

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Кудрявцев М.Г. ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Должность: Проректор по образовательной деятельности МИНИСТЕРСТВА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Дата подписания: 21.03.2024 г. «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Уникальный программный ключ:

790a1a8df2525774421adc1fc96453f0e902bfb0

**ИМЕНИ В.И. ВЕРНАДСКОГО»**

**(Университет Вернадского)**

Кафедра Электрооборудования и электротехнических систем

Принято Ученым советом  
Университета Вернадского  
«28» марта 2024 г. протокол № 9



## Рабочая программа дисциплины

### Аварийные режимы в электротехнических системах

Направление подготовки **13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

Направленность (профиль) программы **Электроснабжение сельских территорий**

Квалификация **бакалавр**

Форма обучения **очная**

Балашиха 2024г.

Рабочая программа разработана в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02  
Электроэнергетика и электротехника

Рабочая программа дисциплины разработана доцентом  
кафедры электрооборудования и электротехнических систем к.т.н., доцент Струков А.Н.  
(наименование кафедры, ученая степень, ФИО)

Рецензент: *к.т.н., доцент, заведующий кафедрой электрооборудования и электротехнических систем Закабунин А.В.*

# 1. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в ОПОП ВО индикаторами достижения компетенций

## 1.1 Перечень компетенций, формируемых учебной дисциплиной

Индикаторы достижения компетенций	Планируемые результаты обучения
ПК-2 Инженерно-техническое сопровождение деятельности по техническому обслуживанию и ремонту воздушных линий электропередачи	
ИД-1ПК-2 Знать нормальные, аварийные, послеаварийные и ремонтные режимы работы отдельных воздушных линий, допустимые перегрузки по току и температурам воздушных линий	<b>Знать (З):</b> основные положения по эксплуатации линий электропередачи, методы профилактических измерений на линиях электропередач, порядок проведения планового (капитального) и внепланового ремонта воздушных линий электропередачи
	<b>Уметь (У):</b> определять места повреждений воздушных линий электропередачи различными методами, обеспечивать соблюдение техники безопасности при проведении эксплуатационных и ремонтных работ
	<b>Владеть (В):</b> технологией ведения ремонтных работ линий электропередачи различного напряжения

## 2. Цели и задачи освоения учебной дисциплины, место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Аварийные режимы в электротехнических системах» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений основной профессиональной образовательной программы высшего образования 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

**Цель курса** заключается в ознакомлении будущего специалиста с комплексом сложных вопросов и проблем, связанных с аварийными режимами в системах электроснабжения, научить его производить необходимые расчеты с целью предотвращения аварийных режимов, оптимизацию режимов работы СЭС, обеспечивающих протекание процессов с минимальными отрицательными воздействиями на электрооборудование, как в нормальных, так и аварийных условиях эксплуатации.

**Задачами курса** является изучение методов расчетов параметров аварийных режимов в системах электроснабжения и методики выбора защитных аппаратов.

## 3. Объем учебной дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

### 3.1 Очная форма обучения

Вид учебной работы	___7 семестр
--------------------	--------------

Общая трудоемкость дисциплины, зачетных единиц	
<b>часов</b>	<b>144</b>
<b>Аудиторная (контактная) работа, часов</b>	<b>44</b>
в т.ч. занятия лекционного типа	22
практические занятия семинарского типа	22
<b>Самостоятельная работа обучающихся, часов</b>	<b>96</b>
<b>Контроль</b>	<b>4</b>
в т.ч. защита практической работы	4
Вид промежуточной аттестации	зачёт

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1 Перечень разделов дисциплины с указанием трудоемкости аудиторной (контактной) и самостоятельной работы, видов контролей и перечня компетенций**  
Очная форма обучения

Наименование разделов и тем	Трудоемкость, часов			Наименование оценочного средства	Код ИДК
	всего	в том числе			
		аудиторной (контактной) работы	самостоятельной работы		
<b>Раздел 1. Классификация и виды аварийных и послеаварийных режимов систем электроснабжения.</b>	35	11	24	Опрос на лекции, Тест	ИД-1ПК-2
<b>Раздел 2. Аварийные и послеаварийные режимы при нарушении изоляции электрооборудования СЭС.</b>	35	11	24	Опрос на лекции, практическая работа, Тест	ИД-1ПК-2
<b>Раздел 3. Аварийные и послеаварийные режимы при нарушении проводимости токоведущих частей СЭС.</b>	35	11	24	Опрос на лекции, практическая работа, Тест	ИД-1ПК-2
<b>Раздел 4. Аварийные и послеаварийные режимы в особых условиях работы СЭС.</b>	35	11	24	Опрос на лекции, практическая работа, Тест	ИД-1ПК-2
<b>Защита практической работы (контроль)</b>	<b>4</b>				
<b>Итого за семестр</b>	<b>140</b>	<b>44</b>	<b>96</b>		
<b>ИТОГО по дисциплине</b>	<b>144</b>				

*Примерный перечень оценочных средств для текущего контроля успеваемости*

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	Задача (практическое задание)	Решение задач по индивидуальному варианту.	Комплект задач и заданий
2	Тест	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.	Фонд тестовых заданий

## **4.2 Содержание дисциплины по разделам и темам**

### **Раздел 1. Классификация и виды аварийных и послеаварийных режимов систем электроснабжения.**

**Цели** – изучить виды аварийных и послеаварийных режимов систем электроснабжения.

**Задачи:**

знать виды аварийных и послеаварийных режимов.

**Перечень учебных элементов раздела:**

Справочные материалы.

Теория электромагнитного поля: общая физическая основа задач электромагнитного поля и теории электрических и магнитных цепей.

### **Раздел 2. Аварийные и послеаварийные режимы при нарушении изоляции электрооборудования СЭС.**

**Цели** – изучить аварийные и послеаварийные режимы при симметричных и несимметричных коротких замыканиях, при повреждении изоляции атмосферными и коммутационными перенапряжениями.

**Задачи** – владение методиками определения и диагностики мест повреждений, способами и средствами устранения повреждений.

**Перечень учебных элементов раздела:**

Лекционный материал по разделу.

### **Раздел 3. Аварийные и послеаварийные режимы при нарушении проводимости токоведущих частей СЭС.**

**Цели** – изучить аварийные и послеаварийные режимы при обрывах воздушных и кабельных линий электропередач, при перегреве токоведущих частей за счет увеличения активных сопротивлений, в частности контактных.

**Задачи** – владение методиками определения и диагностики мест повреждений, способами и средствами устранения повреждений.

**Перечень учебных элементов раздела:**

Лекционный материал по разделу.

### **Раздел 4. Аварийные и послеаварийные режимы в особых условиях работы СЭС.**

**Цели** – изучить аварийные и послеаварийные режимы сильноточных вентильных преобразователей.

**Задачи** – владение методиками определения и диагностики мест повреждений, способами и средствами устранения повреждений.

**Перечень учебных элементов раздела:**

Лекционный материал по разделу.

**5. Оценочные материалы по дисциплине**

Оценочные материалы по дисциплине представлены в виде фонда оценочных средств.

**6. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение дисциплины**

**6.1 Перечень учебно-методического обеспечения по дисциплине**

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания, количество страниц
1.	Аварийные режимы в электротехнических системах: Методические указания по изучению дисциплины и задания для практических занятий / ФГБОУ ВО «Рос. гос. аграр. заоч. ун-т; Сост. А.Н. Струков - Балашиха, 2022.

**6.2 Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины \***

Электронные учебные издания в электронно-библиотечных системах (ЭБС):

№ п/п	Автор, название, место издания, год издания, количество страниц	Ссылка на учебное издание в ЭБС
1.	Елистратов, ВВ Возобновляемая энергетика [Электронный ресурс]: монография – СПб.: «Наука», 2013. – 306с.	<a href="http://ebs.rgazu.ru/index.php?q=node/2151">http://ebs.rgazu.ru/index.php?q=node/2151</a>
2.	Афанасьева, Н.А. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] / Н.А. Афанасьева, Л.П. Булат. – СПб.: СПНИУ ИТМО, 2005. – 178 с.	<a href="http://ebs.rgazu.ru/?q=node/3046">http://ebs.rgazu.ru/?q=node/3046</a>
3.	Ткаченко, Н.И. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] / Н.И. Ткаченко, С.Е. Башняк. – Ростов н/Д.: Донской ГАУ, 2015. – 61 с.	<a href="http://ebs.rgazu.ru/?q=node/4342">http://ebs.rgazu.ru/?q=node/4342</a>
4.	Усольцев А.А. Общая электротехника [Электронный ресурс] / А.А. Усольцев. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 301 с.	<a href="http://ebs.rgazu.ru/?q=node/822">http://ebs.rgazu.ru/?q=node/822</a>

5.	Калинин, В.Ф. Теоретическая электротехника в электрооборудовании [Электронный ресурс] / В.Ф. Калинин, В.М. Иванов. – Тамбов: ТГТУ, 2010. – 316 с.	<a href="http://ebs.rgazu.ru/?q=node/866">http://ebs.rgazu.ru/?q=node/866</a>
----	---	---

### 6.3 Перечень электронных образовательных ресурсов \*

№ п/п	Электронный образовательный ресурс	Доступ в ЭОР (сеть Интернет, локальная сеть, авторизованный/свободный доступ)
1.	ЦИТ Форум	<a href="http://citforum.ru/">http://citforum.ru/</a>

### 6.4 Современные профессиональные базы данных, информационные справочные системы и лицензионное программное обеспечение

#### Современные профессиональные базы данных, информационные справочные системы, цифровые электронные библиотеки и другие электронные образовательные ресурсы

1. Договор о подключении к Национальной электронной библиотеке и предоставлении доступа к объектам Национальной электронной библиотеки №101/НЭБ/0502-п от 26.02.2020 5 лет с пролонгацией
2. Договор на оказание услуг по предоставлению доступа к электронным изданиям издательства «Лань» №527/21 от 11.05.2021
3. Соглашение о бесплатном тестовом доступе к Polpred.com. Обзор СМИ 27.04.2016 бессрочно
4. Соглашение о бесплатном тестовом доступе к Polpred.com. Обзор СМИ 02.03.2020 бессрочно
5. Информационно-справочная система «Гарант» – URL: <https://www.garant.ru/>  
Информационно-справочная система Лицензионный договор № 261709/ОП-2 от 25.06.2021
6. «Консультант Плюс». – URL: <http://www.consultant.ru/> свободный доступ
7. Электронно-библиотечная система AgriLib <http://ebs.rgazu.ru/> (свидетельство о государственной регистрации базы данных №2014620472 от 21.03.2014).

#### Доступ к электронной информационно-образовательной среде, информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Система дистанционного обучения Moodle [www.portfolio.rgazu.ru](http://www.portfolio.rgazu.ru) (свободно распространяемое)
2. Право использования программ для ЭВМ Mirapolis HCM в составе функциональных блоков и модулей: Виртуальная комната. Стандартная лицензия до 1000 пользователей на 1 месяц (Лицензионный договор № 77/03/22 – К от 25 апреля 2022)
3. Инновационная система тестирования – программное обеспечение на платформе 1С (Договор № К/06/03 от 13.06.2017)
4. Образовательный интернет – портал Российского государственного аграрного заочного университета (свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС77-51402 от 19.10.2012).

#### Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. OpenOffice – свободный пакет офисных приложений (свободно распространяемое)
2. linuxmint.com <https://linuxmint.com/> (свободно распространяемое)
3. Электронно-библиотечная система AgriLib <http://ebs.rgazu.ru/> (свидетельство о

государственной регистрации базы данных №2014620472 от 21.03.2014)

4. Официальная страница ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет» <https://vk.com/rgazuru> (свободно распространяемое)

5. Портал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный заочный университет» (свободно распространяемое)  
<https://zen.yandex.ru/id/5fd0b44cc8ed19418871dc31>

6. Антивирусное программное обеспечение Dr. WEB Desktop Security Suite (Сублицензионный договор №13740 на передачу неисключительных прав на программы для ЭВМ от 01.07.2021).

### 6.5 Перечень учебных аудиторий, оборудования и технических средств обучения

Предназначение помещения (аудитории)	Наименование корпуса, № помещения (аудитории)	Перечень оборудования (в т.ч. виртуальные аналоги) и технических средств обучения*
Для занятий лекционного типа	143900, Московская область, г. Балашиха, ул. Юлиуса Фучика д.1, 501, 7-14 виртуальные аудитории	1. Система дистанционного обучения Moodle <a href="http://www.portfolio.rgazu.ru">www.portfolio.rgazu.ru</a> (свободно распространяемое) 2. Специализированная мебель, экран рулонный настенный, Персональный компьютер в сборке с выходом в интернет
Для занятий семинарского типа (семинары, практические занятия, практикумы, лабораторные работы, коллоквиумы), групповых консультаций, индивидуальной работы, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации	143900, Московская область, г. Балашиха, ул. Юлиуса Фучика д.1, 412, 7-14 виртуальные аудитории	1. Система дистанционного обучения Moodle <a href="http://www.portfolio.rgazu.ru">www.portfolio.rgazu.ru</a> (свободно распространяемое) 2. Образовательная платформа <a href="http://edu.rgazu.ru/">http://edu.rgazu.ru/</a> 3. Лабораторно-практические многофункциональные стенды для выполнения лабораторно-практических занятий «Электрические и магнитные цепи». 4. Лабораторный стенд «Исследование характеристик асинхронного двигателя и генератора» 5. Лабораторный стенд «Исследование трёхфазных цепей» 6. Лабораторный стенд «Уралочка»
Для самостоятельной работы	143900, Московская область, г. Балашиха, ул. Юлиуса Фучика д.1, 320	1. Образовательная платформа <a href="http://edu.rgazu.ru/">http://edu.rgazu.ru/</a> 2. На базе процессора Intel Pentium G620 3. Электронно-библиотечная система (ЭБС) ФГБОУ ВО РГАЗУ «AgriLib», раздел: «Агроинженерия» <a href="http://ebs.rgazu.ru/">http://ebs.rgazu.ru/</a>



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
МИНИСТЕРСТВА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА  
ИМЕНИ В.И. ВЕРНАДСКОГО»**  
(Университет Вернадского)

**Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной  
аттестации обучающихся по дисциплине  
Аварийные режимы в электротехнических системах**

Направление подготовки **13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

Направленность (профиль) программы **Электроснабжение сельских  
территорий**

Квалификация **бакалавр**

Форма обучения **очная**

Балашиха 2024г.

## 1. Описание показателей и критериев оценивания планируемых результатов обучения по учебной дисциплине

Индикаторы достижения компетенций	Уровень освоения	Планируемые результаты обучения	Наименование оценочного средства
ИД-1пк-2 Знать нормальные, аварийные, послеаварийные и ремонтные режимы работы отдельных воздушных линий, допустимые перегрузки по току и температурам воздушных линий	Пороговый (удовлетворительно)	<p><b>Знает:</b> основные положения по эксплуатации линий электропередачи, методы профилактических измерений на линиях электропередач, порядок проведения планового (капитального) и внепланового ремонта воздушных линий электропередачи</p> <p><b>Умеет:</b> определять места повреждений воздушных линий электропередачи различными методами, обеспечивать соблюдение техники безопасности при проведении эксплуатационных и ремонтных работ</p> <p><b>Владет:</b> технологией ведения ремонтных работ линий электропередачи различного напряжения</p>	Тест, собеседование
	Продвинутый (хорошо)	<p><b>Знает твердо:</b> основные положения по эксплуатации линий электропередачи, методы профилактических измерений на линиях электропередач, порядок проведения планового (капитального) и внепланового ремонта воздушных линий электропередачи</p> <p><b>Умеет уверенно:</b> определять места повреждений воздушных линий электропередачи различными методами, обеспечивать соблюдение техники безопасности при проведении эксплуатационных и ремонтных работ</p> <p><b>Владет уверенно:</b> технологией ведения ремонтных работ линий электропередачи различного напряжения</p>	Тест, собеседование, защита практической работы
	Высокий (отлично)	<p><b>Имеет сформировавшееся систематические знания:</b> основные положения по эксплуатации линий электропередачи, методы профилактических измерений на линиях электропередач, порядок проведения планового (капитального) и внепланового ремонта воздушных линий электропередачи</p> <p><b>Имеет сформировавшееся систематическое умение:</b></p>	Тест, собеседование, защита практической работы

		определять места повреждений воздушных линий электропередачи различными методами, обеспечивать соблюдение техники безопасности при проведении эксплуатационных и ремонтных работ <b>Показал сформировавшееся систематическое владение:</b> технологией ведения ремонтных работ линий электропередачи различного напряжения	
--	--	---	--

## 2. Описание шкал оценивания

### 2.1 Шкала оценивания на этапе текущего контроля

Форма текущего контроля	Отсутствие усвоения (ниже порогового)*	Пороговый (удовлетворительно)	Продвинутый (хорошо)	Высокий (отлично)
Выполнение практической работы	не выполнена или все задания решены неправильно	Решено более 50% задания, но менее 70%	Решено более 70% задания, но есть ошибки	все задания решены без ошибок

\* Студенты, показавшие уровень усвоения ниже порогового, не допускаются к промежуточной аттестации по дисциплине.

### 2.2 Шкала оценивания на этапе промежуточной аттестации (зачет и экзамен в виде итогового теста, курсовая работа)

Форма промежуточной аттестации	Отсутствие усвоения (ниже порогового)	Пороговый (удовлетворительно)	Продвинутый (хорошо)	Высокий (отлично)
Выполнение итоговых тестов (не менее 15 вопросов на вариант)	Менее 51%	51-79%	80-90%	91% и более

**3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ**

(в соответствии пунктом 4 рабочей программы дисциплины)

**КОМПЛЕКТ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ по дисциплине –  
Автономные источники энергии**

Практическая работа предусматривает выполнение задач по индивидуальному варианту. Пример задачи приведен ниже.

**РАСЧЕТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЭЭС НА  
ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ В ФОРМЕ БАЛАНСА МОЩНОСТЕЙ**

**Цель работы.** Моделирование установившихся режимов ЭЭС на основе нелинейных уравнений узловых напряжений в среде *Mathcad*.

**1. Теоретические сведения**

Если считать, что в сети известны задающие токи  $I_1, I_2$  (рис. 1) и параметры схемы, то задача расчета узловых напряжений и токов сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений, которая в принципе имеет точное аналитическое решение (лабораторная работа №1).

Однако при практических расчетах электрических режимов энергосистем в активных узлах обычно задаются не токи, а соответствующие мощности  $S_1, S_2...$  генераторов и нагрузок.

Рассмотрим принципы составления и решения системы уравнений, составленных по методу узловых напряжений и преобразованных к общепринятой в инженерной практике форме задания исходных данных в виде мощностей, на простой трехузловой схеме (рис. 2.1).

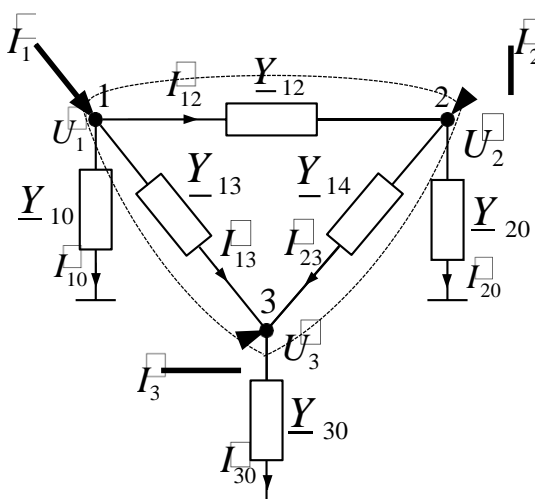


Рис. 1. Схема замещения сети с тремя узлами

Ток, направленный от узла будем учитывать со знаком «+», к узлу –сознаком «-».

Тогда уравнения по первому закону Кирхгофа для узлов схемы

$$I_{12}+I_{13}+I_{10}=I_1, \quad (1)$$

$$-I_{12}+I_{23}+I_{20}=I_2' \quad (2)$$

Где  $I_1, I_2, I_3$  – задающие токи.

$$-I_{13}-I_{23}+I_{30}=I_3' \quad (3)$$

Покажем, что одно из узловых уравнений не является независимым, а вытекает из двух других. Пусть этим уравнением является (3).

Уравнение по первому закону Кирхгофа для фрагмента схемы, выделенного сечением (на рис. 1 показано пунктиром),

$$I_{10}+I_{20}+I_{30}=I_1+I_2+I_3. \quad (4)$$

Просуммируем уравнения (1) и (2)

$$I_{12}+I_{13}+I_{10}-I_{12}+I_{23}+I_{20}=I_1+I_2. \quad (5)$$

Выразим из (4) сумму  $I_1+I_2$  и подставим в уравнение (5), что после сокращений дает уравнение (3). Именно поэтому при использовании МУН в одном из узлов напряжение должно быть задано.

В расчетах установившихся режимов в электрических сетях этот узел приобретает также определенный физический смысл и называется балансирующим узлом.

Итак, далее рассмотрим систему из двух уравнений (1) и (2), в которой токи в ветвях выразим через узловые напряжения и проводимости

$$(U_1-U_2)\underline{Y}_{12}+(U_1-U_3)\underline{Y}_{13}+U_1\underline{Y}_{10}=I_1, \quad (6)$$

$$-(U_1-U_2)\underline{Y}_{12}+(U_2-U_3)\underline{Y}_{23}+U_2\underline{Y}_{20}=I_2. \quad (7)$$

После раскрытия скобок и приведения подобных слагаемых в (6), (7) получим

$$U_1(\underline{Y}_{12}+\underline{Y}_{13}+\underline{Y}_{10})-U_2\underline{Y}_{12}-U_3\underline{Y}_{13}=I_1, \quad (8)$$

$$-U_1\underline{Y}_{12}+U_2(\underline{Y}_{12}+\underline{Y}_{23}+\underline{Y}_{20})-U_3\underline{Y}_{23}=I_2. \quad (9)$$

Необходимо определить напряжения  $U_1, U_2$ , а напряжение  $U_3$  – задается. Направление вектора  $U_3$  принимается также за ось отсчета углов всех электрических величин в схеме.

Если считать, что известны задающие токи  $I_1, I_2$  и известны параметры схемы, то задача сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений, которая в принципе имеет точное аналитическое решение.

Выразим токи  $I_1, I_2$  в (6), (7) через мощности

$$S_1=P_1+jQ_1, S_2=P_2+jQ_2.$$

Имея в виду, что  $S=UI$ , получим

$$I_1 = \underline{S}_1 / U_1, \quad I_2 = \underline{S}_2 / U_2. \quad (10)$$

Подставим значения (10) в (8), (9), тогда

$$U_1(\underline{Y}_{12} + \underline{Y}_{13} + \underline{Y}_{10}) - U_2 \underline{Y}_{12} - U_3 \underline{Y}_{13} = \underline{S}_1 / U_1, \quad (11)$$

$$-U_1 \underline{Y}_{12} + U_2(\underline{Y}_{12} + \underline{Y}_{23} + \underline{Y}_{20}) - U_3 \underline{Y}_{23} = \underline{S}_2 / U_2. \quad (12)$$

Наиболее существенное обстоятельство, которое на данном этапе следует отметить, заключается в том, что теперь уравнения стали нелинейными. Проведем дальнейшие преобразования, умножим левую и правую части уравнений (11) и (12) соответственно на  $U_1$  и  $U_2$ . Учтем также, что  $S_1 = P_1 + jQ_1$ ,  $S_2 = P_2 + jQ_2$ . Тогда

$$U^2_1(\underline{Y}_{12} + \underline{Y}_{13} + \underline{Y}_{10}) - U_2 U_1 \underline{Y}_{12} - U_3 U_1 \underline{Y}_{13} = S_1, \quad (13)$$

$$U^2_2(\underline{Y}_{12} + \underline{Y}_{23} + \underline{Y}_{20}) - U_1 U_2 \underline{Y}_{12} - U_3 U_2 \underline{Y}_{13} = S_2. \quad (14)$$

Первые составляющие в левой части (13) и (14) являются собственными мощностями узла, а две другие составляющие – взаимными мощностями. Уравнения (13) и (14) принято называть уравнениями в форме баланса мощностей.

Каждое из этих уравнений может быть разделено на два уравнения в вещественной форме относительно активной и реактивной мощностей, которые принято называть уравнениями в форме баланса мощностей (15)

$$(P_{11} + P_{12} + P_{13}) - P_1 = 0, \quad (15)$$

$$(Q_{11} + Q_{12} + Q_{13}) - Q_1 = 0,$$

$$(P_{22} + P_{21} + P_{23}) - P_2 = 0,$$

$$(Q_{22} + Q_{21} + Q_{23}) - Q_2 = 0.$$

В уравнениях (15) мощности являются функциями напряжений и параметров схемы. Задача расчета установившегося режима заключается в определении напряжений в узлах, при которых ни в одном из узлов небаланс мощности не превышает предварительно заданное достаточно малое значение.

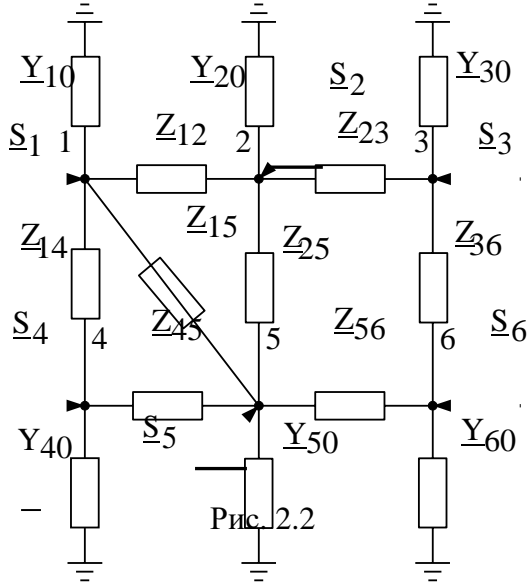
Далее целесообразно рассмотреть вопрос о необходимом количестве задаваемых режимных параметров для получения решения. На данном этапе считаем, что проводимости в узлах  $\underline{Y}_{10}$  и  $\underline{Y}_{20}$  известны, хотя в общем случае они могут определяться через задаваемые в узлах мощности нагрузок, которые также могут быть функциями напряжений.

Если рассчитываемая схема имеет  $n$  узлов, то она описывается  $(n - 1)$  уравнением в комплексной форме и  $2(n - 1)$  уравнениями в действительной форме. Режим электрической сети будет полностью определен, если в каждом узле известны вещественная и мнимая составляющие напряжения (или модуль и фаза напряжения) и активная и реактивная мощности. По известным напряжениям в узлах могут быть рассчитаны перетоки мощности в ветвях. Таким образом, электрический режим схемы характеризуется  $2(n - 1)$  параметром в комплексной форме и  $4(n - 1)$  параметром в действительной форме. Следовательно, в каждом узле два режимных параметра должно быть задано, а два оставлено свободными для расчета.

В лабораторной работе считаем заданными для балансирующего узла напряжение  $\underline{U}_B$  и угол  $\delta_B = 0$ . Для остальных узлов считаем заданными активную и реактивную мощности.

## 2.Задание на лабораторную работу

Исходные данные по вариантам приведены в таблицах 2.1, 2.2, 2.3, рис. 2.2.



- . Рассчитать напряжения в узлах (рис. 2.2) сети переменного тока используя решающий блок **Given Minerr**,
- 2. Рассчитать токи в ветвях.
- . Рассчитать потоки мощности в начале и в конце каждой ветви.
- . Рассчитать потери мощности в ветвях схемы.
- . Сделать проверку результатов по балансу мощностей.

Таблица 1.

№	Сопротивления ветвей, Ом							
	$Z_{12}$	$Z_{23}$	$Z_{14}$	$Z_{15}$	$Z_{25}$	$Z_{36}$	$Z_{45}$	$Z_{56}$
1	10+j200	$\infty$	0.1+j0.02	20+j120	4+j12	$\infty$	10+j10	$\infty$
2	0.2+j0.03	30+j12	4+j8	$\infty$	1+j6	9+j25	4+j8	9+j25
3	4+j12	0.1+j0.02	$\infty$	9+j25	5+j4	4+j8	$\infty$	10+j20
4	12+j20	9+j25	0.3+j0.01	20+j150	2+j5	1+j12	6+j30	4+j8
5	5+j4	1+j6	$\infty$	1+j5	4+j8	2+j20	$\infty$	5+j4
6	2+j12	$\infty$	3+j8	$\infty$	0.1+j0.1	$\infty$	12+j20	10+j5
7	4+j8	2+j5	10+j5	30+j10	4+j8	$\infty$	10+j100	$\infty$
8	10+j10	2+j9	$\infty$	2+j9	10+j5	3+j30	$\infty$	5+j20
9	20+j120	$\infty$	4+j20	1+j6	4+j12	$\infty$	1+j10	0.3+j0.02
10	0.1+j0.02	$\infty$	2+j9	10+j25	11+j12	$\infty$	10+j5	$\infty$
11	1+j8	9+j25	5+j5	$\infty$	9+j25	2+j9	11+j12	5+j4
12	4+j12	2+j9	12+j20	20+j12	$\infty$	3+j9	1+j8	7+j8

Таблица 2.

№	Проводимости ветвей, См					
	$Y_{10}$	$Y_{20}$	$Y_{30}$	$Y_{40}$	$Y_{50}$	$Y_{60}$
1	$0.06+j0.1$	0	0	$0.2+j1.5$	$0.04+j0.1$	0
2	$0.07+j0.5$	0	0	$1+j4$	$0.03+j0.09$	0
3	$0.05+j0.3$	$0.03+j0.09$	0	0	$0.06+j0.1$	0
4	$0.02+j0.05$	0	0	$0.03+j0.09$	$0.01+j0.09$	0
5	0	$0.08+j0.08$	$0.06+j0.1$	0	$0.07+j0.03$	0
6	$0.02+j2$	0	0	$0.02+j0.05$	0	$0.03+j0.09$
7	$0.03+j0.09$	$0.08+j0.8$	$0.3+j1.7$	0	$0.06+j0.1$	0
8	0	$0.06+j0.1$	$0.07+j0.5$	0	$0.01+j0.09$	0
9	$0.01+j0.09$	0	0	$0.05+j0.7$	$0.06+j0.1$	$0.02+j0.05$
10	$0.06+j0.1$	$0.07+j0.5$	0	0	$0.08+j0.8$	0
11	0	$0.06+j0.1$	$0.03+j0.9$	0	0	0
12	$0.01+j0.09$	0	0	$0.04+j0.1$	$0.01+j0.09$	0

Таблица 2.3

Задающие мощности, МВА							
№	Базовый узел	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$
1	4	$12-j13$	0	0	$20+j45$	$10-j40$	0
2	5	$12-j20$	0	0	$20+j90$	$2+j30$	0
3	1	$10+j65$	$20+j100$	0	0	$20-j30$	0
4	5	$90+j90$	0	0	$15+j50$	$20+j10$	0
5	2	0	$30+j55$	$10-j60$	0	0	$45+j10$
6	4	$2+j25$	0	0	$2+j60$	$20-j70$	0
7	2	$30-j9$	$12+j80$	0	0	$40-j30$	0
8	3	0	$50-j50$	$10+j20$	0	$62+j20$	0
9	4	$35-j100$	0	0	$20+j100$	$35+j50$	0
10	1	$35-j100$	$30-j50$	0	0	$4+j20$	0
11	3	0	$20+j75$	$40-j30$	0	$10+j20$	0
12	4	$30+j55$	0	0	$2+j3$	$30-j50$	0



## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### КОМПЛЕКТ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

по дисциплине

### Аварийные режимы в электротехнических системах

#### КОМПЛЕКТ ТЕСТОВ для промежуточной аттестации (зачет) по дисциплине

Зачет проводится в виде итогового теста. Для выполнения теста отводится 45 минут.

1. Выбрать правильное определение ГАБАРИТ ЛИНИИ:
  2. Габарит линии – это расстояние между проводами.
  3. Габарит линии – это расстояние от горизонтали крепления провода до нижней точки провода.
  4. Габарит линии – это расстояние от нижней точки провода до горизонтали земли или воды.
- 
2. Габарит линии с проводами СИП составляет:
    1. 5 метров.
    2. 3 метра.
    3. 10 метров.
- 
3. Выбрать фарфоровый штыревой изолятор:

