-1 отп-1 - Опорная-9 220 кВ-1 | АСО-500       | 945                         | 0                           |

Параметры нормального режима приведены в Приложении 3. табл. 3.1. Для наглядности была построена графика режима, приведена в Приложении 4.

### 2.2.2 Расчет и анализ ремонтного режима

В качестве ремонтного режима был рассмотрен режим с отключением ВЛ 220 кВ Новокузнецкая – Опорная-9.

Результаты расчета ремонтного режима приведены в Приложении 5 и графике в Приложении 6.

По результатам расчета видно, что напряжение в узлах сети 110 кВ снизилось до недопустимого уровня, поэтому требуется произвести

регулирование напряжения имеющимися средствами, либо предложить мероприятия по регулированию напряжения, если имеющихся средств регулирования недостаточно, например, установку компенсирующих устройств для повышения напряжения.

### **2.3 Сведения о компенсирующих устройствах, используемых для повышения напряжения в электрических сетях 110 кВ**

Вначале следует отметить, что распространенным способом регулирования напряжения в электрических сетях при отсутствии средств генерации является регулирование напряжения трансформаторами и автотрансформаторами [7, с. 98]. Если ответвлений устройства регулирования напряжения под нагрузкой не хватает для получения желаемого напряжения, то следует обратить внимание на подбор компенсирующих устройств.

Сущность регулирования напряжения компенсирующими устройствами можно продемонстрировать с помощью формулы (2.1):

$$U_2 = U_1 - \Delta U = U_1 - \frac{R \cdot P_2 + (Q_2 \pm Q_k) \cdot X}{U_2} \quad (2.1)$$

За счет воздействия на потоки реактивной мощности изменяются потери напряжения в элементах, а, следовательно, и напряжение на приемном конце электропередачи.

Известны различные типы компенсирующих устройств, используемые в качестве средств поперечной компенсации, т.е. подключаемые параллельно нагрузке. Они могут быть предназначены только для генерации реактивной мощности, только для потребления избыточной реактивной мощности либо как для выдачи, так и для потребления.

Рассмотрим кратко компенсирующие устройства, которые можно будет применить для решения задачи повышения напряжения в сети 110 кВ рассматриваемого района.

Таковыми устройствами, компенсирующими реактивную мощность, являются синхронные компенсаторы, статические тиристорные компенсаторы, батареи статических конденсаторов.

### 2.3.1 Синхронные компенсаторы в режиме перевозбуждения

Синхронные компенсаторы (СК) представляют собой синхронные двигатели, работающие без механической нагрузки на валу. Путем регулирования тока возбуждения в обмотке возбуждения в них можно изменять режим реактивной мощности.

Пренебрегая активным сопротивлением СК, можно записать:

$$I_{СК} = \frac{E - U_{СК}}{\sqrt{3} \cdot X_{СК}}, \quad (2.2)$$

где  $E$  – ЭДС СК;  $U_{СК}$  – напряжение на выводах обмотки статора СК;  $X_{СК}$  – сопротивление СК в установившемся режиме.

Мощность СК:

$$S_{СК} = Q_{СК} = \sqrt{3} \cdot I_{СК} \cdot U_{СК} = \frac{E - U_{СК}}{X_{СК}} \cdot U_{СК}. \quad (2.3)$$

Отсюда следует, что при  $E > U_{СК}$ , реактивная мощность  $Q_{СК} > 0$ , следовательно, СК будет выдавать реактивную мощность в сеть, это и есть режим перевозбуждения.

К преимуществам СК можно отнести: возможность как выдачи, так и потребления реактивной мощности; плавное регулирование напряжения; независимость выдаваемой реактивной мощности от напряжения сети.

К недостаткам относят наличие вращающихся частей, большие затраты на их вращение, составляющие 1,5-3% при номинальной нагрузке и 5-8% при сниженной нагрузке в сети, достаточно крупные капитальные затраты, особенно при малых мощностях СК. [23, с. 308]

### 2.3.2 Батареи статических конденсаторов

Батареи статических конденсаторов (БСК) подключаются параллельно нагрузке для компенсации дефицита реактивной мощности. Ток в БСК имеет емкостный характер и направлен перпендикулярно к вектору напряжения на

нагрузке, а ток нагрузки, имея активно-индуктивный характер, как правило, отстает от напряжения, то ток в линии будет равен разности тока нагрузки и тока БСК. Это равносильно тому, что на шинах нагрузки БСК генерирует реактивную индуктивную мощность.

БСК состоит из групп силовых конденсаторов, собранных в стальные несущие блоки, закрепленные на полимерных изоляторах (рис. 2.5). БСК выполняется на трех стойках с размещенными на них конденсаторами, токоограничивающими реакторами и трансформаторами тока. Между стойками БСК предусмотрены 6-метровые проезды для автокрана, предназначенные для монтажа блоков конденсаторов.

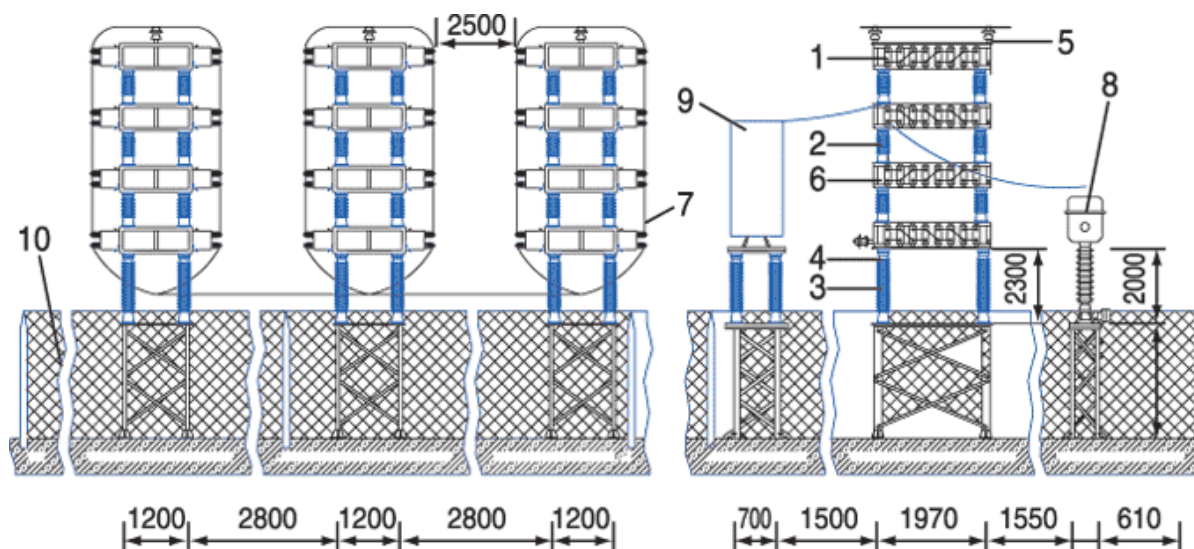


Рисунок 2.5 – Батарея статических конденсаторов 100 МВАр, 110 кВ:

1. Высоковольтный конденсатор; 2, 3, 4, 5. Опорные изоляторы; 6. Суппорт конденсаторов; 7. Медный проводник; 8. Трансформатор тока; 9.

Токоограничивающий реактор; 10. Сетчатое ограждение

БСК поставляется в исполнении У1 для температур от  $-55$  до  $+45$  градусов Цельсия. Для более низких температур БСК монтируется в утепленном быстровозводимом здании. Стальные конструкции выполняются из сварных профилей, защищенных от коррозии гальваническим цинкованием. Конструкции собраны в блоки по 6–8 конденсаторов, монтируются на месте и имеют в комплекте крепеж, наконечники и медные шины для соединения конденсаторов, а также гибкие медные переходы. В

БСК применяются силовые конденсаторы 560 кВАр, 11,7 кВ для напряжений 35 кВ, 542 кВАр / 7,94 кВ для напряжений 110–220 кВ с двумя фарфоровыми изоляторами и встроенными предохранителями.

Трансформаторы тока ТФЗМ (по одному на фазу) подключены первичной обмоткой в разрыв двух параллельных групп и в случае разбалансировки выдают сигнал на устройства релейной защиты для отключения головного выключателя. Токоограничивающие реакторы (по одному на фазу) ограничивают ток при включении БСК. Соединения выполнены гибкой медной шиной для предотвращения повреждения изоляторов при температурном расширении/сжатии либо при воздействии электродинамических сил.

По сравнению с синхронными компенсаторами БСК имеют определенные преимущества: низкие затраты на обслуживание; потери мощности (0,5 – 1,0) %, меньшие, чем у СК (2,5 – 7,0) %; высокая скорость переключения, если имеется тиристорное управление; возможность пофазного регулирования, что делает возможным широкую компенсацию несимметричных колебаний реактивной мощности.

Существенный недостаток БСК связан с зависимостью выдаваемой реактивной мощности от напряжения сети. [23, с. 309]

### **2.3.3 Статический тиристорный компенсатор**

Сущность управления реактивной мощностью с помощью статического тиристорного компенсатора (СТК) заключается во встречно-параллельном включении тириستоров в цепь батареи конденсаторов (БК) (рис. 2.6) или в цепь реактора.

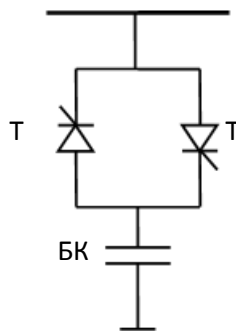


Рисунок 2.6 – СТК с тиристорным управлением в цепи БК

При полностью открытых тиристорах ток в цепи БК – максимальный.

К достоинствам СТК относят возможность осуществить как плавное, так и ступенчатое регулирование. Они обладают высоким быстродействием и небольшими потерями активной мощности – 0,2 – 1%. СТК – многофункциональны, так как помимо регулирования напряжения, они повышают устойчивость работы генераторов, снижают перенапряжения и несимметрию токов и напряжений. Поэтому в настоящее время они находят все большее применение в электрических сетях. [ , с. 314]

## 2.4 Расчет и анализ ремонтного режима после установки компенсирующих устройств

На основании результатов расчета УР был сделан вывод о том, что параметры режима удовлетворяют нормированным значениям, чего нельзя сказать о параметрах ремонтного режима, поэтому в ремонтном режиме требуется установка и ввод в работу компенсирующих устройств.

По сравнению с БСК синхронные компенсаторы и СТК являются более гибкими в плане регулирования напряжения, но и более дорогостоящими, поэтому остановим выбор на БСК.

Установим две БСК напряжением 110 кВ, мощностью 100 Мвар каждая на шинах 110 кВ ПС КМК-1. БСК выпускаются электротехническим заводом «СлавЭнерго» и имеют маркировку БСК-110-100 УХЛ1. В табл. № 2.2 приведены технические характеристики БСК.

Таблица № 2.2 - Технические характеристики БСК-110-100 УХЛ1

| Наименование параметра для БСК-110-100 УХЛ 1                     | Значение параметра                                                    |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Номинальное напряжение, кВ                                       | 110                                                                   |
| Максимально допустимое напряжение, кВ                            | 133                                                                   |
| Номинальная мощность, Мвар                                       | 104                                                                   |
| Номинальный ток батареи, А                                       | 545,9                                                                 |
| Тип конденсаторов                                                | Однофазные 542 кВАр / 7,94 кВ / 50 Гц со встроенными предохранителями |
| Количество блоков в батарее, шт.                                 | 12                                                                    |
| Количество блоков в фазе, шт.                                    | 4                                                                     |
| Количество последовательно соединённых конденсаторов в фазе, шт. | 8                                                                     |
| Количество параллельных рядов в фазе, шт.                        | 4                                                                     |
| Количество конденсаторов в батарее, шт.                          | 96                                                                    |
| Масса батареи, кг, не более                                      | 50 000                                                                |
| Габариты, ДхВхГ, мм                                              | 13000х5500х6000                                                       |

После установки БСК был произведен расчет ремонтного режима. Результаты расчета приведены в Приложении 7. Проанализировав результаты расчета ремонтного режима, можно сделать вывод об успешности ввода в работу БСК, так как параметры режима находятся в пределах нормированного диапазона.

| Узлы Ж Ветви Ж Графика Ж |                          |   |      |       |                       |       |      |       |       |       |       |       |       |          |         |          |        |        |
|--------------------------|--------------------------|---|------|-------|-----------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|---------|----------|--------|--------|
|                          | O                        | S | Тип  | Номер | Название              | U_ном | N... | Район | P_н   | Q_н   | P_г   | Q_г   | V_зд  | Q_min    | Q_max   | B_ш      | V      | Delta  |
| 1                        | <input type="checkbox"/> |   | База | 1     | ПС Новокузнецкая-500  | 500   |      |       |       |       | 875,3 | 408,1 | 501,0 | -1 000,0 | 1 000,0 | 1 440,0  | 501,00 |        |
| 2                        | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 2     | ПС Кузбасская-500     | 500   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |          | 501,10 | 0,00   |
| 3                        | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 3     | ПС Барнаульская-500   | 500   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |          | 520,14 | -0,21  |
| 4                        | <input type="checkbox"/> | ✗ | Нагр | 4     | ГЭС Саяна-Шушенская   | 500   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |          |        |        |
| 5                        | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 5     | ПС Новокузнецкая-220  | 220   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |          | 223,16 | -6,01  |
| 6                        | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 6     | ГРЭС Беловская-220    | 220   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |          | 223,21 | -6,01  |
| 7                        | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 7     | ПС Соколовская-220    | 220   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |          | 223,59 | -6,02  |
| 8                        | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 8     | ПС Кузбасская-220     | 220   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |          | 223,30 | -6,01  |
| 9                        | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 10    | НКАЗ-220              | 220   |      |       | 387,2 | 102,5 |       |       |       |          |         |          | 219,53 | -8,22  |
| 10                       | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 11    | КМК-1-220             | 220   |      |       | 40,0  | 21,8  |       |       |       |          |         |          | 216,28 | -11,10 |
| 11                       | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 12    | КМК-1-220             | 220   |      |       | 40,0  | 21,8  |       |       |       |          |         |          | 216,32 | -11,04 |
| 12                       | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 13    | КМК-1-110             | 110   |      |       | 42,8  | 25,2  |       |       |       |          |         | -9 400,0 | 114,88 | -22,98 |
| 13                       | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 14    | ПС Северный Маган...  | 110   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |          | 114,91 | -22,98 |
| 14                       | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 15    | ПС Опорная-3-110      | 110   |      |       | 110,5 | 32,8  |       |       |       |          |         |          | 114,47 | -23,21 |
| 15                       | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 16    | ПС Опорная-6-110      | 110   |      |       | 139,6 | 68,0  |       |       |       |          |         |          | 113,97 | -23,36 |
| 16                       | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 17    | ПС Северный Маган...  | 110   |      |       | 50,5  | 23,3  |       |       |       |          |         |          | 109,46 | -26,43 |
| 17                       | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 18    | ПС Широотреб-110      | 110   |      |       | 69,7  | 26,7  |       |       |       |          |         |          | 114,59 | -23,18 |
| 18                       | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 19    | Центральная ТЭЦ 1...  | 110   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |          | 114,74 | -23,04 |
| 19                       | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 20    | Центральная ТЭЦ 1...  | 10    |      |       |       |       |       |       |       |          |         |          | 10,50  | -22,10 |
| 20                       | <input type="checkbox"/> |   | Ген  | 21    | ТЭЦ ЦКК Генератор ... | 10    |      |       |       |       | 19,0  | 5,7   | 10,5  | -19,0    | 29,0    |          | 10,50  | -22,09 |
| 21                       | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 100   | АТДЦТН-500000/500...  | 500   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |          | 485,34 | -5,90  |
| 22                       | <input type="checkbox"/> |   | Нагр | 101   | АТДЦТН-500000/500...  | 500   |      |       |       |       |       |       |       |          |         |          | 485,34 | -5,90  |

|    |  |      |     |                      |     |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  |        |        |
|----|--|------|-----|----------------------|-----|--|--|--|--|--|------|------|-------|------|--|--|--------|--------|
| 23 |  | Нарп | 102 | АТДЦТН-125000/220... | 220 |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  | 216,78 | -22,93 |
| 24 |  | Нарп | 103 | АТДЦТН-125000/220... | 220 |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  | 216,78 | -22,93 |
| 25 |  | Нарп | 105 | ТРДН-40000/110/10,5  | 110 |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  | 115,38 | -22,10 |
| 26 |  | Нарп | 106 | ТРДН-40000/110/10,5  | 110 |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  | 115,38 | -22,10 |
| 27 |  | Нарп | 107 | ТРДЦН-160000/220     | 230 |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  |        | -8,10  |
| 28 |  | Нарп | 108 | ТРДЦН-160000/220     | 115 |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  |        | -8,10  |
| 29 |  | Нарп | 109 | ТРДЦН-160000/220     | 38  |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  |        | -8,10  |
| 30 |  | Нарп | 110 | ТРДЦН-160000/220     | 230 |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  | 216,33 | -11,04 |
| 31 |  | Нарп | 111 | ТРДЦН-160000/220     | 115 |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  | 108,16 | -11,04 |
| 32 |  | Нарп | 112 | ТРДЦН-160000/220     | 38  |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  | 36,13  | -11,04 |
| 33 |  | Нарп | 27  | ПС Опорная-9-220     | 220 |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  |        | -8,10  |
| 34 |  | Нарп | 28  | ПС Опорная-9-220     | 220 |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  | 216,33 | -11,04 |
| 35 |  | Ген+ | 113 | СК-1                 | 38  |  |  |  |  |  | 50,0 | 38,5 | -28,0 | 50,0 |  |  | 37,94  | -22,93 |
| 36 |  | Ген+ | 114 | СК-2                 | 38  |  |  |  |  |  | 50,0 | 38,5 | -28,0 | 50,0 |  |  | 37,94  | -22,93 |
| 37 |  | Нарп | 104 | ТРДН-40000/110/10,5  | 110 |  |  |  |  |  |      |      |       |      |  |  | 115,38 | -22,10 |

Рисунок 2.11 – Модель узлов в программном комплексе RastrWin3  
ремонтного режима после установки БСК.

| Узлы    |   |   |      |       |       |     |      |                             |      |       |        |       |       |        |       |       |       |       |
|---------|---|---|------|-------|-------|-----|------|-----------------------------|------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Ветви   |   |   |      |       |       |     |      |                             |      |       |        |       |       |        |       |       |       |       |
| Графика |   |   |      |       |       |     |      |                             |      |       |        |       |       |        |       |       |       |       |
|         | O | S | Тип  | N_нач | N_кон | N_п | I... | Название                    | R    | X     | B      | Кт/г  | N_анц | БД_... | P_нач | Q_нач | Na    | I max |
| 1       |   |   | ЛЭП  | 1     | 2     |     |      | ПС Новокузнецкая-500 - ...  | 0,47 | 5,92  | -70,1  |       |       |        | 0     | 18    | 20    |       |
| 2       |   |   | ЛЭП  | 1     | 3     |     |      | ПС Новокузнецкая-500 - ...  | 7,47 | 79,31 | -928,0 |       |       |        | 0     | 237   | 274   |       |
| 3       |   |   | Выкл | 1     | 4     |     |      | ПС Новокузнецкая-500 - ...  |      |       |        |       |       |        |       |       |       |       |
| 4       |   |   | Тр-р | 1     | 100   |     |      | ПС Новокузнецкая-500 - ...  | 1,05 | 57,50 |        | 1,000 |       |        | -437  | -151  | 533   |       |
| 5       |   |   | ЛЭП  | 5     | 6     |     |      | ПС Новокузнецкая-220 - Г... | 4,58 | 35,05 | -12,6  |       |       |        | 0     | 1     | 2     |       |
| 6       |   |   | ЛЭП  | 5     | 7     |     |      | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 3,43 | 24,04 | -159,5 |       |       |        | 0     | 8     | 21    |       |
| 7       |   |   | ЛЭП  | 5     | 8     | 1   |      | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 0,80 | 10,13 | -119,9 |       |       |        | 0     | 6     | 15    |       |
| 8       |   |   | Тр-р | 1     | 101   |     |      | ПС Новокузнецкая-500 - ...  | 1,05 | 57,50 |        | 1,000 |       |        | -437  | -151  | 533   |       |
| 9       |   |   | Тр-р | 100   | 5     |     |      | АТДЦТН-500000/500/220...    |      |       |        | 0,460 |       |        | -437  | -102  | 533   |       |
| 10      |   |   | Тр-р | 101   | 5     |     |      | АТДЦТН-500000/500/220...    |      |       |        | 0,460 |       |        | -437  | -102  | 533   |       |
| 11      |   |   | ЛЭП  | 5     | 8     | 2   |      | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 0,80 | 10,13 | -119,9 |       |       |        | 0     | 6     | 15    |       |
| 12      |   |   | ЛЭП  | 5     | 10    | 1   |      | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 2,17 | 15,20 | -100,8 |       |       |        | -130  | -35   | 351   |       |
| 13      |   |   | ЛЭП  | 5     | 10    | 2   |      | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 2,17 | 15,20 | -100,8 |       |       |        | -130  | -35   | 351   |       |
| 14      |   |   | ЛЭП  | 5     | 10    | 3   |      | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 2,16 | 15,16 | -100,6 |       |       |        | -130  | -35   | 352   |       |
| 15      |   |   | ЛЭП  | 5     | 11    |     |      | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 1,18 | 8,26  | -54,8  |       |       |        |       |       |       |       |
| 16      |   |   | ЛЭП  | 5     | 12    |     |      | ПС Новокузнецкая-220 - ...  | 1,30 | 9,09  | -60,3  |       |       |        | -484  | -118  | 1 289 |       |
| 17      |   |   | Тр-р | 11    | 102   |     |      | КМК-1-220 - АТДЦТН-12...    | 0,52 | 48,60 |        | 1,000 |       |        | -198  | -16   | 530   |       |
| 18      |   |   | Тр-р | 12    | 103   |     |      | КМК-1-220 - АТДЦТН-12...    | 0,52 | 48,60 |        | 1,000 |       |        | -199  | -17   | 533   |       |
| 19      |   |   | Тр-р | 102   | 13    |     |      | АТДЦТН-125000/220/110...    |      |       |        | 0,530 |       |        | -198  | -25   | 530   |       |
| 20      |   |   | Тр-р | 103   | 13    |     |      | АТДЦТН-125000/220/110...    |      |       |        | 0,530 |       |        | -198  | -25   | 533   |       |
| 21      |   |   | ЛЭП  | 13    | 14    |     |      | КМК-1-110 - ПС Северны...   | 2,13 | 9,31  | -59,9  |       |       |        | 0     | 1     | 4     |       |
| 22      |   |   | ЛЭП  | 13    | 15    | 1   |      | КМК-1-110 - ПС Опорная...   | 0,52 | 1,11  | -7,3   |       |       |        | -55   | -17   | 291   |       |
| 24      |   |   | ЛЭП  | 13    | 16    | 1   |      | КМК-1-110 - ПС Опорная...   | 0,71 | 1,60  | -9,9   |       |       |        | -70   | -35   | 393   |       |
| 25      |   |   | ЛЭП  | 13    | 16    | 2   |      | КМК-1-110 - ПС Опорная...   | 0,71 | 1,60  | -9,9   |       |       |        | -70   | -35   | 394   |       |
| 26      |   |   | ЛЭП  | 13    | 17    |     |      | КМК-1-110 - ПС Северны...   | 3,82 | 16,69 | -107,3 |       |       |        | -51   | -26   | 293   |       |
| 27      |   |   | ЛЭП  | 13    | 18    | 1   |      | КМК-1-110 - ПС Широпр...    | 0,47 | 2,04  | -13,1  |       |       |        | -25   | -11   | 139   |       |
| 28      |   |   | ЛЭП  | 13    | 18    | 2   |      | КМК-1-110 - ПС Широпр...    | 0,47 | 2,04  | -13,1  |       |       |        | -25   | -11   | 138   |       |
| 29      |   |   | ЛЭП  | 18    | 19    |     |      | ПС Широпротреб-110 - Цен... | 0,41 | 1,78  | -11,5  |       |       |        | 19    | 5     | 100   |       |
| 30      |   |   | Тр-р | 19    | 104   |     |      | Центральная ТЭЦ 100-1...    | 1,40 | 34,70 |        | 1,000 |       |        | 6     | 2     | 33    |       |
| 31      |   |   | Тр-р | 19    | 105   |     |      | Центральная ТЭЦ 100-1...    | 1,40 | 34,70 |        | 1,000 |       |        | 6     | 2     | 33    |       |
| 32      |   |   | Тр-р | 19    | 106   |     |      | Центральная ТЭЦ 100-1...    | 1,40 | 34,70 |        | 1,000 |       |        | 6     | 2     | 33    |       |
| 33      |   |   | Тр-р | 104   | 20    |     |      | ТРДН-40000/110/10,5 - Ц...  |      |       |        | 0,091 |       |        | 6     | 2     | 33    |       |
| 34      |   |   | Тр-р | 105   | 20    |     |      | ТРДН-40000/110/10,5 - Ц...  |      |       |        | 0,091 |       |        | 6     | 2     | 33    |       |
| 35      |   |   | Тр-р | 106   | 20    |     |      | ТРДН-40000/110/10,5 - Ц...  |      |       |        | 0,091 |       |        | 6     | 2     | 33    |       |
| 36      |   |   | ЛЭП  | 20    | 21    |     |      | Центральная ТЭЦ 100-1...    |      | 0,00  |        |       |       |        | 19    | 6     | 1 091 |       |
| 37      |   |   | ЛЭП  | 11    | 27    |     |      | КМК-1-220 - ПС Опорная...   | 0,56 | 3,88  | -25,8  |       |       |        |       |       |       |       |
| 38      |   |   | ЛЭП  | 12    | 28    |     |      | КМК-1-220 - ПС Опорная...   | 0,47 | 3,06  | -20,3  |       |       |        | 0     | 1     | 3     |       |
| 39      |   |   | Тр-р | 27    | 107   |     |      | ПС Опорная-9-220 - ТРД...   | 1,08 | 39,70 |        | 1,000 |       |        |       |       |       |       |
| 40      |   |   | Тр-р | 107   | 108   |     |      | ТРДЦН-160000/220 - ТРД...   |      |       |        | 0,500 |       |        |       |       |       |       |
| 41      |   |   | Тр-р | 107   | 109   |     |      | ТРДЦН-160000/220 - ТРД...   |      |       |        | 0,167 |       |        |       |       |       |       |
| 42      |   |   | Тр-р | 28    | 110   |     |      | ПС Опорная-9-220 - ТРД...   | 1,08 | 39,70 |        | 1,000 |       |        | 0     | 0     | 0     |       |
| 43      |   |   | Тр-р | 110   | 111   |     |      | ТРДЦН-160000/220 - ТРД...   |      |       |        | 0,500 |       |        | 0     | 0     | 0     |       |
| 44      |   |   | Тр-р | 110   | 112   |     |      | ТРДЦН-160000/220 - ТРД...   |      |       |        | 0,167 |       |        | 0     | 0     | 0     |       |
| 45      |   |   | Тр-р | 102   | 113   |     |      | АТДЦТН-125000/220/110...    | 0,00 |       |        | 0,175 |       |        | 0     | 50    | 133   |       |
| 46      |   |   | Тр-р | 103   | 114   |     |      | АТДЦТН-125000/220/110...    | 0,00 |       |        | 0,175 |       |        | 0     | 50    | 133   |       |
| 47      |   |   | Выкл | 11    | 12    |     |      | КМК-1-220 - КМК-1-220       |      |       |        |       |       |        | 238   | 38    | 643   |       |

Рисунок 2.1 – Модель ветвей в программном комплексе RastrWin3  
ремонтного режима после установки БСК.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе произведен сбор исходных данных по теме работы, на основании принципиальной схемы энергорайона, схемы замещения и исходных данных были смоделированы нормальный установившийся и ремонтный режим.

При анализе результатов установившегося режима недопустимых отклонений напряжения в узлах выявлено не было.

При расчете ремонтного режима при отключении ВЛ 220 кВ Новокузнецкая – Опорная-9. По результатам расчета ремонтного режима выявлены узлы электрической сети 110 кВ с недопустимым уровнем напряжения, вследствие чего было принято решение об установке компенсирующего устройства для регулирования напряжения.

В качестве оптимального устройства для регулирования напряжения выбрана батарея статических конденсаторов марки БСК-110-100 УХЛ1 в количестве двух штук.

Расчёт ремонтного режима после установки батареи статических конденсаторов показал, что их применение на ПС КМК-1 110 кВ эффективно.

В дипломной работе произведен экономический расчет, который заключался в определение капиталовложений при проведении технического мероприятия, трудоемкости выполнения работ и расчете материальных затрат НТИ.

Рассмотрен раздел производственной и экологической безопасности, в котором указаны требования и правила, предъявляемые к рабочему месту инженера-проектировщика.

|           |            |          |       |      |                      |                        |      |        |
|-----------|------------|----------|-------|------|----------------------|------------------------|------|--------|
|           |            |          |       |      | ФЮРА.13.03.02.004 ПЗ |                        |      |        |
| Изм       | Лист       | № докум. | Подп. | Дата | ЗАКЛЮЧЕНИЕ           | Лит.                   | Лист | Листов |
| Разраб.   | Гашков А.Г |          |       |      |                      |                        | 65   | 282    |
| Руков.    | Бацева Н.Л |          |       |      |                      |                        |      |        |
|           |            |          |       |      |                      |                        |      |        |
| Н. контр. | Бацева Н.Л |          |       |      |                      |                        |      |        |
|           |            |          |       |      |                      | ТПУ ИнЭО<br>Гр. 3-5А12 |      |        |

## Список литературы

1. Общие данные Кузбасской ЭС URL: <http://www.fsk-ees.ru> (дата обращения март 2016).
2. Неуймин В.Г. Пособия по работе с программой RastrWin. Москва: Издательство ЭНАС, 2004. —316 с.: ил;
3. Программный комплекс«RastrWin3»,Неуймин Владимир Геннадьевич, Машалов Евгений Владимирович, Александров Александр Сергеевич, Багрянцев Алексей Александрович. 2012. с. 243
4. ГОСТ 721-77 (СТ СЭВ 779-77) Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемник электрической энергии номинальные напряжения свыше 1000 В. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 27.05.77 № 1376
5. ГОСТ 14209-97 Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов.
6. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
7. Лычев П.В., Федин В.Т. Электрические системы и сети. Решение практических задач. Учебное пособие. М: Дизайн Про, 1997. - 191 с
8. Общие требования к системам противоаварийной и режимной автоматики, релейной защиты и автоматики, телеметрической информации, технологической связи в ЕЭС России. Приложение 1 к приказу ОАО РАО «ЕЭС России» от 11.02.2008 № 57

|           |            |          |       |      |                      |                        |      |        |
|-----------|------------|----------|-------|------|----------------------|------------------------|------|--------|
|           |            |          |       |      | ФЮРА.13.03.02.004 ПЗ |                        |      |        |
| Изм       | Лист       | № докум. | Подп. | Дата | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ    | Лит.                   | Лист | Листов |
| Разраб.   | Гашков А.Г |          |       |      |                      |                        |      |        |
| Руков.    | Бацева Н.Л |          |       |      |                      |                        | 66   | 282    |
|           |            |          |       |      |                      | ТПУ ИнЭО<br>Гр. 3-5А12 |      |        |
| Н. контр. | Бацева Н.Л |          |       |      |                      |                        |      |        |

9. Д. Л. Файбисовича. Справочник по проектированию электрических сетей, под ред. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. ЭНАС, 2012. – 376 с. : ил.
10. В.А. Веников, В.И. Идельчик, М.С. Лисеев. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 216 с.
11. С.С. Ананничева, А.А. Алексеев, А.Л. Мызин. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах. – Екатеринбург УРФУ 2012 г – 93 с.
12. Батареи статических конденсаторов 6-220 кВ URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2007/43/34.php> (дата обращения март 2016).
13. Гаврикова Н.А., Тухватулина Л.Р., Видяев И.Г. – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Издательство Томского политехнического университета 2014 г.
14. ГОСТ 12.1.009-86 Электробезопасность. Определения и термины. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 28 мая 1976 года № 1349
15. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы. Минздрав России. Москва 1997 год.
16. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны Поправка введена к ГОСТ 12.1.005-88 от 01.04.2004
17. СН 2.2.4.2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
18. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.
19. СНиП 23 – 05 –95\*. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 2011

20. ГОСТ 27954-88 - Видеомониторы персональных электронных вычислительных машин. Типы, основные параметры, общие технические требования
21. СанПиН 2.2.2.2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.
22. ГОСТ 12.1.018-93. Пожаровзрывобезопасность статического электричества.
23. В. А. Веников, А. А. Глазунов, Л. А. Жуков и др.: Под редакцией В. А. Веникова, В. А. Строева. Электрические системы. Электрические сети: Учебник для электроэнергетических специализированных вузов. – 2-ое изд., переработанное и дополненное. – М.: Высш. шк., 1998. – 511 с.: ил.

## **,Приложение 1**

### **Принципиальная схема ЭС**

## **Приложение 2**

### **Схема замещения рассматриваемого района**

## Приложение 3

Таблица 3.1- Расчетные данные установившегося режима

| №  | Тип  | Название                | U_ном | P_н    | Q_н   | P_г   | Q_г   | V_зд  | Q_min   | Q_max  | B_ш  | V      | Delta  |
|----|------|-------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|------|--------|--------|
| 1  | База | ПС Новокузнецкая-500    | 500   |        |       | 872,7 | 500,0 | 507,0 | -1000,0 | 1000,0 | 1440 | 507    |        |
| 2  | Нагр | ПС Кузбасская-500       | 500   |        |       |       |       |       |         |        |      | 507,11 | 0,00   |
| 3  | Нагр | ПС Барнаульская-500     | 500   |        |       |       |       |       |         |        |      | 526,37 | -0,21  |
| 4  | Нагр | ГЭС Саяно-Шушенская     | 500   |        |       |       |       |       |         |        |      | ---    | ---    |
| 5  | Нагр | ПС Новокзнецкая-220     | 220   |        |       |       |       |       |         |        |      | 223,61 | -5,89  |
| 6  | Нагр | ГРЭС Беловская-220      | 220   |        |       |       |       |       |         |        |      | 223,66 | -5,90  |
| 7  | Нагр | ПС Соколовская-220      | 220   |        |       |       |       |       |         |        |      | 224,04 | -5,91  |
| 8  | Нагр | ПС Кузбасская-220       | 220   |        |       |       |       |       |         |        |      | 223,75 | -5,90  |
| 10 | Нагр | НКАЗ-220                | 220   | 219,98 | 102,5 |       |       |       |         |        |      | 219,98 | -8,10  |
| 11 | Нагр | КМК-1-220               | 220   | 40,0   | 21,8  |       |       |       |         |        |      | 218,69 | -8,09  |
| 12 | Нагр | КМК-1-220               | 220   | 40,0   | 21,8  |       |       |       |         |        |      | 218,22 | -8,28  |
| 13 | Нагр | КМК-1-110               | 110   | 42,8   | 25,2  |       |       |       |         |        |      | 109,53 | -20,53 |
| 14 | Нагр | ПС Северный Маганак-110 | 110   |        |       |       |       |       |         |        |      | 109,56 | -20,54 |
| 15 | Нагр | ПС Опорная-3-110        | 110   | 110,5  | 32,8  |       |       |       |         |        |      | 109,10 | -20,79 |
| 16 | Нагр | ПС Опорная-6-110        | 110   | 139,6  | 68,0  |       |       |       |         |        |      | 108,57 | -20,96 |
| 17 | Нагр | ПС Северный Маганак-110 | 110   | 50,5   | 23,3  |       |       |       |         |        |      | 103,78 | -24,35 |

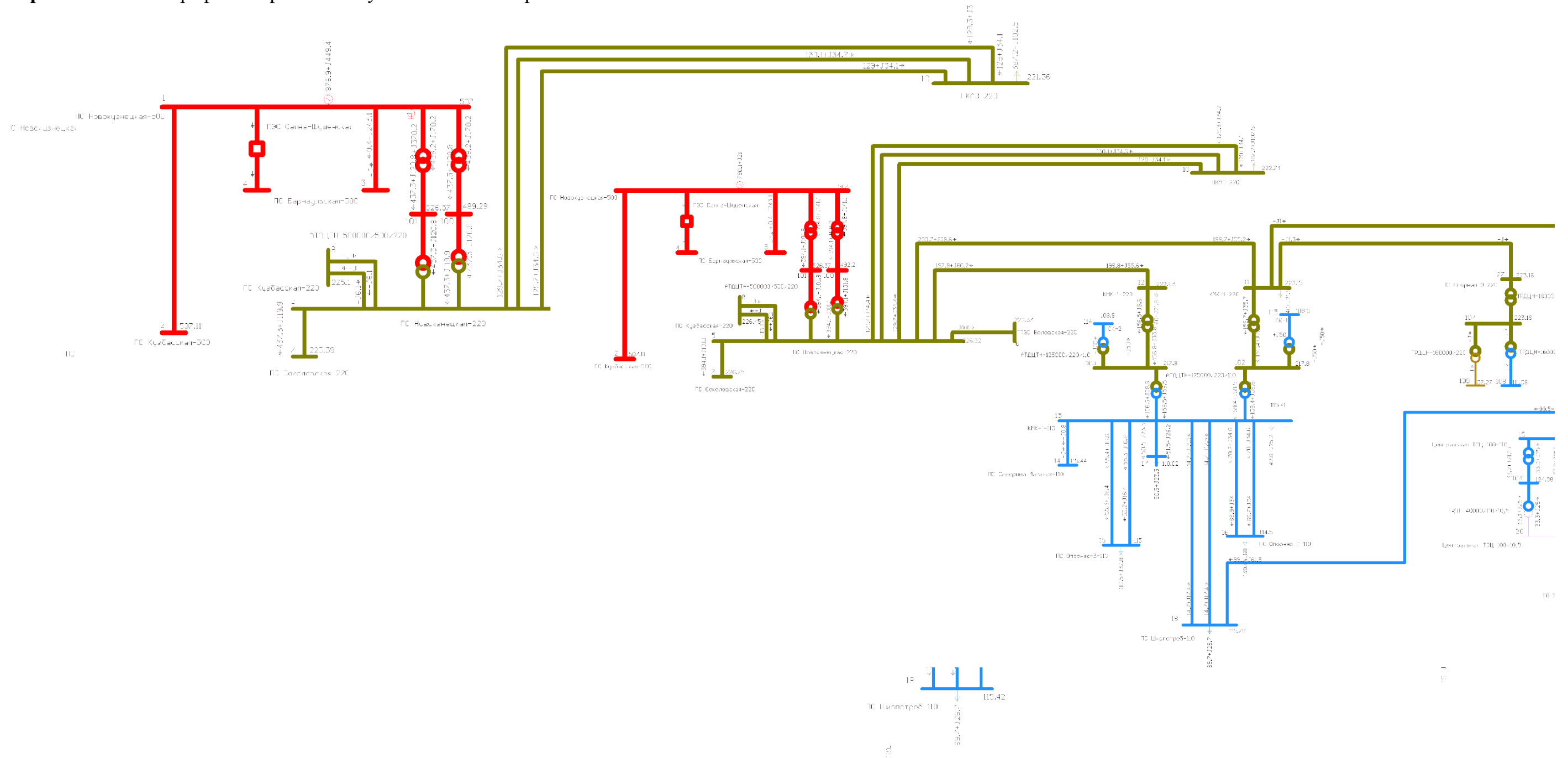
Продолжение Таблицы 3.1- Расчетные данные установившегося режима

| №   | Тип  | Название                     | U_ном | P_н  | Q_н  | P_г  | Q_г  | V_зд | Q_min | Q_max | B_ш | V      | Delta  |
|-----|------|------------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-----|--------|--------|
| 18  | Нагр | ПС Ширпотреб-110             | 110   | 69,7 | 26,7 |      |      |      |       |       |     | 109,43 | -20,78 |
| 19  | Нагр | Центральная ТЭЦ 100-110      | 110   |      |      |      |      |      |       |       |     | 109,96 | -20,68 |
| 20  | Нагр | Центральная ТЭЦ 100-10,5     | 10    |      |      |      |      |      |       |       |     | 10,28  | -19,73 |
| 21  | Ген+ | ТЭЦ ЦКК Генератор эквивалент | 10    |      |      | 19,0 | 29,0 | 10,5 | -19,0 | 29,0  |     | 10,29  | -19,72 |
| 27  | Нагр | ПС Опорная-9-220             | 220   |      |      |      |      |      |       |       |     | 218,70 | -8,09  |
| 28  | Нагр | ПС Опорная-9-220             | 220   |      |      |      |      |      |       |       |     | 218,69 | -8,09  |
| 100 | Нагр | АТДЦТН-500000/500/220        | 500   |      |      |      |      |      |       |       |     | 486,40 | -5,79  |
| 101 | Нагр | АТДЦТН-500000/500/220        | 500   |      |      |      |      |      |       |       |     | 486,40 | -5,79  |
| 102 | Нагр | АТДЦТН-125000/220/110        | 220   |      |      |      |      |      |       |       |     | 206,73 | -20,48 |
| 103 | Нагр | АТДЦТН-125000/220/110        | 220   |      |      |      |      |      |       |       |     | 206,73 | -20,48 |
| 104 | Нагр | ТРДН-40000/110/10,5          | 110   |      |      |      |      |      |       |       |     | 113,01 | -19,73 |
| 105 | Нагр | ТРДН-40000/110/10,5          | 110   |      |      |      |      |      |       |       |     | 113,01 | -19,73 |

Продолжение Таблицы 3.1- Расчетные данные установившегося режима

| №   | Тип  | Название            | U_ном | P_н | Q_н | P_г | Q_г  | V_зд | Q_min | Q_max | B_ш | V      | Delta  |
|-----|------|---------------------|-------|-----|-----|-----|------|------|-------|-------|-----|--------|--------|
| 106 | Нагр | ТРДН-40000/110/10,5 | 110   |     |     |     |      |      |       |       |     | 113,01 | -19,73 |
| 107 | Нагр | ТРДЦН-160000/220    | 230   |     |     |     |      |      |       |       |     | 218,70 | -8,09  |
| 108 | Нагр | ТРДЦН-160000/220    | 115   |     |     |     |      |      |       |       |     | 109,35 | -8,09  |
| 109 | Нагр | ТРДЦН-160000/220    | 38    |     |     |     |      |      |       |       |     | 36,52  | -8,09  |
| 110 | Нагр | ТРДЦН-160000/220    | 230   |     |     |     |      |      |       |       |     | 218,69 | -8,09  |
| 111 | Нагр | ТРДЦН-160000/220    | 115   |     |     |     |      |      |       |       |     | 109,35 | -8,09  |
| 112 | Нагр | ТРДЦН-160000/220    | 38    |     |     |     |      |      |       |       |     | 36,52  | -8,09  |
| 113 | Ген+ | СК-1                | 38    |     |     |     | 50,0 | 38,5 | -28,0 | 50,0  |     | 36,18  | -20,48 |
| 114 | Ген+ | СК-2                | 38    |     |     |     | 50,0 | 38,5 | -28,0 | 50,0  |     | 36,18  | -20,48 |

#### Приложение 4- Графика нормального установившегося режима



## Приложение 5

Таблица 5.1 - Расчетные данные ремонтного режима без регулирования при отключении ВЛ 220 кВ Новокузнецкая – Опорная-9

| Тип  | Номер | Название                | U_ном | P_н   | Q_н   | P_г   | Q_г   | V_зд | Q_min | Q_max | B_ш  | V      | Delta  |
|------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|--------|--------|
| База | 1     | ПС Новокузнецкая-500    | 500   |       |       | 884,9 | 856,7 | 507  | -1000 | 1000  | 1440 | 501    |        |
| Нагр | 2     | ПС Кузбасская-500       | 500   |       |       |       |       |      |       |       |      | 501,1  | 0      |
| Нагр | 3     | ПС Барнаульская-500     | 500   |       |       |       |       |      |       |       |      | 520,14 | -0,21  |
| Нагр | 4     | ГЭС Саяно-Шушенская     | 500   |       |       |       |       |      |       |       |      |        |        |
| Нагр | 5     | ПС Новокзнецкая-220     | 220   |       |       |       |       |      |       |       |      | 219,03 | -6,19  |
| Нагр | 6     | ГРЭС Беловская-220      | 220   |       |       |       |       |      |       |       |      | 219,08 | -6,2   |
| Нагр | 7     | ПС Соколовская-220      | 220   |       |       |       |       |      |       |       |      | 219,45 | -6,21  |
| Нагр | 8     | ПС Кузбасская-220       | 220   |       |       |       |       |      |       |       |      | 219,17 | -6,2   |
| Нагр | 10    | НКАЗ-220                | 220   | 387,2 | 102,5 |       |       |      |       |       |      | 215,31 | -8,59  |
| Нагр | 11    | КМК-1-220               | 220   | 40    | 21,8  |       |       |      |       |       |      | 206,17 | -57,55 |
| Нагр | 12    | КМК-1-220               | 220   | 40    | 21,8  |       |       |      |       |       |      | 206,26 | -11,4  |
| Нагр | 13    | КМК-1-110               | 110   | 42,8  | 25,2  |       |       |      |       |       |      | 102,05 | -56,06 |
| Нагр | 14    | ПС Северный Маганак-110 | 110   |       |       |       |       |      |       |       |      | 102,08 | -56,07 |
| Нагр | 15    | ПС Опорная-3-110        | 110   | 110,5 | 32,8  |       |       |      |       |       |      | 101,59 | -56,6  |
| Нагр | 16    | ПС Опорная-6-110        | 110   | 139,6 | 68    |       |       |      |       |       |      | 101,02 | -56,97 |

Продолжение таблицы 5.1 - Расчетные данные ремонтного режима без регулирования при отключении ВЛ 220 кВ

Новокузнецкая – Опорная-9

| Тип  | Номер | Название                 | U_ном | P_н  | Q_н  | P_г | Q_г | V_зд | Q_min | Q_max | B_ш | V      | Delta  |
|------|-------|--------------------------|-------|------|------|-----|-----|------|-------|-------|-----|--------|--------|
| Нагр | 17    | ПС Северный Маганак-110  | 110   | 50,5 | 23,3 |     |     |      |       |       |     | 95,76  | -64,59 |
| Нагр | 18    | ПС Ширпотреб-110         | 110   | 69,7 | 26,7 |     |     |      |       |       |     | 101,94 | -56,59 |
| Нагр | 19    | Центральная ТЭЦ 100-110  | 110   |      |      |     |     |      |       |       |     | 102,5  | -56,36 |
| Нагр | 20    | Центральная ТЭЦ 100-10,5 | 10    |      |      |     |     |      |       |       |     | 9,62   | -54,39 |
| Ген+ | 21    | ТЭЦ ЦКК Генератор экв    | 10    |      |      | 19  | 29  | 10,5 | -19   | 29    |     | 9,63   | -54,37 |
| Нагр | 27    | ПС Опорная-9-220         | 220   |      |      |     |     |      |       |       |     |        | -8,1   |
| Нагр | 28    | ПС Опорная-9-220         | 220   |      |      |     |     |      |       |       |     | 206,27 | -57,4  |
| Нагр | 100   | АТДЦТН-500000/500/220    | 500   |      |      |     |     |      |       |       |     | 476,52 | -6,08  |
| Нагр | 101   | АТДЦТН-500000/500/220    | 500   |      |      |     |     |      |       |       |     | 476,52 | -6,08  |
| Нагр | 102   | АТДЦТН-125000/220/110    | 220   |      |      |     |     |      |       |       |     | 192,62 | -56,06 |
| Нагр | 103   | АТДЦТН-125000/220/110    | 220   |      |      |     |     |      |       |       |     | 192,62 | -55,85 |
| Нагр | 104   | ТРДН-40000/110/10,5      | 110   |      |      |     |     |      |       |       |     | 105,74 | -54,39 |
| Нагр | 105   | ТРДН-40000/110/10,5      | 110   |      |      |     |     |      |       |       |     | 105,74 | -54,39 |
| Нагр | 106   | ТРДН-40000/110/10,5      | 110   |      |      |     |     |      |       |       |     | 105,74 | -54,39 |
| Нагр | 107   | ТРДЦН-160000/220         | 230   |      |      |     |     |      |       |       |     |        | -8,1   |
| Нагр | 108   | ТРДЦН-160000/220         | 115   |      |      |     |     |      |       |       |     |        | -8,1   |
| Нагр | 109   | ТРДЦН-160000/220         | 38    |      |      |     |     |      |       |       |     |        | -8,1   |

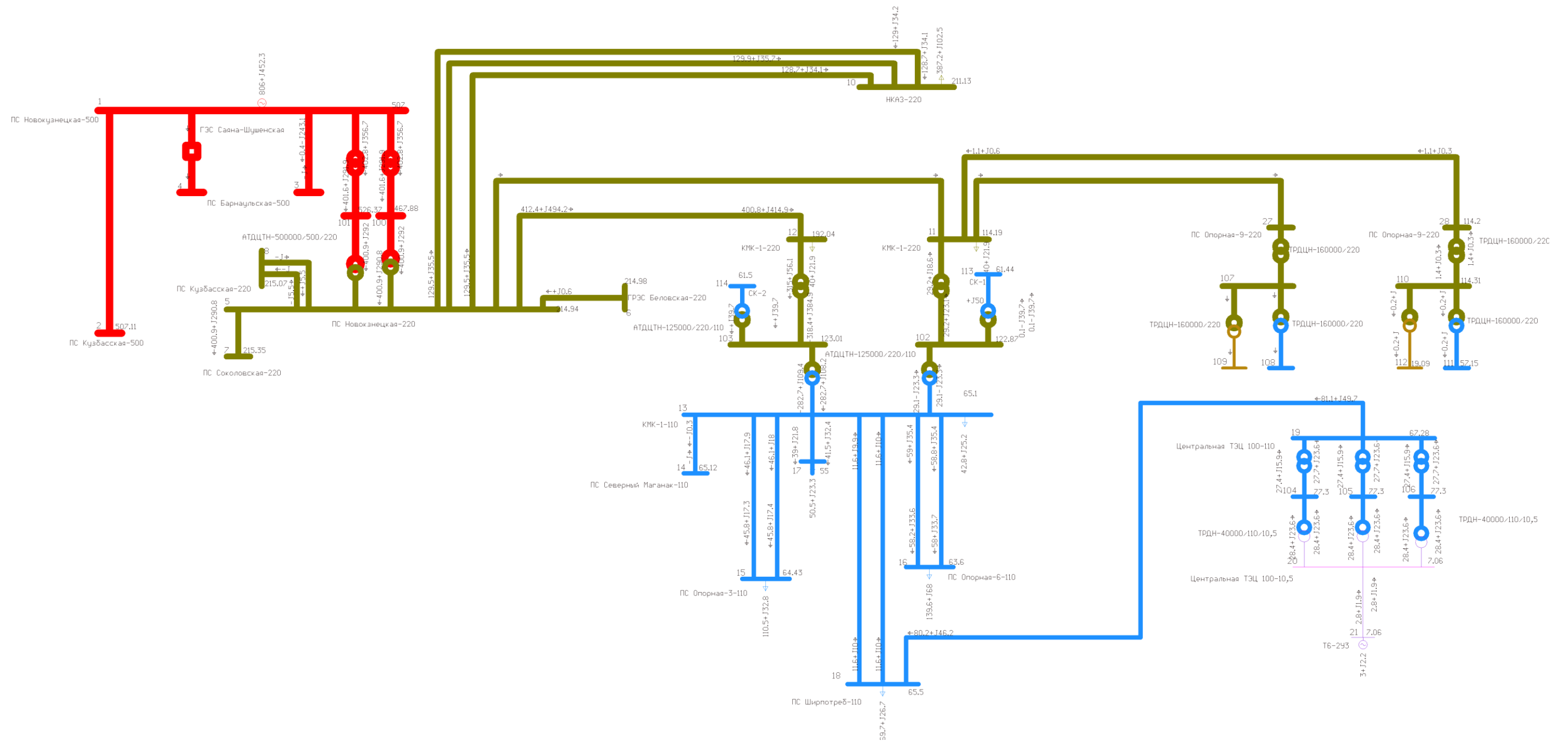
Продолжение таблицы 5.1 - Расчетные данные ремонтного режима без регулирования при отключении ВЛ 220 кВ

Новокузнецкая – Опорная-9

| Тип  | Номер | Название         | U_ном | P_н | Q_н | P_г | Q_г | V_зд | Q_min | Q_max | B_ш | V      | Delta  |
|------|-------|------------------|-------|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-----|--------|--------|
| Нагр | 110   | ТРДЦН-160000/220 | 230   |     |     |     |     |      |       |       |     | 206,27 | -55    |
| Нагр | 111   | ТРДЦН-160000/220 | 115   |     |     |     |     |      |       |       |     | 103,13 | -55    |
| Нагр | 112   | ТРДЦН-160000/220 | 38    |     |     |     |     |      |       |       |     | 34,45  | -55    |
| Ген+ | 113   | СК-1             | 38    |     |     |     | 50  | 38,5 | -28   | 50    |     | 33,71  | -56,06 |
| Ген+ | 114   | СК-2             | 38    |     |     |     | 50  | 38,5 | -28   | 50    |     | 33,71  | -55,85 |

## Приложение 6

Графика ремонтного режима при отключении ВЛ 220 кВ Новокузнецкая – Опорная-9



**Приложение 7-** Расчетные данные по узлам ремонтного режима при отключении ВЛ 220 кВ Новокузнецкая – Опорная-9 и установки БСК.

| №  | Тип  | Название                | U_ном | P_н    | Q_н   | P_г   | Q_г   | V_зд  | Q_min   | Q_max  | B_ш   | V      | Delta  |
|----|------|-------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|-------|--------|--------|
| 1  | База | ПС Новокузнецкая-500    | 500   |        |       | 876,9 | 449,4 | 507,0 | -1000,0 | 1000,0 | 1440  | 507    |        |
| 2  | Нагр | ПС Кузбасская-500       | 500   |        |       |       |       |       |         |        |       | 507,11 | 0,00   |
| 3  | Нагр | ПС Барнаульская-500     | 500   |        |       |       |       |       |         |        |       | 526,37 | -0,21  |
| 4  | Нагр | ГЭС Саяно-Шушенская     | 500   |        |       |       |       |       |         |        |       |        | ---    |
| 5  | Нагр | ПС Новокзнецкая-220     | 220   |        |       |       |       |       |         |        |       | 225,99 | -5,89  |
| 6  | Нагр | ГРЭС Беловская-220      | 220   |        |       |       |       |       |         |        |       | 226,04 | -5,89  |
| 7  | Нагр | ПС Соколовская-220      | 220   |        |       |       |       |       |         |        |       | 226,42 | -5,91  |
| 8  | Нагр | ПС Кузбасская-220       | 220   |        |       |       |       |       |         |        |       | 226,12 | -5,90  |
| 10 | Нагр | НКАЗ-220                | 220   | 219,98 | 102,5 |       |       |       |         |        |       | 222,41 | -8,07  |
| 11 | Нагр | КМК-1-220               | 220   | 40,0   | 21,8  |       |       |       |         |        |       | 219,03 | -40,04 |
| 12 | Нагр | КМК-1-220               | 220   | 40,0   | 21,8  |       |       |       |         |        |       | 219,07 | -10,84 |
| 13 | Нагр | КМК-1-110               | 110   | 42,8   | 25,2  |       |       |       |         |        | -9400 | 116,01 | -37,65 |
| 14 | Нагр | ПС Северный Маганак-110 | 110   |        |       |       |       |       |         |        |       | 116,04 | -37,65 |

Продолжение приложения 7 - Расчетные данные по узлам ремонтного режима при отключении ВЛ 220 кВ

Новокузнецкая – Опорная-9 и установки БСК

| №   | Тип  | Название                 | U_ном | P_н   | Q_н  | P_г  | Q_г  | V_зд | Q_min | Q_max | B_ш | V      | Delta  |
|-----|------|--------------------------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-----|--------|--------|
| 15  | Нагр | ПС Опорная-3-110         | 110   | 110,5 | 32,8 |      |      |      |       |       |     | 115,6  | -      |
| 16  | Нагр | ПС Опорная-6-110         | 110   | 139,6 | 68,0 |      |      |      |       |       |     | 115,11 | -20,96 |
| 17  | Нагр | ПС Северный Маганак-110  | 110   | 50,5  | 23,3 |      |      |      |       |       |     | 110,65 | -24,35 |
| 18  | Нагр | ПС Ширпотреб-110         | 110   | 69,7  | 26,7 |      |      |      |       |       |     | 115,64 | -20,78 |
| 19  | Нагр | Центральная ТЭЦ 100-110  | 110   |       |      |      |      |      |       |       |     | 115,65 | -20,68 |
| 20  | Нагр | Центральная ТЭЦ 100-10,5 | 10    |       |      |      |      |      |       |       |     | 10,5   | -19,73 |
| 21  | Ген+ | ТЭЦ ЦКК Генератор экв.   | 10    |       |      | 19,0 | 29,0 | 10,5 | -19,0 | 29,0  |     | 10,5   | -19,72 |
| 27  | Нагр | ПС Опорная-9-220         | 220   |       |      |      |      |      |       |       |     |        | -8,09  |
| 28  | Нагр | ПС Опорная-9-220         | 220   |       |      |      |      |      |       |       |     | 216,33 | -8,09  |
| 100 | Нагр | АТДЦТН-500000/500/220    | 500   |       |      |      |      |      |       |       |     | 485,34 | -5,79  |
|     |      |                          |       |       |      |      |      |      |       |       |     |        |        |

Продолжение таблицы 7.1 - Расчетные данные по узлам ремонтного режима при отключении ВЛ 220 кВ

Новокузнецкая – Опорная-9 и установки БСК

| №   | Тип  | Название                  | U_ном | P_н | Q_н | P_г | Q_г  | V_зд | Q_min | Q_max | B_ш | V      | Delta  |
|-----|------|---------------------------|-------|-----|-----|-----|------|------|-------|-------|-----|--------|--------|
| 101 | Нарп | АТДЦТН-<br>500000/500/220 | 500   |     |     |     |      |      |       |       |     | 485,34 | -5,79  |
| 102 | Нарп | АТДЦТН-<br>125000/220/110 | 220   |     |     |     |      |      |       |       |     | 216,78 | -20,48 |
| 103 | Нарп | АТДЦТН-<br>125000/220/110 | 220   |     |     |     |      |      |       |       |     | 216,78 | -20,48 |
| 104 | Нарп | ТРДН-40000/110/10,5       | 110   |     |     |     |      |      |       |       |     | 115,38 | -19,73 |
| 105 | Нарп | ТРДН-40000/110/10,5       | 110   |     |     |     |      |      |       |       |     | 115,38 | -19,73 |
| 106 | Нарп | ТРДН-40000/110/10,5       | 110   |     |     |     |      |      |       |       |     | 115,38 | -19,73 |
| 107 | Нарп | ТРДЦН-160000/220          | 230   |     |     |     |      |      |       |       |     |        | -8,09  |
| 108 | Нарп | ТРДЦН-160000/220          | 115   |     |     |     |      |      |       |       |     |        | -8,09  |
| 109 | Нарп | ТРДЦН-160000/220          | 38    |     |     |     |      |      |       |       |     |        | -8,09  |
| 110 | Нарп | ТРДЦН-160000/220          | 230   |     |     |     |      |      |       |       |     | 216,33 | -8,09  |
| 111 | Нарп | ТРДЦН-160000/220          | 115   |     |     |     |      |      |       |       |     | 108,16 | -8,09  |
| 112 | Нарп | ТРДЦН-160000/220          | 38    |     |     |     |      |      |       |       |     | 36,13  | -8,09  |
| 113 | Ген+ | СК-1                      | 38    |     |     |     | 50,0 | 38,5 | -28,0 | 50,0  |     | 37,94  | -20,48 |
| 114 | Ген+ | СК-2                      | 38    |     |     |     | 50,0 | 38,5 | -28,0 | 50,0  |     | 37,94  | -20,48 |

