

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра электроэнергетики и электротехники**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И. Луковникова

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ С ОСНОВАМИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

**Б1.Б.18.03**

#### **НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**08.03.01 Строительство**

#### **ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Экспертиза и управление недвижимостью**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

|                                                                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b> | <b>3</b>  |
| <b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>                                                                               | <b>4</b>  |
| <b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ</b>                                                                                                            | <b>5</b>  |
| 3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....                                                                                          | 5         |
| 3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....                                                                    | 5         |
| <b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>                                                                                                                | <b>6</b>  |
| 4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....                                                                                 | 6         |
| 4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....                                                                               | 6         |
| 4.3 Лабораторные работы.....                                                                                                                         | 29        |
| 4.4 Семинары/ практические занятия .....                                                                                                             | 29        |
| 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....                                               | 29        |
| <b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>            | <b>30</b> |
| <b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>                                             | <b>31</b> |
| <b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>                                                    | <b>31</b> |
| <b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>                           | <b>32</b> |
| <b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>                                                                          | <b>32</b> |
| 9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ и практических занятий.....                                              | 33        |
| <b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>                          | <b>56</b> |
| <b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>                        | <b>57</b> |
| <b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>                                   | <b>63</b> |
| <b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>                                                                                    | <b>64</b> |
| <b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>                                                                   | <b>65</b> |
| <b>Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....</b>                                                    | <b>65</b> |

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к изыскательскому и проектно-конструкторскому, производственно-технологическому и производственно-управленческому видам деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель дисциплины

Цель изучения дисциплины является: приобретение у обучающихся теоретических и практических знаний в области электроснабжения и электротехники в такой степени, чтобы они обладали знаниями методов расчета электрических цепей, типовых схемных решений электроснабжения зданий и сооружений и владели навыками расчета элементов этих систем.

## Задачи дисциплины

– изучение основных положений теории и практики расчета однофазных и трехфазных электрических цепей, устройств и принципов работы электрических машин и электрооборудования; типовых схем электроснабжения зданий, сооружений и строительных объектов и основных направлений развития этих систем;

– уметь выбирать типовые схемные решения систем электроснабжения зданий и сооружений и электрооборудования, применяемого на строительных объектах.

| Код компетенции | Содержание компетенций                                                                                                                                                            | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1               | 2                                                                                                                                                                                 | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| ОПК-2           | способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат | <p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- сущность естественнонаучных проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выявлять сущность естественнонаучных проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;</li> <li>- применять физико-математический аппарат для решения проблем в профессиональной деятельности;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способами решения естественнонаучных проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;</li> <li>- навыками применения физико-математического аппарата для решения</li> </ul>       |
| ПК-1            | знание нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест     | <p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- нормативную базу в области инженерных изысканий;</li> <li>- основные принципы проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться нормативной базой в области инженерных изысканий;</li> <li>- составить план застройки населенного пункта;</li> <li>- размещать оборудование для застройки в населенных пунктах;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования;</li> <li>- способами размещения инженерных систем;</li> </ul> |
| ПК-6            | способность                                                                                                                                                                       | <b>знать:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | осуществлять и организовывать техническую эксплуатацию зданий, сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства, обеспечивать надежность, безопасность и эффективность их работы                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- способы организации технической эксплуатации зданий;</li> <li>- способы безопасной и эффективной эксплуатации зданий, сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства;</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- осуществлять и организовывать техническую эксплуатацию зданий, сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства;</li> <li>- обеспечить надежность и эффективность работы зданий;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами организации и технической эксплуатации зданий;</li> <li>- способами безопасной и эффективной эксплуатации зданий.</li> </ul>                                                                                                                                                               |
| ПК-8 | владение технологией, методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства, эксплуатации, обслуживания зданий, сооружений, инженерных систем, производства строительных материалов, изделий и конструкций, машин и оборудования | <p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- технологию процессов строительного производства;</li> <li>- способы эксплуатации зданий;</li> <li>- способы производства строительных материалов;</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обслуживать здания, сооружения, инженерные системы;</li> <li>- организовывать производство строительных материалов, изделий и конструкций;</li> <li>- ориентироваться в процессах строительного производства и эксплуатации зданий, сооружений, инженерных систем;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами производства строительных материалов, изделий и конструкций, а также эксплуатацией зданий и сооружений;</li> <li>- методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства.</li> </ul> |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.Б.18.03 Электроснабжение с основами электротехники относится к базовой части.

Дисциплина Электроснабжение с основами электротехники базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как: Физика, Математика. Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Электроснабжение с основами электротехники представляет основу для изучения дисциплин: технологические процессы в строительстве, автоматика и автоматизация производственных процессов.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

| Форма обучения                | Курс | Семестр | Трудоемкость дисциплины в часах |                  |        |                     |                      |                        | Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР | Вид промежуточной аттестации |
|-------------------------------|------|---------|---------------------------------|------------------|--------|---------------------|----------------------|------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------|
|                               |      |         | Всего часов                     | Аудиторных часов | Лекции | Лабораторные работы | Практические занятия | Самостоятельная работа |                                                            |                              |
| 1                             | 2    | 3       | 4                               | 5                | 6      | 7                   | 8                    | 9                      | 10                                                         | 11                           |
| Очная                         | -    | -       | -                               | -                | -      | -                   | -                    | -                      | -                                                          | -                            |
| Заочная                       | 3    | -       | 108                             | 10               | 6      | 4                   | -                    | 94                     | -                                                          | зачет                        |
| Заочная (ускоренное обучение) | -    | -       | -                               | -                | -      | -                   | -                    | -                      | -                                                          | -                            |

#### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

| Вид учебных занятий                                              | Трудоемкость (час.) | в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час) | Распределение по курсам, час |
|------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------|
|                                                                  |                     |                                                               | 3                            |
| 1                                                                | 2                   | 3                                                             | 4                            |
| <b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b> | 10                  | 4                                                             | 10                           |
| Лекции (Лк)                                                      | 6                   | 2                                                             | 6                            |
| Лабораторные работы (ЛР)                                         | 4                   | 2                                                             | 4                            |
| Групповые (индивидуальные) консультации                          | +                   | +                                                             | +                            |
| <b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>               | 94                  | -                                                             | 94                           |
| Подготовка к лабораторным работам                                | 46                  | -                                                             | 46                           |
| Подготовка к зачету                                              | 48                  | -                                                             | 48                           |
| <b>III. Промежуточная аттестация</b> зачет                       | +                   | -                                                             | +                            |
| Общая трудоемкость дисциплины час                                | 108                 | -                                                             | 108                          |
| зач. ед.                                                         | 3                   | -                                                             | 3                            |

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для заочной формы обучения:

| №<br>раз-<br>дела и<br>темы | Наименование<br>раздела и<br>тема дисциплины     | Трудоем-<br>кость,<br>(час.) | Виды учебных занятий, включая<br>самостоятельную работу<br>обучающихся и трудоемкость; (час.) |                         |                                          |
|-----------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
|                             |                                                  |                              | учебные занятия                                                                               |                         | самостоятельная<br>работа<br>обучающихся |
|                             |                                                  |                              | лекции                                                                                        | Лабораторные<br>занятия |                                          |
| <b>1</b>                    | <b>2</b>                                         | <b>3</b>                     | <b>4</b>                                                                                      | <b>5</b>                | <b>6</b>                                 |
| <b>1.</b>                   | <b>Электрические цепи</b>                        | <b>50</b>                    | <b>2</b>                                                                                      | <b>2</b>                | <b>46</b>                                |
| 1.1                         | Цепи синусоидального тока                        | 50                           | 2                                                                                             | 2                       | 46                                       |
| <b>2.</b>                   | <b>Электроснабжение</b>                          | <b>54</b>                    | <b>4</b>                                                                                      | <b>2</b>                | <b>48</b>                                |
| 2.1.                        | Трансформаторы                                   | 28                           | 2                                                                                             | 2                       | 24                                       |
| 2.2                         | Основные сведения о<br>системах электроснабжения | 26                           | 2                                                                                             | -                       | 24                                       |
|                             | <b>ИТОГО</b>                                     | <b>104</b>                   | <b>6</b>                                                                                      | <b>4</b>                | <b>94</b>                                |

### 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

#### Раздел 1. Электрические цепи

##### Тема 1.1. Цепи синусоидального тока

Лекция проводится в форме дискуссии

##### 1.1.1. Основные понятия и определения переменного тока

Широкое применение в электрических цепях электро-, радио и других установок находят периодические э.д.с., напряжения и токи. Периодические величины изменяются во времени по значению и направлению, причем эти изменения повторяются через некоторые равные промежутки времени  $T$  (рис. 1.1.1), называемые периодом.

На практике все источники энергии переменного тока (генераторы электростанций) создают э.д.с., изменяющуюся по синусоидальному закону (рис. 1.1.1, д).

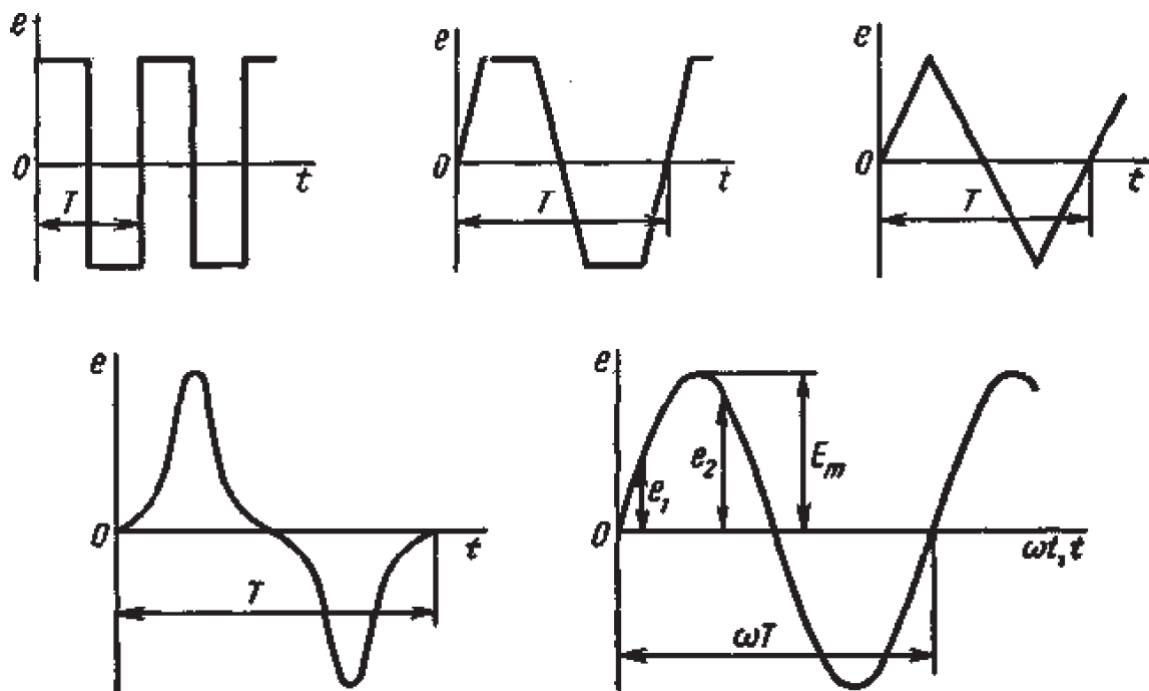


Рис. 1.1.1. Переменные периодические э.д.с. различной формы: а – прямоугольный; б – трапецидальной; в – треугольной; г – произвольной; д – синусоидальной

Основное преимущество такого закона изменения э.д.с. и напряжения заключается в том, что в процессе передачи электроэнергии на большие расстояния (сотни и тысячи километров) от источника до потребителя при многократной трансформации (изменении) напряжения временная зависимость напряжения остается неизменной, т.е. синусоидальной.

Синусоидальные э.д.с., напряжения и токи начали широко применять в электротехнике во второй половине XX века. В настоящее время практически вся вырабатываемая электроэнергия является энергией синусоидального тока. Лишь некоторую долю этой электроэнергии при использовании преобразуют в энергию постоянного тока.

Любая периодическая величина имеет ряд характерных значений. Максимальное значение, или амплитуду, э.д.с., напряжения и тока обозначают соответственно  $E_m$ ,  $U_m$ ,  $I_m$ . Значение периодически изменяющейся величины в рассматриваемый момент времени называют мгновенным ее значением и обозначают  $e$ ,  $u$ ,  $i$  – э.д.с., напряжение и ток соответственно. Максимальное значение – частный случай мгновенного значения.

Величина, обратная периоду, т.е. число полных изменений периодической величины за 1 с, называется частотой:

$$f = 1/T. \quad (1.1.1)$$

Частоту выражают в герцах (Гц). Во всех энергосистемах России и других европейских стран в качестве стандартной промышленной частоты принята  $f = 50$  Гц, в США и Японии  $f = 60$  Гц. Это обеспечивает получение оптимальных частот вращения электродвигателей переменного тока и отсутствие заметного для глаза мигания осветительных ламп накаливания.

Некоторые электротехнические устройства работают при более высокой частоте. Повышенная частота (обычно 175–200, 400 Гц) позволяет снизить вес электродвигателей, применяемых для привода электроинструмента и средств автоматики. В установках сквозного нагрева металлов для горячей штамповки иковки применяют частоту от 500 до 10 000 Гц, а в установках поверхностного нагрева металлов – от 2000 до 106 Гц. В радиотехнических устройствах применяют частоты от 105 до  $3 \times 10^{10}$  Гц.

Находят применение также синусоидальные токи пониженной частоты. Частоту  $f = 5 \div 10$  Гц применяют в металлургической промышленности.

Электрические цепи, в которых действуют синусоидальные э.д.с. и токи, называются электрическими цепями синусоидального тока. К ним относятся понятия схемы цепи, контура, ветви и узла, которые были даны ранее для цепей постоянного тока.

### 1.1.2. Получение синусоидальной э.д.с., источники э.д.с.

Рассмотрим вращение с угловой скоростью  $\omega$  прямоугольного витка проводника, помещенного в однородное магнитное поле с потоком  $\Phi$  (рис. 1.1.2). Перпендикулярную направлению магнитного потока линию обозначим  $N - n$  (рис. 1.1.2, б).

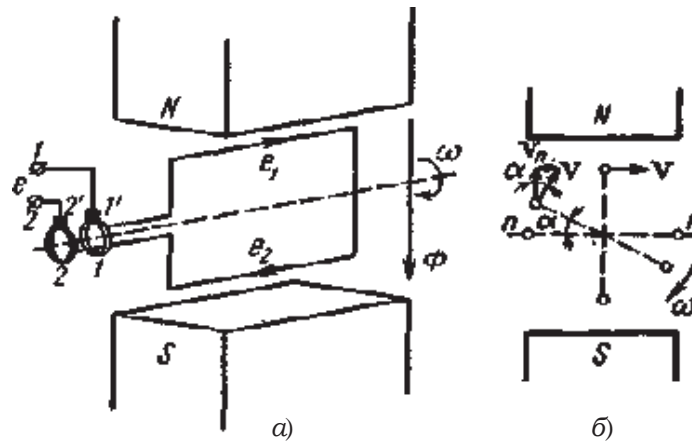


Рис. 1.1.2. Определение направления (а) и значения (б) синусоидальной э.д.с.

Проводник движется с постоянной линейной скоростью  $v$ . Когда он пересекает линии магнитного потока, в нем индуцируется э.д.с.

$$e_{\text{пр}} = B \cdot l \cdot v_n, \quad (1.1.2)$$

где  $B$  – магнитная индукция;  $l$  – активная длина проводника, т.е. та его часть, которая пересекает магнитный поток;  $v_n$  – составляющая линейной скорости, нормальная к магнитному потоку.

При повороте витка на угол  $\alpha = \omega t$  по отношению к первоначальному положению, совпадающему с линией  $n - n$ ,

$$v_n = v \sin \alpha = v \sin \omega t.$$

Тогда на основании (1.1.2) получается, что  $e_{\text{пр}} = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \omega t$  изменяется по синусоидальному закону во времени. Коэффициент

$$B \cdot l \cdot v = E_{\text{пр} \text{ m}}$$

представляет собой постоянную величину и является амплитудой, э.д.с.

Направление э.д.с. в проводниках определяется по правилу правой руки и указано на рис. 1.1.2, а ( $e_1$  и  $e_2$ ). Так как два проводника, образующих виток, соединены между собой последовательно и э.д.с. в них складываются, то,

$$e = e_1 + e_2 = E_m \sin \omega t \quad (1.1.3)$$

и также изменяется во времени по синусоидальному закону.

В простейшем генераторе концы витка присоединяют к вращающимся вместе с ним кольцам 1 и 2, по которым скользят неподвижные щетки 1' и 2' (рис. 1.1.2, а). От щеток отходят проводники к зажимам щитка генератора. Время одного оборота витка соответствует периоду  $T$ , а угол поворота равен  $\omega T$ .



При числе пар полюсов  $p = 1$  угловая частота  $\omega$  изменения синусоидальной э.д.с. равна угловой скорости вращения витка. При большем числе пар полюсов за один оборот витка синусоидальная э.д.с. делает большее число полных изменений, т.е. период  $T$  будет меньше времени, необходимого для одного оборота витка.

На рис. 1.1.3 показаны две пары полюсов ( $p = 2$ ). В этом случае угловая частота в два раза больше угловой скорости.

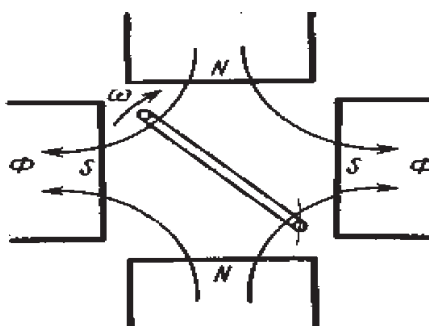


Рис. 1.1.3. Схема простейшего генератора синусоидальной э.д.с. с двумя парами полюсов

В общем случае

$$\omega = 2\pi p n / 60,$$

где  $2\pi n / 60$  – угловая скорость вращения;  $n$  – угловая частота вращения, об/мин.

На основании равенства  $\omega T = 2\pi$  с учетом формулы (1.1.1) можно получить соотношение между угловой скоростью  $\omega$  и частотой  $f$ :

$$\omega = 2\pi / T = 2\pi f, \quad (1.1.4)$$

причем  $f = pn/60$ .

У современных генераторов синусоидального тока обмотка состоит из большого числа последовательно соединенных витков. В каждом из них индуцируются синусоидальные э.д.с., которые, складываясь, образуют также синусоидальную э.д.с., определяемую выражением (1.1.3). Обычно обмотка расположена на неподвижной части генератора – статоре, а вращающиеся магнитные полюсы вместе с обмоткой возбуждения, питаемой от источника постоянного тока, являются ротором (рис. 1.1.4).

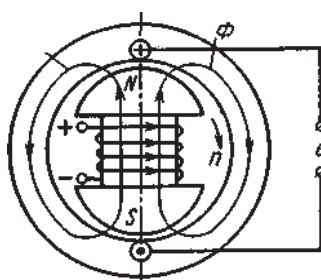


Рис. 1.1.4. Схема простейшего генератора синусоидальной э.д.с. с вращающимися полюсами

Постоянный по отношению к ротору магнитный поток вращается вместе с ним. Магнитная индукция в воздушном зазоре между статором и ротором неодинакова; она максимальна по оси полюсов, а к их краям уменьшается по закону косинуса  $B = B_m \cdot \cos \alpha = B_m \cdot \cos \omega t$ . По этому же закону изменяется магнитный поток в зазоре  $\Phi = \Phi_m \cdot \cos \alpha = \Phi_m \cdot \cos \omega t$  и потокосцепление с любым витком, расположенным на статоре.

Индукцируемая в витке э.д.с.

$$e = - d\Phi/dt = \omega \Phi_m \cdot \sin \omega t = E_m \cdot \sin \omega t,$$

где  $E_m = \omega \cdot \Phi_m$ .

Таким образом, э.д.с. генератора также синусоидальна.

### 1.1.3. Трехфазные цепи. Области применения трехфазных устройств, структура трехфазной цепи

Трехфазная система была разработана в конце прошлого века известным русским электротехником М.О. Доливо-Добровольским. Она получила широкое распространение во всех странах мира. В настоящее время вся электроэнергия вырабатывается на электростанциях трехфазными генераторами, передается к местам потребления по трехфазным линиям передачи и основная ее доля используется в трехфазных приемниках.

Преимущества трехфазной системы основываются, по мнению М.О. Доливо-Добровольского, главным образом на двух ее свойствах, которые используются при эксплуатации не только в совокупности, но и порознь. Это экономичная и на большие расстояния передача электроэнергии и превосходное качество двигателей.

В устройствах выпрямления применяют шести- и двенадцатифазные системы, в устройствах автоматики и телемеханики двухфазные системы.

Трехфазная система представляет собой совокупность электрических цепей, в которых действуют три синусоидальные э. д. с. одной и той же частоты, сдвинутые друг относительно друга по фазе и создаваемые общим источником энергии.

Если все три э.д.с. равны по значению и сдвинуты по фазе на  $120^\circ$  по отношению друг к другу, то такая система э.д.с. называется симметричной. Если э.д.с. не равны по значению или сдвинуты друг относительно друга на угол, не равный  $120^\circ$ , то такая система э.д.с. называется несимметричной. Аналогично определяются трехфазные системы напряжений и токов.

Часть трехфазной системы электрических цепей, в которой может протекать один из токов трехфазной системы, называется фазой. Таким образом, фазой являются обмотка генератора, в которой индуцируется э.д.с., и приемник, присоединенный к этой обмотке. Это значение термина «фаза» широко используется в практической электротехнике.

### 1.1.4. Трехфазный генератор, получение трехфазной системы э.д.с.

Трехфазная система э.д.с. создается трехфазными генераторами. В неподвижной части генератора (статоре) размещают три обмотки, сдвинутые в пространстве на  $120^\circ$  (рис. 1.1.5, а). Это фазные обмотки, или фазы, которые обозначают А, В и С. Этими же буквами обозначают начало обмоток фаз генератора. Концы обмоток обозначают соответственно X, Y и Z. На рис. 1.1.5, б показано, как изображают на схемах обмотки генератора с условными положительными направлениями э.д.с.

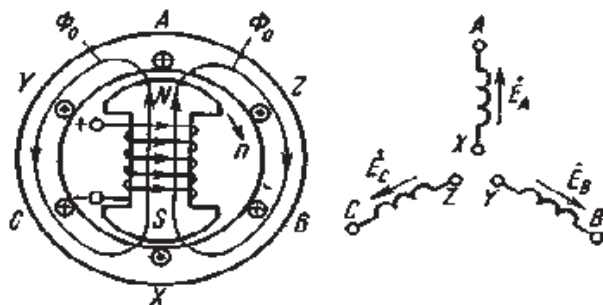


Рис. 1.1.5. Схема трехфазного генератора (а) и изображение фазных обмоток генератора на схемах (б)

Каждая фазная обмотка генератора изображена на рис. 1.1.5, а одним витком (у реальных генераторов каждая обмотка имеет множество витков, расположенных в нескольких соседних пазах, занимающих некоторую дугу внутренней окружности статора). На вращающейся части генератора (роторе) располагают обмотку возбуждения, которая

питается от источника постоянного тока. Ток обмотки возбуждения создает магнитный поток  $\Phi_0$ , постоянный (неподвижный) относительно ротора, но вращающийся вместе с ним с частотой  $n$ . Вращение ротора осуществляется каким-либо двигателем.

Благодаря конструктивным приемам магнитный поток  $\Phi_0$  в воздушном зазоре между статором и ротором распределяется по синусоидальному закону по окружности. Поэтому при вращении ротора вращающийся вместе с ним магнитный поток пересекает проводники обмоток статора (А Х, В У и С Z) и индуцирует в них синусоидальные э.д.с. В момент времени, которому соответствует изображенное на рисунке взаимное положение статора и ротора, в обмотке фазы А индуцируется максимальная э.д.с.  $E_m$ , так как плоскость этой обмотки совпадает с осевой линией полюсов ротора и проводники обмотки пересекаются магнитным потоком максимальной плотности. Через промежуток времени  $T/3$ , соответствующий  $1/3$  оборота ротора, осевая линия его полюсов совпадает с плоскостью обмотки фазы В и максимальная э.д.с.  $E_m$  индуцируется в фазе В. Еще через  $1/3$  оборота ротора максимальная э.д.с. индуцируется в фазе С. При следующих оборотах ротора процесс повторяется.

Таким образом, э.д.с. в каждой последующей фазе будет отставать от э.д.с. в предыдущей фазе на  $1/3$  периода, т.е. на угол  $2\pi/3$ . Если принять, что для фазы А начальная фаза равна нулю, то э.д.с. фазы А

$$e_a = E_m \cdot \sin \omega t,$$

а э.д.с. фаз В и С соответственно

$$e_b = E_m \cdot \sin (\omega t - 2\pi/3); e_c = E_m \cdot \sin (\omega t - 4\pi/3).$$

Максимальные (амплитудные) значения всех э.д.с. и их частоты будут одинаковыми, так как число витков фазных обмоток одинаково и э.д.с. индуцируются одним потоком  $\Phi_0$ . Изменение фазных э.д.с.  $e_a$ ,  $e_b$  и  $e_c$  показано на рис. 1.1.6.

Действующее значение фазной э.д.с. трехфазной системы определяется по формуле

$$E = E_m \cdot \sqrt{2} = 0,707 \cdot E_m.$$

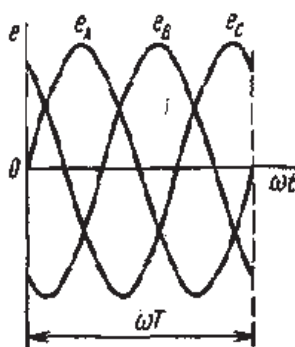


Рис. 1.1.6. Изменение мгновенных значений трехфазной системы э.д.с.

При равных амплитудах действующие значения э.д.с. всех фаз равны. При сдвиге по фазе на  $2\pi/3$  они образуют симметричную систему. Если при условном положительном направлении вращения векторов (против часовой стрелки) вектор э.д.с.  $E_b$  отстает по фазе от вектора э.д.с.  $E_a$ , а вектор э.д.с.  $E_c$  отстает по фазе от вектора э.д.с.  $E_b$ , то такая система векторов э.д.с. образует прямое чередование фаз (рис. 1.1.7, а). Если за вектором э.д.с.  $E_a$  следует сначала вектор э.д.с.  $E_c$ , а затем вектор э.д.с.  $E_b$ , то такая система векторов э.д.с. образует обратное чередование фаз (рис. 1.1.7, б).

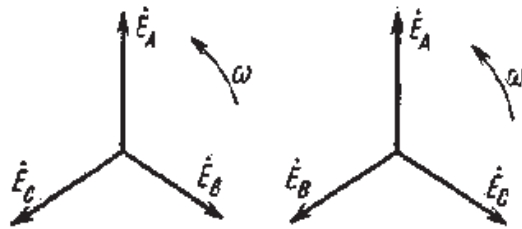


Рис. 1.1.7. Векторы трехфазной системы э.д.с. при прямом (а) и обратном (б) чередовании фаз

При представлении трехфазной системы э.д.с. комплексными числами принято э.д.с. фазы А совмещать с положительным направлением вещественной оси (рис. 1.1.8).

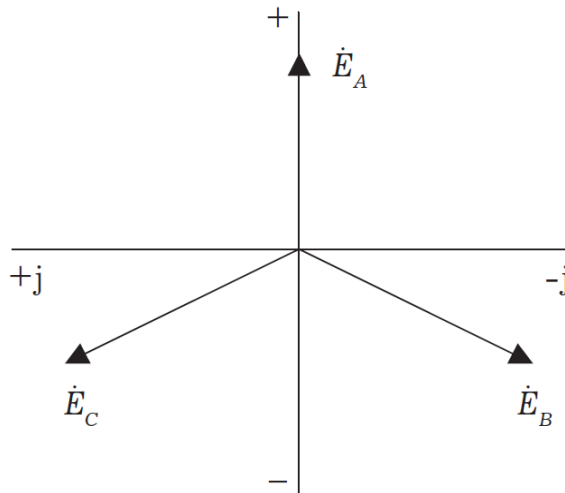


Рис. 1.1.8. Изображение трехфазной системы э.д.с. в комплексной плоскости.

Тогда при прямом чередовании фаз

$$\dot{E}_A = E_A, \quad (1.1.5)$$

$$\dot{E}_B = E_B \cdot e^{-j2\pi/3} = (-0,5 - j\sqrt{3}/2) \cdot E_B, \quad (1.1.6)$$

$$\dot{E}_C = E_C \cdot e^{-j4\pi/3} = (-0,5 - j\sqrt{3}/2) \cdot E_C, \quad (1.1.7)$$

где  $E$  действующее значение э.д.с.

При симметричной системе э.д.с., как это видно из рис. 1.1.9 и формул (1.1.5), (1.1.6), (1.1.7), векторная сумма э.д.с. равна нулю:

$$\vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C = 0 \text{ или } \dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0.$$

### 1.1.5. Соединение обмоток генератора и фаз приемника звездой

Каждая фаза трехфазного генератора может являться источником питания для однофазного приемника. В этом случае схема электрической цепи имеет вид, изображенный на рис. 1.1.9, т. е. каждая фаза работает отдельно от других, хотя в целом цепь является трехфазной. Это трехфазная несвязанная система.

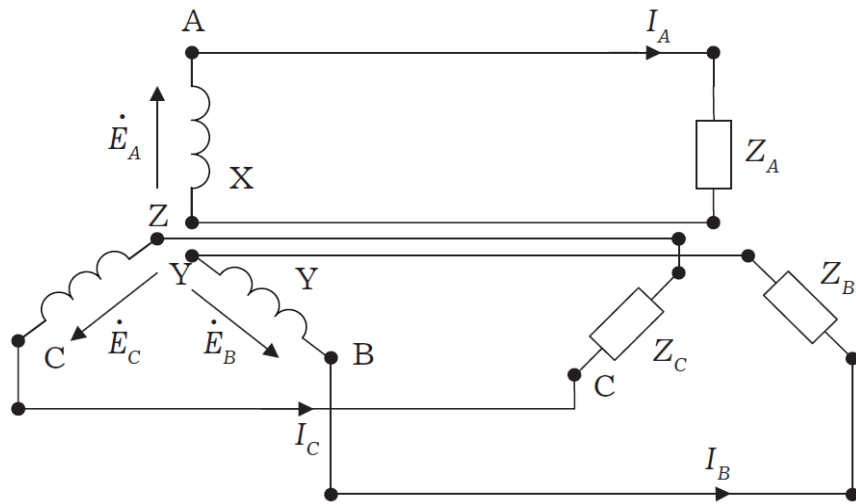


Рис. 1.1.9. Схема трехфазной несвязанной электрической цепи

Э.д.с. любой обмотки генератора представляет собой разность потенциалов начала и конца этой обмотки. При этом потенциал одной какой-либо точки (или начала, или конца обмотки) можно считать равным нулю. Тогда комплексный потенциал другой точки будет иметь точно определенное значение.

Принимая равными потенциалы точек, соответствующих концам X, Y и Z обмоток фаз генератора, можно объединить их в одну точку N (рис. 1.1.10).

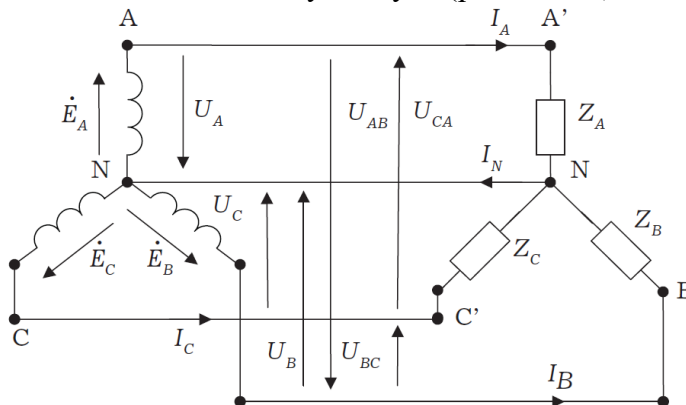


Рис. 1.1.10. Схема связанной четырех проводной трехфазной цепи.

Концы фаз приемников ( $Z_A$ ,  $Z_B$  и  $Z_C$ ) также соединяем в одну точку n. Такое соединение обмоток генератора называется соединением «звездой». Звездой можно соединять также фазы приемника. Точки N и n называется нейтральными, а провод, соединяющий точку N генератора с точкой n приемника, нейтральным. Провода A-A', B-B' и C-C', соединяющие начала фаз генератора и приемника, называются линейными.

Напряжение между началом и концом фазы фазное напряжение  $U_\phi$ .

Напряжение между линейными проводами – линейное напряжение  $U_\lambda$ .

При соединении в звезду фазные и линейные токи равны

$$I_\phi = I_\lambda.$$

Ток, протекающий в нейтральном проводе, обозначают  $I_N$ .

По первому закону Кирхгофа для нейтральной точки n (N) имеем в комплексной форме

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C.$$

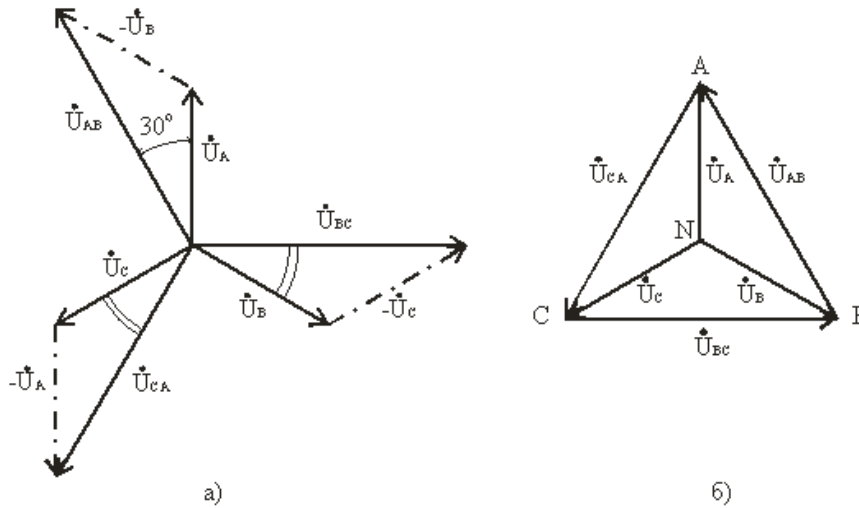


Рис. 1.1.11. Векторная диаграмма напряжений и токов для трехпроводной электрической цепи по схеме звезда

В соответствии с выбранными условными положительными направлениями фазных и линейных напряжений можно записать уравнения по второму закону Кирхгофа.

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B; \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C; \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A.$$

Согласно этим выражениям на рис. 1.1.11, а построена векторная диаграмма, из которой видно, что при симметричной системе фазных напряжений система линейных напряжений тоже симметрична:  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  равны по величине и сдвинуты по фазе относительно друг друга на  $120^\circ$  (общее обозначение  $U_L$ ), и опережают, соответственно, векторы фазных напряжений  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ , ( $U_\phi$ ) на угол  $30^\circ$ .

Действующие значения линейных напряжений можно определить графически по векторной диаграмме или по формуле (1.3.4), которая следует из треугольника, образованного векторами двух фазных и одного линейного напряжений:

$$U_L = 2U_\phi \cos 30^\circ$$

или

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_\phi \quad (1.3.4)$$

Векторную диаграмму удобно выполнить топографической (рис. 1.1.12б), тогда каждой точке цепи соответствует определенная точка на диаграмме. Вектор, проведенный между двумя точками топографической диаграммы, выражает по величине и фазе напряжения между одноименными точками цепи.

Для определения напряжения смещения нейтрали можно воспользоваться формулой межузлового напряжения, так как схема рис 1.9.7 представляет собой схему с двумя узлами,

$$\dot{U}_{Nn} = \frac{\underline{Y}_a \cdot \dot{U}_A + \underline{Y}_b \cdot \dot{U}_B + \underline{Y}_c \cdot \dot{U}_C}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c}, \quad (1.3.5)$$

где:  $\underline{Y}_a = 1/\underline{Z}_a$ ;  $\underline{Y}_b = 1/\underline{Z}_b$ ;  $\underline{Y}_c = 1/\underline{Z}_c$  – комплексы проводимостей фаз нагрузки.

Теперь напряжения на фазах приемника будут отличаться друг от друга. Из второго закона Кирхгофа следует, что

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_{Nn}, \dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{Nn}, \dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{Nn}, \quad (1.3.6)$$

Зная фазные напряжения приемника, можно определить фазные токи:

$$i_a = \frac{\dot{U}_a}{Z_a} = Y_a \cdot \dot{U}_a, \quad i_b = \frac{\dot{U}_b}{Z_b} = Y_b \cdot \dot{U}_b, \quad i_c = \frac{\dot{U}_c}{Z_c} = Y_c \cdot \dot{U}_c. \quad (1.3.7)$$

Векторы фазных напряжений можно определить графически, построив векторную (топографическую) диаграмму фазных напряжений источника питания и  $U_{nN}$ .

При изменении величины (или характера) фазных сопротивлений напряжение смещений нейтрали  $U_{nN}$  может изменяться в широких пределах. При этом нейтральная точка приемника  $n$  на диаграмме может занимать разные положения, а фазные напряжения приемника  $\dot{U}_a$ ,  $\dot{U}_b$  и  $\dot{U}_c$  могут отличаться друг от друга весьма существенно.

Направление смещения нейтрали зависит от последовательности фаз системы и характера нагрузки.

Поэтому нейтральный провод необходим для того, чтобы:

выравнивать фазные напряжения приемника при несимметричной нагрузке;

подключать к трехфазной цепи однофазные приемники с номинальным напряжением в  $\sqrt{3}$  раз меньше номинального линейного напряжения сети.

Следует иметь в виду, что в цепь нейтрального провода нельзя ставить предохранитель, так как перегорание предохранителя приведет к разрыву нейтрального провода и появлению значительных перенапряжений на фазах нагрузки.

### 1.1.6. Соединение обмоток генератора и фаз приемника треугольником

Соединение обмоток генератора или фаз приемника, при котором начало одной фазы соединяется с концом другой, образуя замкнутый контур, называется соединением «треугольником». Начало фазы А источника питания соединяют с концом фазы В (Y) и точку соединения обозначают А (рис. 1.1.12). Далее соединяют точки В и Z (точка В) и точки С и X (точка С). Положительные направления э.д.с. в обмотках те же, что и на рис. 1.1.9. Подобным образом соединяют треугольником и фазы приемника, сопротивления которых обозначены двумя индексами, соответствующими началу и концу фазы.

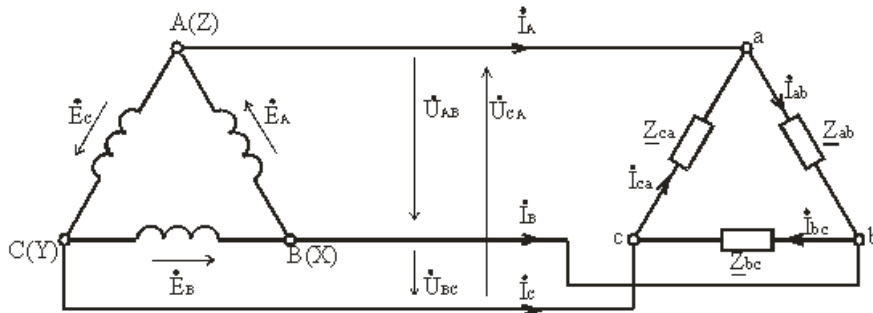


Рис. 1.1.12. Схема трехпроводной трехфазной цепи при соединении фаз треугольником

Соединение фаз источника в замкнутый треугольник возможно при симметричной системе ЭДС, так как

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0. \quad (1.1.8)$$

Если соединение обмоток треугольником выполнено неправильно, т.е. в одну точку соединены концы или начала двух фаз, то суммарная ЭДС в контуре треугольника отличается от нуля и по обмоткам протекает большой ток. Это аварийный режим для источников питания, и поэтому недопустим.

Напряжение между концом и началом фазы при соединении треугольником – это напряжение между линейными проводами. Поэтому при соединении треугольником линейное напряжение равно фазному напряжению.

$$U_L = U_\Phi.$$

Пренебрегая сопротивлением линейных проводов, линейные напряжения потребителя можно приравнять линейным напряжениям источника питания:  $U_{ab} = U_{AB}$ ,  $U_{bc} = U_{BC}$ ,  $U_{ca} = U_{CA}$ . По фазам  $Z_{ab}$ ,  $Z_{bc}$ ,  $Z_{ca}$  приемника протекают фазные токи  $\dot{I}_{ab}$ ,  $\dot{I}_{bc}$  и  $\dot{I}_{ca}$ . Условное положительное направление фазных напряжений  $\dot{U}_{ab}$ ,  $\dot{U}_{bc}$  и  $\dot{U}_{ca}$  совпадает с положительным направлением фазных токов. Условное положительное направление линейных токов  $\dot{I}_A$ ,  $\dot{I}_B$  и  $\dot{I}_C$  принято от источников питания к приемнику.

В отличие от соединения звездой при соединении треугольником фазные токи не равны линейным. Токи в фазах приемника определяются по формулам

$$\dot{i}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_{ab}}, \dot{i}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{Z_{bc}}, \dot{i}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{Z_{ca}}. \quad (1.1.9)$$

Линейные токи можно определить по фазным, составив уравнения по первому закону Кирхгофа для узлов a, b и c (рис. 1.1.12)

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}, \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}, \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}. \quad (1.1.10)$$

Сложив левые и правые части системы уравнений, (1.1.9), получим

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0,$$

т.е. сумма комплексов линейных токов равна нулю как при симметричной, так и при несимметричной нагрузке.

При соединении треугольником действующее значение линейного тока при симметричной нагрузке в  $\sqrt{3}$  раз больше действующего значения фазного тока и  $U_L = U_\Phi$ ;  $I_L = \sqrt{3} \cdot I_\Phi$ .

При равномерной нагрузке фаз расчет трехфазной цепи соединенной треугольником, можно свести к расчету одной фазы.

Фазное напряжение  $U_\Phi = U_L$ . Фазный ток  $I_\Phi = U_\Phi / Z_\Phi$ , линейный ток  $I_L = \sqrt{3} \cdot I_\Phi$ , угол сдвига по фазе  $\varphi = \arctg (X_\Phi / R_\Phi)$ .

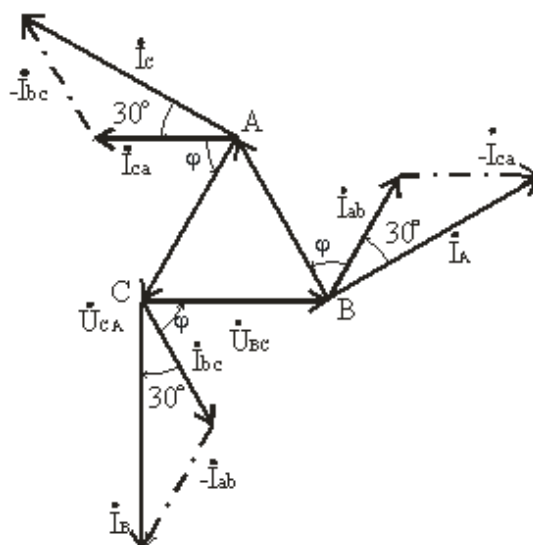


Рис. 1.1.13. Векторная диаграмма напряжений и токов для трехпроводной электрической цепи по схеме треугольник



### 1.1.7. Мощность трехфазной системы

Мгновенное значение мощности отдельной фазы или, фазной мощности, определяется так же, как мощность однофазной цепи, произведением мгновенных значений фазных напряжений и тока:

$$p_A = u_A \cdot i_A; p_B = u_B \cdot i_B; p_C = u_C \cdot i_C; \quad (1.1.11)$$

При симметричной системе фазных напряжений

$$u_A = U_{\phi m} \cdot \sin \omega t; u_B = U_{\phi m} \cdot \sin(\omega t - 2\pi/3); u_C = U_{\phi m} \cdot \sin(\omega t - 4\pi/3);$$

В общем случае несимметричной нагрузки фазные токи равны соответственно

$$\begin{aligned} i_A &= I_{Am} \cdot \sin(\omega t - \varphi_A); \\ i_B &= I_{Bm} \cdot \sin(\omega t - 2\pi/3 - \varphi_B); \\ i_C &= I_{Cm} \cdot \sin(\omega t - 4\pi/3 - \varphi_C); \end{aligned}$$

Подставляя в формулы (1.1.11) выражения для фазных напряжений и токов, получим значения фазной мощности для каждой фазы:

$$\begin{aligned} p_A &= U_A I_A [\cos \varphi_A - \cos(2\omega t - \varphi_A)]; \\ p_B &= U_B I_B [\cos \varphi_B - \cos(2\omega t - 2\pi/3 - \varphi_B)]; \\ p_C &= U_C I_C [\cos \varphi_C - \cos(2\omega t - 4\pi/3 - \varphi_C)]; \end{aligned} \quad (1.1.12)$$

Постоянные составляющие мгновенных значений фазных мощностей, т. е. активные фазные мощности соответственно равны:

$$P_A = U_A I_A \cos \varphi_A; P_B = U_B I_B \cos \varphi_B; P_C = U_C I_C \cos \varphi_C.$$

Активная мощность трехфазного приемника равна сумме активных мощностей фаз:

$$P = P_A + P_B + P_C.$$

При симметричной системе напряжений ( $U_A = U_B = U_C = U_{\phi}$ ) и симметричной нагрузке ( $I_A = I_B = I_C = I_{\phi}$ ;  $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi_{\phi}$ ) фазные мощности равны ( $P_A = P_B = P_C = P_{\phi} = U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cos \varphi$ ). Активная мощность трехфазного приемника в этом случае

$$P = 3P_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi$$

Мощность трехфазного приемника всегда удобнее вычислять через линейные напряжение и ток, так как линейные величины всегда легче измерять. Принимая во внимание, что при соединении фаз приемника звездой  $U_{\phi} = U_{л}/\sqrt{3}$ ,  $I_{\phi} = I_{л}$ , а при соединении треугольником ( $U_{\phi} = U_{л}$ ,  $I_{\phi} = I_{л}/\sqrt{3}$ ), формула примет вид

$$P = \sqrt{3} U_{л} \cdot I_{л} \cdot \cos \varphi. \quad (1.1.13)$$

Эта формула справедлива как для соединения звездой, так и для соединения треугольником, но только если приемник симметричен. При этом надо помнить, что угол  $\varphi$  является углом сдвига фаз между фазными напряжением и током.

При симметричном приемнике его полная трехфазная мощность

$$S = \sqrt{3}U_{л} \cdot I_{л},$$

а реактивная мощность

$$Q = \sqrt{3}U_{л} \cdot I_{л} \cdot \sin\varphi.$$

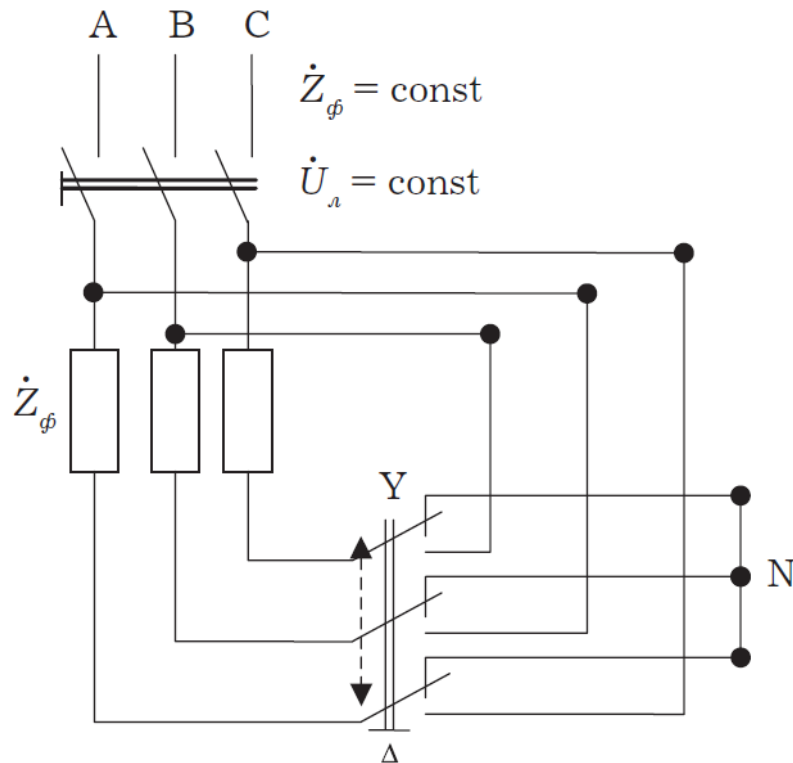


Рис. 1.1.14. Схема переключения трехфазного приемника со звезды в треугольник

При соединении фаз приемника треугольником

$$I_{л\Delta} = \sqrt{3}I_{\phi\Delta} = \frac{\sqrt{3}U_{\phi\Delta}}{Z_{\phi}} = \frac{\sqrt{3}U_{л}}{Z_{\phi}},$$

а при соединении фаз приемника звездой

Тогда отношение линейных токов  $I_{л\Delta}/I_{лY} = 3$ .

Таким образом, при неизменном линейном напряжении, переключая приемник со звезды в треугольник, его мощность увеличивают в три раза:

$$P_{\Delta} = P_Y.$$

Действительно, при соединении фаз приемника треугольником фазное напряжение становится равным линейному, т.е. увеличивается в  $\sqrt{3}$  раза по сравнению с фазным напряжением при соединении фаз приемника звездой. Следствием этого является увеличение фазного тока  $I_{\phi}$   $U_{\phi}/Z_{\phi}$  также в три раза. Фазная мощность увеличится в три раза, во столько же раз увеличится мощность трехфазного приемника. Этим свойством можно воспользоваться, если приемник допускает увеличение напряжения на его зажимах в  $\sqrt{3}$  раза.

Таким образом, изучив однофазные и трех фазные цепи, можно отметить преимущества трехфазных.



## Раздел 2. Электроснабжение

### Тема 2.1. Трансформаторы

#### 2.1.1. Назначение, общие сведения о трансформаторах

Трансформатором называется статический индуктивный преобразователь, имеющий две или больше индуктивно связанных взаимно неподвижных обмоток и предназначенный для преобразования посредством электромагнитной индукции параметров электрической энергии переменного тока (напряжения, тока, частоты, числа фаз).

Электрическая энергия переменного тока подводится к первичной обмотке трансформатора от сети с числом фаз  $m_1$ , фазным напряжением  $U_1$  и частотой  $f_1$  и передается во вторичную обмотку с числом фаз  $m_2$ , фазным напряжением  $U_2$  и частотой  $f_1$  посредством магнитного поля. В большинстве случаев с помощью трансформатора преобразуется только напряжение  $U_2 \neq U_1$  и токи  $I_2 \neq I_1$  без изменения частоты и числа фаз.

Обычно электрическое соединение между первичной и вторичной обмотками в трансформаторе отсутствует, и энергия из одной обмотки в другую передается только за счет магнитной связи между ними.

Силовые трансформаторы и автотрансформаторы наряду с воздушными и кабельными линиями электропередачи являются основным оборудованием систем электроснабжения. В дальнейшем под термином «трансформатор» без специальной оговорки будет подразумеваться и автотрансформатор.

Основными конструктивными элементами трансформатора являются магнитный сердечник и обмотки, наматываемые на этот сердечник. Магнитный сердечник набирается из листов электротехнической стали, изолированных между собой. Обмотки изготавливаются из медных или алюминиевых изолированных проводников.

Магнитопрод и обмотки составляют активную часть трансформатора.

У трансформаторов с масляным охлаждением магнитопрод с обмотками помещается в стальной корпус, заливаемый трансформаторным маслом. В верхней части корпуса устанавливаются проходные изоляторы для вывода обмоток. Расширитель, связанный трубопроводом с корпусом, служит для уменьшения площади соприкосновения масла с воздухом и воспринимает колебания уровня масла при изменении температуры. Радиаторы, установленные на корпусе, увеличивают поверхность охлаждения трансформатора.

Обмотка трансформатора со стороны питания называется первичной, со стороны потребителя – вторичной.

Изменение напряжения в трансформаторе происходит в соответствии с коэффициентом его трансформации. Этот коэффициент равен отношению числа витков первичной  $w_1$  и вторичной  $w_2$  обмоток или отношению напряжений первичной и вторичной обмоток трансформатора без нагрузки (при холостом ходе):

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2}.$$

#### 2.1.2. Принцип действия трансформатора

Принцип действия трансформатора основан на физическом явлении электромагнитной индукции.

Если на замкнутом стальном сердечнике разместить две электрически не связанные между собой обмотки (рис. 2.1.1) и одну из них присоединить к сети переменного тока с напряжением  $U_1$ , то при прохождении переменного тока  $I_1$  по первичной обмотке в стальном сердечнике возникает переменный магнитный поток  $\Phi$ .

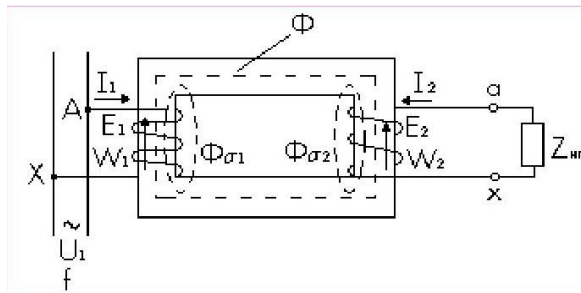


Рис. 2.1.1. Электромагнитная схема однофазного двухобмоточного трансформатора

Переменное магнитное поле  $\Phi$  наводит в обеих обмотках ЭДС ( $E_1$  и  $E_2$ ). Если вторичную обмотку включить на нагрузку ( $Z_{н.г}$ ), то возникает ток  $I_2$ . Основной магнитный поток  $\Phi$  создается суммарным действием токов  $I_1$  и  $I_2$  (рис. 2.1.2).

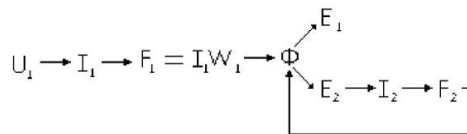


Рис. 2.1.2. Принцип создания магнитного потока в трансформаторе

### 2.1.3. Основные уравнения

#### 2.1.3.1. ЭДС обмоток

По закону Максвелла ЭДС, индуцируемая в контуре с числом витков  $w$  переменным магнитным потоком  $\Phi$ , равна

$$e = -W \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.1.1)$$

Примем, что  $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$ , где  $\omega$  – круговая частота  $\omega = 2\pi f$ ;  $f$  – частота питающей сети.

Тогда

$$(2.1.2)$$

Амплитуда ЭДС

$$E_m = W \omega \Phi_m.$$

Действующее значение ЭДС

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \pi \Phi_m W \approx 4,44 f \Phi_m W. \quad (2.1.3)$$

Индекс « $m$ » у потока  $\Phi$  обычно опускают.

По фазе ЭДС  $E$  отстает от потока  $\Phi$  на  $90^\circ$ , что следует из сравнения формул (2.1.1) и (2.1.2).

На векторной диаграмме (рис. 2.6) показано расположение векторов  $E$  и  $\Phi$ .

Согласно (2.1.3) ЭДС первичной и вторичной обмотки имеют

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot W_1 \cdot \Phi_1;$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot \Phi_2.$$

Коэффициент трансформации

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \approx \frac{U_1}{U_2}. \quad (2.1.4)$$

Обмотки трехфазного трансформатора могут быть соединены в «звезду» (Y) или в «треугольник» ( $\Delta$ ).

Соотношение линейных и фазных напряжений и токов:

$$\text{для Y: } U_l = \sqrt{3} \cdot U_\phi, I_l = I_\phi;$$

$$\text{для } \Delta: U_l = U_\phi, I_l = \sqrt{3} \cdot I_\phi.$$

Полная мощность:

$$\text{однофазного трансформатора } S = U \cdot I$$

$$\text{трехфазного трансформатора } S = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_l.$$

$$\text{Активная мощность нагрузки } P = S \cdot \cos\varphi,$$

$$\text{реактивная мощность } Q = S \cdot \sin\varphi,$$

где  $\varphi$  – угол нагрузки.

### 2.1.3.2. Уравнения напряжений

Магнитный поток трансформатора (рис. 2.1) можно представить в виде основного магнитного потока  $\Phi$ , созданного совместным действием токов  $I_1$  и  $I_2$ , и сцепляющегося с обеими обмотками, и потоков рассеяния  $\Phi_{\sigma 1}$  и  $\Phi_{\sigma 2}$ , каждый из которых создается только своим током ( $I_1 \rightarrow \Phi_{\sigma 1}$  и  $I_2 \rightarrow \Phi_{\sigma 2}$ ) и сцепляющихся только со своей обмоткой. Основной магнитный поток  $\Phi$  наводит основные ЭДС  $E_1$  и  $E_2$ . Потоки рассеяния  $\Phi_{\sigma 1}$  и  $\Phi_{\sigma 2}$  наводят соответственно ЭДС рассеяния  $E_{\sigma 1}$  и  $E_{\sigma 2}$  (каждый поток – в своей обмотке).

Потокосцепление рассеяния

$$\psi_\sigma = Li,$$

где  $i = I_m \sin \omega t$ ;  $L$  – коэффициент самоиндукции обмотки.

ЭДС рассеяния

$$e_\sigma = \frac{d\psi_\sigma}{dt} = -L \frac{di}{dt} = -\omega L I_m \cos \omega t = \omega L I_m \sin(\omega t - 90^\circ).$$

Действующее значение ЭДС в комплексном виде

$$\dot{E}_\sigma = -jx\dot{I} = -j\omega L \dot{I} \quad (2.1.5)$$

где  $x = \omega L$  – индуктивное сопротивление рассеяния (самоиндукции).

Наличие  $(-j)$  в формуле (2.1.5) означает, что вектор ЭДС  $E$  стает по фазе от вектора тока  $I$  на  $90^\circ$ .

Согласно (2.1.5) можно записать

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -jx_1 \dot{I}_1, \dot{E}_{\sigma 2} = -jx_2 \dot{I}_2. \quad (2.1.6)$$

Применим закон Кирхгофа к первичной и вторичной обмоткам:

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma 1} = r_1 \dot{I}_1,$$

$$\dot{E}_2 + \dot{E}_{\sigma 2} = \dot{U}_2 + r_2 \dot{I}_2.$$

С учетом (2.1.6) можно записать

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + r_1 \dot{I}_1 + jx_1 \dot{I}_1, \\ \dot{U}_2 &= \dot{E}_2 - r_2 \dot{I}_2 - jx_2 \dot{I}_2. \end{aligned} \quad (2.1.7)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  – активные сопротивления обмоток.

Полные сопротивления обмоток

$$z_1 = r_1 + jx_1; \quad z_2 = r_2 + jx_2.$$

Тогда

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + z_1 \dot{I}_1,$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - z_2 \dot{I}_2.$$

### 2.1.3.3. Уравнения токов

Рассмотрим уравнение напряжения

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + z_1 \dot{I}_1.$$

Величина  $z_1 \dot{I}_1$  для трансформаторов средней мощности составляет 5...10 %  $U_1$ , поэтому можно принять, что  $U_1 \approx E_1 = 4.44f\Phi W_1$ . Так как напряжение сети  $U_1 = \text{const}$ , то отсюда следует, что поток, определяемый напряжением сети,  $\Phi = \text{const}$ . Следовательно для всех режимов работы постоянна МДС, создающая этот поток.

МДС при нагрузке

$$\dot{F}_1 = \dot{I}_1 W_1 + \dot{I}_2 W_2.$$

МДС при холостом ходе (х.х.)

$$F = \dot{I}_{10} W_1,$$

где  $\dot{I}_{10}$  – ток х.х.,  $\dot{I}_2 = 0$ .

Приравнявая эти МДС, получаем уравнение

$$\dot{I}_1 W_1 + \dot{I}_2 W_2 = \dot{I}_{10} W_1.$$

Разделим на  $W_1$  и, с учетом  $k = W_1/W_2$ , получим уравнение токов

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 \frac{1}{k} = \dot{I}_{10}. \quad (2.1.8)$$

### 2.1.3.4. Схема замещения. Приведенный трансформатор

Уравнения напряжений (2.1.7) и токов (2.1.8) позволяют определить все режимы работы трансформатора. Однако неудобство этих расчетов заключается в значительном отличии параметров, и следовательно, токов и напряжений первичной и вторичной обмоток,

что затрудняет построение векторной диаграммы и т. д. Кроме того, в данном случае между обмотками существует не только электрическая, но и магнитная связь.

Для того чтобы можно было связать первичную и вторичную обмотки электрически, устранить их магнитную связь и воспользоваться схемой замещения, принимают, что  $E_1 = E_2$  и  $W_1 = W_2$ . Такой трансформатор называется приведенным. Параметры вторичной обмотки приведенного трансформатора обозначены со штрихами. Схема замещения имеет вид, показанный на рис. 2.1.3. Схема замещения относится к одной фазе трансформатора. Параметры обмоток  $z_1$  и  $z_2'$  на схеме замещения выносят отдельно.

Активное сопротивление  $r_m$  определяется потерями в стали

где  $m_1$  – число фаз трансформатора.

Индуктивное сопротивление  $x_m$  отражает взаимоиндукцию обмоток.

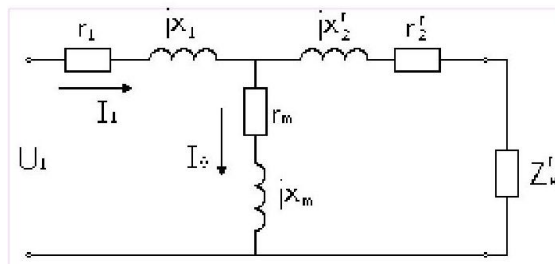


Рис. 2.1.3. Т-образная схема замещения трансформатора

Коэффициенты перехода от приведенного трансформатора к реальному определяются из условия сохранения энергетических показателей:

$$E_2' = E_2 \frac{W_1}{W_2} = kE_2,$$

$$I_2' = I_2 \frac{1}{k} \text{ (из равенства } E_2 I_2 = E_2' I_2')$$

$$r_2' = r_2 k^2 \text{ (из равенства } I_2^2 r_2 = I_2'^2 r_2').$$

Аналогично

$$x_2' = x_2 k^2,$$

Уравнения напряжений и токов для схемы замещения (рис. 2.7) согласно уравнения (2.1.7) и (2.1.8) примут вид

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j\dot{I}_1 x_1, \\ \dot{U}_2 &= \dot{E}_2' - \dot{I}_2' r_2' - j\dot{I}_2' x_2', \\ \dot{I}_1 + \dot{I}_2 &= \dot{I}_{10} \end{aligned} \quad (2.1.10)$$

## Тема 2.2. Основные сведения о системах электроснабжения

### 2.2.1. Категории надежности потребителей электрической энергии

Основные требования к системам электроснабжения. По надежности электроснабжения в соответствии с требованиями ПУЭ электроприемники разделяют на три категории.

К I категории относят электроприемники, перерыв в работе которых может представлять опасность для жизни людей, причинить значительный ущерб народному хозяйству, вызвать повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, нарушение сложного технологического процесса, функционирования особо



важных элементов коммунального хозяйства. Примеры электропотребителей I категории: котлы-утилизаторы, насосы водоснабжения и канализации, газоочистки, приводы вращающихся печей, печи с кипящим слоем, газораспределительные пункты, станы непрерывной прокатки, водоотлив, подъемные машины, вентиляторы главного проветривания, вентиляторы высокого давления и обжиговые, аварийное освещение. Из состава I категории выделяют особую группу электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства в целях предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования. В качестве примеров электроприемников особой группы для черной металлургии можно назвать электродвигатели насосов водоохлаждения доменных печей, газосмесительные станции воздухонагревателей, насосы испарительного охлаждения основных технологических установок.

Во II категорию входят электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного числа городских и сельских жителей.

К III категории относят все остальные электроприемники, не подходящие под определения I и II категорий. Это главным образом различные вспомогательные механизмы в основных цехах, цехи несерийного производства.

Электроприемники I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Перерыв в их электроснабжении при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания от другого (на время действия АВР). Независимым источником питания называется источник, на котором сохраняется регламентированное напряжение при исчезновении его на другом или других источниках питания. К числу независимых источников питания относятся две секции или системы шин одной или двух электростанций и подстанций при одновременном соблюдении двух условий: 1) каждая из секций или систем-шин в свою очередь имеет питание от независимого источника; 2) секции (системы) шин не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключающуюся при нарушении нормальной работы одной из секций (систем) шин.

Электроприемники II категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых, взаимно резервирующих источников питания. При нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания с помощью дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

Для электроприемников III категории электроснабжение может быть от одного источника питания при условии, что перерывы, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не более одних суток.

Главная понизительная подстанция считается одним источником, если питается по одной двухцепной линии, и двумя источниками, если питается по двум одноцепным линиям (на разных опорах) или по двум кабельным линиям, проложенным по разным трассам. ТЭЦ можно принять за несколько источников питания, если при выходе из строя генератора или при аварии на секции остальные секции (генераторы) продолжают работать. Отдельная трасса для кабельной линии – это отдельные (самостоятельные) траншея, блок, туннель (для последнего случая отдельной трассой можно назвать прокладку в трехстенном туннеле). Электроснабжение потребителей I категории должно осуществляться от двух независимых источников по отдельным трассам. Категории – одно из ключевых условий, определяющих схему электроснабжения. Очевидна возможность неоднозначного толкования таких определений. Концептуально они существенно отличаются от определенных (подсчитанных) в первой научной картине мира (длительно допустимые токи, размеры, расстояния, проходы и другие), а потому однозначно обязательных для исполнения (как и величины приемосдаточных испытаний, основанные на вероятностных представлениях).

Системой электроснабжения города называется совокупность электрических станций, понижающих и преобразовательных подстанций, питающих и распределительных линий и электроприемников, обеспечивающих технологические процессы коммунально-бытовых,

промышленных и транспортных потребителей электроэнергии, расположенных на территории города и частично в пригородной зоне. Структурная схема электроснабжения крупного города, пример которой представлен на рис. 2.2.1, содержит комплекс сложных сооружений. Основными звеньями этого комплекса являются: источник питания – районная электростанция 1 с установленными повысительными трансформаторами 2; воздушная линия электропередачи 3 напряжением 110–220 кВ на металлических опорах; подстанция глубокого ввода 4 напряжением 110–220 кВ с распределительными устройствами (РУ) 5 напряжением 6–10–20–35 кВ; питающая кабельная линия 6–10–20 кВ; распределительный пункт 7, на шины которого подается напряжение 6–10–20 кВ; распределительная кабельная линия 8, питающая трансформаторную понизительную подстанцию 9; кабельная линия 10 напряжением 380 В, питающая вводно-распределительное устройство 11 жилого дома. От РУ 35 кВ по кабельной линии 12 напряжением 35 кВ получает питание главная понизительная подстанция 13 промышленного предприятия города, от которой по кабельным линиям 14 напряжением 380 В поступает на распределительные щиты 15 цехов. Электрическую сеть города принято делить на следующие составные части рис 3.1.2: – электроснабжающая сеть города напряжением 35–110–220 кВ; – питающая электрическая сеть 6–10 кВ; – распределительная электрическая сеть 6–10 кВ; – распределительная сеть 380 В.

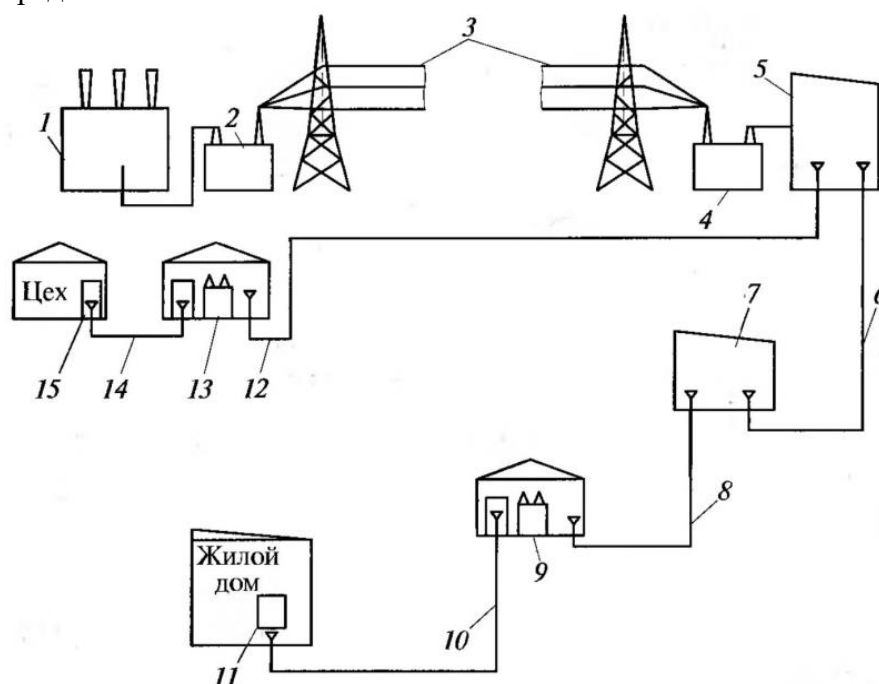


Рис. 2.2.1. Структурная схема электроснабжения города:

1 – районная электростанция; 2 – повысительный трансформатор; 3 – воздушная линия электропередачи напряжением 110–220 кВ; 4 – подстанция глубокого ввода (центр питания); 5 – распределительное устройство; 6 – питающая кабельная линия; 7 – распределительный пункт; 8 – распределительная кабельная линия; 9 – трансформаторная понизительная подстанция; 10, 14 – кабельные линии напряжением 380 В; 11 – вводно-распределительное устройство; 12 – кабельная линия напряжением 35 кВ; 13 – главная понизительная подстанция предприятия; 15 – распределительный щит на напряжение 380/220 В

Линии электропередачи электрических сетей СЭС городов состоят из: – воздушных линий 35–220 кВ внешнего электроснабжения города; – кабельных (или воздушных) линий 110–220 кВ глубоких вводов высокого напряжения в центральные районы жилых и промышленных территорий; – кабельных (или воздушных) линий наружных распределительных линий 0,38–6–10–20 кВ; – электрических линий внутренних сетей 0,38 кВ жилых, общественных и производственных зданий. Электроэнергия в процессе передачи её от электростанции до потребителей преобразуется один или несколько раз (по напряжению, роду тока или его частоты), и по мере приближения к потребителям

распределяется на более мелкие потоки (осуществляется несколько ступеней распределения электроэнергии).

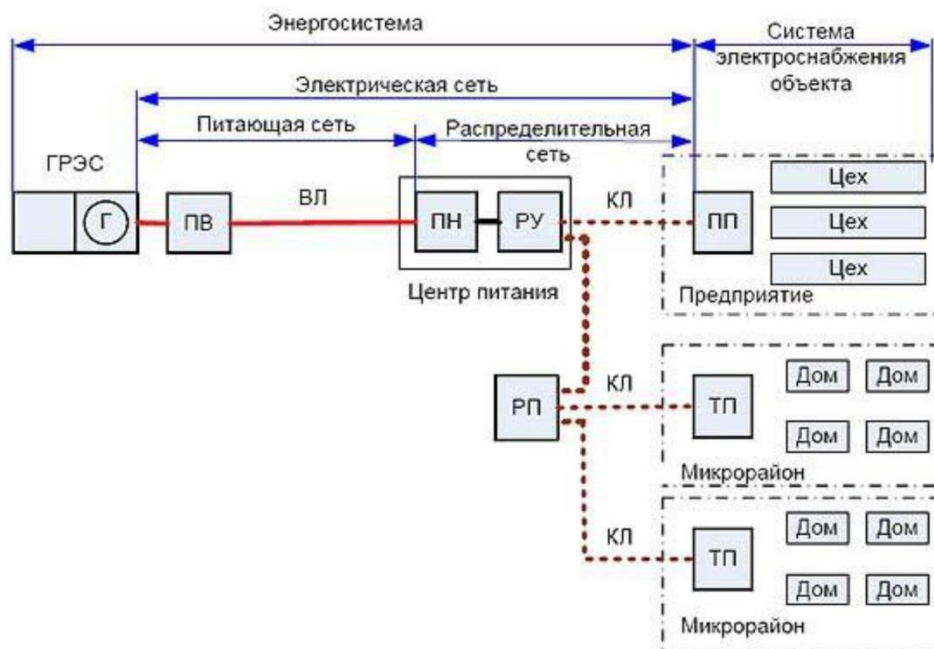


Рис. 2.2.2. Упрощенная структурная схема электроснабжения города:

ГРЭС – государственная районная электростанция; Г – генератор; ПВ – повысительная трансформаторная подстанция; ПН – понизительная трансформаторная подстанция; РУ – распределительное устройство 6–10 кВ; РП – распределительный пункт; ПП – пункт приема электроэнергии; ТП – трансформаторная подстанция; ВЛ – воздушная линия электропередачи; КЛ – кабельная линия электропередачи

При описании систем электроснабжения часто используют обобщающие термины — источник питания и пункт приема электроэнергии. От источника питания электроэнергия поступает на пункт приема электроэнергии. Источник питания является относительным термином. Для центра питания источником питания является повысительная подстанция. Для пункта приема электрической энергии – центр питания и т. д. Источниками питания (ИП) системы электроснабжения города являются городские электрические станции и понижающие подстанции. Центром питания (ЦП) называется распределительное устройство генераторного напряжения электрической станции или распределительное устройство вторичного напряжения понижающей подстанции, к шинам которого присоединяются распределительные сети данного района. Электрическими станциями являются обычно теплоэлектростанции, обеспечивающие тепловой и частично электрической энергией коммунально-бытовые и промышленные объекты.

Понижающими подстанциями систем электроснабжения городов являются: городские подстанции (35–220 кВ), располагающиеся вблизи границы города; подстанции глубоких вводов 110–220 кВ, сооруженные непосредственно на территориях жилых районов и в промышленных зонах крупных городов; транспортные подстанции 6–10–20/0,38 кВ коммунально-бытовых и промышленных потребителей электроэнергии; выпрямительные подстанции городского и пригородного электрифицированного транспорта. Для приема, преобразования и распределения электроэнергии используют различные устройства (электроустановки): – распределительные устройства (РУ); – распределительные пункты (РП); – подстанции; – трансформаторные подстанции (ТП); – преобразовательные подстанции. Электроприемники жилых зданий: – электроприемники квартир; – осветительные электроприборы; – бытовые электроприборы: нагревательные; хозяйственные; культурно-бытовые; санитарно-гигиенические; – электроприемники общедомового назначения: – осветительные электроприемники: светильники лестничных клеток, технических подполий, чердаков, вестибюлей, холлов, служебных и других

помещений; – силовые электроприемники: лифтовые установки; вентиляционные системы; противопожарные устройства. Электроприемники общественных зданий [Киреева-2005]: – осветительные электроприемники; – силовые электроприемники; – механическое оборудование; – электротепловое оборудование; – холодильные машины; – подъемно-транспортное оборудование; – санитарно-технические установки; – приточно-вытяжные вентиляционные установки и системы кондиционирования воздуха; – системы связи и сигнализации; – противопожарные устройства и др. Построение системы электроснабжения производят таким образом, чтобы в нормальном режиме все элементы системы находились под нагрузкой с максимально возможным использованием пропускной способности этих элементов. Резервирование питания электроприемников потребителей предусматривается в соответствии с их категорией минимальных затрат средств и электрооборудования. Применение резервных линий и трансформаторов, не несущих нагрузку, допускают, как исключение, при наличии технико-экономических обоснований. При реконструкции действующих сетей максимально используют существующие электросетевые сооружения.

### **2.2.2. Выбор или изменение категории надежности электроснабжения.**

В соответствии с правилами технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей к электрическим сетям, утвержденных постановлением Правительства РФ от 27.12.2004 № 861, категория надежности электроснабжения электроприемников потребителей определяется в процессе технологического присоединения энергопринимающих устройств к электрическим сетям. При этом потребитель самостоятельно определяет какая категория надежности энергоснабжения ему необходима.

"Технологическое присоединение энергопринимающих устройств в целях обеспечения надежного их энергоснабжения и качества электрической энергии может быть осуществлено по одной из трех категорий надежности. Отнесение энергопринимающих устройств заявителя (потребителя электрической энергии) к определенной категории надежности осуществляется заявителем самостоятельно.

Отнесение энергопринимающих устройств к первой категории надежности осуществляется в случае, если необходимо обеспечить непрерывный режим работы энергопринимающих устройств, перерыв снабжения электрической энергией которых может повлечь за собой угрозу жизни и здоровью людей, угрозу безопасности государства, значительный материальный ущерб. В составе первой категории надежности выделяется особая категория энергопринимающих устройств, бесперебойная работа которых необходима для безаварийной остановки производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров".

Однако, стоит понимать, что при выборе 2 или 1 категории надежности, стоимость подключения электричества возрастет в 2 раза относительно присоединения по 3 категории надежности: ведь для энергоснабжения по 1 или 2 категории необходимо два независимых источника питания и присоединение к каждому из них будет стоить примерно одинаково.

#### 4.3. Лабораторные работы

| <i>№<br/>п/п</i> | <i>Номер<br/>раздела<br/>дисциплины</i> | <i>Наименование тем<br/>Лабораторных работ</i>                                                                                 | <i>Объем<br/>(час.)</i> | <i>Вид<br/>занятия в<br/>интерактивной,<br/>активной,<br/>инновационной<br/>формах,<br/>(час.)</i> |
|------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                | 1.                                      | Исследование режимов работы трехфазной электрической цепи синусоидального тока при соединении фаз приемника по схеме «звезда». | 2                       | -                                                                                                  |
| 2                | 2.                                      | Исследование однофазного трансформатора                                                                                        | 2                       | Дискуссия (2 часа)                                                                                 |
| <b>ИТОГО</b>     |                                         |                                                                                                                                | <b>4</b>                | <b>2</b>                                                                                           |

#### 4.4. Семинары/ практические занятия

Учебным планом не предусмотрено.

#### 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено.

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

| <i>№, наименование разделов дисциплины</i> | <i>Компетенции</i> | <i>Кол-во часов</i> | <i>Компетенции</i> |           |           |           | <i>Σ комп.</i> | <i>t<sub>ср</sub>, час</i> | <i>Вид учебных занятий</i> | <i>Оценка результатов</i> |
|--------------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
|                                            |                    |                     | <i>ОПК</i>         | <i>ПК</i> |           |           |                |                            |                            |                           |
|                                            |                    |                     | <i>2</i>           | <i>1</i>  | <i>6</i>  | <i>8</i>  |                |                            |                            |                           |
| <b>1</b>                                   | <b>2</b>           | <b>3</b>            | <b>4</b>           | <b>5</b>  | <b>6</b>  | <b>7</b>  | <b>8</b>       | <b>9</b>                   | <b>10</b>                  |                           |
| <b>1. Электрические цепи</b>               |                    | 50                  | +                  | +         | -         | -         | 2              | 50                         | Лк, ЛР, СР                 | зачет                     |
| <b>2. Электроснабжение</b>                 |                    | 54                  |                    | -         | +         | +         | 2              | 54                         | Лк, ЛР, СР                 | зачет                     |
| <b>всего часов</b>                         |                    | <b>104</b>          | <b>25</b>          | <b>25</b> | <b>27</b> | <b>27</b> | <b>4</b>       | <b>26</b>                  |                            |                           |

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Емцев А.Н. Аппараты и схемы электрической части станций и подстанций: учебное пособие / В.А. Фадеев. – Братск: Изд-во БрГУ, 2014. – 254 с. (74-96, 126-130)
2. Титов, М. П. Электротехника: Учебник. / Г. А. Большанин. 2 – изд., испр. и доп. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2010. – 356 с. (стр. 253-281)

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| №                                | <i>Наименование издания</i>                                                                                                                                                                                                                                 | <i>Вид занятия<br/>(Лк, ЛР)</i> | <i>Количество экземпляров в библиотеке,<br/>шт.</i> | <i>Обеспеченность,<br/>(экз./ чел.)</i> |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1                                | 2                                                                                                                                                                                                                                                           | 3                               | 4                                                   | 5                                       |
| <b>Основная литература</b>       |                                                                                                                                                                                                                                                             |                                 |                                                     |                                         |
| 1                                | Емцев А.Н. Аппараты и схемы электрической части станций и подстанций: учебное пособие / В.А. Фадеев. – Братск: Изд-во БрГУ, 2014. – 254 с.                                                                                                                  | Лк, ЛР                          | 49                                                  | 1,0                                     |
| 2                                | Титов, М. П. Электротехника: Учебник. / Г. А. Большанин. 2 – изд., испр. и доп. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2010. – 356 с.                                                                                                                                    | Лк, ЛР                          | 219                                                 | 1,0                                     |
| 3                                | Кацман М. М. Электрические машины: учебник / М. М. Кацман. – 8-е изд., стереотип. – М.: Академия, 2008. – 496 с.                                                                                                                                            | Лк, ЛР                          | 98                                                  | 1,0                                     |
| <b>Дополнительная литература</b> |                                                                                                                                                                                                                                                             |                                 |                                                     |                                         |
| 4                                | Иванченко Г.Е. Электрооборудование в строительстве: учебное пособие / Г.Е. Иванченко. – М.: Высшая школа, 1986. – 176 с.: ил. – Б.ц.                                                                                                                        | Лк                              | 45                                                  | 1,0                                     |
| 5                                | Большанин Г. А. Теоретические основы электротехники. В 2-х ч. Ч. 1.: Учебное пособие. / Г. А. Большанин. – Братск: БрГУ, 2005. – 433 с.                                                                                                                     | Лк, ЛР                          | 57                                                  | 1,0                                     |
| 6                                | Иванов И.И. Электротехника и основы электроники: учебник / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. - 8-е изд., перераб. и доп. - Санкт-Петербург: Лань, 2016. - 730 с.<br><a href="http://e.lanbook.com/book/71749">http://e.lanbook.com/book/71749</a> | Лк, ЛР                          | 6+<br>ЭР                                            | 0,5                                     |
| 7                                | Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для вузов / Б.И. Кудрин. – 2-е изд. – Москва: Интернет Инжиниринг, 2006. – 672 с.                                                                                                            | Лк                              | 30                                                  | 1,0                                     |

## 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ  
[http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).
2. Электронная библиотека БрГУ  
<http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»  
<http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»  
<http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"  
<http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)  
<https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ  
<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение обучающимися учебной дисциплины «Электроснабжение с основами электотехники» рассчитано на один семестр.

### *Занятия лекционного типа*

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на выполнение самостоятельной работы. В ходе лекций обучающимся рекомендуется:

- вести конспектирование учебного материала;
- обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации по их применению;
- задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

В рабочих конспектах желательно оставлять поля, на которых во внеаудиторное время можно сделать пометки из учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся, дополняющего материал прослушанной лекции, а также пометки, подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Для успешного



овладения курсом необходимо посещать все лекции, так как тематически отдельные темы курса взаимосвязаны между собой. В случаях пропуска занятия обучающемуся необходимо самостоятельно изучить материал и ответить на контрольные вопросы по пропущенной теме во время индивидуальных консультаций.

#### *Лабораторные занятия*

При выполнении лабораторных работ необходимо соблюдать все указания преподавателя или учебно-вспомогательного персонала. Перед работой необходимо ознакомиться с методическими указаниями, оформить необходимые таблицы в тетради. После всех произведенных расчетов и выполненных графиков необходимо оформить отчет.

#### *Самостоятельная работа. Подготовка к зачету*

Подготовка к зачету предполагает:

- изучение основной и дополнительной литературы;
- изучение конспектов лекций;

Перечень вопросов к зачету представлен в приложении 1 п. 2. Баллы за зачет выставляются по критериям, представленным в приложении 1 п. 3.

### **9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ**

#### **Лабораторная работа № 1**

#### **Исследование режимов работы трехфазной электрической цепи синусоидального тока при соединении фаз приемника по схеме «звезда»**

Цель работы: изучение симметричных и несимметричных режимов работы трехфазных электрических цепей при соединении фаз приемников по схеме «звезда».

Краткие теоретические сведения.

Трехфазная электрическая цепь представляет собой совокупность трех однофазных электрических цепей, в которых действуют три одинаковых по величине ЭДС, сдвинутых по фазе на  $120^\circ$ .

Основные элементы трехфазной цепи - трехфазные генераторы и приемники электрической энергии - представляют собой совокупность групп однофазных элементов. Это могут быть фазовые обмотки генератора, электрических двигателей и т.п. На схеме (рис. 1.1) трехфазный генератор представлен совокупностью ЭДС  $\dot{E}_A, \dot{E}_B$  и  $\dot{E}_C$ , а приемник электрической энергии - совокупностью регистров, обладающих полными сопротивлениями, и .

Начала фазовых групп часто обозначают начальными буквами латинского алфавита (а, в, с), а концы - конечными буквами этого же алфавита (х, у, z соответственно).

Фазовые группы приемников электрической энергии могут образовывать самые различные соединения.

Соединение фазовых групп, при котором их концы соединены вместе, а начала пофазно соединены с выводами трехфазного генератора, называют соединением по схеме «звезда» (рис. 1.1).

Провод, соединяющий начала соответствующих фазовых групп генератора и приемника, называют линейным. Ток, протекающий по этому проводу, называют линейным. На рис. 1.1 это  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ .

Ток, протекающий по любой из фазовых групп, называют фазным. В рассматриваемом примере это токи  $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ .

Из рис. 1.1 нетрудно заметить, что  $\dot{I}_A = \dot{I}_a, \dot{I}_B = \dot{I}_b, \dot{I}_C = \dot{I}_c$ .

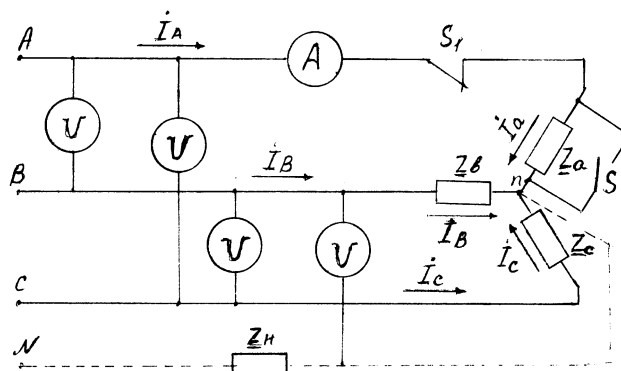


Рис. 1.1. Пример исполнения схемы трехфазной электрической цепи при соединении фаз приемника по схеме «звезда»

Отсюда вывод: при соединении фаз приемника по схеме «звезда» линейные и фазные токи одинаковы:  $\dot{I}_l = \dot{I}_\phi$ .

Разность потенциалов между началом и концом соответствующих фазовых групп называется фазным напряжением. На рис. 1.1 в качестве примера указано фазное напряжение  $U_{\phi(a)}$ .

Разность потенциалов между линейными проводами называется линейным напряжением. На рис. 1.1 показано линейное напряжение  $U_{BC}$ .

Узел, где при соединении фазовых групп по схеме «звезда» соединяются концы указанных групп, называется нейтральной точкой или просто нейтралью. Для генератора это точка  $N$ , для приемника -  $n$  (рис. 1.1).

Разность потенциалов между точками  $n$  и  $N$  называют напряжением смещения нейтрали или просто смещением нейтрали ( $U_{Nn}$ ).

Нередко нейтрали приемника и генератора соединяют между собой. Такие цепи называют трехфазными четырехпроводными. Дополнительный провод, соединяющий нейтрали генератора и приемника, обычно называют нейтральным. На рис. 1.1 он указан штриховой линией, а резистор  $Z_n$  иллюстрирует сопротивление этого провода.

Режимы работы трехфазных приемников электрической энергии делятся на симметричные и несимметричные.

Симметричный режим работы возможен лишь при равенстве сопротивлений фазовых групп:

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c \quad (1.1)$$

Сопротивления фазных обмоток трехфазных генераторов и линейных проводов обычно выполняют одинаковыми, поэтому фазные (линейные) токи, фазные и линейные напряжения при симметричном режиме работы равны между собой по модулю:

$$\begin{aligned} I_a &= I_b = I_c; \\ U_a &= U_b = U_c; \\ U_{AB} &= U_{BC} = U_{CA}. \end{aligned}$$

При несоблюдении условия (5.1) режим работы приемников электрической энергии будет несимметричным. Несимметричный режим может быть плановым, когда равенство (1.1) нарушается сознательно, и аварийным (обрыв провода, короткое замыкание).

При дальнейшем повествовании и при выполнении лабораторной работы будем считать сопротивления линейных проводов ничтожно малыми, учитывать которые нет смысла. Это допущение не нарушит в данном случае логику наших рассуждений и всей лабораторной работы в целом.

Трехфазная трехпроводная электрическая цепь.

1. Симметричный режим. В этом случае сопротивления фаз приемника одинаковы по величине и по характеру.

Здесь фазные напряжения по величине равны между собой и их векторы отличаются друг от друга на угол  $120^\circ$ . Эти напряжения практически равны соответствующим ЭДС генератора.

Линейные напряжения, равные векторной сумме соответствующих фазных напряжений, тоже равны по величине, а их векторы отличаются друг от друга на угол  $120^\circ$ . При симметричном режиме линейные напряжения превышают фазные по величине в  $\sqrt{3}$  раз:

$$U_l = \sqrt{3}U_\phi. \quad (1.2)$$

Фазные (линейные) токи определяются из закона Ома:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_a &= \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a}; \\ \dot{I}_b &= \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b}; \\ \dot{I}_c &= \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c}. \end{aligned} \right\}. \quad (1.3)$$

Угол сдвига между векторами соответствующих фазных напряжений и токов определяется характером сопротивлений фаз приемника.

Смещение нейтрали при симметричном режиме отсутствует:

$$U_{Nn} = 0.$$

Векторная диаграмма токов и напряжений трехфазной электрической цепи при указанном режиме работы приведена на рис. 1.2, а.

2. Несимметричный режим работы приемников электрической энергии в общем случае предполагает нарушение равенств (1.1). Фазные (линейные) токи в этом случае неодинаковы. Но равенство величин линейных напряжений сохраняется. Равенство (1.2) здесь нарушается. Напряжение смещения нейтрали при нарушении симметричного режима становится отличным от нуля и определяется по формуле

$$\dot{U}_{Nn} = \frac{\dot{E}_A \underline{Y}_a + \dot{E}_B \underline{Y}_b + \dot{E}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c}, \quad (1.4)$$

$$\text{где } \underline{Y}_a = \frac{1}{\underline{Z}_a}; \quad \underline{Y}_b = \frac{1}{\underline{Z}_b}; \quad \underline{Y}_c = \frac{1}{\underline{Z}_c}.$$

Фазные напряжения определяют из равенств:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_a &= \dot{E}_a - \dot{U}_{Nn}; \\ \dot{U}_b &= \dot{E}_b - \dot{U}_{Nn}; \\ \dot{U}_c &= \dot{E}_c - \dot{U}_{Nn}. \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

Фазные (линейные) токи определяются по формулам (1.3).

На рис. 1.2, б показана векторная диаграмма токов и напряжений трехфазной электрической цепи для общего случая несимметричного режима работы приемников электрической энергии.

Величина напряжения смещения нейтрали на векторной диаграмме характеризуется расстоянием между точками  $N$ , расположенными в геометрическом центре треугольника, образованного векторами линейных напряжений, и  $n$ . Положение точки  $n$  на векторной диаграмме можно определить пересечением дуг, проведенных из соответствующих вершин треугольника линейных напряжений радиусами, равными с учетом принятого масштаба ( $V/mm$ ) величинам фазных напряжений  $U_a, U_b, U_c$ . Векторы токов на векторной диаграмме (рис. 1.2,б) откладываются от точки  $n$ .

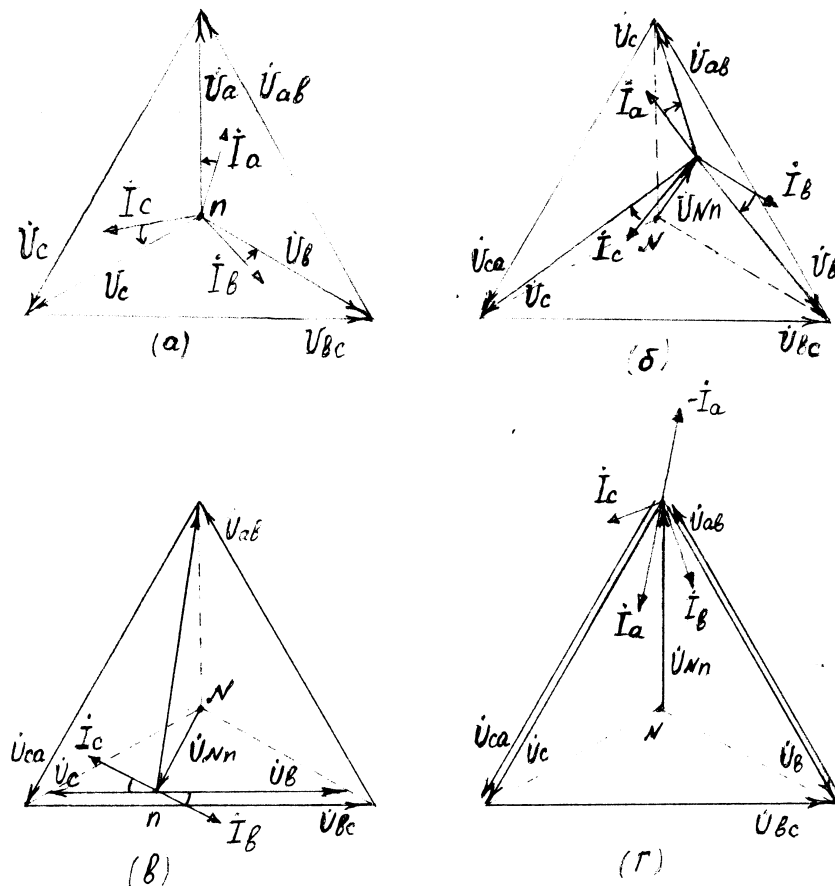


Рис. 1.2. Векторные диаграммы для возможных режимов работы трехфазной трехпроводной электрической цепи

3. Обрыв фазного провода (холостой ход соответствующей фазы). В этом случае ток в поврежденном проводе будет равен нулю. Токи в двух других фазных проводах будут равны между собой, поскольку оказываются включены последовательно на линейное напряжение. А рассматриваемая электрическая цепь из трехфазной превращается в двухфазную.

Для электрической цепи, изображенной на рис. 1.1, этот режим достигается размыканием ключа  $S_1$ .

На векторной диаграмме нейтральная точка приемника  $n$  смещается на одну из сторон треугольника, образованного векторами линейных напряжений (рис. 1.2, в). Фазное

напряжение в поврежденной фазе при этом возрастает, а в двух других уменьшается до тех пор, пока их арифметическая сумма не станет равна величине линейного напряжения.

4. Короткое замыкание фазы приемника. В этом случае напряжение на зажимах поврежденной фазы становится равным нулю, а величины фазных напряжений на двух других возрастают до величины линейного.

Токи в двух неповрежденных фазах определяются амперметром или по формулам, аналогичным равенствам (1.3). А ток поврежденной фазы, например фазы  $A$ , определяется из первого закона Кирхгофа:

$$I_a = -(I_b + I_c).$$

Нейтральная точка приемника на векторной диаграмме для указанного режима (рис. 1.2, г) сместится в вершину треугольника, образованного векторами линейных напряжений. Величина напряжения смещения нейтрали в этом случае будет равна фазному напряжению поврежденной фазы до ее повреждения.

Для электрической цепи, схема которой изображена на рис. 1.1, режим короткого замыкания фазы можно исполнить замыканием ключа  $S_2$ .

Трехфазная четырехпроводная электрическая цепь.

Четвертый (нейтральный) провод в трехфазной электрической цепи необходим для сохранения симметрии фазных напряжений. Симметрия фазных напряжений подразумевает равенство их величин.

Но в реальных случаях нейтральный провод может обладать значительным по величине сопротивлением, которое нельзя игнорировать. В этих случаях речь может идти лишь о некоторой степени выравнивания величин фазных напряжений. Это происходит за счет принудительного сокращения величины напряжения смещения нейтрали, которое здесь определяется так:

$$\dot{U}_{Nn} = \frac{\dot{E}_A \underline{Y}_a + \dot{E}_B \underline{Y}_b + \dot{E}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c + \underline{Y}_n},$$

где  $\underline{Y}_n = \frac{1}{Z_n}$ .

При симметричном режиме напряжение смещения нейтрали при любой конструкции трехфазной электрической цепи равно нулю и фазные напряжения не изменяют своих величин. Векторная диаграмма в указанных условиях остается неизменной (рис. 1.2, а).

При несимметричных режимах наличие нейтрального провода, обладающего ощутимым сопротивлением, вызывает лишь некоторое снижение величины напряжения смещения нейтрали и, как следствие этому, частичное выравнивание фазных напряжений. В этом случае векторные диаграммы отличаются от векторных диаграмм, изображенных на рис. 1.2, б, в, г, лишь сокращением величины вектора  $\dot{U}_{Nn}$ .

Если же нейтральный провод обладает настолько малым по сравнению с  $Z_a$ ,  $Z_b$  и  $Z_c$  сопротивлением  $Z_n$ , что его можно игнорировать, приравняв нулю, то напряжение смещения нейтрали оказывается равным нулю, а фазные напряжения - равными между собой при любом режиме.

Ток в нейтральном проводе определится как алгебраическая сумма фазных токов:

$$\dot{I}_n = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c.$$

При симметричном режиме ток в нейтральном проводе равен нулю, и необходимость в этом проводе исчезает.

Векторная диаграмма токов и напряжений для несимметричного режима при  $Z_n \approx 0$  показана на рис. 1.3, а. А для режима холостого хода (обрыв фазы  $A$ ) при этих же условиях - на рис. 1.3, б.

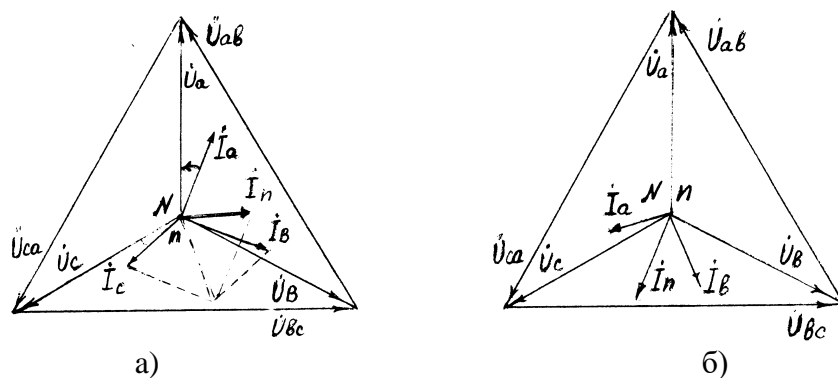


Рис. 1.3. Векторная диаграмма токов и напряжений трехфазной четырехпроводной электрической цепи при  $\underline{Z}_n \approx 0$  для несимметричного режима (а) и режима холостого хода (б)

Следует отметить, что при минимизации сопротивления нейтрального провода до нуля равенство (1.2) сохраняется при всех режимах работы трехфазной электрической цепи.

#### Описание лабораторной панели

На лабораторной панели представлены линейные и нейтральный провода трехфазной электрической цепи. Линейными проводами подключен источник трехфазной ЭДС. Кроме того, на панели помещены фазные приемники электрической энергии в виде набора резисторов, сопротивление которых можно принять чисто активным, и конденсатора, обладающего лишь емкостным сопротивлением.

Для включения измерительных приборов панель снабжена специальными гнездами.

#### Порядок выполнения:

1. Собрать трехфазную трехпроводную электрическую цепь (рис. 1.4).

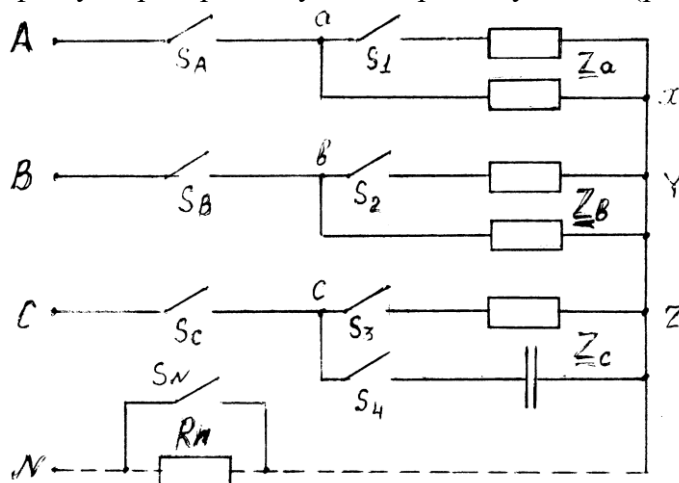


Рис. 1.4. Схема для исследования трехфазной электрической цепи

2. Установить симметричную нагрузку и измерить фазные (линейные) токи, фазные и линейные напряжения, а также напряжение смещения нейтрали. Вычислить сопротивления нагрузок фаз. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 1.1.

3. Установить несимметричную однородную (одинаковый характер фазных нагрузок) нагрузку и повторить измерения и вычисления п.2. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 1.1.

4. Установить несимметричную неоднородную нагрузку, включив в фазу С конденсатор и повторить измерения и вычисления п.2. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1

## Характеристики и параметры трехфазной трехпроводной электрической цепи

| Режимы работы цепи                 | ИЗМЕРЕНО |          |          |       |       |       |          |       |       |       | Вычислено |       |       |
|------------------------------------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|                                    | $U_{AB}$ | $U_{BC}$ | $U_{CA}$ | $U_a$ | $U_b$ | $U_c$ | $U_{Nn}$ | $I_a$ | $I_b$ | $I_c$ | $Z_a$     | $Z_b$ | $Z_c$ |
|                                    | В        |          |          |       |       |       | А        |       |       |       | Ом        |       |       |
| Симметричная нагрузка              |          |          |          |       |       |       |          |       |       |       |           |       |       |
| Несимметрич. однородная нагрузка   |          |          |          |       |       |       |          |       |       |       |           |       |       |
| Несимметрич. неоднородная нагрузка |          |          |          |       |       |       |          |       |       |       |           |       |       |
| Обрыв фазного провода              |          |          |          |       |       |       |          |       |       |       |           |       |       |
| Короткое замыкание фазы            |          |          |          |       |       |       |          |       |       |       |           |       |       |

5. Установить однородную нагрузку фаз.

6. Отключить один из фазных проводов и повторить измерения и вычисления п.2.

Результаты занести в табл. 1.1.

7. Восстановить трехфазную трехпроводную цепь.

8. Выполнить короткое замыкание одной из фаз и повторить измерения и вычисления п.2. Результаты занести в табл. 1.1.

9. По данным таблицы 5.1 построить векторные диаграммы напряжений и токов для каждого режима работы цепи, указанного в таблице.

10. Подключить идеализированный (не обладающий сопротивлением) нейтральный провод, который показан на рис. 1.4 штриховой линией. Сопротивление  $R_N$  должно быть замкнуто накоротко.

11. Установить симметричную нагрузку. Измерить линейные и фазные напряжения, фазные (линейные) токи и ток в нейтральном проводе. Вычислить величины сопротивлений фазных нагрузок. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Характеристики и параметры трехфазной четырехпроводной цепи при  $R_N=0$ 

| Режимы работы цепи                 | ИЗМЕРЕНО |          |          |       |       |       |       |       |       |       | Вычислено |       |       |
|------------------------------------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|                                    | $U_{AB}$ | $U_{BC}$ | $U_{CA}$ | $U_a$ | $U_b$ | $U_c$ | $I_a$ | $I_b$ | $I_c$ | $I_n$ | $Z_a$     | $Z_b$ | $Z_c$ |
|                                    | В        |          |          |       |       |       | А     |       |       |       | Ом        |       |       |
| Симметричная нагрузка              |          |          |          |       |       |       |       |       |       |       |           |       |       |
| Несимметрич. однородная нагрузка   |          |          |          |       |       |       |       |       |       |       |           |       |       |
| Несимметрич. неоднородная нагрузка |          |          |          |       |       |       |       |       |       |       |           |       |       |
| Обрыв фазного провода              |          |          |          |       |       |       |       |       |       |       |           |       |       |

12. Установить несимметричную однородную нагрузку и повторить измерения и вычисления п.11. Результаты занести в табл. 1.2.

13. Установить несимметричную неоднородную нагрузку и повторить измерения и вычисления п.11. Результаты занести в табл. 1.2.
14. Установить однородную нагрузку фаз.
15. Отключить один из фазных проводов и повторить измерения и вычисления п.11. Результаты занести в табл. 1.2.
15. По данным табл. 1.2 построить векторные диаграммы напряжений и токов для каждого режима работы цепи, указанного в таблице.
17. Восстановить трехфазную четырехпроводную электрическую цепь.
18. Включить в нейтральный провод резистор  $R_N$ .
19. Установить симметричную нагрузку. Измерить линейные и фазные напряжения, напряжение смещения нейтрали, фазные (линейные) токи и ток в нейтральном проводе. Вычислить величины сопротивлений фазных нагрузок. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 45.1.
20. Установить несимметричную однородную нагрузку и повторить измерения и вычисления п.19. Результаты занести в табл. 1.3.
21. Установить несимметричную неоднородную нагрузку и повторить измерения и вычисления п.19. Результаты занести в таблицу 1.3.
22. Отключить один из фазных проводов и повторить измерения и вычисления п.19. Результаты занести в табл. 1.3.
23. По данным табл. 1.3 построить векторные диаграммы напряжений и токов для каждого режима работы цепи, указанного в таблице.
24. Сформулировать выводы по работе.

Таблица 1.3

Характеристики и параметры трехфазной четырехпроводной цепи при  $R_N \neq 0$ 

| Режимы работы цепи                 | ИЗМЕРЕНО |          |          |       |       |       |          |          |       |       |       | ВЫЧИСЛЕНО |       |       |
|------------------------------------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|                                    | $U_{AB}$ | $U_{BC}$ | $U_{CA}$ | $U_a$ | $U_b$ | $U_c$ | $U_{Nn}$ | $I_a$    | $I_b$ | $I_c$ | $I_n$ | $Z_a$     | $Z_b$ | $Z_c$ |
|                                    | <i>B</i> |          |          |       |       |       |          | <i>A</i> |       |       |       | <i>Om</i> |       |       |
| Симметричная нагрузка              |          |          |          |       |       |       |          |          |       |       |       |           |       |       |
| Несимметрич. однородная нагрузка   |          |          |          |       |       |       |          |          |       |       |       |           |       |       |
| Несимметрич. неоднородная нагрузка |          |          |          |       |       |       |          |          |       |       |       |           |       |       |
| Обрыв фазного провода              |          |          |          |       |       |       |          |          |       |       |       |           |       |       |

Форма отчетности:

1. Цель работы.
2. Схема экспериментальной электрической цепи.
3. Таблицы результатов измерений и вычислений по программе работы.
4. Рабочие формулы.
5. Векторные диаграммы напряжений и токов, выполненные в масштабе по программе работы.
5. Выводы по работе.

## Основная литература

1. Титов, М. П. Электротехника: Учебник. / Г. А. Большанин. 2 – изд., испр. и доп. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2010. – 356 с.

## Дополнительная литература



1. Большанин Г. А. Теоретические основы электротехники. В 2-х ч. Ч. 1.: Учебное пособие. / Г. А. Большанин. – Братск: БрГУ, 2005. – 433 с.

2. Иванов И.И. Электротехника и основы электроники: учебник / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. - 7-е изд., перераб. и доп. - Санкт-Петербург: Лань, 2012. - 736 с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Назвать области применения трехпроводных и четырехпроводных трехфазных цепей.
2. Каково назначение нейтрального провода?
3. Каковы основные соотношения между фазными и линейными напряжениями и токами при различных режимах работы трехфазной цепи.
4. Пояснить порядок построения векторных диаграмм токов и напряжений.
5. Как определить характер фазных нагрузок по векторным диаграммам токов и напряжений?

### **Лабораторная работа №2**

#### **Лабораторная работа проводится в форме дискуссии**

#### **Исследование однофазного трансформатора**

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципом действия однофазного трансформатора. Опытным путем исследовать работу трансформатора на холостом ходу, при коротком замыкании и под нагрузкой. Построить рабочие характеристики.

#### Краткие теоретические сведения

Трансформатор представляет собой статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования посредством магнитного поля электрической энергии переменного тока одного напряжения в электрическую энергию переменного тока другого напряжения с условием сохранения частоты.

Трансформаторы получили широкое распространение при передаче электрической энергии на большие расстояния и для распределения энергии между ее потребителями. Трансформаторы, используемые в системе электроснабжения для обеспечения электроэнергией основных потребителей, называются силовыми. Они могут быть повышающими и понижающими. От синхронных генераторов на электрических станциях обычно получают электрическую энергию напряжением порядка 10 кВ при токе порядка десятков кА. Электрическую энергию, характеризующуюся такими токами, неэкономично передавать на большие расстояния из-за значительных в этом случае потерь активной мощности в линии, равной  $\Delta P = 3I^2 R$ . Поэтому с помощью повышающих трансформаторов ток, передаваемый в линию электропередачи, понижают – при условии соответствующего повышения напряжения, с целью уменьшения потерь в линии. На месте потребления, с помощью понижающих трансформаторов, напряжение уменьшается до нужной величины. Область применения трансформаторов очень широка. Они применяются в электротермических установках, преобразовательных устройствах, в радиотехнике, устройствах автоматического управления, электродуговой сварке. Условное изображение трансформаторов представлено на рис. 2.1,б,в.

Трансформатор состоит из замкнутого ферромагнитного сердечника – магнитопровода 1, (рис. 2.1,а), на котором размещены две обмотки: первичная 1, к которой подводят напряжение  $U_1$  от источника питания (она имеет число витков  $w_1$ ), и вторичная 2, к которой подключают потребителей на напряжение  $U_2$  (с числом витков  $w_2$ ). Начала обмотки обычно обозначают А и а, концы Х и х.

Для уменьшения потерь мощности на нагревание стали за счет *гистерезиса* и вихревых токов магнитопровод трансформаторов собирают из листов электротехнической

стали толщиной 0,35 – 0,5 мм, изолированных друг от друга бумажной или лаковой изоляцией.

По типу или конфигурации магнитопровода трансформаторы подразделяют на стержневые, броневого и прочие. Горизонтальные части магнитопровода 1, 2 (рис. 2.1 а) называют ярмом, а вертикальные 3 – стержнем. Магнитопровод броневого типа применяется для сухих трансформаторов малой мощности. Наружные броневого стержни этого магнитопровода частично защищают обмотки трансформатора от механических повреждений.

Обмотки трансформаторов обычно выполняют из медного изолированного круглого или прямоугольного сечения провода. По способу охлаждения трансформаторы делятся на сухие (серия ТС) и масляные (серия ТМ).

Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции. Под действием переменного напряжения  $U_1$  по виткам первичной обмотки протекает переменный ток  $I_1$ , создающий переменную намагничивающую силу  $F_1 = I_1 w_1$ , которая, в свою очередь, создает переменный основной магнитный поток  $\Phi$  (рис. 2.1 а), замыкающийся по стальному магнитопроводу. Замыкаясь, магнитный поток  $\Phi$  оказывается сцепленным как с первичной, так и с вторичной обмотками и наводит в обеих обмотках электродвижущие силы, действующие значения которых равны:

$$E_1 = 4.44 f_1 w_1 \hat{O}_m; \quad E_2 = 4.44 f_2 w_2 \hat{O}_m,$$

где  $\Phi_m$  – амплитуда магнитного потока;  $f_1$  – частота сети переменного тока;  $w_1$  и  $w_2$  – соответственно число витков первичной и вторичной обмоток.

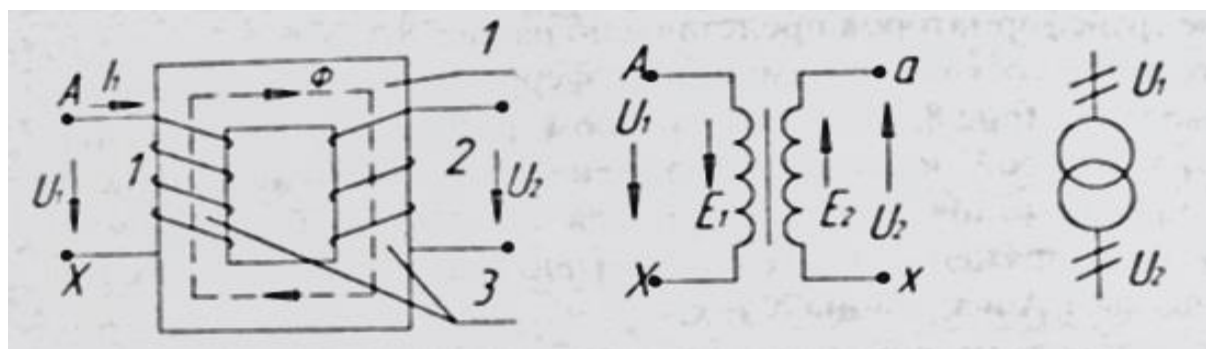


Рис. 2.1. Графические обозначения трансформатора

Таким образом, при подключении первичной обмотки трансформатора к источнику переменного тока на зажимах вторичной обмотки индуцируется переменная ЭДС  $E_2$ , вторичная обмотка становится источником питания и к ней можно присоединить какой-либо электроприемник.

Основные параметры, характеризующие трансформатор:

- номинальная мощность  $S_H$ , ВА – указывается в паспорте;
- номинальные напряжения: первичной обмотки  $U_{1H}$ , В, вторичной обмотки  $U_{2H}$ , В – указывается в паспорте;
- номинальные токи: первичной обмотки  $I_{1H}$ , А, вторичной обмотки  $I_{2H}$ , А, которые определяются для однофазного трансформатора по формулам:

$$I_{1H} = \frac{S_H}{U_{1H}}; \quad I_{2H} = \frac{S_H}{U_{2H}};$$

- коэффициент трансформации, представляющий отношение ЭДС, наводимых в первичной и вторичной обмотках трансформатора, или отношение количества витков  $w_1$  и  $w_2$  этих обмоток:

$$k_{\delta\delta} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}.$$

Величину коэффициента трансформации можно определить с достаточной точностью из опыта холостого хода (когда вторичная обмотка разомкнута,  $I_2=0$  и  $I_1$  очень мал) как отношение

$$k_{\delta\delta} \approx \frac{U_{10}}{U_{20}}.$$

- коэффициент полезного действия  $\eta$  определяют как отношение активной мощности, получаемой потребителем, к активной мощности, потребляемой трансформатором из сети:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \sum \Delta P} = 1 - \frac{\sum \Delta P}{P_2},$$

где  $\sum \Delta P$  – активная мощность потерь (потери мощности) в трансформаторе.

- коэффициент нагрузки трансформатора:

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}.$$

Основные рабочие характеристики трансформатора (снимаются при постоянных значениях  $U_{1H}$  и частоты сети  $f_1$ ):

$$U_2 = f(\beta); \quad \eta = f(\beta); \quad \cos \varphi_1 = f(\beta);$$

$$\Delta U_2 = \frac{U_{2H} - U_2}{U_{2H}} \cdot 100\% = f(\beta),$$

где  $\cos \varphi_1$  – коэффициент мощности первичной цепи.

Зависимость напряжения  $U_2$  от тока нагрузки  $I_2$  или от коэффициента нагрузки  $\beta$  называется внешней характеристикой трансформатора. Внешняя характеристика дает возможность определить изменение напряжения  $U_2$  при увеличении нагрузки от холостого хода до номинальной и более.

Опыт холостого хода трансформатора.

Это такой режим работы трансформатора, при котором к первой обмотке подведено номинальное напряжение  $U_{1H}$ , а вторичная обмотка разомкнута.

Измерения, проведенные при опыте холостого хода, позволяют определить:

– номинальное напряжение на зажимах вторичной обмотки:  $U_{20} = U_{2H}$ ;

– коэффициент трансформации:  $k_{tp} \approx \frac{U_{1H}}{U_{2H}}$ ;

- ток холостого хода  $I_{10}$ , подсчитывается в процентах от номинального тока первичной обмотки  $I_{1H}$ :  $I_{10\%} = \frac{I_{10}}{I_{1H}} \cdot 100\%$ ;
- активную мощность  $P_0$ , потребляемую трансформатором из сети на покрытие потерь в сердечнике;
- параметры намагничивающего контура схемы замещения трансформатора на холостом ходу (рис. 2.2):

$$Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_{10}}; \quad R_0 = \frac{P_0}{I_{10}^2}; \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2};$$

- коэффициент мощности  $\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 I_{10}}$ .

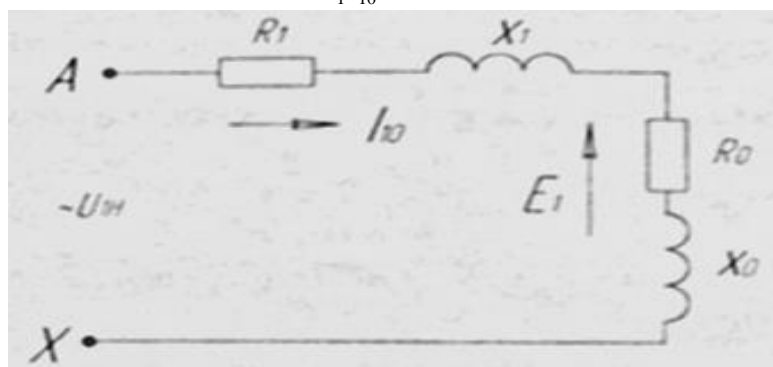


Рис. 2.2. Г-образная схема замещения трансформатора

В этом режиме работы к первичной обмотке трансформатора подводится номинальное напряжение  $U_{1H}$ , а вторичная обмотка замыкается на сопротивление нагрузки. Мощность, потребляемая трансформатором из сети:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1.$$

А мощность, отдаваемая во внешнюю цепь:

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2.$$

Величина тока  $I_2$  и его сдвиг по фазе  $\varphi_2$  по отношению к напряжению  $U_2$  зависит от величины и характера сопротивления нагрузки  $Z_H = \sqrt{R_H^2 + X_H^2}$ .

Работа трансформатора под нагрузкой.

Нагрузки трансформатора оценивают коэффициентом нагрузки  $\beta$  и определяют как отношение токов:

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}.$$

Важнейшей характеристикой трансформатора является его внешняя характеристика. Это зависимость  $U_2 = f(\beta)$  при  $U_1 = U_{1H} = const, f_1 = const$ , (рис. 2.3).

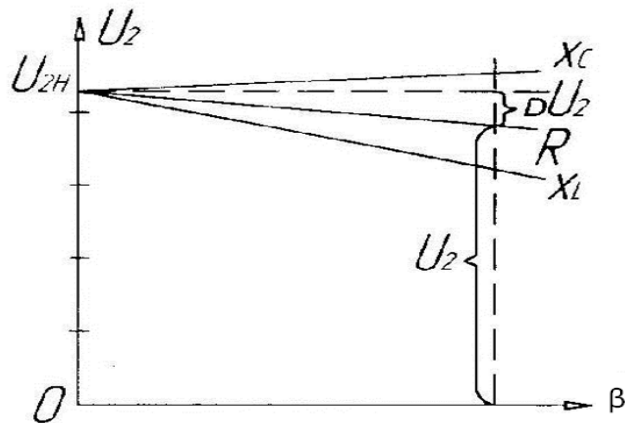


Рис. 2.3. Внешние характеристики трансформатора

Внешние характеристики трансформатора зависят от характера нагрузки.

Работа трансформатора под нагрузкой позволяет снять внешнюю характеристику трансформатора и определить КПД трансформатора:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% .$$

Опыт короткого замыкания.

Для проведения опыта вторичную обмотку замыкают накоротко при первичном напряжении, пониженным регулятором напряжения до такой величины, при которой токи в обмотках будут равны номинальным, т.е. паспортным:  $I_1 = I_{1H}$ ;  $I_2 = I_{2H}$ .

Напряжение  $U_{1k}$ , при котором проводится опыт короткого замыкания, называется абсолютным напряжением короткого замыкания.

Отношение этого напряжения к первичному номинальному, выражению в процентах, называется относительным напряжением короткого замыкания  $U_k$ :

$$U_k = \frac{U_{1k}}{U_1} \cdot 100\% .$$

Обычно  $U_k$  имеет значение (5.5 – 10.5)%  $U_{1H}$ .

Можно определить активную  $U_{ак}$  и индуктивную  $U_{рк}$  составляющие относительного напряжения короткого замыкания в процентах

$$U_{ак} = \frac{R_k I_{1k}}{U_{1H}} \cdot 100\% = \frac{P_{к.Н}}{S_H} \cdot 100\% ,$$

где

$$R_k = \frac{P_{к.Н}}{I_{1H}^2} ;$$

$$U_{рк} = \sqrt{U_k^2 - U_{ак}^2} .$$

Поскольку опыт короткого замыкания проводится при напряжении, пониженном в 10-20 раз по сравнению с номинальным, а ток вторичной обмотки действует размагничивающе, то здесь можно пренебречь мощностью потерь в стали и считать, что трансформатор потребляет из сети в этом режиме лишь мощность, расходуемую на нагрев обмоток (потери мощности в меди):

$$P_{k.H} = P_M = I_{2H}^2 R_2 = U_{1k} I_{1H} \cos \varphi_k$$

Если потери мощности в стали в этом режиме постоянны (при  $U_{1k} = const$ ), то потери мощности в меди являются переменными.

Введя коэффициент нагрузки  $\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}$ , можно выразить мощность потерь в меди в режиме отличном от номинального  $P_k = \beta^2 P_{k.H}$ . При  $\beta = 0$  (холостой ход),  $P_k = 0$ , а при  $\beta = 1$  (номинальная нагрузка или опыт короткого замыкания),  $P_k = P_{k.H}$ .

На рис. 2.4 показаны зависимости потерь холостого хода  $P_0$  и короткого замыкания  $P_k$ , а также КПД в зависимости от коэффициента нагрузки  $\beta$ .

Из опыта короткого замыкания определяются номинальная мощность потерь в обмотках трансформатора  $P_{k.H}$  и параметры его обмоток, а также напряжение короткого замыкания  $U_k$  и токи в аварийном режиме короткого замыкания:

$$I_{1k} = \frac{U_{1H}}{Z_k}; \quad I_{2k} = k_{од} I_{2H},$$

где

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}; \quad R_k = R_1 + R'_2; \quad X_k = X_1 + X'_2;$$

$\left. \begin{array}{l} R'_2 = k_{mp}^2 R_2; \\ X'_2 = k_{mp}^2 X_2. \end{array} \right\}$  – активные и индуктивные сопротивления вторичной обмотки трансформатора,

приведенные к первичной обмотке.

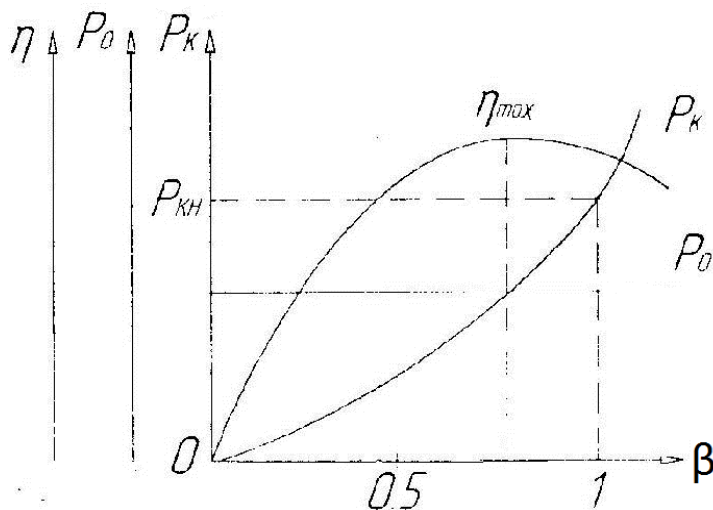


Рис. 2.4. Характеристики трансформатора

#### Описание лабораторной установки

Эксперименты выполняются на лабораторном оборудовании компьютерного исполнения с использованием мультиметров и аналоговых электроизмерительных приборов. Электрические цепи собираются на монтажном плато.

В экспериментах используются: регулируемый автотрансформатор А1 (модуль 318.1), трехфазная трансформаторная группа А2 (модуль 347.1), блок мультиметров Р1 (модуль 508.2), измеритель мощностей Р2 (модуль 507.2), реостат А13 (модуль 323.3). В качестве нагрузки трансформатора рекомендуется использовать дополнительный реостат  $R \approx 1400 \text{ Ом}$ .

## Порядок выполнения работы

Опыт холостого хода

1. Ознакомиться с оборудованием, используемым в серии экспериментов по исследованию однофазного трансформатора.
2. Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
3. Соединить гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" автотрансформатора А1 (модуль 318.1).
4. Соединить электрическим шнуром приборную вилку электропитания «220В» автотрансформатора А1 (модуль 318.1) с розеткой однофазной трехпроводной электрической сети питания напряжением 220В (выполняется преподавателем).
5. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений, изображенной на рис. 2.5.
6. К вторичной обмотке трансформатора подключить вольтметр.
7. Повернуть регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 (модуль 318.1) в крайнее против часовой стрелки положение.
8. Включить выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.
9. Активизировать мультиметры блока Р1 (модуль 508.2), задействованные в эксперименте.
10. Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1(модуль 318.1), установить номинальное напряжение на первичной обмотке трансформатора и выполнить измерение на вторичной обмотке.
11. Отключить выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.
12. По формуле

$$k_{mp} = \frac{U_1}{U_2}$$

рассчитать коэффициент трансформации исследуемого трансформатора.

13. Включить выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.
14. Активизировать мультиметры блока Р1(модуль 508.2), задействованные в эксперименте.
15. Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1(модуль 318.1), изменять напряжение  $U$  на выводах первичной и вторичной обмоток испытуемого однофазного трансформатора в диапазоне 0...220В и занести показания вольтметра Р6.1 (напряжение  $U$ ) и амперметра Р6.2 (ток  $I_0$  первичной обмотки трансформатора), а также ваттметра и варметра измерителя Р2 (модуль 507.2) – активная  $P_0$  и реактивная  $Q_0$  мощности, потребляемые трансформатором в таблицу 2.6.
16. Отключить выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.
17. Используя данные таблицы 2.1, вычислить соответствующие напряжению  $U$  значения коэффициента мощности по формуле

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}};$$

Занесите полученные результаты в таблицу 2.1.

12. Используя данные таблицы 2.1, построить характеристики холостого хода  $I_0=f(U)$ ,  $P_0=f(U)$ ,  $\cos\varphi_0=f(U)$  однофазного трансформатора.

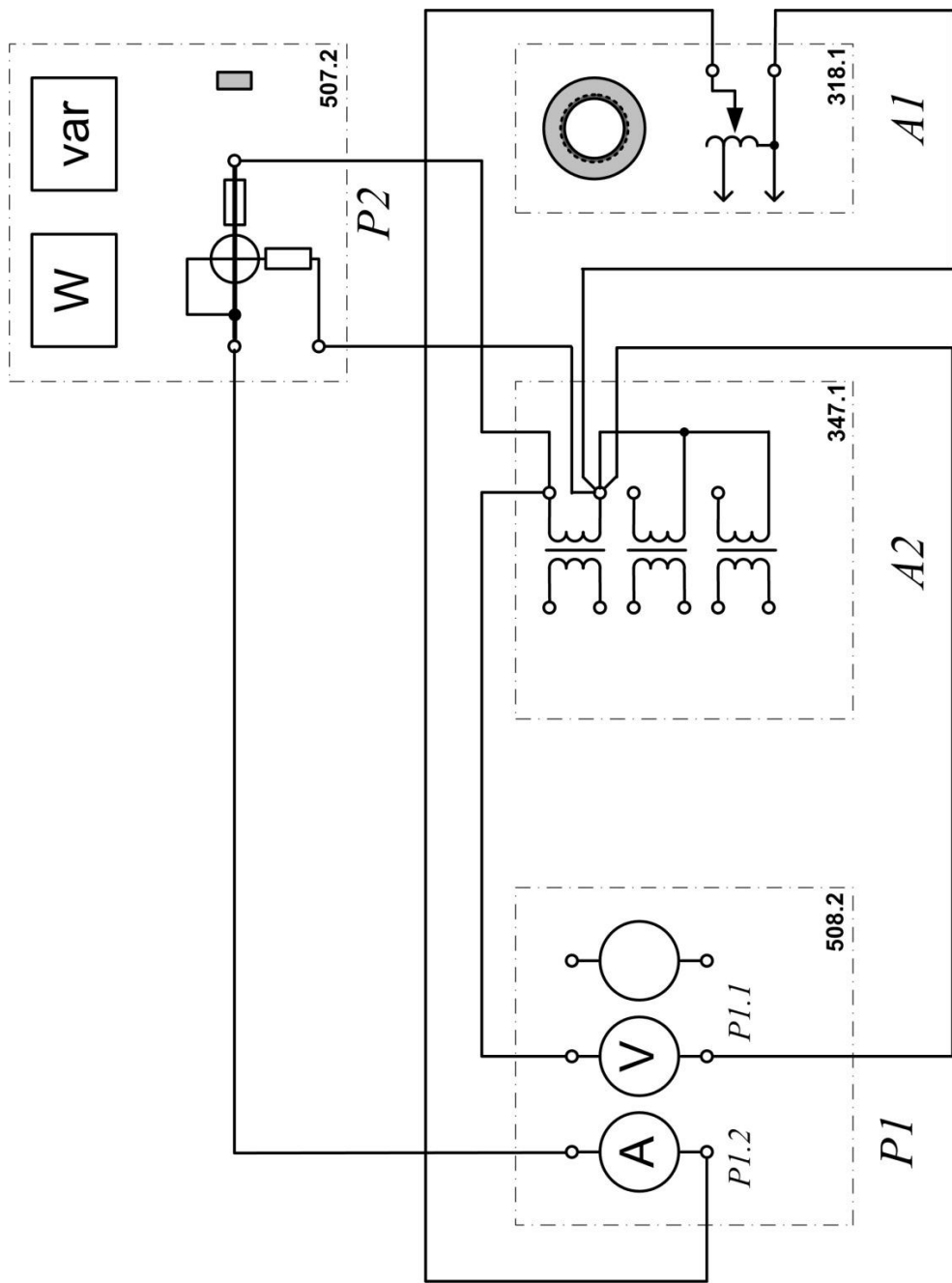


Рис. 2.5. Схема опыта холостого хода однофазного трансформатора



Таблица 2.1

|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $U_1, В$         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $U_2, В$         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $I_0, мА$        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $P_0, Вт$        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $Q_0, Вт$        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $\cos \varphi_0$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## Опыт короткого замыкания

1. Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соединить гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" автотрансформатора А1(модуль 318.1).

3. Соединить электрическим шнуром приборную вилку электропитания «220В» автотрансформатора А1(модуль 318.1) с розеткой однофазной **трехпроводной** электрической сети питания напряжением 220В (выполняется преподавателем).

4. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений, изображенной на рис. 2.6.

5. Повернуть регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 (модуль 318.1) в крайнее против часовой стрелки положение.

6. В трехфазной трансформаторной группе А2 (модуль 347.1) переключателем установить желаемое номинальное вторичное напряжение трансформатора, например, 127 В.

7. Установить суммарное сопротивление реостата А13 (модуль 323.3) равным 200 Ом.

8. Включить выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

9. Активизировать мультиметры блока Р1(модуль 508.2), задействованные в эксперименте.

10. Медленно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 (модуль 318.1) по часовой стрелке, увеличивать ток  $I_K$  первичной обмотки испытуемого однофазного трансформатора до тех пор пока показания амперметра Р6.2 не достигнут **0,5А (не более!)** и занести показания амперметра Р6.2 (ток  $I$ ), вольтметра Р6.1 (напряжение  $U$ ), а также ваттметра и варметра измерителя Р2 (модуль 507.2) – активная  $P_K$  и реактивная  $Q_K$  мощности, потребляемые трансформатором в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

|           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $I_K, А$  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $U, В$    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $P_K, Вт$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

11. Отключить выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

12. Используя данные таблицы 2.2, построить характеристики короткого замыкания  $I_K=f(U)$ ,  $P_K=f(U)$  однофазного трансформатора.

## Работа однофазного трансформатора с нагрузкой

1. Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соединить гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" автотрансформатора А1 (модуль 318.1).

3. Соединить электрическим шнуром приборную вилку электропитания «220В» автотрансформатора А1(модуль 318.1) с розеткой однофазной **трехпроводной** электрической сети питания напряжением 220В (выполняется преподавателем).

4. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений, изображенной на рис. 2.6.

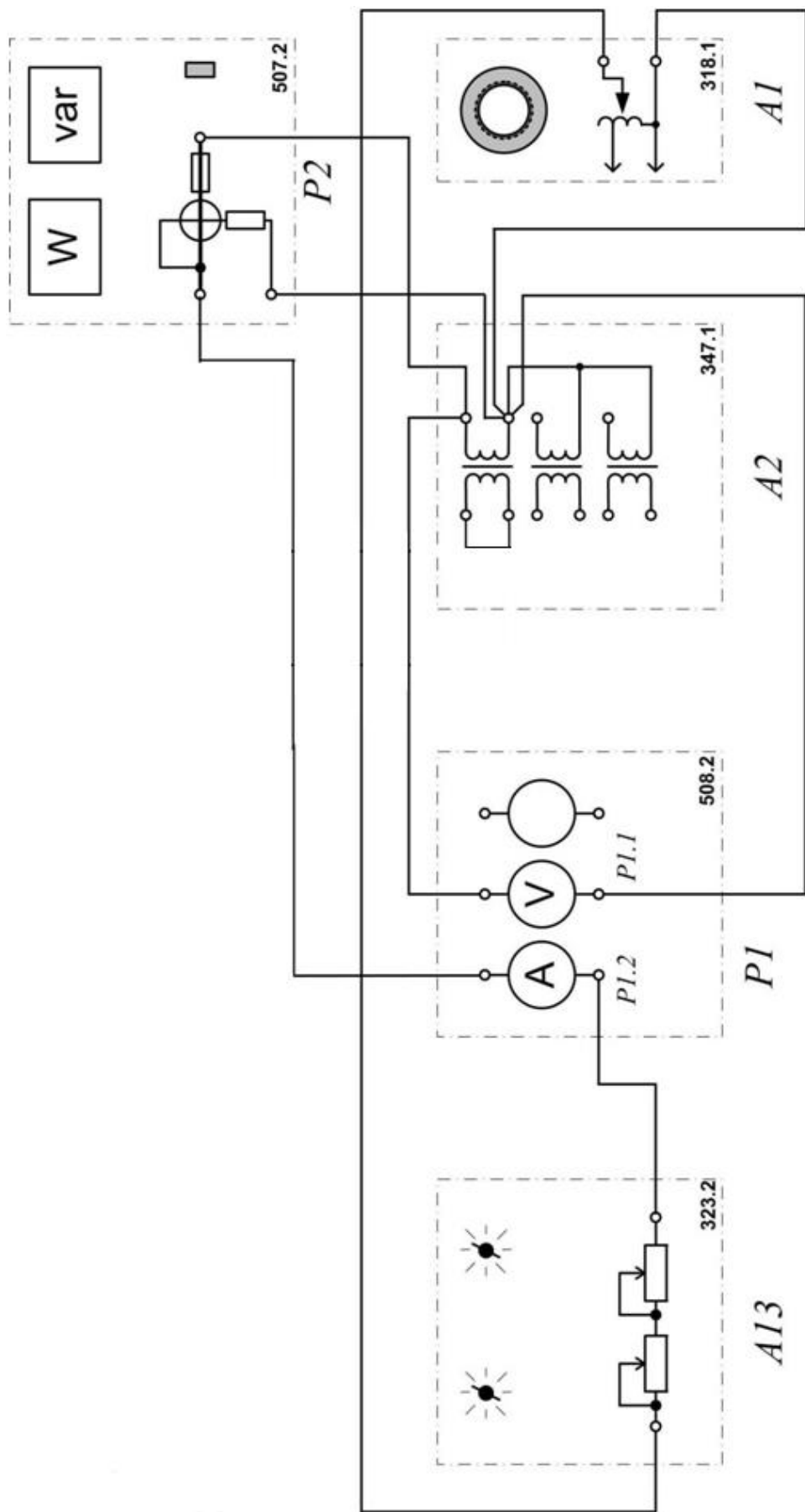


Рис. 2.5. Схема опыта короткого замыкания для однофазного трансформатора

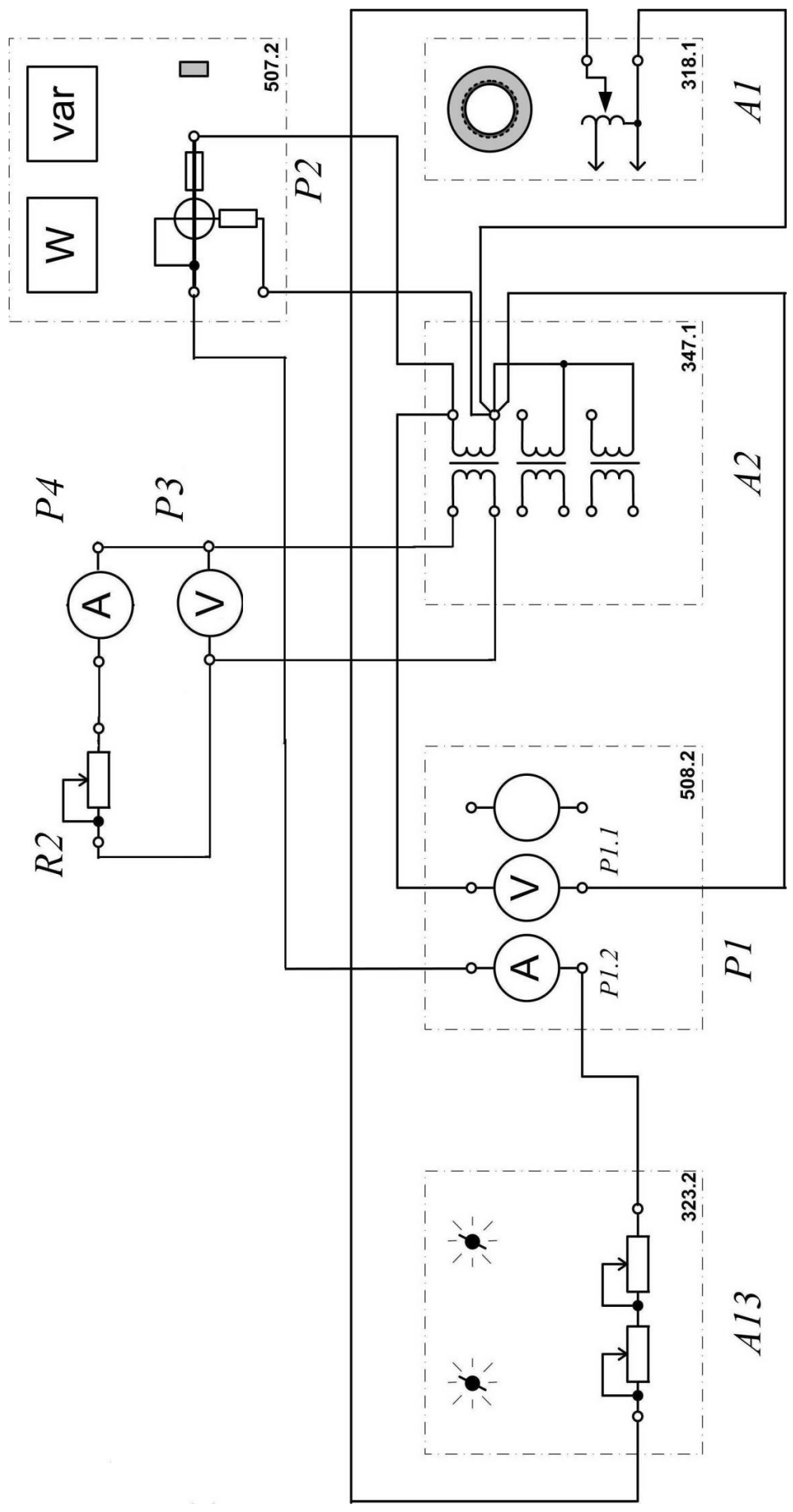


Рис. 5.7. Схема экспериментальной установки для исследования работы однофазного трансформатора под нагрузкой

Разомкнуть выводы вторичной обмотки трансформатора и подключить к ним в качестве нагрузки дополнительный реостат  $R2$  ( $R \approx 1400 \text{ Ом}$ ), вольтметр  $P3$  и амперметр  $P4$ . Полученную схему эксперимента можно представить укрупнено так, как показано на рис. 2.7.

5. Повернуть регулировочную рукоятку автотрансформатора  $A1$  (модуль 318.1) в крайнее против часовой стрелки положение.

6. В трехфазной трансформаторной группе  $A2$  (модуль 347.1) переключателем установить желаемое номинальное вторичное напряжение трансформатора, например, 127 В.

7. Установить суммарное сопротивление реостата  $A13$  (модуль 323.3) равным 100 Ом.

8. Рассчитать номинальный ток вторичной обмотки трансформатора по формуле

$$I_{2\text{ном}} = \frac{S_{\text{ф.ном}}}{U_{2\text{ном}}},$$

где  $S_{\text{ф.ном}}$  – номинальная мощность фазы трансформатора, равная 80 ВА;  $U_{2\text{ном}}$  – установленное на блоке  $A2$  номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора.

9. Используя известный  $I_{2\text{ном}}$  и заданные значения  $\beta$ , рассчитать  $I_2$  по уравнению 5  $I_2 = \beta I_{2\text{ном}}$ , записать полученные значения в табл. 2.3.

10. Установить наибольшее сопротивление реостата  $R2$ , использующегося в качестве нагрузки.

11. Включить выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

12. Активизировать мультиметры блока  $P1$  (модуль 508.2), а также ваттметр и варметр измерителя  $P2$  (модуль 507.2), задействованные в эксперименте.

13. Уменьшая сопротивление нагрузочного реостата  $R2$ , устанавливая поочередно табличные значения  $I_2$ , снять показания приборов и записать их в табл. 2.3. При проведении опыта напряжение на зажимах первичной обмотки трансформатора следует поддерживать неизменным  $U_{1H} = \text{const}$ .

14. Отключить выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

15. Для построения рабочих характеристик вычислить по уравнениям:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{U_1 I_1};$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2,$$

где  $\cos \varphi_2 = 1$ ;

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{U_2 I_2}{P_1} \cdot 100\% ;$$

$$\Delta U_2 = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100\% .$$

где  $U_{20}$  – напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора при  $\beta = 0$ .

Результаты занести в табл. 2.3.

16. По данным таблицы 2.3 построить рабочие характеристики трансформатора:  $U_2 = f(\beta)$ ,  $\eta = f(\beta)$ ,  $\cos \varphi_1 = f(\beta)$ ,  $\Delta U_2 = f(\beta)$ .

17. Построить внешнюю характеристику  $U_2 = f(I_2)$ .

18. Сделать выводы по работе.

Таблица 2.3

| $\beta$ | ИЗМЕРЕНО |       |       |       | ВЫЧИСЛЕНО      |       |        |              |
|---------|----------|-------|-------|-------|----------------|-------|--------|--------------|
|         | $I_1$    | $I_2$ | $U_2$ | $P_1$ | $\cos \varphi$ | $P_2$ | $\eta$ | $\Delta U_2$ |
|         | А        | А     | В     | Вт    |                | Вт    | %      | % –          |
| 0       |          |       |       |       |                |       |        |              |
| 0.25    |          |       |       |       |                |       |        |              |
| 0.5     |          |       |       |       |                |       |        |              |
| 0.75    |          |       |       |       |                |       |        |              |
| 6.0     |          |       |       |       |                |       |        |              |

Форма отчетности:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Схема экспериментальной установки для выполнения опыта холостого хода трансформатора.
4. Таблица измерений и вычислений результатов опыта холостого хода трансформатора.
5. Рабочие формулы для обработки результатов опыта холостого хода трансформатора.
6. Характеристики холостого хода  $I_0=f(U)$ ,  $P_0=f(U)$ ,  $\cos\varphi_0=f(U)$ .
7. Схема экспериментальной установки для выполнения опыта короткого замыкания трансформатора.
8. Таблица измерений результатов опыта короткого замыкания трансформатора.
9. Характеристики короткого замыкания  $I_K=f(U)$ ,  $P_K=f(U)$ .
10. Схема экспериментальной установки для выполнения опыта по исследованию работы трансформатора с нагрузкой.
16. Таблица измерений и вычислений результатов исследования работы трансформатора с нагрузкой.
12. Рабочие формулы для обработки результатов исследования работы трансформатора с нагрузкой.
13. Рабочие характеристики однофазного трансформатора  $U_2 = f(\beta)$ ,  $\eta = f(\beta)$ ,  $\cos \varphi_1 = f(\beta)$ ,  $\Delta U_2 = f(\beta)$ .
14. Внешняя характеристика трансформатора  $U_2 = f(I_2)$ .
15. Выводы.

## Основная литература

1. Титов, М. П. Электротехника: Учебник. / Г. А. Большанин. 2 – изд., испр. и доп. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2010. – 356 с.
2. Кацман М. М. Электрические машины: учебник / М. М. Кацман. – 8-е изд., стереотип. – М.: Академия, 2008. – 496 с.

## Дополнительная литература

1. Большанин Г. А. Теоретические основы электротехники. В 2-х ч. Ч. 1.: Учебное пособие. / Г. А. Большанин. – Братск: БрГУ, 2005. – 433 с.
2. Иванов И.И. Электротехника и основы электроники: учебник / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. - 7-е изд., перераб. и доп. - Санкт-Петербург: Лань, 2012. - 736 с.

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Каково назначение трансформатора?

2. Объясните принцип действия трансформатора.
3. Для чего предназначен опыт холостого хода трансформатора?
4. Что называется коэффициентом трансформации?
5. Для чего предназначен опыт короткого замыкания трансформатора?
6. Назовите причины потерь мощности в трансформаторе.
7. Какую мощность измерений ваттметр, включенный в первичную цепь трансформатора, в опыте холостого хода, в опыте короткого замыкания?
8. Каким образом уменьшают потери мощности в стали трансформатора за счет гистерезиса и вихревых токов?
9. Что такое внешняя характеристика трансформатора? Поясните ее вид.

#### **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. ОС Windows 7 Professional;
2. Microsoft Imagine Premium;
3. Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level;
4. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security;
5. ПО "Антиплагиат";
6. OpenOffice;
7. Adobe Reader.

#### **11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

| <i>Вид занятия<br/>(Лк, ЛР, СР)</i> | <i>Наименование аудитории</i>                   | <i>Перечень основного оборудования</i>                                                                          | <i>№ Лк, ЛР</i> |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>1</b>                            | <b>2</b>                                        | <b>3</b>                                                                                                        | <b>4</b>        |
| Лк                                  | Лекционная аудитория                            | -                                                                                                               | № 1-3           |
| ЛР                                  | Лаборатория теоретические основы электротехники | Лабораторная установка<br>Электрические и магнитные цепи, электрические машины и привод ЭОЭ1-С-К;               | № 1-3           |
| СР                                  | Читальный зал №3                                | Оборудование 15-<br>CPU 5000/RAM<br>2Gb/HDD<br>(Монитор TFT 19 LG<br>1953S-SF);<br>принтер HP LaserJet<br>P3005 | ЛР № 1-3        |

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

| № компетенции | Элемент компетенции                                                                                                                                                                                                                                          | Раздел                          | Тема                                                                      | ФОС                              |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| ОПК-2         | способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат                                                                            | <b>1.</b><br>Электрические цепи | 1.1. Цепи синусоидального тока                                            | <i>Вопросы к зачету 1.1-1.21</i> |
| ПК-1          | знанием нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест                                                                               |                                 |                                                                           |                                  |
| ПК-6          | способностью осуществлять и организовывать техническую эксплуатацию зданий, сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства, обеспечивать надежность, безопасность и эффективность их работы                                                             | <b>2.</b><br>Электроснабжение   | 2.1. Трансформаторы<br>2.2. Основные сведения о системах электроснабжения | <i>Вопросы к зачету 2.1-2.12</i> |
| ПК-8          | владением технологией, методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства, эксплуатации, обслуживания зданий, сооружений, инженерных систем, производства строительных материалов, изделий и конструкций, машин и оборудования |                                 |                                                                           |                                  |

**2. Вопросы к зачету**

| № п/п | Компетенции |             | ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ | № и наименование раздела |
|-------|-------------|-------------|------------------|--------------------------|
|       | Код         | Определение |                  |                          |
| 1     | 2           | 3           | 4                | 5                        |
|       |             |             |                  |                          |

|   |       |                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                       |
|---|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1 | ОПК-2 | способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат | <p>1.1. Закон Ома, Кирхгофа. Работа и мощность электрической цепи при синусоидальном токе.</p> <p>1.2. Электрическая цепь с активным сопротивлением при синусоидальном токе.</p> <p>1.3. Электрическая цепь с индуктивностью при синусоидальном токе.</p> <p>1.4. Электрическая цепь с емкостью при синусоидальном токе.</p> <p>1.5. Последовательное соединение резистора, индуктивности и емкости. Резонанс напряжений.</p> <p>1.6. Параллельное соединение резистора индуктивности, емкости. Резонанс токов.</p> <p>1.7. Трехфазный генератор. Получение трехфазной системы ЭДС.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1. Электрические цепи |
| 2 | ПК-1  | знанием нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест    | <p>1.8. Четырехпроводная цепь. Соединение обмоток генератора и фаз приемника звездой.</p> <p>1.9. Получение трехфазной ЭДС. Роль нейтрального провода.</p> <p>1.9. Узел, ветвь, контур, участок цепи.</p> <p>1.10. Трехпроводная цепь. Соединение нагрузки звездой.</p> <p>1.11. Законы Ома и Кирхгофа при постоянном токе. Работа и мощность электрической цепи при постоянном токе.</p> <p>1.12. Соединение обмоток генератора и фаз приемника треугольником.</p> <p>1.13. Баланс мощностей электрической цепи и КПД при постоянном токе.</p> <p>1.14. Определение мощности трехфазного тока при несимметричной нагрузке.</p> <p>1.15. Определение мощности трехфазного тока при симметричной нагрузке.</p> <p>1.16. Расчет цепей с одним источником питания при постоянном токе.</p> <p>1.17. Расчет разветвленных цепей постоянного тока с несколькими источниками.</p> <p>1.18. Потенциальная диаграмма при постоянном токе.</p> <p>1.19. Получение и изображение синусоидального тока.</p> <p>1.20. Роль нейтрального провода.</p> <p>1.21. Активная, реактивная и полная мощности электрической цепи синусоидального тока.</p> |                       |
| 3 | ПК-6  | способностью осуществлять и организовывать техническую эксплуатацию зданий,                                                                                                       | <p>2.1. Принцип действия однофазного трансформатора, устройство трансформатора и его назначение.</p> <p>2.2. Холостой ход трансформатора: физические процессы, уравнения электрического состояния обмоток,</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2. Электроснабжение   |



|   |      |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
|---|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|   |      | сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства, обеспечивать надежность, безопасность и эффективность их работы                                                                                                                                         | составляющие тока холостого хода, действующее значение ЭДС обмоток, коэффициент трансформации, векторная диаграмма, схема замещения.<br>2.3. Режим короткого замыкания трансформатора: опыт к.з., физические процессы; уравнения и векторная диаграмма трансформатора в режиме к.з., треугольник $z_k$ трансформатора, физический смысл $u_k$ трансформатора?                                                                                                                                                                                                    |  |
| 4 | ПК-8 | владением технологией, методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства, эксплуатации, обслуживания зданий, сооружений, инженерных систем, производства строительных материалов, изделий и конструкций, машин и оборудования | 2.4. Сварочные трансформаторы.<br>2.5. Измерительные трансформаторы тока и напряжения.<br>2.6. Внешняя характеристика трансформатора. Потери мощности и КПД трансформатора.<br>2.7. Особенности электроснабжения предприятий строительной индустрии и строящихся объектов.<br>2.8. Расчет электрических сетей на потерю напряжения.<br>2.9. Молниезащита зданий и сооружений.<br>2.10. Искусственное освещение производственных помещений и площадок.<br>2.11. Мероприятия по экономии электрической энергии.<br>2.12. Электрические системы пожаробезопасности. |  |

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

| Показатели                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Оценка  | Критерии                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Знать</b><br>(ОПК-2):<br>- сущность естественнонаучных проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;<br>(ПК-1):<br>- нормативную базу в области инженерных изысканий;<br>- основные принципы проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования<br>(ПК-6):<br>способы организации | зачтено | Оценка «зачтено» выставляется обучающимся, показавшим всестороннее знание теоретических основ дисциплины, в частности знание нормативной базы в области инженерных изысканий, способов безопасной и эффективной эксплуатации зданий, сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства, технологию процессов строительного производства; умение пользоваться нормативной базой в области инженерных |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                          |                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>технической эксплуатации зданий;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способы безопасной и эффективной эксплуатации зданий, сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства;</li> </ul> <p>(ПК-8):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- технологию процессов строительного производства;</li> <li>- способы эксплуатации зданий;</li> <li>- способы производства строительных материалов;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <p>(ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выявлять сущность естественнонаучных проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;</li> <li>- применять физико-математический аппарат для решения проблем в профессиональной деятельности;</li> </ul> <p>(ПК-1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться нормативной базой в области инженерных изысканий;</li> <li>- составить план застройки населенного пункта;</li> <li>- размещать оборудование для застройки в населенных пунктах;</li> </ul> <p>(ПК-6):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- осуществлять и организовывать техническую эксплуатацию зданий, сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства;</li> <li>- обеспечить надежность и эффективность работы зданий;</li> </ul> <p>(ПК-8):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обслуживать здания, сооружения, инженерные системы;</li> <li>- организовывать производство строительных материалов, изделий и конструкций;</li> <li>- ориентироваться в процессах строительного</li> </ul> | <p><b>не зачтено</b></p> | <p>изысканий, обеспечивать надежность и эффективность работы зданий.</p> <p>Вопрос по зачету не раскрыт, обнаруживается существенное непонимание теоретических основ изучаемой дисциплины.</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| <p>производства и эксплуатации зданий, сооружений, инженерных систем;</p> <p><b>Владеть:</b><br/>(ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способами решения естественнонаучных проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;</li> <li>- навыками применения физико-математического аппарата для решения;</li> </ul> <p>(ПК-1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования;</li> <li>- способами размещения инженерных систем;</li> </ul> <p>(ПК-6):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами организации и технической эксплуатации зданий;</li> <li>- способами безопасной и эффективной эксплуатации зданий;</li> </ul> <p>(ПК-8):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами производства строительных материалов, изделий и конструкций, а также эксплуатацией зданий и сооружений;</li> <li>- методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства.</li> </ul> |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

#### **4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности**

Дисциплина «Электроснабжение с основами электротехники» направлена на приобретение у обучающихся теоретических и практических знаний в области электроснабжения и электротехники в такой степени, чтобы они могли выбирать необходимые электротехнические, электронные, электроизмерительные устройства, уметь объяснить их работу и правильно эксплуатировать.

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к изыскательскому и проектно-конструкторскому, производственно-технологическому и производственно-управленческому видам деятельности, указанными в учебном плане.

Изучение дисциплины «Электроснабжение с основами электротехники» предусматривает:

- лекции;
- лабораторные работы;

- самостоятельные работы;
- зачет.

С целью определения уровня овладения компетенциями, закрепленными за дисциплиной, в заданные преподавателем сроки проводится текущий контроль знаний, умений и навыков каждого обучающегося и аттестация по итогам освоения дисциплины. Текущий контроль проводится на аудиторных занятиях с целью определения качества усвоения материала по окончании изучения очередной учебной темы в следующих формах: письменный опрос.

Аттестация по итогам освоения дисциплины.

Для контроля усвоения данной дисциплины учебным планом предусмотрен зачет. На зачете обучающимся предлагается ответить на два вопроса билета, составленного из вопросов, примеры которых приведены в приложении 1 табл. 2. На подготовку к ответу на билет студентам выделяется от 30 до 40 минут. На все вопросы студент готовит письменный конспективный ответ, который затем докладывает преподавателю.

Самостоятельную работу необходимо начинать с проработки теоретического материала по пройденной теме.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

## АННОТАЦИЯ рабочей программы дисциплины Электроснабжение с основами электротехники

### 1. Цель и задачи дисциплины

Цель изучения дисциплины является: приобретение у обучающихся теоретических и практических знаний в области электроснабжения и электротехники в такой степени, чтобы они обладали знаниями методов расчета электрических цепей, типовых схемных решений электроснабжения зданий и сооружений и владели навыками расчета элементов этих систем.

Задачей изучения дисциплины является:

- изучение основных положений теории и практики расчета однофазных и трехфазных электрических цепей, устройств и принципов работы электрических машин и электрооборудования; типовых схем электроснабжения зданий, сооружений и строительных объектов и основных направлений развития этих систем;
- уметь выбирать типовые схемные решения систем электроснабжения зданий и сооружений и электрооборудования, применяемого на строительных объектах.

### 2. Структура дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебной работы, включая самостоятельную работу: Лк – 6 час., ЛР - 4 час., СР - 94 час.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, 3 зачетных единиц.

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Электрические цепи
2. Электроснабжение

### 3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:  
ОПК-2 – способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат;

ПК-1 – знанием нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест;

ПК-6 – способностью осуществлять и организовывать техническую эксплуатацию зданий, сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства, обеспечивать надежность, безопасность и эффективность их работы;

ПК-8 – владением технологией, методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства, эксплуатации, обслуживания зданий, сооружений, инженерных систем, производства строительных материалов, изделий и конструкций, машин и оборудования.

**4. Вид промежуточной аттестации:** зачет

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

---

---

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

---

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.,  
*(разработчик)*

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

*(подпись)*

\_\_\_\_\_

*(Ф.И.О.)*

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

| № компетенции | Элемент компетенции                                                                                                                                                                                                                                          | Раздел                | ФОС                                                              |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------|
| ОПК-2         | способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат                                                                            | 1. Электрические цепи | Вопросы по лабораторным работам. Отчеты по лабораторным работам. |
| ПК-1          | знанием нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест                                                                               |                       |                                                                  |
| ПК-6          | способностью осуществлять и организовывать техническую эксплуатацию зданий, сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства, обеспечивать надежность, безопасность и эффективность их работы                                                             | 2. Электроснабжение   | Вопросы по лабораторным работам. Отчеты по лабораторным работам. |
| ПК-8          | владением технологией, методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства, эксплуатации, обслуживания зданий, сооружений, инженерных систем, производства строительных материалов, изделий и конструкций, машин и оборудования |                       |                                                                  |





|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| <p>инженерные системы;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- организовывать производство строительных материалов, изделий и конструкций;</li> <li>- ориентироваться в процессах строительного производства и эксплуатации зданий, сооружений, инженерных систем;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b><br/>(ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способами решения естественнонаучных проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;</li> <li>- навыками применения физико-математического аппарата для решения;</li> </ul> <p>(ПК-1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования;</li> <li>- способами размещения инженерных систем;</li> </ul> <p>(ПК-6):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами организации и технической эксплуатации зданий;</li> <li>- способами безопасной и эффективной эксплуатации зданий;</li> </ul> <p>(ПК-8):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами производства строительных материалов, изделий и конструкций, а также эксплуатацией зданий и сооружений;</li> <li>- методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства.</li> </ul> |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 строительство от «12» марта 2015 г. № 201

для набора 2015 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «01» октября 2015г. № 587

для набора 2016 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «06» июня 2016г. № 429

для набора 2017 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «06» марта 2017г. № 125

для набора 2018 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «12» марта 2018г. № 130.

**Программу составил:**

Плотников Михаил Павлович, доцент кафедры ЭиЭ, к.т.н. \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ЭиЭ

от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г., протокол № \_\_\_

Заведующего кафедрой ЭиЭ \_\_\_\_\_ Ю.Н. Булатов

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий кафедрой СКиТС \_\_\_\_\_ Г.В. Коваленко

Директор библиотеки \_\_\_\_\_ Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией факультета энергетики и автоматики

от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г., протокол № \_\_\_

Председатель методической комиссии факультета \_\_\_\_\_ А.Д. Ульянов

**СОГЛАСОВАНО:**

Начальник  
учебно-методического управления \_\_\_\_\_ Г.П. Нежевец

Регистрационный № \_\_\_\_\_