

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Кудрявцев М.Г.  
Должность: Проректор по образовательной деятельности  
Дата подписания: 2024.03.28  
Уникальный программный ключ:  
790a1a8df2525774421adc1fc96453f0e902bfb0

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
МИНИСТЕРСТВА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА  
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**

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)<br>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)<br>2. Образовательная платформа <a href="http://edu.rgazu.ru/">http://edu.rgazu.ru/</a><br>3. Лабораторно-практические многофункциональные стенды для выполнения лабораторно-практических занятий «Электрические и магнитные цепи».<br>4. Лабораторный стенд «Исследование характеристик асинхронного двигателя и генератора»<br>5. Лабораторный стенд «Исследование трёхфазных цепей»<br>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><br>2. На базе процессора Intel Pentium G620<br>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<br>(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<br>(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<br>(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<br><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).

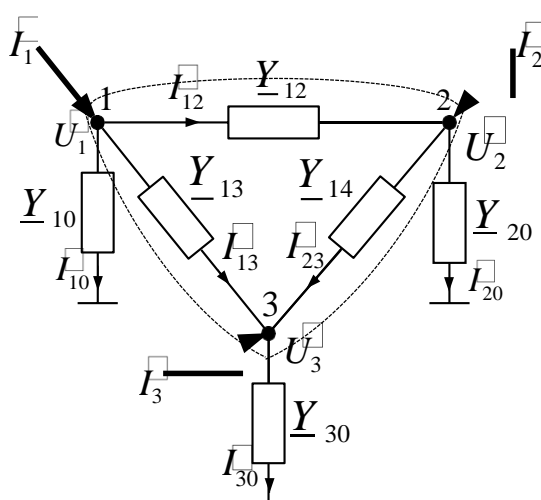


Рис. 1. Схема замещения сети с тремя узлами

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

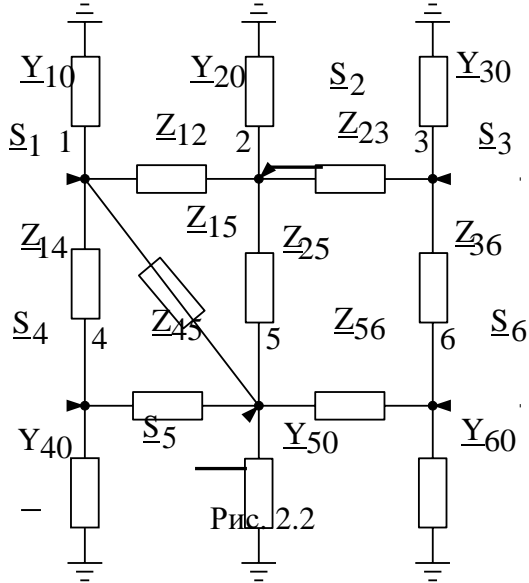
Далее целесообразно рассмотреть вопрос о необходимом количестве задаваемых режимных параметров для получения решения. На данном этапе считаем, что проводимости в узлах  $\underline{Y}_{10}$  и  $\underline{Y}_{20}$  известны, хотя в общем случае они могут определяться через задаваемые в узлах мощности 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 низшей точки провода.
  4. Габарит линии – это расстояние от низшей 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:

