

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
«БОГДАНОВИЧСКИЙ ПОЛИТЕХНИКУМ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по выполнению лабораторных работ

**ОП.02 «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»**

по профессии

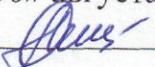
13.01.10 Электромонтёр по ремонту и  
обслуживанию электрооборудования

**2018**

Организация-разработчик: ГБПОУ СО «Богдановичский политехникум»

Разработчик:

Черданцева Т.И. , преподаватель высшей квалификационной категории ГБПОУ СО «Богдановичский политехникум», г. Богданович

Рассмотрено на заседании Методического совета ГБПОУ СО  
«Богдановичский политехникум»  
протокол № 1 от «30» августа 2018 г.  
Председатель:  / Е.В. Снежкова

## Содержание

1 Пояснительная записка

4

2 Лабораторная работа обучающегося	6
3 Содержание лабораторных работ	7
Лабораторная работа №1 «Определение работы и мощности цепи постоянного тока»	7
Лабораторная работа №2 «Исследование трёхфазных цепей при соединении в «звезду» и «треугольник»	10
Лабораторная работа №3 «Определение значения сопротивления с помощью амперметра и вольтметра»	13
Лабораторная работа №4 «Определение необходимого сечения проводов и потерь напряжения в проводах»	14
4 Критерии оценки отчетных работ	17
Рекомендуемая литература	18

## **1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

Методические рекомендации составлены в соответствии с рабочей программой ОП.02 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА для профессии 13.01.10 «Электромонтёр по ремонту и обслуживанию электрооборудования».

Лабораторные работы способствуют более глубокому усвоению изучаемого теоретического материала, совершенствуют знания обучающимися требований нормативных документов и совершенствуют практические навыки обучающихся в области подготовки рабочей документации по электромонтажным работам.

Результатом выполнения лабораторных работ является овладение обучающимися видом деятельности \_\_\_\_\_:  
в том числе профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями:

Код ПК, ОК	Умения	Знания
ОК 1 ОК 2 ОК 3 ОК 4 ОК 5 ОК 6 ОК 7 ПК 1.1 ПК 1.2 ПК 1.3 ПК 1.4 ПК 2.1 ПК 2.2 ПК 2.3 ПК 3.1 ПК 3.2 ПК 3.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- контролировать выполнение заземления, зануления;</li> <li>- производить контроль параметров работы электрооборудования</li> <li>- пускать и останавливать электродвигатели, установленные на эксплуатируемом оборудовании;</li> <li>- рассчитывать параметры, составлять и собирать схемы включения приборов при измерении различных электрических величин</li> <li>электрических машин и механизмов;</li> <li>- снимать показания работы и пользоваться электрооборудованием с соблюдением норм техники безопасности и правил эксплуатации;</li> <li>- подбирать устройства электронной техники с определенными параметрами;</li> <li>- читать принципиальные, электрические и монтажные схемы</li> <li>- проводить сращивание, спайку и изоляцию проводов и</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные понятия о постоянном и переменном электрическом токе, последовательное и параллельное соединение проводников и источников тока, единицы измерения силы тока, напряжения, мощности электрического тока, сопротивления проводников, электрических и магнитных полей;</li> <li>- сущность и методы измерений электрических величин, конструктивные и технические характеристики измерительных приборов;</li> <li>- типы и правила графического изображения и составления электрических схем;</li> <li>- условные обозначения электротехнических приборов и электрических машин/основные элементы электрических сетей;</li> <li>- принципы действия, устройство, основные характеристики электроизмерительных и полупроводниковых приборов, электрических машин, аппаратуры управления и защиты, схемы электроснабжения;</li> <li>- двигатели постоянного и переменного тока, их устройство, принцип действия правила пуска,</li> </ul>

<p>контролировать качество выполняемых работ;</p> <p>-осуществлять подбор элементов и приборов управления</p> <p>- подключать электрооборудование с электронным управлением к источникам электропитания и различным схемам</p>	<p>остановки.</p> <p>- основы физических процессов в полупроводниках;</p> <p>- принципы действия и устройство полупроводниковых приборов;</p> <p>- устройство, назначение и область применения электрооборудования с электронным управлением</p>
--	--

Программой ОП предусмотрено выполнение 4(четырёх) двухчасовых лабораторных работ.

В методических рекомендациях к лабораторным работам приведены необходимые теоретические сведения, порядок проведения работы, содержание отчета.

Предварительная подготовка обучающихся к лабораторной работе, понимание ее цели и содержания – важнейшее условие качественного выполнения работ. Поэтому прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, обучающиеся должны:

изучить содержание работы и порядок ее выполнения;

повторить теоретический материал, связанный с выполнением данной работы.

Работа считается законченной после выполнения всех пунктов инструкции и проверки результатов преподавателем.

Завершается лабораторная работа составлением отчета, который должен содержать все необходимые результаты и выводы.

По лабораторной работе сдается зачет в форме собеседования.

Зачет по лабораторным работам является обязательным для получения допуска к экзамену.

## 2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

Тема	Вид, название и краткое содержание задания	Планируемые часы на выполнение внеаудиторной работы	Форма отчетности и контроля
1.2	<p>Лабораторная работа №1 «Определение работы и мощности цепи постоянного тока»</p> <p><u>Цели работы:</u></p> <p>1. Определение полезной и полной мощностей цепи постоянного тока.</p> <p>2. Определение коэффициента полезного действия цепи постоянного тока.</p>	1	отчетная работа №1, собеседование
1.4	<p>Лабораторная работа №2 «Исследование трёхфазных цепей при соединении в «звезду» и «треугольник»</p> <p><u>Цель работы:</u> исследование трех однофазных приемников, соединенных в треугольник при различных режимах работы цепи.</p>	1	отчетная работа №2, собеседование
1.5	<p>Лабораторная работа №3 «Определение значения сопротивления с помощью амперметра и вольтметра»</p> <p><u>Цель работы:</u> познакомиться с основными методами измерения сопротивления проводников</p>	1	отчетная работа №3, собеседование
1.10	<p>Лабораторная работа №4 «Определение необходимого сечения проводов и потерь напряжения в проводах»</p> <p><u>Цель работы:</u> изучить методы определения сечений проводов и потерь напряжения в проводах.</p>	1	отчетная работа №4, собеседование

## Лабораторная работа №1 «Определение работы и мощности цепи постоянного тока»

### Цель работы

1. Определение полезной и полной мощностей цепи постоянного тока.
2. Определение коэффициента полезного действия цепи постоянного тока.

**Приборы и принадлежности:** источник постоянной эдс., магазин сопротивлений, амперметр, вольтметр.

### Теоретическое введение

В электрических цепях ток, проходя по проводникам, может оказывать тепловое, магнитное, химическое и др. действия. В частности, за счет энергии электрического поля в проводниках выделяется тепло Джоуля-Ленца. В общем случае, работа, совершаемая в электрических цепях, определяется силой тока  $I$ . Работа, совершаемая во внешней цепи или на нагрузке при напряжении  $U$  за время  $t$ , является полезной и определяется по формуле:

$$A_{\Pi} = I U t$$

Полная работа в цепи с источником постоянной эдс  $\varepsilon$  рассчитывается по формуле:

$$A = I \varepsilon t$$

Основной характеристикой любых источников тока, механизмов, машин, двигателей, в том числе и электродвигателей является мощность. Мощность есть физическая величина, численно равная работе, совершаемой за единицу времени.

$$P = \frac{A}{t}$$

Полезная мощность, выделяющаяся в цепи постоянного тока, равна

$$P_{\Pi} = \frac{A_{\Pi}}{t} = IU \quad (1)$$

Полная мощность в электрической цепи

$$P = \frac{A}{t} = I\varepsilon \quad (2)$$

С учетом закона Ома для однородного участка цепи

$$I = \frac{U}{R} \quad (3)$$

полезная мощность определяется как

$$P_{\Pi} = I^2 R \quad (4)$$

И с учетом закона Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \quad (5)$$

формула полной мощности принимает вид:

$$P = I^2 (R+r) \quad (6)$$

Коэффициент полезного действия  $\eta$  (КПД) есть отношение полезной работы к полной работе или отношение полезной мощности к полной мощности:

$$\eta = \frac{A_{\Pi}}{A} = \frac{P_{\Pi}}{P} \quad (7)$$

Подставляя в (7) значения формул (4) и (6), получаем

$$\eta = \frac{R}{R+r} \quad (8)$$

Анализ формулы (5) дает, что с увеличением сопротивления  $R$  нагрузки сила тока  $I$  в цепи уменьшается. Сила тока имеет максимальное значение при  $R = 0$ , равна  $I = \frac{\varepsilon}{R}$  и называется током короткого замыкания.

Преобразуем формулу (6) полной мощности с учетом (5), получаем

$$P = \frac{\varepsilon^2}{R+r} \quad (9)$$

Значит, полная мощность  $P$  с увеличением внешнего сопротивления  $R$  уменьшается.

Коэффициент полезного действия  $\eta$  в соответствии с формулой (8) при увеличении сопротивления  $R$  увеличивается от 0% при  $R = 0$  и приближается к 100% при  $R \rightarrow \infty$ .

Наиболее значимой характеристикой электрической цепи является полезная мощность, т.е. мощность, выделяющаяся на нагрузке или внешнем сопротивлении  $R$ . Подставляя (5) в (4), получаем

$$P_{\Pi} = \varepsilon^2 \frac{R}{(R+r)^2} \quad (10)$$

Полезная мощность  $P_{\Pi}$  сложным образом изменяется при увеличении сопротивления  $R$  нагрузки. Найдем наиболее выгодный режим работы электрической цепи. Для этого решим задачу нахождение экстремума, соответствующего максимальному значению полезной мощности. Из необходимого условия экстремума

$$\frac{dP_{\Pi}}{dR} = 0 \quad (11)$$

найдем стационарную точку:

$$\frac{dP_{\Pi}}{dR} = \frac{d}{dR} \left( \varepsilon^2 \frac{R}{(R+r)^2} \right) = \varepsilon^2 \frac{(r-R)}{(R+r)^3} = 0 \quad (12)$$

Отсюда следует, что  $R = r$  – точка экстремума. Используя достаточное условие экстремума, определим, является ли значение  $R = r$  соответствующим условиям максимума или минимума функции полезной мощности:

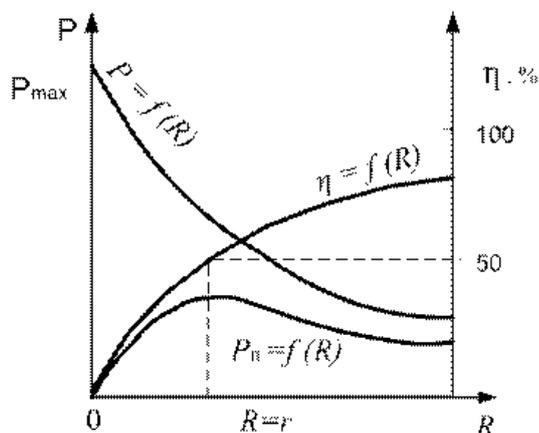
$$\frac{d^2P_{\Pi}}{dR^2} = \frac{d}{dR} \left( \varepsilon^2 \frac{(r-R)}{(R+r)^3} \right) = \varepsilon^2 \frac{2R-4r}{(R+r)^4} \quad (13)$$

При  $R = r$

$$\frac{d^2P_{\Pi}}{dR^2} = \varepsilon^2 \left( \frac{-2R}{(R+r)^4} \right) < 0 \quad (14)$$

значит, при  $R = r$  полезная мощность  $P_{\Pi}$  имеет максимальное значение:  $P_{\Pi} = \varepsilon^2 \cdot \frac{1}{4R}$  что равно четверти максимальной полной мощности.

Графики зависимости от внешнего сопротивления полезной мощности,  $P_{\Pi} = f(R)$  полной мощности  $P = f(R)$  и коэффициента полезного действия  $\eta = f(R)$  даны на рис. 1.1



Полезная мощность  $P_{П}$  с увеличением  $R$  вначале увеличивается, достигает максимума при  $R = r$  и при дальнейшем увеличении  $R$  уменьшается. КПД при  $R = r$  равен 50% – это соответствует наиболее выгодному режиму работы цепи постоянного тока.

### Описание установки

Исследование энергетических характеристик цепи постоянного тока проводится на экспериментальной установке, электрическая схема которой дана на рис. 1.2. На рис. 1.3 показана действующая модель лабораторной установки по проведению виртуальных исследований энергетических характеристик цепи постоянного тока.

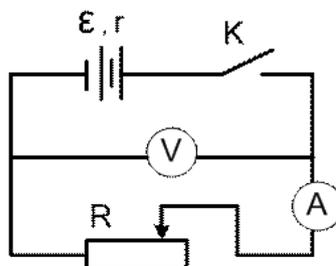


Рис. 1. 2

Источник постоянной эдс  $\varepsilon$  подключен к магазину сопротивлений, который позволяет дискретно изменять величину сопротивления нагрузки  $R$  в цепи. Вольтметр  $V$  измеряет напряжение  $U$  и амперметр  $A$  измеряет силу тока  $I$  в цепи. Значения  $\varepsilon$  и внутреннего сопротивления  $r$  источника эдс – величины постоянные в данной цепи.

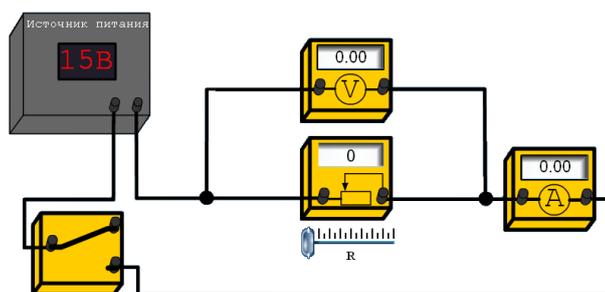


Рис. 1. 3

### Порядок выполнения работы

1. Замкнуть ключ  $K$ . Убедиться, что сопротивление  $R=0$ . Снять показания амперметра  $A$  и вольтметра  $V$ . Данные измерений внести в таблицу 1.
2. Выставить на магазине сопротивление  $R=1$  Ом. Полученные значения силы тока и напряжения записать в таблицу.
3. Увеличивая сопротивление  $R$  на 1 Ом, начиная от 2 Ом и до 11 Ом, провести измерения силы тока и напряжения при соответствующих сопротивлениях и результаты эксперимента внести в таблицу 1.
4. Поставить на магазине сопротивление  $R=0$ . Разомкнуть ключ  $K$ .

								Таблица 1
№ п/п	$R$ , Ом	$I$ , А	$U$ , В	$\varepsilon$ , В	$r$ , Ом	$P_{П}$ , Вт	$P$ , Вт	$\eta$ , %
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								

8								
9								
10								
11								
12								

### Обработка результатов измерений

1. Используя закон Ома для полной цепи (5) и выбирая попарно значения сопротивления  $R$  и силы тока  $I$  из таблицы 1, решить систему двух уравнений и найти значения  $\varepsilon$  и  $r$ . Расчеты провести для трех пар значений, выбирая, например, попарно измерения №12 и №7, №11 и 6, №10 и №5.
2. Найти средние трех расчетов значения  $\varepsilon$  и  $r$ . Результаты внести в таблицу 1.
3. Вычислить значение полной мощности цепи при всех  $R$  по формуле 9.
4. Вычислить значение полезной мощности цепи при всех  $R$  по формуле 10.
5. Вычислить значение коэффициента полезного действия по формуле 8. при всех  $R$ . Результаты всех вычислений внести в таблицу 1.
6. Построить графики зависимости  $P=f(R)$ ,  $P_n=f(R)$  и  $\eta=f(R)$  на одном рисунке с использованием трех осей:  $R$ ,  $P$  и  $\eta$ .
7. Сделать соответствующие выводы.

### Контрольные вопросы

1. Дать определение электрического тока и силы тока.
2. Записать закон Ома в интегральной форме для замкнутой цепи. Какова природа ЭДС?
3. Какое действие может оказывать электрический ток, проходя по проводнику?
4. Дать определение и записать формулу зависимости полной мощности от внешнего сопротивления цепи постоянного тока.
5. Дать определение и записать формулу зависимости полезной мощности от внешнего сопротивления цепи постоянного тока.
6. При каком соотношении внешнего и внутреннего сопротивлений полезная мощность в цепи постоянного тока максимальна? Как определяется и чему равен КПД в данном случае.

### Лабораторная работа №2 «Исследование трёхфазных цепей при соединении в «звезду» и «треугольник»

**Цель работы:** исследование трех однофазных приемников, соединенных в треугольник при различных режимах работы цепи.

#### Теоретические сведения

В связи с тем, что значительная часть приемников, включаемых в трехфазные цепи бывают несимметричными, очень важно на практике обеспечить независимость режима работы отдельных фаз. Кроме четырехпроводной цепи подобными свойствами обладают и трехпроводные цепи при соединении фаз приемника треугольником. Соединением в треугольник называется соединение, когда конец одной фазы соединяется с началом другой, образуя замкнутый контур. Полученные узлы присоединяют к соответствующим началам фаз генератора линейными проводами (рис. 2.1).

В треугольник могут соединяться фазы трансформаторов, электродвигателей, фазы осветительной нагрузки и т. д. При соединении фаз приемников с сопротивлениями  $Z_{OM}$ ,  $Z_{AC}$ ,  $Z_{CO}$  в треугольник каждая фаза включается на линейное напряжение источника. Поэтому фазные напряжения  $U_\phi$  равны линейным напряжениям  $U_L$ , т.е.  $U_\phi = U_L$ .

**Фазные токи**  $I_{oa}$ ,  $I_{oc}$ ,  $I_{co}$  определяются по формулам

$$I_{oa} = \frac{U_{oa}}{Z_{oa}}; \quad I_{oc} = \frac{U_{oc}}{Z_{oc}}; \quad I_{co} = \frac{U_{co}}{Z_{co}}.$$

**Линейные токи  $I_A, I_B, I_C$**  определяются по фазным токам из уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа для узлов **a, в, с** (см. рис. 2.1).

$$\begin{aligned} I_A + I_{ca} - I_{ab} &= 0, & I_A &= I_{ab} - I_{ca}; \\ I_B + I_{ab} - I_{bc} &= 0, & I_B &= I_{bc} - I_{ab}; \\ I_C + I_{bc} - I_{ca} &= 0, & I_C &= I_{ca} - I_{bc}. \end{aligned}$$

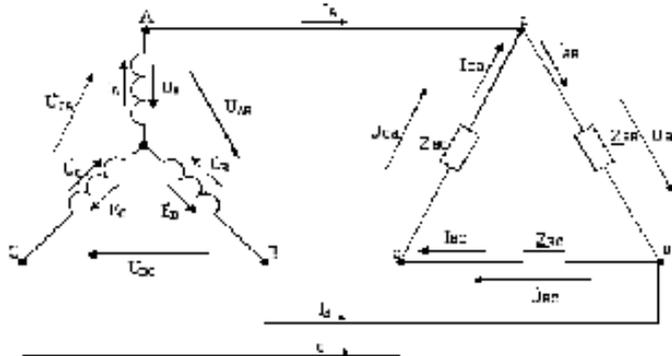
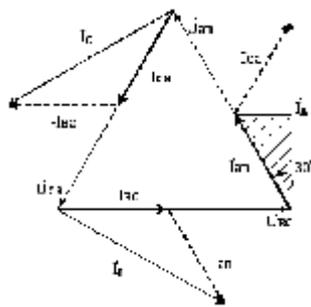


Рис. 2.1. Схема трехпроводной трехфазной цепи при соединении приемников в треугольник. Из уравнений (28) следует, что любой из линейных токов равен геометрической разности токов тех двух фаз нагрузки, которые соединяются с данным линейным проводом. Векторы линейных токов  $I_{л}$  можно определить из векторной диаграммы, построенной на основании уравнений (21), для чисто активной нагрузки, например, осветительной (рис. 2.2). При симметричной нагрузке



$Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}; \phi_{ab} = \phi_{bc} = \phi_{ca}$   $I_{oa}, I_{oc}, I_{co}$  ;  
При этом линейный  $I_{л}$  и фазный  $I_{ф}$  токи связаны числовым соотношением, которое можно определить из заштрихованного треугольника (см. рис. 20).

$$\frac{I_A}{2} = I_{oa} \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{oa};$$

$$I_A = \sqrt{3} I_{oa};$$

$$I_{л} = \sqrt{3} \cdot I_{ф}.$$

Рис. 2.2. Векторная топографическая диаграмма напряжений и токов для симметричной нагрузки

**При несимметричной нагрузке** – при изменении сопротивления одной из фаз, режим работы других фаз останется неизменным, так как сохраняется постоянство напряжений на фазах нагрузки, что является важной особенностью соединения фаз приемника треугольником. Поэтому схему соединения треугольником используют для включения несимметричных однофазных приемников, например, осветительных приборов в трехпроводную осветительную сеть.

В зависимости от условий работы нагрузки целесообразно изменять способ соединения фаз – переключать со звезды на треугольник и обратно, при этом линейный ток нагрузки изменяется в три раза.

$$I_{л\Delta} = \sqrt{3} I_{фY} = \sqrt{3} \cdot \frac{U_{ф\Delta}}{Z_{ф}} = \sqrt{3} \cdot \frac{U_{л}}{Z_{л}}$$

$I_{лY} = I_{фY} = \frac{U_{ф}}{Z_{ф}} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot Z_{ф}}$ , тогда отношение  $\frac{I_{л\Delta}}{I_{лY}} = 3$ , т. е.  $I_{л\Delta} = 3 I_{лY}$ .

**Активную мощность** каждой фазы можно определить по формуле

$$P_{ф} = I_{ф} \cdot U_{ф} \cdot \cos \phi,$$

а всей цепи – как  $P = P_{ом} + P_{ос} + P_{со}$ .

Активная мощность симметричного трехфазного приемника, как и при соединении фаз звездой:

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

**Реактивная мощность** каждой фазы определяется по формуле:  $Q = I_{\phi} \cdot U_{\phi} \cdot \sin\varphi$

### Задание

1. Исследовать трехфазную цепь при соединении приемников в треугольник для симметричной и несимметричной нагрузок.
2. Для всех режимов определить мощность, потребляемую каждой фазой и всей цепью.
3. Для симметричного режима определить отношение  $\frac{I_{\Delta}}{I_{\phi}}$
4. Построить векторные диаграммы напряжений и токов.

Данные полученные в результате исследования трех однофазных приемников, соединенных в треугольник

**Таблица**

Режим работы цепи	Измеряемые величины									Расчетные величины					
	I <sub>A</sub>	I <sub>B</sub>	I <sub>C</sub>	I <sub>a</sub>	I <sub>b</sub>	I <sub>c</sub>	U <sub>a</sub>	U <sub>b</sub>	U <sub>c</sub>	I <sub>л</sub> /I <sub>ф</sub>	P <sub>a</sub>	P <sub>b</sub>	P <sub>c</sub>	P	Q
	A	A	A	A	A	A	B	B	B	-	Вт	Вт	Вт	Вт	вар
Симметричный	5	5	5	2,9	2,9	2,9	250	250	250	0	725	725	725	2175	0
Несимметричный	6	5	6,5	2,9	3,3	4	250	250	250	0	725	825	1000	2550	0

### Расчеты к таблице

1. Симметричный режим работы цепи:  $\frac{I_{\Delta}}{I_{\phi}} = 0$

2. Активная мощность каждой фазы определяется по формуле:  $P_{\phi} = I_{\phi} \cdot U_{\phi} \cdot \cos\varphi$

При  $\varphi=0$   $P_{\phi} = I_{\phi} \cdot U_{\phi} \cdot \cos\varphi = 29 \cdot 250 \cdot 1 = 725$  Вт;

Активная мощность трехфазного приемника равна арифметической сумме активных мощностей отдельных фаз:  $P = P_A + P_B + P_C = 2175$  Вт.

### Контрольные вопросы

1. Какое соединение фаз называется соединением в треугольник?
2. Каково соотношение между фазным и линейным напряжениями при соединении приемников в треугольник?
3. Каковы соотношения между фазными и линейными токами для любой нагрузки и для симметричной нагрузки при соединении приемников в треугольник?
4. Каковы особенности соединения фаз приемников треугольником?
5. В каком случае следует применять соединение фаз приемников в треугольник?
6. В чем достоинства схемы соединения в треугольник по сравнению со схемой соединения в звезду?
7. Изменяются ли линейные токи при изменении сопротивления одной из фаз приемников?
8. Изменяются ли линейные токи при обрыве одной из фаз приемников?
9. Как влияет на режим работы цепи обрыв одного из линейных проводов?
10. Как изменяются линейный ток и мощность, если соединенные в звезду одинаковые однофазные приемники переключить на треугольник (линейные напряжения в обоих случаях одинаковы)?
11. Объяснить построение векторных диаграмм.

### Лабораторная работа №3 «Определение значения сопротивления с помощью амперметра и вольтметра»

**Цель работы:** познакомиться с основными методами измерения сопротивления проводников.

**Приборы и принадлежности:** источник тока РИД-50 В, амперметр 8-59 (0,25; 0,5; 1 А), амперметр Э-59 (2,5; 5 А), вольтметр Э-59 (7,5; 15; 30; 60 В), реостат на 30 Ом, ключ однополюсный двойной, источник тока на 6В (ВСА-Ю), ламповые реостат, измеряемые сопротивления, провода, миллиамперметр Э-59 (50-200 мА) для  $R_{ху}$ .

#### Теоретические сведения

а) Метод двух приборов (амперметра и вольтметра).

Методы измерения электрических сопротивлений чрезвычайно разнообразны. Выбор метода для измерения того или иного сопротивления зависит от целого ряда условий, при которых производится измерение.

Одним из методов измерения сопротивлений является метод амперметра и вольтметра. Он применяется как на постоянном, так и на переменном токе. Метод не требует специальных добавочных приспособлений аппаратуры, и поэтому имеет широкое практическое применение. Погрешность метода зависит в основном от погрешности используемых приборов.

В основе этого метода лежит закон Ома, применяемый к участку цепи, включающему измеряемое сопротивление. Включение приборов для измерения неизвестного сопротивления  $R_x$  осуществляется по одной из двух схем рис. 3.1, рис 3.2 ,

Рассмотрим каждую из схем в отдельности. В схеме рис.3.1 вольтметр учитывает не только падение напряжения на измеряемом сопротивлении, но и падение напряжения на амперметре, следовательно, показание вольтметра  $U$  равно  $U=U_x+U_a$ .

ЕСЛИ воспользоваться показаниями приборов для определения измеряемого сопротивления, то получим величину

Если измерения проводить по схеме рис. 3.1, то вольтметр покажет падение напряжения на искомом сопротивлении, показание же амперметра будет равно сумме токов, протекающих по измеряемому сопротивлению

$R_x$  и по вольтметру. т.е.

$I=I_x+I_v$ , где  $I_v$ -ток в вольтметре.

б) Метод одного прибора (амперметра или вольтметра)

Измерение сопротивления на постоянном токе можно производить также при помощи одного прибора, причем для измерения малых сопротивлений, порядка нескольких Ом, применяется амперметр для измерения больших сопротивлений - вольтметр.

Необходимым условием для такого рода измерений является постоянство напряжения источника тока и незначительная величина его внутреннего сопротивления.

Применяя описанный метод, следует учитывать, что при измерении малых сопротивлений методом амперметра и вольтметра на результатах измерения могут сильно сказываться сопротивления соединительных проводов и контактов в местах сопротивления  $R_x$  к амперметру. Кроме того, на результаты измерения оказывает влияние и внутреннее сопротивление источника тока. Сопротивление источника  $r$  можно рассматривать как сопротивление, включенное с сопротивлением  $R_1$  , чтобы можно было пренебречь, необходимо, чтобы  $R$  было значительно больше  $r$  .

#### 2. Выполнение работы

1. Собрать электрическую цепь по схемам, определить  $R_x$  , учитывая, что  $R$  - реостат (30 Ом),  $V$  - вольтметр Э-59 (7,5; 15, 30, 60 В),  $A$  - амперметр 8-59 (2,5; 5 А), для  $R_x$ , и для измерения  $R_{хв}$  применять миллиамперметр В-59 (50-20 мА).

2. Измерить величину сопротивления  $R_{ху}$  по схеме, учитывая, что  $R$  - реостат (30 Ом),  $V$  - вольтметр Э-59 (7,5 В).

3. Измерить величину сопротивления  $R_x$ , учитывая, что А - амперметр Э-59 (0,5; 1 А). 4. Полученные результаты записать в отчет.

### Контрольные вопросы

1. Какой схемой следует пользоваться при измерении малых сопротивлений?
2. Какой схемой следует пользоваться при измерении больших сопротивлений и почему?
3. Назовите основные методы измерения сопротивления проводников.
4. Дать физическое объяснение зависимости сопротивления металла от температуры и явления сверхпроводимости.
5. Записать формулу зависимости сопротивления проводника от его размеров и материала. Единицы измерения сопротивления.

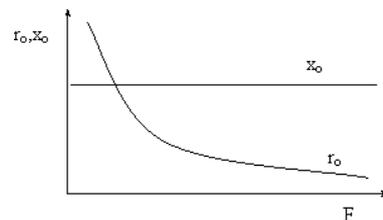
## Лабораторная работа №4 «Определение необходимого сечения проводов и потерь напряжения в проводах»

**Цель:** изучить методы определения сечений проводов и потерь напряжения в проводах.

### Теоретические сведения

Метод определения сечений проводов по допустимой потере напряжения применяется для выбора сечений в распределительных сетях, где очень важным является фактор потерь напряжения, т.к. способы регулирования напряжения в таких сетях весьма ограничены.

Допустимая потеря напряжения  $\Delta U_{\text{доп}}$  – это такая потеря напряжения, при которой отклонения напряжения на зажимах электроприемников не выходят за пределы предусмотренных ГОСТ технически допустимых значений. Формула для определения



$$\Delta U = \frac{FR + QX}{U_{\text{ном}}}$$

потери напряжения в распределительных сетях:  
Из рис.4.1 видно, что удельное реактивное сопротивление линии  $x_0$  мало зависит от сечения. В распределительных сетях его значение для воздушных линий  $x_0 \approx 0,4$  Ом/км, для КЛ 6-10 кВ  $x_0 \approx 0,09$  Ом/км, для КЛУ<sub>ном</sub> < 1кВ  $x_0 \approx 0,06$  Ом/км.

Порядок выбора сечения по допустимой потере напряжения следующий.

1. Подставляя в формулу значения нагрузок  $P$ ,  $Q$ , длину линии  $L$ ,  $\Delta U_{\text{доп}}$ , среднее значение  $x_0$ , находят значение  $R$ .

2. Зная  $R$ , находят  $r_0 = R/L$ .

По справочным данным находят стандартное сечение, соответствующее рассчитанному  $r_0$ .

4. Далее выполняют проверки по нагреву в нормальном и послеаварийном режимах и по механической прочности.

6. Расчетная проверка сечений жил кабелей на потерю напряжения.

Сечение кабелей и проводов, выбранное из условий нагрева и согласованное с коммутационными возможностями аппаратов защиты, нужно проверять на относительную линейную потерю напряжения.

$$\Delta U = \frac{U - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100,$$

где  $U$  — напряжение источника электрической энергии,  $U_{\text{ном}}$  - напряжение в месте присоединения приемника.

Допустимое отклонение напряжения на зажимах двигателей от номинального не должно превышать  $\pm 5\%$ , а в отдельных случаях оно может достигать  $+10\%$ .

В осветительных сетях снижение напряжения у наиболее удаленных ламп внутреннего рабочего освещения и прожекторных установок наружного освещения не должно превышать  $2,5\%$  номинального напряжения ламп, у ламп наружного и аварийного освещения —  $5\%$ , а

в сетях напряжением 12, 42 В — 10 %. Больше снижение напряжения приводит к существенному уменьшению освещенности рабочих мест, вызывает снижение производительности труда и может привести к условиям, при которых зажигание газоразрядных ламп не гарантировано. Наибольшее напряжение на лампах, как правило, не должно превышать 105 % его номинального значения.

Повышение напряжения сетей внутреннего электроснабжения выше предусмотренного нормами не допустимо, так как оно приводит к существенному увеличению расхода электрической энергии, сокращению срока службы силового и осветительного электрооборудования, а иногда к снижению качества выпускаемой продукции.

При проектировании электроснабжения и электрооборудования жилища важна величина действительной части, т.е. потеря напряжения. Проверка выбранных проводников по потере напряжения из условия обеспечения необходимых (регламентированных стандартами) уровней напряжения у самых удаленных от источника питания потребителей осуществляется следующим образом. Выполняется расчет потери напряжения (%) по формулам: -рассмотрим для трех фазной сети:

$$R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi \cdot 100$$

$$\sqrt{3} \cdot I_{p \max} = \Delta U$$

Где

$U_n$  – номинальное напряжение, В (380 В – симметричной трехфазной сети);

$R$  – активное сопротивление проводника, Ом;

$X$  – индуктивное сопротивление проводника, Ом;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки;

$I_{p \max}$  – максимальный расчетный ток нагрузки, А;

$\Delta U$  – потеря напряжения, % от номинального.

Без учета индуктивного сопротивления линии на потерю напряжения, как правило, рассчитываются:

-сети постоянного тока;

-линии сети переменного тока, для которых коэффициент мощности  $\cos \varphi = 1$ ;

-сети, выполненные проводами внутри зданий или кабелями, если их сечения не превосходят табличных значений.

Индуктивным сопротивлением проводников сечением менее 50 мм<sup>2</sup> можно пренебречь, т.е.  $X_0$

При отсутствии какой-либо другой информации величину  $X$  можно принимать  $8 \cdot 10^{-5}$  Ом/м.

Активное сопротивление проводников (Ом) определяется по одной из известных формуле,

$$r = \rho \frac{l}{S} \text{ или } r = \frac{l}{\gamma S}$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление проводника, Ом • мм<sup>2</sup>/ м;

$\gamma$  – удельная проводимость проводника, м / Ом • мм<sup>2</sup>;

$S$  – сечение проводника, мм<sup>2</sup>;

$l$  – длина проводника.

Значение удельного сопротивления и удельной проводимости для:

Медных проводников  $\rho_m = 0,0189$  Ом • мм<sup>2</sup>/ м;  $\gamma_m = 53$  м / Ом • мм<sup>2</sup>;

-алюминиевых проводников  $\rho_a = 0,0315$  Ом • мм<sup>2</sup>/ м;  $\gamma_a = 31,7$  м / Ом • мм<sup>2</sup>.

Допустимая величина падения напряжения определяется по формуле:

$$\Delta U_{пд} = 105 - \Delta U_{тр} - \Delta U_{минд}$$

Где  $\Delta U_{пд}$  – предельно допустимые потери напряжения в питающей приемник цепи, %;

105 – напряжение холостого хода на вторичной стороне питающего трансформатора, %

$\Delta U_{тр}$  – падение напряжения в трансформаторе, питающем данный объект, %;

$\Delta U_{минд}$  – минимально допустимое напряжение на зажимах электроприемника, %.

Допустимые отклонения напряжения у приемников электроэнергии смотрят в табличных данных. Затем проверяется выполнение условия:

$$\Delta U \leq \Delta U_{п.д.}$$

Для проверки проводников по потере напряжения можно также использовать таблицы удельных потерь напряжения, которые составлены на основании данных, приведенных в Справочнике по расчету проводов и кабелей и адаптированных к действующим в настоящее время нормам и правилам. В таблицах находят удельные потери напряжения для электропроводок, воздушных и кабельных линий в зависимости от величины коэффициента мощности. Для проводов и кабелей из цветного металла эти потери выражены в процентах на 1 кВт·км в зависимости от напряжения линии. Потеря напряжения в линии при заданном сечении проводов и кабелей из цветных металлов определяется по формуле:  $\Delta U = \Delta U_{м.б.} \cdot M_a$

где  $M_a$  – сумма произведений активных нагрузок на длины участков линии, кВт·км;

$\Delta U_{м.б.}$  – табличное значение удельной величины потери напряжения в процентах на 1 кВт·км.

Определение сечения проводов по заданной величине потери напряжения производится следующим образом. Определяется расчетное значение

$$\Delta U_{м.б.} \leq \frac{\Delta U}{M_a}$$

$\Delta U_{м.б.}$  по формуле:

и по соответствующей таблице подбирается сечение провода с ближайшим меньшим значением удельной потери напряжения.

Порядок расчета линии электропередачи на потерю напряжения с проводами из цветных металлов с учетом индуктивного сопротивления проводов следующий:

1. Задаемся средним значением индуктивного сопротивления для алюминиевого или сталеалюминиевого провода в 0,35 Ом/км.
2. Рассчитываем активную и реактивную нагрузки  $P$ ,  $Q$ .
3. Подсчитываем реактивную (индуктивную) потерю напряжения

$$\Delta U_p = \frac{Q \cdot x_0}{U_n}$$

4. Допустимая активная потеря напряжения определяется как разность между заданной потерей линейного напряжения и реактивной:

$$\Delta U_a = \Delta U - \Delta U_p$$

5. Определяем сечение провода  $s$ , мм<sup>2</sup>

$$s = \frac{P \cdot l}{\gamma \cdot \Delta U_a \cdot U_{ном}}$$

где  $\gamma$  — величина, обратная удельному сопротивлению ( $\gamma = 1/\rho_0$  — удельная проводимость).

6. Подбираем ближайшее стандартное значение  $s$  и находим для него по справочной таблице активное и индуктивное сопротивления на 1 км линии ( $r_0$ ,  $x_0$ ).

7. Подсчитываем уточненную величину потери напряжения по формуле.

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 \cdot l}{U_n} + \frac{Q \cdot x_0 \cdot l}{U_n}$$

Полученная величина не должна быть больше допустимой потери напряжения. Если же она оказалась больше допустимой, то придется взять провод большего (следующего) сечения и произвести расчет повторно.

Для линий постоянного тока индуктивное сопротивление отсутствует и общие формулы, приведенные выше, упрощаются.

При потерях напряжения 2—5% к. п. д. линии составляет 98—95%.

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ОТЧЕТНЫХ РАБОТ

Форма зачета по лабораторным работам – собеседование.

Лабораторная работа считается выполненной и принимается к зачету по следующим критериям:

**Оценка «отлично»** выставляется, если обучающийся обстоятельно, с достаточной полнотой излагает программный материал, дает правильные формулировки, точные определения ключевых понятий, обнаруживает полное понимание материала и может обосновать свой ответ, привести примеры, демонстрирует самостоятельность мышления, правильно отвечает на дополнительные вопросы.

**Оценка «хорошо»** выставляется, если обучающийся дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для оценки «отлично», но допускает единичные ошибки, которые сам же исправляет после замечаний преподавателя.

**Оценка «удовлетворительно»** выставляется, если обучающийся демонстрирует знание и понимание основных положений программного материала, но при этом допускает неточности в формулировке правил или определений, излагает материал недостаточно связно и последовательно.

**Оценка «неудовлетворительно»** выставляется, если обучающийся обнаруживает незнание большей части программного материала, допускает ошибки в формулировке правил и определений, искажающие их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал, сопровождая изложение частыми запинками, перерывами.

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **Основные источники:**

1. Бутырин П.А. Электротехника: учебн. пособие / П.А. Бутырин - М.ИРПО-Издательский центр «Академия», 2014,- 352с.
2. Березкина I .Ф. Задачник по общей электротехнике с основами электроники: учебн пособие /Т.Ф., Березкина, Н.Г. Гусев, В .В. Масленников. - М.: Высшая школа, 2014. - 84с.
3. Коцман М.М. Электрические машины, М.: Академия, 2015, - 367с.
4. Прошин В.М. Лабораторно-практические работы по электротехнике: учеб. Пособие. В.М. Прошин. – М ИРПО: Издательский центр «Академия», 3- е изд., стер., 2015, -192с.
5. Прошин В.М. Рабочая тетрадь к лабораторно-практическим работам по электротехнике: учеб. пособие./В.М. Прошин,- М.ИРПО: Издательский центр «Академия»,- 3 -е изд., 2015,- стер,- 80с.

### **Дополнительные источники:**

1. Данилов И.А. Общая электротехника с основами электроники: учебн .пособие. И.А. Данилов, П.М. Иванов.- М.: Мастерство, 2010.-752с.
2. ГОСТ 1494-77. Электротехника. Буквенное обозначение основных величин.
3. Долин П.А. Действие электрического тока на человека и первая помощь пострадавшим. / П.А. Долин.-М.: Энергия,1996.- 126с.
4. Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники: учебник / Ф.Е. Евдокимов.- М.: Академия, 2014. – 560с.
5. Коцман М.М. Электрические машины: справочник / М.М. Коцман. - М.: Академия, 2012, - 496с.
6. Панфилов В.А. Электрические измерения: учебн. Пособие / В.А. Панфилов. – М.: Академия, 2015. – 288с.
7. Панфилов Ю.И. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. / Ю.И. Панфилов.- Издательство ДОДЭКА. М.: 199. -304с.

### **Электронные издания (электронные ресурсы)**

1. <http://elektroin/harod/ru/> Библиотека электроэнергетика
2. <http://www.elektroshema.ru/> Электричество и схемы
3. [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)
4. <https://nashol.com/> Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования, Акимова Н.А., Котеленец М.Ф., Сенетюрихин Н.И., 2015
5. <http://cjty-cnegi.ru/about.html>. Всё о силовом электрооборудовании-описание, чертежи, руководства по эксплуатации.