

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

К. В. Коротких

ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический
материал по практическим занятиям для студентов магистратуры
по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника,
профиль «Электроснабжение»

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 621.311

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный технический университет»

М. С. Харитонов

Коротких, К. В.

Передача и распределение электроэнергии: учеб.-методич. пособие по практическим занятиям для студентов магистратуры по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, профиль «Электроснабжение» / **К. В. Коротких**. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 49 с.

Учебно-методическое пособие по практическим занятиям содержит исходные данные, указания по выполнению расчётов, требования к структуре, содержанию и оформлению практических работ, описание организации защиты и критерии оценивания.

Табл. 12, рис. 49, список лит. – 4 наименования

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 28.06.2023 г., протокол № 10

УДК 621.311

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© Коротких К. В., 2023 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ	7
2. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТ	8
3. ТРЕБОВАНИЯ ПО ЗАЩИТЕ РАБОТ	8
4. ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСОМ RASTRWIN3	9
4.1. Получение студенческой лицензии	9
4.2. Загрузка и сохранение данных	10
4.3. Ввод данных по схеме электрической сети в таблицу «Узлы».....	11
4.4. Ввод данных по схеме электрической сети в таблицу «Ветви»	15
4.5. Расчёт установившегося режима.....	19
4.6. Подготовка графической схемы.....	19
4.7. Моделирование трансформаторов	21
4.8. Оптимизация режима по реактивной мощности	23
4.9. Анализ допустимой токовой загрузки линий электропередачи	26
4.10. Анализ допустимой токовой загрузки трансформаторов.....	28
4.11. Анализ полученных результатов.....	29
5. ЗАДАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ.....	31
5.1. Задание № 1. Моделирование воздушных линий электропередачи различных классов напряжения в программном комплексе RastrWin3	31
5.2. Задание № 2. Моделирование кабельных линий электропередачи различных классов напряжения в программном комплексе RastrWin3	31
5.3. Задание № 3. Моделирование трансформаторов в среде RastrWin3	32
5.4. Задание № 4. Моделирование устройств регулирования напряжения в программном комплексе RastrWin3	34
5.5. Задание № 5. Анализ допустимой токовой загрузки линий электропередачи и трансформаторов в программном комплексе RastrWin3	35
5.6. Задание № 6. Моделирование компенсирующих устройств реактивной мощности в программном комплексе RastrWin3	39
5.7. Задание № 7. Расчёт и анализ установившегося режима электрической сети в программном комплексе RastrWin3	41
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	47
Приложение А. Образец титульного листа практической работы.....	48

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «*Передача и распределение электроэнергии*» входит в состав основной профессиональной образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, профиль «*Электроснабжение*».

Дисциплина «*Передача и распределение электроэнергии*» является вариативной дисциплиной, формирующей у обучающихся готовность к использованию системы знаний в области использования электроэнергетических систем и сетей для передачи и распределения электроэнергии, а также международного и отечественного опыта в этой области.

Целью факультативной дисциплины «*Передача и распределение электроэнергии*» является формирование у обучающихся готовности к использованию системы знаний в области теории и практики передачи и распределения электроэнергии.

Задачи изучения дисциплины:

- изучение теории передачи и распределения электроэнергии переменным током, физики процессов, происходящих в электроэнергетических системах и сетях, способов моделирования элементов и электрической сети в целом;
- освоение методов расчётов эксплуатационных режимов электроэнергетических систем и сетей;
- приобретение навыков и представлений о требованиях к улучшению режимов электрических сетей и об условиях оптимального управления.

В результате освоения дисциплины студент должен:

- **знать** схемы электроэнергетических систем и сетей, конструктивное выполнение воздушных и кабельных линий электропередачи; основные математические соотношения, характеризующие работу электроэнергетических систем
- **уметь** применять, эксплуатировать и производить выбор оборудования электроэнергетических систем и сетей;
- **владеть** методами анализа режимов работы электроэнергетических систем; методами расчета параметров электроэнергетических сетей и систем, навыками исследовательской работы.

Целью практических занятий является изучение методик расчёта типовых задач курса «*Передача и распределение электроэнергии*» в программном комплексе RastrWin3.

Задачами выполнения практических работ являются:

- закрепление, расширение и углубление знаний, полученных в теоретическом курсе, в смежных дисциплинах;

- получение знаний в области чтения электрических схем, оптимизации режимов с помощью средств регулирования напряжения, составления схем замещения электрических сетей;

- формирование умения анализировать, использовать исходную информацию, справочную литературу по расчёту параметров элементов электроэнергетической системы.

В результате выполнения практических работ студент должен:

- **знать** способы моделирования элементов электроэнергетических систем и сетей;

- **уметь** рассчитывать параметры элементов электроэнергетических систем, составлять схемы замещения электрических сетей;

- **владеть** навыками обработки полученных результатов.

Критерии оценивания различаются для расчётной части и устных ответов при защите практической работы. По результатам выполнения расчётной части и последующей защиты работы выставляется оценка по системе «зачтено / не зачтено» в соответствии с универсальной системой оценивания (табл. 1 и 2).

Таблица 1 – Система и критерии оценивания расчётной части

Система оценок	Критерий
«зачтено»	Методика и порядок расчёта верные. Ошибки отсутствуют, либо имеются незначительные вычислительные ошибки
«зачтено»	Методика и порядок расчета верные. Имеются вычислительные ошибки, обусловленные невнимательностью при расчётах, которые не привели к существенному искажению результата
«зачтено»	Имеются незначительные ошибки в методологии, ошибки в промежуточных расчётах, обусловленные неполным пониманием принципа расчёта, при этом конечный результат имеет приемлемые отклонения
«не зачтено»	Применена неверная методология, нарушен порядок расчёта, имеется серьёзная системная ошибка, обусловленная непониманием принципа расчёта и приведшие к ошибочному результату

Таблица 2 – Система и критерии оценивания защиты практических работ

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40 %	41-60 %	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2. Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

1. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Завершённая практическая работа должна включать обязательные структурные элементы:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- задание к практической работе;
- расчётная часть с разбивкой по разделам;
- заключение.

Титульный лист:

Форма титульного листа и образец его заполнения приведены в Приложении А.

Содержание:

Содержание должно отражать все разделы, включённые в практическую работу, с указанием страниц, на которых они начинаются.

Введение:

В разделе «Введение» кратко формулируются цель и задачи практической работы, указываются особенности, техническое и практическое значение, основные направления предлагаемых решений. Во введении следует раскрыть актуальность вопросов темы, охарактеризовать проблему, к которой относится тема, перечислить методы и средства, с помощью которых будут решаться поставленные задачи.

Техническое задание:

Практическая работа должна выполняться на основе задания, содержащего исходные данные, схему электрической сети.

Расчётная часть:

Расчётная часть должна содержать основные расчётные формулы, таблицы с результатами вычислений, графические интерпретации вычислений.

Заключение:

В заключении сообщаются основные результаты выполненной работы.

Графическая часть практической работы должна включать следующие материалы:

- схему электрической сети;
- схему замещения электрической сети;
- графическое изображение схемы электрической сети в программном комплексе RastrWin3.

2. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТ

Практические работы допускается оформлять в редакторе MS Word. Для расчётов, построения графиков и электрических схем рекомендуется использование комплексов Mathcad, MS Excel, MS Visio.

Общие требования:

Пояснительная записка должна содержать обязательные структурные элементы (раздел 1). Текстовая часть пояснительной записки оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95. На все рисунки и таблицы должны быть ссылки в тексте, например, «(Рисунок 1)», «приведены в таблице 1». Подписи таблиц и рисунков по форме «Таблица 1 – Название» (над таблицей, выравнивание по левому краю без отступа), «Рисунок 1 – Название» (под рисунком, выравнивание посередине). Ссылки на литературу оформляются в [скобках]. Нумерация источников – сквозная по первому упоминанию.

Требования при оформлении в MS Word:

- поля документа: левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее и нижнее – 15 мм;
- шрифт – Times New Roman, размер (кегель) – 13–14;
- выравнивание шрифта – по ширине;
- расстановка переносов – автоматическая;
- межстрочный интервал – 1,5;
- отступ первой строки абзаца – 1,25 см;
- выравнивание рисунков – по центру без отступа;
- выравнивание таблиц – по ширине окна, без отступа;
- нумерация страниц – по центру внизу страницы;
- расчётная часть должна иметь чёткую структуру. Таблицы и рисунки должны иметь названия с конкретным указанием отображаемых параметров.

3. ТРЕБОВАНИЯ ПО ЗАЩИТЕ РАБОТ

Защита практической работы проводится после предоставления завершённой работы и устранения всех замечаний по расчётной части.

Защита практической работы проходит в форме индивидуальной беседы преподавателя со студентом на основе материалов отчёта по практической работе в часы индивидуальных или групповых консультаций преподавателя.

4. ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСОМ RASTRWIN3

4.1. Получение студенческой лицензии

Программный комплекс RastrWin3 предназначен для решения задач по расчёту, анализу и оптимизации режимов электрических систем и сетей.

В России основными пользователями являются:

- Системный Оператор Единой Энергетической Системы (СО ЦДУ ЕЭС) и его филиалы;
- Федеральная Сетевая Компания (ФСК) и её подразделения;
- Территориальные АО-Энерго и распределительные сетевые компании (РСК);
- Проектные и научно-исследовательские институты.

RastrWin3 может использоваться для выполнения курсовых и дипломных проектов.

Студенческая лицензия является бесплатной и позволяет пользоваться всеми функциями программы при расчёте электрических сетей объёмом до 60 узлов.

1. Скачивается и устанавливается программа-инсталлятор RastrWin3 с официального сайта www.rastrwin.ru (рис. 1).

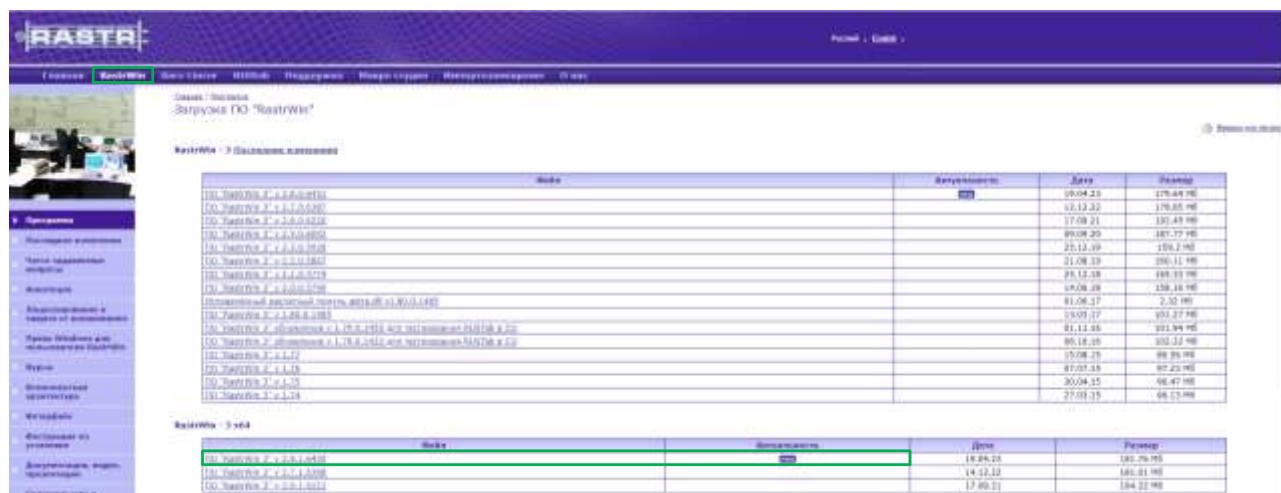


Рисунок 1 – Скачивание программы-инсталлятора с официального сайта

2. После открытия программы **RastrWin3** в диалоговом окне **Помощь – О программе** ввести числовой код организации 11111, а в графе «Пользователь» заполнить название ВУЗа и специальность (рис. 2).

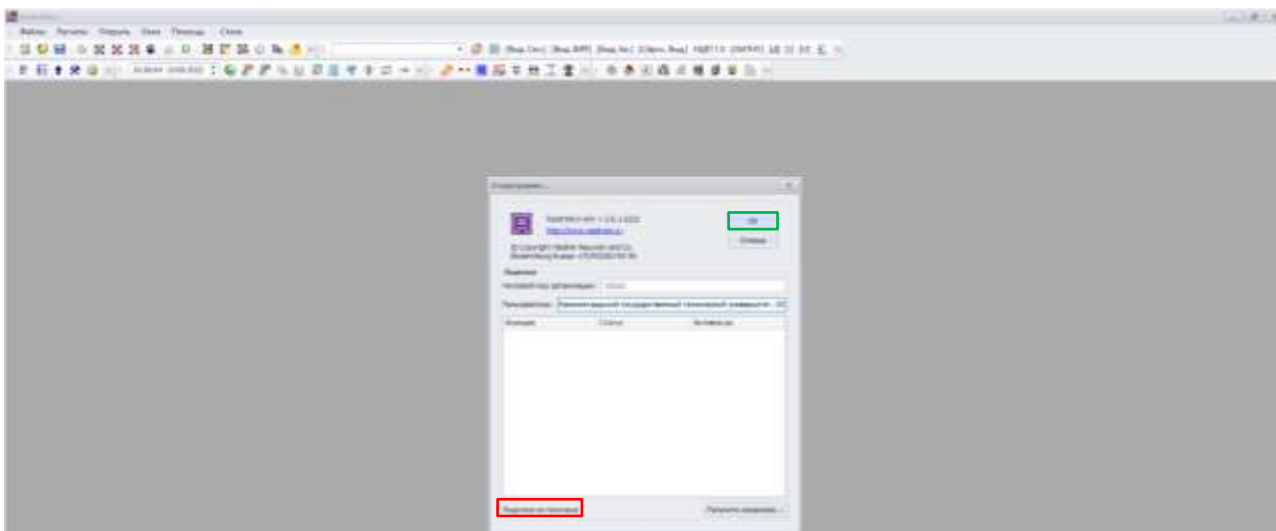


Рисунок 2 – Заполнение полей диалогового окна «О программе»

3. В папке **Мои документы/RastrWin3** найти файл **ИмяКомпьютера_info.dat**. Отправить этот файл на электронную почту **license@rastrwin.ru**.

4. В ответ, в течение одного рабочего дня, придёт файл **ИмяКомпьютера_license.dat**.

5. Сохранить этот файл в папку **Мои документы/RastrWin3**.

6. Для проверки наличия лицензии после открытия программы **RastrWin3** в диалоговом окне **Помощь – О программе** отобразится соответствующая информация (рис. 3).

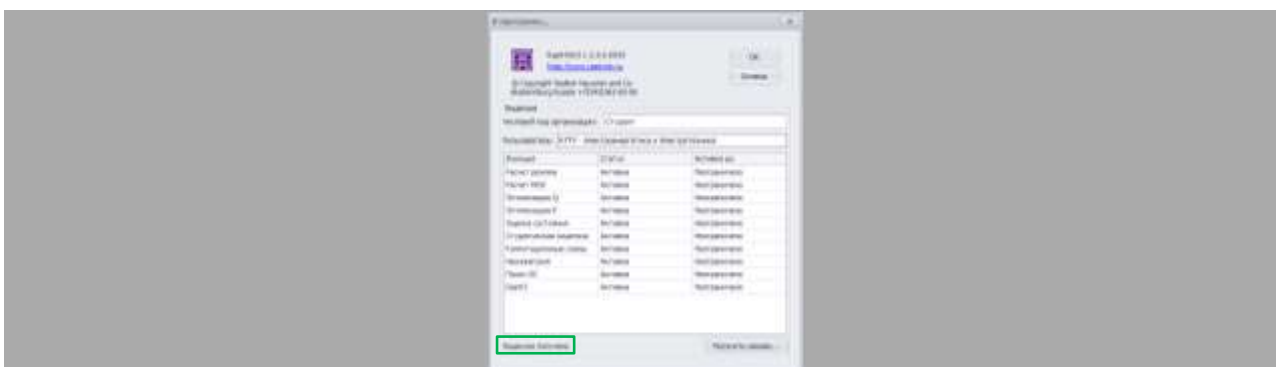


Рисунок 3 – Информация о наличии студенческой лицензии программы

4.2. Загрузка и сохранение данных

Перед началом работы с новой схемой используются команды **Файлы – Новый**, отмечаются галочкой типы файлов: **режим.rg2**, **трансформаторы.rg2**, **графика.rg2**, **анцапфы.rg2** (рис. 4).

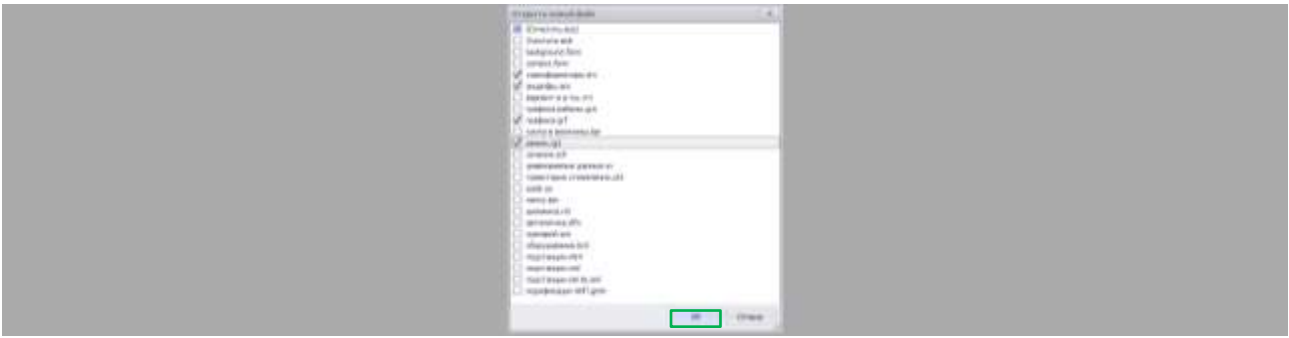


Рисунок 4 – Окно начала работы с новой схемой в RastrWin3

Для сохранения данных используются команды **Сохранить как** и **Сохранить все** (рис. 5).



Рисунок 5 – Сохранение данных в RastrWin3

Команда **Сохранить все** производит сохранение данных под последним использованным именем, поэтому при первоначальном вводе данных следует использовать команду **Сохранить как**.

При работе с программой загружаются файлы разных типов (рис. 6).



Рисунок 6 – Загрузка данных в RastrWin3

4.3. Ввод данных по схеме электрической сети в таблицу «Узлы»

Команды открытия окон с текстовой и графической информацией сосредоточены в меню **Открыть**.

Для задания узлов сети выполнить команду **Открыть – Узлы**.

Минимально необходимой информацией для каждого узла является его номер (**Номер**), название (**Название**) и номинальное напряжение (**U_ном**) в кВ (рис. 7).



Рисунок 7 – Задание узлов сети в RastrWin3

При обычном расчете режима в электрической сети должен существовать хотя бы один узел, принимающий на себя возникающие небалансы мощности. Такой узел называется балансирующим (базисным). Задаётся его номер (**Номер**), название (**Название**), номинальное напряжение (**U_ном**) в кВ и заданный модуль напряжения (**V_зд**) в кВ, равный $105\%U_{ном}$ (рис. 8).



Рисунок 8 – Задание базисного узла сети в RastrWin3

Для каждого узла нагрузки задаётся его номер (**Номер**), название (**Название**), номинальное напряжение (**U_ном**) в кВ, активная (**P_н**) в МВт и реактивная (**Q_н**) в МВАр мощности потребления (рис. 9).



Рисунок 9 – Задание узлов нагрузки сети в RastrWin3

При наличии в узле шунтов на землю – батарей статических конденсаторов (БСК) или шунтирующих реакторов (ШР) – задаются их номера (**Номер**), названия (**Название**), номинальные напряжения (**U_ном**) в кВ, проводимости (**B_ш**) в мкСм (рис. 10).



Рисунок 10 – Задание батарей статических конденсаторов, шунтирующих реакторов в RastrWin3

Проводимость шунтирующих реакторов [1]:

$$B_{ш} = \frac{Q_{ном}}{U_{ном}^2} \cdot 10^6, \quad (1)$$

где $Q_{ном}$ – номинальная реактивная мощность шунтирующего реактора, МВАр;
 $U_{ном}$ – номинальное напряжение шунтирующего реактора, кВ.

Проводимость батарей статических конденсаторов [1]:

$$B_{ш} = 2 \cdot \pi \cdot f_{ном} \cdot C_{ном}, \quad (2)$$

где $f_{ном}$ – номинальная частота сети, Гц;

$C_{\text{ном}}$ – номинальная ёмкость батареи статических конденсаторов, мкФ.

Ёмкостной характер отражается знаком минус, индуктивный – знаком плюс.

Автотрансформаторы, трёхобмоточные трансформаторы, трансформаторы с расщеплённой обмоткой представляются по схеме трёхлучевой звезды (обмотка высшего напряжения, обмотка среднего напряжения, обмотка низшего напряжения) с промежуточным узлом (средняя точка или нейтраль) – 4 узлами. Напряжения обмотки высшего напряжения и средней точки совпадают [2].

Двухобмоточные трансформаторы представляются обмоткой высшего напряжения и обмоткой низшего напряжения – 2 узлами [2].

Пример 5.3. Для схемы электрической сети (рис. 11) задать узлы и их параметры в программном комплексе RastrWin3. Базисным узлом является энергосистема. В таблицах 3 – 4 представлены исходные данные для расчёта.

Таблица 3 – Параметры трансформаторов и нагрузки

№	Параметр	Трансформаторы				
		Т-1		Т-2, Т-3		
1	Марка	ТДТН-25000/110		ТДН-10000/110		
2	S, кВА	25000		10000		
3	$U_{\text{номВН}}$, кВ	115		115		
4	$U_{\text{номСН}}$, кВ	11		-		
5	$U_{\text{номНН}}$, кВ	6,6		6,3		
6	$u_{\text{кВС}}$, %	10,5		-		
7	$u_{\text{кВН}}$, %	17,5		10,5		
9	$u_{\text{кСН}}$, %	6,5		-		
10	ΔP_x , кВт	27		14		
11	ΔP_k , кВт	140		58		
12	Регулирование напряжения	РПН $\pm 16 \times 1\%$		РПН $\pm 16 \times 1\%$		
-	Нагрузка	P, МВт	Сеть среднего напряжения	12,5	-	
		Q, МВАр		5,0		
		P, МВт	Сеть низкого напряжения	10,0	Сеть низкого напряжения	8,0
		Q, МВАр		4,0		3,2

Таблица 4 – Параметры батареи статических конденсаторов

Наименование	Марка	$U_{\text{ном}}$, кВ	Мощность ступени ($Q_{\text{ном}}$), МВАр	C, мкФ
БСК-1	БСК-110-34	110	34	8,94

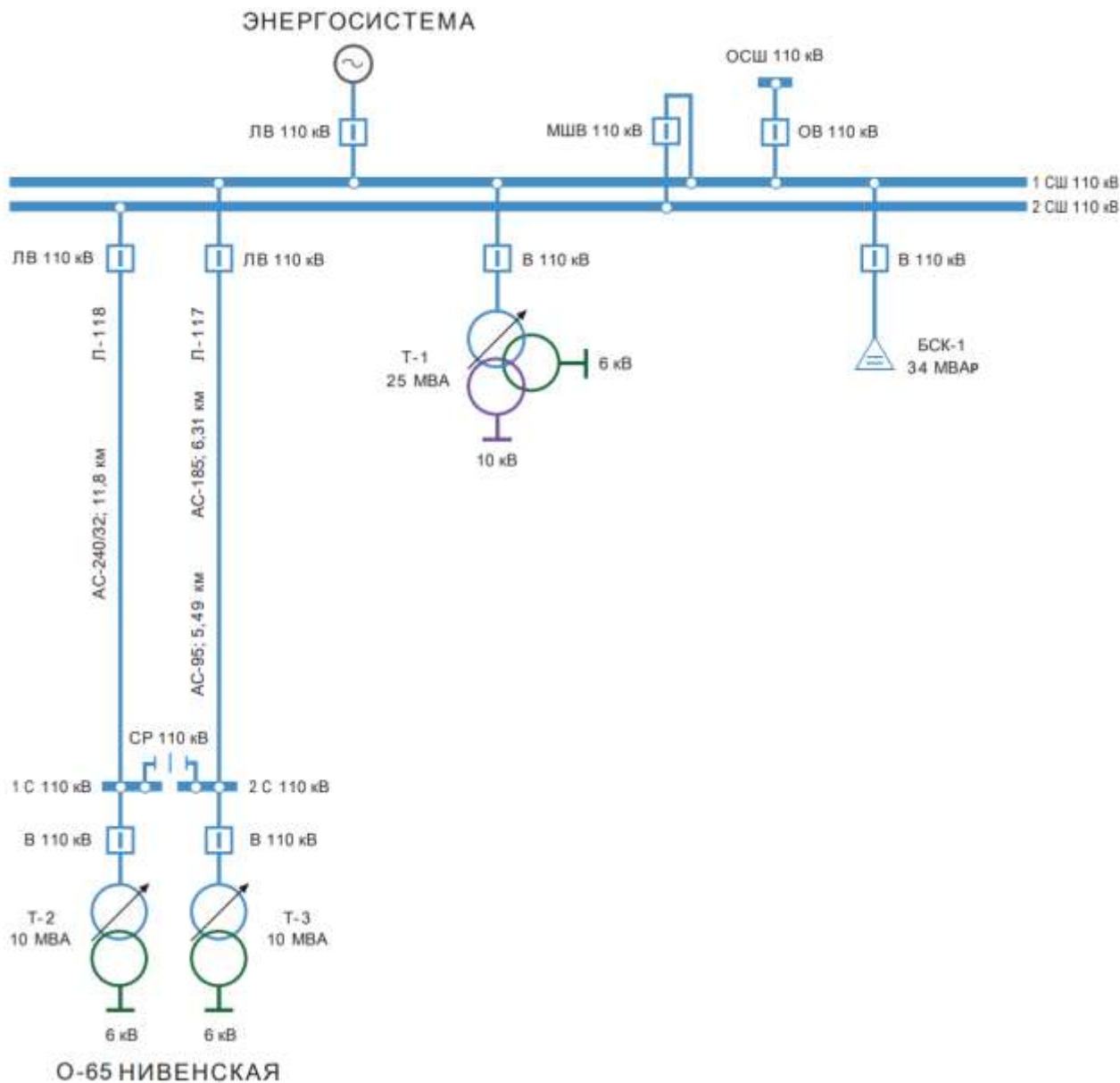


Рисунок 11 – Пример схемы электрической сети

Решение.

Данные по узлам сети в программном комплексе RastrWin3 (рис. 12).

№	Наименование	Сумм.	К.Сум.	Резерв.	К.Рез.	С.П.	К.С.П.	С.С.П.	К.С.С.П.	С.С.С.П.	К.С.С.С.П.	Резерв.	Техническое
1	Энергосистема	100											
2	1 система шин 110кВ	100											
3	2 система шин 110кВ	100											
4	3 система шин 110кВ	100											
5	4 система шин 110кВ	100											
6	5 система шин 110кВ	100											
7	6 система шин 110кВ	100											
8	7 система шин 110кВ	100											
9	8 система шин 110кВ	100											
10	9 система шин 110кВ	100											
11	10 система шин 110кВ	100											
12	11 система шин 110кВ	100											
13	12 система шин 110кВ	100											
14	13 система шин 110кВ	100											
15	14 система шин 110кВ	100											
16	15 система шин 110кВ	100											

Рисунок 12 – Пример ввода данных по узлам сети в программе RastrWin3

4.4. Ввод данных по схеме электрической сети в таблицу «Ветви»

Для задания ветвей сети выполнить команду **Открыть – Ветви**.

При вводе данных по ветвям задаются номера узлов, ограничивающих ветвь (**N_нач** – начало ветви и **N_кон** – конец ветви) (рис. 13).



Рисунок 13 – Задание ветвей в RastrWin3

В графе **S** можно изменить состояние ветви (отключение ветви с двух сторон; отключение ветви в начале узла; отключение ветви в конце узла) (рис. 13).

Для линий электропередачи задаются номера узлов, ограничивающих ветвь (**N_нач**, **N_кон**), активное (**R**), реактивное (**X**) сопротивление и проводимость на землю (**B**), чей емкостной характер отражается знаком минус (рис. 14).



Рисунок 14 – Задание линий электропередачи в таблице «Ветви» в RastrWin3

Активное сопротивление линии электропередачи, Ом [1]:

$$R = R_0 \cdot l, \quad (3)$$

где R_0 – удельное активное сопротивление линии электропередачи (ЛЭП), Ом/км, при температуре провода +20 °C;

l – длина ЛЭП, км.

Реактивное сопротивление линии электропередачи, Ом [1]:

$$X = X_0 \cdot l, \quad (4)$$

где X_0 – удельное реактивное сопротивление линии электропередачи, Ом/км.

Емкостная проводимость ЛЭП, мкСм [1]:

$$B = B_0 \cdot l, \quad (5)$$

где B_0 – удельная емкостная проводимость линии электропередачи, мкСм/км.

Параметры (R_0 , X_0 , B_0) определяются из справочника по электрическим сетям [3].

Для трансформаторов (Тр-р) задаются номера узлов, ограничивающих ветвь (**N_нач** и **N_кон**), активное (**R**), индуктивное (**X**) сопротивления и коэффициент трансформации (**K_{Т/т}**) (рис. 15).



Рисунок 15 – Задание трансформаторов в таблице «Ветви» в RastrWin3

При вводе данных о трансформаторных ветвях важен порядок задания номеров узлов, которые их ограничивают [2]:

Для двухобмоточных трансформаторов начальным (**N_нач**) должен стоять номер узла, к напряжению которого приведено активное (**R**) и индуктивное (**X**) сопротивление трансформатора, чаще всего это узел высшего напряжения, тогда конечным (**N_кон**) будет номер узла низшего напряжения.

Для трёхобмоточных трансформаторов, автотрансформаторов, трансформаторов с расщеплённой обмоткой число ветвей – 3:

1 ветвь – номер начального узла (**N_нач**), к напряжению которого приведено активное (**R**) и индуктивное (**X**) сопротивление трансформатора, чаще всего это узел высшего напряжения, тогда конечным (**N_кон**) будет номер узла, соответствующий средней точке;

2 ветвь – номер начального узла (**N_нач**), соответствующий средней точке трансформатора, к напряжению которого приведено активное (**R**) и индуктивное (**X**) сопротивление трансформатора, тогда конечным (**N_кон**) будет номер узла, соответствующий обмотке среднего напряжения трансформатора;

3 ветвь – номер начального узла (**N_нач**), соответствующий средней точке трансформатора, к напряжению которого приведено активное (**R**) и индуктивное (**X**) сопротивление трансформатора, тогда конечным (**N_кон**) будет номер узла, соответствующий обмотке низшего напряжения трансформатора.

Коэффициент трансформации (**K_{Tr}**) – отношение напряжения конечного узла (**N_кон**) к напряжению начального узла (**N_нач**), т.е. это, как правило, отношение низшего напряжения к высшему. Для трансформаторов заполнение этого поля обязательно, даже если это единица.

Активное сопротивление двухобмоточного трансформатора, Ом [1]:

$$R = \frac{\Delta P_k \cdot U_{\text{НОМ}}^2 \cdot 10^3}{S_{\text{НОМ}}^2}, \quad (6)$$

где ΔP_k – потери короткого замыкания трансформатора, кВт;

$U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение обмотки соответствующего напряжения трансформатора, кВ;

$S_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА.

Индуктивное сопротивление двухобмоточного трансформатора, Ом [1]:

$$X = \frac{u_k \cdot U_{\text{НОМ}}^2 \cdot 10^3}{100 \cdot S_{\text{НОМ}}^2}, \quad (7)$$

где u_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Активное сопротивление трёхобмоточного трансформатора, Ом [1]:

$$R = \frac{0,5 \cdot \Delta P_k \cdot U_{\text{НОМ}}^2 \cdot 10^3}{S_{\text{НОМ}}^2} \quad (8)$$

Индуктивное сопротивление обмотки высшего напряжения трёхобмоточного трансформатора, Ом [1]:

$$X_B = \frac{u_{KB} \cdot U_{\text{НОМВН}}^2 \cdot 10^3}{100 \cdot S_{\text{НОМ}}^2}, \quad (9)$$

где $U_{\text{НОМВН}}$ – номинальное напряжение обмотки высшего напряжения, кВ;

u_{KB} – напряжение короткого замыкания обмотки высшего напряжения трансформатора, % [1]:

$$u_{KB} = 0,5(u_{K,B-C} + u_{K,B-H} - u_{K,C-H}), \quad (10)$$

где $u_{K,B-C}$ – напряжение короткого замыкания между обмотками высшего и среднего напряжений трансформатора, %;

$u_{K,B-H}$ – напряжение короткого замыкания между обмотками высшего и низшего напряжений трансформатора, %;

$u_{K,C-H}$ – напряжение короткого замыкания между обмотками среднего и низшего напряжений трансформатора, %.

Приведённое индуктивное сопротивление обмотки среднего напряжения трёхобмоточного трансформатора, Ом [1]:

$$X_C = \frac{u_{KC} \cdot U_{\text{НОМВН}}^2 \cdot 10^3}{100 \cdot S_{\text{НОМ}}^2}, \quad (11)$$

где u_{KC} – напряжение короткого замыкания обмотки среднего напряжения трансформатора, % [1]:

$$u_{KC} = 0,5(u_{K,B-C} + u_{K,C-H} - u_{K,B-H}) \quad (12)$$

Приведённое индуктивное сопротивление обмотки низшего напряжения трёхобмоточного трансформатора, Ом [1]:

$$X_H = \frac{u_{KH} \cdot U_{\text{НОМВН}}^2 \cdot 10^3}{100 \cdot S_{\text{НОМ}}^2}, \quad (13)$$

где u_{KH} – напряжение короткого замыкания обмотки низшего напряжения трансформатора, % [1]:

$$u_{KH} = 0,5(u_{K,B-H} + u_{K,C-H} - u_{K,B-C}) \quad (14)$$

Пример 5.4. Для схемы электрической сети (рис. 11) построить схему замещения, задать ветви и их параметры в программном комплексе RastrWin3.

Решение.

Схема замещения электрической сети приведена на рисунке 16.

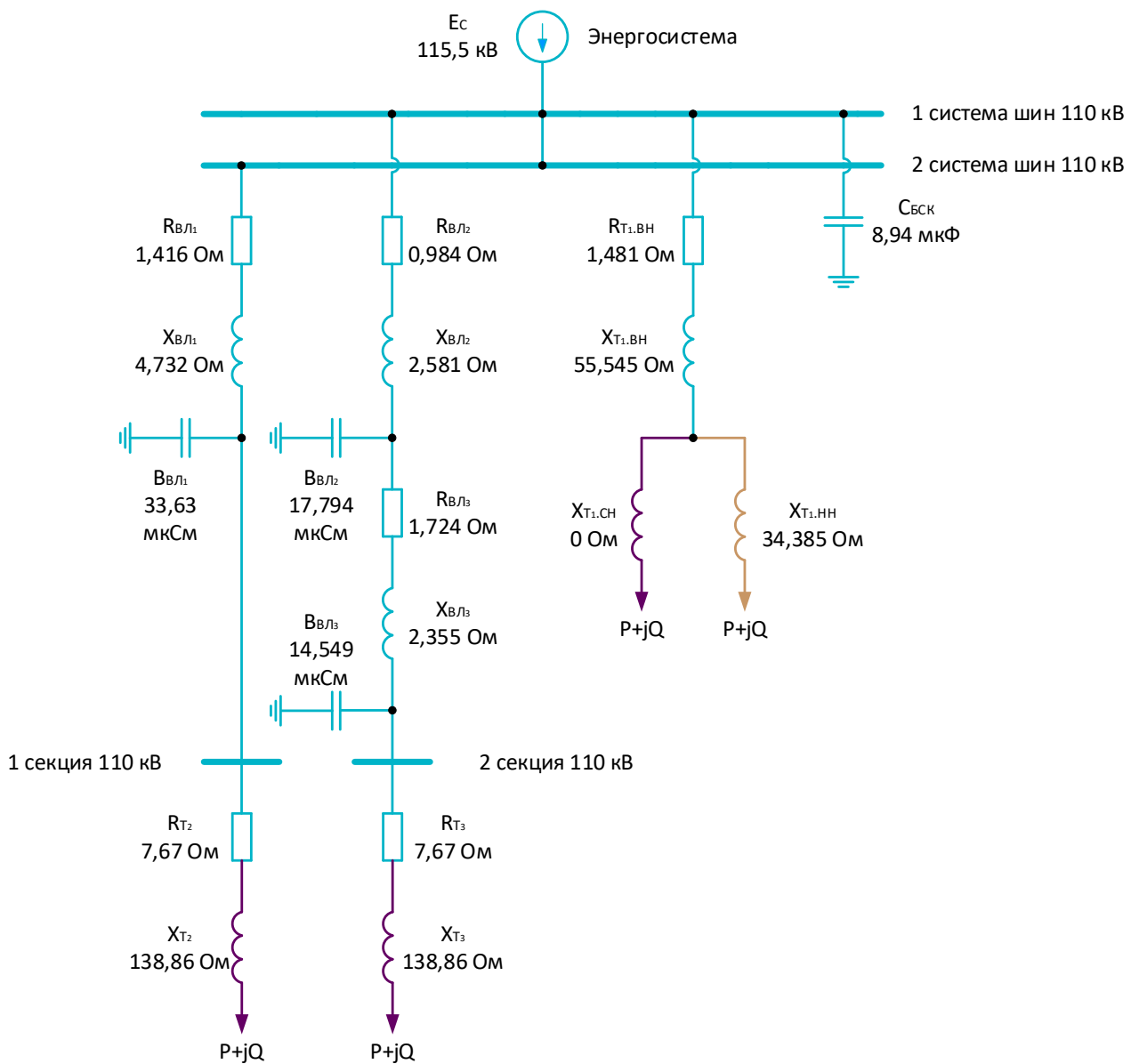


Рисунок 16 – Пример схемы замещения электрической сети

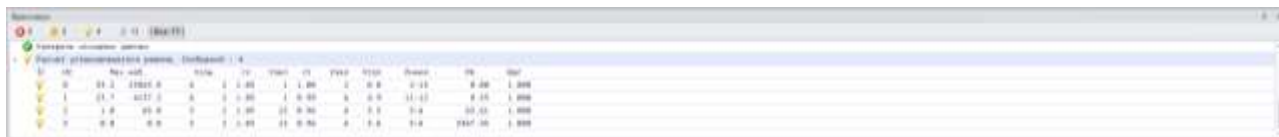
Данные по ветвям сети в программном комплексе RastrWin3 приведены на рисунке 17.

№	Имя	Длина	R, Ом	X, Ом	C, мкФ
1	Линия 1	1000	1.416	4.732	33.63
2	Линия 2	1000	0.984	2.581	17.794
3	Линия 3	1000	1.724	2.355	14.549
4	Трансформатор Т1		1.481	55.545	
5	Трансформатор Т2		7.67	138.86	
6	Трансформатор Т3		7.67	138.86	

Рисунок 17 – Пример ввода данных по схеме электроэнергетической сети в таблицу «Ветви» программы RastrWin3

4.5. Расчёт установившегося режима

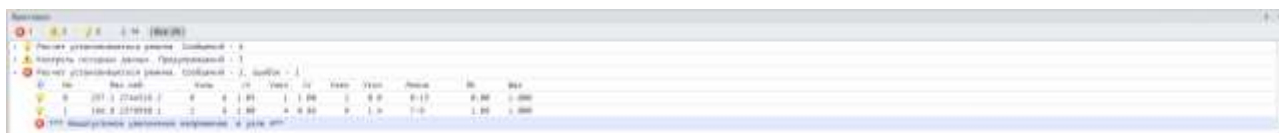
Для расчёта установившегося режима нужно перейти в меню **Расчёт** и выбрать команду **Режим** или нажать клавишу **F5**. В процессе расчёта в протокол выдаётся таблица сходимости, в которой отображаются величины, характеризующие итерационный процесс метода Ньютона (рис. 18) [2].



Итер.	Max. ток	Max. мощность	Max. ток	Max. мощность	Max. ток	Max. мощность	Max. ток	Max. мощность	Max. ток	Max. мощность	
0	23.7	42845.0	0	1.00	1	1.00	0	0.0	0-13	0.00	1.000
1	23.7	42845.0	0	1.00	1	0.99	0	0.0	11-12	0.05	1.000
2	1.0	99.0	0	1.00	21	0.99	0	0.0	7-8	00.03	1.000
3	0.0	0.0	0	1.00	21	0.99	0	0.0	7-8	0007.00	1.000

Рисунок 18 – Успешное завершение расчёта сети в окне протокола RastrWin3

При возникновении ошибок (рис. 19) – устранить и повторить расчёт.



Итер.	Max. ток	Max. мощность	Max. ток	Max. мощность	Max. ток	Max. мощность	Max. ток	Max. мощность	Max. ток	Max. мощность	
0	203.3	224816.2	0	1.00	1	1.00	0	0.0	0-13	0.00	1.000
1	190.8	221078.1	0	1.00	4	0.99	0	1.0	7-8	1.00	1.000

Рисунок 19 – Вывод результатов аварийного завершения расчёта

Режим может разойтись. Перед расчётом режима возможно появление предупреждающего сообщения (рис. 20). Это сообщение говорит о том, что в предыдущем расчёте режим разошёлся и начальное приближение, заданное для текущего расчёта, удовлетворительное. Рекомендуется восстановить номинальные напряжения в качестве начального приближения для текущего расчёта [2].

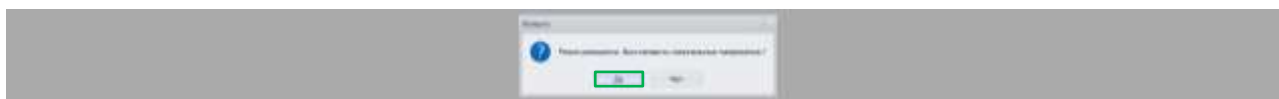


Рисунок 20 – Предупреждающее сообщение в программе RastrWin3

4.6. Подготовка графической схемы

Для открытия графического окна выполнить команду **Открыть – Графика**.

Подготовка графической схемы осуществляется в последовательном выполнении следующих операций:

- расстановка узлов в пространстве;
- улучшение внешнего вида схемы.

Ввод (↵) – основная команда для ввода узлов в графическую схему. Она используется как для ввода, так и для перемещения узла. Узел, предлагаемый к вводу, отмечен * (рис. 21).



Рисунок 21 – Ввод узлов в рабочую область в RastrWin3

Для расстановки узлов в пространстве следует щелкать левой кнопкой мыши. Узел можно удалить, щёлкнув на него правой кнопкой мыши.

Для перемещения по экрану ранее введённого узла необходимо переместить указатель мыши на этот узел и нажать левую кнопку. Данный узел будет захвачен и станет перемещаться с мышью до тех пор, пока не будет отпущена кнопка мыши.

Для улучшения внешнего вида схемы используются следующие команды [2]:

Клавиша **Alt** – для принудительной горизонтальной ориентации шины, клавиша **Shift** – для принудительной вертикальной ориентации шины.

Присоединение (⌚) – режим используется для редактирования места присоединения ветви. Для применения захватить мышью нужный объект и переместить в требуемое место.

Излом (⌚) – режим используется для редактирования места излома на линии. Захватив мышью точку на ветви, переместить её в нужное место.

Текст (⌚) – режим используется для редактирования места расположения текстовых надписей. Захватив мышью надпись, переместить её в нужное место.

Просмотр (⌚) – в этом режиме при движении мыши с нажатой левой кнопкой схема перемещается, при движении мыши вверх – вниз с нажатой клавишей **Ctrl** схема изменяет масштаб.

Пример 5.6. Для схемы электрической сети (рис. 11) построить графическое изображение в программном комплексе RastrWin3.

Решение.

Пример графического изображения схемы сети в RastrWin3 (рис. 22).

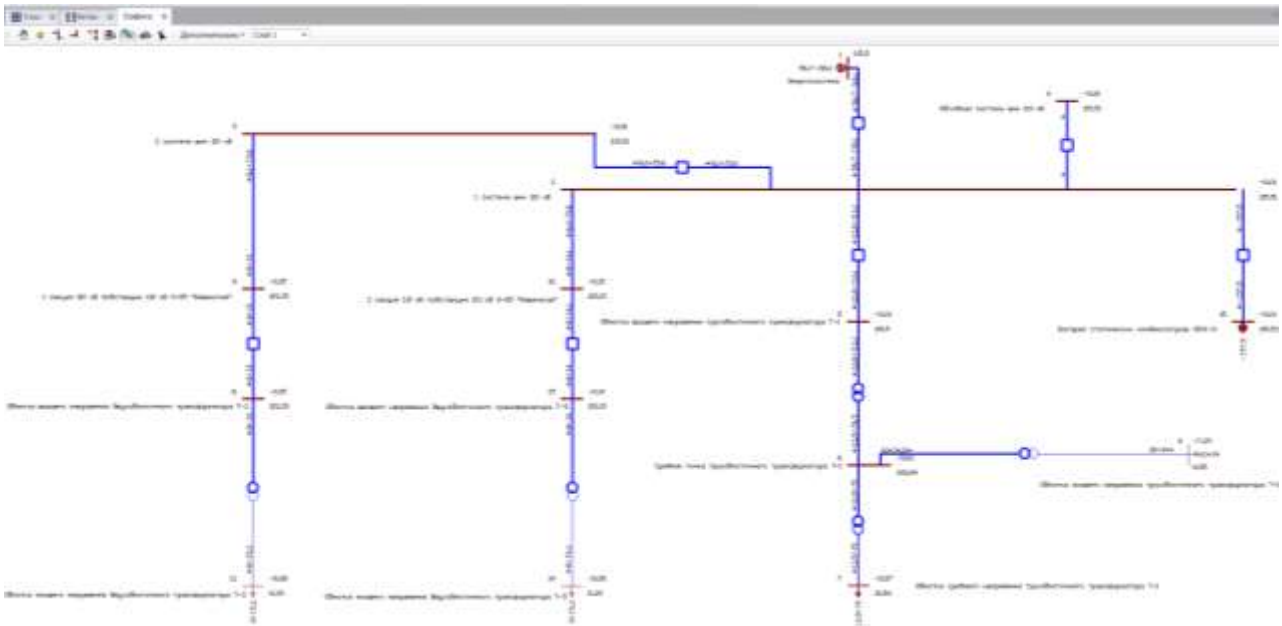


Рисунок 22 – Пример графического изображения схемы сети в RastrWin3

4.7. Моделирование трансформаторов

Для моделирования трансформаторов выполнить команду **Открыть – Трансформаторы – Трансформаторы**

Для трёхобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов задаётся (рис. 23):

- номер трансформатора (**N**);
- название трансформатора (**Название**);
- марка трансформатора (**Марка**);
- номера узлов, соответствующие обмоткам высшего (**N_V**), среднего (**N_C**), низшего (**N_H**) напряжений;
- номер узла, соответствующий средней точке (**N_0**).



Рисунок 23 – Задание трёхобмоточных трансформаторов, автотрансформаторов в RastrWin3

Для трансформаторов с расщеплённой обмоткой задаётся (рис. 24):

- номер трансформатора (**N**);
- название трансформатора (**Название**);
- марка трансформатора (**Марка**);
- номера узлов, соответствующие обмоткам высшего (**N_V**), низших (**N_H** и **N_H2**) напряжений;
- номер узла, соответствующий средней точке (**N_0**).

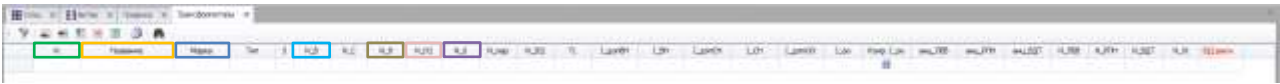


Рисунок 24 – Задание трансформаторов с расщеплённой обмоткой в RastrWin3

Для двухобмоточных трансформаторов задаётся (рис. 25):

- номер трансформатора (**N**);
- название трансформатора (**Название**);
- марка трансформатора (**Марка**);
- номера узлов, соответствующие обмоткам высшего (**N_B**), низшего (**N_H**) напряжений.



Рисунок 25 – Задание двухобмоточных трансформаторов в RastrWin3

Пример 5.7. Для схемы электрической сети (рис. 11) задать параметры трансформаторов в программном комплексе RastrWin3.

Решение.

Пример задания параметров трансформаторов в программном комплексе RastrWin3 представлен на рисунке 26.

Рисунок 26 – Пример задания параметров трансформаторов в программном комплексе RastrWin3

В результате, графическое изображение трёхобмоточного трансформатора изменяется (рис. 27).

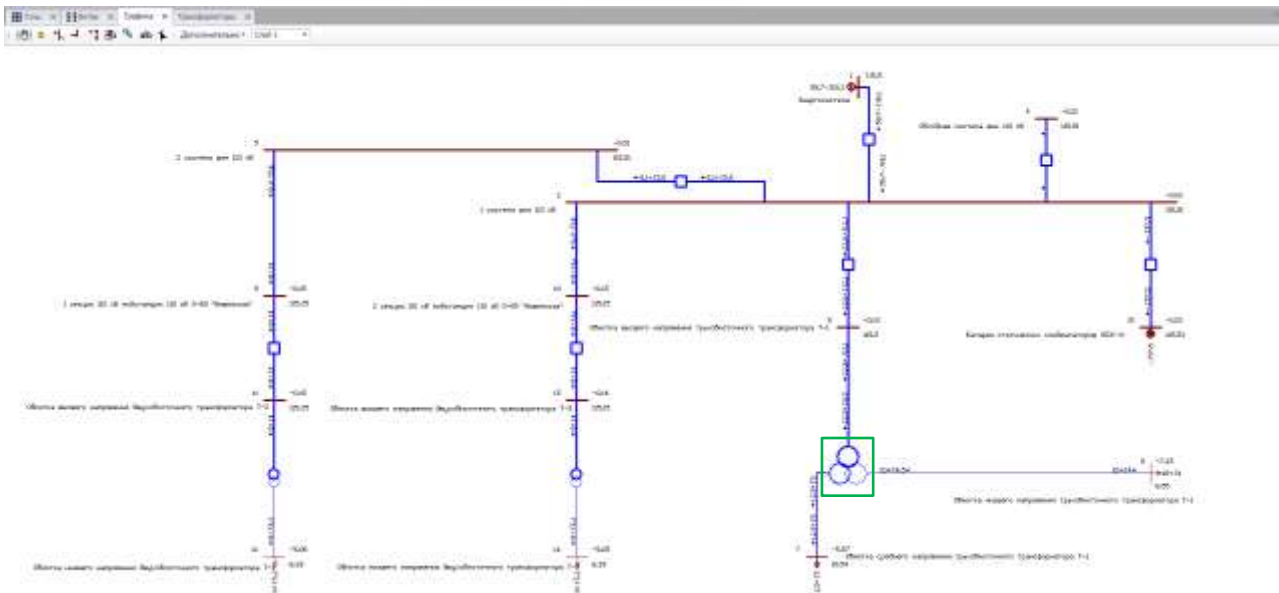


Рисунок 27 – Пример графического изображения схемы электрической сети с учётом улучшения внешнего вида и внесённых параметров трансформаторов в программном комплексе RastrWin3

4.8. Оптимизация режима по реактивной мощности

По конструктивному исполнению различают два типа трансформаторов понижающих подстанций:

- с переключением регулировочных ответвлений под нагрузкой – трансформаторы с РПН;
- с переключением регулировочных ответвлений без возбуждения, то есть с предварительным отключением трансформатора от электрической сети – трансформаторы с ПБВ.

Регулировочные ответвления размещаются, как правило, у трансформаторов на стороне высшего напряжения (в средней точке), а у автотрансформаторов – на стороне среднего напряжения.

В программе RastrWin3 можно задавать тип регулируемого трансформатора и номер анцапфы (номер положения отпайки устройства РПН, ПБВ). Для этого следует выполнить команду **Открыть – Оптимизация – Анцапфы**.

Для каждого трансформатора задаётся (рис. 28):

- номер устройства регулирования трансформатора (**Nbd**);
- название устройства регулирования трансформатора (**Название**);
- единицы измерения шага отпайки (**ЕИ**). Для устройств РПН и ПБВ в %;
- порядок нумерации анцапф (+/-). В данном случае анцапфы нумеруются, начиная от максимальной положительной добавки и заканчивая максимальной отрицательной добавкой;
- тип устройства регулирования (**Тип**). РПН, ПБВ;

- число анцапф в нейтральном положении (**Кнейт**), по умолчанию задаётся 1 о.е.;
- напряжение нерегулируемой ступени (**V_нр**) в кВ;
- напряжение регулируемой ступени (**V_рег**) в кВ;
- число анцапф (**N_анц**);
- величина шага (**Шаг**) в %.



Рисунок 28 – Задание устройств регулирования трансформаторов в таблице «Анцапфы» в RastrWin3

В таблице «**Ветви**» в поле **БД_анц** следует указать номер устройства регулирования трансформатора (рис. 29).

При изменении номера анцапфы (задаётся в поле **№_анц**) происходит автоматическая коррекция коэффициента трансформации (рис. 29).



Рисунок 29 – Задание устройств регулирования и номера анцапфы трансформаторов в таблице «Ветви» в RastrWin3

Следует отрегулировать напряжения в узловых точках сети с максимальной эффективностью в программе RastrWin3. Для этого выполнить команду **Открыть – Узлы – Напряжения** (рис. 30).



Рисунок 30 – Таблица «Напряжения» в RastrWin3

В таблице «**Напряжения**» отображается (рис. 30):

- номер узла (**Номер**);
- название узла (**Название**);
- номинальное напряжение узла (**U_ном**) в кВ;
- расчётный модуль напряжения (**V**) в кВ;
- отклонение напряжения узла от номинального значения (**dV**) в %.

Согласно ГОСТ 32144-2013 [4]:

- положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10 % номиналь-

ного значения напряжения ($U_{ном}$) в течение 100 % времени интервала в одну неделю;

- положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 5 % номинального значения напряжения ($U_{ном}$) в течение 95 % времени интервала в одну неделю.

Пример 5.8. Для схемы электрической сети (рис. 11) задать устройства регулирования трансформаторов. Выполнить анализ отклонений напряжений в узловых точках сети.

Решение.

Пример задания устройств регулирования трансформаторов в программном комплексе RastrWin3 представлен на рисунке 31.



Рисунок 31 – Пример задания устройств регулирования трансформаторов в программном комплексе RastrWin3

С учётом занесения в таблицу «Ветви» номеров устройств регулирования трансформаторов и выбора соответствующих номеров анцапф (рис. 32) удалось эффективно отрегулировать напряжения в узловых точках сети (рис. 33).

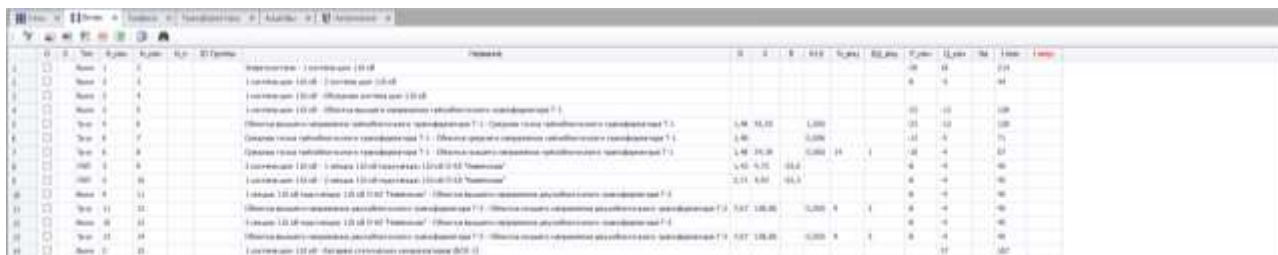


Рисунок 32 – Пример занесения в таблицу «Ветви» номеров устройств регулирования трансформаторов и выбор соответствующих номеров анцапф

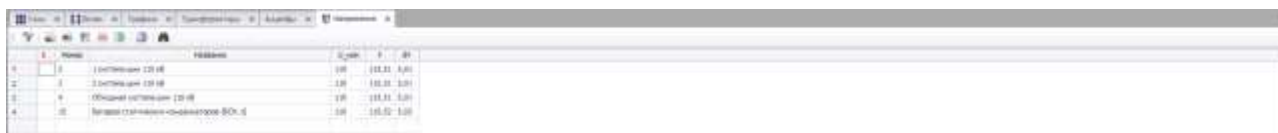


Рисунок 33 – Пример допустимых отклонений напряжений в узлах сети

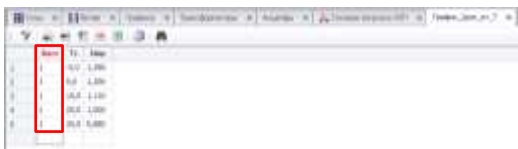


Рисунок 34 – Пример недопустимых отклонений напряжений в узлах сети

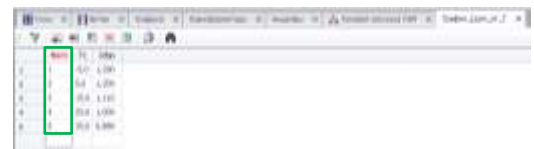
4.9. Анализ допустимой токовой загрузки линий электропередачи

В процессе выполнения расчётной и аналитической работы, зачастую возникает необходимость выявления схемно-режимных ситуаций, в которых может возникнуть токовая перегрузка.

Выполнив команду **Открыть – Ветви – График_Идоп_от_Т**, открывается график зависимости допустимого тока (о.е.) от температуры для ветви (°C). Следует изменить номера зависимостей (**Num**) от 1...5 (рис. 35).



а)



б)

Рисунок 35 – номера зависимостей (**Num**) в таблице «График_Идоп_от_Т»: а) ошибочные; б) правильные

Для линий электропередачи можно задать зависимость допустимого тока (А) от температуры (°C). Для этого следует выполнить команду **Открыть – Ветви – Токовая загрузка ЛЭП** (рис. 36).



Рисунок 36 – Таблица «Токовая загрузка ЛЭП» в RastrWin3

В таблице «**Токовая загрузка ЛЭП**» для линий электропередачи задаётся (рис. 36):

- температура для ветви (**Тс**) в °C;
- номер поправочного коэффициента с учётом температуры ветви (**N_I(t)_ДДТН**) (рис. 35 б) в о.е.;
- допустимый длительный ток провода соответствующего сечения при температуре воздуха 25 °C (**Идоп_25_ДДТН**) в А [3].

Расчет допустимого тока от температуры осуществляется при нажатии клавиши **F9** или выполнив команду **Расчеты – Доп. ток от Т** (рис. 37). Поле **Температура** используется для задания температуры для ветви, поле **Аварий-**

ная нагрузка (%) – если допустимый ток рассчитывается с учётом заданной аварийной перегрузки в процентах.

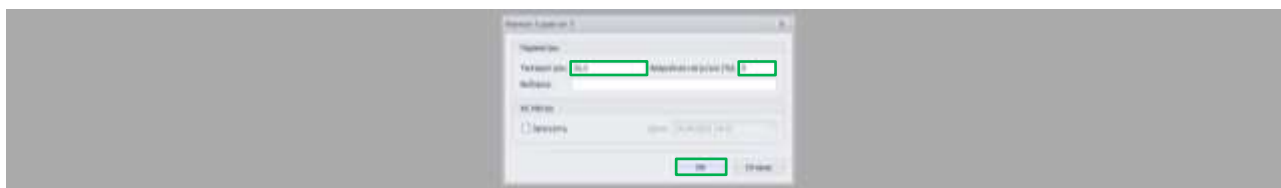


Рисунок 37 – Окно расчёта допустимого тока от температуры в RastrWin3

В таблице «**Токовая нагрузка ЛЭП**» появится:

- значение расчётного длительно допустимого тока провода линии электропередачи (**Идоп_расч_ДДТН**) в А;
- значение расчётной токовой загрузки провода линии электропередачи (**И/Идоп_расч_ДДТН**) в %.

В таблице «**Ветви**» появится значение расчётной токовой загрузки провода линии электропередачи (**Изагр.**) в % (рис. 38).



Рисунок 38 – Отображение значения расчётной токовой загрузки провода линии электропередачи в таблице «Ветви» в RastrWin3

Пример 5.9. Для схемы электрической сети (рис. 11) выполнить анализ допустимой токовой загрузки линий электропередачи.

Решение.

При выборе температуры для ветвей равной 25°C, номер поправочного коэффициента равен 1. Допустимые длительные токи проводов сечениями 240 мм² и 95 мм² равны 605 А и 330 А соответственно [3]. Расчётные токовые загрузки проводов линий электропередачи составили 7,5 % и 13,7 % соответственно (рис. 39).



Рисунок 39 – Пример заполнения таблицы «Токовая нагрузка ЛЭП» с учётом температуры для ветвей равной 25°C в RastrWin3

При температуре для ветвей равной -5°C. Расчётные токовые загрузки проводов линий электропередачи составили 5,8 % и 10,6 % соответственно (рис. 40). Изменение токовой загрузки объясняется увеличением охлаждающей способности ветвей.

№	Наименование	Тип	Угол	Вектор	№	U _{ДДТН}	I _{Доп_ДДТН}	I _{Доп_СН}	I _{Доп_ВН}	I _{Доп_ОО}	I _{Доп_расч_ДДТН}	I _{Доп}
1	Линейный 10-0	Линейный	10-0-0-0	Линейный	41	10	100	100	100	100	100	100

Рисунок 40 – Пример заполнения таблицы «Токовая нагрузка ЛЭП» с учётом температуры для ветвей равной -5°C в RastrWin3

4.10. Анализ допустимой токовой нагрузки трансформаторов

Для трансформаторов можно задать зависимость допустимого тока (А) от температуры (°C). Для этого следует выполнить команду **Открыть – Ветви – Токовая нагрузка Тр-ров** (рис. 41).

Рисунок 41 – Таблица «Токовая нагрузка Тр-ров» в RastrWin3

В таблице «Токовая нагрузка Тр-ров» для трансформаторов задаётся (рис. 41):

- температура ветви (T_c) в °C;
- поправочный коэффициент с учётом температуры ветви ($N_{I(t)}_{ДДТН}$) в о.е.;
- допустимый длительный ток оборудования ($I_{доп_обор_ДДТН}$) в А.

Информацию о допустимом токе оборудования на стороне высшего напряжения ($I_{допВН}$), среднего напряжения ($I_{допСН}$), общей обмотке ($I_{допОО}$) трансформаторов соответствующей марки можно найти в таблице «Трансформаторы» программного комплекса RastrWin3 (рис. 42).

№	Наименование	Марка	Тип	U _В	U _С	U _Н	U _{ВН}	U _{СН}	U _{НО}	U _В	U _С	U _Н	U _{ВН}	U _{СН}	U _{НО}	I _{Доп_обор_ДДТН}	I _{Доп_расч_ДДТН}	I _{Доп}
1	Линейный 10-0	Линейный	10-0-0-0	Линейный	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100	100	100

Рисунок 42 – Информация с паспортными данными на трансформаторы в таблице «Трансформаторы» в RastrWin3

Информацию о допустимой токовой нагрузке трансформаторов записывать таблицу «Токовая нагрузка Тр-ров» следующим образом:

- данные по обмотке высшего, среднего, низшего напряжений трансформатора записывать в поле $I_{доп_обор_ДДТН}$.

Расчет допустимого тока от температуры осуществляется при нажатии клавиши **F9** или выполнив команду **Расчеты – Доп. ток от Т**.

В таблице «Токовая нагрузка Тр-ров» появится:

- значение расчётного длительно допустимого тока трансформатора ($I_{доп_расч_ДДТН}$) в А;
- значение расчётной токовой нагрузки трансформатора ($I_{Доп}$) в %.

В таблице «**Ветви**» появится значение расчётной токовой загрузки трансформатора (**Загр.**) в %.

Пример 5.10. Для схемы электрической сети (рис. 11) выполнить анализ допустимой токовой загрузки трансформаторов.

Решение.

При выборе температуры для ветвей равной 25°C, номер поправочного коэффициента равен 1. Допустимые длительные токи трансформаторов представлены на рисунке 43.



Рисунок 43 – Допустимые длительные токи трансформаторов в таблице «Трансформаторы» в RastrWin3

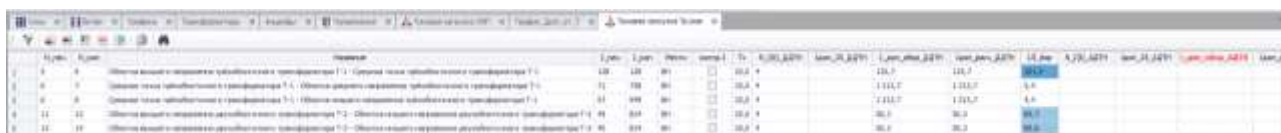


Рисунок 44 – Пример заполнения таблицы «Токовая нагрузка Тр-ров»

Расчётные токовые нагрузки трансформаторов на высшей стороне для трансформаторов Т-1, Т-2, Т-3 составили 101,9 %, 89,7 %, 89,8 % соответственно (рис. 44).

4.11. Анализ полученных результатов

Для анализа рассчитанных режимов в RastrWin3 существуют различные формы представления результатов. Все они сосредоточены в меню **Открыть**. Основная форма выдачи – команда **Открыть – Узлы – Узлы+Ветви**.

После перехода в это меню на экране появится таблица, организованная по форме «**Узел + подходящие к нему ветви**» (рис. 45).



Рисунок 45 – Таблица «Узлы+Ветви» в RastrWin3

В параметрах узла отображается:

- номер узла (**Номер**);
- название узла (**Название**);
- расчетный модуль напряжения (**V**) в кВ;

- активная и реактивная нагрузки (P_n, Q_n) в МВт и МВАр;
- активная генерация (P_g) в МВт;
- реактивная генерация (Q_g) в МВАр;
- заданный модуль напряжения ($V_{зд}$) в кВ;
- пределы изменения реактивной генерации (Q_{min}, Q_{max}) в МВАр;
- реактивная мощность шунта ($Q_{ш}$) в МВАр.

В строке параметров ветви, связанной с узлом, отображаются:

- номер (N_y) название (**Название**) противоположного узла ветви;
- падение модуля и угла напряжения ($V_2, dDelta$) в кВ и °;
- переток мощности, входящий в узел (P_l, Q_l), МВт и МВАр;
- продольные потери активной мощности (dP), МВт;
- потребляемая реактивная мощность (dQ), МВАр;
- модуль тока (I_l), А;
- мощности шунта ветви ($P_{ш}, Q_{ш}$), МВт и МВАр.

Также для анализа рассчитанных режимов в RastrWin3 существуют таблица «**Загрузка**». Для этого следует выполнить команду **Открыть – Ветви – Загрузка** (рис. 46).



Рисунок 46 – Таблица «Загрузка» в RastrWin3

В таблице «**Загрузка**» отображается:

- номера узлов, ограничивающих ветвь ($N_{нач}$ – начало ветви и $N_{кон}$ – конец ветви);
- поток мощности в начале ветви ($P_{нач}, Q_{нач}$), МВт и МВАр;
- поток мощности в конце ветви ($P_{кон}, Q_{кон}$), МВт и МВАр;
- продольные потери активной мощности (dP), МВт;
- потребляемая реактивная мощность (dQ), МВАр;
- направление потока активной и реактивной мощности (**sign P, sign Qip, sign Qiq**), МВт и МВАр;
- реактивная мощность шунта ветви ($Q_{ш}$), МВАр;
- напряжения в начале и конце ветви ($V_{нач}, V_{кон}$) в кВ.

5. ЗАДАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ

5.1. Задание № 1. Моделирование воздушных линий электропередачи различных классов напряжения в программном комплексе RastrWin3

Цель работы: Изучение способов моделирования воздушных линий электропередачи различных классов напряжения в программном комплексе RastrWin3.

В результате выполнения лабораторной работы закрепляются теоретические навыки по расчёту параметров схем замещения воздушных линий электропередачи и практические навыки работы в программном комплексе RastrWin3 при моделировании данных линий.

План проведения практического занятия:

1. Подготовить схемы замещения для воздушных линий электропередачи различных классов напряжения;
2. Рассчитать согласно справочным данным [3] параметры схем замещения воздушных линий электропередачи различных классов напряжения;
3. Задать узлы и их параметры в программном комплексе RastrWin3. Один из узлов принимается за балансирующий;
4. Задать ветви и их параметры в программном комплексе RastrWin3;
5. Выполнить расчёт установившегося режима в программном комплексе RastrWin3;
6. Подготовить графическую схему в программном комплексе RastrWin3.

Общие указания по оформлению отчёта по практической работе:

Работа носит ознакомительный характер, подготовка отчёта не требуется.

5.2. Задание № 2. Моделирование кабельных линий электропередачи различных классов напряжения в программном комплексе RastrWin3

Цель работы: Изучение способов моделирования кабельных линий электропередачи различных классов напряжения в программном комплексе RastrWin3.

В результате выполнения лабораторной работы закрепляются теоретические навыки по расчёту параметров схем замещения кабельных линий электропередачи и практические навыки работы в программном комплексе RastrWin3 при моделировании данных линий.

План проведения практического занятия:

1. Подготовить схемы замещения для кабельных линий электропередачи различных классов напряжения;
2. Рассчитать согласно справочным данным [3] параметры схем замещения кабельных линий электропередачи различных классов напряжения;

3. Задать узлы и их параметры в программном комплексе RastrWin3. Один из узлов принимается за балансирующий;
4. Задать ветви и их параметры в программном комплексе RastrWin3;
5. Выполнить расчёт установившегося режима в программном комплексе RastrWin3;
6. Подготовить графическую схему в программном комплексе RastrWin3.

Общие указания по оформлению отчёта по практической работе:

Работа носит ознакомительный характер, подготовка отчёта не требуется.

5.3. Задание № 3. Моделирование трансформаторов в среде RastrWin3

Цель работы: Изучение способов моделирования силовых трансформаторов в программном комплексе RastrWin3.

В результате выполнения лабораторной работы закрепляются теоретические навыки по расчёту параметров схем замещения двухобмоточных, трёхобмоточных трансформаторов, трансформаторов с расщеплённой обмоткой, автотрансформаторов и практические навыки работы в программном комплексе RastrWin3.

План проведения лабораторного занятия:

1. Подготовить схемы замещения для двухобмоточных, трёхобмоточных трансформаторов, трансформаторов с расщеплённой обмоткой, автотрансформаторов;
2. Рассчитать согласно справочным данным [3] параметры схем замещения двухобмоточных, трёхобмоточных трансформаторов, трансформаторов с расщеплённой обмоткой, автотрансформаторов;

Тип	I_n , МВ·А	$S_{ном}$, МВ	$U_{номВН}$, кВ	$U_{номСН}$, кВ	$U_{номНН}$, кВ	k_1 , %	k_2 , %	k_3 , %	P_0 , кВт	$P_{ср}$, кВт	γ , %	Сд, мкФ/кВ·км	Регулирование напряжения	и, %
ТФ 100/10	0.1	0	---	0.4	---	4.1	---	---	0.11	2.27	2.8	---	УСН	0.77
ТФ 100/5	0.50	0	---	0.4	---	4.3	---	---	0.11	2.86	3.4	---	УСН	---
ТФ 100/2.5	0.50	0	---	0.4	---	4.3	---	---	0.11	3.1	3.4	---	УСН	1.426
ТФ 100/1.25	0.50	0	---	0.88	---	3.7	---	---	0.11	3.1	3.4	---	УСН	---
ТФ 100/0.625	0.50	0.1	---	0.88	---	3.7	---	---	0.11	3.1	3.4	---	УСН	---
ТФ 250/10	0.25	0	---	0.4	---	4.1	---	---	0.14	4.7	3.1	---	УСН	1.426
ТФ 250/5	0.25	0	---	0.88	---	4.3	---	---	0.14	4.7	3.1	---	УСН	---
ТФ 250/2.5	0.25	0	---	0.4	---	4.1	---	---	0.14	4.7	3.1	---	УСН	1.426
ТФ 250/1.25	0.25	0.1	---	0.4	---	4.1	---	---	0.14	4.7	3.1	---	УСН	---
ТФ 400/10	0.4	0	---	0.4	---	4.3	---	---	0.12	3.3	3.1	---	УСН	---
ТФ 400/5	0.4	0	---	0.88	---	4.3	---	---	0.12	3.3	3.1	---	УСН	---
ТФ 400/2.5	0.4	0	---	0.88	---	4.3	---	---	0.12	3.3	3.1	---	УСН	1.426
ТФ 400/1.25	0.4	0.1	---	0.88	---	4.3	---	---	0.12	3.3	3.1	---	УСН	---
ТФ 400/0.625	0.4	0.1	---	0.4	---	4.3	---	---	0.12	3.3	3.1	---	УСН	1.426
ТФ 630/10	0.63	0	---	0.4	---	4.3	---	---	0.12	3.3	3.1	---	УСН	---
ТФ 630/5	0.63	0	---	0.88	---	4.3	---	---	0.12	3.3	3.1	---	УСН	---
ТФ 630/2.5	0.63	0.1	---	0.88	---	4.3	---	---	0.12	3.3	3.1	---	УСН	1.426
ТФ 630/1.25	0.63	0.1	---	0.4	---	4.3	---	---	0.12	3.3	3.1	---	УСН	---
ТФ 1000/10	0.5	0.1	---	0.4	---	4.3	---	---	0.12	3.3	3.1	---	УСН	---

Рисунок 47 – Паспортные данные трансформаторов из справочника по высоковольтному оборудованию электроустановок Гайсарова Р.В.

В паспортных данных трансформаторов, приводимых в справочной литературе (рис. 47) или в документации заводов-изготовителей, обычно приводятся следующие параметры:

- тип или марка трансформатора;
- полная мощность S , МВА;
- номинальные напряжения обмоток $U_{номВН}$, $U_{номСН}$, $U_{номНН}$, кВ;

- напряжения короткого замыкания $u_{квс}$, $u_{квн}$, $u_{ксн}$, %;
- потери холостого хода P_x или ΔP_x , кВт;
- потери короткого замыкания P_k или ΔP_k , кВт;
- ток холостого хода I_x , %;
- схема и группа соединения обмоток трансформатора Y – схема звезда, D или Δ – схема треугольник, Z – схема зигзаг, 0 или n – нулевой провод;
- диапазоны регулирования устройств РПН и ПБВ;
- масса трансформатора, тонн.

3. Задать узлы и их параметры в программном комплексе RastrWin3.

Один из узлов принимается за балансирующий;

4. Задать ветви и их параметры в программном комплексе RastrWin3;

5. Выполнить расчёт установившегося режима в программном комплексе RastrWin3;

6. Подготовить графическую схему в программном комплексе RastrWin3;

7. В таблицу «**Трансформаторы**» программного комплекса RastrWin3:

Для трёхобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов задать:

- номер трансформатора (**N**);
- название трансформатора (**Название**);
- марка трансформатора (**Марка**);
- номера узлов, соответствующие обмоткам высшего (**N_V**), среднего (**N_C**), низшего (**N_H**) напряжений;
- номер узла, соответствующий средней точке (**N_0**).

Для трансформаторов с расщеплённой обмоткой задать:

- номер трансформатора (**N**);
- название трансформатора (**Название**);
- марка трансформатора (**Марка**);
- номера узлов, соответствующие обмоткам высшего (**N_V**), низших (**N_H1** и **N_H2**) напряжений;
- номер узла, соответствующий средней точке (**N_0**).

Для двухобмоточных трансформаторов задать:

- номер трансформатора (**N**);
- название трансформатора (**Название**);
- марка трансформатора (**Марка**);
- номера узлов, соответствующие обмоткам высшего (**N_V**), низшего (**N_H**) напряжений.

Общие указания по оформлению отчёта по лабораторной работе:

Работа носит ознакомительный характер, подготовка отчёта не требуется.

5.4. Задание № 4. Моделирование устройств регулирования напряжения в программном комплексе RastrWin3

Цель работы: Изучение способов моделирования устройств регулирования напряжения в программном комплексе RastrWin3.

В результате выполнения практической работы закрепляются теоретические знания о трансформаторах с переключением регулировочных ответвлений под нагрузкой – трансформаторы с РПН; и о трансформаторах с переключением регулировочных ответвлений без возбуждения – трансформаторы с ПБВ. Закрепляются практические навыки работы в программном комплексе RastrWin3.

План проведения лабораторного занятия:

1. Задать тип регулируемого трансформатора и номер анцапфы (номер положения отпайки устройства РПН, ПБВ);

Регулировочные ответвления размещаются, как правило, у трансформаторов на стороне высшего напряжения (в средней точке), а у автотрансформаторов – на стороне среднего напряжения.

В таблицу «**Анцапфы**» программного комплекса RastrWin3 для каждого трансформатора задать:

- номер устройства регулирования трансформатора (**Nbd**);
- название устройства регулирования трансформатора (**Название**);
- единицы измерения шага отпаяк (**ЕИ**). Для устройств РПН и ПБВ в %;
- порядок нумерации анцапф (+/-). В данном случае анцапфы нумеруются, начиная от максимальной положительной добавки и заканчивая максимальной отрицательной добавкой;
- тип устройства регулирования (**Тип**). РПН, ПБВ;
- число анцапф в нейтральном положении (**Кнейт**), по умолчанию задается 1;
- напряжение нерегулируемой ступени (**V_нр**) в кВ;
- напряжение регулируемой ступени (**V_рег**) в кВ;
- число анцапф (**N_анц**);
- величина шага (**Шаг**) в %.

В таблицу «**Ветви**» программного комплекса RastrWin3 в поле **БД_анц** следует указать номер устройства регулирования трансформатора.

При изменении номера анцапфы (задаётся в поле **№_анц**) происходит автоматическая коррекция коэффициента трансформации.

2. Выполнить расчёт установившегося режима в программном комплексе RastrWin3;

3. Отрегулировать напряжения в узловых точках сети с максимальной эффективностью в программе RastrWin3;

4. По данным таблицы «**Напряжения**» программного комплекса RastrWin3 выполнить анализ отклонений напряжений в узловых точках сети.

В таблице «**Напряжения**» отображается:

- номер узла (**Номер**);
- название узла (**Название**);
- номинальное напряжение узла (**U_ном**) в кВ;
- расчётный модуль напряжения (**V**) в кВ;
- отклонение напряжения узла от номинального значения (**dV**) в %.

Согласно ГОСТ 32144-2013 [4]:

- положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10 % номинального значения напряжения (**U_{ном}**) в течение 100 % времени интервала в одну неделю;
- положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 5 % номинального значения напряжения (**U_{ном}**) в течение 95 % времени интервала в одну неделю.

Общие указания по оформлению отчёта по лабораторной работе:

Работа носит ознакомительный характер, подготовка отчёта не требуется.

5.5. Задание № 5. Анализ допустимой токовой загрузки линий электропередачи и трансформаторов в программном комплексе RastrWin3

Цель работы: Анализ допустимой токовой загрузки линий электропередачи и силовых трансформаторов, в том числе с учётом колебаний температуры.

Максимальная передаваемая по линии электропередачи мощность ограничена допустимой токовой нагрузкой, определяющей нагрев линии. В связи с существенным увеличением стоимости строительства новых высоковольтных линий электропередачи возрастает роль повышения пропускной способности существующих линий.

На рисунке 48 представлены исходные данные для расчёта.

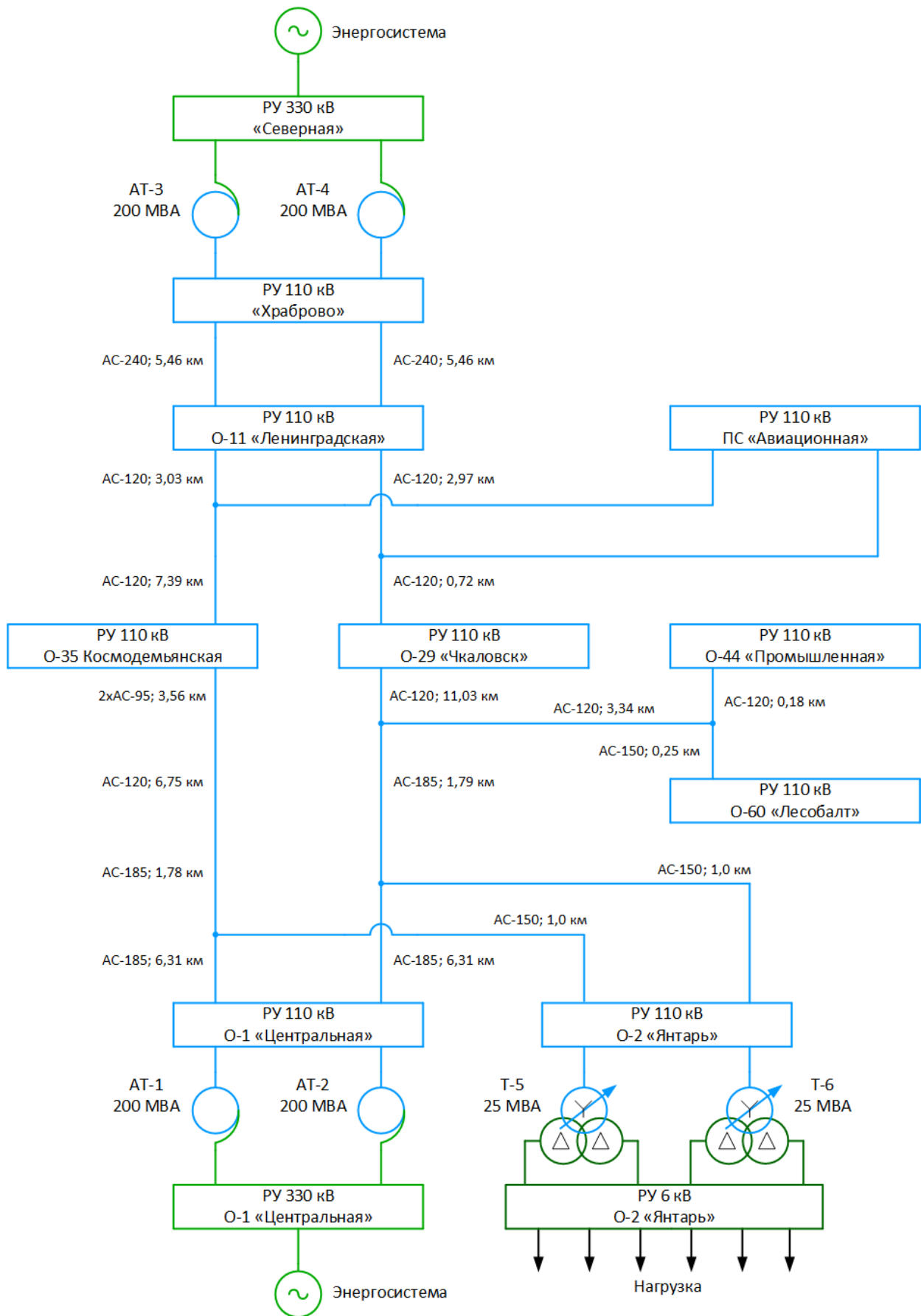


Рисунок 48 – Схема электрической сети

План проведения лабораторного занятия:

1. Подготовить схемы замещения для линий электропередачи;
2. Рассчитать согласно справочным данным [3] параметры схемы замещения линий электропередачи;
3. Подготовить схемы замещения для автотрансформаторов и трансформаторов с расщеплённой обмоткой низкого напряжения;
4. Рассчитать согласно справочным данным [3] параметры схем замещения автотрансформаторов и трансформаторов с расщеплённой обмоткой низкого напряжения;
5. Задать узлы и их параметры в программном комплексе RastrWin3. Один из узлов принимается за балансирующий;
6. Задать ветви и их параметры в программном комплексе RastrWin3;
7. Задать тип регулируемого трансформатора и номер анцапфы (номер положения отпайки устройства РПН, ПБВ);

Регулировочные ответвления размещаются, как правило, у трансформаторов на стороне высшего напряжения (в средней точке), а у автотрансформаторов – на стороне среднего напряжения.

В таблицу «**Анцапфы**» программного комплекса RastrWin3 для каждого трансформатора задать:

- номер устройства регулирования трансформатора (**Nbd**);
- название устройства регулирования трансформатора (**Название**);
- единицы измерения шага отпаяк (**ЕИ**). Для устройств РПН и ПБВ в %;
- порядок нумерации анцапф (+/-). В данном случае анцапфы нумеруются, начиная от максимальной положительной добавки и заканчивая максимальной отрицательной добавкой;
- тип устройства регулирования (**Тип**). РПН, ПБВ;
- число анцапф в нейтральном положении (**Кнейт**), по умолчанию задаётся 1;
- напряжение нерегулируемой ступени (**V_нр**) в кВ;
- напряжение регулируемой ступени (**V_рег**) в кВ;
- число анцапф (**N_анц**);
- величина шага (**Шаг**) в %.

В таблицу «**Ветви**» программного комплекса RastrWin3 в поле **БД_анц** следует указать номер устройства регулирования трансформатора.

При изменении номера анцапфы (задаётся в поле **№_анц**) происходит автоматическая коррекция коэффициента трансформации.

8. Выполнить расчёт установившегося режима в программном комплексе RastrWin3;
9. Отрегулировать напряжения в узловых точках сети с максимальной эффективностью в программе RastrWin3;

10. Выполнить анализ отклонений напряжений в узловых точках сети в программном комплексе RastrWin3;

11. Подготовить графическую схему в программном комплексе RastrWin3;

12. Выполнить анализ токовой загрузки линий электропередачи;

Выполнив команду **Открыть – Ветви – График_Идоп_от_Т**, открывается график зависимости допустимого тока (о.е.) от температуры для ветви (°С). Следует изменить номера зависимостей (**Num**) от 1...5.

Для линий электропередачи можно задать зависимость допустимого тока (А) от температуры (°С). Для этого следует выполнить команду **Открыть – Ветви – Токовая загрузка ЛЭП**.

В таблице «**Токовая загрузка ЛЭП**» для линий электропередачи задать:

- температуру ветви (**Тс**) в °С;
- номер поправочного коэффициента с учётом температуры ветви (**N_I(t)_ДДТН**) в о.е.;
- допустимый длительный ток провода соответствующего сечения при температуре воздуха 25 °С (**Идоп_25_ДДТН**) в А [3].

Расчет допустимого тока от температуры осуществляется при нажатии клавиши **F9** или выполнив команду **Расчеты – Доп. ток от Т**. Поле **Температура** используется для задания температуры для ветви, поле **Аварийная нагрузка (%)** – если допустимый ток рассчитывается с учётом заданной аварийной перегрузки в процентах.

В таблице «**Токовая загрузка ЛЭП**» появится:

- значение расчётного длительно допустимого тока провода линии электропередачи (**Идоп_расч_ДДТН**) в А;
- значение расчётной токовой загрузки провода линии электропередачи (**ИИдоп_расч_ДДТН**) в %.

В таблице «**Ветви**» появится значение расчётной токовой загрузки провода линии электропередачи (**Изагр.**) в %.

13. Выполнить анализ токовой загрузки трансформаторов;

Для трансформаторов можно задать зависимость допустимого тока (А) от температуры (°С). Для этого следует выполнить команду **Открыть – Ветви – Токовая загрузка Тр-ров**.

В таблице «**Токовая загрузка Тр-ров**» для трансформаторов задать:

- температуру ветви (**Тс**) в °С;
- поправочный коэффициент с учётом температуры ветви (**N_I(t)_ДДТН**) в о.е.;
- допустимый длительный ток оборудования (**И_доп_обор_ДДТН**) в А.

Информацию о допустимом токе оборудования на стороне высшего напряжения (**И_допВН**), среднего напряжения (**И_допСН**), общей обмотке

(**I_допОО**) трансформаторов соответствующей марки можно найти в таблице «**Трансформаторы**» программного комплекса RastrWin3.

Информацию о допустимой токовой нагрузке трансформаторов записывать таблицу «**Токовая нагрузка Тр-ров**» следующим образом:

- данные по обмотке высшего, среднего, низшего напряжений трансформатора записывать в поле **I_доп_обор_ДДТН**.

Расчет допустимого тока от температуры осуществляется при нажатии клавиши **F9** или выполнив команду **Расчеты – Доп. ток от Т**.

В таблице «**Токовая нагрузка Тр-ров**» появится:

- значение расчётного длительно допустимого тока трансформатора (**Iдоп_расч_ДДТН**) в А;
- значение расчётной токовой нагрузки трансформатора (**I/Iдоп**) в %.

В таблице «**Ветви**» появится значение расчётной токовой нагрузки трансформатора (**Iзагр.**) в %.

14. Выполнить анализ потерь активной мощности и потребляемой реактивной мощности в электрической сети в таблице «**Узлы+Ветви**» программного комплекса RastrWin3;

15. Написать заключение о проделанной работе.

Общие указания по оформлению отчёта по лабораторной работе:

Отчёт должен содержать: название работы, цель и задачи работы, исходные данные для расчёта, основные расчётные формулы, таблицы с результатами вычислений, графические интерпретации вычислений, выводы о проделанной работе, содержащие анализ полученных результатов.

5.6. Задание № 6. Моделирование компенсирующих устройств реактивной мощности в программном комплексе RastrWin3

Цель работы: Изучение способов моделирования компенсирующих устройств реактивной мощности в программном комплексе RastrWin3.

В результате выполнения лабораторной работы закрепляются теоретические знания о типах компенсирующих устройств: шунтирующих реакторах, шунтовых конденсаторных батарей, статических тиристорных компенсаторах, синхронных компенсаторах. Закрепляются практические навыки работы в программном комплексе RastrWin3.

План проведения лабораторного занятия:

1. Рассчитать согласно справочным данным (табл. 5–8) проводимости шунтирующих реакторов и шунтовых конденсаторных батарей;

Таблица 5 – Технические параметры шунтовых конденсаторных батарей напряжением 6 кВ

Марка конденсаторной батареи (КБ)	$U_{\text{НОМ}}$, кВ	$C_{\text{НОМ}}$, мкФ
БСК	6	238,73
		353,68
		477,46
		530,52
		592,41
		707,36
		831,14
		884,19
		1061,03
		1193,66

Таблица 6 – Технические параметры шунтовых конденсаторных батарей напряжением 10 кВ

Марка конденсаторной батареи (КБ)	$U_{\text{НОМ}}$, кВ	$C_{\text{НОМ}}$, мкФ
БСК	10	79,58
		119,37
		159,15
		179,85
		238,73
		278,52
		318,10
		358,10
		366,06
		418,58

Таблица 7 – Технические параметры шунтовых конденсаторных батарей напряжением 35 кВ

Марка конденсаторной батареи (КБ)	$U_{\text{НОМ}}$, кВ	$C_{\text{НОМ}}$, мкФ
БСК	35	9,87
		13,25
		19,75
		26,50
		29,62

Таблица 8 – Технические параметры шунтирующих реакторов напряжением 10 и 35 кВ

Марка шунтирующего реактора (РШ)	$U_{\text{ном}}$, кВ	$Q_{\text{ном}}$, кВАр
РШОС	10	240
		1000
		2000
		3333
		4000
	35	5000
		2000
		3333
		5000
		8000
		10000

2. Задать узлы и их параметры в программном комплексе RastrWin3. Один из узлов принимается за балансирующий;
3. Задать ветви и их параметры в программном комплексе RastrWin3;
4. Выполнить расчёт установившегося режима в программном комплексе RastrWin3;
5. Подготовить графическую схему в программном комплексе RastrWin3.

Общие указания по оформлению отчёта по лабораторной работе:

Работа носит ознакомительный характер, подготовка отчёта не требуется.

5.7. Задание № 7. Расчёт и анализ установившегося режима электрической сети в программном комплексе RastrWin3

Цель работы: Расчёт и анализ установившегося режима электрической сети в программном комплексе RastrWin3.

Целью электрического расчёта сети является определение параметров режимов, выявление возможностей дальнейшего повышения экономичности работы электрической сети, оценка структуры потерь активной мощности и потребляемой реактивной мощности в электрической сети.

На рисунке 49 и в таблицах 9–12 представлены исходные данные.

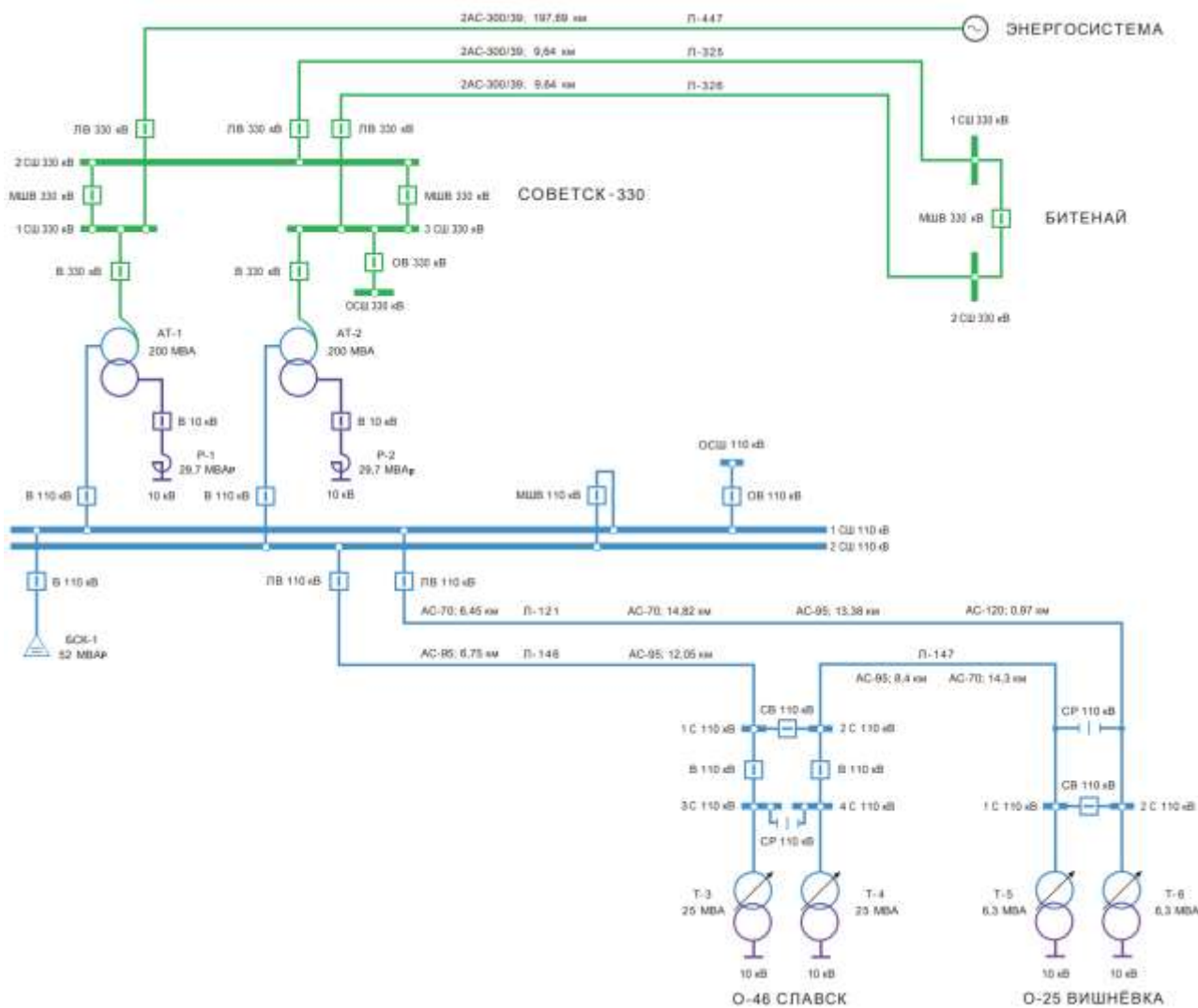


Рисунок 49 – Схема электрической сети

Таблица 9 – Параметры шунтирующих реакторов

Наименование	Марка	$U_{\text{ном}}$, кВ	Мощность ступени ($Q_{\text{ном}}$), МВАр
Р-1, Р-2	РКОС-9900/11-УХЛ1	10	29,7

Таблица 10 – Данные по нагрузкам

Параметр	Место					
	ПС 330 кВ О-5 «Центральная»		Сеть низкого напряжения трансформаторов			
	1 система шин	2 система шин	Т-3	Т-4	Т-5	Т-6
Р, МВт	110,0	130,0	19,0	19,0	4,0	4,0
Q, МВАр	50,0	60,0	8,0	8,0	2,0	2,0

Таблица 11 – Параметры батареи статических конденсаторов

Наименование	Марка	$U_{\text{ном}}$, кВ	Мощность ступени ($Q_{\text{ном}}$), МВАр	$C_{\text{ном}}$, МКФ
БСК-1	БСК-110-52	110	52	13,2

Таблица 12 – Параметры трансформаторов

№	Параметр	Трансформаторы		
		АТ-1, АТ-2	Т-3, Т-4	Т-5, Т-6
1	Марка	АТДЦТН-200000/330/110	ТРДН-25000/110	ТМН-6300/110
2	S , кВА	200000	25000	6300
3	$U_{\text{номВН}}$, кВ	330	115	115
4	$U_{\text{номСН}}$, кВ	115	-	-
5	$U_{\text{номНН}}$, кВ	10,5	10,5	11
6	$u_{\text{кВС}}$, %	10,5	-	-
7	$u_{\text{кВН}}$, %	38	10,5	10,5
9	$u_{\text{кСН}}$, %	25	-	-
10	ΔP_x , кВт	155	25	9,5
11	ΔP_k , кВт	560	120	40
12	Регулирование напряжения	РПН $\pm 16 \times 1\%$	РПН $\pm 16 \times 1\%$	РПН $\pm 16 \times 1\%$

План проведения лабораторного занятия:

1. Подготовить схемы замещения для линий электропередачи;
2. Рассчитать согласно справочным данным [3] параметры схем замещения линий электропередачи;
3. Подготовить схемы замещения для двухобмоточных трансформаторов, автотрансформаторов;
4. Рассчитать согласно справочным данным [3] параметры схем замещения двухобмоточных трансформаторов, автотрансформаторов;
5. Задать узлы и их параметры в программном комплексе RastrWin3. Один из узлов принимается за балансирующий;
6. Задать ветви и их параметры в программном комплексе RastrWin3;
7. Задать тип регулируемого трансформатора и номер анцапфы (номер положения отпайки устройства РПН, ПБВ);

Регулировочные ответвления размещаются, как правило, у трансформаторов на стороне высшего напряжения (в средней точке), а у автотрансформаторов – на стороне среднего напряжения.

В таблицу «Анцапфы» программного комплекса RastrWin3 для каждого трансформатора задать:

- номер устройства регулирования трансформатора (**Nbd**);
- название устройства регулирования трансформатора (**Название**);
- единицы измерения шага отпаек (**ЕИ**). Для устройств РПН и ПБВ в %;
- порядок нумерации анцапф (+/-). В данном случае анцапфы нумеруются, начиная от максимальной положительной добавки и заканчивая максимальной отрицательной добавкой;
- тип устройства регулирования (**Тип**). РПН, ПБВ;
- число анцапф в нейтральном положении (**Кнейт**), по умолчанию задаётся 1;
- напряжение нерегулируемой ступени (**V_нр**) в кВ;
- напряжение регулируемой ступени (**V_рег**) в кВ;
- число анцапф (**N_анц**);
- величина шага (**Шаг**) в %.

В таблицу «**Ветви**» программного комплекса RastrWin3 в поле **БД_анц** следует указать номер устройства регулирования трансформатора.

При изменении номера анцапфы (задаётся в поле **№_анц**) происходит автоматическая коррекция коэффициента трансформации.

8. Выполнить расчёт установившегося режима в программном комплексе RastrWin3;

9. Отрегулировать напряжения в узловых точках сети с максимальной эффективностью в программе RastrWin3.

10. Выполнить анализ отклонений напряжений в узловых точках сети в программном комплексе RastrWin3;

11. Подготовить графическую схему в программном комплексе RastrWin3;

12. В таблицу «**Трансформаторы**» программного комплекса RastrWin3:

Для автотрансформаторов задать:

- номер трансформатора (**N**);
- название трансформатора (**Название**);
- марка трансформатора (**Марка**);
- номера узлов, соответствующие обмоткам высшего (**N_B**), среднего (**N_C**), низшего (**N_H**) напряжений;
- номер узла, соответствующий средней точке (**N_0**).

Для двухобмоточных трансформаторов задать:

- номер трансформатора (**N**);
- название трансформатора (**Название**);
- марка трансформатора (**Марка**);
- номера узлов, соответствующие обмоткам высшего (**N_B**), низшего (**N_H**) напряжений.

13. Выполнить анализ токовой загрузки линий электропередачи;

Выполнив команду **Открыть – Ветви – График_Идоп_от_Т**, открывается график зависимости допустимого тока (о.е.) от температуры для ветви (°С). Следует изменить номера зависимостей (**Num**) от 1...5.

Для линий электропередачи можно задать зависимость допустимого тока (А) от температуры (°С). Для этого следует выполнить команду **Открыть – Ветви – Токовая загрузка ЛЭП**.

В таблице «**Токовая загрузка ЛЭП**» для линий электропередачи задать:

- температуру ветви (**Тс**) в °С;
- номер поправочного коэффициента с учётом температуры ветви (**N_I(t)_ДДТН**) в о.е.;
- допустимый длительный ток провода соответствующего сечения при температуре воздуха 25 °С (**Идоп_25_ДДТН**) в А [3].

Расчет допустимого тока от температуры осуществляется при нажатии клавиши **F9** или выполнив команду **Расчеты – Доп. ток от Т**. Поле **Температура** используется для задания температуры для ветви, поле **Аварийная нагрузка (%)** – если допустимый ток рассчитывается с учётом заданной аварийной перегрузки в процентах.

В таблице «**Токовая загрузка ЛЭП**» появится:

- значение расчётного длительно допустимого тока провода линии электропередачи (**Идоп_расч_ДДТН**) в А;
- значение расчётной токовой загрузки провода линии электропередачи (**Идоп_расч_ДДТН**) в %.

В таблице «**Ветви**» появится значение расчётной токовой загрузки провода линии электропередачи (**Изагр.**) в %.

14. Выполнить анализ токовой загрузки трансформаторов;

Для трансформаторов можно задать зависимость допустимого тока (А) от температуры (°С). Для этого следует выполнить команду **Открыть – Ветви – Токовая загрузка Тр-ров**.

В таблице «**Токовая загрузка Тр-ров**» для трансформаторов задать:

- температуру ветви (**Тс**) в °С;
- поправочный коэффициент с учётом температуры ветви (**N_I(t)_ДДТН**) в о.е.;
- допустимый длительный ток оборудования (**И_доп_обор_ДДТН**) в А.

Информацию о допустимом токе оборудования на стороне высшего напряжения (**И_допВН**), среднего напряжения (**И_допСН**), общей обмотке (**И_допОО**) трансформаторов соответствующей марки можно найти в таблице «**Трансформаторы**» программного комплекса RastrWin3.

Информацию о допустимой токовой загрузке трансформаторов записывать таблицу «**Токовая загрузка Тр-ров**» следующим образом:

- данные по обмотке высшего, среднего, низшего напряжений трансформатора записывать в поле **I_доп_обор_ДДТН**.

Расчет допустимого тока от температуры осуществляется при нажатии клавиши **F9** или выполнив команду **Расчеты – Доп. ток от Т**.

В таблице «**Токовая загрузка Тр-ров**» появится:

- значение расчётного длительно допустимого тока трансформатора (**Iдоп_расч_ДДТН**) в А;
- значение расчётной токовой загрузки трансформатора (**I/Iдоп**) в %.

В таблице «**Ветви**» появится значение расчётной токовой загрузки трансформатора (**Iзагр.**) в %.

15. Выполнить анализ потерь активной мощности и потребляемой реактивной мощности в электрической сети в таблице «**Узлы+Ветви**» программного комплекса RastrWin3;

16. Написать заключение о проделанной работе.

Общие указания по оформлению отчёта по лабораторной работе:

Отчёт должен содержать: название работы, цель и задачи работы, исходные данные для расчёта, основные расчётные формулы, таблицы с результатами вычислений, графические интерпретации вычислений, выводы о проделанной работе, содержащие анализ полученных результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Идельчик, В. И. Электрические системы и сети: учебник для вузов / В. И. Идельчик. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
2. Документация к программе RastrWin (электронный ресурс), 2010. – Режим доступа: <http://www.rastrwin.ru/rastr/>.
3. Карапетян, И. Г., Файбисович, Д. Л., Шапиро, И. М. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: ЭНАС, 2012. – 376 с.
4. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: нац. стандарт Российской Федерации: изд. офиц.: утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по тех. регулированию и метрологии от 22 июля 2013 г. № 400-ст: введ. впервые: дата введ. 2014-07-01 / разработ. ООО «ЛИНВИТ» и Техническим комитетом по стандартизации ТК 30 “Электромагнитная совместимость технических средств”. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

Приложение А. Образец титульного листа практической работы



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт морских технологий, энергетики и строительства
Кафедра энергетики

Зачтено / не зачтено

Дата защиты _____

Преподаватель _____

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № X

«Название работы»

по дисциплине «Передача и распределение электроэнергии»
направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника,
профиль «Электроснабжение»

Работу выполнил:
студент гр. XX-ЗЭЭМ/XX-ЭЭМ
Суворов А. В.

Калининград
202X

Локальный электронный методический материал

Кирилл Викторович Коротких

ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Редактор И. Голубева

Уч.-изд. л. 3,2. Печ. л. 3,1.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1