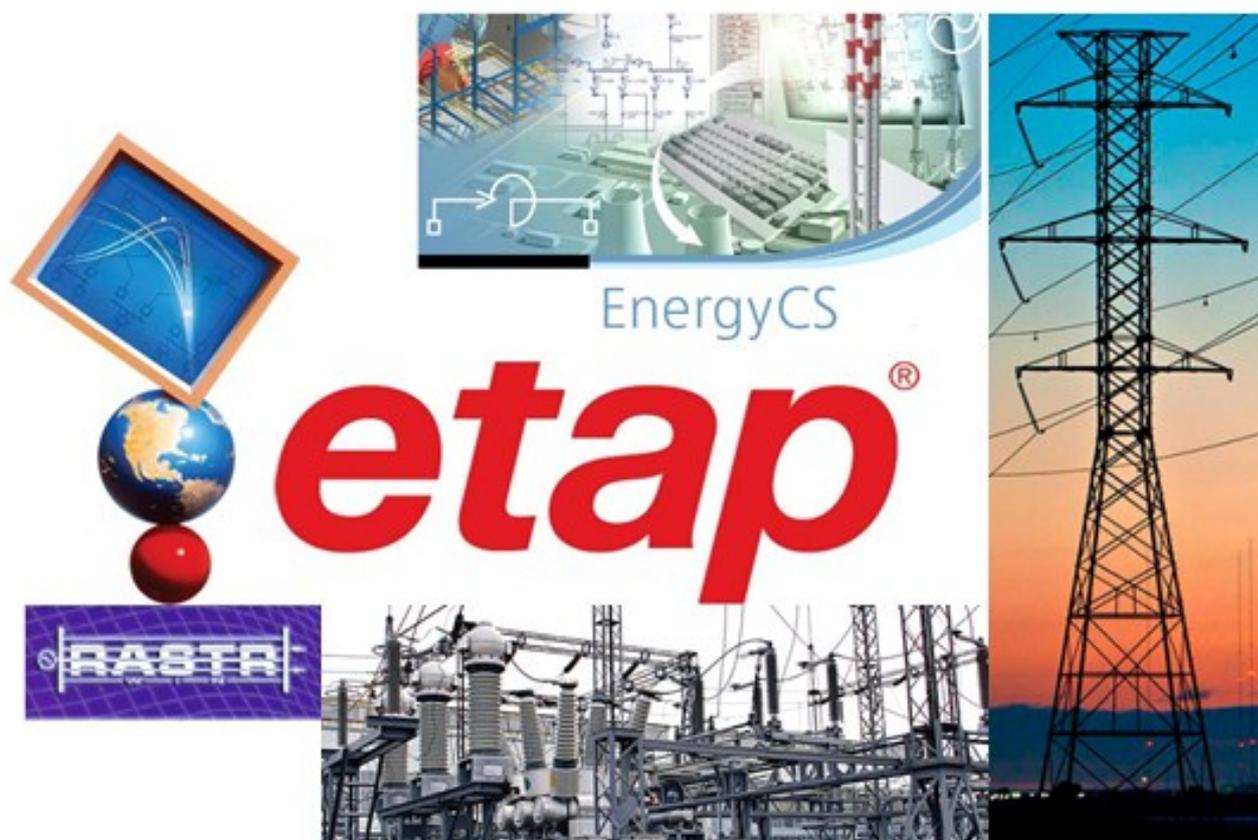


Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Амурский государственный университет»

А.А. Казакул

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРОГРАММНО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Методические указания по выполнению лабораторных работ (часть 2)



Благовещенск
Издательство АмГУ
2018

ББК 31.2я73
П81

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета
энергетического факультета
Амурского государственного
университета*

Казакул А.А.

Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике. Методические указания по выполнению лабораторных работ (часть 2)/ сост. Казакул А.А. - Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

Методическое пособие по выполнению лабораторных работ предназначено для подготовки магистров по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника». В пособие входит четыре лабораторные работы, выполнение которых направлено на развитие у студентов практических навыков по выполнению расчётов в ETAP, Energy CS и RastrWin3.

В авторской редакции.

ББК 31.2я73

©Амурский государственный университет, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Список сокращений	6
Лабораторная работа №1. Расчёт установившегося режима в ПВК ETAP.	7
Лабораторная работа №2. Расчёт установившегося режима электрической сети и токов короткого замыкания в ПВК Energy CS.	30
Лабораторная работа №3. Оптимизация режима ЭЭС по реактивной мощности и оценка её экономического эффекта.	44
Лабораторная работа №4. Расчёт электромеханических переходных процессов в ПВК RastrWin.	57
Заключение	65
Библиографический список	66
Приложение №1. Однолинейные схемы электрических сетей для расчёта установившегося режима электрической сети и ТКЗ в ПВК Energy CS.	67
Приложение №2. Однолинейные схемы электрических сетей для оптимизации в ПВК RastrWin.	85
Приложение №3. Варианты для расчёта переходного режима в ПВК RastrWin.	105

ВВЕДЕНИЕ

Надёжное и качественное электроснабжение потребителей зависит от качества проектирования и эксплуатации электроэнергетического оборудования. Современные условия дефицита времени требуют от специалистов электроэнергетической отрасли принятия оперативных, технически грамотных и обоснованных решений. Таковые могут быть приняты лишь грамотными и опытными специалистами на основании инженерных изысканий и соответствующих расчётов.

В частности, выбор параметров электротехнического и электроэнергетического оборудования основан на результатах расчёта установившихся электрических режимов и токов короткого замыкания. Оперативный расчёт данных параметров возможен только при наличии персонала, способного использовать современное прикладное программное обеспечение.

Обучение прикладных магистров для нужд современного производства включает в себя изучение современных наиболее распространенных прикладных программ, которые повышают производительность труда и качество получаемых результатов.

Настоящее пособие предполагает обучение студентов практическим навыкам работы в ПВК ETAP, ПВК Energy CS для расчётов установившихся режимов и токов короткого замыкания, ПВК RastrWin3 для оптимизации электрических режимов и расчёта электромеханических переходных процессов заданного участка сети в ПВК RUSTab.

В соответствие с рабочей программой дисциплины «Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике» и дисциплины «Электрические режимы в электроэнергетических системах» перечень лабораторных работ, представленных в настоящем пособии, направлен на формирование и развитие следующих общекультурных и профессиональных компетенции:

1) Способность формулировать технические задания, разрабатывать и использовать средства автоматизации при проектировании и технологической подготовке производства (ПК-6).

2) Готовность применять методы и средства автоматизированных систем управления технологическими процессами электроэнергетической и электротехнической промышленности (ПК-23).

Самостоятельное выполнение приведённых лабораторных работ в комплексе с материалом практических занятий позволяет сформировать указанные компетенции.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЛЭП – линия электропередач;

ВН – высшее напряжение подстанции;

СН – среднее напряжение подстанции;

НН – низшее напряжение подстанции;

РПН – регулирование под напряжением;

ВДТ – вольтодобавочный трансформатор;

ПБВ – переключение без возбуждения;

КЗ – короткое замыкание;

ТКЗ – ток короткого замыкания;

АРВ – автоматическое регулирование возбуждения;

ЭМПП – электромеханические переходные процессы;

ЭЭС – электроэнергетическая система;

ПВК – программно-вычислительный комплекс.

Лабораторная работа № 1

РАСЧЕТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА В ПВК ЕТАР.

Цель работы: ознакомление с ПВК ЕТАР, формирование навыков расчёта установившегося режима работы сети в данном ПВК.

ЗАДАНИЕ

В соответствие с вариантами, приведёнными в таблице 1.1:

1. Сформировать однолинейную схему для расчётов в ПВК ЕТАР.
2. Задать параметры элементы согласно варианту задания, рассчитав необходимые параметры.
3. Произвести расчёт установившегося режима, изменить цвет шин, отображения результатов расчёта на схеме.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

Electrical Transient Analyzing Program (ЕТАР), Программа анализа переходных процессов) – комплексный инструмент для детального анализа систем переменного и постоянного токов, используемый для проектирования, анализа, обслуживания и эксплуатации электроэнергетических систем широкого профиля. ООО «ЕТАР СИСТЕМС» (ЕТАР SYSTEMS Russia) является авторизованным представителем в России и СНГ компании OperationTechnology, Inc. (ОТI) (Ирвайн, Калифорния, США) – разработчика программного обеспечения для проектирования в сфере электроэнергетики и управления энергосистемами ЕТАР.

Базовый пакет ЕТАР включает однолинейные схемы, редакторы элементов, менеджер конфигураций, отчеты, мастер проектов и расчетов, управление темами и доступом пользователей. Встроенные модули, производящие расчет допустимой токовой нагрузки и параметров кабелей, а также параметров ЛЭП, предоставляют возможность, как отдельного их использования, так и интеграции с другими модулями для проектирования, анализа и выбора параметров оборудования. Библиотеки элементов основываются на исходных данных предоставляемых производителями и

являются проверенными и утвержденными. Набор комплектации определяется заказчиком.

Модуль расчёта коротких замыканий ETAP представляет собой автоматизированный комплекс по расчёту коротких замыканий в электроэнергетических системах. Расчёты соответствуют стандартам ANSI/IEEE и IEC. ETAP автоматически составляет схему замещения для расчета короткого замыкания для всех точек энергосистемы. ETAP определяет мгновенные, установившиеся токи и токи отключения короткого замыкания. ETAP позволяет рассчитать короткие замыкания при различных типах повреждений (симметричные и несимметричные короткие замыкания) в сетях с различными режимами заземления нейтрали.

ETAP позволяет проводить расчет динамической устойчивости, анализ гармоник и качества напряжения, определять параметры трансформаторов и проводить оптимизацию отпаяк, моделировать системы постоянного тока и системы SMART GRID, а так же проводить весь комплекс расчетов для них .

Программное обеспечение ETAP, включая модуль расчета коротких замыканий, вспышки дуги, кабельных коммуникаций, установившегося режима – было принято в 3000 организаций по всему миру, применяясь в широком диапазоне отраслей промышленности.

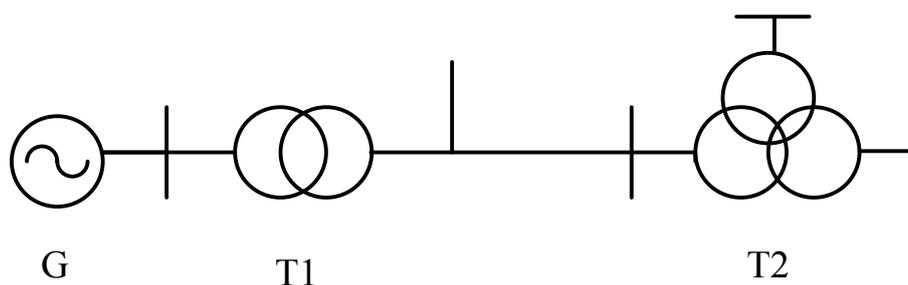


Рисунок 1.1 – Схема рассматриваемого участка сети

Таблица 1.1 – Варианты заданий:

№ в журнале	Генератор/ мощность системы, МВА	Трансформатор 1	Линия. Длина, км /сечение провода, мм ²	Трансформатор 2
1	2	3	4	5
1	ТВФ-63-2У3	ТДЦ- 80000/110	39,7/GRAPE 1120	ТРДЦН- 80000/110
2	100	АТДЦТН- 63000/220/110	127/LYCHEE 1120	ТРДН- 40000/110
3	ТВФ-120-2У3	ТДЦ- 200000/220	53,7/MANGO 1120	АТДЦТН- 63000/220/110
4	СВ-660/165-32	ТДЦ- 80000/220	88/MANGO 1120	АТДЦТН- 63000/220/110
5	200	АТДЦТН- 125000/220/110	93,2/ORANGE 1120	ТРДЦН- 63000/110
6	100	АТДЦТН- 63000/220/110	67,3/LYCHEE 1120	ТРДН- 40000/110
7	СВ-1340/140-96	ТДЦ- 80000/220	89/MANGO 1120	ТРДН- 40000/220
8	300	АТДЦТН- 200000/330/110	190/ORANGE 1120	ТРДЦН- 125000/110
9	ТВФ-63-2У3	ТДЦ- 80000/110	70 / GRAPE 1120	ТДН- 16000/110 x 2
10	200	ТДТН- 63000/110	55/CHERRY 1120	ТДНС- 16000/35
11	100	ТДЦ- 80000/110	39,7/GRAPE 1120	ТРДЦН- 80000/110
12	ТВФ-63-2У3	АТДЦТН- 63000/220/110	127/LYCHEE 1120	ТРДН- 40000/110
13	300	ТДЦ- 200000/220	53,7/MANGO 1120	АТДЦТН- 63000/220/110
14	ТВФ-63-2У3	АТДЦТН- 200000/330/110	190/ORANGE 1120	ТРДЦН- 125000/110
15	СВ-1340/140-96	ТДЦ- 80000/110	70 / GRAPE 1120	ТДН- 16000/110 x 2
16	300	ТДТН- 63000/110	55/CHERRY 1120	ТДНС- 16000/35

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5
17	250	ТДЦ- 200000/220	53,7/MANGO 1120	АТДЦТН- 63000/220/110
18	ТВФ-120-2У3	ТДЦ- 80000/220	88/MANGO 1120	АТДЦТН- 63000/220/110
19	150	АТДЦТН- 125000/220/110	93,2/ORANGE 1120	ТРДЦН- 63000/110
20	ТВФ-63-2У3	ТДЦ- 80000/110	39,7/GRAPE 1120	ТРДЦН- 80000/110
21	100	ТДЦ- 80000/110	70 / GRAPE 1120	ТДН- 16000/110 x 2
22	СВ-660/165-32	АТДЦТН- 125000/220/110	93,2/ORANGE 1120	ТРДЦН- 63000/110
23	ТВФ-63-2У3	АТДЦТН- 63000/220/110	67,3/LYCHEE 1120	ТРДН- 40000/110
24	250	ТДЦ- 80000/220	89/MANGO 1120	ТРДН- 40000/220
25	300	ТДЦ- 80000/220	89/MANGO 1120	ТРДН- 40000/220
26	ТВВ-160-2ЕУ3	АТДЦТН- 200000/330/110	190/ORANGE 1120	ТРДЦН- 125000/110
27	200	ТДЦ- 80000/110	70 / GRAPE 1120	ТДН- 16000/110 x 2
28	100	ТДТН- 63000/110	55/CHERRY 1120	ТДНС- 16000/35
29	150	ТДЦ- 80000/110	39,7/GRAPE 1120	ТРДЦН- 80000/110
30	СВ-660/165-32	АТДЦТН- 63000/220/110	127/LYCHEE 1120	ТРДН- 40000/110

Для расчёта установившегося режима следует занести данные в следующие поля, обязательные для заполнения (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Необходимые исходные данные для расчёта установившегося режима

Элемент		Необходимые данные
1		2
Bus (Шина)		<ul style="list-style-type: none"> – номинальное напряжение, кВ; – процент напряжения от номинального (V%) и фаза напряжения (если поле "Начальное условие" настроено на "Использовать напряжения шин"); – Коэффициент разновременности нагрузок (если пункт "Нагрузка" настроен на "Использовать коэффициент разновременности шин")
Branch (ветвь)	Общее для: Reactor, Current-limited (реактор, токоограничивающий)	<ul style="list-style-type: none"> – Номинальное напряжение (кВ), если не задано автоматически от шины; – Значения Z, R, X или X/R для ветви и единицы измерений, допуск и температура, если применимо; – Полное сопротивление ($z=r+jx$).
	2-Winding transformer , 3-Winding transformer (двух-, трёхобмоточные трансформаторы)	– Мощность обмоток трансформатора в кВА/МВА, отводы и уставки РПН;
	Line (ВЛ), Cable (КЛ)	– Длина воздушной или кабельной электропередачи;
Power Grid (энергосеть, система)		<ul style="list-style-type: none"> – Режим работы (базисный узел, регулирование напряжения, регулирование мощности, Мвар или регулирование коэффициента мощности) – Номинальное напряжение, кВ – %V и фаза для работы в режиме базисного узла; – Нагрузка, МВт или Мвар и пределы по Мвар для режима регулирования мощности, Мвар
Synchronous generator (Синхронный генератор)		<ul style="list-style-type: none"> – Режим работы (базисный узел, регулирование напряжения, регулирование мощности, Мвар или регулирование коэффициента мощности) – Номинальное напряжение, кВ – %V и фаза для работы в режиме базисного узла; – Нагрузка, МВт или Мвар и пределы по Мвар для режима регулирования мощности, Мвар; – Синхронное реактивное сопротивление (X_d).
Synchronous/ induction motor (синхронный /асинхронный двигатель)		<ul style="list-style-type: none"> – Номинальная мощность (кВт или л.с.) и напряжение (кВ) – Коэффициенты мощности и КПД при нагружении на 100%, 75% и 50% – % нагрузки для требуемой категории нагрузки – Данные кабеля оборудования.
Capacitor (конденсатор)		<ul style="list-style-type: none"> – Номинальное напряжение кВ, квар на батарею и число батарей – % нагрузки для требуемой категории нагрузки – Данные кабеля оснащения.

Продолжение таблицы 1.2

1	2
Static Load (статическая нагрузка)	– Номинальное напряжение, кВ, кВА/МВА, коэффициент мощности и % нагрузки электродвигателя – %нагрузки для требуемой категории нагрузки
DC insertion Вставка постоянного тока	– Все данные на вкладке «Номиналы» для расчетов (Imax,Udc,a.min и т.д.
Static thyristor compensator Статический тиристорный компенсатор	– Номинальное напряжение –Индуктивный номинал**** (любой из QL, IL или VL) –Емкостной номинал ****(любой из QC, IC или BC) – Макс. индуктивный номинал**** (либо QL(Max), либо IL(Max)) – Макс. емкостной номинал (либо QC(Min), либо IC(Min)) Примечание: QC, QC(Min) и VL нужно вводить со знаком «минус»

Порядок выполнения лабораторной работы в ПВК ETAP 16 Demo

Рассмотрим на примере версии Etap Power Station 16 Demo с возможностью свободного скачивания. В данной версии считаются режимы, на расчётных схемах которых не более 5 шин.

Установка ПВК.

Отправить запрос на получение демо-версии на сайте etap.com, после по предложенной ссылке скачать ПВК и провести его установку. Во время установки ввести активационный ключ полученный ранее.

Выполнение работы

Запустив ПВК ETAP, создаём новый проект (рисунок П1.1).

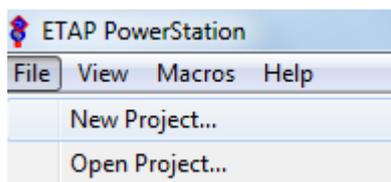


Рисунок 1.2 – Создание нового проекта

Присваиваем файлу имя, при необходимости создаем пароль и выбираем нужную систему измерений (метрическая всё же удобнее) (рисунки 1.3, 1.4).

Заголовок проекта: Новый проект

Местополож.:

Договор №: ОТИ-12345678

Инженер:

Компания:

Замечания:

Комментарии:

Справ. Да Отм.

Рисунок 1.3 – Создание нового проекта

User Information

User Name: User

Full Name:

Description:

Password:

Confirmed Password:

Access level permissions:

- Administrator
- Revision Editor
- Librarian
- Project Editor
- Checker
- Controller
- Base Editor
- Browser
- Operator

OK Cancel Delete Help

Рисунок 1.4 – Окно «Информация пользователя»

Подтверждаем информацию пользователя нажатием кнопки «Ок».

Перед началом работы следует убедиться, что в настройках задана соответствующая частота напряжения электропитания. Для этого открываем

вкладку «Проект» и из выпадающего списка выбираем пункт «Стандарты» (рисунок 1.5).

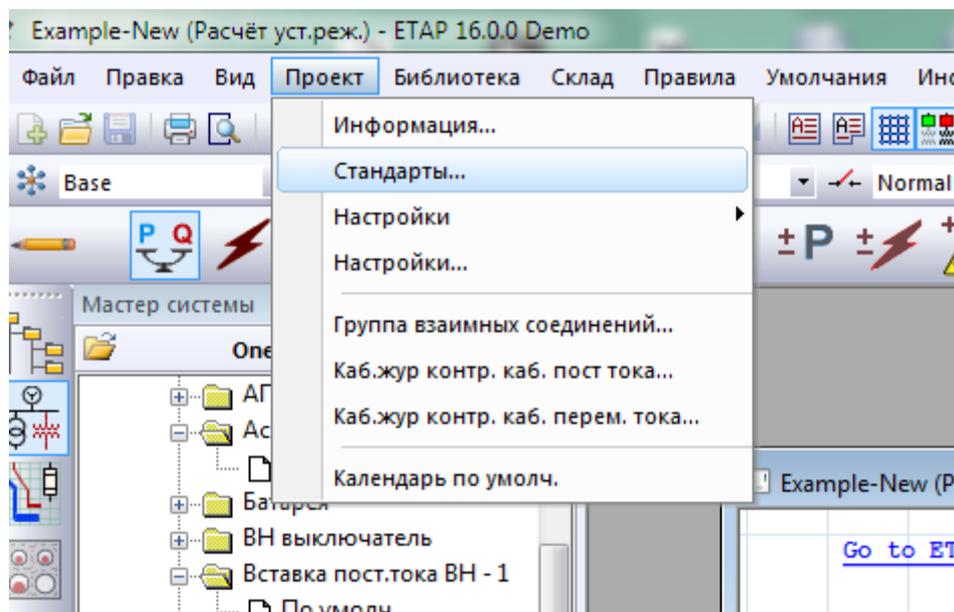


Рисунок 1.5 – Вкладка «Проект»

В открывшемся окне «Стандарты проекта» выбираем нужную частоту сети. Расчёт режима проводим с выбранной отметкой IEC. В соответствии с решениями вышеуказанной комиссии составляются российские стандарты (рисунок 1.6).

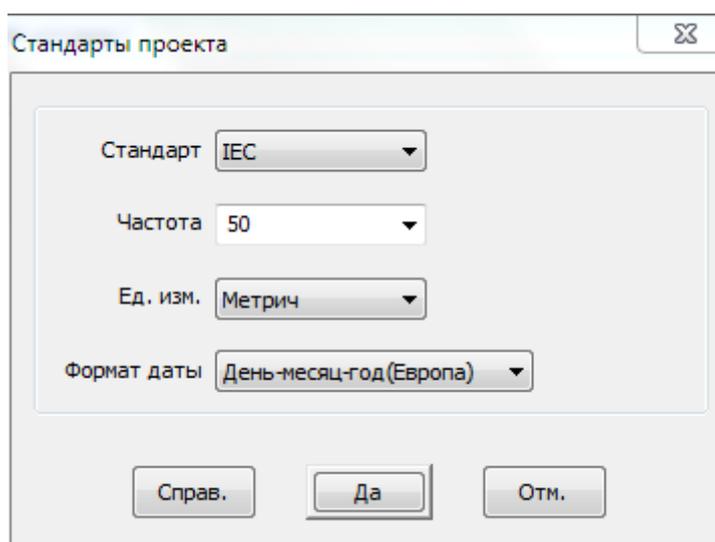


Рисунок 1.6 – «Стандарты проекта»

Теперь переходим в открытое окно OLV1 (one-lineview – однолинейная схема сети). Кликом мыши выбираем необходимый элемент из поля

инструменты справа, где размещены элементы сети постоянного и переменного тока, и располагаем его в пространстве окна OLV. Каждый элемент имеет своё индивидуальное обозначение, абсолютного совпадения наименований при задании расчётной схемы не допускается (рисунок 1.7).

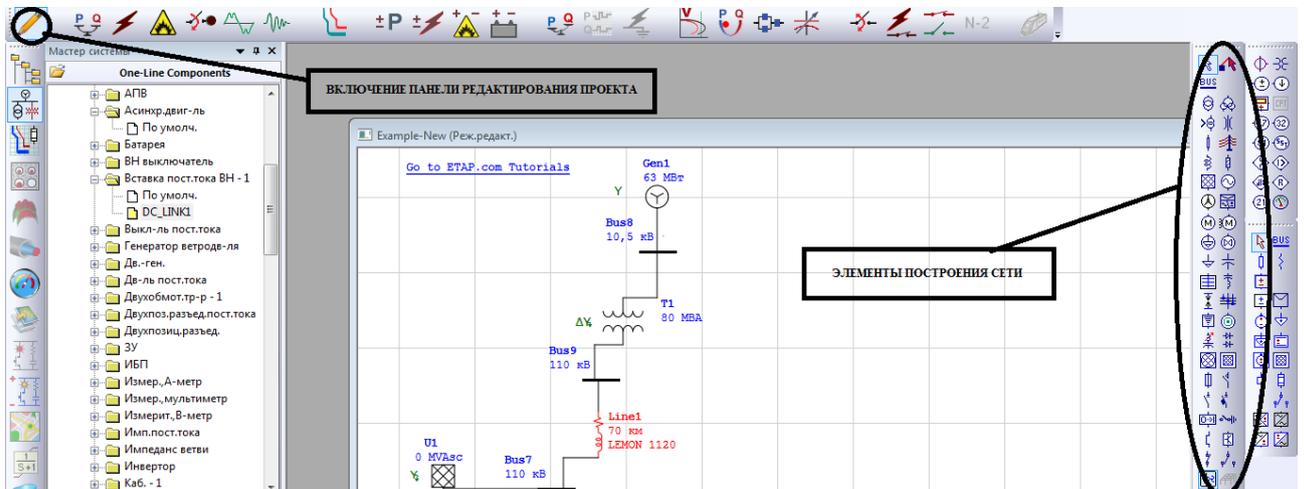


Рисунок 1.7– Выбор элементов схемы сети

В качестве примера рассмотрим задание схемы для расчёта установившегося режима простейшего участка электроэнергетической системы (рисунок 1.8).

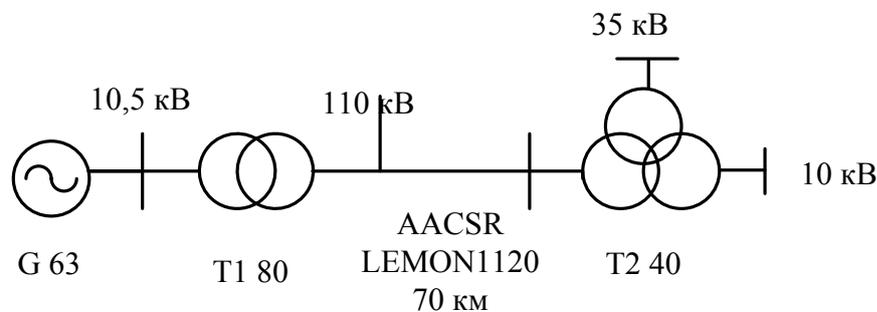


Рисунок 1.8 – Схема рассматриваемого участка сети

Двойным кликом мыши по элементу вызываем таблицу его редактирования и заполняем её номинальными значениями напряжения и мощности в соответствии с размерностью, а также другими параметрами.

Удаление производится выделением элемента и нажатием клавиши «Delete».

Вращение элемента осуществляется кликом правой кнопки мыши и выбором пункта «Orientation» с соответствующим углом поворота.

Используя функцию перемещение из корзины вызванного щелчком правой кнопки мыши окна, можно вернуть удалённый элемент.

1. Шина(Bus)

При задании данного элемента обязательными для заполнения являются поля ID (название) и номинальное напряжение вкладки «Инф.» (рисунок 1.9).

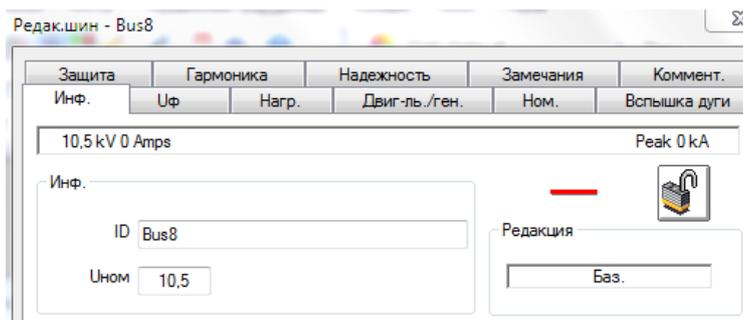


Рисунок 1.9 – Окно редактирования параметров шины

2. Генератор(Gen)

2.1 Во вкладке «Инф.» указываем название, включен (In) или отключен (Out), при необходимости значение напряжения электропитания и выполняемую функцию в разделе Конфигурация. Также можно указать тип генератора во вкладке Имп/Модель.

В задаваемой схеме обязательно должен быть базисный узел. Им может быть генератор (отметка «базисный узел» во вкладке Инф.), либо энергосистема. В примере генератор отметим базисным узлом, в других случаях его можно использовать для регулирования напряжения (рисунок 1.10).

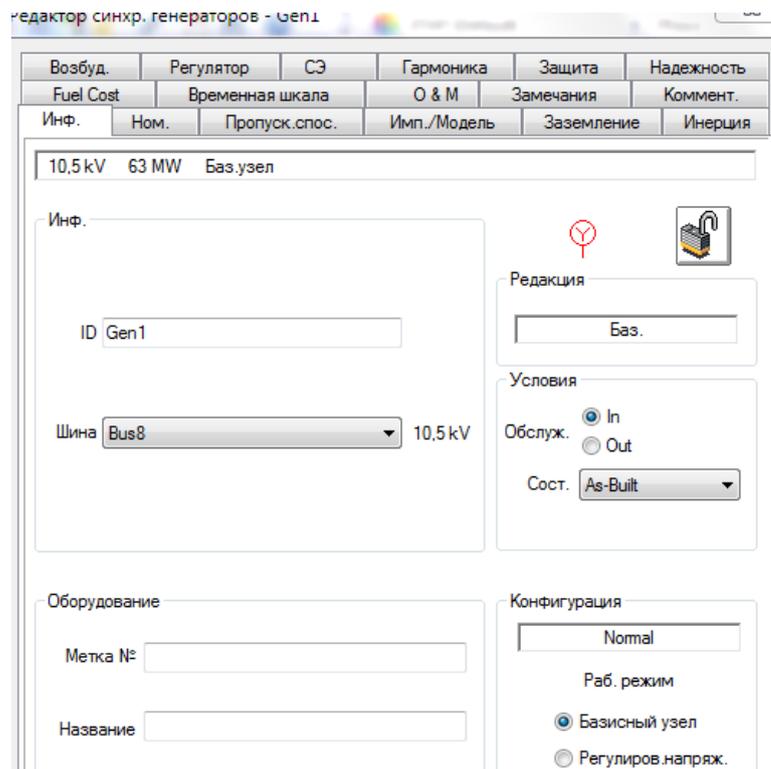


Рисунок 1.10 – Задание модели генератора (вкладка информация)

2.2 Следующим этапом заполняем вкладку Номинальные значения. В ней необходимо указать активную мощность генератора MW (в МВт), пределы по реактивной мощности и коэффициент мощности в процентах. Полная мощность и коэффициент полезного действия будут рассчитаны автоматически (рисунок 1.11).

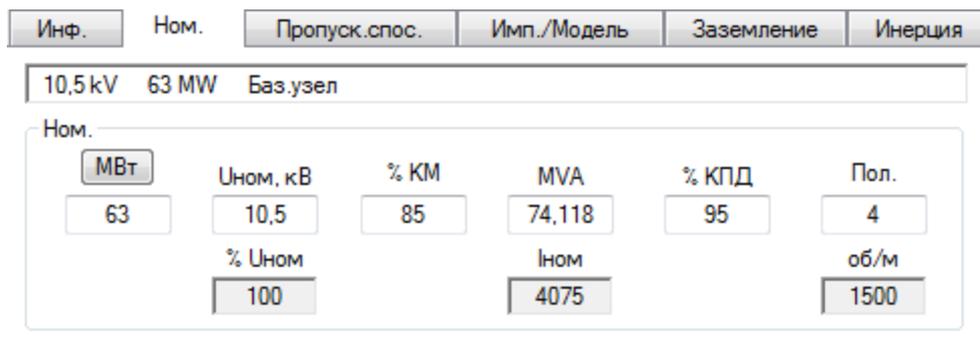


Рисунок 1.11 – Задание модели генератора (вкладка номинальные значения)

3. Двухобмоточный трансформатор (2-Winding transformer)

3.1 При внесении в схему модели трансформатора сначала присоединяем его стороны к шинам, предварительно задав в них

номинальное напряжение, а затем уже заполняем требуемые поля во вкладках (рисунок 1.12).

Рисунок 1.12– Задание модели трансформатора (вкладка информация)

3.2 При задании вкладки **Rating**, необходимо указать номинальную мощность трансформатора в МВА. Напряжение короткого замыкания %Z и отношение сопротивлений X/R можно задать вручную, воспользовавшись справочной литературой и каталогами, а можно задать усреднённые значения, нажав на кнопку «Тип.Z&X/R» во вкладке импеданс. Коэффициент трансформации рассчитывается автоматически. Также можно указать тип охлаждения трансформатора, класс системы охлаждения в полях Тип, Подтип и Класс (рисунок 1.13).

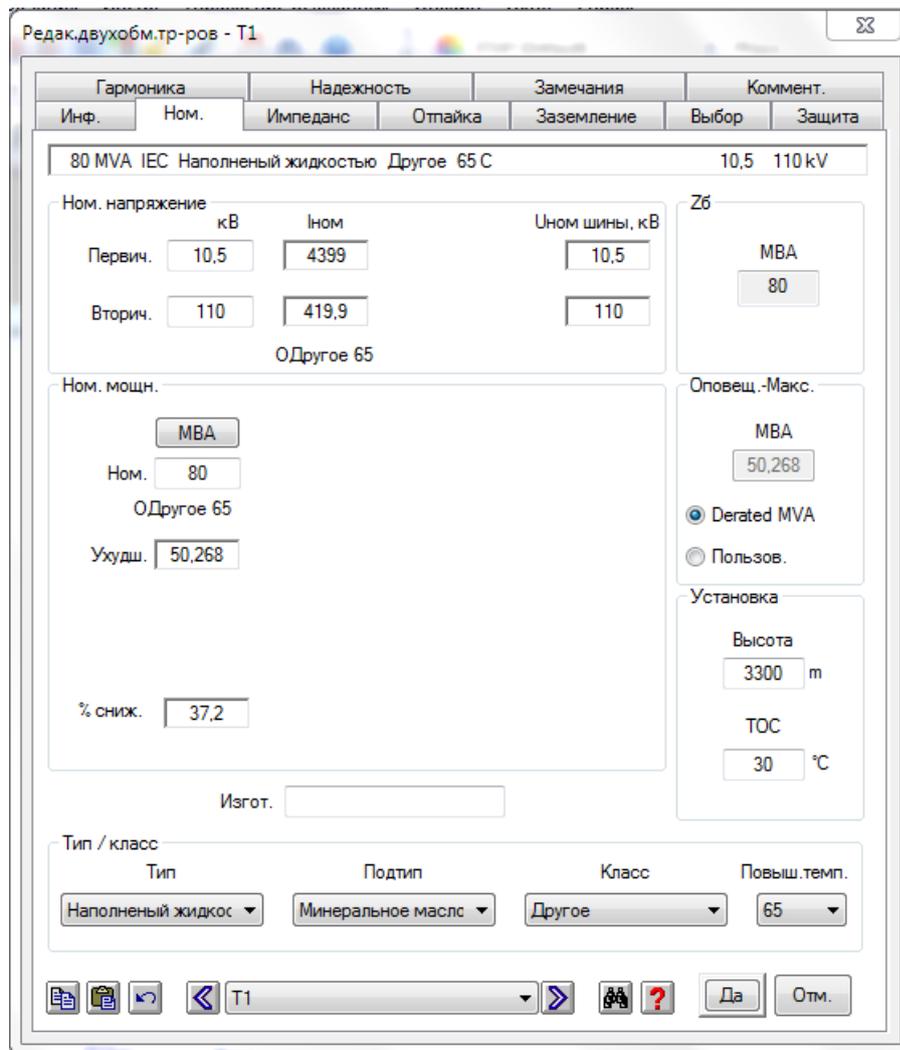


Рисунок 1.13 – задание модели трансформатора (вкладка номинальные значения)

4. Трёхобмоточный трансформатор(3-Winding transformer)

4.1 Вкладка «Инф.»»

Также соединяем выводы трансформатора с шинами с заданным номинальным напряжением (рисунок 1.14).

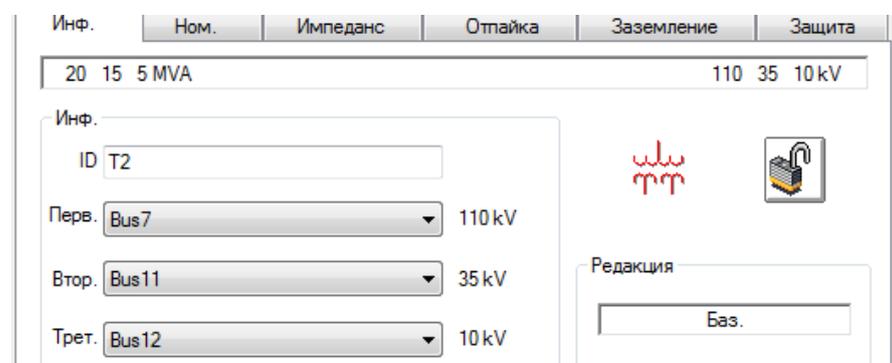


Рисунок 1.14 – Задание трёхобмоточного трансформатора (вкладка информация)

4.2 Вкладки Номинальные значения и Импеданс

Обмотки трехобмоточного трансформатора могут иметь различные мощности. За номинальную мощность трансформатора принимается мощность, равная наибольшей из мощностей его обмоток. На эту мощность трансформатор рассчитывается по условиям нагрева.

Номинальная мощность обмотки – указанное на паспортной табличке трансформатора значение полной мощности на основном (данном) ответвлении, гарантированное изготовителем в номинальных условиях места установки и охлаждающей среды при номинальной частоте и номинальном напряжении обмотки (ответвления) (рисунок 1.15.2) [1].

Соотношение мощностей обмоток определяется в процентах от $S_{ном}$: 100/100/100 %; 100/100/66,7 % или 100/66,7/66,7 %.

Данное утверждение в большей мере принято для автотрансформаторов, для задания трёхобмоточных трансформаторов в данной программе принять мощность обмотки ВН равной половине номинальной мощности трансформатора, а оставшуюся половину распределить между СН и НН.

В практике США принято использовать сопротивления не ветвей схемы замещения трансформатора, а сопротивления между выводами обмоток трансформатора. Сопротивление между обмотками В-С, С-Н, В-Н рассчитывается по формулам 1-3 [2] (стр. 127):

$$Z_{12} = Z_1 + Z_2, \quad (1.1)$$

$$Z_{23} = Z_2 + Z_3, \quad (1.2)$$

$$Z_{13} = Z_1 + Z_3, \quad (1.3)$$

где 1, 2, 3 – индексы, соответственно, обмоток высшего, среднего и низшего напряжений;

Z_{12} - комплексное сопротивление, измеряемое между обмотками 1 и 2 при разомкнутой обмотке 3

Z_{23} - комплексное сопротивление, измеряемое между обмотками 2 и 3 при разомкнутой обмотке 1

Z_{13} - комплексное сопротивление, измеряемое между обмотками 1 и 3 при разомкнутой обмотке 2

Следовательно, отношение X/R между парами обмоток вычисляется следующим образом показанным на примере ТДТН 40 000/110 (рисунок 1.15.1):

$$X / R_{B-C} = \frac{X_B + X_C}{R_B + R_C} = \frac{35,5 + 0}{0,8 + 0,8} = 22,19, \quad (1.4)$$

$$X / R_{B-H} = \frac{X_B + X_H}{R_B + R_H} = \frac{35,5 + 22,3}{0,8 + 0,8} = 36,12, \quad (1.5)$$

$$X / R_{C-H} = \frac{X_C + X_H}{R_C + R_H} = \frac{0 + 22,3}{0,8 + 0,8} = 13,9. \quad (1.6)$$

	Прям.	Нул.		
	% Z	X/R	% Z	X/R
ЭС	10,5	22,19	10,5	22,19
ТН	17	36,12	17	36,12
атк.	6	13,9	6	13,9

Additional fields: Сбаз = 20

Рисунок 1.15.1– Задание характеристик трёхобмоточного трансформатора (вкладка Импеданс)

Ном.	кВ	МВА	Смакс	Ином	Подключ.шина
Перв.	110	20	20	105	110
Вторич.	35	15	15	247,4	35
Третич.	10	5	5	288,7	10

Рисунок 1.15.2– Задание характеристик трёхобмоточного трансформатора (вкладки Номинальные значения)

Напряжение короткого замыкания между парами обмоток (%Z):

- В-С: $u_{кBC, \%}$ (Primary-Secondary, PS),
- В-Н: $u_{кBH, \%}$ (Primary-Tertiary, PT),
- С-Н: $u_{кCH, \%}$ (Secondary-Tertiary, ST),

В поле Impedance заполняем раздел Positive, Zero (холостой ход) заполнится автоматически.

5. Моделирование воздушной линии (Line)

Для моделирования линии во вкладке «Инф.» необходимо задать длину линии (поле Длина) в км или других единицах измерения (рисунок 1.17).

Остальные данные задаются автоматически при выборе типа проводника из библиотеки проводников во вкладке Параметр (рисунок 1.16).

Во вкладке Импеданс необходимо задать каталожные удельные активное и реактивное сопротивление [Ом/км] километр, а также проводимость в [мкСм/км] при температуре 20°C (рисунок 1.18).

Инф.	Параметр	Конфигурация	Компоновка	Земля	Импеданс	Защита
Pirelli-AACSR/GZ		T1	20 °C	Код	262 mm ²	
ACSR	50 Hz	T2	75 °C	LEMON 1120	30 Strands	

Проводник фазы				
Тип проводника	R-T1 (20 °C)	R-T2 (75 °C)	Ха	Библ.проводников
AL	0,142	0,173	0,224	Ом на 1 км
Наружный	СГР		Ха'	мОм на 1 км
2,1 см	0,00866 м		0,193	

Рисунок 1.16-Вкладка параметр

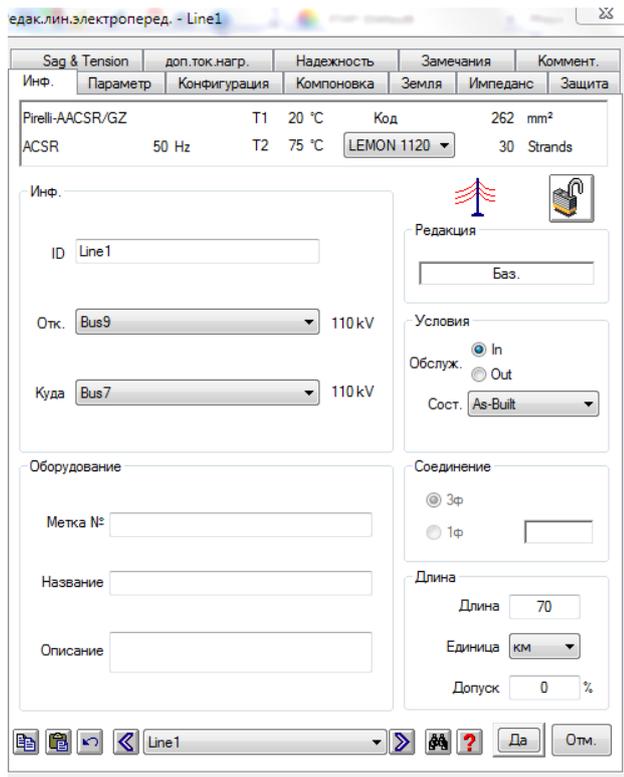


Рисунок 1.17 – Задание линии (вкладка Info)

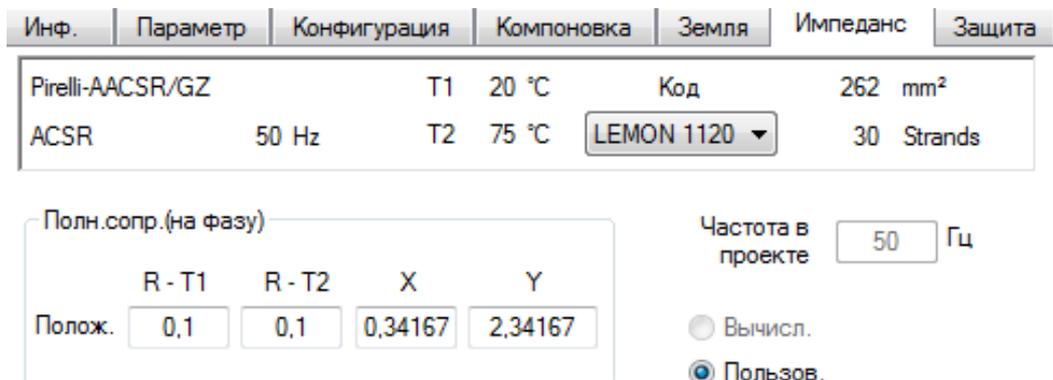


Рисунок 1.18– Задание линии (вкладка Сопротивления)

6. Энергосистема (Grid)

Для расчёта необходимо задать данные энергосистемы, прикреплённые к какой-либо шине (обычно высокого напряжения). Во вкладке Ном. указать мощность системы (рисунки 1.19, 1.20).

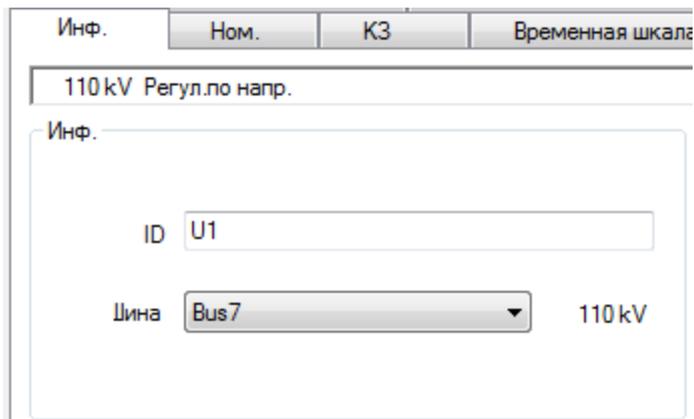


Рисунок 1.19 – Энергосистема (вкладка Информация)

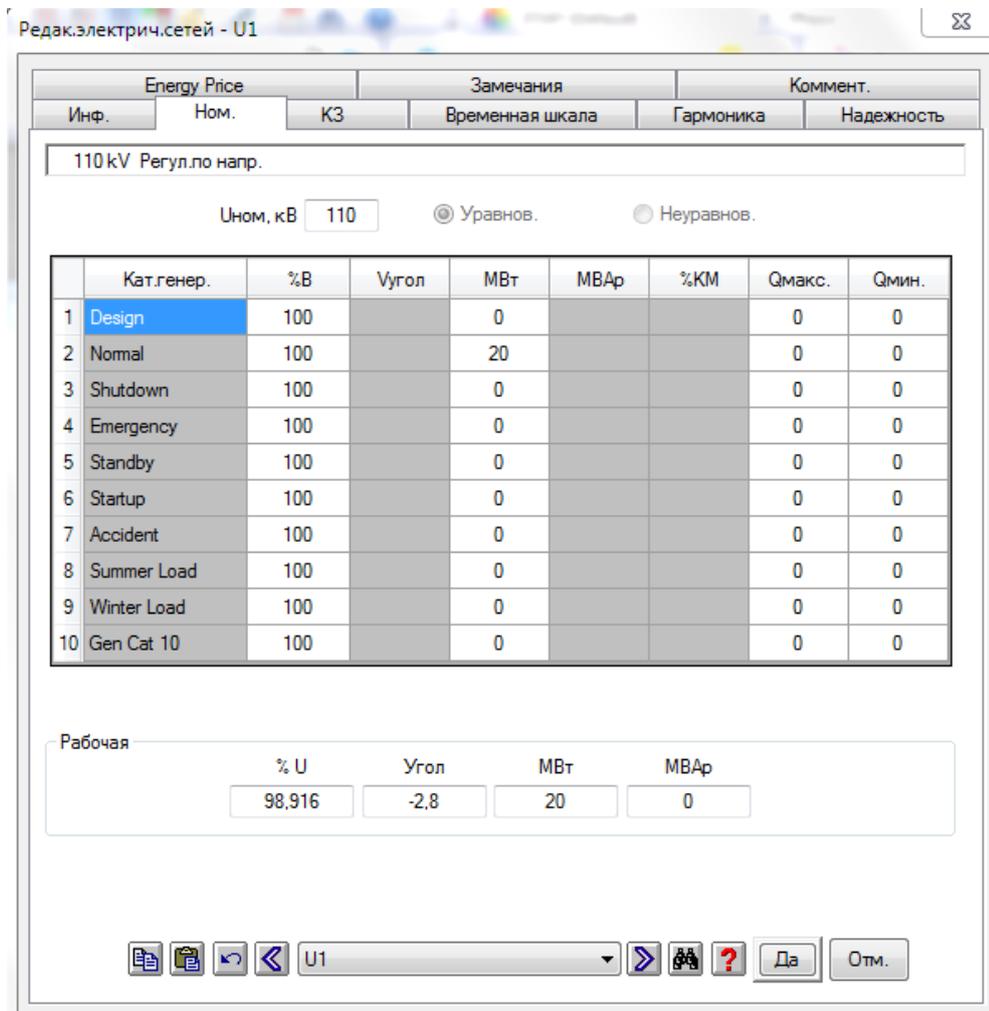


Рисунок 1.20 – Энергосистема (вкладка Номинальные значения)

Для расчёта режима переходим из вкладки редактирования во вкладку расчёта установившегося режима (рисунок 1.21).



Рисунок 1.21 Панель режимов программы

В появившейся справа панели нажимаем на кнопку «начать расчёт установившегося режима» (рисунок 1.22).

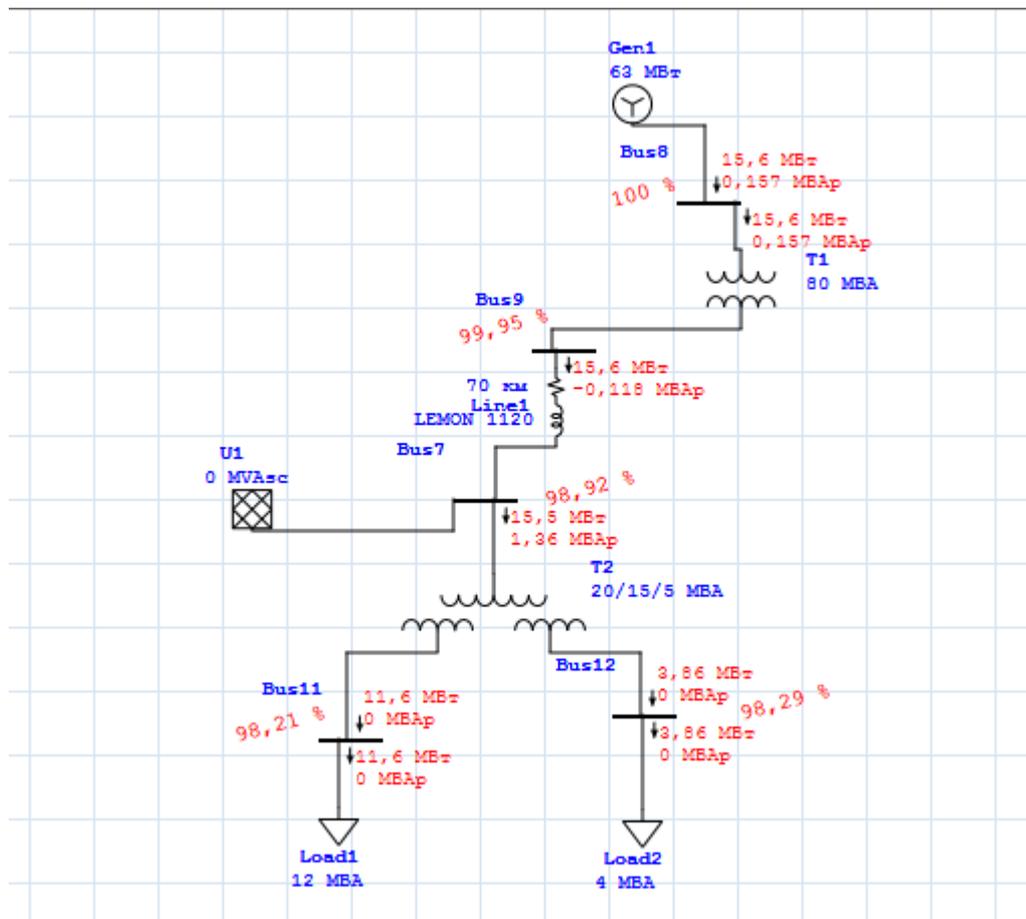


Рисунок 1.22– Результат расчёта установившегося режима

На рабочем поле можно выбрать, какие надписи отображать. Нужно нажать на кнопку Настройки отображения, которая находится внизу панели инструментов (рисунок 1.23).



Рисунок 1.23 – Кнопка Настройки отображения

После нажатия появляется следующее окно, показанное на рисунке. В нём в табличном виде представлены параметры, которые можно как отобразить, так и скрыть. Также доступна при расчёте установившихся режимов в панели справа (рисунок 1.24).

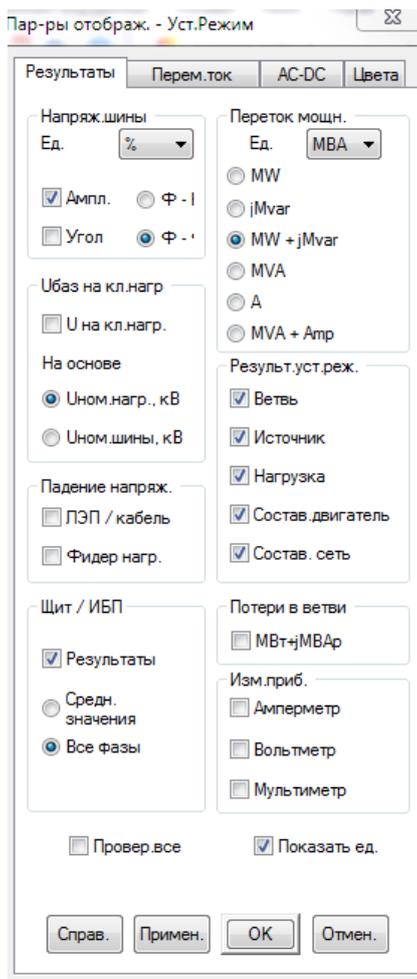


Рисунок 1.24 – Выбор параметров отображения надписей

Параметры, указываемые во вкладке Display Options – Load Flow в разделе AC (переменный ток).

ID – название

Rating – номинальное значение параметра

kV – номинальное напряжение

A – номинальный ток

D-Y – схема соединения обмоток

Z – сопротивление в комплексном виде

Затем нажимаем на кнопку «Мастер отчетов»  на панели инструментов, который формирует отчет по заданной схеме в виде описания заданных и рассчитанных параметров с представлением в различных форматах (рисунок 1.25).

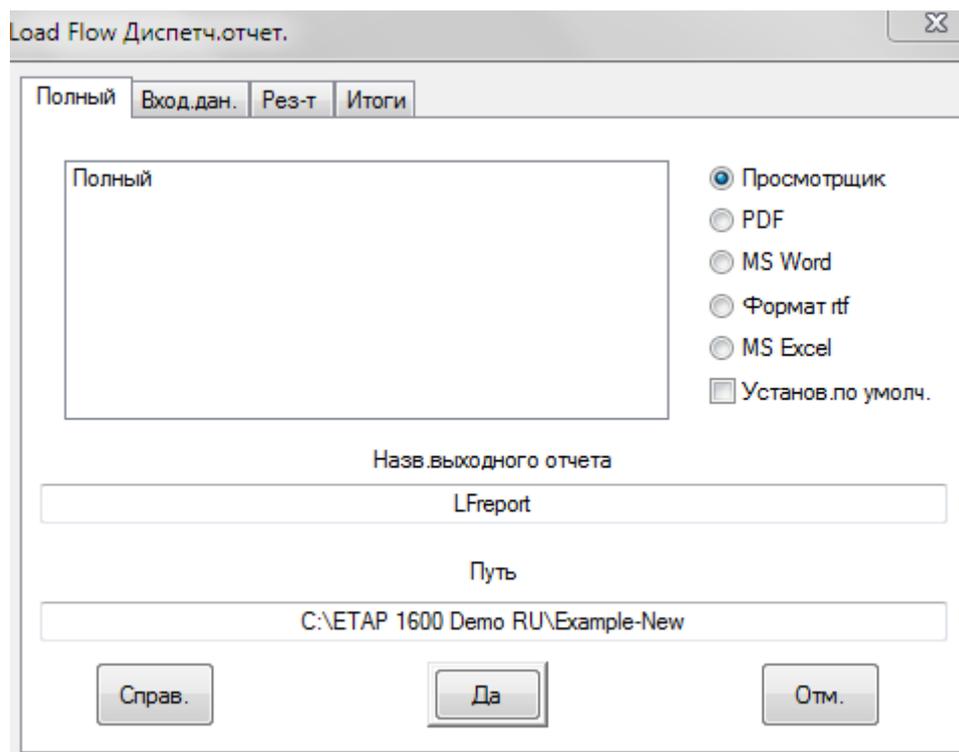


Рисунок 1.25 – Кнопка Мастер отчетов

ПЕРЕЧЕНЬ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Для выполнения лабораторной работы необходим ПК с установленным программным комплексом ЕТАР.

ОПИСАНИЕ ХОДА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Составляется модель электрической сети по схеме, приведённой на рисунке 1.1.
2. Вносятся (рассчитываются при необходимости) параметры оборудования согласно варианту задания по таблице 1.1. Номер варианта определяется преподавателем или номером по журналу (на усмотрение преподавателя).
3. Выполняется расчёт установившегося режима.

ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТЫ

В отчёт по лабораторной работе необходимо включить: однолинейную схему моделируемой сети, однолинейную схему из ЕТАР.

ВЫВОДЫ

В результате выполнения лабораторной работы отрабатываются навыки по расчёту режимов в ПВК ЕТАР.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. Дать определение энергетической системе, электрической системе, электрической сети.
2. Каким требованиям должна удовлетворять энергетическая система?
3. Почему необходимы автоматические устройства на всех объектах системы передачи и распределения электроэнергии?
4. В чём состоят преимущества и недостатки радиальных и магистральных схем?
5. Достоинства и недостатки электрических сетей, работающих с глухозаземленной, эффективно заземленной, изолированной и компенсированной нейтралью.
6. Назначение трансформаторов в электрических сетях.
7. Классификация трансформаторов по конструктивному исполнению.

8.Преимущества автотрансформаторов по сравнению с трансформаторами? В каких случаях на подстанциях устанавливаются однофазные трансформаторы?

9. Перечислить системы охлаждения трансформаторов.

Лабораторная работа № 2

РАСЧЁТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ И ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ПВК ENERGY CS.

Цель работы: расчёт установившегося режима электрической сети и токов короткого замыкания в ПВК Energy CS.

ЗАДАНИЕ

В соответствии с вариантами, приведёнными в приложении 1:

1. Составить графическую модель в ПВК Energy CS.
2. Выполнить расчет нормального режима электрической сети.
3. Отрегулировать напряжения в узлах электрической сети.
4. Провести анализ потерь мощности в сети и сделать выводы.
5. Для составленной графической модели (пункт 1) произвести расчет токов короткого замыкания.
6. Составить отчет и написать выводы по проделанной лабораторной работе.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

Комплекс программ Energy CS сочетает в себе удобный пользовательский интерфейс и мощные математические методы расчета режимов как разомкнутых распределительных, так и сложнзамкнутых системообразующих сетей [3].

Комплекс состоит из трех независимых программ, каждая из которых решает определенную задачу в единой информационной модели рассматриваемой электрической сети:

- расчет и анализ установившихся режимов (Energy CS Режим);
- расчет токов короткого замыкания и токов замыкания на землю (Energy CS ТКЗ);
- расчет потерь электроэнергии в сложных энергосистемах (Energy CS Потери) [3].

Ввод исходной модели осуществляется путем рисования схемы сети с использованием встроенного редактора расчетных схем и визуально соответствует электрической однолинейной схеме.

В процессе рисования модели проверяются связность сети и классы напряжения узлов. Модель сети состоит из объектов, соответствующих элементам сети: линий, трансформаторов, реакторов и т.п. Типы и марки элементов выбираются из встроенной справочной базы данных, параметры схемы замещения рассчитываются автоматически с учетом настройки элементов (например, РПН- или ПБВ-трансформаторов), числа секций батарей конденсаторов и т.п.

Допускается ввод модели в виде абстрактных узлов и ветвей, без определения объектов.

Параметры расчетной модели и результаты расчета выводятся в таблицы и на схему.

Графическое изображение схемы сети может быть разбито на множество визуально независимых участков – подсхем.

Схема может быть выведена на любой системный принтер формата от А4 до А0, а также передана в AutoCAD или другую графическую систему. Выходные таблицы можно выводить на системный принтер или передавать в MS Word или Open Office для оформления выходных документов на основе настраиваемых шаблонов.

Для расчета установившегося режима применено моделирование режима сети системой нелинейных уравнений, записанных в форме баланса мощностей. Решение системы уравнений на первых итерациях может выполняться методом Зейделя, а на последующих – методом Ньютона [4].

Для разомкнутых участков может применяться топологический метод расчета режима с заданием напряжения начала и нагрузки в начале или в конце сети.

Программы комплекса Energy CS на одной модели позволяют решить три большие задачи: расчет установившихся режимов, расчет токов короткого замыкания и расчет потерь электрической энергии.

Порядок создания модели Energy CS для расчёта установившегося режима и последующего расчёта ТКЗ

1. Для расчета установившегося режима используется ПК Energy CS Режим.

Необходимо создать новую модель (рисунок 2.1).

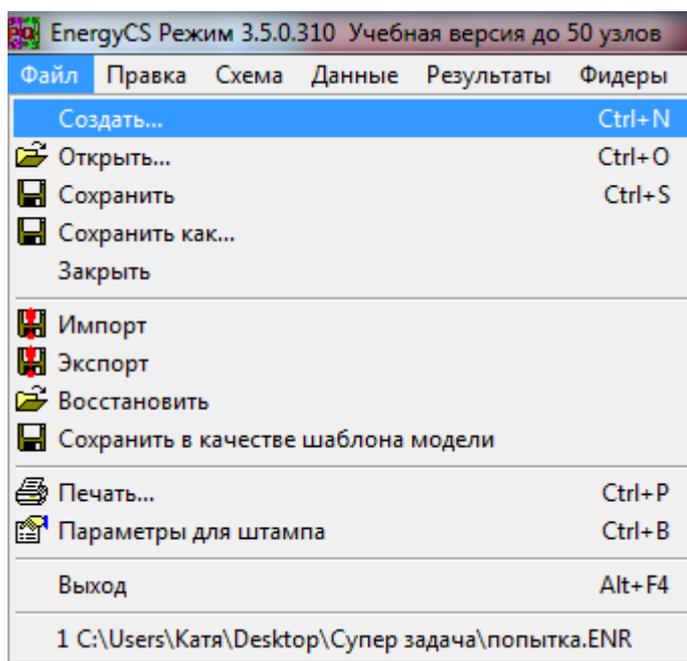


Рисунок 2.1 – Создание новой модели

После того, как новая модель сохранена, всплывает окно «Общие данные». Это окно позволяет выполнить существенные настройки модели, такие как методы и точность расчета режима, число итераций, вид расчета и т.д.

Далее рассмотрим пункты подробнее:

- Размерность мощности может быть представлена в МВт и Мвар, а также в кВт и квар.

- Точность баланса мощности – параметр, определяющий максимальное значение небаланса, при достижении которого заканчивается расчет установившегося режима. Завышенное значение данного параметра

приведет к тому, что данные расчета будут далеки от действительности; заниженное значение может привести к тому, что расчет займет существенно больше времени или не осуществится совсем. Точность баланса мощности должна быть существенно меньше наименьшей значимой нагрузки. Чтобы правильно оценить значение точности баланса мощности, следует оценить значения заданной нагрузки. Для вновь создаваемой модели оптимальное значение точности $0,1 * S_{\text{мин}}$, где $S_{\text{мин}}$ – минимальное значение заданной нагрузки. Точность вводится в текущей размерности мощности.

- Начальные приближения – это первые приближения, указывающие значения напряжения при первой итерации расчета.

В данной программе начальные приближения определяются двумя способами:

- ❖ Нулевые начальные приближения – номинальные напряжения и нулевые значения сдвига фаз (данные значения введены пользователем в качестве номинальных в таблицу узлов). Если выполняется первый расчет, то выбираются нулевые начальные приближения.

- ❖ Текущие начальные приближения – в качестве начальных приближений выбираются значения предыдущего расчета.

- Метод расчета. По умолчанию программа предлагает метод Ньютона в качестве метода расчета. Также данная программа считает режимы с помощью методов (в данной версии 50 узлов): по параметру и Ньютон + нормализация. В лицензированной версии к ним добавляются: метод Зейдель + Ньютон и Зейдель + по параметру. Для новой модели можно оставить метод Ньютона.

- Максимальное число итераций. По умолчанию стоит число итераций – 20, оно является оптимальным. Если расчет сходится, то достаточно 3-4 итераций. В случае тяжелого режима может потребоваться большее число итераций.

- Расчётный час графика нагрузки. Если для большинства нагрузок заданы ГЭН, то расчётный час позволит получить срез режима на соответствующий момент.

- Отдельный расчёт фидеров. В программе есть расчёт фидеров, как разомкнутых участков. Это с одной стороны позволяет существенно снизить размерность решаемого уравнения баланса мощностей, а с другой позволяет выполнять расчёт участков, для которых мощность задана на голове.

- Учет XX трансформаторов. Если включить маркер \surd , программа будет учитывать поперечные ветви схемы замещения, отражающие потери XX.

- Авторасчёт при изменениях. Включенный маркер \surd соответствует режиму, когда после каждого изменения параметров схемы, происходит автоматический перерасчет установившегося режима. Для вновь создаваемой схемы или в случае существенного редактирования схемы, когда промежуточный режим, может быть, не реализуем, авторасчет следует отключить.

- Протокол расчета – необходим для анализа процесса расчета в случае его расхождения или невозможности балансировки. Чтобы посмотреть промежуточные результаты расчета или выявить ошибки схемы. Протокол можно посмотреть, выбрав пункт «Сервис» главного меню.

- Коэффициент трансформации. В данном пункте определяется способ вывода и ввода информации о коэффициенте трансформации для абстрактных ветвей. В трансформаторах используется первый способ, использующий номер отпайки РПН и проценты отклонения напряжения.

- Справочник. Указывается имя файла базы данных справочника с расширением *.SPR. По умолчанию – Energy.SPR.

- Штамп – надпись, которую можно разместить в любом месте чертежа.

- Строгое соответствие модели и схемы. Если модель большая, а для расчета интересен небольшой участок, который собственно и изображён на схеме. Включение данной графы обеспечит строгое соответствие модели и чертежа. То есть любой элемент, удаляемый со схемы, исчезнет из модели и чертежа. При создании новой схемы, следует включить маркер в строке данного параметра.

- Вид расчета. Предусмотрено несколько видов расчета: режим, утяжеление, эквивалентирование.

- Температура окружающей среды – в данной графе уточняется температура на период расчета.

Таким образом, для новой схемы «Общие данные» выглядят следующим образом (рисунок 2.2):

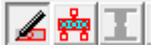
Общие данные	
Применить	
Размерность мощности	МВт и Мвар
Точность баланса мощности	1
Начальные приближения	Нулевые
Число итераций м.Зейделя на старте	4
Метод расчета	Ньютона
Максимальное число итераций	20
Расчетный час графика нагрузки	0
Отдельный расчет фидеров	<input checked="" type="checkbox"/>
Учет XX трансформаторов	<input checked="" type="checkbox"/>
Авторасчет при изменениях	<input type="checkbox"/>
Протокол расчета	<input checked="" type="checkbox"/>
Коэффициент трансформации	n*dKт
Внешний справочник по умолчанию	Energy.SPR
Штамп	
Строгое соответствие модели и схемы	<input checked="" type="checkbox"/>
Вид расчета	Режим
Температура окружающей среды	20

Рисунок 2.2 – Окно «Общие данные»

2. Нажать «Применить» и начать графический ввод модели.

В данной программе существует два режима: редактирования и просмотра. Переключение режима просмотра на режим редактирования

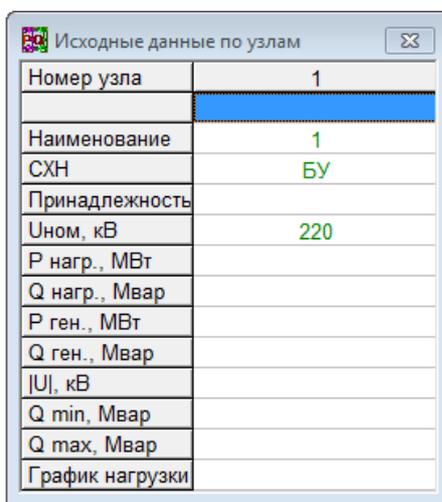
производится с помощью кнопки , в режиме просмотра кнопка выглядит утопленной.

Рядом с кнопкой «Просмотр схемы» располагаются кнопки создания узла и ветви .

2.1 Добавление узла.

Первый шаг в создании модели – это добавление узла. Нажимаем кнопку «Добавить узел» рядом с кнопкой «Просмотр схемы» и наводим курсор в нужное место на поле редактирования схемы и создаем узел.

При нажатии на узел становится активным окно «Исходные данные по узлам» (рисунок 2.3).



Номер узла	1
Наименование	1
СХН	БУ
Принадлежность	
Уном, кВ	220
P нагр., МВт	
Q нагр., Мвар	
P ген., МВт	
Q ген., Мвар	
U , кВ	
Q min, Мвар	
Q max, Мвар	
График нагрузки	

Рисунок 2.3 – Задание исходных данных по узлам

В данной таблице можно указать: номер, наименование, СХН (Статические характеристики нагрузки), номинальное напряжение, активные и реактивные мощности генерации и нагрузки, пределы выработки реактивной мощности, ГЭН.

2.2 Задание балансирующего узла.

В любой системе должен быть балансирующий узел. В рассматриваемой программе есть такой элемент как «Система». Данный элемент представляет собой источник питания неограниченной мощности, узел, к которому подключен этот элемент, станет балансирующим, на него будут списываться небалансы мощности сети. Именно система является

источником питания сети. До подключения «Системы» все узлы на схеме будут считаться отключенными и отображаются серым цветом.

2.3 Добавление ветви.

Для подключения ветви к узлу необходимо кликнуть на узел, затем на панели инструментов нажать кнопку «Добавить ветвь».

Появится следующее окно (рисунок 2.4):

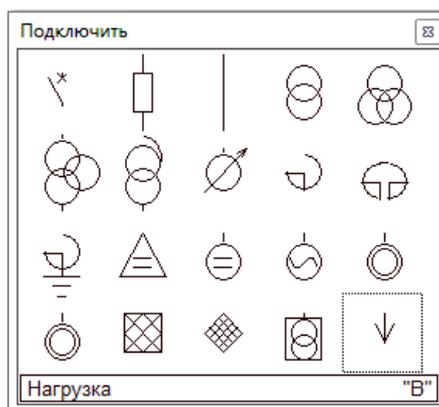


Рисунок 2.4 – Элементы ветвей

Выбираем необходимый элемент и, расположив в нужном направлении ветвь и левым кликом мыши завершить построение.

При нажатии на ветвь становится активным окно «Трансформаторы трехобмоточные» (рисунок 2.5), «Автотрансформаторы», «Линии» (рисунок 2.6) и т.д., в зависимости от выбранного элемента.

Трансформаторы тр...	
Номера узлов	11-16;17
Узел, ВН	11
Узел, СН	16
Узел, НН	17
Обозначение	
Тип	ТДТН-40000
Сном, МВА	40
Uвн, кВ	230
Uсн, кВ	38,5
Uнн, кВ	6,6
Rхх, МВт	0,055
Rкв-с, МВт	0,22
Rкв-н, МВт	0
Rкс-н, МВт	0
Uкв-с, %	12,5
Uкв-н, %	22
Uкс-н, %	9,5
Iхх, %	1,1
dКтв, %	1
Нерв	0
dКтс, %	2,5
Нерс	0

Рисунок 2.5 – Окно «Трансформаторы трехобмоточные»

Нажав строку «Тип», мы можем выбрать оборудование из справочника или сами занести значения параметров оборудования.

Регулирования напряжения с помощью РПН осуществляется с помощью графы №рс.

Для линии:

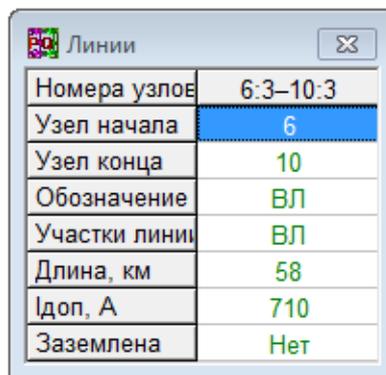


Рисунок 2.6 – Окно «Линии»

После нажатия строки «Участок линии», где изначально стоит «???», появится окно для задания параметров линии (рисунок 2.7).

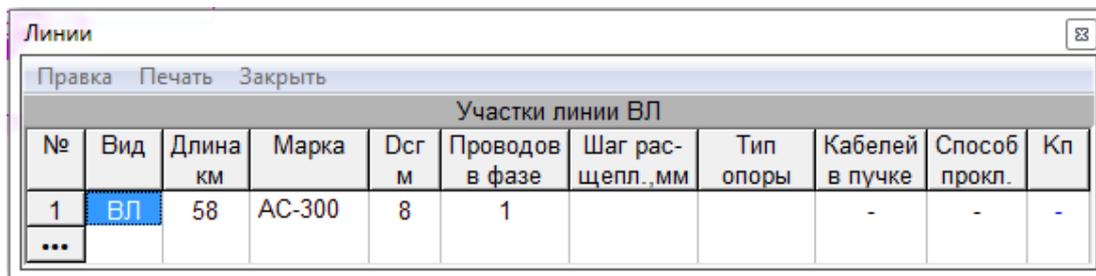


Рисунок 2.7 – Задание параметров линии

Выбираем вид, далее можем выбрать марку линии и написать длину.

На панели инструментов есть кнопка «Отображаемые параметры» , с помощью которой мы можем выбрать интересующие нас параметры для отображения на схеме.

3. Расчет режима.

После построения графической модели, производится расчет режима, нажатием кнопки F2.

Настройка графического отображения параметров выбирается в меню (рисунки 2.8, 2.9).

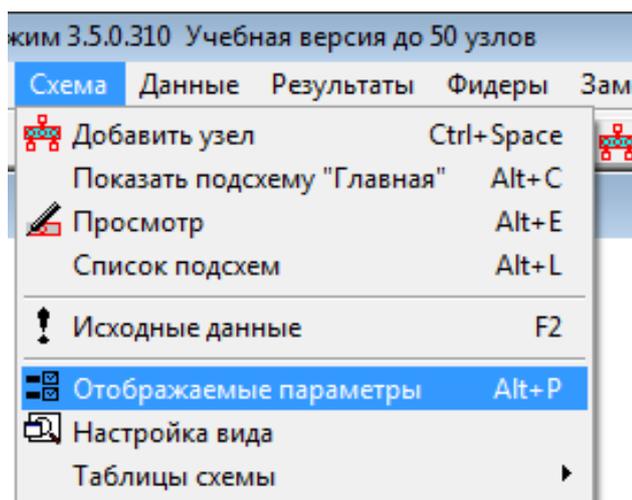


Рисунок 2.8 - Настройка графического отображения параметров

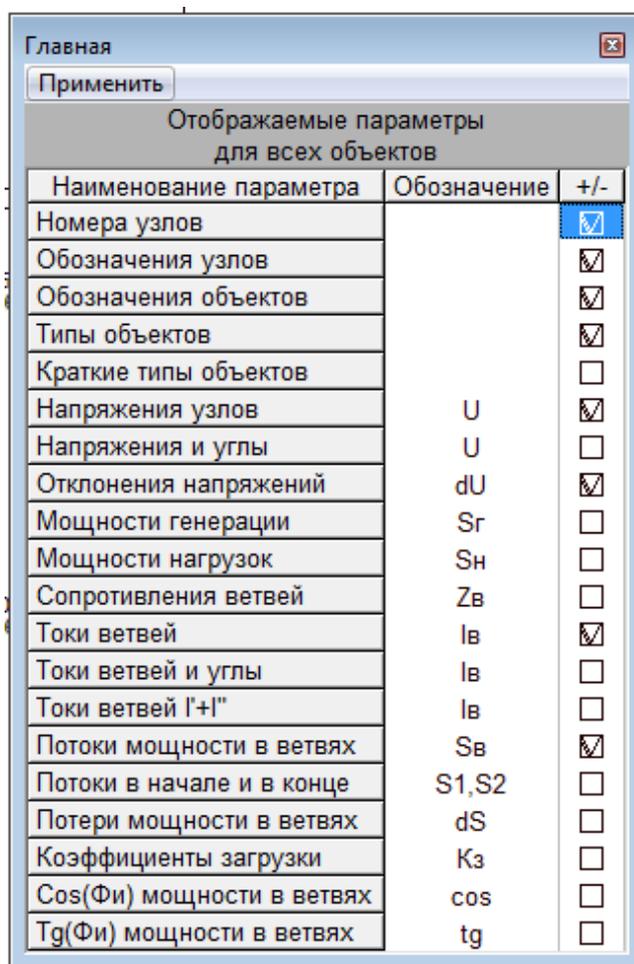


Рисунок 2.9 – Выбор отображаемых параметров

4. Расчёт ТКЗ. Для расчета ТКЗ используется ПК Energy CS ТКЗ. Заполняется таблица «Общие данные» (рисунок 2.10).

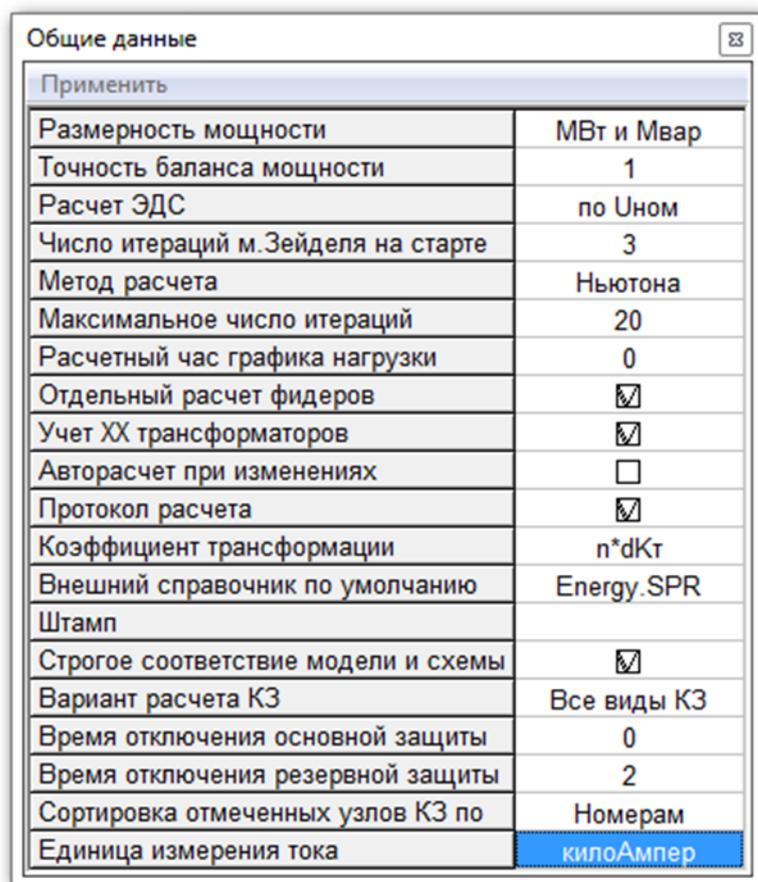


Рисунок 2.10 – Окно «Общие данные»

- Расчет ЭДС. Расчет может быть выполнен по номинальным и по расчетным напряжениям.
- Вариант расчета КЗ. Программа предлагает рассчитать: все виды КЗ, трехфазные КЗ и КЗ без земли.
- Время отключения основной защиты. Указывается время в целых секундах.
- Время отключения резервной защиты.
- Сортировка отмеченных узлов КЗ по: номерам или именам.
- Единица измерения тока. Размерность – А или кА.

Поскольку модель уже создана, просто открываем файл.

Узлы, в которых нам необходимо узнать значение токов КЗ, должны быть отмечены в таблицах этих узлов (рисунок 2.11). Графа КЗ – вводим наименование узла.

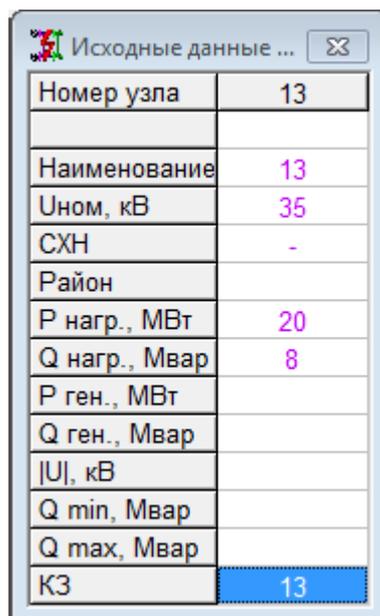


Рисунок 2.11 – Задание номеров узлов для расчета токов КЗ

Для отображения интересующих нас параметров нажимаем кнопку

«Отображаемые параметры» .

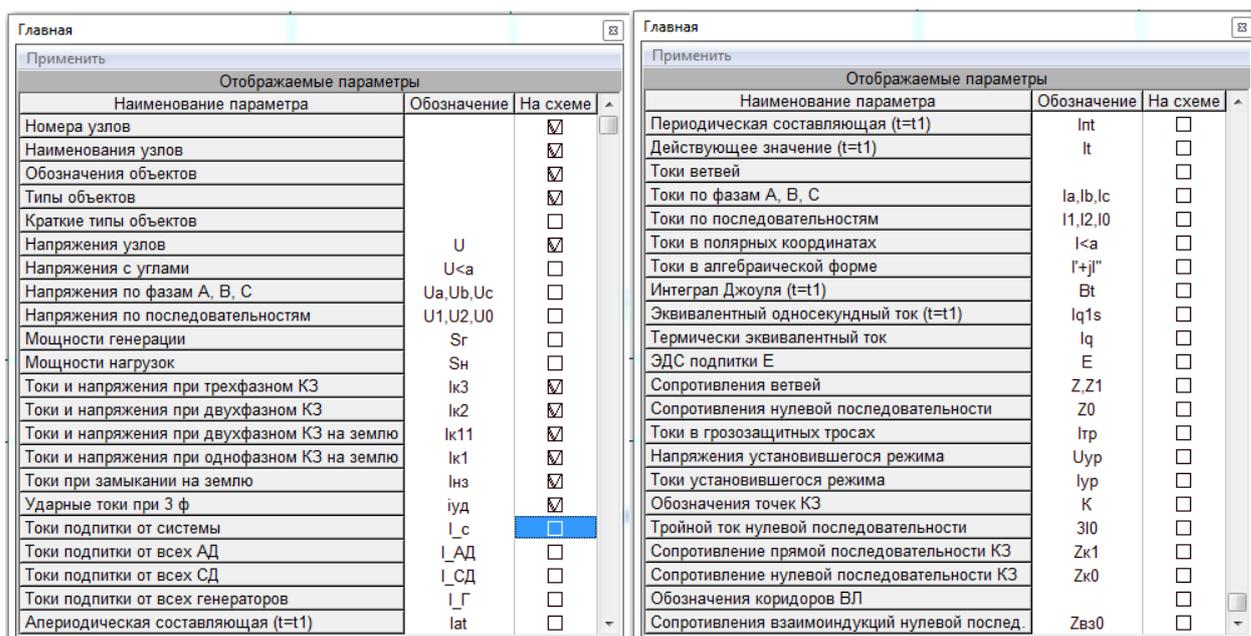


Рисунок 2.12 – Выбор отображаемых параметров

Далее нажимает клавишу F2 (Расчет). На схеме отображаются токи КЗ в указанных узлах.

Также с помощью окна «Расчет ТКЗ» можно посмотреть интересующие нас параметры в виде таблиц (рисунок 2.13).

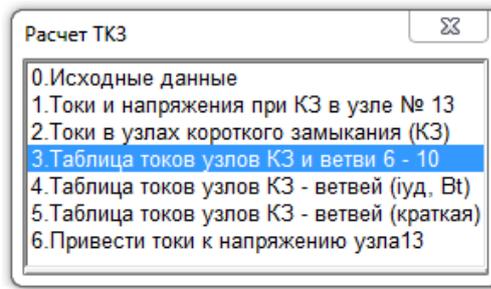


Рисунок 2.13 – Выбор таблицы со значениями токов КЗ

ПЕРЕЧЕНЬ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Для выполнения лабораторной работы необходим ПК и ПК Energy CS Режим и ПК Energy CS ТКЗ.

ОПИСАНИЕ ХОДА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. В ПК Energy CS Режим производится ввод модели заданной электрической сети и одновременное задание необходимых параметров вводимых элементов.

2. Производится расчет установившегося режима (F2) и регулирование напряжения в узлах электрической сети.

3. В ПК Energy CS ТКЗ загружается модель, созданная для расчета установившегося режима.

4. Задаются узлы для расчета ТКЗ.

5. Производится расчет ТКЗ (F2).

6. Составляется отчет по выполненной лабораторной работе.

ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТЫ

В отчёт по лабораторной работе необходимо включить: однолинейную схему моделируемой электрической сети, графическую модель заданной электрической сети, схему с результатом расчета установившегося режима, схему с результатом регулирования напряжения (при необходимости), структуру потерь мощности, схему с рассчитанными значениями ТКЗ, полученные при расчете ТКЗ значения (на выбор) в виде таблиц.

ВЫВОДЫ

В результате выполнения лабораторной работы приобретаются теоретические знания и навыки по расчёту установившегося режима и ТКЗ в ПК Energy CS.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. Как задаётся балансирующий узел в ПК Energy CS Режим?
2. Как осуществляется регулирование напряжения в ПК Energy CS Режим?
3. Каковы цели расчета КЗ?
4. Какие условия и основные допущения принимают при расчетах КЗ?

Лабораторная работа № 3

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ЭЭС ПО РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ОЦЕНКА ЕЁ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Цель работы: изучение способов оптимизации электрических режимов по напряжению, реактивной мощности и коэффициентам трансформации в ПВК RastrWin.

ЗАДАНИЕ

В соответствии с вариантами, приведёнными в приложении 2:

1. Рассчитать параметры схемы замещения для электрической сети исходя из варианта;
2. Составить расчётную модель для расчётов установившихся режимов в ПВК RastrWin;
3. Оформить графическую схему потокораспределения расчёта установившегося режима в ПВК RastrWin;
4. Выполнить расчёт режима в ПВК RastrWin (с учётом средних значений отпаяк РПН и номинальном напряжении в узлах ИРМ) и зафиксировать значение потерь мощности.
5. Провести оптимизацию режима с помощью встроенных функций ПВК RastrWin и зафиксировать значение потерь.
6. Оценить экономический эффект за год в рублях через снижение потерь мощности.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

Показателем, отражающим эффективность работы ЭЭС, является величина потерь активной мощности, а именно их доля от вырабатываемой или передаваемой мощности.

По мнению международных экспертов в области энергетики относительные потери электроэнергии при ее передаче в электрических сетях не должны превышать 4%. Потери электроэнергии на уровне 10 % можно считать максимально допустимыми [5].

Фактические (отчетные) потери электроэнергии определяют как разность электроэнергии, поступившей в сеть, и электроэнергии, отпущенной из сети потребителям. Эти потери включают в себя составляющие различной природы: потери в элементах сети, имеющие чисто физический характер, расход электроэнергии на работу оборудования, установленного на подстанциях и обеспечивающего передачу электроэнергии, погрешности фиксации электроэнергии приборами ее учета и хищения электроэнергии, неоплату или неполную оплату показаний счетчиков и т. п.[5].

На основании уровня потерь электроэнергии можно сделать выводы о необходимости и объеме внедрения энергосберегающих мероприятий.

Расчеты потерь электроэнергии в сетях проводят для решения задач, которые можно разделить на две группы: внутриобъектные технико-экономические задачи и внешнеэкономические задачи, связанные с взаимодействием с внешними государственными и вышестоящими ведомственными организациями.

К внутриобъектным задачам относятся задачи повышения экономичности функционирования объекта, осуществляемые самим персоналом, эксплуатирующим объект: выявление очагов потерь, разработка мероприятий по их снижению, создание системы стимулирования персонала и т. п.

К внешнеэкономическим задачам относятся задачи обоснования уровня потерь для формирования тарифов на электроэнергию.

Для решения внутриобъектных задач требуется максимально возможная детализация расчетов с определением потерь в каждом элементе сети, выявлением зон повышенных технических и коммерческих потерь, технико-экономической оценкой целесообразности проведения конкретных мероприятий для их снижения.

Разделение потерь на составляющие может проводиться по разным критериям: характеру потерь (постоянные, переменные), классам напряжения, группам элементов, производственным подразделениям и т. д.

Для целей нормирования потерь целесообразно использовать укрупненную структуру потерь электроэнергии, в которой потери разделены на составляющие, исходя из их физической природы и методов определения их количественных значений. Исходя из этого критерия, фактические потери могут быть разделены на четыре составляющие [5]:

2) технические потери электроэнергии, обусловленные физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии и выражающимися в преобразовании части электроэнергии в тепло в элементах сетей. Технические потери не могут быть измерены. Их значения получают расчетным путем на основе известных законов электротехники;

3) расход электроэнергии на собственные нужды подстанций, необходимый для обеспечения работы технологического оборудования подстанций и жизнедеятельности обслуживающего персонала. Расход электроэнергии на собственные нужды подстанций регистрируется счетчиками, установленными на трансформаторах собственных нужд;

4) потери электроэнергии, обусловленные инструментальными погрешностями ее измерения (инструментальные потери). Эти потери получают расчетным путем на основе данных о метрологических характеристиках и режимах работы используемых приборов;

5) коммерческие потери, обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствием показаний счетчиков оплате за электроэнергию бытовыми потребителями и другими причинами в сфере организации контроля над потреблением энергии. Коммерческие потери не имеют самостоятельного математического описания и, как следствие, не могут быть рассчитаны автономно. Их значение определяют как разницу между фактическими (отчетными) потерями и суммой первых трех составляющих.

В настоящее время расход электроэнергии на собственные нужды подстанций отражается в отчетности в составе технических потерь, а потери, обусловленные погрешностями системы учета электроэнергии, - в составе коммерческих потерь.

Три первые составляющие укрупненной структуры потерь обусловлены технологическими потребностями процесса передачи электроэнергии по сетям и инструментального учета ее поступления и отпуска. Сумма этих составляющих хорошо описывается термином технологические потери. Четвертая составляющая, коммерческие потери, представляет собой воздействие «человеческого фактора» и включает в себя все его проявления: сознательные хищения электроэнергии некоторыми абонентами с помощью изменения показаний счетчиков, потребление энергии мимо счетчиков, неоплату или неполную оплату показаний счетчиков, определение поступления и отпуска электроэнергии по некоторым точкам учета расчетным путем (при несовпадении границ балансовой принадлежности сетей и мест установки приборов учета) и т. п. [5].

В рассматриваемой лабораторной работе осуществляется оптимизация технических потерь путем оптимизации по реактивной мощности.

Оптимизация режима по реактивной мощности выполняется для выбора модулей напряжения в узлах-источниках реактивной мощности (ИРМ) и коэффициентов трансформации в трансформаторах, имеющих регулирование под нагрузкой (РПН) или вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ). Обычно эти устройства используют для поддержания напряжений в заданных пределах:

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max}. \quad (3.1)$$

и уменьшения потерь активной мощности.

В ПВК RastrWin решение этой задачи сводится к минимизации целевой функции:

$$\min F = \sum_{ij}^{N_y} \Delta P_{ij} + K_{III} \sum_i^N \delta V_i^2, \quad (3.2)$$

где P_{ij} — потери активной мощности в ветви $i-j$. Потери могут быть рассчитаны через модули и углы напряжений по концам ветви:

$$\Delta P_{ij} = (V_i^2 + V_j^2 - 2 \cdot V_i \cdot V_j \cdot \cos(\delta_i - \delta_j)) \cdot g_{ij}; \quad (3.3)$$

N_v — число ветвей, по которым минимизируются потери. Это могут быть все или только выбранные ветви. Возможна ситуация, когда это число равно нулю, и в этом случае потери не минимизируются.

δV_i — нарушение ограничений, равное:

$$\delta V_i = \begin{cases} \frac{V_i - V_i^{max}}{V_i^{max}}, & \text{если } V_i > V_i^{max} \\ 0, & \text{если } V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max}; \\ \frac{V - V_i^{min}}{V_i^{min}}, & \text{если } V < V_i^{min} \end{cases} \quad (3.4)$$

K_{III} — штрафной коэффициент, подбирается эмпирически. Определяет соотношение между потерями и нарушенными ограничениями по напряжению. Чем больше коэффициент, тем «жестче» после оптимизации будут выдержаны ограничения, но большие коэффициенты могут привести к очень медленной сходимости. Задается в пределах от 20 до 500 [6].

Минимизация этой функции осуществляется следующими изменениями:

1. Изменениями модулей напряжения и реактивной мощности в узлах ИРМ в заданных пределах:

$$V_i^{r,min} \leq V_i^r \leq V_i^{r,max}; \quad (3.5)$$

$$Q_i^{r,min} \leq Q_i^r \leq Q_i^{r,max}; \quad (3.6)$$

2. Коэффициентов трансформации в трансформаторах с РПН или ВДТ в заданных пределах:

$$K_{ij}^{T,min} \leq K_{ij}^T \leq K_{ij}^{T,max}; \quad (3.7)$$

Для проведения оптимизации в исходных данных должны быть заданы узлы–ИРМ и регулируемые трансформаторы. Узел считается источником реактивной мощности, если в нем задано $Q_{min} < Q_{max}$ и $U_{min} \leq U_{ном} \leq U_{max}$. В таком узле программа может изменять заданный модуль напряжения. В таком узле программа может изменять заданный модуль напряжения.

Задание узлов выполняется во вкладке Оптимизация > Оптимизация – Узлы (рисунок 3.1).

	O	S	Номер	Название	Тип	U_min	U_max	V	V_зд	Q_min	Q_max	Q_г
1	<input type="checkbox"/>		16	ПС ГВФ с.ш.2 ВН	Ген	99	121	111,33	111,3	-100,0	200,0	17,3
2	<input type="checkbox"/>		5	ПС Березовка ВН	Ген	99	121	111,23	111,2	-100,0	200,0	36,3
3	<input type="checkbox"/>		19	ПС СМР ВН	Ген	99	121	111,10	111,1	-100,0	200,0	57,9
4	<input type="checkbox"/>		18	ПС НПЗ ВН	Ген	99	121	110,98	111,0	-100,0	200,0	43,4

Рисунок 3.1 – Задание узлов–ИРМ.

Ветвь считается регулируемым трансформатором, если в ней задано $K_{T_{min}} \leq K_{T/Г} \leq K_{T_{max}}$. В такой ветви программа будет изменять коэффициент трансформации. Эти параметры задаются во вкладке Оптимизация > Оптимизация – Трансформаторы (рисунок 3.2).

	O	S	N_нач	N_кон	Название	БД_...	Kт_мин	Kт_маx	Kт/г	N_анц
1	<input type="checkbox"/>		1	4	АТ-1 ТЭЦ ВН - АТ-1 ТЭЦ Н				1,000	
2	<input type="checkbox"/>		4	2	АТ-1 ТЭЦ Н - АТ-1 ТЭЦ СН	1	0,440	0,560	0,510	7
3	<input type="checkbox"/>		4	3	АТ-1 ТЭЦ Н - АТ-1 ТЭЦ НН				0,045	
4	<input type="checkbox"/>		7	13	АТ1-2 РЦ ВН 220 - АТ1 РЦ Н				1,000	
5	<input type="checkbox"/>		13	14	АТ1 РЦ Н - ПС РЦ СН 110	2	0,440	0,560	0,525	7
6	<input type="checkbox"/>		13	10	АТ1 РЦ Н - АТ1 РЦ НН				0,045	
7	<input type="checkbox"/>		7	12	АТ1-2 РЦ ВН 220 - АТ2 РЦ Н				1,000	
8	<input type="checkbox"/>		12	14	АТ2 РЦ Н - ПС РЦ СН 110	2	0,440	0,560	0,525	7
9	<input type="checkbox"/>		12	11	АТ2 РЦ Н - АТ2 РЦ НН				0,045	

Рисунок 3.2 – Задание пределов регулирования коэффициента трансформации трансформатора.

В случае, если заполнена вкладка трансформаторы > анцапфы, то в процессе оптимизации будет выбрано оптимальное значение номера отпайки трансформатора (N_анц).

Узлы считаются контролируемыми по напряжению, если в них задано $U_{min} < U_{max}$. В таких узлах расчетное напряжение в исходном режиме

может не попадать в диапазон $U_{\min} \div U_{\max}$. Тогда в ходе оптимизации будет осуществлен ввод режима в допустимую область. Задание узлов выполняется во вкладке Оптимизация > Оптимизация – узлы (Рисунок 3.3).

	O	S	Номер	Название	Тип	U_min	U_max	V	V_зд	Q_min	Q_max	Q_r
1	<input type="checkbox"/>		1	АТ-1 ТЭЦ ВН	Нагр	198	242	218,38				
2	<input type="checkbox"/>		2	АТ-1 ТЭЦ СН	Нагр	99	121	109,31				
3	<input type="checkbox"/>		3	АТ-1 ТЭЦ НН	Нагр	9	11	9,73				
4	<input type="checkbox"/>		4	АТ-1 ТЭЦ Н	Нагр	198	242	216,85				
5	<input type="checkbox"/>		5	ПС Березовка ВН	Нагр	99	110	108,90				
6	<input type="checkbox"/>		6	ПС КПУ ВН	Нагр	99	110	108,35				
7	<input type="checkbox"/>		7	АТ1-2 РЦ ВН 220	Нагр	198	242	217,26				
8	<input type="checkbox"/>		10	АТ1 РЦ НН	Нагр	9	11	9,20				

Рисунок 3.3 – Задание узлов, контролируемых по напряжению.

Для изменения параметров оптимизации предназначена таблица Параметры > Оптимизация в меню Расчёты:

Название	
Минимизация потерь в ветвях (МинDP)	Все
Участие ИРМ в регулировании (ИРМ)	Да
Регулирование ИРМ/ТРАНСФ. (Регулир)	ИРМ+ТРАНСФ.
Расчет анцапф (Анцапф)	Да
Мин снижение потерь (dPmin)	0,100
Минимальное снижение штрафа (dSmin)	0,100
Число итераций с мин снижением (It_min)	5
Макс число итераций (It)	150
Штрафной коэффициент (K_штраф)	90
Коэффициент Kтр (K_ктр)	20

Рисунок 3.4 – Таблица для изменения параметров оптимизации.

Контроль потерь необходимо осуществлять через вкладку Районы > Районы (рисунок 3.5).

	N...	Район	Ноб	Рген	Рнаг	Dp	Рпотр	Рвн	Тс	Рн мин	Рн max	Рг мин	Рг max
1	1			301	251	4,17	255	46					

Рисунок 3.5 – Определение потерь посредством ПВК RastrWin

Пример выполнения оптимизации

1. Заполнить вкладки «Ветви» и «Узлы» согласно параметрам заданной

СХЕМЫ:

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	V_ш	V	Delta	Рай...
1	<input type="checkbox"/>		Нагр	1	АТ-1 ТЭЦ ВН	220											216,43	136,41	
2	<input type="checkbox"/>		Нагр	2	АТ-1 ТЭЦ СН	110			20,0	8,0							106,02	132,29	
3	<input type="checkbox"/>		Нагр	3	АТ-1 ТЭЦ НН	10			25,0	10,0							9,52	130,54	
4	<input type="checkbox"/>		Нагр	4	АТ-1 ТЭЦ Н	220											212,17	132,28	
5	<input type="checkbox"/>		Нагр	5	ПС Березовка ВН	110			10,0	4,0							105,49	132,03	
6	<input type="checkbox"/>		Нагр	6	ПС КПУ ВН	110			16,0	6,4							104,81	131,69	
7	<input type="checkbox"/>		Нагр	7	АТ-1-2 РЦ ВН 220	220											215,63	136,05	
8	<input type="checkbox"/>		Нагр	10	АТ1 РЦ НН	10			20,0	8,0							9,29	128,35	
9	<input type="checkbox"/>		Нагр	11	АТ2 РЦ НН	10			20,0	8,0							9,29	128,35	
10	<input type="checkbox"/>		Нагр	12	АТ2 РЦ Н	220											210,18	131,81	
11	<input type="checkbox"/>		Нагр	13	АТ1 РЦ Н	220											210,18	131,81	
12	<input type="checkbox"/>		Нагр	14	ПС РЦ СН 110	110			63,0	25,2							105,05	131,81	
13	<input type="checkbox"/>		Нагр	15	ПС ГВФ с.ш.1 ВН	110			12,5	5,0							104,75	131,66	
14	<input type="checkbox"/>		Нагр	16	ПС ГВФ с.ш.2 ВН	110			12,5	5,0							105,76	132,15	
15	<input type="checkbox"/>		Нагр	17	ПС НПЗ-2 ВН	110			25,0	10,0							104,35	131,31	
16	<input type="checkbox"/>		Нагр	18	ПС НПЗ ВН	110			32,0	12,8							104,36	131,31	
17	<input type="checkbox"/>		Нагр	19	ПС СМР ВН	110			40,0	16,0							104,82	131,69	
18	<input type="checkbox"/>		Нагр	20	оп. 1	110											105,51	132,04	
19	<input type="checkbox"/>		Нагр	21	оп. 2	110											105,51	132,04	
20	<input type="checkbox"/>		Нагр	22	оп. 3	110											105,07	131,82	
21	<input type="checkbox"/>		Нагр	23	оп. 4	110											105,07	131,82	
22	<input type="checkbox"/>		Нагр	24	оп. 5	110											104,90	131,74	
23	<input type="checkbox"/>		Нагр	25	оп. 6	110											104,90	131,74	
24	<input type="checkbox"/>		Нагр	26	оп. 7	110											104,36	131,32	
25	<input type="checkbox"/>		Нагр	27	оп. 8	110											104,36	131,32	
26	<input type="checkbox"/>		Ген	28	ТГ-1 НН	16					75,0	70,5	15,8	-90,0	180,0		15,75	134,50	
27	<input type="checkbox"/>		Нагр	29	ТГ-1 ВН	110											106,05	132,31	
28	<input type="checkbox"/>		Ген	30	ТГ-2 НН	16					75,0	29,8	15,8	-90,0	180,0		15,75	138,72	
29	<input type="checkbox"/>		Нагр	31	ТГ-2 ВН	220											216,46	136,42	
30	<input type="checkbox"/>		Ген	32	ТГ-3 НН	16					75,0	29,8	15,8	-90,0	180,0		15,75	138,72	
31	<input type="checkbox"/>		Нагр	33	ТГ-3 ВН	220											216,46	136,42	

Рисунок 3.6 – Пример заполнения вкладки «Узлы»

Ветви																		
	O	S	Тип	N_нач	N_кон	N_п	I...	Название	R	X	B	Kт/г	N_анц	БД...	P_нач	Q_нач	Na	I max
1	<input type="checkbox"/>		Тр-р	1	4			АТ-1 ТЭЦ ВН - АТ-1 ТЭЦ Н	0,30	30,40	20,7	1,000			-109	-34		305
2	<input type="checkbox"/>		Тр-р	4	2			АТ-1 ТЭЦ Н - АТ-1 ТЭЦ СН	0,30			0,500	7	1	-84	-14		231
3	<input type="checkbox"/>		Тр-р	4	3			АТ-1 ТЭЦ Н - АТ-1 ТЭЦ НН	0,60	54,20		0,045			-25	-11		74
4	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	20			АТ-1 ТЭЦ СН - оп. 1	0,77	1,64	-10,5				-37	-16		221
5	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	21			АТ-1 ТЭЦ СН - оп. 2	0,77	1,64	-10,5				-37	-16		221
6	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	20	5			оп. 1 - ПС Березовка ВН	0,30	0,42	-2,5				-5	-2		29
7	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	21	5			оп. 2 - ПС Березовка ВН	0,30	0,42	-2,5				-5	-2		29
8	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	20	22			оп. 1 - оп. 3	0,75	1,60	-10,3				-32	-14		192
9	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	21	23			оп. 2 - оп. 4	0,75	1,60	-10,3				-32	-14		192
10	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	22	25			оп. 3 - оп. 6	0,35	0,74	-4,8				-28	-11		166
11	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	23	24			оп. 4 - оп. 5	0,35	0,74	-4,8				-28	-11		166
12	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	24	6			оп. 5 - ПС КПУ ВН	0,62	1,32	-8,5				-8	-3		47
13	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	25	6			оп. 6 - ПС КПУ ВН	0,62	1,32	-8,5				-8	-3		47
14	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	24	19			оп. 5 - ПС СМР ВН	0,24	0,52	-3,3				-20	-8		119
15	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	25	19			оп. 6 - ПС СМР ВН	0,24	0,52	-3,3				-20	-8		119
16	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	22	14			оп. 3 - ПС РЦ СН 110	0,30	0,63	-4,0				-4	-2		27
17	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	23	14			оп. 4 - ПС РЦ СН 110	0,30	0,63	-4,0				-4	-2		27
18	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1	7			АТ-1 ТЭЦ ВН - АТ1-2 РЦ ...	0,98	5,50	-35,4				-57	-21		163
19	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1	7			АТ-1 ТЭЦ ВН - АТ1-2 РЦ ...	0,98	5,50	-35,4				-57	-21		163
20	<input type="checkbox"/>		Тр-р	7	13			АТ1-2 РЦ ВН 220 - АТ1 РЦ Н	0,55	59,20	12,9	1,000			-57	-22		163
21	<input type="checkbox"/>		Тр-р	13	14			АТ1 РЦ Н - ПС РЦ СН 110	0,48			0,500	7	2	-37	-7		103
22	<input type="checkbox"/>		Тр-р	13	10			АТ1 РЦ Н - АТ1 РЦ НН	3,20	131,00		0,045			-20	-9		61
23	<input type="checkbox"/>		Тр-р	7	12			АТ1-2 РЦ ВН 220 - АТ2 РЦ Н	0,55	59,20	12,9	1,000			-57	-22		163
24	<input type="checkbox"/>		Тр-р	12	14			АТ2 РЦ Н - ПС РЦ СН 110	0,48			0,500	7	2	-37	-7		103
25	<input type="checkbox"/>		Тр-р	12	11			АТ2 РЦ Н - АТ2 РЦ НН	3,20	131,00		0,045			-20	-9		61
26	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	14	26			ПС РЦ СН 110 - оп. 7	1,22	3,10	-20,6				-35	-10		198
27	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	27			АТ-1 ТЭЦ СН - оп. 8	2,18	9,55	-58,8				-23	-13		145
28	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	26	17			оп. 7 - ПС НПЗ-2 ВН	0,02	0,06	-0,4				-14	-4		84
29	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	27	17			оп. 8 - ПС НПЗ-2 ВН	0,02	0,06	-0,4				-11	-6		66
30	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	26	18			оп. 7 - ПС НПЗ ВН	0,01	0,03	-0,2				-20	-5		114
31	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	27	18			оп. 8 - ПС НПЗ ВН	0,01	0,03	-0,2				-12	-8		79
32	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	14	15			ПС РЦ СН 110 - ПС ГВФ с...	1,35	2,86	-18,4				-13	-5		74
33	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	16			АТ-1 ТЭЦ СН - ПС ГВФ с...	1,21	2,56	-16,5				-13	-5		73
34	<input type="checkbox"/>		Тр-р	29	28			ТГ-1 ВН - ТГ-1 НН	0,15	6,10	103,3	0,143			75	64		535
35	<input type="checkbox"/>		Тр-р	31	30			ТГ-2 ВН - ТГ-2 НН	0,60	25,70	23,2	0,072			74	25		209
36	<input type="checkbox"/>		Тр-р	33	32			ТГ-3 ВН - ТГ-3 НН	0,60	25,70	23,2	0,072			74	25		209
37	<input type="checkbox"/>		Тр-р	35	34			ТГ-4 ВН - ТГ-4 НН	0,60	25,70	23,2	0,072			75	25		211
38	<input type="checkbox"/>		Выкл	29	2			ТГ-1 ВН - АТ-1 ТЭЦ СН							-75	-64		535
39	<input type="checkbox"/>		Выкл	31	1			ТГ-2 ВН - АТ-1 ТЭЦ ВН							-74	-25		209
40	<input type="checkbox"/>		Выкл	33	1			ТГ-3 ВН - АТ-1 ТЭЦ ВН							-74	-25		209
41	<input type="checkbox"/>		Выкл	35	1			ТГ-4 ВН - АТ-1 ТЭЦ ВН							-75	-25		211
42	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	14			АТ-1 ТЭЦ СН - ПС РЦ СН ...	0,88	3,86	-23,8				-29	-20		192

Рисунок 3.7 – Пример заполнения вкладки «Ветви»

2. Заполнить вкладки «Оптимизация-узлы», «Оптимизация-трансформаторы», «Анцапф»:

Узлы													
Оптимизация - трансформаторы													
Оптимизация - узлы													
Анцапфы													
	N_bd	Названия	ЕИ	+/-	Тип	Место	K...	V_нр	V_per	N_анц	Шаг	N_анц	Шаг
1	1	АТ ТЭЦ	%	+	РПН	Нейт.	1	220,0	110,0	6	-2,000	6	2,000
2	2	АТ ПС РЦ	%	+	РПН	Нейт.	1	220,0	110,0	6	-2,000	6	2,000

Рисунок 3.8 – Пример заполнения вкладки «Анцапфы»

	O	S	Номер	Название	Тип	U_min	U_max	V	V_зд	Q_min	Q_max	Q_r
1	<input type="checkbox"/>		1	АТ-1 ТЭЦ ВН	Нагр	198	242	220,40				
2	<input type="checkbox"/>		2	АТ-1 ТЭЦ СН	Нагр	99	121	111,18				
3	<input type="checkbox"/>		3	АТ-1 ТЭЦ НН	Нагр	9	11	9,86				
4	<input type="checkbox"/>		4	АТ-1 ТЭЦ Н	Нагр	198	242	219,58				
5	<input type="checkbox"/>		5	ПС Березовка ВН	Ген	99	121	111,23	111,2	-100,0	200,0	36,3
6	<input type="checkbox"/>		6	ПС КПУ ВН	Ген	99	121	111,02	111,0	-100,0	200,0	9,6
7	<input type="checkbox"/>		7	АТ1-2 РЦ ВН 220	Нагр	198	242	220,47				
8	<input type="checkbox"/>		10	АТ1 РЦ НН	Нагр	9	11	9,95				
9	<input type="checkbox"/>		11	АТ2 РЦ НН	Нагр	9	11	9,95				
10	<input type="checkbox"/>		12	АТ2 РЦ Н	Нагр	198	242	224,40				
11	<input type="checkbox"/>		13	АТ1 РЦ Н	Нагр	198	242	224,40				
12	<input type="checkbox"/>		14	ПС РЦ СН 110	Нагр	99	121	110,85				
13	<input type="checkbox"/>		15	ПС ГВФ с.ш.1 ВН	Ген	99	121	111,05	111,0	-100,0	200,0	18,4
14	<input type="checkbox"/>		16	ПС ГВФ с.ш.2 ВН	Ген	99	121	111,33	111,3	-100,0	200,0	17,3
15	<input type="checkbox"/>		17	ПС НПЗ-2 ВН	Нагр	99	121	110,98				
16	<input type="checkbox"/>		18	ПС НПЗ ВН	Ген	99	121	110,98	111,0	-100,0	200,0	43,4
17	<input type="checkbox"/>		19	ПС СМР ВН	Ген	99	121	111,10	111,1	-100,0	200,0	57,9
18	<input type="checkbox"/>		20	оп. 1	Нагр	99	121	111,18				
19	<input type="checkbox"/>		21	оп. 2	Нагр	99	121	111,18				
20	<input type="checkbox"/>		22	оп. 3	Нагр	99	121	110,98				
21	<input type="checkbox"/>		23	оп. 4	Нагр	99	121	110,98				
22	<input type="checkbox"/>		24	оп. 5	Нагр	99	121	111,05				
23	<input type="checkbox"/>		25	оп. 6	Нагр	99	121	111,05				
24	<input type="checkbox"/>		26	оп. 7	Нагр	99	121	110,98				
25	<input type="checkbox"/>		27	оп. 8	Нагр	99	121	110,98				
26	<input type="checkbox"/>		28	ТГ-1 НН	Ген	14	17	15,73	15,7	-90,0	180,0	-23,8
27	<input type="checkbox"/>		29	ТГ-1 ВН	Нагр	99	121	111,17				
28	<input type="checkbox"/>		30	ТГ-2 НН	Ген	14	17	15,78	15,8	-90,0	180,0	-0,9
29	<input type="checkbox"/>		31	ТГ-2 ВН	Нагр	198	242	220,40				
30	<input type="checkbox"/>		32	ТГ-3 НН	Ген	14	17	15,78	15,8	-90,0	180,0	-0,9
31	<input type="checkbox"/>		33	ТГ-3 ВН	Нагр	198	242	220,40				

Рисунок 3.9 – Пример заполнения вкладки «Оптимизация-узлы».

	O	S	N_нач	N_кон	Название	БД_...	Кт_мин	Кт_маx	Кт/г	N_анц
1	<input type="checkbox"/>		1	4	АТ-1 ТЭЦ ВН - АТ-1 ТЭЦ Н				1,000	
2	<input type="checkbox"/>		4	2	АТ-1 ТЭЦ Н - АТ-1 ТЭЦ СН	1	0,440	0,560	0,510	6
3	<input type="checkbox"/>		4	3	АТ-1 ТЭЦ Н - АТ-1 ТЭЦ НН				0,045	
4	<input type="checkbox"/>		7	13	АТ1-2 РЦ ВН 220 - АТ1 РЦ Н				1,000	
5	<input type="checkbox"/>		13	14	АТ1 РЦ Н - ПС РЦ СН 110	2	0,440	0,560	0,510	6
6	<input type="checkbox"/>		13	10	АТ1 РЦ Н - АТ1 РЦ НН				0,045	
7	<input type="checkbox"/>		7	12	АТ1-2 РЦ ВН 220 - АТ2 РЦ Н				1,000	
8	<input type="checkbox"/>		12	14	АТ2 РЦ Н - ПС РЦ СН 110	2	0,440	0,560	0,510	6
9	<input type="checkbox"/>		12	11	АТ2 РЦ Н - АТ2 РЦ НН				0,045	

Рисунок 3.10 – Пример заполнения вкладки «Оптимизация-трансформаторы».

Проводим оптимизацию режима одним из следующих способов:

1. Способ номер один:

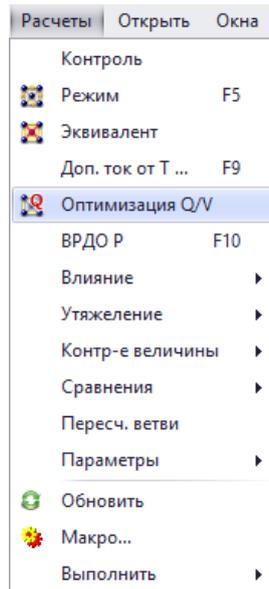


Рисунок 3.11 – Запуск оптимизации.

2. Способ номер два:

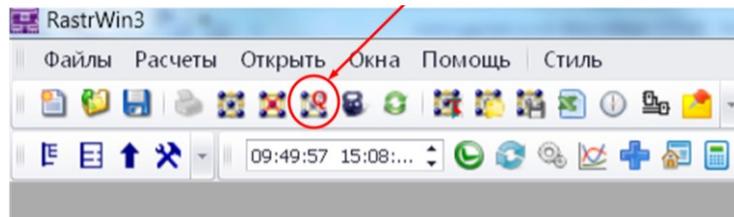


Рисунок 3.12 – Запуск оптимизации

ПЕРЕЧЕНЬ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

ПК с установленным ПВК MathCad или любым другим средством для расчёта параметров моделей элементов ЭЭС, установленный программный комплекс RastrWin 2.45 или RastrWin 3.

ОПИСАНИЕ ХОДА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Исходя из варианта сформировать схему для расчёта режимов в ПВК RastrWin.
2. Задать контролируемые по напряжению узлы, регулируемые трансформаторы.

3. Выполнить расчёт режима (без регулировки РПН) и зафиксировать значение потерь мощности.

4. Провести оптимизацию и зафиксировать значение потерь.

5. Оценить экономический эффект за год в рублях через снижение потерь мощности посредством следующего выражения:

$$\text{Эк.эф} = (D_{p1} - D_{p2}) \cdot T_{max} \cdot C_{\Delta w}, \quad (3.8)$$

где D_{p1} и D_{p2} — суммарные активные потери в сети до оптимизации

и после оптимизации;

T_{max} — число часов использования максимальной загрузки, ч;

$C_{\Delta w}$ - стоимость потерь электроэнергии для региона, руб./кВт·ч

Таблица 3.1

Вариант	$C_{\Delta w}$, руб./кВт*ч	Tmax
1	2	3
1	1,7	6600
2	1,4	4500
3	1,5	4600
4	1,6	4700
5	1,7	4800
6	1,8	4900
7	1,9	5000
8	1,4	5100
9	1,5	5200
10	1,6	5300
11	1,7	5400
12	1,8	5500
13	1,9	5600
14	1,4	5700
15	1,5	5800
16	1,6	5900
17	1,7	6000
18	1,8	6100

1	2	3
19	1,9	6200
20	1,4	6300
21	1,5	6400
22	1,6	6500
23	1,7	6600
24	1,8	6700
25	1,9	6800
26	1,4	6900
27	1,5	7000
28	1,6	4500
29	1,6	4700
30	1,7	4800

ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТЫ

В отчёте по лабораторной работе необходимо предоставить графику из ПВК RastrWin, таблицы «Узлы», «Ветви», «Анцапфы», «Оптимизация-узлы», «Оптимизация-трансформаторы», «Оптимизация-параметры», «Потери», расчёт экономического эффекта оптимизации.

ВЫВОДЫ

В результате выполнения лабораторной работы закрепляются практические навыки по оптимизации режимов ЭЭС по напряжению, реактивной мощности и коэффициенту трансформации.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. На какие составляющие можно разделить фактические потери электроэнергии?
2. Какие потери называют коммерческими?
3. Какие существуют виды задач оптимизации режимов электроэнергетических систем?
4. Какой режим называется оптимальным?

Лабораторная работа №4

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПВК RASTRWIN

Цель работы: расчет электромеханических переходных процессов заданного участка сети в ПВК RUSTab.

ЗАДАНИЕ

В соответствие с вариантами, приведёнными в приложении 3:

1. Рассчитать параметры и сформировать схему замещения заданной сети исходя из варианта;
2. Составить расчётную модель для расчёта установившихся режимов в ПВК RastrWin;
3. Задать необходимые параметры для расчета электромеханического переходного процесса генератора, АРВ, возбудителя в ПВК RastrWin.
4. Выполнить расчёт режима в ПВК RastrWin.
5. Выполнить расчет переходного процесса в ПВК RastrWin.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

Динамическая устойчивость электроэнергетической системы – это способность электроэнергетической системы восстанавливать после больших возмущений режим, близкий к исходному. Когда после большого возмущения синхронный режим системы нарушается, а затем после допустимого перерыва восстанавливается, то говорят о результирующей устойчивости системы [7].

Нарушение динамической устойчивости наиболее вероятно вследствие КЗ в электрических сетях. Основными мерами по повышению динамической устойчивости являются: быстрое отключение участков с КЗ, автоматическое повторное включение (АПВ) линий электропередачи, применение других средств противоаварийной автоматики и быстродействующих систем возбуждения генераторов электростанций, использование электрического и механического торможения генераторов.

Отключение генераторов (ОГ) во время динамического перехода является наиболее распространенным средством сохранения динамической устойчивости простых и сложных электроэнергетических систем при наличии и отсутствии АПВ [7].

Также автоматические регуляторы возбуждения генераторов реагируют на изменение их напряжения и других параметров режима и, тем самым, оказывают влияние на протекание переходных процессов в энергосистемах. Однако, в некоторых случаях этого влияния недостаточно. Для сохранения динамической устойчивости энергосистемы используется дополнительное автоматическое воздействие на систему автоматического регулятора возбуждения (АРВ) с целью повышения тока возбуждения – форсировка возбуждения.

Расчеты электромеханических переходных процессов (ЭМП) выполняются в программно-вычислительном комплексе (ПК) Rustab, который входит в ПК RastrWin 3. Данный программный комплекс позволяет оценить динамическую устойчивость электростанций, смоделировать первичные приводы для расчета длительных ЭМП, смоделировать и настроить противоаварийную автоматику, смоделировать системы возбуждения по стандарту IEEE Std 421.5™ [8]. Так же программный комплекс позволяет создавать собственные математические модели нового оборудования и т.д.

Генератор может представляться несколькими моделями. Чем сложнее модель, тем достовернее полученные результаты расчета.

Таблица 4.1 – Модели генератора

№	Название	Описание	Параметры	Умолчания	Расчеты	Внешние
1	2	3	4	5	6	7
1	ШБМ	Генератор бесконечной мощности	X'_d		P, Q, V, I	
2	УР.движения	Классическая модель – эдс за сопротивлением	$M_j(T_j)$ $K_{демп}$		δ s	P_m s_m

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7
3	1к-Е'q	Контур обмотки возбуждения (1 контур)	X_d X_q T'_{do}	$= X'_d$ $= X_d$ $= 5$	E'_q E_q (ток возб)	E_{qe}
4	3к-ЭДС	3-х контурная модель в форме ЭДС	X''_d X''_q T''_{do} T''_{qo}	$= 0.1X'_d$ $= X''_d$ $= 0.2$ $= 0.5$	E''_d E''_q	
5	3к-Mustang	3-х контурная модель Мустанга	-	-	-	-
6	3к-Парк	3-х контурная модель Парка	X_σ	$= 0.8 X''_d$		
7	4к-Парк	4-х контурная модель Парка	X'_q	$= 0.8 X_q$	E'_d	

Таблица 4.2 – Задаваемые параметры СД и АРВ

	Параметры СВ										Параметры АРВ										
	Пост. Времени СВ		Ограничение по Uf		Ограничение по If		Коэф. регул	Коэф. регул	СВ типа 5	Параметр ГОС	Пост. Времени АРВ		Ограничение в регул. возб.		Коэф. регул	Пост. Времени В канале f	Коэф. dUf/df				
	Tв	Eqe +	Eqe -	Eq+	Eq-	KIf	KI	UРКР	КТВ	Трв	UРВ +	UРВ -	KU	K'u	K'If	Kf	K'f	Tf	A		
Независимое тиристорное возбуждение, или тиристорная СВ, или бесщеточная СВ с вращающимися тиристорами	0.04	2	-1.6	2	0.6	-	-	-	-	0.04	6	-6	50	5	5	2	5	0.9	-		
Тиристорное самовозбуждение	0.04	2.5	-2	2	0.6	-	-	-	-	0.04	6	-6	50	5	5	2	5	0.9	-		
Бесщеточная СВ с вращающимися диодами	0.1	2	0	2	0.6	-	-	-	-	0.04	6	-6	50	5	5	2	5	0.9	-		
Высокочастотная СВ без блока стабилизации	0.3	2	0	-	-	1.2	-	-	-	0.1*	2	0	7	-	-	-	-	-	1		
Высокочастотная СВ с блоком стабилизации	0.3	2	0	-	-	1.2	-	0.5*	10	0.1	2	0	7	-	-	-	-	-	1		
Электромашинное возбуждение с возбудителем постоянного тока, релейная форсировка возбуждения	0.3	2	0	-	-	-	0.7	-	-	2*	2	0	10	-	-	-	-	-	1		

Параметры, помеченные *, уточняются при настройке СД и АРВ конкретных генераторов.

Обозначения систем возбуждения: М - машинный возбудитель; ВЧ - высокочастотный переменного тока 500 Гц с твердыми выпрямителями; НТ -

независимое тиристорное; БЩ - *бесщеточное возбуждение*; СТ - статическая быстродействующая тиристорная; ИН - ионная независимая.

1. Заполнение данных для расчета установившегося режима

1.1) Открываем вкладку Открыть\Узлы\Узлы.

	О	S	Тип	Номер	U_ном	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	V	Delta
1	<input type="checkbox"/>		Ген	1	10			32,0	15,1	10,5	-100,0	100,0	10,50	5,26
2	<input type="checkbox"/>		Нагр	2	110								115,93	0,31
3	<input type="checkbox"/>		Нагр	3	110	15,0	6,0						115,10	0,04
4	<input type="checkbox"/>		Нагр	4	110								115,08	0,03
5	<input type="checkbox"/>		База	5	110	25,0	10,0	8,3	3,4	115,0			115,00	

Рисунок 4.1 – Пример заполнения вкладки «Узлы».

1.2) Открываем вкладку Открыть\Ветви\Ветви.

	∅	Тип	N_нач	N_кон	R	X	B	G	Kт/г	P_нач	Q_нач	I max
1	<input type="checkbox"/>	Тр-р	2	1	1,46	38,40	17,0	3,4	0,087	32	12	169
2	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	2	5	6,12	8,68	-52,2			-11	-4	62
3	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	2	3	3,06	4,34	-26,1			-20	-8	109
4	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	3	4	0,31	0,43	-2,6			-5	-2	28
5	<input type="checkbox"/>	ЛЭП	4	5	1,22	1,74	-10,4			-5	-2	28

Рисунок 4.2 – Пример заполнения вкладки «Ветви».

2. Заполнение данных для расчета динамической устойчивости

2.1) Открываем вкладку Открыть\Динамика(ИД)\Генераторы(ИД).

	S	N	Название	N узла	Модель	N_взб	P	Q	P_ном	Uг_ном	COS(φ)_ном	Mj	X'd	Xd	Xq	X''d	T'd0
1		1	генератор	1	Эк-ЭДС	1	32,00	15,10	32,0	10,5	0,80	133,120	0,094	0,961	0,961	0,056	10,400
2		2	система	5	ШБМ	1							0,400				

Рисунок 4.3 – Пример заполнения вкладки «Генераторы(ИД)».

Данные для генератора берем из справочника Неклепаева.

$$M_j = 2.74 \cdot 10^{-6} \cdot GD^2 \cdot n^2. \quad (4.1)$$

где GD- маховый момент;

n- номинальные обороты генератора.

Для удобства задания параметров сопротивлений и T_j , с (M_j , МВт*с) открываем вкладку Расчеты\Параметры\Ед. Измерения и ставим галочки в столбец А.

	A	ЕИ	Альт ЕИ	Формула	Точность	Табл
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Ом	о.е.	nonz(Pnom/nonz((Ugno...	4	Generator,SynchronousMotor
2	<input checked="" type="checkbox"/>	МВт*с	с	1/nonz(Pnom)	3	Generator,SynchronousMotor

Рисунок 4.4 – Задание Ед. Измерения

Генератор может представляться несколькими моделями. Чем сложнее модель, тем достовернее полученные результаты расчета.

2.2) Открываем вкладку Открыть\Динамика(ИД)\Возбудитель(ИД).

	S	N	Модель	N_АРВ	T_возб	Uf_min	Uf_max	If_min	If_max	Тип
1		1	Мустанг	1	0,040	-2,000	2,500	0,600	2,000	Независимое

Рисунок 4.5 – Пример заполнения вкладки «Возбудитель(ИД)».

В столбец Модель у возбудителя выбираем Mustang.

1.3) Открываем вкладку Открыть\Динамика(ИД)\АРВ(ИД).

	S	N	Модель	T_рв	Ku	K'u	K'f	Kf	K'f	Tf
1		1	Пропорциональная	0,040	50,000	5,000	5,000	2,000	5,000	0,900

Рисунок 4.6 – Пример заполнения вкладки «АРВ(ИД)».

1.4) Для моделирования КЗ открываем вкладку Открыть\Сценарий\Действия (t).

-Возникновение КЗ:

	Сост	N	N группы	Тип	Формула	Ключ объекта	Режим	N сраб
1		1	1	Узел Rш	0,1	4	0	1
2		2	1	Узел Xш	0,2	4	0	1

Рисунок 4.7 – Пример заполнения вкладки «Действия (t)».

В столбец «N группы» в первые две строчки задаем «1», это означает что действия относятся к одной группе и будут выполнены одновременно.

В столбец «Тип» задаем «Узел Rш» и «Узел Xш» - это соответственно сопротивления шунта КЗ.

В столбец «Формула» вводим соответственно значения этих сопротивлений.

В столбце «Nсраб» указываем в обеих строках единицу. Это означает, что действия будут исполнены не более 1 раза.

В столбец «Ключ объекта» указываем узел, в котором произошло КЗ.
Затем открываем вкладку Открыть\Сценарий\Логика (t).

	N	Тип	Формула	Действия	Выдержка	Режим
1	1	Формула	1	A1	1	Нормальный

Рисунок 4.8 – Пример заполнения вкладки «Логика (t)».

В столбце «Тип» выбираем «Формула»

В столбец «Формула» вводим «1» - это означает что действия произойдут.

В столбец «Действия» вводим «A1» (на английском)- это означает, что будет выполняться первая группа действий

В столбце «Выдержка» можно вводить выдержку по времени.

-Отключение КЗ

Во вкладке Открыть\Сценарий\Действия (t).

	Сост	N	N группы	Тип	Формула	Ключ объекта	Режим	N сраб
1		1	1	Узел Rш	0	4	0	1
2		2	1	Узел Xш	0	4	0	1
3		3	2	Узел Gш	0	4	0	1
4		4	2	Узел Bш	0	4	0	1

Рисунок 4.9 – Пример заполнения вкладки «Действия (t)».

В столбец «N группы» в 3-ю и 4-ю строки задаем «2» -это вторая группа действий

В столбец «Тип» задаем «Узел Gш» и «Узел Bш»

В столбец «Формула» вводим нули.

Аналогично вводим значения столбцов «N сраб» и «Ключ объекта»

Затем открываем вкладку Открыть\Сценарий\Логика (t).

	N	Тип	Формула	Действия	Выдержка	Режим
1	1	Формула	1	A1	1	Нормальный
2	2	Формула	LT1	A2	0.15	Нормальный

Рисунок 4.10 – Пример моделирования отключения КЗ (Логика (t)).

В столбце «Тип» выбираем «Формула»

В столбец «Формула» вводим «LT1» - означает выход первого элемента логики с учетом выдержки времени

В столбец «Действия» вводим «A2» (на английском) - это означает, что будет выполняться вторая группа действий

Для автоматического вывода желаемых результатов открываем вкладку Открыть\Динамика(Расчет). Затем добавляем желаемый параметр в КВ.

	Отм	Номер	Имя	Тип	Таблица	Выборка	Формула	Точность	mash
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	Угол_1	Значение	Generator	Num=1	Delta	2	57
2	<input checked="" type="checkbox"/>	2	Угол_2	Значение	Generator	Num=2	Delta	2	57

Рисунок 4.11 – Параметры в контрольных величинах.

И в столбце «Отм» ставим галочку.

Для вывода графики необходимо нажать кнопку “Начать расчет переходного процесса” ().

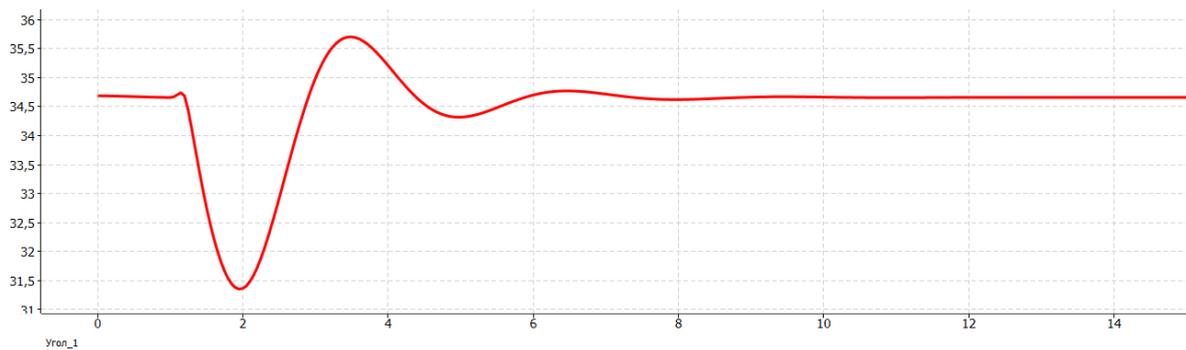


Рисунок 4.12 – График $\delta(t)$

Форма данного графика говорит о возвращении генератора в исходное состояние.

ПЕРЕЧЕНЬ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

ПК с установленным ПВК RastrWin версии 1.78 и выше.

ОПИСАНИЕ ХОДА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Выбрать вариант по двум последним цифрам зачетной книжки.
2. Рассчитать параметры и сформировать схему замещения заданной сети исходя из варианта;

3. Составить расчётную модель для расчётов установившихся режимов в ПВК RastrWin;
4. Задать необходимые параметры генератора, АРВ, возбудителя в ПВК RastrWin.
5. Выполнить расчёт режима в ПВК RastrWin.
6. Выполнить расчёт переходного процесса в ПВК RastrWin.
7. Оценить устойчивость генератора.

ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТЫ

В отчёте по лабораторной работе необходимо предоставить графику результата расчета переходного режима из ПВК RastrWin, а также таблицы «Узлы», «Ветви», «Генераторы (ИД)», «Возбудитель (ИД)», «АРВ (ИД)», «Логика (t)», «Действия (t)» .

ВЫВОДЫ

В результате выполнения лабораторной работы закрепляются практические навыки расчета переходного процесса в модуле RUSTab ПВК RastrWin3.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. Что называют динамической устойчивостью электроэнергетической системы?
2. Назовите основные меры по повышению динамической устойчивости.
3. Перечислите параметры режима и параметры системы и дайте их определение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение современных ПВК является необходимой базой для подготовки специалиста, отвечающего современным требованиям эксплуатации и проектных компаний в сфере электроэнергетики. Знания указанных ПВК дают возможность выпускнику сразу после окончания обучения приступать к выполнению практических задач по проектированию электроэнергетических систем и проверке таковых решений в эксплуатирующих организациях.

В ходе выполнения лабораторных работ студенты, изучающие дисциплину «Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике», приобретут практические навыки моделирования электроэнергетических систем для расчётов установившихся режимов и токов короткого замыкания, научатся выполнять расчёты установившихся и переходных режимов с помощью современных ПВК.

Изучение принципов моделирования ЭЭС в рассмотренных ПВК даёт выпускникам серьёзную базу для изучения других прикладных программ по расчёту режимов электрических сетей и по автоматизированному проектированию объектов электро- и теплоэнергетике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ETAP [Электронный ресурс] – <https://etap.com/> (дата обращения 27.01.2018)
2. J.DuncanGlover, MulukutlaS. Sarma, ThomasJ. Overbye, Power system analysis tanddesign/ J. DuncanGlover , MulukutlaS. Sarma, ThomasJ. Overbye [Text] –fifthedition– USA, CengageLearning, 2012 – 853 p
3. CSoft [Электронный ресурс] –<http://www.csoft.ru/catalog/soft/energycs-tkz/energycs-tkz-3.html> (дата обращения 14.02.2018)
4. SaprEnergy.ru [Электронный ресурс] – <http://saprenergy.ru/> (дата обращения 14.02.2018)
5. Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство. / Ю. С. Железко. – М. : НЦ ЭНАС, 2009 – 456 с.
6. Программный комплекс RastrWin [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.rastrwin.ru/> (дата обращения 15.01.2018)
7. Брызгалов, В.И., Гордон, Л.А. Электрические сети; элементы сети, их связь и взаимодействие с гидроэлектростанциями: "Гидроэлектростанции", Красноярск, 2013г.
8. Нейумин, В., Иванов, В., Машалов, Е. TCG System Group RUSTAB – Руководство пользователя. – М., 2010. – 106 с.

Однолинейные схемы электрических сетей для расчёта установившегося режима и ТКЗ в ПК Energy CS

Вариант №1

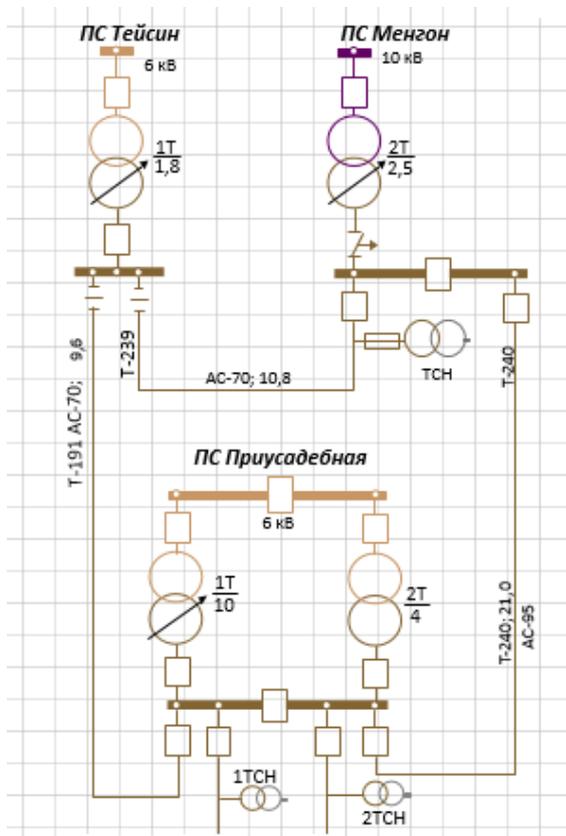


Рисунок П1.1 – Однолинейная схема сети

Вариант №2

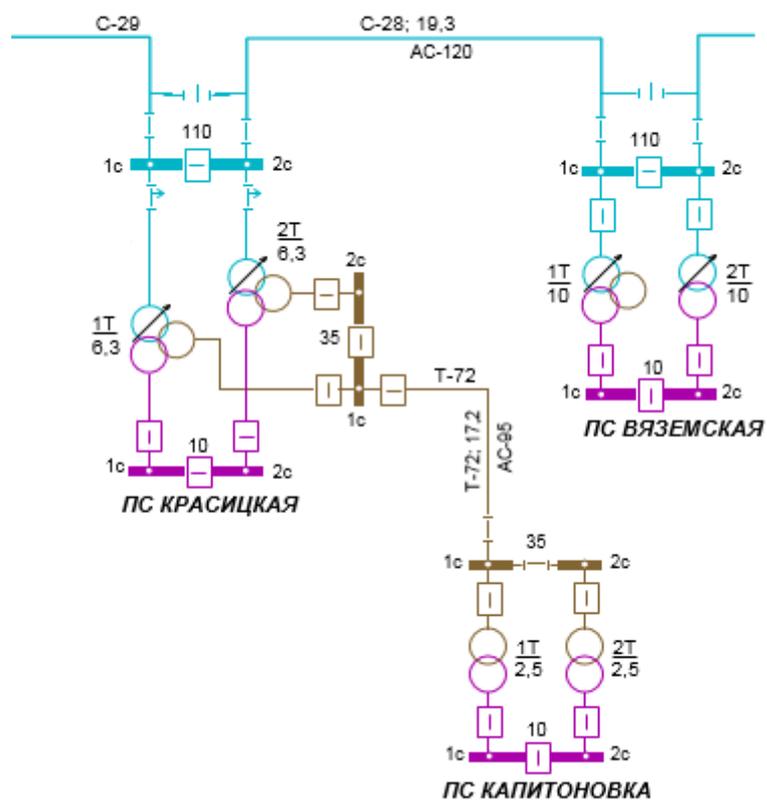


Рисунок П1.2 – Однолинейная схема сети

Вариант №3

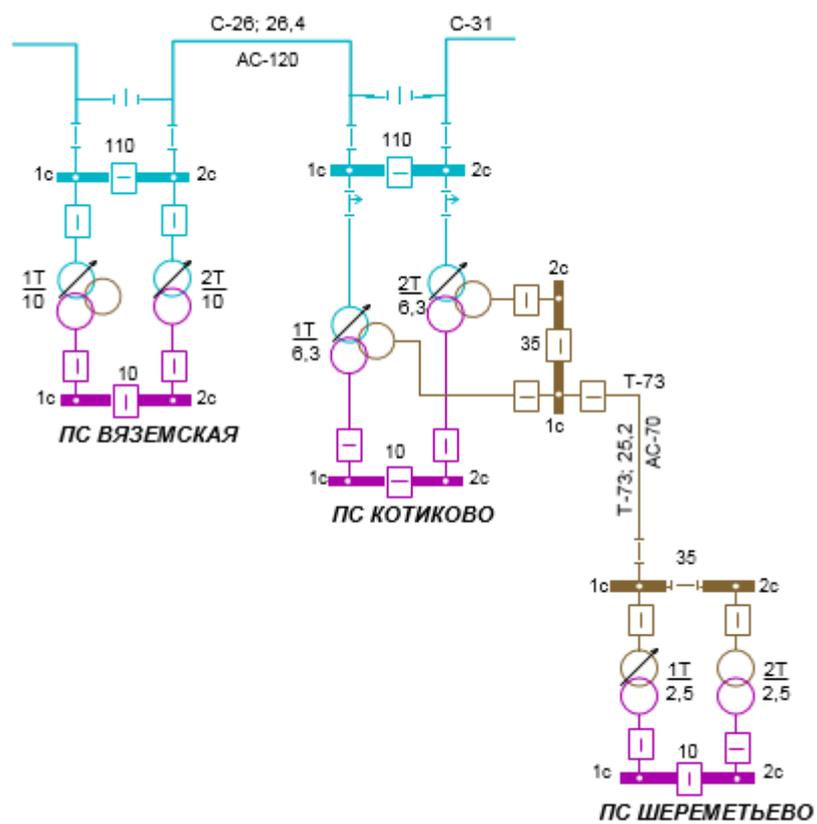


Рисунок П1.3 – Однолинейная схема сети

Вариант №4

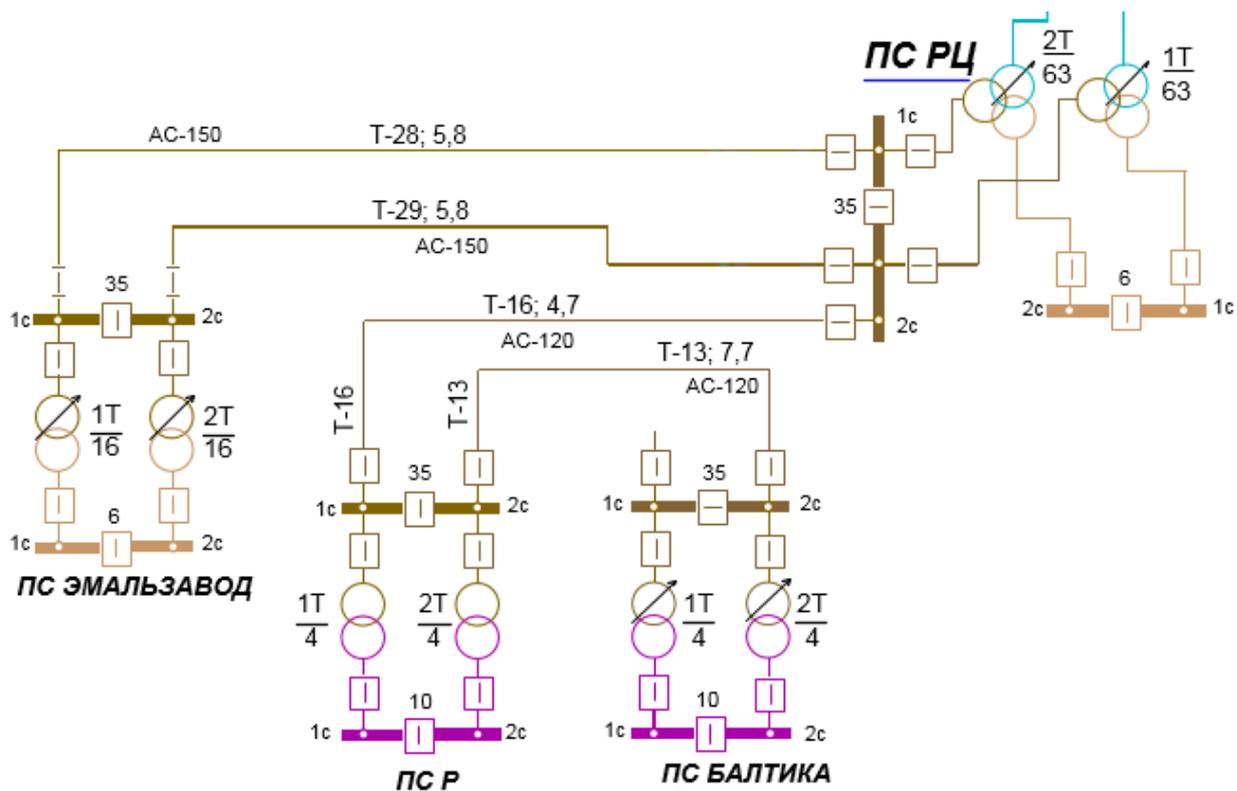


Рисунок П1.4 – Однолинейная схема сети

Вариант №5

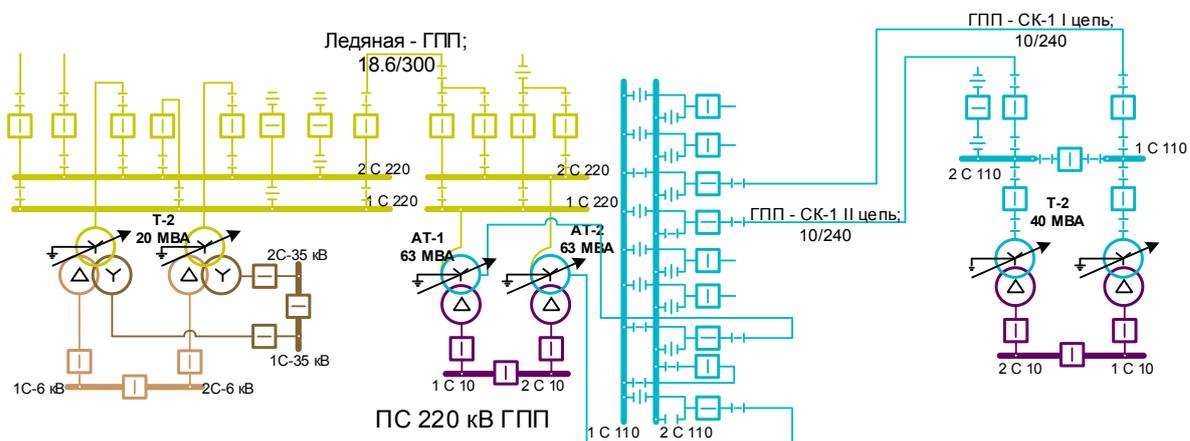


Рисунок П1.5 – Однолинейная схема сети

Вариант №6

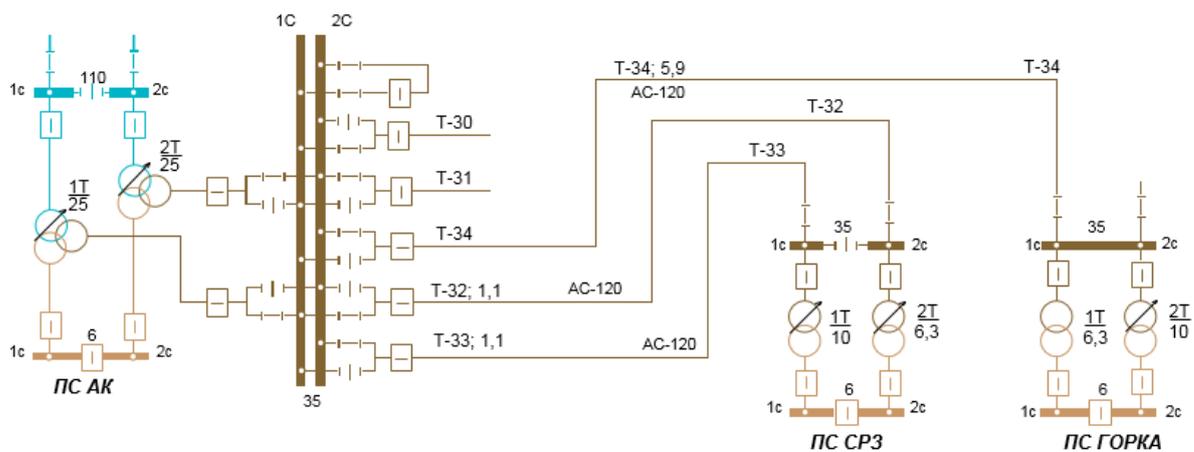


Рисунок П1.6 – Однолинейная схема сети

Вариант №7

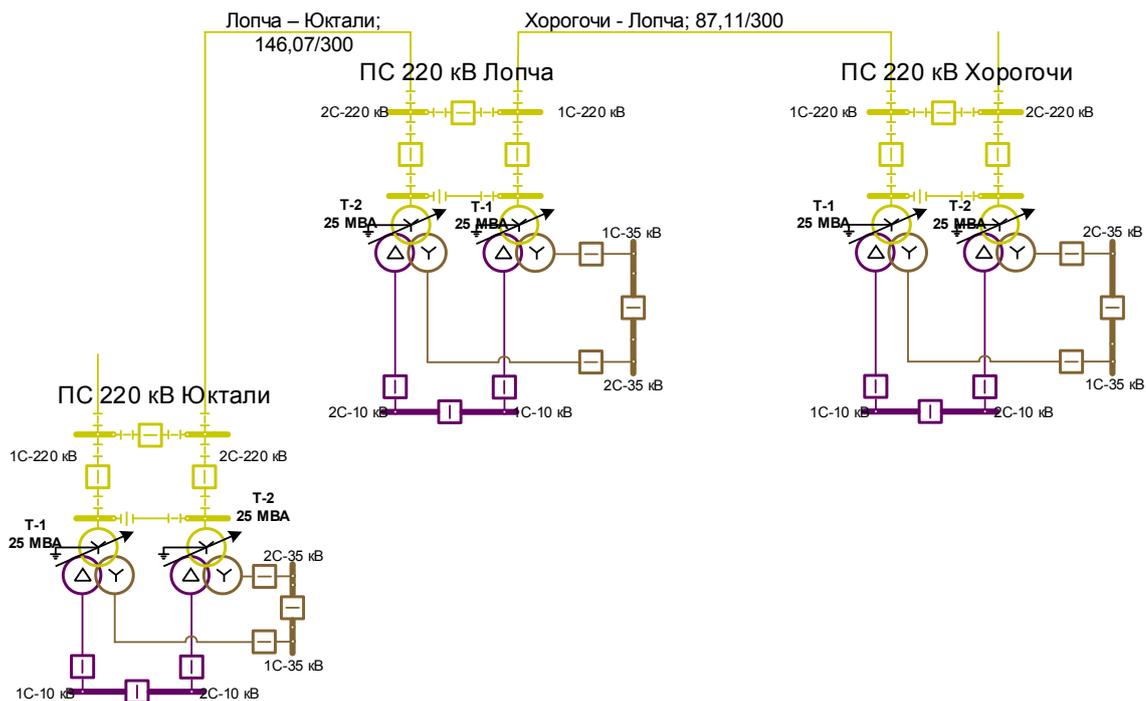


Рисунок П1.7 – Однолинейная схема сети

Вариант №8

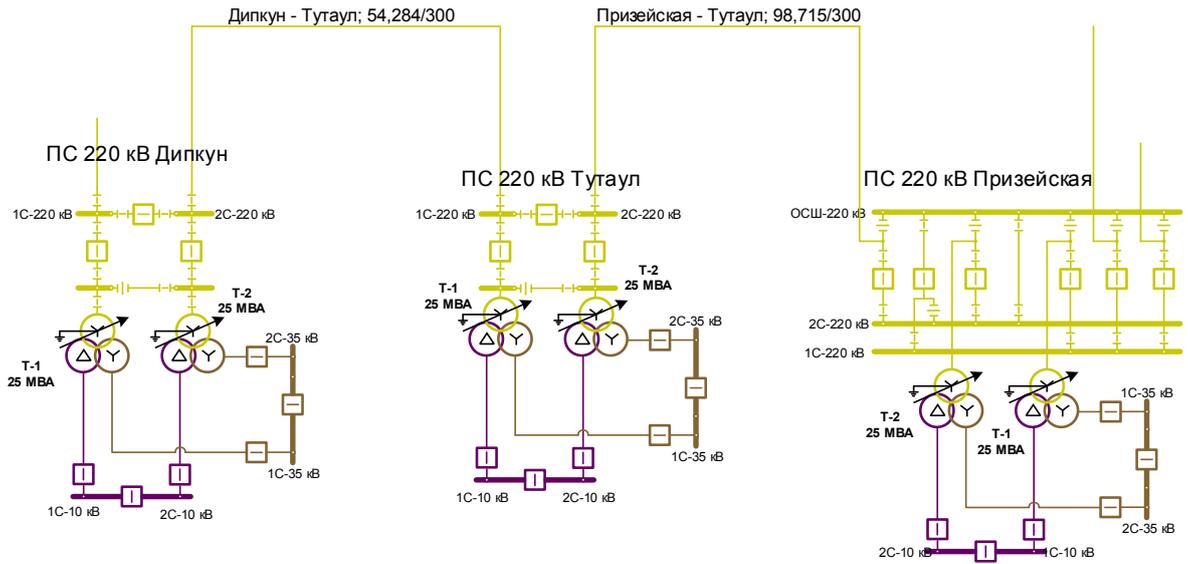


Рисунок П1.8 – Однолинейная схема сети

Вариант №9

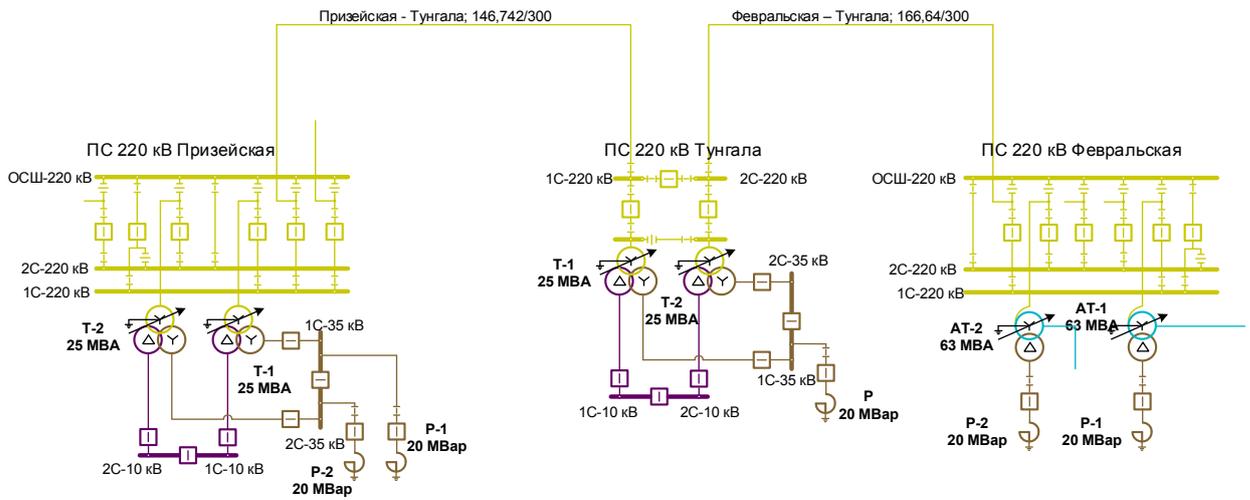


Рисунок П1.9 – Однолинейная схема сети

Вариант №10

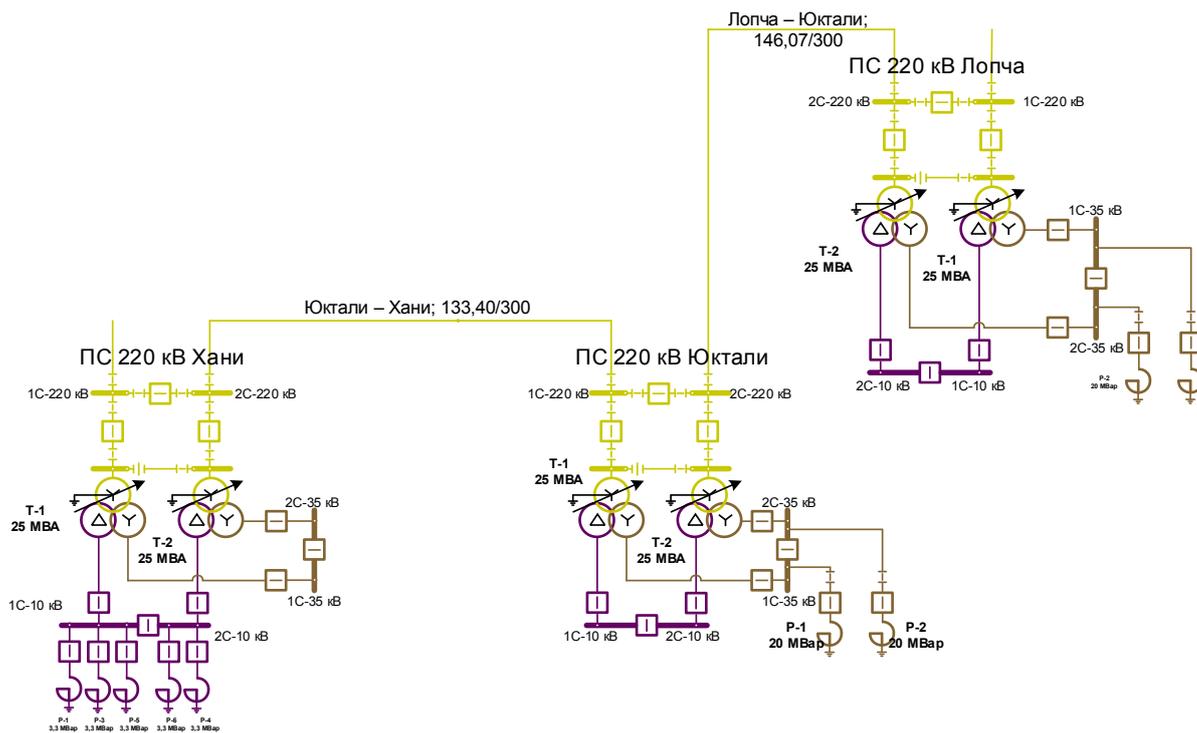


Рисунок П1.10 – Однолинейная схема сети

Вариант №11

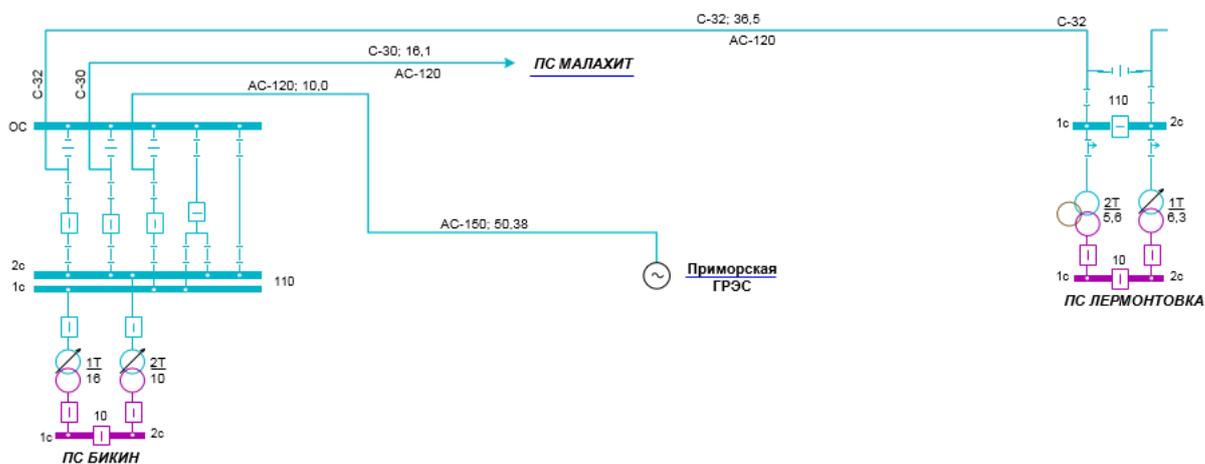


Рисунок П1.11 – Однолинейная схема сети

Вариант №12

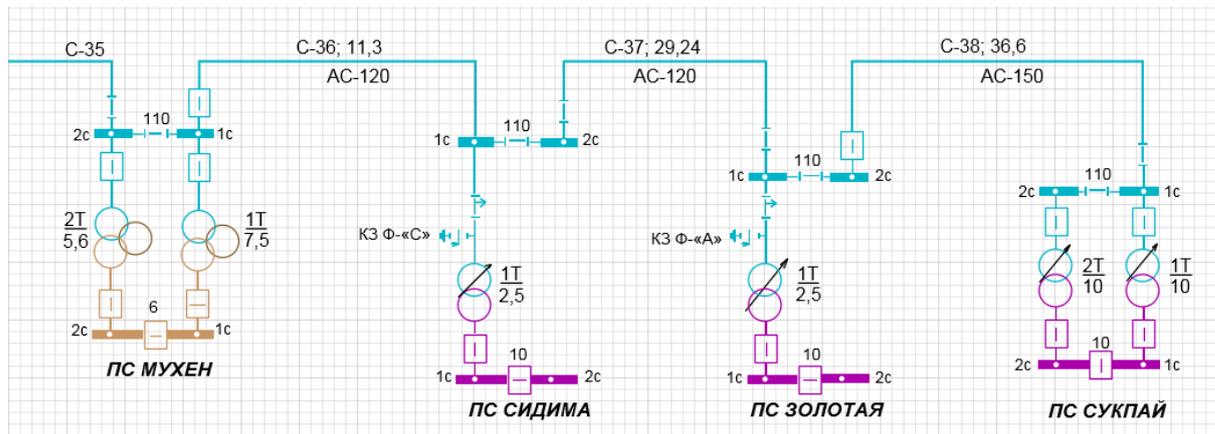


Рисунок П1.12 – Однолинейная схема сети

Вариант №13

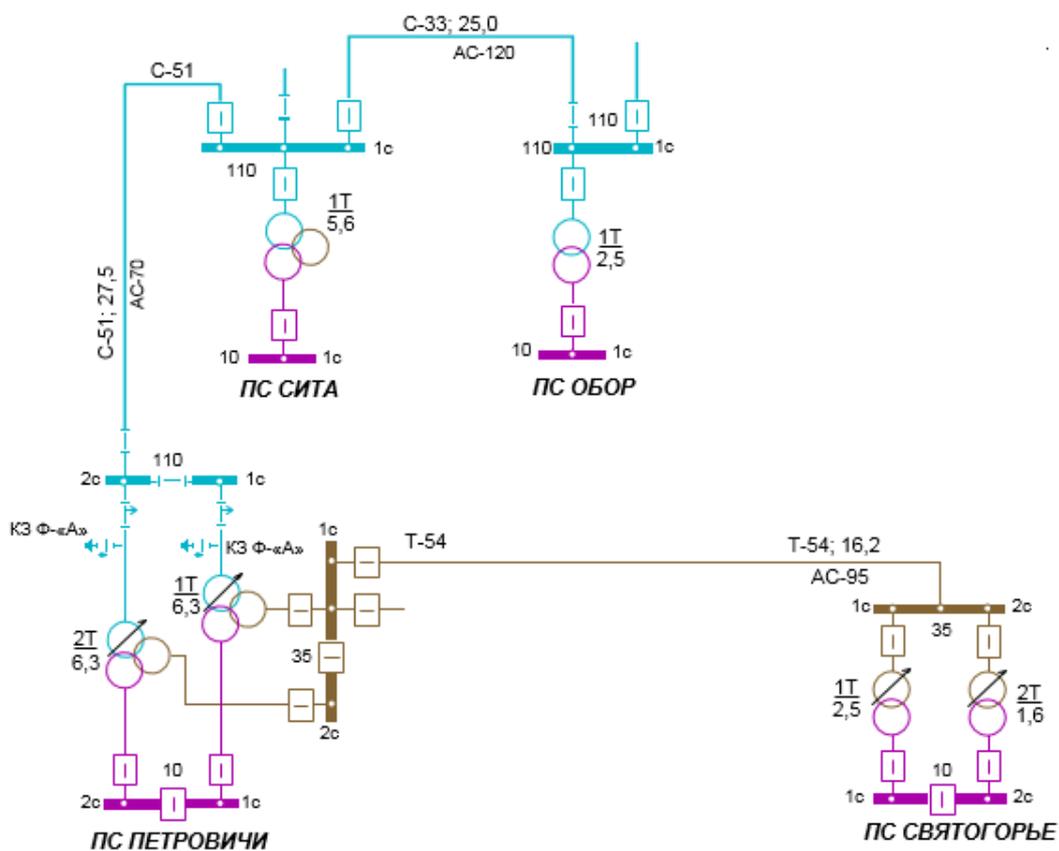


Рисунок П1.13 – Однолинейная схема сети

Вариант №14

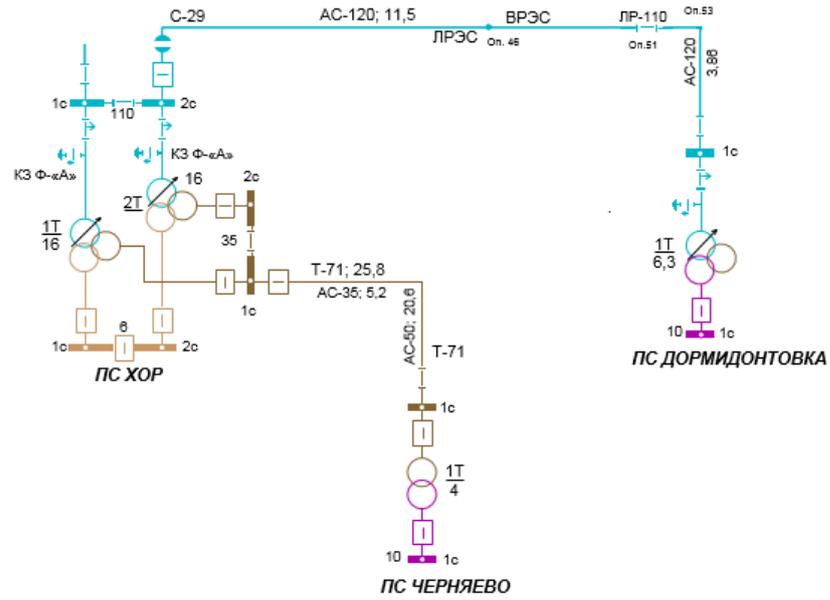


Рисунок П1.14 – Однолинейная схема сети

Вариант №15

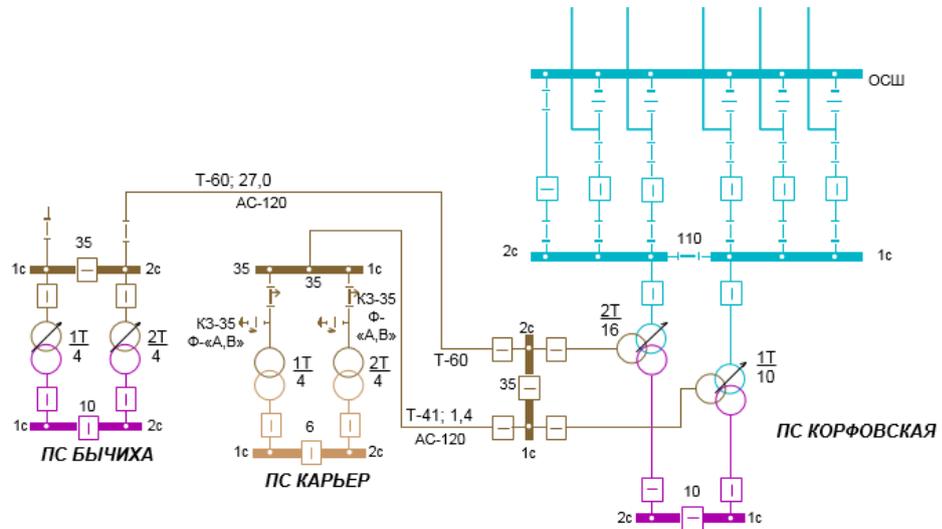


Рисунок П1.15 – Однолинейная схема сети

Вариант №16

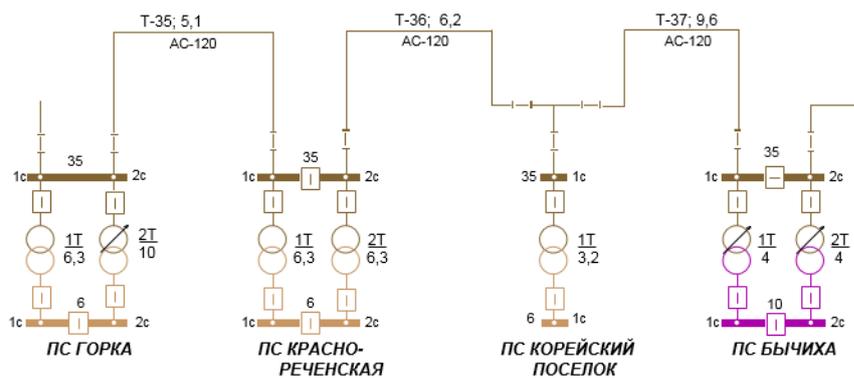


Рисунок П1.16 – Однолинейная схема сети

Вариант №17

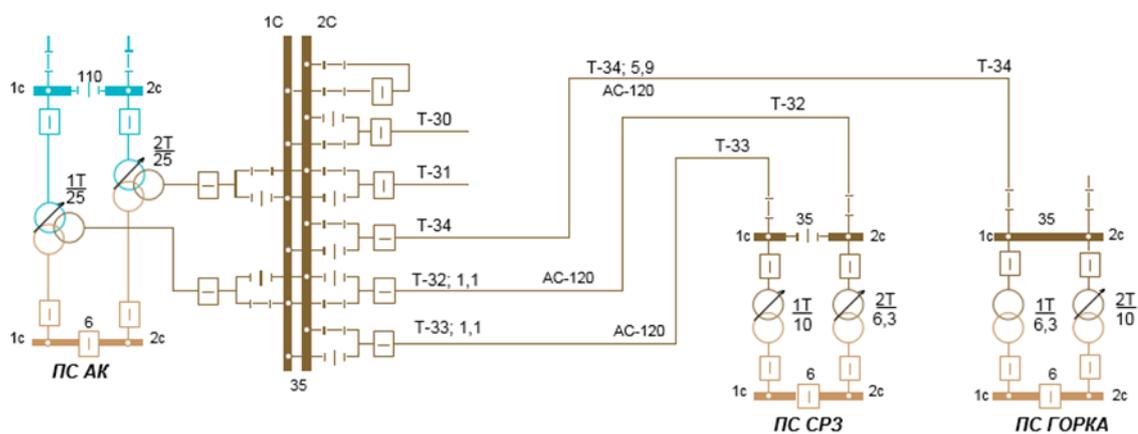


Рисунок П1.17 – Однолинейная схема сети

Вариант №18

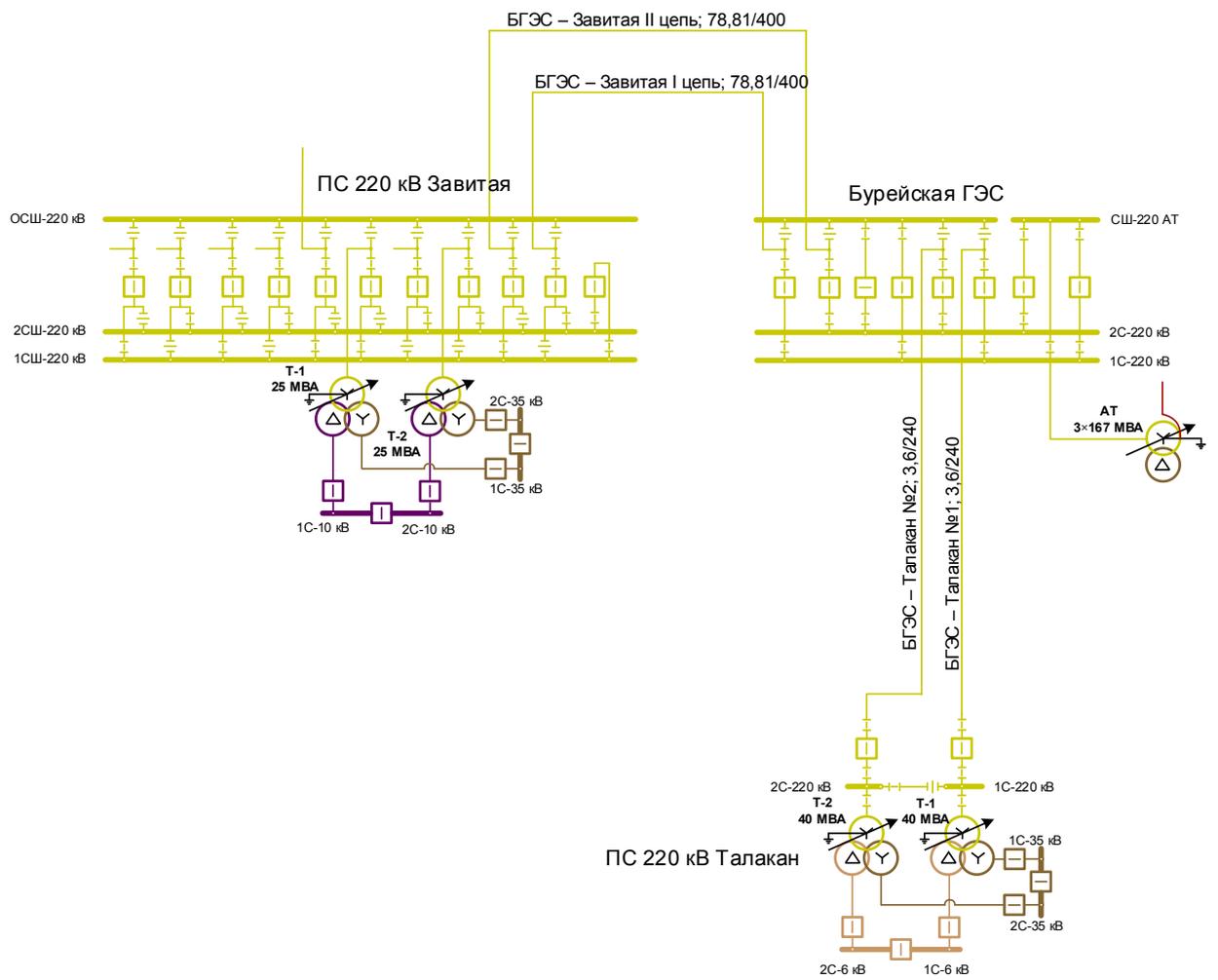


Рисунок П1.18 – Однолинейная схема сети

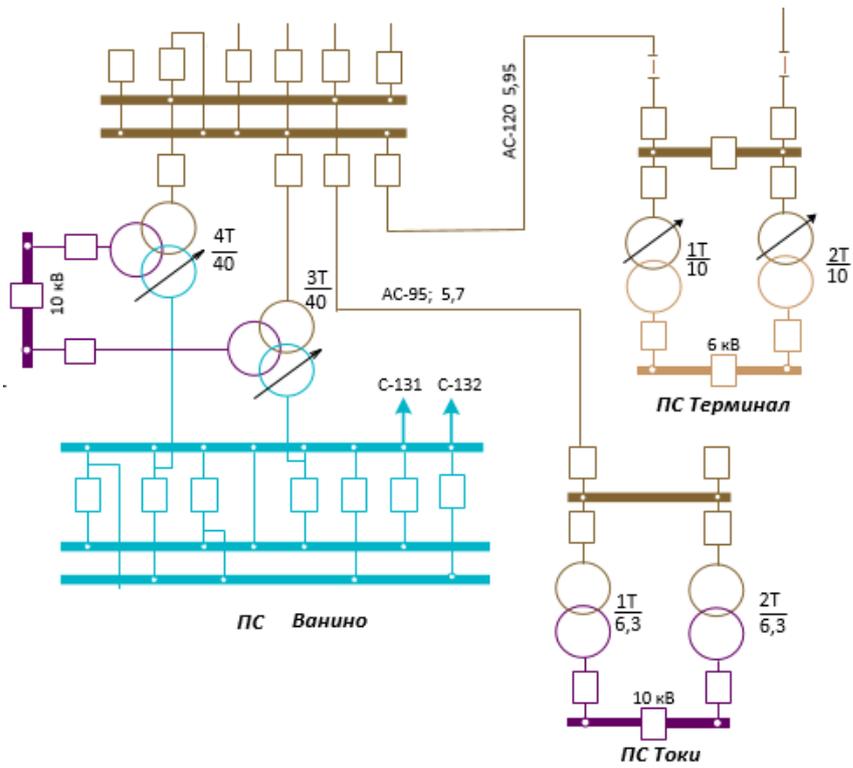


Рисунок П1.19 – Однолинейная схема сети

Вариант №20

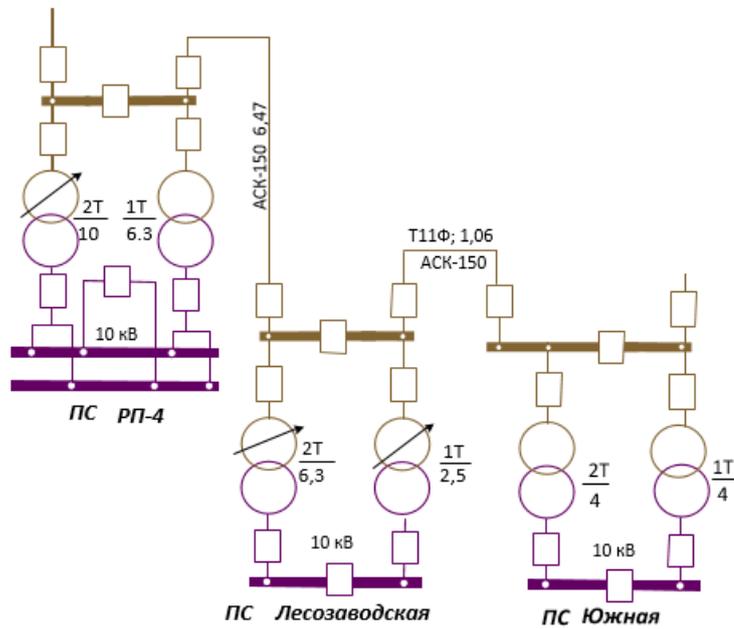


Рисунок П1.20 – Однолинейная схема сети

Вариант №21

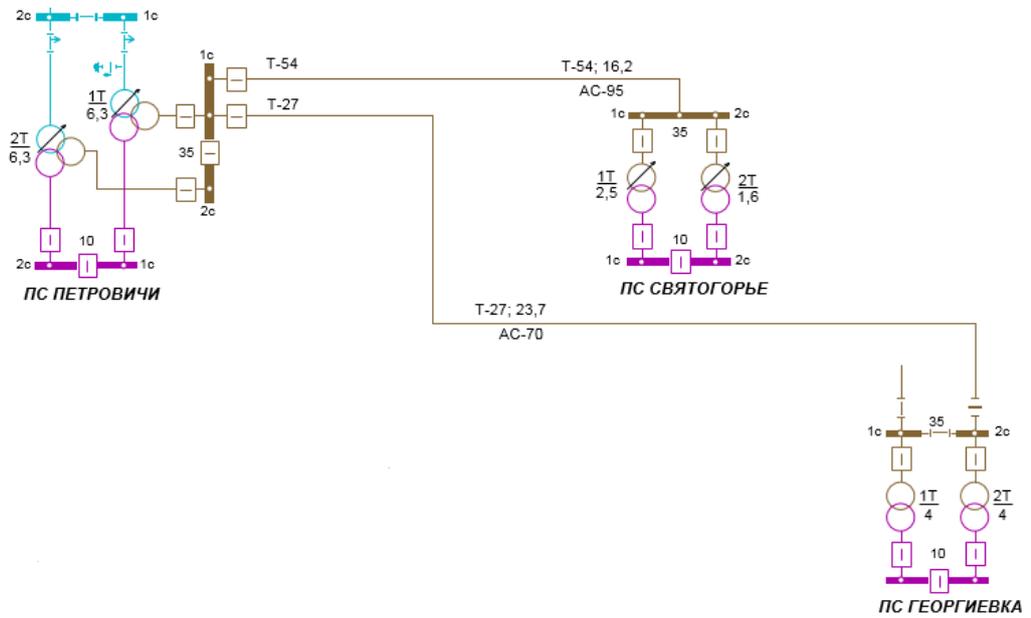


Рисунок П1.21 – Однолинейная схема сети

Вариант №22

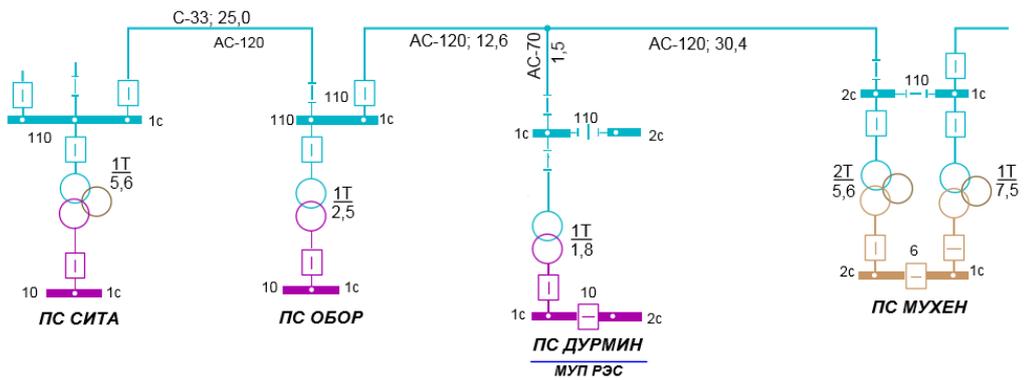


Рисунок П1.22 – Однолинейная схема сети

Вариант №23

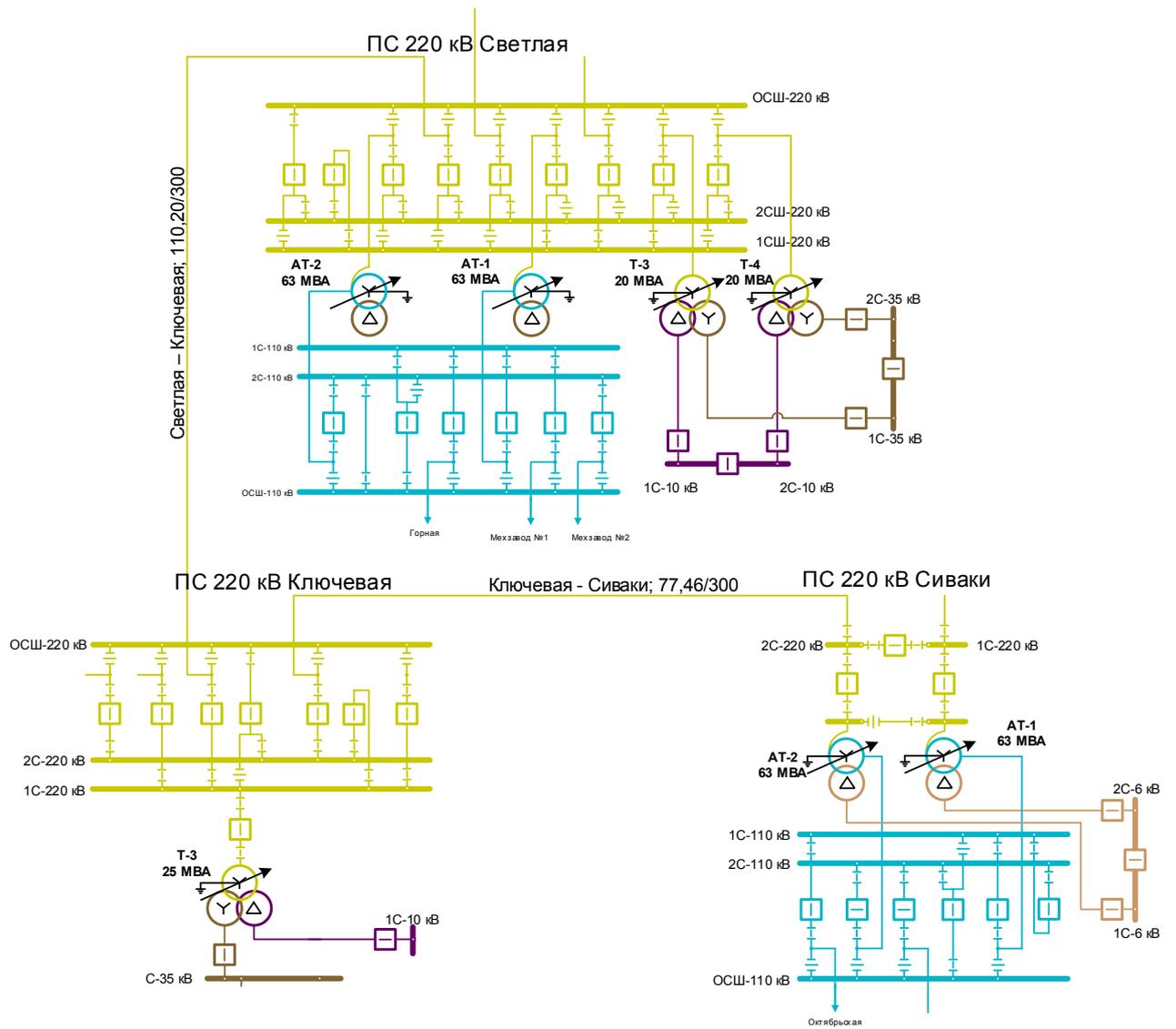


Рисунок П1.25 – Однолинейная схема сети

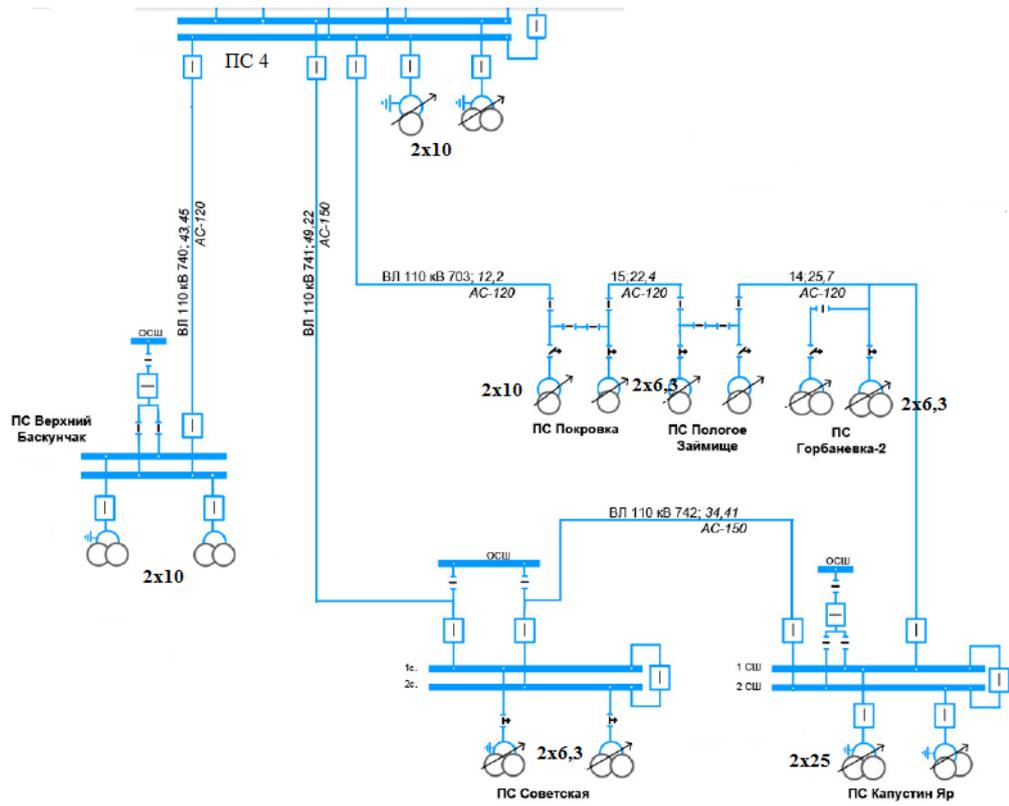


Рисунок П1.26 – Однолинейная схема сети

Вариант №27

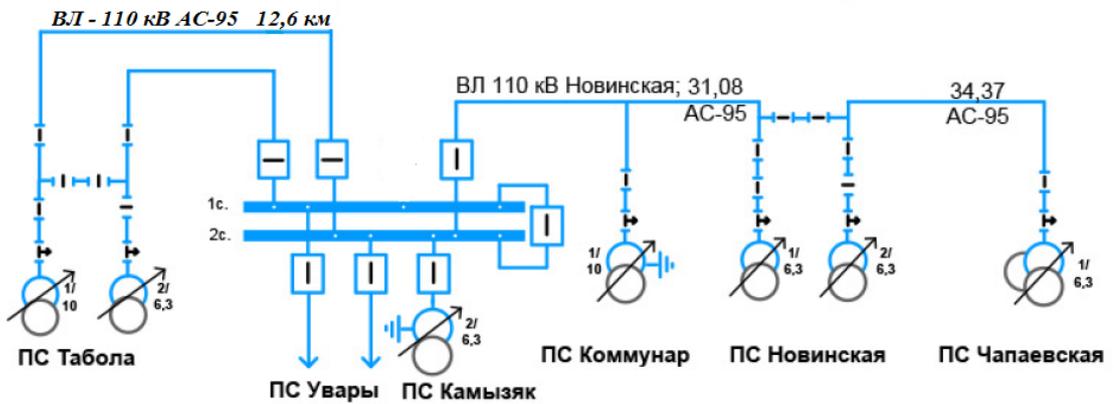


Рисунок П1.27 – Однолинейная схема сети

Вариант №28

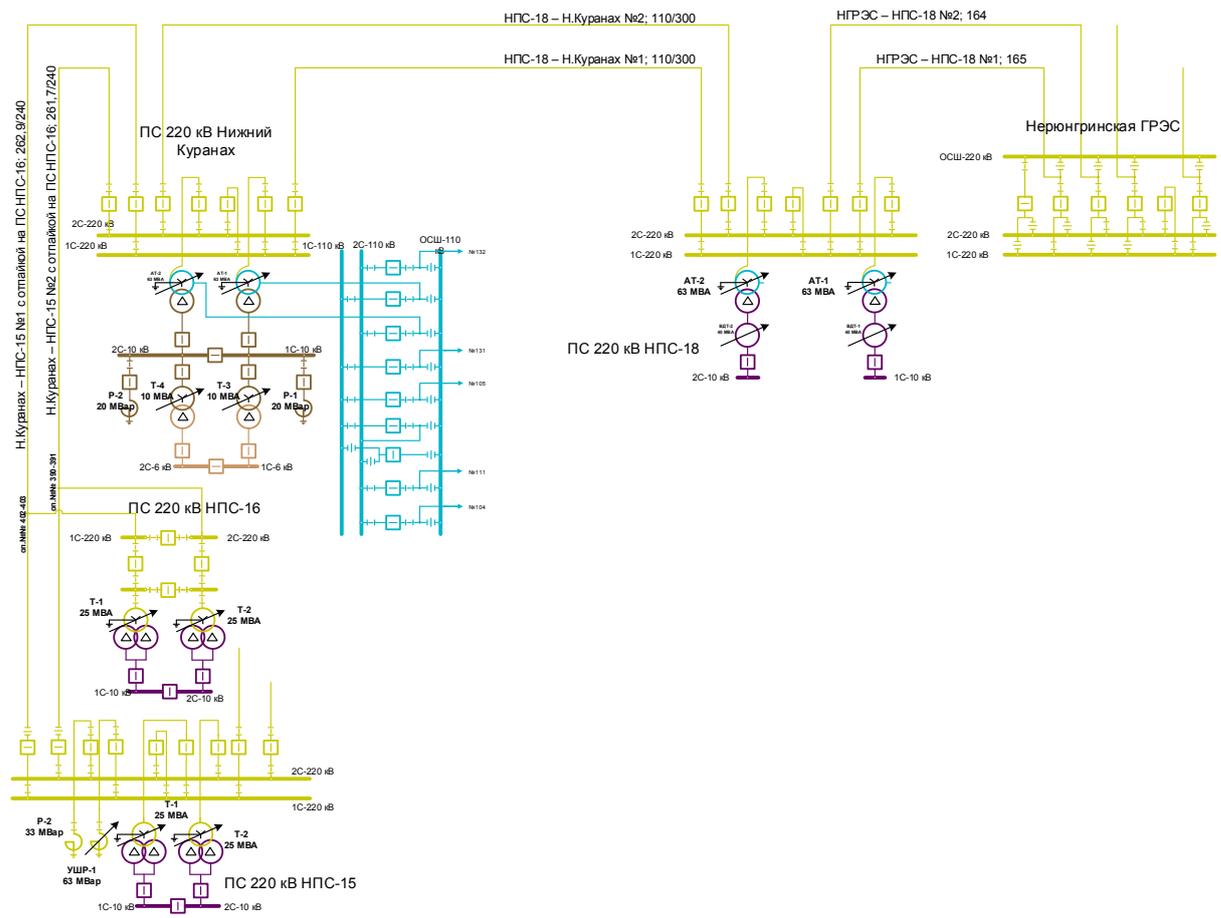


Рисунок П1.28 – Однолинейная схема сети

Вариант №29

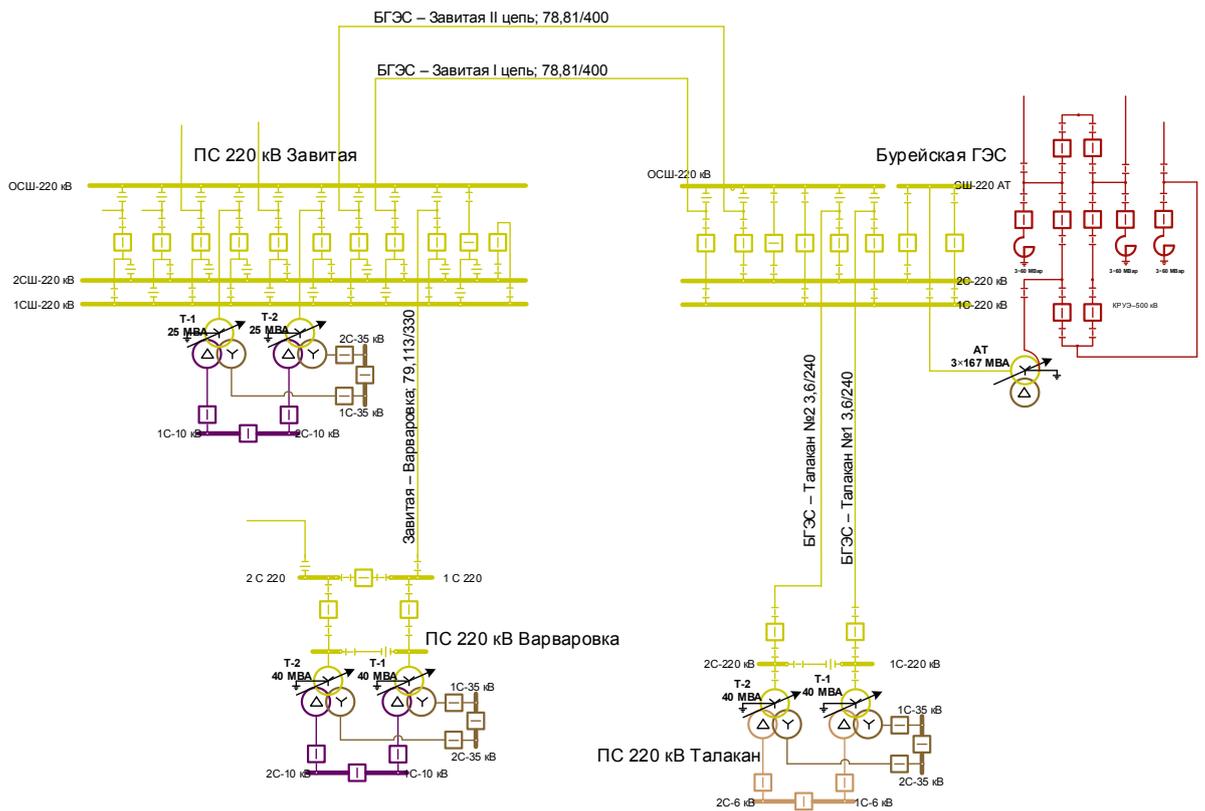


Рисунок П1.29 – Однолинейная схема сети

Вариант №30

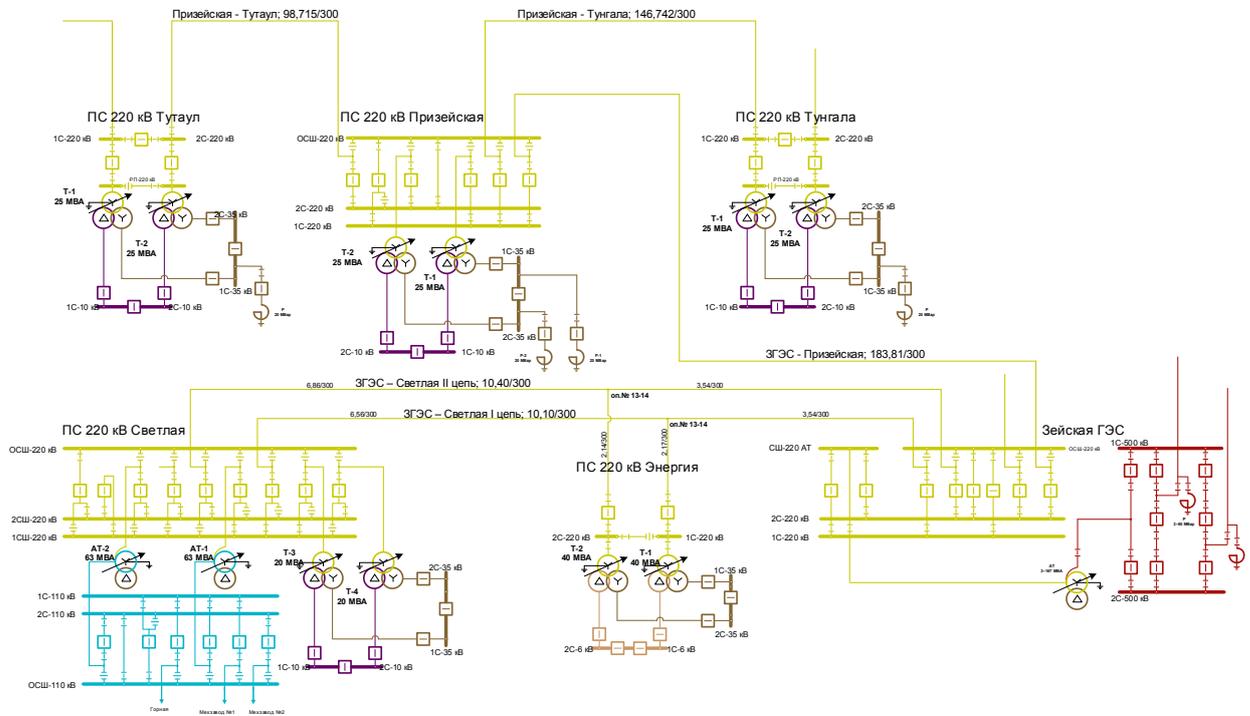


Рисунок П1.30 – Однолинейная схема сети

Однолинейные схемы электрических сетей для оптимизации в

ПВК RastrWin

Вариант №1

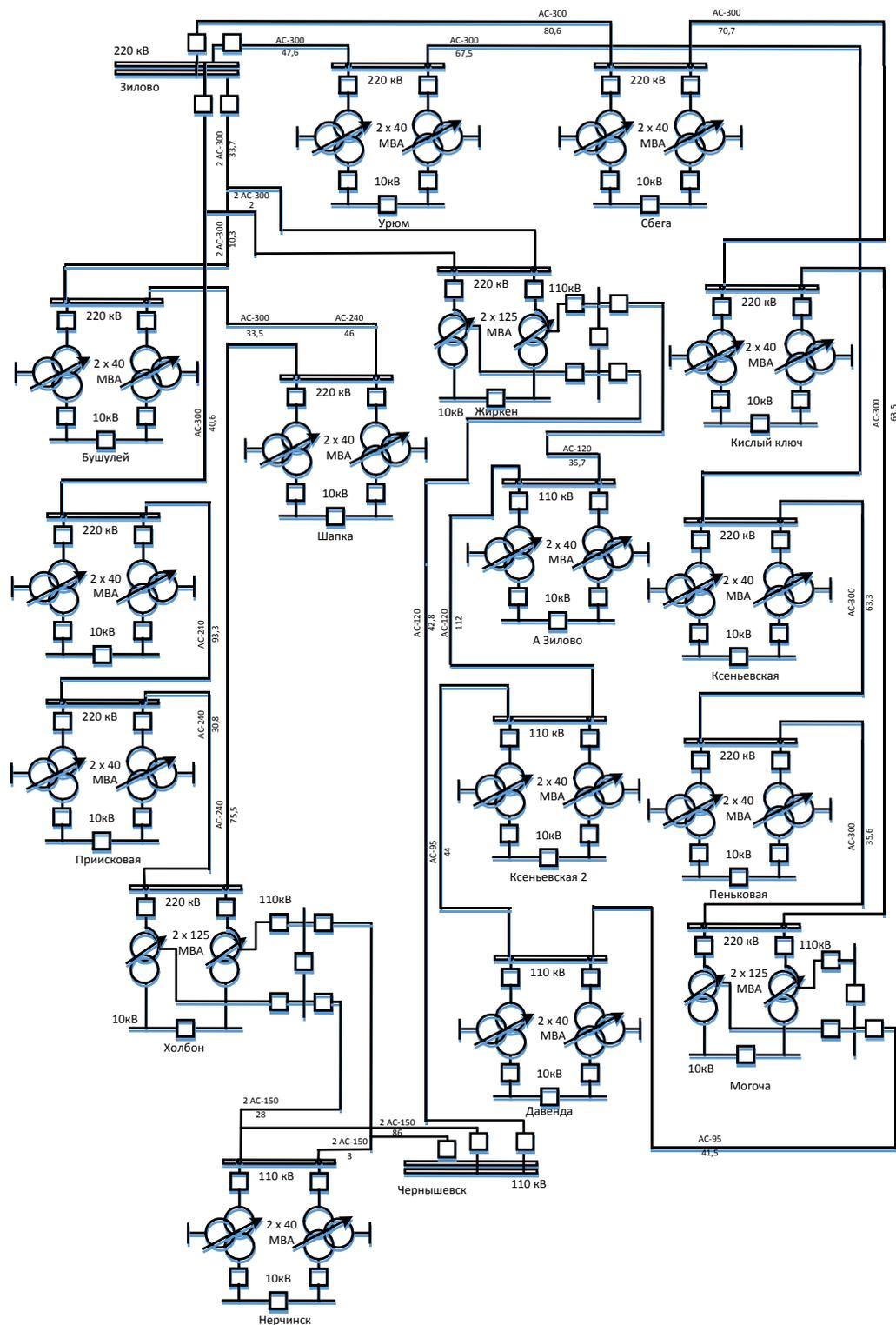


Рисунок П2.1 – однолинейная схема сети

Вариант №4

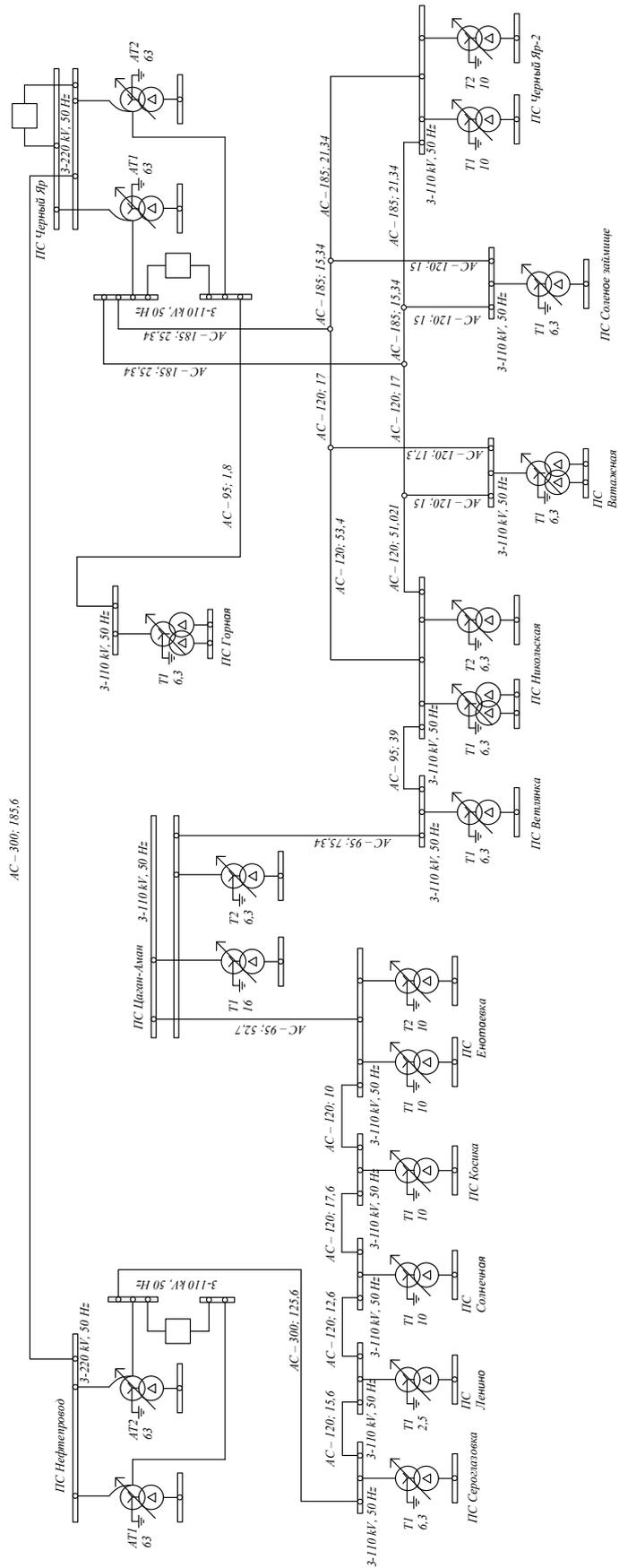


Рисунок П2.4 – однолинейная схема сети

Вариант №8

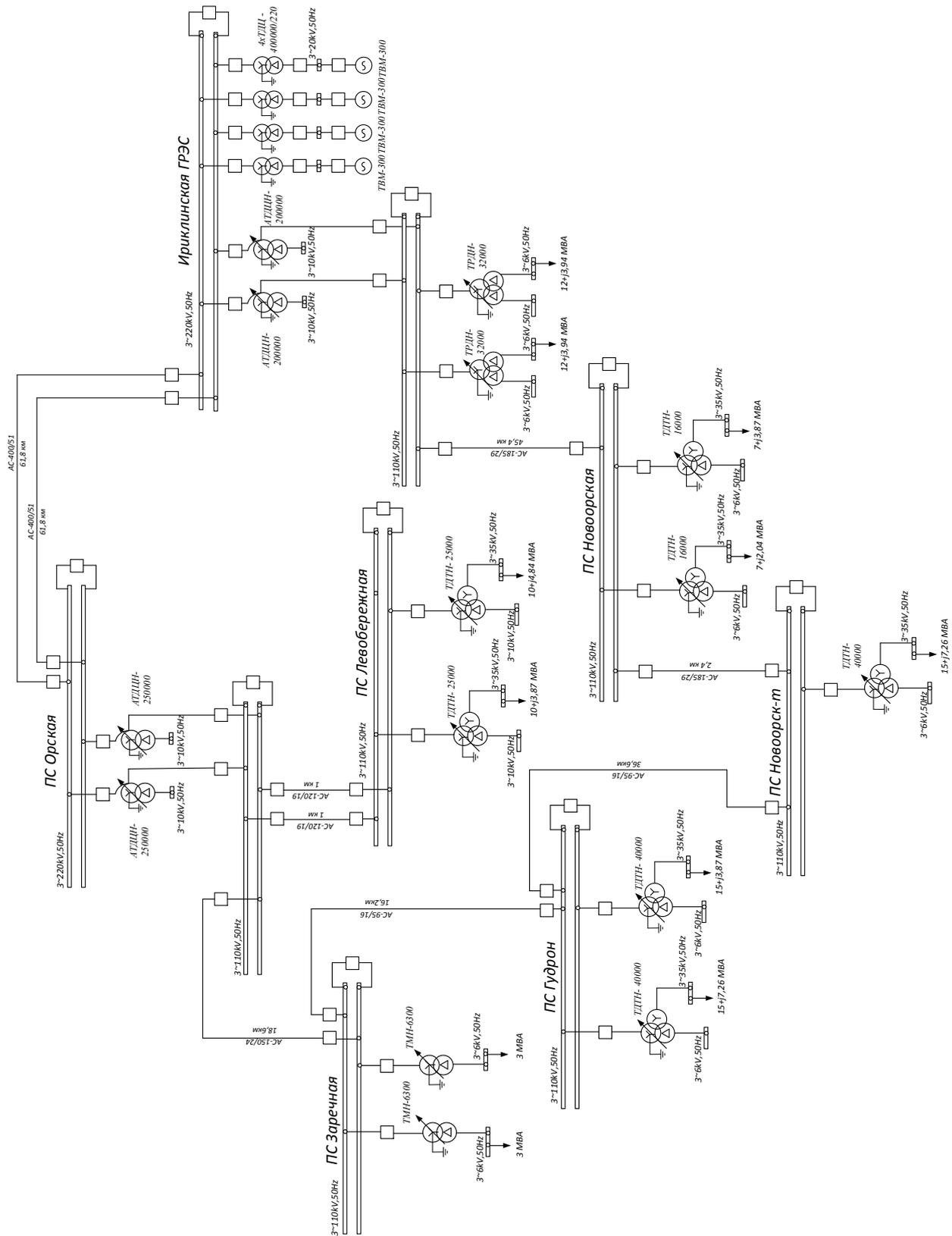


Рисунок П2.8 – однолинейная схема сети

Вариант №9

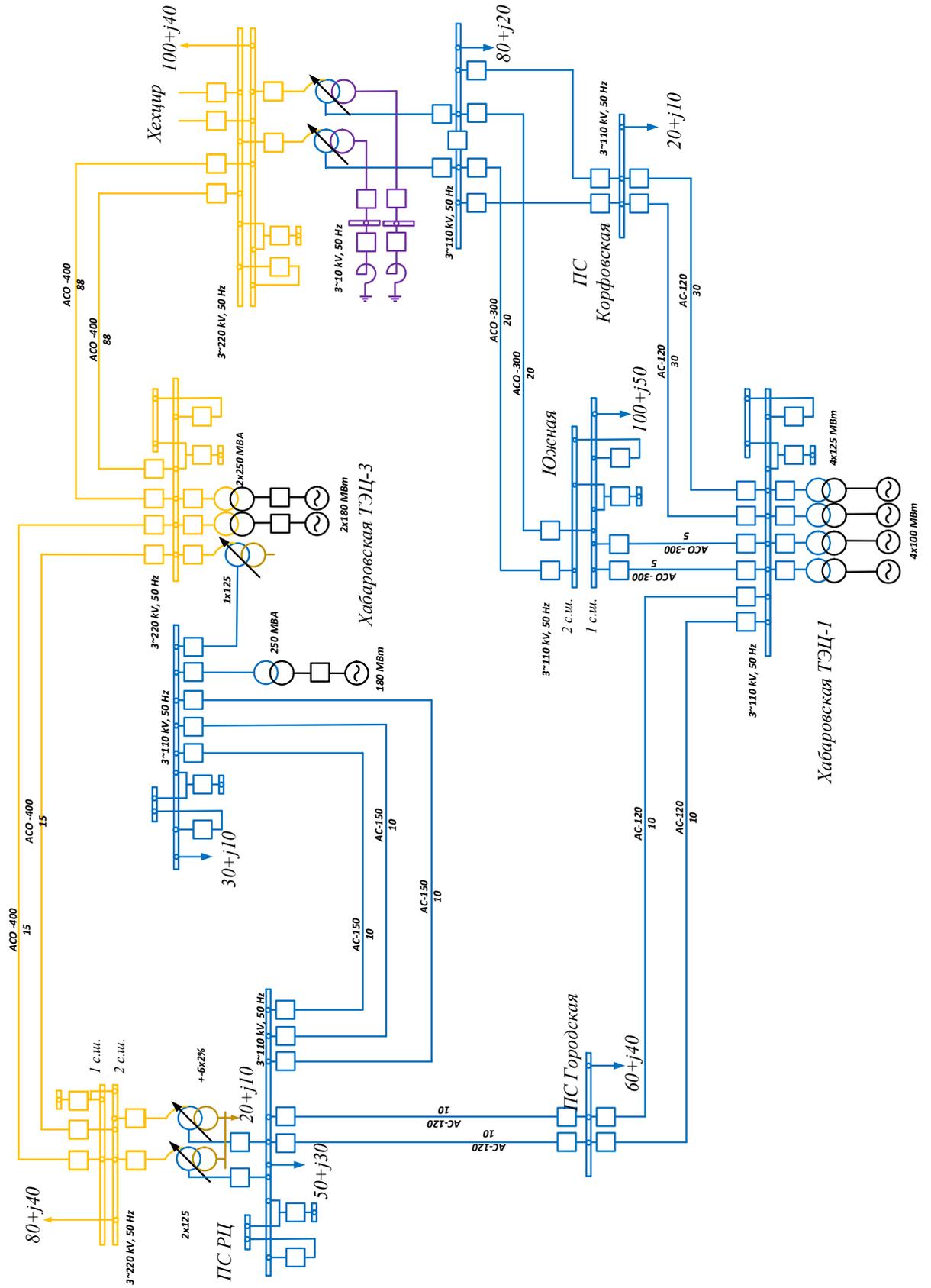


Рисунок П2.9 – однолинейная схема сети

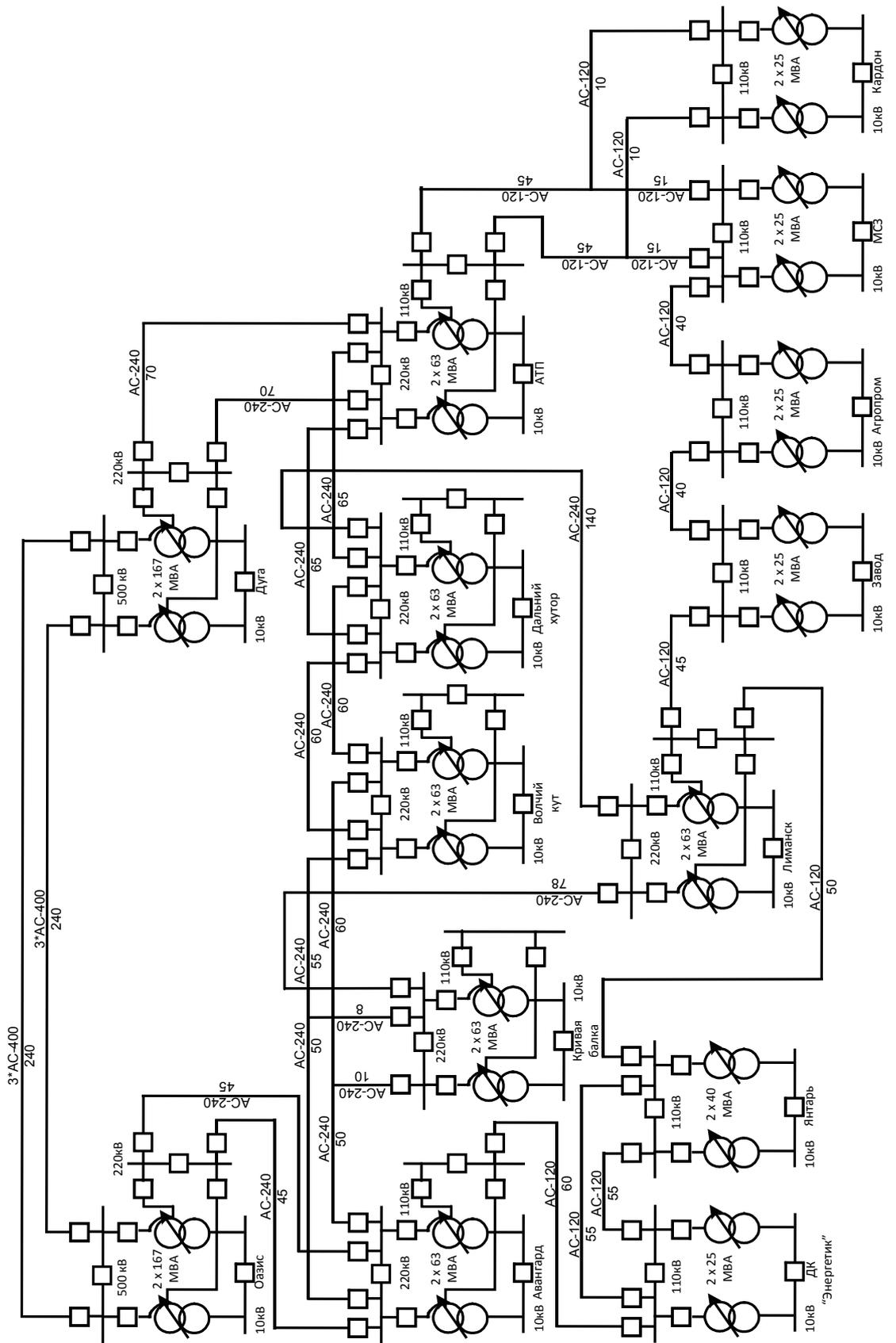


Рисунок П2.13 – однолинейная схема сети

Вариант №14

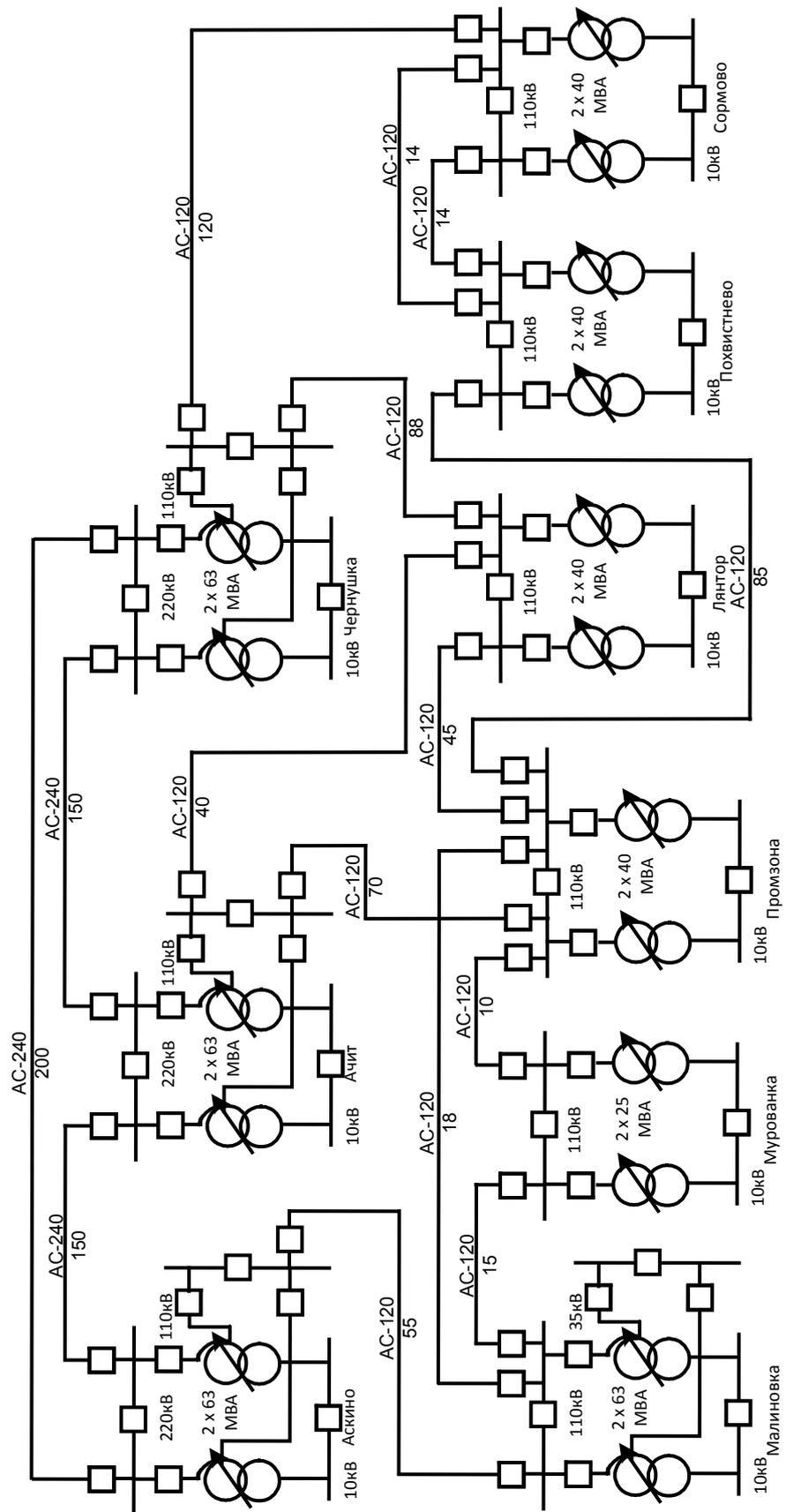


Рисунок П2.14 – однолинейная схема сети

Вариант №15

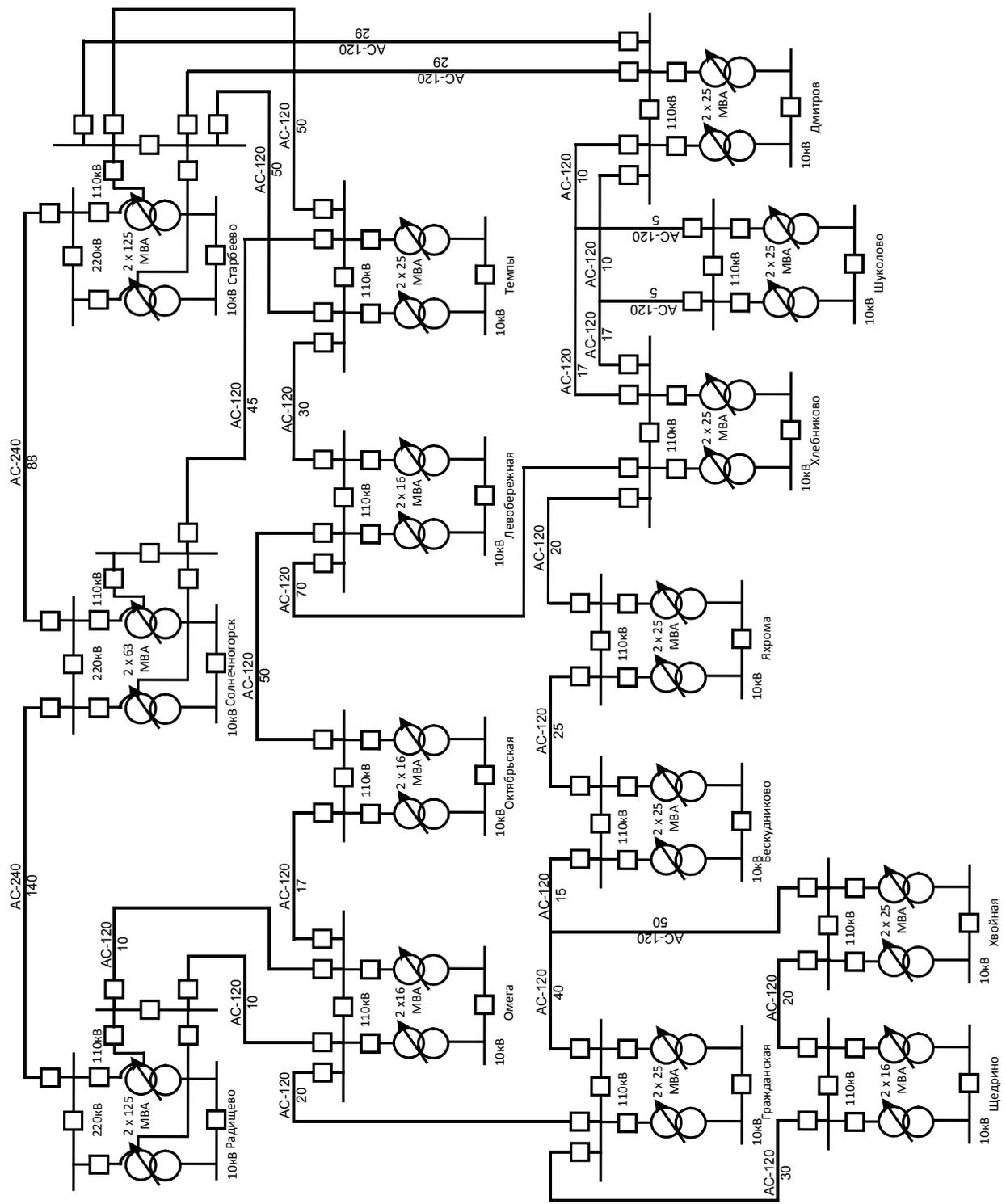


Рисунок П2.15 – однолинейная схема сети

Вариант №16

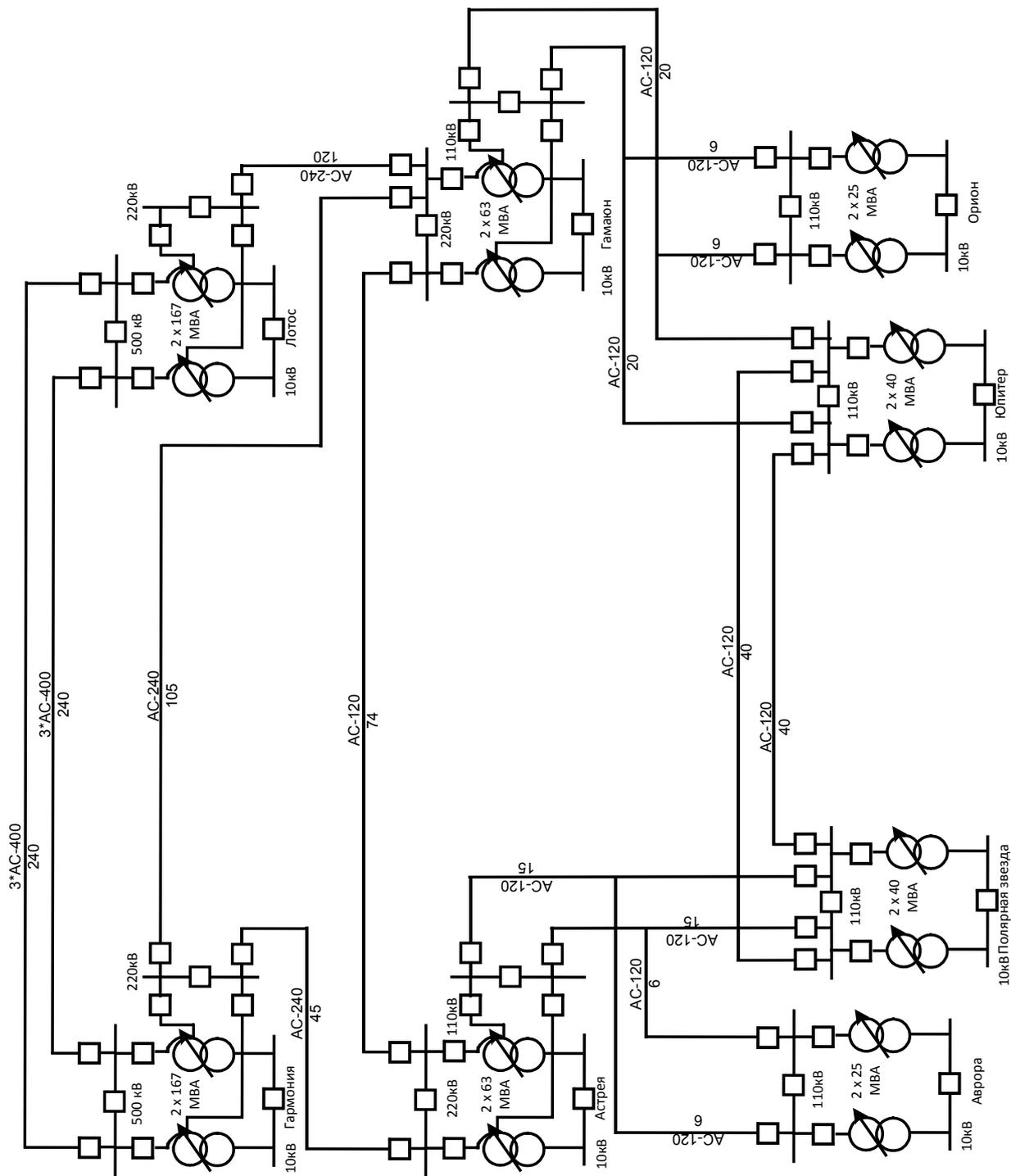


Рисунок П2.16 – однолинейная схема сети

Вариант №17

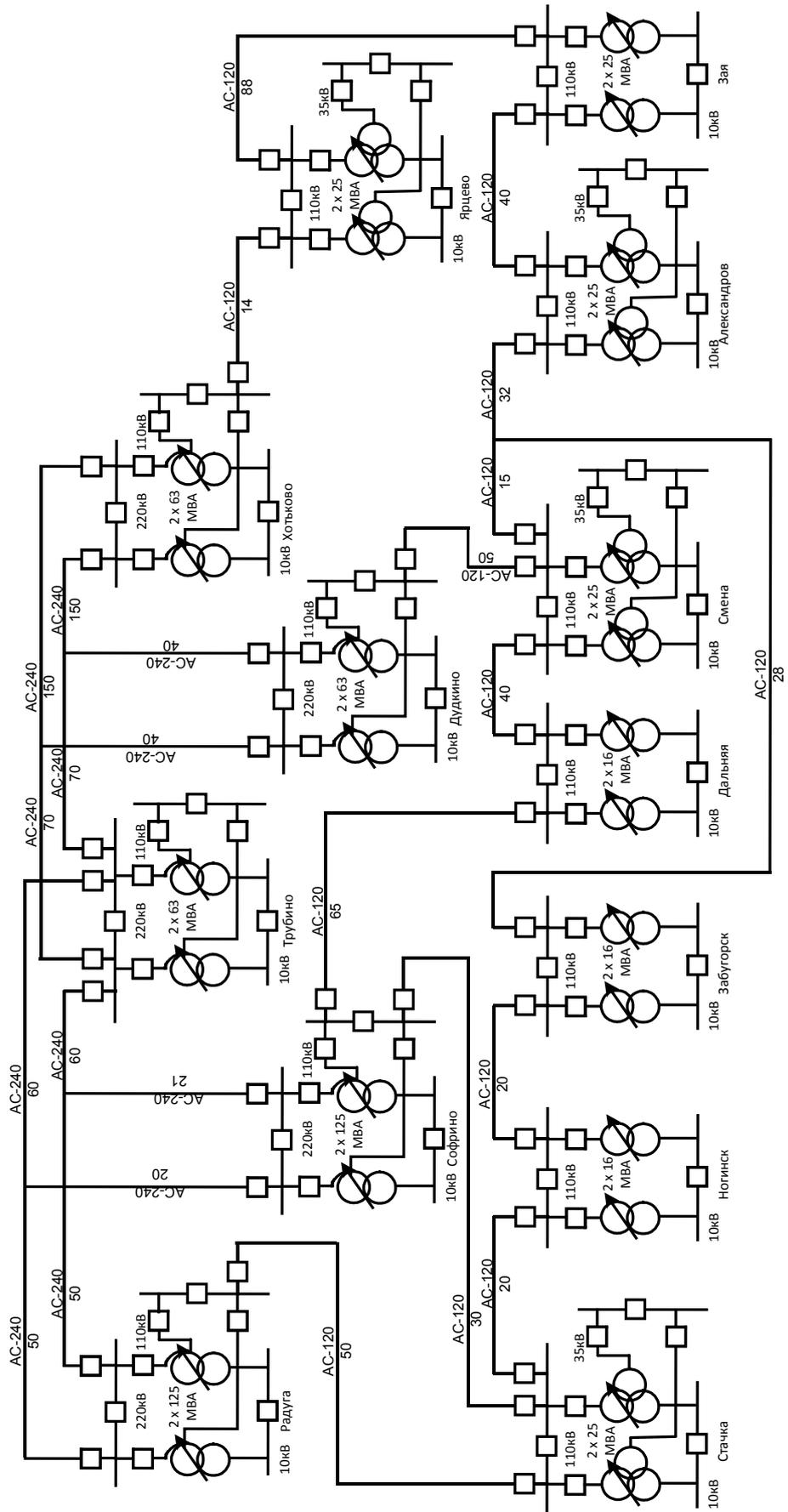


Рисунок П2.17 – однолинейная схема сети
Вариант №18

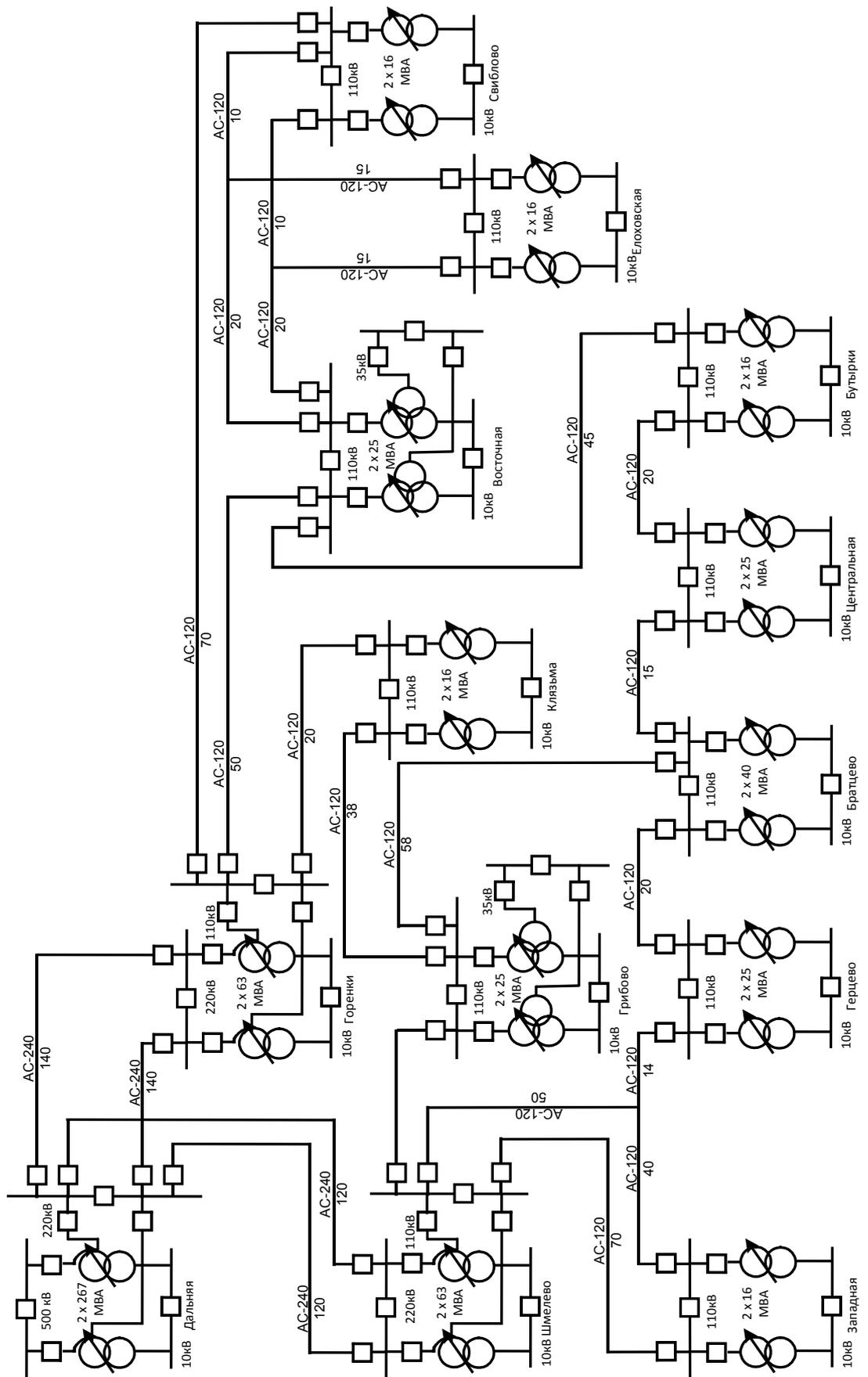


Рисунок П2.18 – однолинейная схема сети
Вариант №19

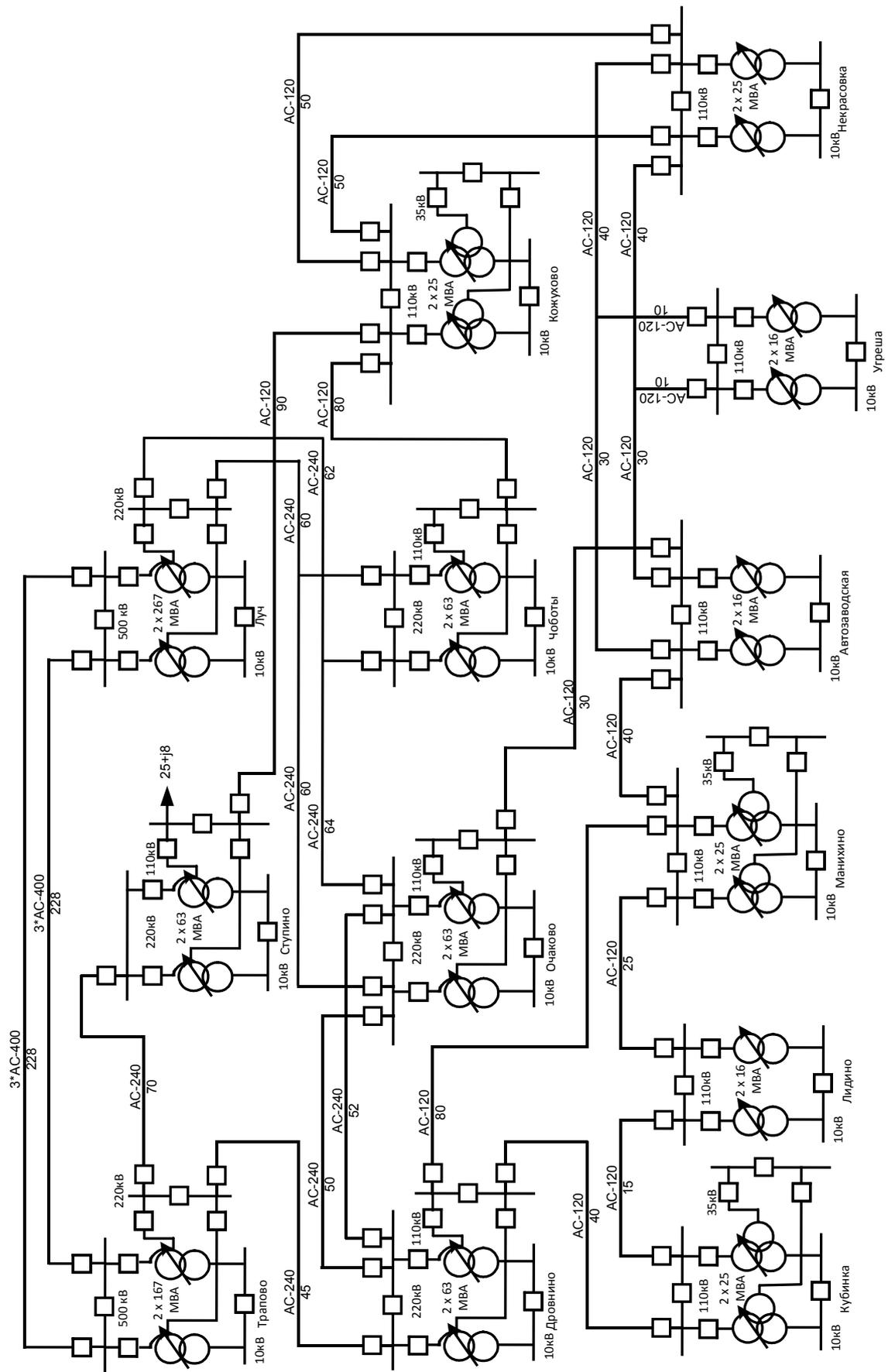


Рисунок П2.19 – однолинейная схема сети

Вариант №20

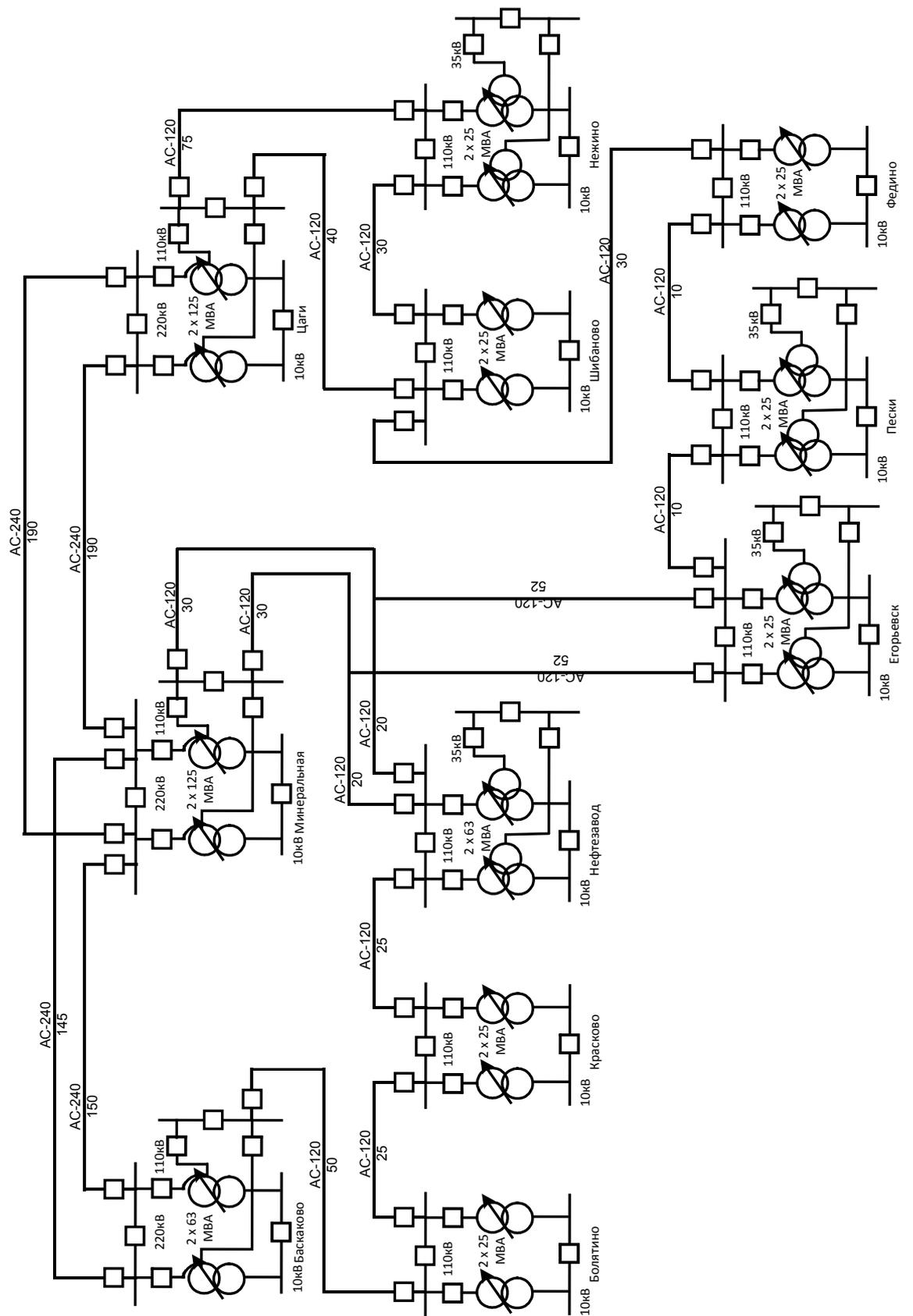


Рисунок П2.20 – однолинейная схема сети

Расчетная схема для задания переходного режима в ПВК RastrWin

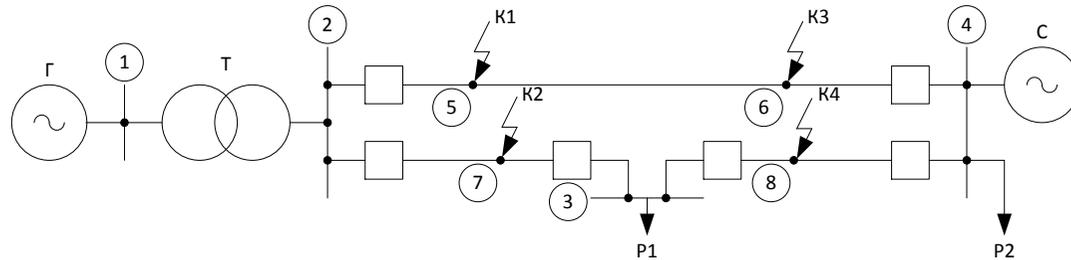


Рисунок 3.1 – Расчетная схема

Варианты для расчета переходного режима в ПВК RastrWin

Таблица ПЗ.1 – Варианты

Вариант	Точка КЗ	Генератор	Трансформатор	Нагрузка, МВт		Длины линий, км						
				P1	P2	2-5	5-6	6-4	2-7	7-3	3-8	8-4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
00	1	Т-12-2У3	ТД-16000/110	5	6	1	10	5	10	2	7	9
01	2	Т-20-2У3	ТД-25000/110	10	8	2	15	6	12	3	8	11
02	3	ТВС-32У3	ТД-40000/110	15	10	3	20	7	14	5	10	13
03	4	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	20	12	4	10	8	16	6	12	15
04	1	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	25	14	5	15	9	17	7	15	17
05	2	Т-12-2У3	ТД-16000/110	30	16	6	20	10	10	8	7	19
06	3	Т-20-2У3	ТД-25000/110	35	6	7	10	11	12	10	8	21

Продолжение таблицы ПЗ.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
07	4	ТВС-32У3	ТД-40000/110	40	8	1	15	12	14	12	10	9
08	1	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	45	10	2	20	5	16	15	12	11
09	2	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	50	12	3	10	6	10	2	15	13
10	3	Т-12-2У3	ТД-16000/110	5	14	4	15	7	12	3	7	15
11	4	Т-20-2У3	ТД-25000/110	10	16	5	20	8	14	5	8	17
12	1	ТВС-32У3	ТД-40000/110	15	6	6	10	9	16	6	10	19
13	2	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	20	8	7	15	10	17	7	12	21
14	3	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	25	10	1	20	11	10	8	15	9
15	4	Т-12-2У3	ТД-16000/110	30	12	2	10	12	12	10	7	11
16	1	Т-20-2У3	ТД-25000/110	35	14	3	15	5	14	12	8	13
17	2	ТВС-32У3	ТД-40000/110	40	16	4	20	6	16	15	10	15
18	3	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	45	6	5	10	7	10	2	12	17
19	4	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	50	8	6	15	8	12	3	15	19
20	1	Т-12-2У3	ТД-16000/110	5	10	7	20	9	14	5	7	21
21	2	Т-20-2У3	ТД-25000/110	10	12	1	10	10	16	6	8	9
22	3	ТВС-32У3	ТД-40000/110	15	14	2	15	11	17	7	10	11
23	4	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	20	16	3	20	12	10	8	12	13
24	1	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	25	6	4	10	5	12	10	15	15
25	2	Т-12-2У3	ТД-16000/110	30	8	5	15	6	14	12	7	17
26	3	Т-20-2У3	ТД-25000/110	35	10	6	20	7	16	15	8	19

Продолжение таблицы ПЗ.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
27	4	ТВС-32У3	ТД-40000/110	40	12	7	10	8	10	2	10	21
28	1	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	45	14	1	15	9	12	3	12	9
29	2	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	50	16	2	20	10	14	5	15	11
30	3	Т-12-2У3	ТД-16000/110	5	6	3	10	11	16	6	7	13
31	4	Т-20-2У3	ТД-25000/110	10	8	4	15	12	17	7	8	15
32	1	ТВС-32У3	ТД-40000/110	15	10	5	20	5	10	8	10	17
33	2	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	20	12	6	10	6	12	10	12	19
34	3	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	25	14	7	15	7	14	12	15	21
35	4	Т-12-2У3	ТД-16000/110	30	16	1	20	8	16	15	7	9
36	1	Т-20-2У3	ТД-25000/110	35	6	2	10	9	10	2	8	11
37	2	ТВС-32У3	ТД-40000/110	40	8	3	15	10	12	3	10	13
38	3	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	45	10	4	20	11	14	5	12	15
39	4	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	50	12	5	10	12	16	6	15	17
40	1	Т-12-2У3	ТД-16000/110	5	14	6	15	5	17	7	7	19
41	2	Т-20-2У3	ТД-25000/110	10	16	7	20	6	10	8	8	21
42	3	ТВС-32У3	ТД-40000/110	15	6	1	10	7	12	10	10	9
43	4	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	20	8	2	15	8	14	12	12	11
44	1	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	25	10	3	20	9	16	15	15	13
45	2	Т-12-2У3	ТД-16000/110	30	12	4	10	10	10	2	7	15
46	3	Т-20-2У3	ТД-25000/110	35	14	5	15	11	12	3	8	17

Продолжение приложения №3

Продолжение таблицы ПЗ.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
47	4	ТВС-32У3	ТД-40000/110	40	16	6	20	12	14	5	10	19
48	1	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	45	6	7	10	5	16	6	12	21
49	2	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	50	8	1	15	6	17	7	15	9
50	3	Т-12-2У3	ТД-16000/110	5	10	2	20	7	10	8	7	11
51	4	Т-20-2У3	ТД-25000/110	10	12	3	10	8	12	10	8	13
52	1	ТВС-32У3	ТД-40000/110	15	14	4	15	9	14	12	10	15
53	2	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	20	16	5	20	10	16	15	12	17
54	3	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	25	6	6	10	11	10	2	15	19
55	4	Т-12-2У3	ТД-16000/110	30	8	7	15	12	12	3	7	21
56	1	Т-20-2У3	ТД-25000/110	35	10	1	20	5	14	5	8	9
57	2	ТВС-32У3	ТД-40000/110	40	12	2	10	6	16	6	10	11
58	3	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	45	14	3	15	7	17	7	12	13
59	4	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	50	16	4	20	8	10	8	15	15
60	1	Т-12-2У3	ТД-16000/110	5	6	5	10	9	12	10	7	17
61	2	Т-20-2У3	ТД-25000/110	10	8	6	15	10	14	12	8	19
62	3	ТВС-32У3	ТД-40000/110	15	10	7	20	11	16	15	10	21
63	4	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	20	12	1	10	12	10	2	12	9
64	1	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	25	14	2	15	5	12	3	15	11
65	2	Т-12-2У3	ТД-16000/110	30	16	3	20	6	14	5	7	13

Продолжение приложения №3

продолжение таблицы ПЗ.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
66	3	Т-20-2У3	ТД-25000/110	35	6	4	10	7	16	6	8	15
67	4	ТВС-32У3	ТД-40000/110	40	8	5	15	8	17	7	10	17
68	1	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	45	10	6	20	9	10	8	12	19
69	2	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	50	12	7	10	10	12	10	15	21
70	3	Т-12-2У3	ТД-16000/110	5	14	1	15	11	14	12	7	9
71	4	Т-20-2У3	ТД-25000/110	10	16	2	20	12	16	15	8	11
72	1	ТВС-32У3	ТД-40000/110	15	6	3	10	5	10	2	10	13
73	2	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	20	8	4	15	6	12	3	12	15
74	3	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	25	10	5	20	7	14	5	15	17
75	4	Т-12-2У3	ТД-16000/110	30	12	6	10	8	16	6	7	19
76	1	Т-20-2У3	ТД-25000/110	35	14	7	15	9	17	7	8	21
77	2	ТВС-32У3	ТД-40000/110	40	16	1	20	10	10	8	10	9
78	3	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	45	6	2	10	11	12	10	12	11
79	4	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	50	8	3	15	12	14	12	15	13
80	1	Т-12-2У3	ТД-16000/110	5	10	4	20	5	16	15	7	15
81	2	Т-20-2У3	ТД-25000/110	10	12	5	10	6	10	2	8	17
82	3	ТВС-32У3	ТД-40000/110	15	14	6	15	7	12	3	10	19
83	4	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	20	16	7	20	8	14	5	12	21
84	1	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	25	6	1	10	9	16	6	15	9

Продолжение приложения №3

продолжение таблицы ПЗ.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
85	2	Т-12-2У3	ТД-16000/110	30	8	2	15	10	17	7	7	11
86	3	Т-20-2У3	ТД-25000/110	35	10	3	20	11	10	8	8	13
87	4	ТВС-32У3	ТД-40000/110	40	12	4	10	12	12	10	10	15
88	1	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	45	14	5	15	5	14	12	12	17
89	2	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	50	16	6	20	6	16	15	15	19
90	3	Т-12-2У3	ТД-16000/110	5	6	7	10	7	10	2	7	21
91	4	Т-20-2У3	ТД-25000/110	10	8	1	15	8	12	3	8	9
92	1	ТВС-32У3	ТД-40000/110	15	10	2	20	9	14	5	10	11
93	2	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	20	12	3	10	10	16	6	12	13
94	3	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	25	14	4	15	11	17	7	15	15
95	4	Т-12-2У3	ТД-16000/110	30	16	5	20	12	10	8	7	17
96	1	Т-20-2У3	ТД-25000/110	35	6	6	10	5	12	10	8	19
97	2	ТВС-32У3	ТД-40000/110	40	8	7	15	6	14	12	10	21
98	3	ТВФ-63-2У3	ТД-80000/110	45	10	1	20	7	16	15	12	9
99	4	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110	50	12	2	10	8	10	2	15	11