

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Н. В. Бочарова, М. С. Харитонов

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Утверждено редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «КГТУ»
в качестве учебно-методического пособия по выполнению
лабораторных работ для студентов бакалавриата
по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 631.371

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
И. Е. Кажекин

Бочарова, Н. В.

Электротехника и электроснабжение: учеб.-методич. пособие по выполнению лабораторных работ для студ. бакалавриата по напр. подгот. 08.03.01 Строительство, профили подготовки: промышленное и гражданское строительство, теплогазоснабжение и вентиляция, водоснабжение и водоотведение / Н. В. Бочарова, М. С. Харитонов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 38 с.

Учебно-методическое пособие является руководством по проведению цикла лабораторных работ по дисциплине «Электротехника и электроснабжение». Лабораторные работы предназначены для закрепления теоретического материала и приобретения практических навыков в области электротехники.

Рис. 9, табл. 10, список лит. – 8 наименований

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено учебно-методической комиссией Института морских технологий, энергетики и строительства 25 января 2023 г., протокол № 5

УДК 631.371

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© Бочарова Н. В., Харитонов М. С., 2023 г.

Оглавление

Введение	4
Правила техники безопасности при проведении работ.....	7
Лабораторная работа № 1. Исследование цепи со смешанным соединением приёмников на постоянном и переменном токе	10
Лабораторная работа № 2. Определение мощности в цепях переменного тока при различном характере сопротивлений.....	15
Лабораторная работа № 3. Исследование последовательной цепи однофазного переменного тока.....	19
Лабораторная работа № 4. Исследование цепи трёхфазного переменного тока при соединении электроприёмников «звездой».....	24
Лабораторная работа № 5. Испытание двухобмоточного однофазного трансформатора	29
Рекомендуемая литература.....	35
Приложение 1	36
Приложение 2	37

Введение

Дисциплина «Электротехника и электроснабжение» обеспечивает формирование у обучающихся готовности к использованию системы знаний в области теоретических основ электротехники и базовых принципов функционирования систем электроснабжения.

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся знаний, умений и навыков в области определения характеристик процессов распределения, преобразования и использования электрической энергии в электрических цепях.

Целью проведения лабораторного практикума по дисциплине «Электротехника и электроснабжение» является формирование знаний в области расчёта и анализа электрических и магнитных цепей, рассматриваемых как модели реальных электротехнических устройств, используемых в строительных отраслях промышленности.

Задачи проведения лабораторного практикума:

- изучение методов расчёта однофазных и трёхфазных электрических цепей;

- изучение многообразных физических явлений и процессов, происходящих в электрических машинах;

- приобретение навыков правильного выбора измерительных устройств контроля электрических и неэлектрических параметров.

После освоения лабораторного практикума обучающиеся должны:

знать: основные характеристики процессов распределения, преобразования и использования электрической энергии в электрических цепях; основные электротехнические параметры инженерных систем зданий при проектировании объектов строительства и жилищно-коммунального хозяйства;

уметь: решать задачи профессиональной деятельности, используя доступные характеристики процессов распределения, преобразования и использования электрической энергии в электрических цепях; разрабатывать узлы строительной конструкции зданий при проектировании лифтового оборудования;

владеть: навыками теоретического и экспериментального исследования характеристик процессов распределения, преобразования и использования электрической энергии в электрических цепях; навыками проектирования объектов строительства и жилищно-коммунального хозяйства с использованием знаний в области электротехники и электроники.

Лабораторные работы предназначены для углубления и закрепления теоретических знаний, полученных на лекциях, а также для обучения студентов навыкам работы с электрооборудованием, развития инициативы и самостоятель-

ности в работе. В процессе выполнения лабораторных работ студенты знакомятся с конкретными электроизмерительными приборами, изучают и практически осваивают различные режимы работы электрических цепей.

Лабораторная работа может быть успешно выполнена в том случае, если студенты имеют хорошую предварительную теоретическую и методическую подготовку. Теоретическая подготовка предусматривает повторение и усвоение рассмотренных на лекциях положений, осмысление основных теоретических соотношений и зависимостей, связывающих электрические величины и характеризующих физические явления, внимательное ознакомление с содержанием и порядком выполнения лабораторной работы и оформления отчёта. Методическая подготовка предусматривает наличие и выработку у студентов навыков в чтении электрических схем и сборке электрических цепей, а также проведении исследований в определённой последовательности, позволяющей сопоставлять и анализировать физические процессы и явления.

Подготовку к лабораторной работе необходимо начинать с повторения теоретического материала по учебнику и только после этого знакомиться с заданием на лабораторную работу, заканчивая разбором контрольных вопросов.

В процессе подготовки должна быть вычерчена принципиальная схема лабораторной установки и подготовлены таблицы для записи полученных данных в процессе выполнения работы.

Готовность студента к выполнению лабораторной работы проверяется преподавателем путём опроса по содержанию выполняемой работы. Студенты, не подготовленные к выполнению лабораторной работы, не допускаются к выполнению работы, и при этом оставшееся до конца занятия время студент должен использовать для подготовки к данной лабораторной работе. Время на отработку пропущенной лабораторной работы согласовывается с преподавателем.

Выполнение лабораторной работы включает в себя:

- 1) ознакомление с техническими данными оборудования и электроизмерительных приборов, запись сведений о лабораторном оборудовании и измерительных приборах;
- 2) сборку электрической схемы;
- 3) экспериментальное исследование;
- 4) обработку экспериментального материала и составление отчёта с выводами по выполненной работе.

Ввиду большой опасности поражения электрическим током при выполнении лабораторных работ необходимо строгое соблюдение правил техники безопасности. Поэтому к выполнению лабораторной работы студент допускается

после прохождения общего инструктажа по технике безопасности на первом занятии и проверки знаний по изучаемому разделу дисциплины перед каждой лабораторной работой.

После выполнения каждого этапа экспериментального исследования необходимо убедиться в правильности снятых показаний и только после этого переходить к выполнению следующего задания. Обработка экспериментального материала и оформления отчёта производится после выполнения всего объёма лабораторной работы. В выводах лабораторной работы следует указать на подтверждение данными эксперимента теоретических положений, а также причин расхождений. Дать анализ физических процессов и объяснения характера полученных зависимостей.

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Название лабораторной работы.
2. Цель лабораторной работы.
3. Принципиальные схемы лабораторной установки с указанием номинальных данных исследуемого электрооборудования, а также номиналы выбранных для выполнения работы электроизмерительных приборов.
4. Таблицы для занесения экспериментальных результатов.
5. Расчёты и графики, предусмотренные в пункте «Обработка результатов измерений».
6. Выводы по выполненной работе.

Отчёты по лабораторным работам студенты представляют преподавателю в конце соответствующего лабораторного занятия или в установленный срок согласно указаниям преподавателя.

Зачёт по лабораторной работе выставляется после представления отчёта, его проверки и устранения замечаний. При проверке отчёта преподаватель путём опроса по содержанию работы и на основе контрольных вопросов устанавливает понимание студентом физических принципов и методики проведения лабораторной работы.

Правила техники безопасности при проведении работ

1. Общие требования охраны труда

Безопасность жизнедеятельности при проведении лабораторных работ в лабораториях кафедры энергетики обязательна для профессорско-преподавательского состава, учебно-вспомогательного персонала и студентов.

К проведению лабораторных работ допускаются лица, прошедшие инструктаж с росписью в журнале. Инженер, обслуживающий лабораторию, должен иметь группу допуска с ежегодной проверкой. В лаборатории должна быть медицинская аптечка с набором медикаментов первой медицинской помощи, а также лаборатория должна быть укомплектована средствами пожаротушения. На видном месте должна висеть инструкция по противопожарной технике безопасности.

Во время проведения занятий запрещено находиться в лаборатории в верхней одежде либо размещать верхнюю одежду в помещении лаборатории. Перед проведением лабораторных занятий студенты обязаны изучить лабораторную работу. Перед началом работы инженер или преподаватель проверяет исправность стендов. Без разрешения преподавателя проведение лабораторных работ запрещается. Запрещается изменять схему лабораторной работы. При проведении лабораторных работ на столах не должно быть ничего из посторонних предметов. Всякие работы по устранению неисправностей под напряжением категорически запрещаются. При сборке схемы применяют только стандартные провода с наконечниками. При возникновении неисправностей стенд должен быть немедленно отключён от сети.

Запрещается оставлять без присмотра работающие стенды. При появлении запаха гари немедленно отключить стенд. В случае поражения электрическим током немедленно обесточить стенд и приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

Ответственный за проведение лабораторных работ уходит последним из лаборатории, убедившись, что рабочее место убрано, а стенды отключены.

При эксплуатации действующих электроустановок запрещается использовать оборудование в условиях, не соответствующих требованиям инструкции организации-изготовителя, или оборудование, имеющее неисправности, которые, в соответствии с инструкцией по эксплуатации, могут привести к пожару, а также эксплуатировать провода и кабели с повреждённой или потерявшей защитные свойства изоляцией; пользоваться повреждёнными розетками, рубильниками, другими электроустановочными изделиями.

2. Требования охраны труда перед началом работы

- Осмотреть состояние помещения: достаточна ли освещённость, работает ли вентиляция проветривания помещения, позволяет ли температура в помещении комфортно проводить работы без верхней одежды, не загромождено ли место проведения занятий посторонними предметами.
- Осмотреть состояние электрических соединений, рубильников, автоматов и прочих переключающих средств.
- Проверить наличие средств защиты.
- Убрать все посторонние предметы, которые могли бы создавать неудобство в сборке схемы лабораторной работы.
- Если необходимо, вывесить предупреждающие плакаты.
- Лабораторная работа проводится только с исправными приборами.
- Руководитель перед началом работы проводит инструктаж по технике безопасности и контролирует весь процесс работы.
- К моменту проведения работ все стенды должны быть проверены и готовы.
- Все студенты должны расписаться в контрольном листе.
- Студенты должны внимательно изучить описание работы, при необходимости выяснить неясные моменты.

3. Требования охраны труда во время работы

- Лабораторная работа проводится только в присутствии преподавателя.
- На проведение лабораторной работы разрешение даёт лично руководитель занятий после проверки правильно собранной схемы.
- Руководитель должен следить, чтобы в схеме не было открытых оголённых проводов. При обнаружении недостатков такая работа должна быть немедленно приостановлена.
- Во время проведения лабораторной работы все проходы должны быть освобождены, доступ к стендам должен быть свободным.
- Во время проведения лабораторной работы запрещается оставлять включённый стенд без присмотра.
- При выявлении запаха гари следует немедленно обесточить стенд и доложить руководителю.

4. Требования охраны труда по окончании работы

- По окончании лабораторной работы стенд обесточивается, все приборы и соединительные провода отсоединяются и убираются.
- О выявленных неисправностях доложить руководителю занятий.
- Выключить освещение лаборатории, закрыть помещение на замок.

5. Требования охраны труда в аварийных ситуациях

- 1) При возникновении неисправностей во время проведения лабораторной работы необходимо немедленно обесточить стенд.
- 2) При обнаружении пожара необходимо:
 - прекратить работу, оповестить окружающих о пожаре;
 - сообщить о пожаре на вахту, сообщить о возгорании в пожарную охрану по тел. **01** или по тел. **101 (112)** мобильной связи, сообщить при этом точное место пожара, что горит, свою фамилию;
 - принять меры по эвакуации людей и спасению оборудования.
 - отключить от сети электрооборудование;
 - приступить к тушению пожара своими силами с помощью имеющихся подручных средств пожаротушения;
 - если погасить очаг горения не представляется возможным, необходимо плотно закрыть окно, дверь (не запирая замок) и покинуть опасную зону;
- 3) При поражении электрическим током немедленно обесточить стенд и приступить к оказанию первой помощи пострадавшему. При необходимости вызвать скорую помощь по тел. **03** или по тел. **103 (112)** мобильной связи.

Лабораторная работа № 1

Исследование цепи со смешанным соединением приёмников на постоянном и переменном токе

Цель работы: Сформировать знания, умения и навыки в области основных принципов функционирования электрических цепей со смешанным (последовательным и параллельным) соединением электроприёмников при питании постоянным и переменным током, получить экспериментальное подтверждение теоретических закономерностей.

1. План проведения лабораторного занятия

Работа включает подготовительную (этап 1–2), экспериментальную (этап 3) и аналитическую стадии (этап 4–5). Экспериментальная часть выполняется в лаборатории.

- 1) Ознакомиться с устройством экспериментальной установки и особенностями проведения лабораторной работы на основе материалов данного пособия.
- 2) Ознакомиться с теоретическими сведениями по теме лабораторной работы на основе материалов данного пособия, лекций и учебной литературы.
- 3) Провести экспериментальное исследование цепи со смешанным соединением приёмников на постоянном и переменном токе.
- 4) Провести аналитическую обработку и интерпретацию экспериментальных данных, сделать выводы о природе выявленных закономерностей.
- 5) Подготовить и оформить согласно требованиям отчёт по лабораторной работе и ответы на контрольные вопросы.

2. Краткие теоретические сведения

Последовательным соединением приёмников называется такое их соединение, при котором через все приёмники проходит один и тот же ток. Напряжение U , приложенное к цепи, равно сумме падений напряжений на зажимах отдельных приёмников:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n,$$

где U_1, U_2, \dots, U_n – напряжения на зажимах отдельных приёмниках.

Параллельным соединением приёмников называется такое их соединение, при котором все приёмники находятся под одним и тем же напряжением, поэтому токи в отдельных приёмниках будут прямо пропорциональны проводимостям приёмников или обратно пропорциональны сопротивлениям.

Смешанным соединением приёмников называется такое их соединение, когда имеются приёмники, соединённые последовательно и параллельно.

В такой цепи при изменении величины сопротивления одного из параллельно соединённых сопротивлений будут изменяться напряжения на элементах, а сумма этих напряжений равна приложенному к цепи напряжению. Электрический ток в металлах (проводниках, приёмниках) представляет собой направленное движение электронов. При своём движении электроны сталкиваются с атомами, что затрудняет их движение. Следовательно, атомы вещества, совершающие тепловые колебания, оказывают определённое сопротивление электрическому току. Сопротивление приёмников в цепях постоянного тока называют **омическим**, чтобы отличать его от сопротивления, возникающего при переменном токе. Сопротивлением соединительных проводов будем пренебрегать из-за его малого значения по сравнению с величиной сопротивления приёмников.

В случае прохождения переменного тока по электрической цепи следует различать следующие виды сопротивлений:

- активное;
- индуктивное (реактивное);
- ёмкостное (реактивное);
- полное.

Если через проводник протекает переменный ток, то магнитные силовые линии пересекают этот проводник и в проводнике возникает ЭДС самоиндукции, которая имеет такое направление, что в любой момент времени она противодействует приложенному извне напряжению. Поэтому величина сопротивления проводника на переменном токе больше, чем на постоянном токе. В этом случае сопротивление проводника будем называть **активным**. Для практических целей и для промышленной низкой частоты 50 Гц можно считать, что активное сопротивление равно омическому сопротивлению.

Если проводник намотан в виде катушки, то кроме активного сопротивления появляется индуктивное, так как каждая силовая линия пересекает большое число соседних витков. Свойство катушки образовывать магнитные силовые линии вокруг себя при прохождении тока через её витки называется **индуктивностью**. Действие индуктивности выражается в том, что когда через катушку протекает переменный ток, то при любом изменении его величины в катушке, индуктируется противодействующая ЭДС, которая создаёт реакцию изменению тока, поэтому индуктивное сопротивление называется реактивным. Реальная катушка, изготовленная из провода, обладает не только индуктивным сопротивлением, но и активным сопротивлением, т. е. говорят, что она обладает полным сопротивлением.

Если к источнику переменного тока подключить конденсатор, то его обкладки будут периодически заряжаться и разряжаться электротоками. Несмотря

на то, что электроны не протекают сквозь диэлектрик конденсатора, во внешней цепи их движение колебательное, т. е. протекает переменный ток. Сопротивление, которое конденсатор оказывает переменному току, называется ёмкостным (реактивным) и измеряется в омах.

3. Описание лабораторной установки

Лабораторная работа проводится на специализированном стенде. Для выполнения работы необходимо выбрать измерительные приборы и элементы электрической цепи, указанные на принципиальной схеме к данной лабораторной работе (рисунок 1.1). Номинальные данные элементов: R_1 – постоянный резистор 100 Ом, Z_1 – катушка, индуктивность которой 0,1 Гн, Z_2 – конденсатор ёмкостью 40 мкФ, R_2 – переменный резистор 150 Ом, R_3 – переменный резистор 68 Ом. Необходимо обратить внимание, что первая часть работы выполняется на постоянном токе, поэтому источник питания и измерительные приборы выбирают для работы на постоянном токе. Для выполнения второй части работы меняют источник и измерительные приборы для работы на переменном токе. Собирать схему следует от зажимов питания.

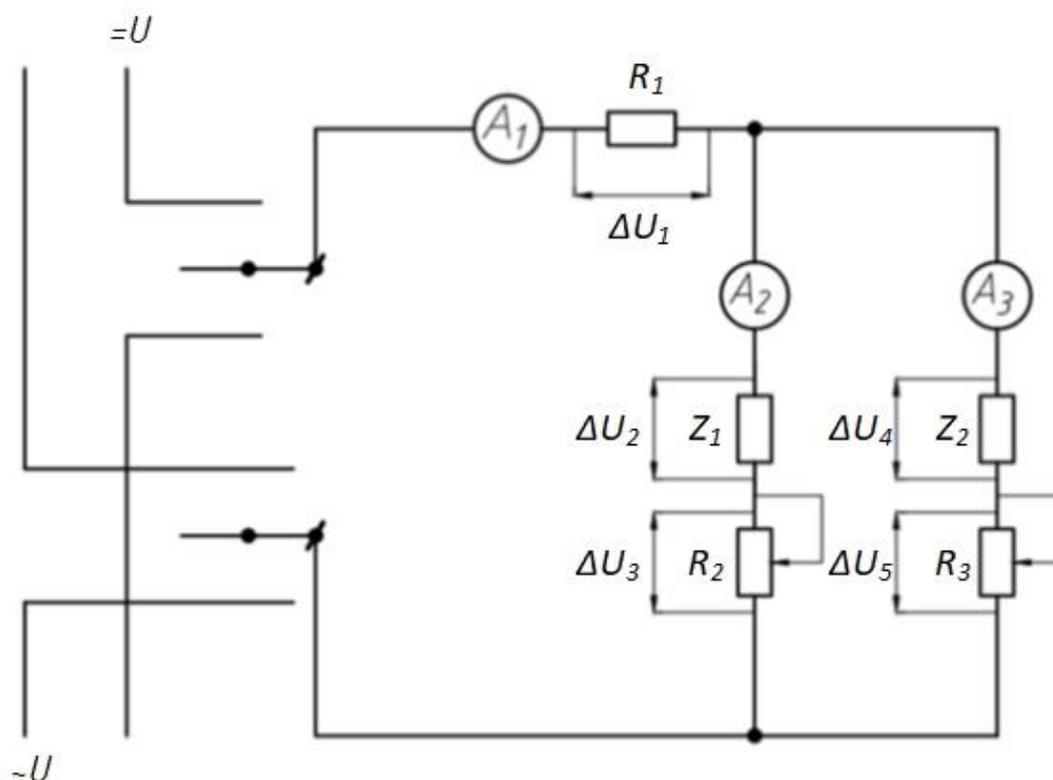


Рисунок 1.1 – Схема для исследования цепи со смешанным соединением электроприёмников

4. Алгоритм проведения эксперимента

1) Собрать схему согласно рисунку 1.1 с амперметрами постоянного тока и предъявить для проверки преподавателю. Подключить схему к источнику постоянного напряжения. Установить величину напряжения на входе согласно указаниям преподавателя (значение напряжения записать для расчётов). Снять показания амперметров и вольтметров, заполнить таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты экспериментальных исследований (постоянный ток)

	Воздействие	I_1, A	I_2, A	I_3, A	U_1, B	U_2, B	U_3, B	U_4, B	U_5, B
1									
2									
3									

2) Амперметры для постоянного тока заменить амперметрами для измерения переменного тока, вольтметр переключить на измерение переменного напряжения. Подключить схему к источнику переменного тока и выполнить эксперимент аналогично пункту 1. Результаты занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты экспериментальных исследований (переменный ток)

	Воздействие	I_1, A	I_2, A	I_3, A	U_1, B	U_2, B	U_3, B	U_4, B	U_5, B
1	Меняем сопротивление резистора R_2								
2									
3									

5. Алгоритм обработки экспериментальных данных

1) По каждой строке таблиц 1.1 и 1.2 проверить равенство согласно первому закону Кирхгофа:

$$I_1 = I_2 + I_3.$$

Сделать выводы по полученным результатам.

2) По каждой строке таблиц 1.1 и 1.2 проверить равенства согласно второму закону Кирхгофа:

$$U = U_1 + U_2 + U_3,$$

$$U = U_1 + U_4 + U_5.$$

Сделать выводы по полученным результатам.

3) На основании полученных данных (таблица 1.1) определить величины всех сопротивлений и заполнить таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Результаты расчётов (постоянный ток)

	$Z_1, \text{ Ом}$	$Z_2, \text{ Ом}$	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$
1					
2					
3					

4) На основании полученных данных (таблица 1.2) определить величины всех сопротивлений и заполнить таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Результаты расчётов (переменный ток)

	$Z_1, \text{ Ом}$	$Z_2, \text{ Ом}$	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$
1					
2					
3					

5) Письменно ответить на контрольные вопросы.

6. Указания по оформлению отчёта и защите лабораторной работы

Отчёт оформляется согласно общим указаниям, приведённым в разделе «Введение» данного пособия с учётом специфики проводимой лабораторной работы и заданий на экспериментальное и теоретическое исследование. Требования к оформлению отчёта приведены в приложениях 1 и 2.

Защита лабораторной работы проводится по указанию преподавателя в устной или письменной форме в виде ответа на контрольные вопросы и вопросы по содержанию лабораторной работы.

7. Контрольные вопросы

- 1) Будет ли соблюдаться равенство $I_1 = I_2 + I_3$ на постоянном и переменном токе?
- 2) Будет ли показывать ток амперметр A_3 , если в качестве Z_2 установлен конденсатор и цепь подключена на переменный ток?
- 3) Почему сопротивление цепи переменному току больше, чем постоянному току?

Лабораторная работа № 2

Определение мощности в цепях переменного тока при различном характере сопротивлений

Цель работы: сформировать знания, умения и навыки в области основных принципов функционирования цепей с активным и реактивными потребителями с позиции их влияния на загрузку генераторов, а также первичных двигателей генераторов, получить экспериментальное подтверждение теоретических закономерностей.

1. План проведения лабораторного занятия

Работа включает подготовительную (этап 1–2), экспериментальную (этап 3) и аналитическую стадии (этап 4–5). Экспериментальная часть выполняется в лаборатории.

- 1) Ознакомиться с устройством экспериментальной установки и особенностями проведения лабораторной работы на основе материалов данного пособия.
- 2) Ознакомиться с теоретическими сведениями по теме лабораторной работы на основе материалов данного пособия, лекций и учебной литературы.
- 3) Провести экспериментальное исследование цепи с активным и реактивными потребителями.
- 4) Провести аналитическую обработку и интерпретацию экспериментальных данных, сделать выводы о природе выявленных закономерностей.
- 5) Подготовить и оформить согласно требованиям отчёт по лабораторной работе и ответы на контрольные вопросы.

2. Краткие теоретические сведения

Электрическая энергия, вырабатываемая генераторами, передаётся потребителям и превращается в другие виды энергии в зависимости от характера потребителя (активное, индуктивное и ёмкостное сопротивления). Большинство потребителей электрической энергии (все электрические двигатели, трансформаторы, реле и т. д.) содержат в себе обмотки, создающие значительные магнитные поля, необходимые для функционирования этих устройств. Энергия, идущая на создание этих полей на переменном токе, является реактивной (индуктивной) энергией. Поэтому наряду с активной энергией (создающей полезный вращающий момент или используемой для нагрева) электрические сети должны передать от генератора к потребителю определённое количество энергии намагничивания, которая периодически пульсирует между потребителем и генераторами. Для её создания не требуется дополнительного сжигания топлива в первичном

двигателе, и при этом первичный двигатель не загружается при увеличении реактивной мощности потребителей, подключённых к генератору.

Активная составляющая энергии, потребляемой потребителями тока, определяется его активной мощностью (кВт):

$$P = U \cdot I_{\text{акт}} = U \cdot I \cdot \cos\varphi.$$

Реактивная составляющая тока определяется реактивной мощностью намагничивания (квар):

$$Q = U \cdot I_{\text{реакт}} = U \cdot I \cdot \sin\varphi.$$

Следовательно, ток, который протекает между генератором и потребителем, определяется как активной, так и реактивной мощностями:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{U} = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = \frac{P}{U \cos\varphi},$$

где S – полная мощность, измеряемая в кВА.

При заданной активной мощности потребителя ток в сети будет тем меньше, чем больше коэффициент мощности. Это соответствует меньшей величине угла сдвига фаз между током и напряжением и меньшей величине реактивной мощности. Наиболее благоприятным с точки зрения получения от генератора минимального полного тока будет случай, когда коэффициент мощности равен единице, что соответствует равенству нулю реактивной мощности и реактивной составляющей тока. В противном случае реактивный ток, протекая по обмоткам генератора, нагружает его обмотки, что уменьшает величину полезного активного тока, который может быть получен от генератора, так как сечение обмоток генератора допускает определённую величину тока из условий нагрева обмоток. Величина полного допустимого тока обмоток генератора определяется полной мощностью (кВА):

$$S = U \cdot I = U \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = \frac{P}{\cos\varphi}.$$

Поэтому на источниках переменного тока (генераторы, трансформаторы) указывается обычно не активная, а полная мощность, которую они могут развивать. Кроме того, при низком коэффициенте мощности невозможно использовать мощность первичного двигателя генератора для питания потребителей активной мощности, так как генератор существенно загружен реактивным током.

Для повышения коэффициента мощности рядом с потребителем реактивной мощности (двигатели, трансформаторы) включают конденсаторы, которые потребляют также реактивную мощность для создания электрического поля. В этом случае катушки индуктивности и конденсаторы обмениваются реактивной энергией, разгружая генератор от реактивной составляющей тока.

3. Описание лабораторной установки

Схема установки приведена на рисунке 2.1. На стенде, к которому подводится переменный однофазный ток, смонтированы три потребителя:

- активное сопротивление;
- катушка индуктивности;
- батарея конденсаторов.

Измерения производятся измерительным комплектом К505. Выведенные клеммы позволяют подключить к сети один, два или три потребителя.

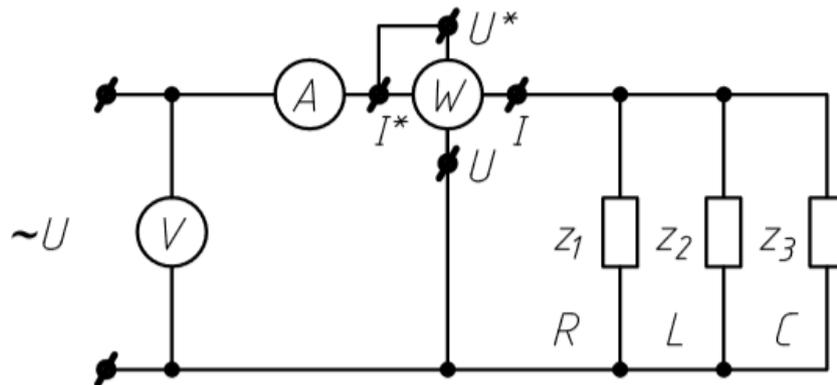


Рисунок 2.1 – Схема для измерения мощности в цепи переменного тока

4. Алгоритм проведения эксперимента

1) Собрать схему (рисунок 2.1), при этом в качестве потребителя использовать только катушку индуктивности. Измерить напряжение U (В); ток I (А); активную мощность P (Вт).

2) Параллельно с катушкой индуктивности включить активное сопротивление. Измерить напряжение U (В); ток I (А); активную мощность P (Вт).

3) Все три элемента цепи (катушку, активное сопротивление и конденсатор) включить параллельно согласно схеме 2.1 и подключить к источнику питания. Измерить напряжение U (В); ток I (А); активную мощность P (Вт).

5. Алгоритм обработки экспериментальных данных

1) По экспериментальным данным пункта 1 определить расчётным путём величины Z_k , R_k , X_k , L , S , Q , $\cos\varphi$ по следующим выражениям:

$$Z_k = \frac{U}{I} \text{ (Ом)}, \quad R_k = \frac{P}{I^2} \text{ (Ом)}, \quad X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \text{ (Ом)},$$
$$L = \frac{X_k}{2\pi f} \text{ (Гн)}, \quad S = U \cdot I \text{ (ВА)}, \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2} \text{ (Вар)}, \quad \cos\varphi = \frac{P}{S}.$$

2) Построить диаграмму треугольника мощностей.

3) Письменно объяснить физическую сущность каждой мощности и коэффициента мощности.

4) По экспериментальным данным пункта 2 рассчитать $\cos\varphi$ и построить треугольник мощностей. Письменно объяснить причины изменения тока, мощности и коэффициента мощности.

5) По опытным данным пункта 3 рассчитать $\cos\varphi$ и построить треугольник мощностей. Письменно объяснить причины изменения тока, мощности и коэффициента мощности.

6. Указания по оформлению отчёта и защите лабораторной работы

Отчёт оформляется согласно общим указаниям, приведённым в разделе «Введение» данного пособия с учётом специфики проводимой лабораторной работы и заданий на экспериментальное и теоретическое исследование. Требования к оформлению отчёта приведены в приложениях 1 и 2.

Защита лабораторной работы проводится по указанию преподавателя в устной или письменной форме в виде ответа на контрольные вопросы и вопросы по содержанию лабораторной работы.

7. Контрольные вопросы

1) Каков физический смысл активной, реактивной и полной мощности?

2) В каких единицах измеряются активная, реактивная и полная мощности?

3) Что характеризует коэффициент мощности?

4) Почему стремятся повысить коэффициент мощности?

5) Как влияет коэффициент мощности на загрузку генератора?

6) Как влияет коэффициент мощности на загрузку первичного двигателя (турбины, дизеля)?

7) Как можно повысить коэффициент мощности?

8) Какой ток (активный или реактивный) показывает амперметр, если в схему включены все три потребителя (активное сопротивление, катушка и конденсатор)?

9) Какую мощность показывает ваттметр?

Лабораторная работа № 3

Исследование последовательной цепи однофазного переменного тока

Цель работы: сформировать знания, умения и навыки в области основных принципов функционирования цепей из последовательно включённых активного, индуктивного и ёмкостного элементов с позиции получения резонанса напряжений в этой цепи путём изменения ёмкости, получить экспериментальное подтверждение теоретических закономерностей.

1. План проведения лабораторного занятия

Работа включает подготовительную (этап 1–2), экспериментальную (этап 3) и аналитическую стадии (этап 4–5). Экспериментальная часть выполняется в лаборатории.

- 1) Ознакомиться с устройством экспериментальной установки и особенностями проведения лабораторной работы на основе материалов данного пособия.
- 2) Ознакомиться с теоретическими сведениями по теме лабораторной работы на основе материалов данного пособия, лекций и учебной литературы.
- 3) Провести экспериментальное исследование цепи из последовательно включённых активного, индуктивного и ёмкостного элементов.
- 4) Провести аналитическую обработку и интерпретацию экспериментальных данных, сделать выводы о природе выявленных закономерностей.
- 5) Подготовить и оформить согласно требованиям отчёт по лабораторной работе и ответы на контрольные вопросы.

2. Краткие теоретические сведения

В цепи, состоящей из последовательно включённых активного сопротивления R , индуктивного X_k и ёмкостного X_c , ток равен отношению напряжения на зажимах цепи к полному сопротивлению Z :

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (x_k^2 - x_c^2)^2}}.$$

Угол сдвига фаз между током и напряжением на зажимах всей цепи определяется выражением:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{x_k - x_c}{R} = \frac{2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}}{R}.$$

Из этого соотношения видно, что угол φ может быть положительным или отрицательным, в зависимости от того, что в цепи преобладает – реакция индуктивности или реакция ёмкости.

Случай, когда индуктивное сопротивление в цепи равно ёмкостному, называется резонансом напряжений. При резонансе напряжений напряжения на зажимах индуктивности и ёмкости равны по величине, но противоположны по фазе, т. е. взаимно уравновешиваются, а напряжение сети расходуется только в активном сопротивлении. Ток в цепи совпадает по фазе с напряжением, приложенным к цепи, так как

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{x_k - x_c}{R} = \frac{0}{R} = 0.$$

Ток при резонансе достигает наибольшего значения и определяется только величиной активного сопротивления. Следовательно, при резонансе напряжений можно считать, что цепь как будто бы состоит только из одного активного сопротивления. Если активное сопротивление очень мало, то под действием приложенного напряжения ток в цепи может достигать больших значений. Так как этот ток проходит через индуктивное и ёмкостное сопротивления, то на них возрастают падения напряжения и могут значительно превышать напряжение, подводимое к цепи, поэтому необходимо соблюдать осторожность.

Исходя из условий, при которых возникает резонанс напряжений, его можно получить при изменении одной из величин: частоты напряжения, подводимого к цепи, индуктивного или ёмкостного сопротивления. В лабораторной работе исследуется резонанс при изменении ёмкостного сопротивления.

3. Описание лабораторной установки

Схема установки приведена на рисунке 3.1. Для проведения лабораторной работы на стенде необходимо использовать переменный резистор, катушку индуктивности, батарею конденсаторов, измерительный комплект К505, а также электронный вольтметр.

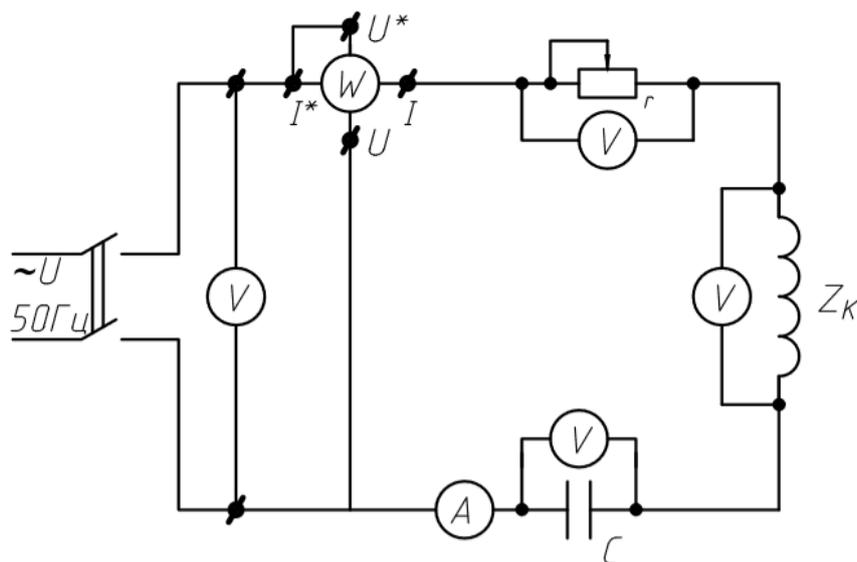


Рисунок 3.1 – Принципиальная схема экспериментальной установки

4. Алгоритм проведения эксперимента

1) Собрать схему, изображённую на рисунке 3.1 (батарея конденсаторов в этом опыте не включается в исследуемую цепь), и предъявить для проверки преподавателю.

2) При токе, заданном преподавателем, измерить напряжение на входе цепи U (В), ток в цепи I (А), напряжение на переменном резисторе U_r (В), напряжение на катушке U_k (В). Произвести расчёт катушки и вычислить ёмкость конденсатора, который необходимо включить в цепь вместо активного сопротивления, чтобы в цепи наблюдался резонанс напряжений (см. алгоритм обработки экспериментальных данных).

3) Вместо переменного резистора включить в схему батарею конденсаторов и, постепенно увеличивая ёмкость, исследовать цепь. Сравнить расчётную ёмкость конденсатора, при которой в цепи возникает резонанс, с ёмкостью конденсатора, полученной опытным путём. После достижения резонанса сделать ещё 3–4 замера с убавлением и 3–4 замера с добавлением ёмкости. Данные занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты экспериментальных исследований

$U_{\text{вх}} =$	Экспериментальные данные				Расчётные данные		
	C , мкФ	I , А	P , Вт	U_k , В	U_c , В	$\cos\varphi$	φ
Резонанс: $C =$							

5. Алгоритм обработки экспериментальных данных

1) Реальная катушка обладает полным сопротивлением Z_k , поэтому её можно представить в виде последовательно соединённых активного r_k и индуктивного x_k сопротивлений. На рисунке 3.2 показана эквивалентная схема замещения цепи, состоящей из последовательно соединённых реостата и катушки. При последовательном соединении сопротивлений приложенное к цепи напряжение равно геометрической сумме падений напряжений на всех сопротивлениях:

$$U = \sqrt{U_r^2 + U_k^2} = \sqrt{U_r^2 + (U_{ak}^2 + U_{lk}^2)^2}.$$

Для определения параметров катушки можно построить векторную диаграмму. Имея значения напряжений U , U_r , U_k и ток I , протекающий в цепи, откладывается отрезок OK в масштабе токов, пропорциональный току I . Вектор падения напряжения на активном сопротивлении U_r (отрезок OA) совпадает по

направлению с вектором тока I . Из точек «О» и «А» растворами циркуля, равными в масштабе напряжениям U и U_k , делаем засечку (точка В) и получаем треугольник «ОАВ». Опускаем перпендикуляр из точки «В» на вектор тока, получим треугольник напряжений «АВС», где вектор АС – вектор активного напряжения на катушке U_{ak} ; вектор СВ – вектор индуктивного падения напряжения на катушке U_{lk} .

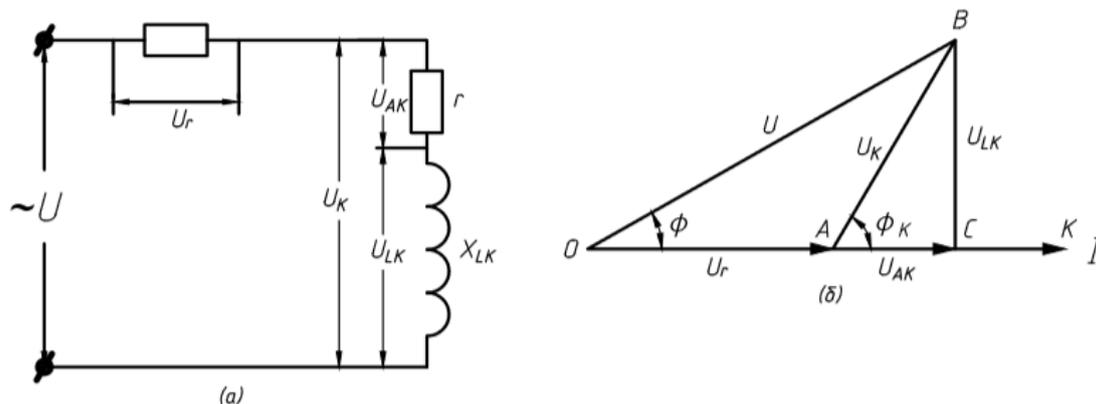


Рисунок 3.2 – Схема замещения и векторная диаграмма для определения активной и реактивной составляющих напряжения на катушке

По известным U_{ak} и U_{lk} , можно определить ряд необходимых величин по формулам, приведённым в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Расчётные формулы

Параметр	Формула	Ед. измерения
Полное сопротивление катушки	$z_k = \frac{U_k}{I}$	Ом
Активное сопротивление катушки	$r_k = \frac{U_{ak}}{I}$	Ом
Индуктивное сопротивление катушки	$x_{lk} = \frac{U_{lk}}{I}$	Ом
Индуктивность катушки	$L = \frac{x_{lk}}{2\pi f}$	Гн
Активная мощность цепи	$P = I^2 \left(r_k + \frac{U_r}{I} \right)$	Вт
Полная мощность цепи	$S = UI$	ВА
Реактивная мощность цепи	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	вар
Коэффициент мощности	$\cos \varphi = \frac{P}{S}$	-
Полное сопротивление цепи	$Z = \frac{U}{I}$	Ом

Конденсаторы, расположенные на стенде, могут соединяться параллельно с помощью выключателей. Ёмкостное сопротивление конденсатора переменному току определяется по выражению:

$$x_c = \frac{1}{2\pi fC},$$

где C – ёмкость конденсатора в Фарадах.

2) По экспериментальным и расчётным данным таблицы 3.1 построить зависимости $I = f(C)$, $U = f(C)$, $U_c = f(C)$, $\cos \varphi = f(C)$ и векторную диаграмму напряжений для случая резонанса.

6. Указания по оформлению отчёта и защите лабораторной работы

Отчёт оформляется согласно общим указаниям, приведённым в разделе «Введение» данного пособия с учётом специфики проводимой лабораторной работы и заданий на экспериментальное и теоретическое исследование. Требования к оформлению отчёта приведены в приложениях 1 и 2.

Защита лабораторной работы проводится по указанию преподавателя в устной или письменной форме в виде ответа на контрольные вопросы и вопросы по содержанию лабораторной работы.

7. Контрольные вопросы

- 1) Каков физический смысл индуктивного и ёмкостного сопротивлений?
- 2) Как записать закон Ома для цепей переменного тока?
- 3) При каком условии возникает резонанс напряжений?
- 4) Опасно ли явление резонанса напряжений и почему?
- 5) Какую мощность потребляет из сети цепь при резонансе напряжений?
- 6) Опишите режим работы цепи при резонансе напряжений, если активного сопротивления в ней нет.
- 7) Чему равен коэффициент мощности при резонансе напряжений?

Лабораторная работа № 4

Исследование цепи трёхфазного переменного тока при соединении электроприёмников «звездой»

Цель работы: сформировать знания, умения и навыки в области основных принципов функционирования цепей трёхфазного переменного тока при соединении электроприёмников «звездой» для равномерной и неравномерной нагрузки фаз, получить экспериментальное подтверждение теоретических закономерностей.

1. План проведения лабораторного занятия

Работа включает подготовительную (этап 1–2), экспериментальную (этап 3) и аналитическую стадии (этап 4–5). Экспериментальная часть выполняется в лаборатории.

- 1) Ознакомиться с устройством экспериментальной установки и особенностями проведения лабораторной работы на основе материалов данного пособия.
- 2) Ознакомиться с теоретическими сведениями по теме лабораторной работы на основе материалов данного пособия, лекций и учебной литературы.
- 3) Провести экспериментальное исследование цепи трёхфазного переменного тока при соединении электроприёмников «звездой».
- 4) Провести аналитическую обработку и интерпретацию экспериментальных данных, сделать выводы о природе выявленных закономерностей.
- 5) Подготовить и оформить согласно требованиям отчёт по лабораторной работе и ответы на контрольные вопросы.

2. Краткие теоретические сведения

«Звездой» называется такое соединение, при котором концы или начала обмоток генератора или двигателя соединены в одну точку, называемую нейтралью или нулевой точкой; оставшиеся три вывода служат для отвода (генераторы) или подвода (двигатели) трёхфазного тока. В случае соединения трёх активных потребителей (лампы, нагревательные элементы и т. д.) начало и конец не имеют значения, поэтому соединяются три любые клеммы потребителей в одну точку. В системе трёхфазного тока необходимо различать:

- I_{ϕ} – фазный ток, т. е. ток, проходящий в фазе генератора или потребителя;
- $I_{л}$ – линейный ток, т. е. ток, проходящий по линейному проводу;
- U_{ϕ} – фазное напряжение, т. е. напряжение между началом и концом фазы генератора или приёмника;
- $U_{л}$ – линейное напряжение между линейными проводами.

При равномерной нагрузке фаз приёмника, т. е. при симметричной системе, линейное и фазное напряжения соотносятся:

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}.$$

При этом линейные и фазные токи равны. При неравномерной нагрузке фаз и при отсутствии нейтрального (нулевого) провода напряжения на фазах приёмника будут разные и соотношение между фазными и линейными напряжениями нарушится. Уменьшение или увеличение сопротивления отдельных фаз вызывает перераспределение всех фазных напряжений. Так, например, если включены лампы, то неравномерность нагрузки вызовет перекал ламп в ненагруженных фазах и их недокал в сильно нагруженных фазах.

Наихудший случай будет при коротком замыкании в одной из фаз нагрузки, так как две другие фазы будут находиться под линейным напряжением, т. е. напряжение на лампах увеличивается в $\sqrt{3}$ раз. Поэтому трёхфазная система без нейтрального провода используется только в тех случаях, когда нагрузка отдельных фаз неизменна, например при питании трёхфазных трансформаторов или асинхронных электродвигателей. Для сетей освещения используется трёхфазная система с нейтральным проводом, в этом случае напряжения на фазах при неравномерной нагрузке будут оставаться одинаковыми на всех фазах, а ток в нейтральном проводе будет равен геометрической сумме фазных (линейных) токов.

При исследовании соединения приёмников «звездой» следует иметь в виду, что линейные напряжения генератора (сети) определяются работающими генераторами и остаются неизменными. Что же касается фазных напряжений на потребителях, то они могут изменяться как от нагрузки фаз (т. е. от величины тока в фазах), так и от способа их соединения (трёхпроводная или четырёхпроводная система). В трёхфазной четырёхпроводной цепи активная мощность равна сумме показаний трёх ваттметров, включённых во все три фазы.

3. Описание лабораторной установки

Схема установки приведена на рисунке 4.1. В качестве исследуемой нагрузки используются соединённые последовательно постоянный и переменный резисторы. Питание от сети трёхфазного тока подведено к клеммам **А**, **В**, **С** на панели питания стенда, нейтральный провод подведён к клемме **О**. Линейное напряжение, подведённое к клеммам **А**, **В**, **С**, – **220 В**. Измерения производятся измерительным комплектом **К505**, а также приборами, расположенными на стенде. Нейтральный и линейный провод можно отключать, отсоединив его от клемм питания.

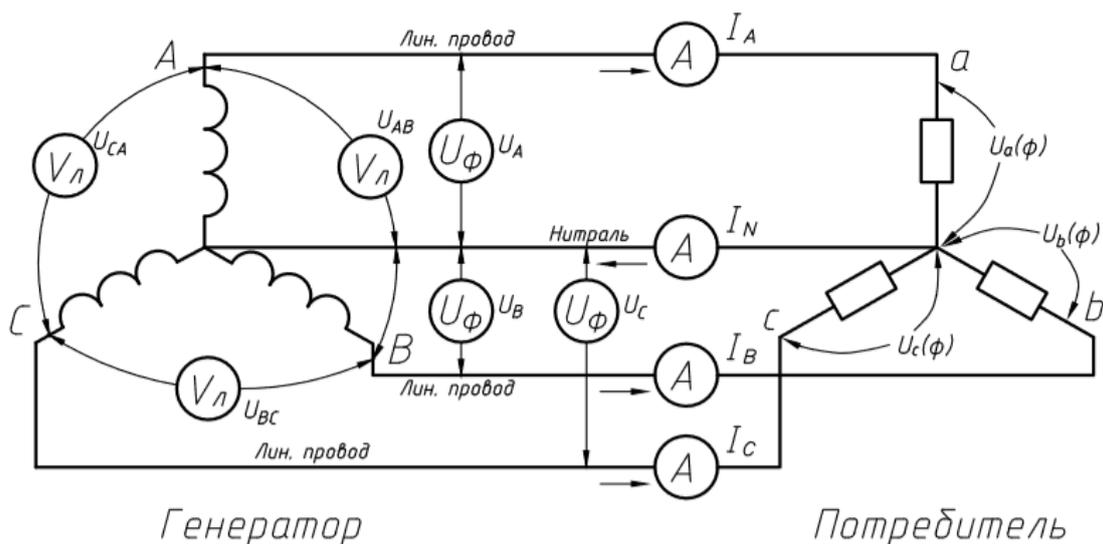


Рисунок 4.1 – Фазные и линейные напряжения в трёхфазной системе с нейтральным проводом

4. Алгоритм проведения эксперимента

1) Собрать схему 4.2 и предъявить для проверки преподавателю. При сборке схемы обратить внимание на выбор шкал амперметров и вольтметров для измерения фазных и линейных токов и напряжений. После включения питания измерить линейные напряжения на клеммах А, В, С и занести результаты измерений в таблицу 4.1.

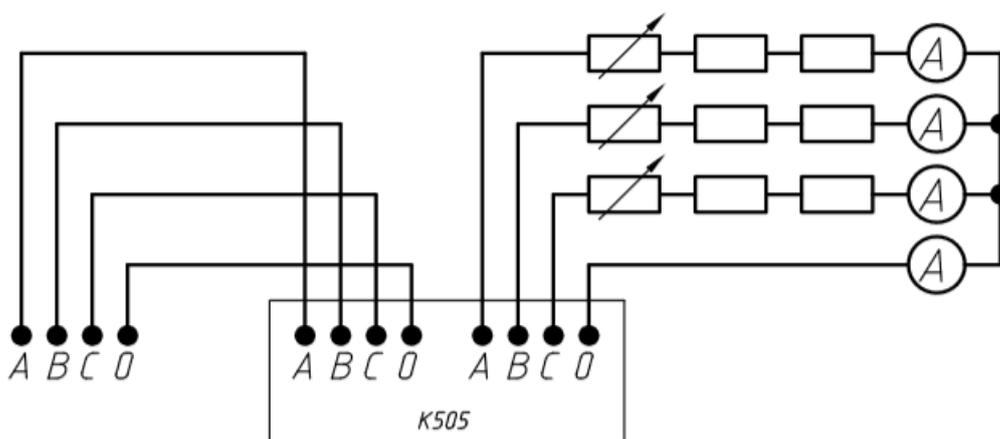


Рисунок 4.2 – Принципиальная схема для исследования цепи трёхфазного переменного тока при соединении потребителей «звездой»

2) Исследовать следующие режимы работы трёхфазной системы:

- равномерная нагрузка фаз с нейтральным проводом и без него;
- обрыв линейного провода при наличии нейтрального и без него;

- неравномерная нагрузка всех трёх фаз при наличии нейтрального провода и без него (для создания неравномерной нагрузки фаз изменяют их сопротивление с помощью переменного резистора в каждой фазе);
- короткое замыкание одной из фаз нагрузки при равномерной нагрузке всех фаз и **отсутствии нейтрального провода**. Для этого проводником замкнуть накоротко зажимы одной фазы, у амперметра в этой фазе увеличить предел измерения (результаты занести в таблицу 4.1).

Таблица 4.1 – Опытные данные, полученные в результате эксперимента

Режимы работы	U_A В	U_B В	U_C В	U_0 В	I_A А	I_B А	I_C А	I_0 А	P_A Вт	P_B Вт	P_C Вт	ΣP Вт
Равномерная нагрузка: - с нейтр. проводом, - без нейтр. провода												
Обрыв фазы: - с нейтр. проводом, - без нейтр. провода												
Неравномерная нагрузка: - с нейтр. проводом, - без нейтр. провода												
К.З. одной фазы: - без нейтр. провода												

5. Алгоритм обработки экспериментальных данных

1) По опытным данным таблицы 4.1 рассчитать суммарную мощность, потребляемую трёхфазной нагрузкой.

2) Построить в масштабе векторные диаграммы для каждого режима работы. Для построения векторной диаграммы сначала строят треугольник напряжений – следующим образом. Произвольно в масштабе напряжений откладывают один из векторов линейного напряжения, например U_{BC} . Затем из его

начала и конца делают засечки радиусами, равными линейным напряжениям U_{AB} и U_{CA} . Точка их пересечения будет точкой «А» векторной диаграммы.

Из точек **A, B, C** радиусами фазных напряжений U_A, U_B, U_C делают засечки. Точка их пересечения будет соответствовать нейтрали приёмника (точка **O**). Затем в масштабе токов I_A, I_B, I_C откладывают векторы токов по фазным напряжениям (так как нагрузка активная).

6. Указания по оформлению отчёта и защите лабораторной работы

Отчёт оформляется согласно общим указаниям, приведённым в разделе «Введение» данного пособия с учётом специфики проводимой лабораторной работы и заданий на экспериментальное и теоретическое исследование. Требования к оформлению отчёта приведены в приложениях 1 и 2.

Защита лабораторной работы проводится по указанию преподавателя в устной или письменной форме в виде ответа на контрольные вопросы и вопросы по содержанию лабораторной работы.

7. Контрольные вопросы

- 1) Какова роль нейтрального провода?
- 2) Почему изменяются фазные напряжения на нагрузке в случае отсутствия нейтрального провода при неравномерной нагрузке?
- 3) Что произойдёт в системе с нейтральным проводом, если сделать короткое замыкание одной из фаз нагрузки?
- 4) Как изменятся фазные напряжения на нагрузке в случае обрыва одного линейного провода?
- 5) Как изменятся фазные напряжения и токи в случае короткого замыкания фазы **A** приёмника при отсутствии нейтрального провода?
- 6) В каком случае применяется соединение приёмников «звездой» без нейтрального провода?

Лабораторная работа № 5

Испытание двухобмоточного однофазного трансформатора

Цель работы: сформировать знания, умения и навыки в области основных методов испытаний и расчёта параметров однофазных трансформаторов, произвести испытание трансформатора на экспериментальной установке.

1. План проведения лабораторного занятия

Работа включает подготовительную (этап 1–2), экспериментальную (этап 3) и аналитическую стадии (этап 4–5). Экспериментальная часть выполняется в лаборатории.

- 1) Ознакомиться с устройством экспериментальной установки и особенностями проведения лабораторной работы на основе материалов данного пособия.
- 2) Ознакомиться с теоретическими сведениями по теме лабораторной работы на основе материалов данного пособия, лекций и учебной литературы.
- 3) Провести экспериментальное исследование однофазного трансформатора.
- 4) Провести аналитическую обработку и интерпретацию экспериментальных данных, сделать выводы о природе выявленных закономерностей.
- 5) Подготовить и оформить согласно требованиям отчёт по лабораторной работе и ответы на контрольные вопросы.

2. Краткие теоретические сведения

Трансформаторы являются важнейшими элементами силовых электрических цепей. Электрические станции и приёмники связываются трансформаторами в единую сеть, образуя электроэнергетическую систему. Исследование двухобмоточного однофазного трансформатора позволяет, в основном, понять физику процессов, происходящих в трансформаторах, измерить их параметры и построить характеристики.

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, служащий для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения при неизменной частоте.

Трансформатор состоит из замкнутого ферромагнитного сердечника, собранного из листов трансформаторной стали, на котором расположены две обмотки, выполненные изолированным проводом. Одна из обмоток подсоединяется к источнику напряжения и называется первичной, к другой подсоединяются потребители, и она называется вторичной.

При исследовании электромагнитных процессов в трансформаторах для расчётов используют метод электрических схем замещения, при котором магнитные связи заменяют электрическими.

3. Описание лабораторной установки

В работе исследуется однофазный двухобмоточный трансформатор, имеющий следующие номинальные данные (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Технические характеристики однофазного трансформатора

Параметр	Обозначение	Величина
Полная номинальная мощность	S	160 ВА
Номинальное напряжение первичной обмотки	$U_{1к}$	220 В
Номинальное напряжение вторичной обмотки	$U_{2н}$	127 В
Номинальный ток первичной обмотки	$I_{1н}$	0,72А
Номинальный ток вторичной обмотки	$I_{2н}$	1,23 А
Число витков первичной обмотки	W_1	475
Число витков вторичной обмотки	W_2	275
Сечение сердечника	-	12 см ²

При проведении опытов необходимо использовать измерительный комплект К505, электронный вольтметр, амперметры, расположенные на стенде, в качестве нагрузки – три переменных резистора, соединённых последовательно.

4. Алгоритм проведения эксперимента

1) Опыт холостого хода

Для исследования необходимо собрать установку согласно схеме на рисунке 5.1. Напряжение подводится к вторичной обмотке трансформатора, а первичная обмотка разомкнута. К вторичной обмотке с помощью лабораторного автотрансформатора подвести напряжение 127 В, т. е. номинальное вторичное напряжение.

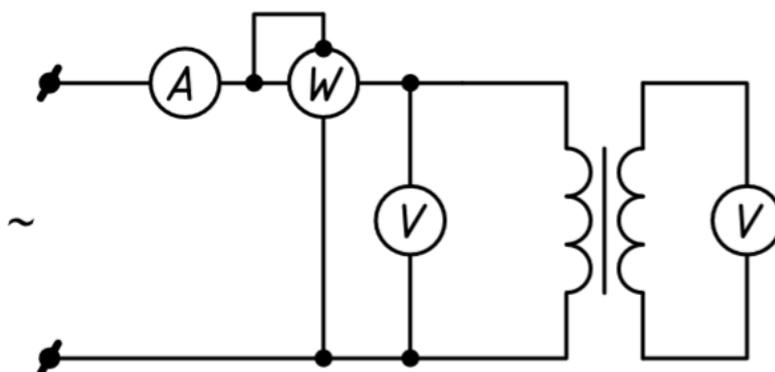


Рисунок 5.1 – Принципиальная схема опыта холостого хода

Необходимо измерить:

- первичное напряжение U_{10} (В);
- ток холостого хода $I_0 = I_2$ (А);
- мощность, потребляемую из сети, $P_0 = P_2$ (Вт).

2) Опыт короткого замыкания

Для исследования необходимо собрать установку согласно схеме на рисунке 5.2. Вторичная обмотка трансформатора замыкается на амперметр или накоротко, а к первичной обмотке, во избежание перегрева и повреждения трансформатора, подводится пониженное напряжение с таким расчётом, чтобы ток в обеих обмотках находился в пределах номинального.

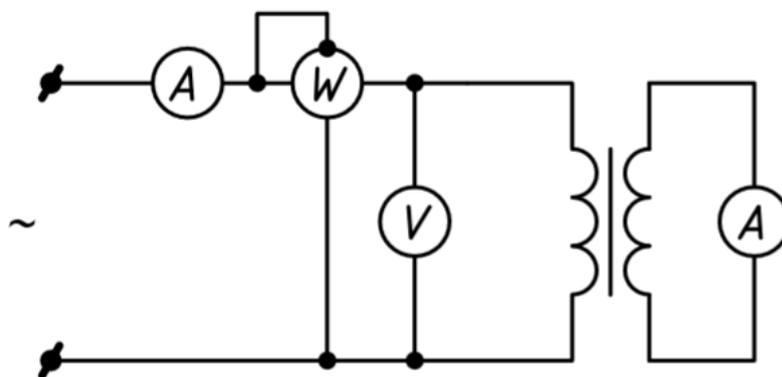


Рисунок 5.2 – Принципиальная схема опыта короткого замыкания

Необходимо измерить:

- ток первичной обмотки $I_k = I_{1н}$ (А);
- напряжение, подаваемое на первичную обмотку, U_k (В);
- мощность P_k (Вт);
- ток вторичной обмотки I_2 (А).

3) Работа трансформатора под нагрузкой

Этот опыт проводится, как правило, при номинальном первичном напряжении и изменении тока нагрузки в пределах $(0-1.1) I_{2н}$. На основании этого опыта определяют изменение напряжения и КПД трансформатора. Изменение напряжения трансформатора – это арифметическая разность между вторичными напряжениями трансформатора при холостом ходе и при номинальном токе нагрузки, когда первичное напряжение постоянно и равно номинальному. Изменение напряжения – это важная эксплуатационная характеристика.

Для проведения опыта собрать схему, изображённую на рисунке 5.3. На первичную обмотку подать номинальное напряжение и поддерживать его постоянным. Изменяя сопротивление нагрузки переменными резисторами, а тем самым и ток вторичной обмотки трансформатора, измерить U_1 , I_1 , U_2 , I_2 , P_1 .

Экспериментальные данные занести в таблицу 5.2.

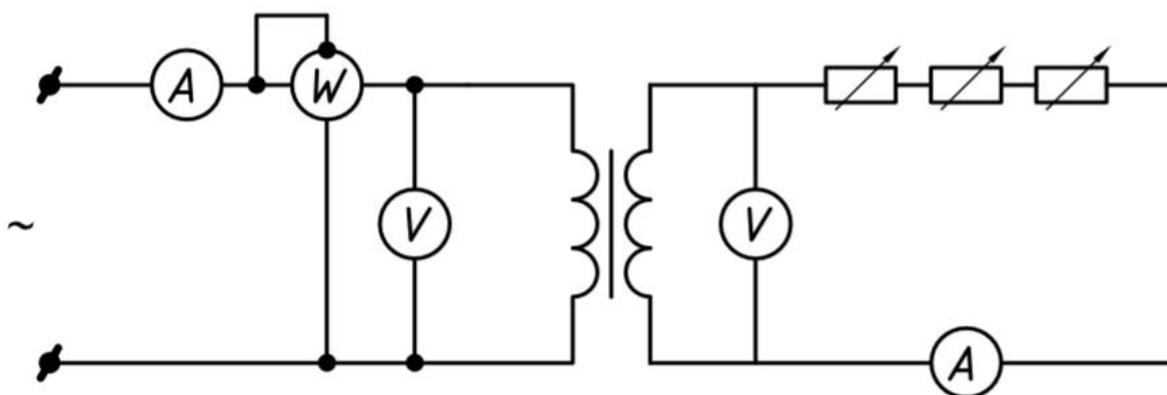


Рисунок 5.3 – Принципиальная схема работы трансформатора под нагрузкой

Таблица 5.2 – Данные опыта работы трансформатора под нагрузкой

$U_1, В$					
$I_1, А$					
$P_1, Вт$					
$U_2, В$					
$I_2, А$					
$\Delta U, \%$					
КПД					

Величины изменения напряжения и КПД определяются по выражениям:

$$\Delta U\% = \frac{U_{2H} - U_2}{U_{2H}} 100\%, \quad \text{КПД} = 1 - \frac{P_0 + P_k \left(\frac{I_2}{I_{2H}}\right)^2}{\frac{I_2}{I_{2H}} S_n + P_0 + \left(\frac{I_2}{I_{2H}}\right)^2 P_k}.$$

5. Алгоритм обработки экспериментальных данных

1) По полученным данным опыта холостого хода с учётом формул, приведённых в таблице 5.3, рассчитать: коэффициент трансформации, коэффициент мощности на холостом ходу, полное сопротивление вторичной обмотки, активное сопротивление вторичной обмотки, магнитные потери в сердечнике трансформатора.

2) По полученным данным опыта короткого замыкания с учётом формул в таблице 5.3 рассчитать: полное сопротивление короткого замыкания, активное сопротивление короткого замыкания, индуктивное сопротивление короткого замыкания, коэффициент мощности при коротком замыкании, напряжение короткого замыкания.

3) По экспериментальным данным таблицы 5.2 рассчитать изменение напряжения и коэффициент полезного действия трансформатора.

Таблица 5.3 – Расчётные формулы

Параметр	Формула
Коэффициент трансформации	$k = \frac{U_{10}}{U_{20}}$
Коэффициент мощности на холостом ходу	$\cos \varphi = \frac{P_0}{U_0 I_0}$
Полное сопротивление вторичной обмотки, Ом	$z_2 = \frac{U_0}{I_0}$
Активное сопротивление вторичной обмотки, Ом	$r_2 = z_2 \cos \varphi$
Магнитные потери в сердечнике трансформатора, Вт	$P_M = P_0 - I_0^2 r_2$
Полное сопротивление короткого замыкания, Ом	$z_K = \frac{U_K}{I_K}$
Активное сопротивление короткого замыкания, Ом	$r_K = \frac{P_K}{I_K^2}$
Индуктивное сопротивление короткого замыкания, Ом	$x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2}$
Коэффициент мощности при коротком замыкании	$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{U_K I_K}$
Напряжение короткого замыкания, %	$u_K = \frac{U_K}{U_{1H}} 100\%$

6. Указания по оформлению отчёта и защите лабораторной работы

Отчёт оформляется согласно общим указаниям, приведённым в разделе «Введение» данного пособия с учётом специфики проводимой лабораторной работы и заданий на экспериментальное и теоретическое исследование. Требования к оформлению отчёта приведены в приложениях 1 и 2.

Защита лабораторной работы проводится по указанию преподавателя в устной или письменной форме в виде ответа на контрольные вопросы и вопросы по содержанию лабораторной работы.

7. Контрольные вопросы

- 1) Что называется коэффициентом трансформации и как определить его экспериментально?
- 2) Какие потери определяются опытом холостого хода? Чем обусловлены эти потери?
- 3) Какие потери определяются опытом короткого замыкания?

- 4) Почему с увеличением тока нагрузки увеличивается ток первичной обмотки трансформатора?
- 5) Изменяется ли суммарный поток трансформатора при изменении его нагрузки?
- 6) Какое направление по отношению друг к другу имеют магнитные потоки, создаваемые током первичной обмотки и током вторичной обмотки?
- 7) От каких величин зависят величины ЭДС, индуцируемые в первичной и вторичной обмотках трансформатора?

Рекомендуемая литература

1. Иванов, И. И. Электротехника: учеб. пособие / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев. – Изд. 6-е, стер. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2009. – 496 с.
2. Белов, Н. В. Электротехника и основы электроники: учеб. пособие / Н. В. Белов, Ю. С. Волков. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2012. – 432 с.
3. Воробьев, А. В. Электротехника и электрооборудование строительных процессов: учеб. для студ. строит. спец. вузов / А. В. Воробьев. – Москва: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1995. – 343 с.
4. Глазенко, Т. А. Электротехника и основы электроники: учеб. пособие для вузов / Т. А. Глазенко; соавт. В. А. Прянишников. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва: Высшая школа, 1996. – 207 с.
5. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники: учебник / Л. А. Бессонов. – Изд. 11-е. – Москва: Юрайт, 2012. – 317 с.
6. Касаткин, А. С. Электротехника: учебник / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – Изд. 7-е, стер. – Москва: Высшая школа, 2002. – 542 с.
7. Касаткин, А. С. Электротехника: учеб. пособие / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – Изд. 4-е, перераб. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 440 с.
8. Электротехника: учебник / В. Г. Герасимов, Х. Э. Зайдель, В. В. Коген-Далин. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва: Высшая школа, 1985. – 480 с.

*Форма отчёта по лабораторной работе
Образец титульного листа*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт морских технологий, энергетики и строительства
Кафедра энергетики

ОТЧЕТ О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

«Наименование лабораторной работы»

по дисциплине «Электротехника и электроснабжение»
направления подготовки 08.03.01 Строительство

Работу выполнил:
студент гр. ХХ-ЭЭ
Иванов И. И.

Калининград
20XX

Требования к содержанию и оформлению отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен отражать основные результаты, полученные в ходе экспериментального и аналитического исследования, и выводы о характере и причинах полученных зависимостей. Отчёт выполняется по указанию преподавателя индивидуально каждым студентом либо в форме общего отчёта на бригаду студентов, совместно проводивших экспериментальное исследование на одной установке.

Отчёт должен содержать (если иное не оговорено преподавателем):

1. Цель работы.
2. Описание лабораторной установки и хода эксперимента.
3. Численные результаты экспериментального исследования и их графическую интерпретацию.
4. Формулы, расчёты, численные результаты аналитического исследования и их графическую интерпретацию.
5. Сопоставление результатов экспериментального и аналитического исследования, в том числе графическое.
6. Выводы о проделанной работе, содержащие анализ полученных результатов, причины зарегистрированных процессов и расхождений в экспериментальных и аналитических данных.

Отчёт оформляется рукописно либо в электронном виде (по указанию преподавателя). В электронном виде отчёт оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-2019. На все рисунки и таблицы должны быть ссылки в тексте, например «(рисунок 1)», «приведены в таблице 2». Подписи таблиц и рисунков выполняются по форме «Таблица 1 – Название» (над таблицей, выравнивание по левому краю без отступа), «Рисунок 1 – Название» (под рисунком, выравнивание по середине без отступа). При подготовке рисунков и схем рекомендуется использовать редактор MS Visio. Построение диаграмм (графиков) рекомендуется выполнять посредством MS Excel, Mathcad и т. п.

Общие требования к оформлению документа:

- шрифт Times New Roman, размер 12;
- выравнивание текста по ширине;
- межстрочный интервал – 1,15;
- отступ первой строки абзаца – 1,25 см;
- выравнивание рисунков – по центру без отступа;
- выравнивание таблиц – по ширине окна, без отступа;
- внедрение формул через редактор формул.

Учебное издание

Наталья Владимировна Бочарова
Максим Сергеевич Харитонов

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Редактор М. А. Дмитриева

Подписано в печать 11.12.2023 г. Формат 60 × 90 1/16.
Уч.-изд. л. 1,7. Печ. л. 2,4. Тираж 27 экз. Заказ № 110.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1