

Каспийский институт морского и речного транспорта
филиал Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Волжская государственная академия водного транспорта»
(ФГБОУ ВО «ВГАВТ»)

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора по учебной работе

М.В. Карташов

« 01 » сентября 2016 г.

Методические указания по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «Теоретические основы электротехники»
для курсантов 2-3 курса
специальности 26.02.06. «Эксплуатация судового электрооборудования
и средств автоматики»

РАССМОТРЕНО

на заседании предметно-цикловой комиссии
электромеханических дисциплин

СОСТАВИЛ

Глебова Т.В.

(подпись)

(Ф.И.О.)

Протокол № 1

от « 29 » августа 2016 года

Председатель ПЦК

(подпись)

Лифанов С.А.

(Ф.И.О.)

ОДОБРЕНО

учебно-методическим отделом СПО
Начальник В.А. Овсянников
Ст. методист О.Н. Вербицкая

2016 г.

Пояснительная записка

Важнейшей целью учебного процесса является обучение курсантов способности применения теоретических знаний в практической деятельности. Одним из средств достижения этой цели является выполнение лабораторных работ курсантами.

Методические указания предназначены для организации выполнения лабораторных работ курсантами 2-3 курса по специальности 26.02.06. «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики». В соответствии с ФГОС СПО, учебным планом ОУ, рабочей программой учебной дисциплины объем выполнения лабораторных работ по данной дисциплине составляет 8 часов.

Данный учебно-методический материал ориентирован на достижение главной цели: повышение результативности обучения и экспериментального подтверждения теоретических положений и формирование учебных и профессиональных практических умений по учебной дисциплине «Теоретические основы электротехники».

Лабораторные работы составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки.

В процессе лабораторной работы курсанты выполняют одну или несколько лабораторных работ (заданий), под руководством преподавателя в соответствии с изучаемым содержанием учебного материала.

Выполнение курсантами лабораторных работ направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам электромеханических дисциплин;
- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;
- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.;
- выработку при решении поставленных задач таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.
- углубление и расширение теоретических знаний;
- развитие познавательных способностей и активности курсантов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- развитие универсальных учебных действий с использованием информационно-коммуникационных технологий.

Состав заданий для лабораторной работы спланирован с расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть выполнены качественно большинством курсантов.

Лабораторная работа как вид учебного занятия проводится в специально оборудованных учебных лабораториях. Продолжительность - не менее двух академических часов. Необходимыми структурными элементами лабораторной работы, помимо самостоятельной деятельности курсантов, являются инструктаж, проводимый преподавателем, а также организация обсуждения итогов выполнения лабораторной работы.

После окончания работы каждый курсант в тетради для лабораторных работ составляет отчет по следующей схеме:

- дата, номер работы и ее наименование;
- цель работы;
- перечень оборудования;
- схема электрической цепи;
- таблица результатов измерений и вычислений;
- расчетные формулы, обработка результатов измерений и определение относительной погрешности.

Количество часов, отводимых на лабораторные работы, фиксируется в тематических планах примерных и рабочих учебных программ.

Содержание

1. Лабораторная работа № 1	
Опытная проверка первого закона Кирхгофа	5
2. Лабораторная работа № 2	
Опытная проверка второго закона Кирхгофа	10
3. Лабораторная работа № 3	
Исследование резонанса напряжений	14
4. Лабораторная работа № 4	
Исследование трехфазной цепи при соединении «звезда»	21

Опытная проверка первого закона Кирхгофа

Цели: практически убедиться в физической сущности закона Ома для участка цепи, изучить соотношения между токами и напряжениями при последовательном и параллельном соединениях потребителей электроэнергии, проверить опытным путём законы Кирхгофа, приобрести навыки в сборке схем и выполнении измерений электрических величин электроизмерительными приборами.

Вводный контроль:

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Какое соединение резисторов называется последовательным?
3. Что характерно для последовательного соединения?
4. Какое соединение резисторов называется параллельным?
5. Что характерно для параллельного соединения?
6. Как определяется цена деления для используемых приборов и как осуществляется сам процесс измерения?

Приборы и оборудование

Таблица 1

Наименование	Тип	Пределы измерения	Цена деления	Количество
Амперметр				
Амперметр				
Амперметр				
Вольтметр				
Реостат				

Краткая теория

Если несколько сопротивлений или приёмников энергии соединены одно за другим без разветвлений, то по всем участкам последовательной цепи проходит один и тот же ток **I**.

Падения напряжения на последовательно соединённых сопротивлениях пропорциональны величинам сопротивлений, что следует из закона Ома:

$$U_1 = I R_1, U_2 = I R_2, U_3 = I R_3. \quad (1)$$

Напряжение на зажимах цепи равно сумме напряжений на отдельных сопротивлениях:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (2) \quad \text{или} \quad I R_{\text{экв}} = I R_1 + I R_2 + I R_3; \quad (3)$$

После сокращения на силу тока **I** получим $R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + R_3$.

Умножив члены уравнения (2) на силу тока **I**, получим

$$IU = IU_1 + IU_2 + IU_3 \quad \text{или} \quad P = P_1 + P_2 + P_3.$$

Участок цепи, по которому проходит один и тот же ток, называется ветвью. Точки, в которых сходятся не менее трёх ветвей, называются узлами.

Параллельное соединение резисторов или приёмников энергии такое, при котором к одним и тем же двум узлам электрической цепи присоединены несколько сопротивлений (ветвей). Общий ток I источника разветвляется в узле А по двум направлениям (как указано на схеме 2) на токи I_1 и I_2 , что является подтверждением первого закона Кирхгофа: Сумма токов, входящих в узел равна сумме токов, выходящих из него.

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Напряжения на всех параллельных ветвях одинаковые, токи в ветвях распределяются обратно пропорционально сопротивлениям, общая проводимость

$$g_{\text{экв}} = g_1 + g_2 + g_3$$

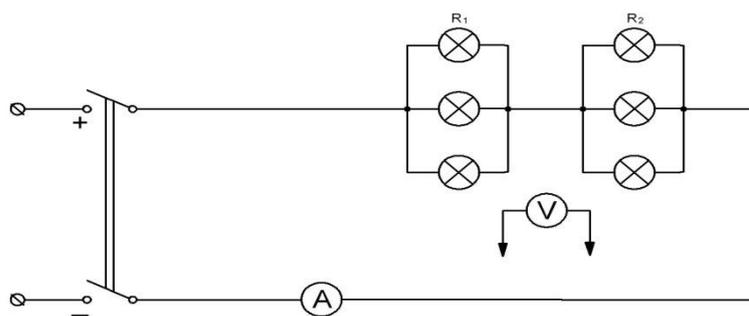
Умножив уравнение (4) на напряжение, получим уравнение мощностей для параллельной цепи $UI = UI_1 + UI_2 + UI_3$.

$$\text{или} \quad P = P_1 + P_2 + P_3.$$

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с приборами, необходимыми для выполнения работы, и записать их основные технические данные в таблицу 1.
2. Собрать схему 1, показать её для проверки преподавателю.

Схема 1



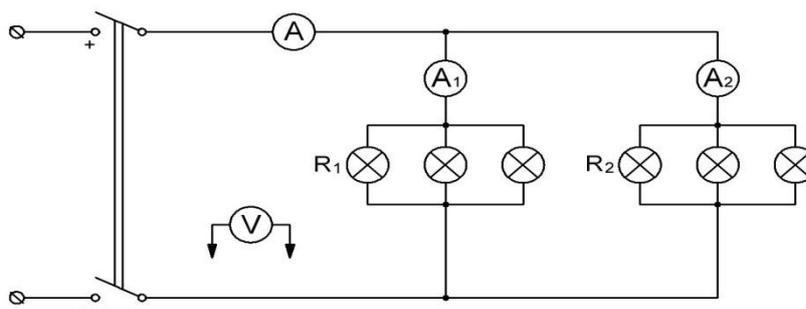
3. Выполнить два опыта с разными сопротивлениями при одинаковом напряжении на зажимах цепи и один - при пониженном напряжении на зажимах цепи. Результаты измерений записать в таблицу 2

Таблица 2

Измерено				Вычислено								
I А	U1 В	U2 В	U В	U1+U2 В	R1 Ом	R2 Ом	R Ом	R1+R2 Ом	P1 Вт	P2 Вт	P Вт	P1 +P2 Вт

4. Собрать схему 2, показать её для проверки преподавателю.

Схема 2



5. Выполнить 3 опыта с разными значениями сопротивлений и результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3

№№ п/п	Измерено				Вычислено								
	U В	I1 А	I2 А	I А	I1 +I2 А	R1 Ом	R2 Ом	Rэ1 Ом	Rэ2 Ом	P1 Вт	P2 Вт	P= =P1+P2 Вт	P= =UI Вт

Расчетные формулы:
 $R1 = U / I1$
 $P1 = U1 I1$
 $P2 = U2 I2$

$Rэ1 = R1 \times R2 / (R1 + R2)$
 $Rэ2 = U / I$

Выводы

По лабораторной работе сделать заключения относительно распределения напряжения на резисторах при последовательном соединении, распределения токов в ветвях при параллельном соединении резисторов, подтверждения первого и второго законов Кирхгофа и причин неполного совпадения расчётных и опытных результатов. Выводы записать в отчёт.

Содержание отчета:

1. Номер, наименование и цель работы.
2. Перечень оборудования и приборов с указанием их технических данных: напряжение ток, мощность, пределы измерения, цена деления и т.д.
3. Электрические схемы.
4. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
5. Формулы расчёта электрических величин.
6. Краткие выводы.

Заключительный контроль:

1. В чём сходство и различие закона Ома для участка цепи и всей цепи?
2. Почему при определении ЭДС источника тока с помощью вольтметра необходимо разомкнуть цепь?
3. Что физически выражает первый закон Кирхгофа?
4. Сформулируйте второй закон Кирхгофа.
5. Какое соединение резисторов называют последовательным? параллельным? смешанным?
6. Как распределяются токи, напряжения при последовательном соединении резисторов? при параллельном соединении резисторов?
7. Чему равно полное сопротивление цепи при последовательном соединении резисторов? При параллельном соединении резисторов?
8. Какая из двух последовательно соединённых ламп горит ярче на 25 или на сто ватт?
9. Доказать, что мощности складываются и при последовательном и при параллельном соединении резисторов.

Рекомендуемая литература:

1. Бондарь И.М. «Электротехника и электроника». 2-е изд. - Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 340 с.
2. Данилов И.А. «Общая электротехника». - М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
3. Иванов Б.К. Электромонтер по обслуживанию и ремонту электрооборудования. - Ростов н/Д: Феникс, 2011. – 320 с.
4. Лоторейчук Е.А. «Теоретические основы электротехники». - М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. – 320 с.
5. Федорченко А.А., Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. - М.: Дашков и К, 2012. – 416 с.

6. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
7. Мальц Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. - СПб.: 2009. – 304 с.
8. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. Изд.4-е. - Ростов н/Феникс, 2009. – 571 с.
9. Синдеев Ю.Г. «Электротехника с основами электроники»: учебное пособие. – Изд. 12-е. - Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.

Интернет-ресурсы:

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.

Опытная проверка второго закона Кирхгофа

Цель: исследование смешанного соединения приемников электрической энергии. Определение падения напряжения на отдельных приемниках. Определение силы тока в цепи и общей силы тока в цепи источника. Доказательство опытным путем законов Ома и Кирхгофа.

Материальное обеспечение:

Источник питания — 1
Амперметры — 3
Вольтметр — 1
Ваттметр — 1
Ламповые реостаты — 3

Вводный контроль:

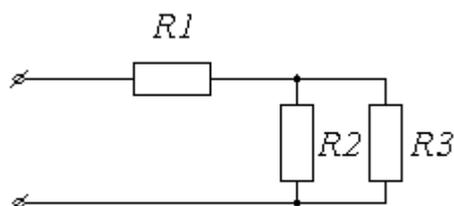
1. Что называется смешанным соединением приемников электрической энергии?
2. Сформулировать закон Ома для участка цепи и для всей цепи.
3. Сформулировать I закон Кирхгофа.
4. Сформулировать II закон Кирхгофа.

Краткая теория

Электрическая цепь, в которой имеются участки с последовательным и параллельным соединением приемников, называется цепью со смешанным соединением приемников.

Цепь со смешанным соединением приемников обычно рассчитывается методом последовательного упрощения схемы,

Данная цепь преобразуется в более простую, эквивалентную ей схему.

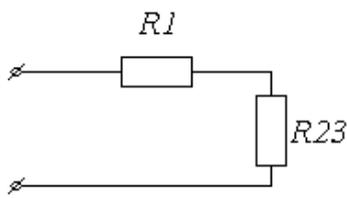


Вначале определяется эквивалентное сопротивление параллельно соединенных между собой резисторов

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}, \quad R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$



в результате чего схема упрощается.



Определяем общее сопротивление всей цепи

$$R_{123} = R_1 + R_{23}$$

При постоянном напряжении на зажимах всей цепи U , зная общее сопротивление можно определить ток I_1 на неразветвленном участке цепи

$$I_1 = \frac{U}{R_{123}}$$

Напряжение на зажимах сопротивления R_1 равно $U_1 = R_1 \cdot I_1$

Напряжение на зажимах параллельной цепи равно $U_2 = I \cdot R_{12}$ или, по второму закону Кирхгофа, $U_2 = U - U_1$.

Токи в параллельных ветвях определяются как

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3}, \quad U_2 = U_3,$$

или по первому закону Кирхгофа $I_1 = I_2 + I_3$

Мощности, потребляемые резисторами, определяются как

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 = I_1^2 \cdot R_1;$$

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = I_2^2 \cdot R_2;$$

$$P_3 = U_3 \cdot I_3 = I_3^2 \cdot R_3.$$

Мощность, потребляемая всей цепью, определяется как

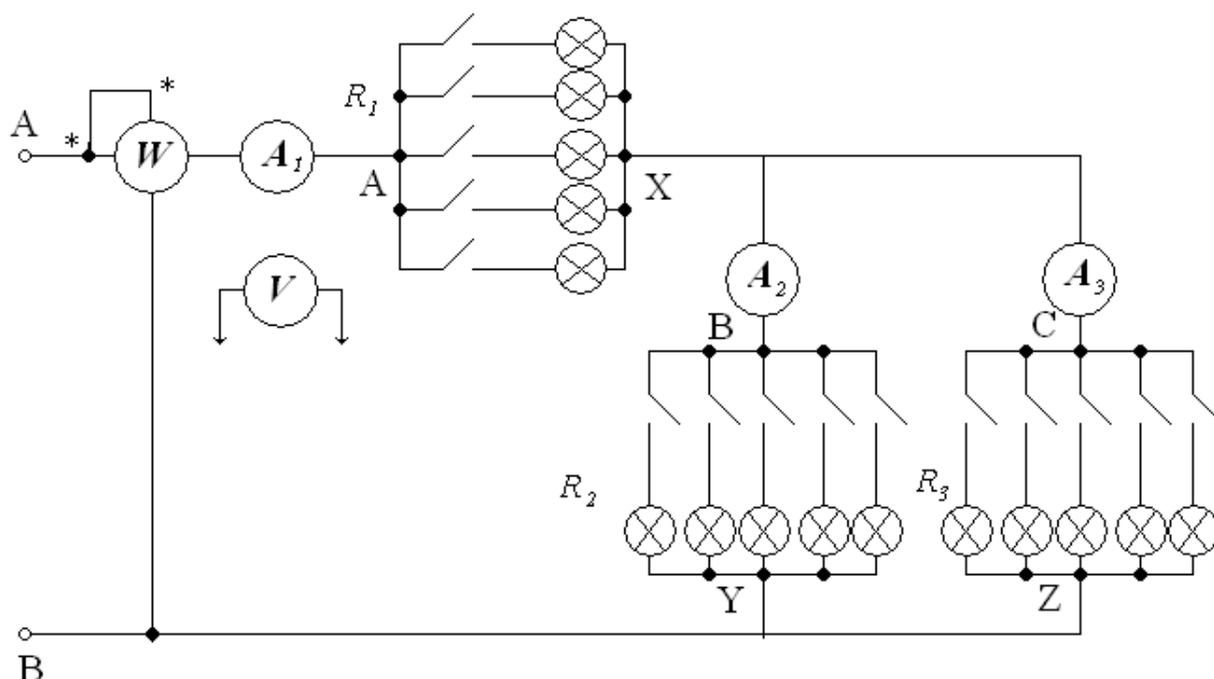
$$P = U \cdot I_1 = I_1^2 \cdot R_{123} \text{ или } P = P_1 + P_2 + P_3$$

Задание:

1. Исследовать смешанное соединение приемников электрической энергии.
2. Измерить падения напряжения, силу тока на отдельных приемниках и мощность,
3. потребляемую во всей цепи.
4. Вычислить сопротивления и мощности всех участков.
5. Убедиться в выполнении законов Ома и Кирхгофа.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с аппаратурой и приборами, необходимыми для выполнения работы, и записать их технические характеристики.
2. Собрать схему.
3. Изменяя сопротивления реостатов R_1 , R_2 и R_3 , при постоянном напряжении произвести три отчета, записав результаты измерений в таблицу.
4. На основании полученных опытных данных определить сопротивление каждого реостата, а также мощности, потребляемые каждым реостатом и всей цепью.



5. Проверить справедливость первого и второго законов Кирхгофа.
6. По результатам исследований сделать выводы.

Содержание отчета.

1. Наименование лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Перечень приборов и оборудования.
4. Задание.
5. Схема.
6. Результаты исследований.
7. Таблица.
8. Расчеты.
9. Ответы на вопросы заключительного контроля.

Заключительный контроль:

1. Данные каких измерений подтверждают справедливость Первого закона Кирхгофа?
2. Данные каких измерений подтверждают справедливость Второго закона Кирхгофа?
3. Чему равна мощность цепи при смешанном соединении потребителей электрической энергии?
4. Как изменится ток во второй ветви при отключении одной из ламп в третьей ветви?
5. Как изменится напряжение на участке AX, если увеличить число включенных ламп в реостате R_1 .

Рекомендуемая литература:

1. Бондарь И.М. «Электротехника и электроника». 2-е изд. - Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 340 с.
2. Данилов И.А. «Общая электротехника». - М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
3. Иванов Б.К. Электромонтер по обслуживанию и ремонту электрооборудования. - Ростов н/Д: Феникс, 2011. – 320 с.
4. Лоторейчук Е.А. «Теоретические основы электротехники». - М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. – 320 с.
5. Федорченко А.А., Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. - М.: Дашков и К, 2012. – 416 с.
6. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
7. Мальц Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. - СПб.: 2009. – 304 с.
8. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. Изд.4-е. - Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.
9. Синдеев Ю.Г. «Электротехника с основами электроники»: учебное пособие. – Изд. 12-е. - Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.

Интернет-ресурсы:

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.

Исследование резонанса напряжений

Цель работы: Исследовать цепь переменного тока с последовательным соединением катушки и конденсатора, получить резонанс напряжений, определить параметры цепи, приобрести навыки в построении векторных диаграмм, изучить устройство электроизмерительных приборов электромагнитной системы.

Приобретение навыков определения параметров элементов в цепях переменного тока по результатам измерений, включения в цепь измерительных приборов, измерения токов и напряжений, применения закона Ома в цепи переменного тока.

Пояснения к работе

При расчете цепей переменного тока, в отличие от цепей постоянного тока, необходимо учитывать не один, а три простейших пассивных элемента: резистивный, индуктивный и емкостной, которые характеризуются соответственно параметрами: активным сопротивлением R , индуктивностью L (индуктивным сопротивлением $X_L = \omega L$) и емкостью C (емкостным сопротивлением $X_C = 1/\omega C$), где ω - угловая частота.

В реальной цепи сопротивлением обладают не только резистор или реостат как устройства, предназначенные для использования их электрических сопротивлений, но и любой проводник, катушка, конденсатор, обмотка любого электромагнитного элемента и др. Общим свойством всех устройств, обладающих электрическим сопротивлением, является необратимое преобразование электрической энергии в тепловую энергию. При токе i в резисторе, обладающим сопротивлением r за время dt в соответствии с законом Джоуля - Ленца выделяется энергия $dw = ri^2 dt$.

Тепловая энергия, выделяемая в сопротивлении, полезно используется или рассеивается в пространстве. Но поскольку преобразование электрической энергии в тепловую энергию в пассивном элементе носит необратимый характер, то в схеме замещения во всех случаях, когда необходимо учесть необратимое преобразование энергии, включается сопротивление. В реальном устройстве, например, в электромагните, электрическая энергия может быть преобразована в механическую энергию (притяжение якоря), но в схеме замещения это устройство заменяется сопротивлением, в котором выделяется эквивалентное количество тепловой энергии. И при анализе схемы нам уже безразлично, что в действительности является потребителем энергии электромагнит или электроплитка.

В цепях переменного тока сопротивление называют активным, которое из-за явления поверхностного эффекта больше, чем электрическое сопротивление

постоянному току. Однако при низких частотах этой разницей обычно пренебрегают.

Напряжение, подведенное к активному сопротивлению, по фазе совпадает с током, то есть напряжение и ток одновременно достигают максимальных значений и одновременно переходят через нуль. Если мгновенные значения тока имеет вид $i(t) = I_M \sin 2\pi ft$ то мгновенное значение напряжения будет $u_R(t) = U_M \sin 2\pi ft$.

Индуктивность L характеризует свойство участка цепи или катушки накапливать энергию магнитного поля. В реальной цепи индуктивностью обладают не только индуктивные катушки как элементы цепи, предназначенные для использования их индуктивности, но и провода, и выводы конденсаторов, и реостаты. В целях упрощения обычно считают, что энергия магнитного поля сосредотачивается только в катушках.

При протекании переменного тока $i(t)$ через катушку индуктивности, состоящей из w витков, возбуждается переменный магнитный поток $\Phi(t)$, который в соответствии с законом электромагнитной индукции наводит в ней же ЭДС самоиндукции $e_L = -w d\Phi/dt = -L di/dt$. Следовательно, индуктивность в цепи переменного тока влияет на величину протекающего тока как сопротивление. Соответствующая расчетная величина называется индуктивным сопротивлением и обозначается X_L и измеряется так же, как и активное сопротивление - в Омах.

Чем выше частота переменного тока, тем больше ЭДС самоиндукции и тем больше индуктивное сопротивление $X_L = \omega L = 2\pi fL$. Величина $\omega = 2\pi f$ называется угловой частотой переменного тока.

В цепи постоянного тока в установившемся режиме индуктивность не влияет на режим работы цепи, так как ЭДС самоиндукции равна нулю.

Поскольку ЭДС самоиндукции возникает только при изменении тока, то и максимальные значения ЭДС наступают при максимальной скорости изменения тока в катушке, то есть при прохождении тока через нуль. Поэтому на участке цепи с индуктивностью ЭДС самоиндукции по времени отстает от тока на четверть периода или на $\pi/2$ электрических радиана. Напряжение на индуктивности, будучи противоположным ЭДС, наоборот, опережает ток на четверть периода или на $\pi/2$ электрических радиана. Если по катушке проходит ток, мгновенное значение которого $i(t) = I_M \sin 2\pi ft$, то мгновенное значение напряжения на индуктивности $u_L(t) = U_M \sin (2\pi ft + \pi/2) = X_L I_M \sin (2\pi ft + \pi/2)$. Когда напряжение, изменяясь синусоидально, достигает максимума, ток в это мгновение равен нулю. Если напряжение на зажимах элемента цепи опережает ток на $\pi/2$ радиана, то говорят, что такой элемент представляет собой идеальную катушку индуктивности или чисто реактивное индуктивное сопротивление X_L . Это сопротивление учитывает реакцию электрической цепи на изменение магнитного поля в индуктивности и является линейной функцией частоты.

При включении в цепь переменного тока реальной катушки (рис.1), обладающей кроме индуктивности L и некоторым значением активного сопротивления R , ток отстает по фазе от напряжения на некоторый угол $\varphi < \pi/2$,

который легко определяется из треугольника сопротивлений (рис. 3): $tg\varphi = X_L/R$.

Для такого участка электрической цепи уравнение на основании второго закона Кирхгофа имеет вид:

$$u = u_R + u_L = Ri + Ldi/dt.$$

В напряжении, подведенном к реальной катушке, условно можно выделить две составляющих: падение напряжения Ri на активном сопротивлении, обычно называемое активной составляющей приложенного напряжения, и напряжение на идеальной индуктивности $u_L = Ldi/dt$, называемое реактивной составляющей приложенного напряжения. Фазовые соотношения между этими составляющими, приложенным напряжением и протекаемым током обычно иллюстрируются векторной диаграммой для их действующих значений (рис. 2). Из векторной диаграммы видно, что

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 X_L^2} = I \sqrt{R^2 + X_L^2} = IZ$$

где $Z = U_M/I_M = U/I = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ - полное электрическое сопротивление реальной катушки. Из треугольника сопротивлений (рис. 3) следует, что $R = Z\cos\varphi$, $X_L = Z\sin\varphi$, $\varphi = \arctg X_L/R$.

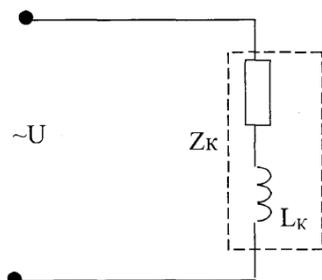


Рис.1

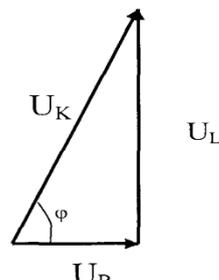


Рис.2

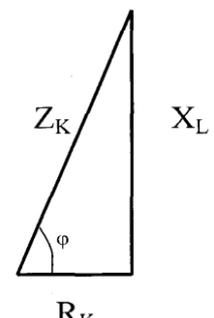


Рис. 3

Закон Ома для цепи, по которой протекает переменный ток, записывается в виде $I = U/Z$.

Из рассмотренного следует важный вывод: **сопротивления в цепи переменного тока складываются в общем случае геометрически**. Например, если у катушки $R=3$ Ома и $X_L = 4$ Ома, то $Z = 5$ Ом.

Емкость, измеряемая в фарадах (Ф), характеризует способность элемента электрической цепи или конденсатора накапливать энергию электрического поля. В реальной цепи емкость существует не только в конденсаторах, как элементах предназначенных специально для использования их емкости, но и между проводниками, между витками катушек (межвитковая емкость), между проводом и землей или каркасом электротехнического устройства. Однако в схемах замещения принято, что емкостью обладают только конденсаторы.

В конденсаторе, точнее в диэлектрике, разделяющем пластины или проводники конденсатора, может существовать ток электрического смещения, в точности равный току проводимости в проводниках, присоединенных к обкладкам конденсатора: $i = dq / dt$, где q - заряд на обкладках конденсатора, измеряемый в кулонах и пропорциональный напряжению на конденсаторе Uc :

$$q = C U_c, \text{ и при } C = \text{const} \quad dq = C dU_c.$$

Тогда ток, проходящий через конденсатор, $i = C dU_c / dt$, а энергия электрического поля, запасаемая в конденсаторе при возрастании напряжения, $W = C U_c^2 / 2$.

Очевидно, что при постоянном напряжении $dU_c / dt = 0$ и постоянный ток через конденсатор проходить не может.

При изменении напряжения на обкладках конденсатора через него протекает емкостной ток. Чем быстрее изменяется напряжение, тем больше емкостной ток. Если приложить к конденсатору переменное синусоидальное напряжение, то через конденсатор потечет переменный синусоидальный ток, сдвинутый по фазе на $\pi/2$ по отношению к напряжению. Это происходит потому, что емкостной ток достигает максимального значения при максимальном изменении напряжения, т.е. при прохождении напряжения через нуль. Ток при этом опережает напряжение по фазе на $\pi/2$. Если мгновенное значение тока, протекаемого через конденсатор $i(t) = I_M \sin 2\pi f t$, то мгновенное значение напряжения на нем

$$U_c(t) = U_M \sin(2\pi f t - \pi/2) = X_C I_M \sin(2\pi f t - \pi/2),$$

где X_C - реактивное емкостное сопротивление, Векторная диаграмма для участка электрической цепи, содержащей конденсатор, изображена на рис. 4.

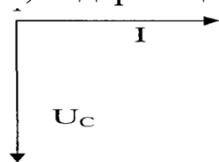


Рис.4

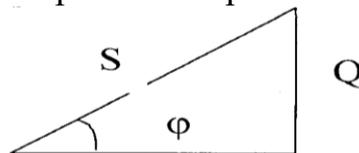


Рис. 5

Величина $X_C = 1/2\pi f C = 1/\omega C = U_{cm}/I_m = U_c / I$ называется реактивным емкостным сопротивлением. Это сопротивление учитывает реакцию электрической цепи на изменение электрического поля в конденсаторе и является обратно пропорциональной функцией частоты.

Закон Ома для участка электрической цепи с конденсатором $I = U_c / X_C$, где I – действующее значение тока, протекаемого через конденсатор, U_c - действующее значение напряжения на конденсаторе.

Электрическая цепь, по которой протекает переменный ток, потребляет из сети активную, реактивную и полную мощности.

Активная мощность P , измеряемая в ваттах (Вт), равна произведению действующего значения напряжения U на действующее значение ток I и на $\cos\varphi$, называемый коэффициентом мощности, или произведению квадрата действующего значения тока на активное сопротивление:

$$P = UI \cos\varphi = I^2 R.$$

Реактивная мощность Q , измеряемая в вольт-амперах реактивных (Вар), равна произведению действующего значения напряжения U на действующее значение тока I и на $\sin\varphi$ или произведению квадрата действующего значения тока на реактивное сопротивление:

$$Q = UI \sin\varphi = I^2 X.$$

Полная мощность S , измеряемая в вольт-амперах ($ВА$), равна произведению действующего значения тока I на действующее значение напряжения U :

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Соотношения этих мощностей иллюстрируются треугольником мощностей (рис. 5).

Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (модуль питания, модуль ввода, модуль резисторов, модуль реактивных элементов и модуль мультиметров, компьютер).

3.2. Установить на мультиметре режим измерения сопротивления, подключить его выводы параллельно резистору $R1$ модуля резисторов и включив электропитание стенда (выключатель QF1 модуля питания) провести измерение значений сопротивления $R1$. Результаты измерений записать в табл. 1.

Таблица 1

Установлено	5 Ом	10 Ом	20 Ом	30 Ом	40 Ом	50 Ом
Измерено						

3.3 Аналогично п.3.2 провести измерение активного сопротивления R_K реальной катушки индуктивности Z_K . Результат измерения записать в табл. 2.

Таблица 2

R_K , Ом	U , В	I , А	φ , град.	T , с	$f=1/T$, Гц	$Z_K=U/I$, Ом	X_K , Ом	$L= X_K/2\pi f$, Гн

3.4 Собрать электрическую цепь для исследования катушки индуктивности (рис. 6). Предъявить схему для проверки преподавателю.

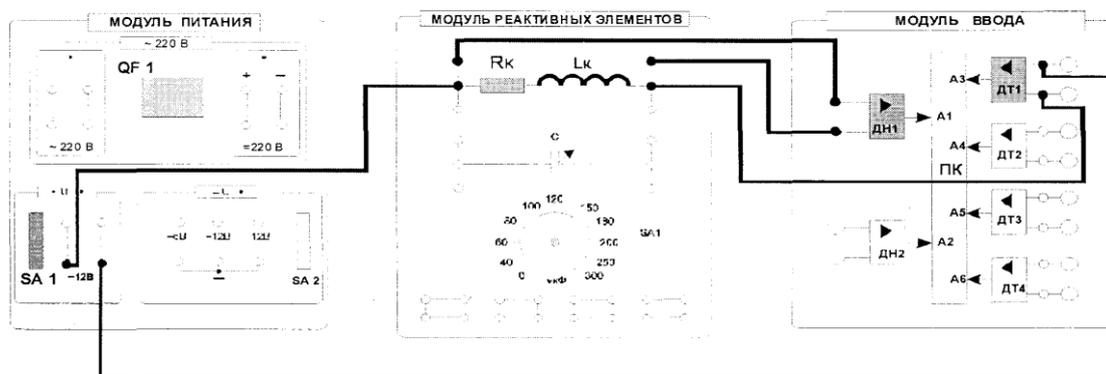


Рис.6

3.5 Включить питание компьютера, открыть окно лабораторной работы «Экспериментальное определение параметров цепей переменного тока». Установить режим измерения «Среднеквадратичное». Включить электропитание

стенда (выключатель QF1, SA1 и SA2 модуля питания) и записать результаты измерений действующих значений напряжения и тока в табл. 2. Снять осциллограммы напряжения и тока в цепи, нарисовав их на одной координатной плоскости, определить по ним амплитуды, период и частоту измеряемого напряжения и тока, а так же приблизительно угол сдвига фаз между напряжением и током. Результаты занести в табл.2. Выключить электропитание стенда рассчитать величину индуктивного сопротивления и индуктивность катушки. Результаты расчета занести в табл.2.

3.6 Собрать электрическую цепь для исследования конденсатора (рис.7). установить с помощью переключателя SA1 модуля реактивных элементов заданное преподавателем значения емкости конденсатора $C_{ЗАД}$. Предъявить схему для проверки преподавателю.

3.7 Включить электропитание стенда (выключатель QF1 и выключатель SA1 модуля питания) и записать результаты измерений действующих значений напряжения и тока в табл. 3. Снять осциллограммы напряжения и тока в цепи, нарисовав их на одной координатной плоскости, определить по ним амплитуды, период и частоту измеряемого напряжения и тока, а так же приблизительно угол сдвига фаз между напряжением и током. Результаты занести в табл.3.

Выключить электропитание стенда. Рассчитать величину емкостного сопротивления и величину фактической емкости конденсатора $C_{ФАКТ}$.

Примечание:

При отклонении формы напряжения сети от синусоидальной кривая тока, протекаемого через конденсатор, будет существенно отличаться от синусоидальной формы.

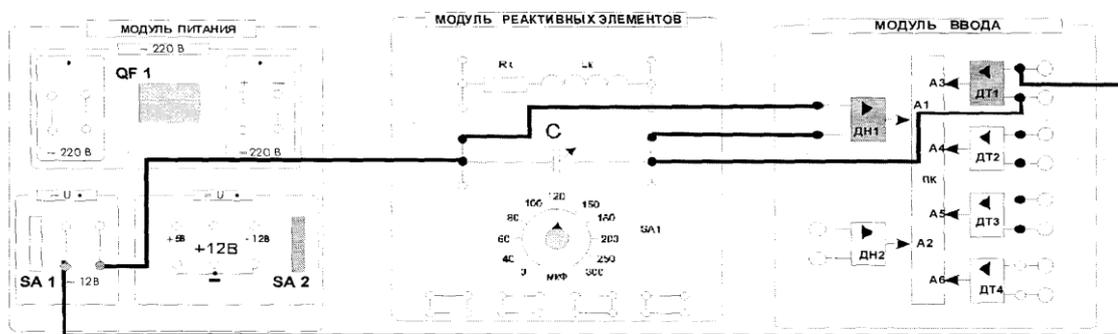


Рис. 7

Таблица 3

$C_{ЗАД}$, мкФ	U, В	I, А	φ , град.	T, с	$f=1/T$, Гц	X_C , Ом	$C_{ФАКТ}=1/2\pi f X_C$, мкФ

Содержание отчета

- наименование работы и цель работы;
- электрические схемы опытов;
- осциллограммы и таблицы с результатами опытов и вычислений;

- д) построенные в масштабе векторные диаграммы для резистора, реальной катушки и конденсатора;
- е) выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. В каких единицах измеряется ток, напряжение, сопротивление?
2. Что такое Ом, Ампер, Вольт?
3. Что такое «полное сопротивление»?
4. Что такое «активное сопротивление»?
5. Что такое «реактивное сопротивление» и как оно определяется?
6. Какая связь между полным, активным и реактивным сопротивлениями цепи переменного тока?
7. Как формулируется закон Ома для цепи переменного тока?
8. Может ли через конденсатор протекать постоянный ток?
9. Каковы углы сдвига фаз между напряжением и током на резисторе, реальной катушке и конденсаторе?

Рекомендуемая литература:

1. Бондарь И.М. «Электротехника и электроника». 2-е изд. - Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 340 с.
2. Данилов И.А. «Общая электротехника». - М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
3. Иванов Б.К. Электромонтер по обслуживанию и ремонту электрооборудования. - Ростов н/Д: Феникс, 2011. – 320 с.
4. Лоторейчук Е.А. «Теоретические основы электротехники». - М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. – 320 с.
5. Федорченко А.А., Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. - М.: Дашков и К, 2012. – 416 с.
6. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
7. Мальц Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. - СПб.: 2009. – 304 с.
8. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. Изд.4-е. - Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.
9. Синдеев Ю.Г. «Электротехника с основами электроники»: учебное пособие. – Изд. 12-е. - Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.

Интернет-ресурсы:

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.

Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей «звездой»

Цель работы:

Ознакомиться с трехфазными системами, измерением фазных и линейных токов и напряжений. Проверить основные соотношения между токами и напряжениями симметричного и несимметричного трехфазного потребителя. Выяснить роль нейтрального провода в четырехпроводной трехфазной цепи. Научиться строить векторные диаграммы напряжений и токов для трехфазной цепи.

Пояснения к работе

Трехфазная система переменного тока имеет ряд преимуществ по сравнению с постоянным током и однофазным переменным током и поэтому получила широкое применение. Чаще всего электрическая энергия вырабатывается, передается и распределяется между потребителями трехфазными системами. Подавляющее большинство электродвигателей является двигателями трехфазного переменного тока.

Чтобы в трехфазной системе можно было одновременно пользоваться двумя различными напряжениями (например, 380В – для питания электродвигателей и 220В - для питания электрических ламп и других однофазных потребителей) применяют четырехпроводную систему электроснабжения. Четырехпроводная линия трехфазной системы имеет четыре провода: три линейных, по которым протекают линейные токи I_A , I_B , I_C и один нулевой (нейтральный) провод, предназначенный для поддержания одинаковых значений фазных напряжений на всех трех фазах потребителя. По нулевому проводу может протекать уравнивающий ток I_0 , называемый нулевым или нейтральным током. Такая система соединения обмоток трехфазного генератора и приемников (потребителей) называется «звездой» и показана на рис.1.

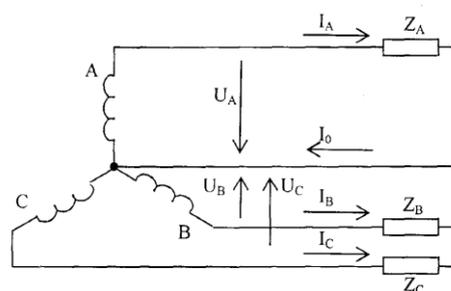


Рис. 1

При соединении в звезду ток I_A , протекаемый по фазе источника питания, равен току, протекаемому по линейному проводу фазы A . Этот же ток протекает и по фазе A потребителя. Следовательно, при соединении в звезду фазный ток I_ϕ равен линейному току I_L : $I_\phi = I_L$.

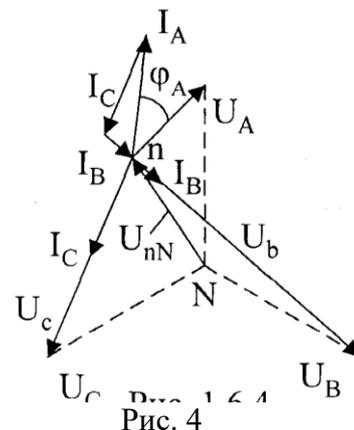
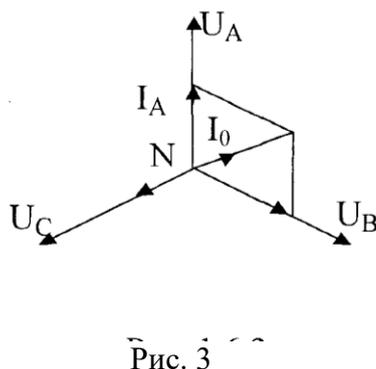
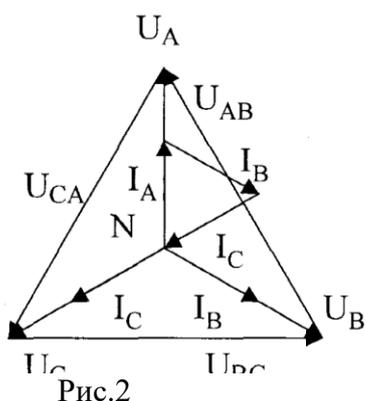
Напряжение между линейными проводами, называемое линейным напряжением (например, U_{AB}), оказывается в $\sqrt{3}$ раз больше, чем фазное напряжение источника питания U_A , U_B или U_C : $U_L = \sqrt{3}U_\phi$.

Если трехфазная система симметричная (все сопротивления и мощности фазных потребителей одинаковы), то по всем трем фазам протекают одинаковые по величине токи, сдвинутые по фазе относительно друг друга на 120° . Ток в

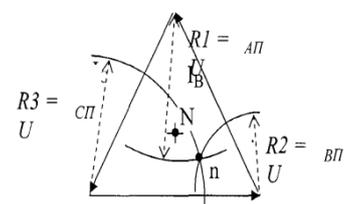
нейтральном проводе при этом равен нулю. Напряжения на всех фазах потребителя также отличаются друг от друга только по начальной фазе на 120° (рис. 2).

При включении в разных фазах различных по мощности потребителей (несимметричная нагрузка), токи каждой фазы (в каждом линейном проводе) отличаются друг от друга не только начальной фазой, но и величиной. По нейтральному проводу при этом протекает ток, вектор которого на основании первого закона Кирхгофа равен геометрической сумме векторов фазных токов (рис. 3):

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = \bar{I}_0$$



Обрыв нейтрального провода (трехпроводная система) при несимметричной нагрузке приводит к изменению напряжений на всех фазах потребителей и появлению напряжения смещения нейтрали U_{Nn} (рис. 4). Положение точки «n» на векторной диаграмме при измеренных значениях напряжений на фазах потребителей U_{An} , U_{Bn} и U_{Cn} может быть определено методом засечек (рис. 5) или рассчитано аналитически.



Порядок выполнения работы:

Ознакомиться с лабораторной установкой (компьютер, модуль ввода, модуль питания, модуль трехфазного напряжения, модуль трехфазного трансформатора, модуль резисторов).

В соответствии со схемой по рис. 6а нарисовать электрическую схему исследуемой цепи.

Включить компьютер и открыть окно «Лабораторная работа. Трехфазная цепь при соединении по схеме «звезда». Установить режим измерения «Среднеквадратическое».

Собрать электрическую цепь (рис. 6б). Установить переключатели значений сопротивлений резисторов в позицию «~» (∞).

Установить на модуле трехфазного напряжения частоту питающего напряжения 50 Гц (переключатель SA2). Предъявить схему для проверки преподавателю.

Включить модуль питания стенда (выключатель $QF1$ и $SA2$), модуль трехфазного напряжения (выключатель $SA1$ и тумблер $SA3$) и модуль трехфазного трансформатора (выключатель $QF1$). Измерить линейные напряжения U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} и фазные напряжения U_A , U_B , U_C трехфазного источника питания (трехфазного трансформатора) в режиме холостого хода. Для этого подключать поочередно вход датчика напряжения ДН1 модуля ввода к выводам «а» и «б», «б» и «с», «с» и «а», «п» и «а», «п» и «б», «п» и «с» модуля трехфазного напряжения.

Результаты измерений занести в табл. 1, вычислив при этом среднеарифметические значения напряжения $U_{ЛСР}$ и $U_{ФСР}$. Выключить модуль трехфазного трансформатора (выключатель $QF1$).

Таблица 1

Линейные напряжения			Фазовые напряжения			Вычислено		
$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, В$	$U_{ЛСР}, В$	$U_{ФСР}, В$	$U_{Л}/U_{Ф}$

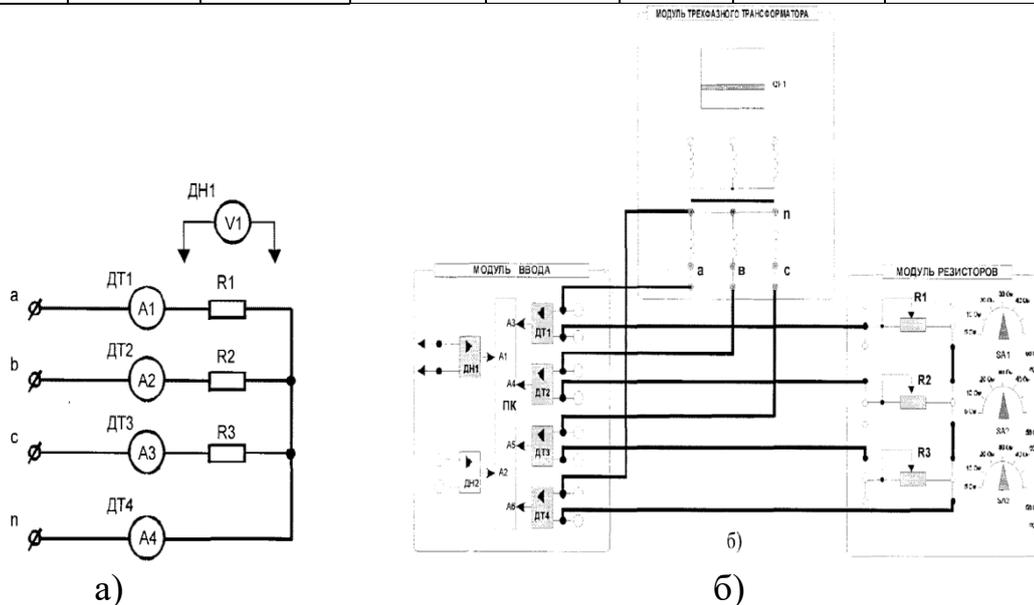


Рис. 6

Установить в фазах потребителя по указанию преподавателя одинаковые значения сопротивлений резисторов (симметричную нагрузку). Включить электропитание стенда. Измерить токи, фазные и линейные напряжения при включенном нейтральном проводе. Напряжения измерять, подключая входы датчика напряжения ДН1 к соответствующим гнездам. Результаты измерений занести в табл. 2. Выключить модуль трехфазного трансформатора.

Разомкнуть цепь нейтрального провода (удалить соответствующий проводник). Включить модуль трехфазного трансформатора и повторить те же измерения при отключенном нейтральном проводе. Результаты занести в табл. 2. Выключить модуль трехфазного трансформатора.

По указанию преподавателя изменить значения сопротивлений резисторов в фазах потребителя, обеспечив несимметричную нагрузку. Замкнуть

цепь нейтрального провода (включить соответствующий проводник). Включить модуль трехфазного трансформатора и измерить токи, линейные и фазные напряжения в каждой фазе потребителя при наличии нейтрального провода. Результаты записать в табл. 2. Выключить модуль трехфазного трансформатора.

Разомкнуть цепь нейтрального провода (удалить соответствующий проводник). Включить модуль трехфазного трансформатора и вновь измерить токи и напряжения. Результаты записать в табл. 2. Выключить модуль трехфазного трансформатора, модуль трехфазного напряжения и модуль питания.

Для всех проведенных опытов построить в масштабе векторные диаграммы.

Сделать вывод о влиянии нейтрального провода на режим работы трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузке.

Таблица 2

Режим нагрузки	Ток нагрузки, А				Напряжение на потребителях, В						
	I_A	I_B	I_C	I_0	Фазные			Линейные			
					$U_{АП}$	$U_{ВП}$	$U_{СП}$	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	
Нейтральный провод включен, нагрузка симметричная											
Нейтральный провод выключен, нагрузка симметричная											
Нейтральный провод включен, нагрузка несимметричная											
Нейтральный провод выключен, нагрузка несимметричная											

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) технические данные электроизмерительных приборов;
- в) схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- г) таблицы с результатами эксперимента и векторные диаграммы;
- е) вывод о роли нейтрального провода в трехфазной цепи при соединении потребителя по схеме звезда.

Контрольные вопросы

1. Какое соединение называется звездой?
2. Каково соотношение между фазным и линейным напряжениями трехфазного источника питания при соединении его обмоток по схеме звезда?
3. Какое соотношение между фазными и линейными токами при соединении в звезду?
4. Как определить величину тока в нейтральном проводе, если известны токи потребителя?

5. Для чего применяют нейтральный провод?
6. К каким зажимам следует подключить вольтметр, чтобы измерить фазное и линейное напряжение?
7. Какая трехфазная нагрузка называется симметричной?
8. Почему при несимметричной нагрузке обрыв нейтрального провода является аварийным режимом?

Рекомендуемая литература:

1. Бондарь И.М. «Электротехника и электроника». 2-е изд. - Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 340 с.
2. Данилов И.А. «Общая электротехника». - М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
3. Иванов Б.К. Электромонтер по обслуживанию и ремонту электрооборудования. - Ростов н/Д: Феникс, 2011. – 320 с.
4. Лоторейчук Е.А. «Теоретические основы электротехники». - М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. – 320 с.
5. Федорченко А.А., Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. - М.: Дашков и К, 2012. – 416 с.
6. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
7. Мальц Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. - СПб.: 2009. – 304 с.
8. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. Изд.4-е. - Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.
9. Синдеев Ю.Г. «Электротехника с основами электроники»: учебное пособие. – Изд. 12-е. - Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.

Интернет-ресурсы:

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.