

**Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение
Чувашской Республики
«Чебоксарский экономико-технологический колледж»
Министерства образования и молодежной политики Чувашской Республики**



**Методические указания
по выполнению практических занятий
по учебной дисциплине
ОП.02. Основы электротехники
для профессии среднего профессионального образования
09.01.03. Мастер по обработке цифровой информации**

г. Чебоксары, 2017г.

РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА

на заседании ЦК технических дисциплин

Протокол № _____ от " ____ " _____ 201_ г.

Председатель ЦК: _____ /Карсаков О.Г./

Разработчики:

Гончарова Н. Г. преподаватель

электротехники (ФИО, должность)

" ____ " _____ 201_ г.

В методических указаниях рассмотрен порядок выполнения практических работ по дисциплине ОП.02 Основы электротехники, определены исходные данные, тематика практических работ, предложены рекомендации по выполнению этих работ. Методические указания предназначены для обучающихся.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Практическое работа №1	6
Проверка закона Ома при различных типах соединения. Практическое работа №2	11
Определение сопротивления при различных типах соединения. Практическое работа №3	14
Исследование неразветвленной и разветвленной электрических цепей постоянного тока Практическое работа №4	18
Исследование нелинейных цепей постоянного тока Практическое работа №5	20
Явление электромагнитной индукции, ее практическое применение Практическое работа №6	22
Взаимоиндукция и ее использование в трансформаторах Практическое работа №7	28
Включение нагрузки в цепь трёхфазного тока.	

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине Основы электротехники предназначены для студентов профессии 09.01.03. Мастер по обработке цифровой информации

Практические работы по дисциплине проводятся с целью:

- углубления и расширения теоретических знаний студентов;
- приобретения практических навыков в сборке электрических цепей, обработки экспериментальных данных, решения вопросов исследовательского характера;
- развития познавательных способностей и активности студентов, самостоятельности, ответственности и организованности при работе в команде;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации.

Методические указания содержат 7 практических работ, каждая из которых проводится после изучения соответствующей темы курса. По каждой теме приведены краткие справочные материалы. Практические работы содержат образцы решений типовых примеров и задач, поясняющих теоретический материал. Каждая практическая (практическая) работа содержит контрольные вопросы, необходимые для подготовки к защите.

К выполнению практических работ допускаются студенты прошедшие инструктаж по технике безопасности. Включение схемы под напряжение разрешается только после проверки ее преподавателем. После каждого изменения схема снова должна быть проверена.

Отчеты выполняются в тетради для практических работ.

Критериями оценки результатов выполнения практической работы студента являются:

- уровень освоения студентом учебного материала;
- умение студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность общих и профессиональных компетенций;
- обоснованность и четкость изложения ответов на контрольные вопросы;
- оформление материала в соответствии с требованиями.

ПЕРЕЧЕНЬ И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Содержание практических занятий	Объем часов
Практическое работа №1 Проверка закона Ома при различных типах соединения.	2
Практическое работа №2 Определение сопротивления при различных типах соединения.	2
Практическое работа №3 Исследование неразветвленной и разветвленной электрических цепей постоянного тока	2
Практическое работа №4 Исследование нелинейных цепей постоянного тока	2
Практическое работа №5 Явление электромагнитной индукции, ее практическое применение	2
Практическое работа №6 Взаимоиндукция и ее использование в трансформаторах	2
Практическое работа №7 Включение нагрузки в цепь трёхфазного тока.	2
итого	14

Критерии оценки практических работ:

Балл	Критерии оценки (содержательная характеристика)
«2»	Работа выполнена частично. Студент не владеет теоретическим материалом, допускает ошибки по сущности рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.
«3»	Работа выполнена. Студент владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, допущены незначительные ошибки при расчетах, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допускает незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
«4»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом и практическими навыками, отсутствуют ошибки при расчетах, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения (выводы), допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы. Эпизодически обращается за помощью к преподавателю.
«5»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом и практическими навыками, отсутствуют ошибки при расчетах, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы. Способен решать задачи исследовательского характера. Расчеты производит самостоятельно, без помощи преподавателя.

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

До начала работы на стендах студенты проходят инструктаж по технике безопасности и в последующем строго выполняют установленные правила:

1. Во время сборки электрических схем необходимо следить за тем, чтобы провода были плотно зажаты зажимами. Соединения проводов без зажимов должны быть изолированы. По возможности следует избегать пересечений монтажных проводов.
2. Электропитание к собранной схеме можно подключать только после разрешения преподавателя.
3. Категорически запрещается прикасаться голыми руками к металлическим зажимам, деталям, неизолированным проводам, когда цепь находится под напряжением.
4. Наличие напряжения на зажимах приборов или элементов схем следует проверять измерительным прибором, имеющим соединительные провода со щупами и изолированными ручками.
5. Запрещается производить какие-либо переключения цепи, когда она находится под напряжением. Все изменения в схеме производятся

- только с разрешения преподавателя, и после различных переключений она проверяется преподавателем.
6. Необходимо следить за тем, чтобы во время работы случайно не коснуться вращающихся частей электрических машин.
 7. Следует проявлять осторожность при работе с обесточенными цепями, в которых включены конденсаторы и конденсаторные батареи.
 8. При возникновении во время работы неисправностей в учебной установке, оборудовании или приборах, следует немедленно выключить напряжение питания и сообщить о неисправности преподавателю.
 9. Запрещается оставлять под напряжением учебную схему и приборы.

Несоблюдение правил техники безопасности опасно для жизни и может привести к несчастным случаям.

Пострадавшим от тока должна быть оказана немедленная помощь. Необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от тока, для чего следует отключить установку, дать полный покой, расстегнуть пояс и одежду, обеспечить приток свежего воздуха, дать понюхать нашатырный спирт. Если пострадавший не подает признаков жизни, следует применять приемы искусственного дыхания. Во всех случаях поражения током следует вызвать врача.

Практическое занятие № 1 Проверка закона Ома при различных типах соединения.

Цель работы: *установить на опыте зависимость силы тока от напряжения и сопротивления.*

Оборудование: *амперметр лабораторный, вольтметр лабораторный, источник питания, набор из трёх резисторов сопротивлениями 1 Ом, 2 Ом, 4 Ом, реостат, ключ замыкания тока, соединительные провода.*

Ход работы.

Краткие теоретические сведения

Электрический ток - *упорядоченное движение заряженных частиц*

Количественной мерой электрического тока служит **сила тока I**

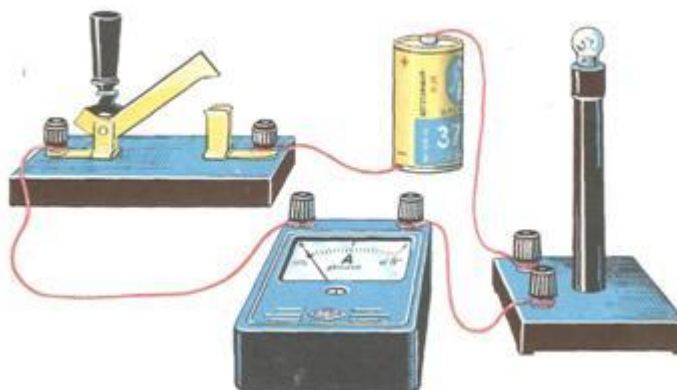
Сила тока - *– скалярная физическая величина, равная отношению заряда q , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени t , к этому интервалу времени:*

$$I = \frac{q}{t}$$

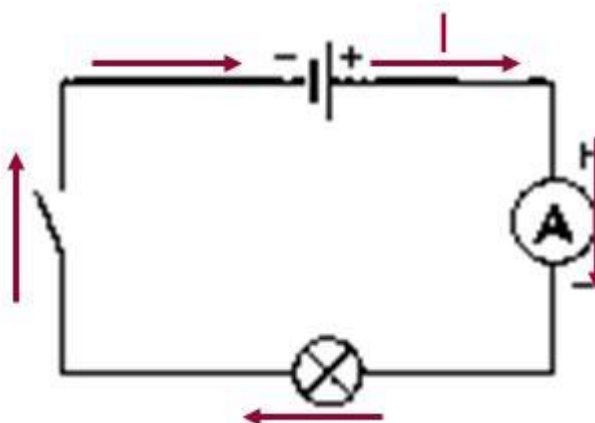
В Международной системе единиц СИ сила тока измеряется в **амперах [А]**.

[1А=1Кл/1с]

Прибор для измерения силы тока **Амперметр**. Включается в цепь **последовательно**



На схемах электрических цепей амперметр обозначается .



Напряжение – это физическая величина, характеризующая действие электрического поля на заряженные частицы, численно равно работе электрического поля по перемещению заряда из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 \quad U = \frac{A}{q}$$

U – напряжение

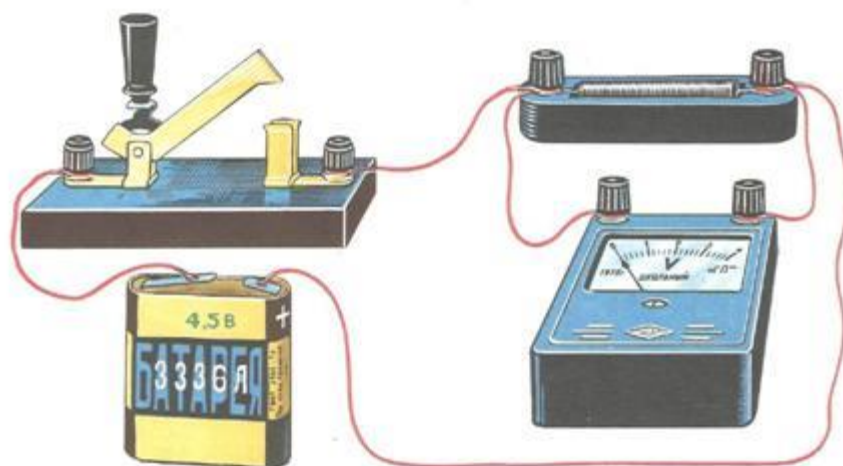
A – работа тока


q – электрический заряд

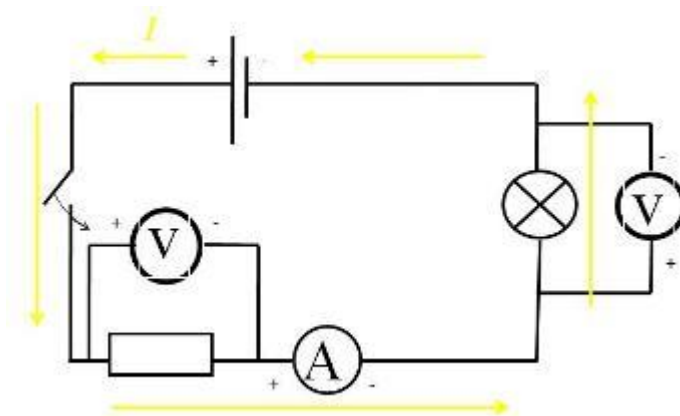
Единица напряжения – Вольт [В]

[1В=1Дж/1Кл]

Прибор для измерения напряжения – **Вольтметр**. Подключается в цепь параллельно тому участку цепи, на котором измеряется разность потенциалов.



На схемах электрических цепей амперметр обозначается .



Величина, характеризующая противодействие электрическому току в проводнике, которое обусловлено внутренним строением проводника и хаотическим движением его частиц, называется **электрическим сопротивлением проводника**.

Электрическое сопротивление проводника зависит от **размеров и формы проводника** и от **материала**, из которого изготовлен проводник.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

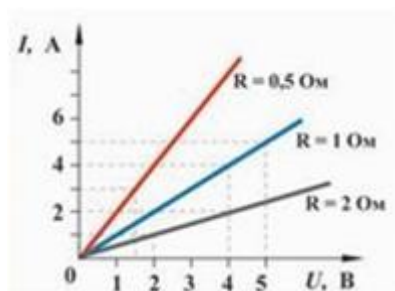
S – площадь поперечного сечения проводника

l – длина проводника

ρ – удельное сопротивление проводника

В СИ единицей электрического сопротивления проводников служит **ом** [Ом].

Графическая зависимость силы тока I от напряжения U - **вольт-амперная характеристика**



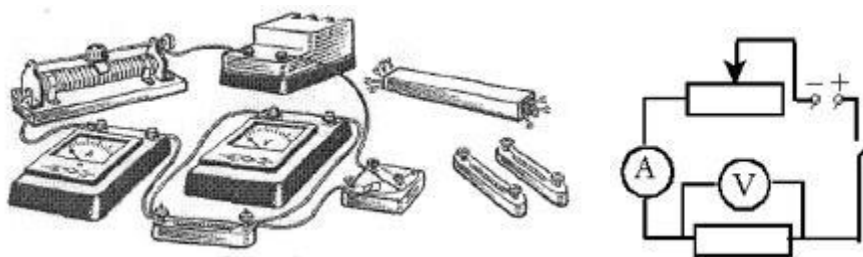
Закон Ома для однородного участка цепи: сила тока в проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.

$$I = \frac{U}{R}$$

Назван в честь его первооткрывателя **Георга Ома**.

Практическая часть

1. Для выполнения работы соберите электрическую цепь из источника тока, амперметра, реостата, проволочного резистора сопротивлением 2 Ом и ключа. Параллельно проволочному резистору присоедините вольтметр (см. схему).



2. Опыт 1. Исследование зависимости силы тока от напряжения на данном участке цепи. Включите ток. При помощи реостата доведите напряжение на зажимах проволочного резистора до 1 В, затем до 2 В и до 3 В. Каждый раз при этом измеряйте силу тока и результаты записывайте в табл. 1.

Таблица 1. Сопротивление участка 2 Ом

Напряжение, В			
Сила тока, А			

3. По данным опытов постройте график зависимости силы тока от напряжения. Сделайте вывод.

4. Опыт 2. Исследование зависимости силы тока от сопротивления участка цепи при постоянном напряжении на его концах. Включите в цепь по той же схеме проволочный резистор сначала сопротивлением 1 Ом, затем 2 Ом и 4 Ом. При помощи реостата устанавливайте на концах участка каждый раз одно и то же напряжение, например, 2 В. Измеряйте при этом силу тока, результаты записывайте в табл 2.

Таблица 2. Постоянное напряжение на участке 2 В

Сопротивление участка, Ом			
Сила тока, А			

5. По данным опытов постройте график зависимости силы тока от сопротивления. Сделайте вывод.

6. Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что такое электрический ток?
2. Дайте определение силы тока. Как обозначается? По какой формуле находится?
3. Какова единица измерения силы тока?
4. Каким прибором измеряется сила тока? Как он включается в электрическую цепь?
5. Дайте определение напряжения. Как обозначается? По какой формуле находится?
6. Какова единица измерения напряжения?
7. Каким прибором измеряется напряжение? Как он включается в электрическую цепь?
8. Дайте определение сопротивления. Как обозначается? По какой формуле находится?
9. Какова единица измерения сопротивления?
10. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.

Опыт 1. Исследование зависимости силы тока от напряжения на данном участке цепи. Включите ток. При помощи реостата доведите напряжение на зажимах проволочного резистора до 1 В, затем до 2 В и до 3 В. Каждый раз при этом измеряйте силу тока и результаты записывайте в табл. 1.

Таблица 1. Сопротивление участка 2 Ом

Напряжение, В	1	2	3
Сила тока, А	0,5	1,0	1,5

По данным опытов постройте график зависимости силы тока от напряжения. Сделайте вывод.

Опыт 2. Исследование зависимости силы тока от сопротивления участка цепи при постоянном напряжении на его концах. Включите в цепь по той же схеме проволочный резистор сначала сопротивлением 1 Ом, затем 2 Ом и 4 Ом. При помощи реостата устанавливайте на концах участка каждый раз одно и то же напряжение, например, 2 В. Измеряйте при этом силу тока, результаты записывайте в табл 2.

Таблица 2. Постоянное напряжение на участке 2 В

Сопротивление участка, Ом	1	2	4
Сила тока, А	2,0	1,0	0,5

По данным опытов постройте график зависимости силы тока от сопротивления. Сделайте вывод.

Практическое занятие № 2: Определение сопротивления при различных типах соединения.

Цель работы: опытная проверка распределения токов и напряжений на участках электрической цепи с последовательным, параллельным и смешанным соединением сопротивлений.

Краткие сведения

Последовательное соединение

При последовательном соединении общее (эквивалентное) сопротивление цепи равно сумме сопротивлений отдельных приемников:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (1.1)$$

Ток, протекающий в такой цепи, одинаков на всех ее участках. Падение напряжения на каждом участке пропорционально его сопротивлению

$$U_1 = IR_1, U_2 = IR_2, \dots, U_n = IR_n.$$

Напряжение на зажимах цепи, в соответствии со вторым законом Кирхгофа, равно сумме падений напряжений на отдельных ее участках

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n. \quad (1.2)$$

Параллельное соединение

При параллельном соединении, в соответствии с первым законом Кирхгофа, сумма токов в неразветвленном участке цепи равна сумме токов в отдельных ветвях:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n. \quad (1.3)$$

Напряжение на зажимах отдельных приемников одинаково и равно напряжению на зажимах цепи:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad (1.4)$$

Величина тока в отдельных ветвях определяется по закону Ома для участка цепи

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; I_2 = \frac{U}{R_2}; \dots I_n = \frac{U}{R_n}. \quad (1.5)$$

По первому закону Кирхгофа величина тока в неразветвленной части цепи

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n}, \quad (1.5)$$

откуда
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}. \quad (1.6)$$

Величина, обратная сопротивлению, называется проводимостью $g = 1/R$. Тогда

$$g = g_1 + g_2 + \dots + g_n. \quad (1.7)$$

Смешанное соединение

При таком соединении электрическая цепь содержит как последовательно, так и параллельно соединенные сопротивления. Участки такой цепи содержат не только последовательное соединение сопротивлений, характеризующееся уравнениями (1.1) и (1.2), но и участки, содержащие параллельное соединение, характеризующееся уравнениями (1.3) - (1.6).

Содержание работы

1. С помощью схем рис. 1.1 – 1.3 опытным путем проверить распределение токов и напряжений на участках цепей с последовательным, параллельным и смешанным соединением сопротивлений.
2. Вычислить общее сопротивление каждой из этих цепей.

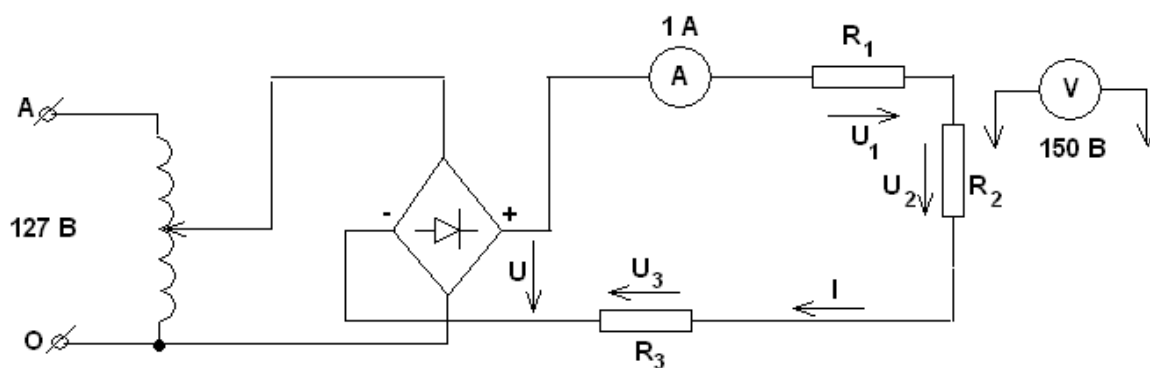


Рис. 1.1

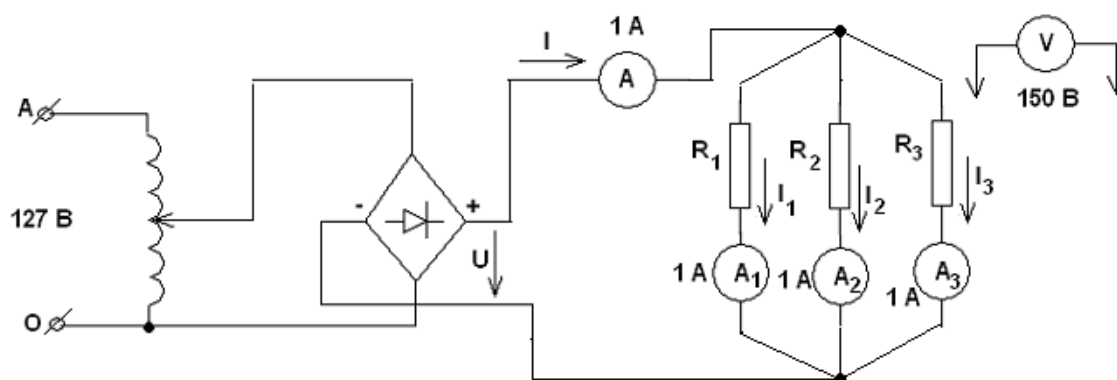


Рис. 1.2

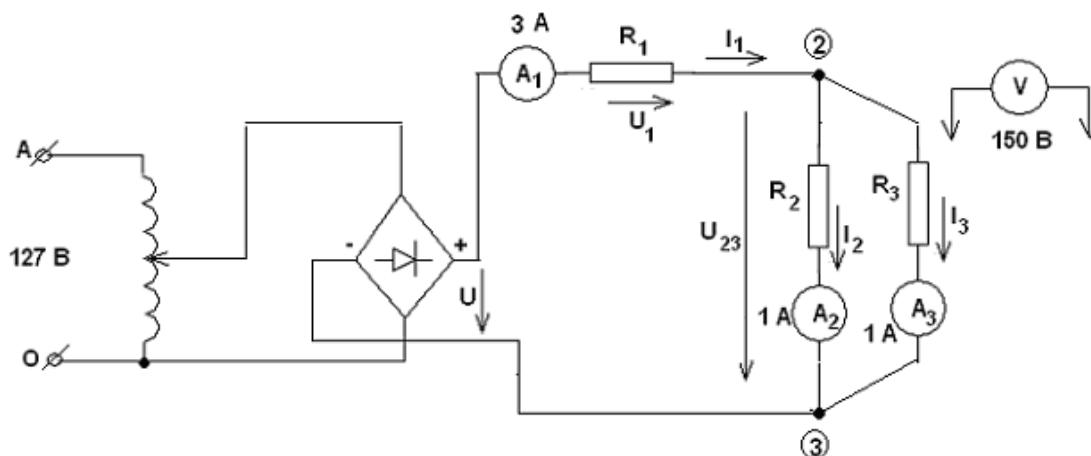


Рис. 1.3

Примечание: указанное на рисунке значение тока или напряжения у прибора характеризует его предельную измеряемую величину.

Порядок выполнения работы

Последовательное соединение

1. Собрать (зарисовать) схему рис. 1.1.
2. Записать из таблицы 1.1 по варианту задания значения «измеренных» идеальным вольтметром напряжений U_1 , U_2 , U_3 на сопротивлениях R_1 , R_2 , R_3 и величину тока I в цепи.
3. Произвести расчет значений сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 , общего сопротивления и падения напряжения во всей цепи.

Таблица 1.1

«Измеренные» значения	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_1 , В	50	60	20	10	80	60	10	80	70	30
U_2 , В	30	20	70	50	20	40	30	10	30	70
U_3 , В	40	30	30	60	10	20	60	20	10	20
I , А	0,5	0,7	0,3	0,2	0,1	1,0	0,4	0,8	0,6	0,9

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + R_3.$$

Параллельное соединение

4. Собрать (зарисовать) схему рис.1.2.
5. Записать из таблицы 1.2 по варианту задания значения «измеренных» идеальными приборами токи I_1 , I_2 , I_3 , протекающие через сопротивления R_1 , R_2 , R_3 , и величину напряжения на них.
6. Произвести расчет значений сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 , общего сопротивления ($R_{\text{экв}}$) и тока, измеренного амперметром А.

Таблица 1.2

«Измеренные» значения	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I_1 , А	0,5	0,7	0,3	0,2	0,1	1,0	0,4	0,8	0,6	0,9
I_2 , А	0,1	1,0	0,4	0,8	0,6	0,9	0,5	0,7	0,3	0,2
I_3 , А	0,3	0,2	0,1	1,0	0,4	0,8	0,5	0,7	0,6	0,9
U , В	60	70	80	90	100	110	120	110	90	80

$$G_{\text{экв}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}; \quad R_{\text{экв}} = \frac{1}{G_{\text{экв}}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}.$$

Смешанное соединение

7. Собрать (зарисовать) схему рис.1.3.
8. Записать из таблицы 1.3 по варианту задания значения «измеренных» идеальными приборами токи I_2 , I_3 , протекающие через сопротивления R_2 , R_3 , и напряжения U_{23} и U_1 .
9. Произвести расчет значений сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 , общего сопротивления ($R_{\text{экв}}$) и тока, измеренного амперметром A_1 .

Таблица 1.3

«Измеренные» значения	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U ₁ , В	10	15	30	20	25	20	25	10	20	30
I ₂ , А	0,9	1,0	0,4	0,8	0,6	0,9	0,5	0,7	0,3	0,9
I ₃ , А	0,3	0,2	0,9	1,0	0,4	0,8	0,5	0,7	0,6	0,9
U ₂₃ , В	60	70	80	90	100	90	70	110	115	85

$$R_{\text{экв}} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

Контрольные вопросы

1. Чему равно напряжение на зажимах цепи с последовательным соединением сопротивлений, если известны падения напряжения на отдельных элементах ?
2. Чему равно общее (эквивалентное) сопротивление в цепи с последовательным соединением резисторов?
3. Дать определение цепи со смешанным соединением элементов?
4. Как распределяется ток в резисторах, соединенных параллельно?
5. Как определить общее сопротивление цепи с параллельным соединением приемников?
6. Записать законы Ома и Кирхгофа для цепей, рассмотренных в работе.

Практическое занятие № 3: Исследование неразветвленной и разветвленной электрических цепей постоянного тока

НЕРАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: исследование цепи переменного синусоидального тока с последовательным соединением активного сопротивления, индуктивности и электрической емкости, ознакомление с явлением резонанса напряжений и условиями, при которых он возникает.

Краткие сведения

Для цепи переменного тока с последовательным соединением элементов R, L, C закон Ома записывается в виде

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{Z}; \quad (3.1)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

где Z - полное сопротивление, R - активное сопротивление, X_L = ωL - индуктивное сопротивление, X_C = 1/ωC - емкостное сопротивление; L и C - индуктивность и емкость соответственно; ω - угловая частота, ω = 2πf (f = 50 Гц) = 314 с⁻¹.

Напряжение, приложенное к зажимам такой цепи, равно *геометрической* сумме активной U_R, индуктивной U_L, и емкостной U_C составляющих напряжения

$$U_R = IR; U_L = IX_L; U_C = IX_C.$$

Угол сдвига фаз между векторами тока и напряжения φ может быть найден из треугольника напряжений

$$\cos\varphi = R/Z \text{ или мощностей } \cos\varphi = P/S = P/UI, \quad (3.2)$$

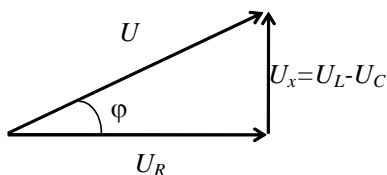
где P – активная мощность, S – полная мощность.

Величина угла φ зависит от соотношений активного R и реактивных X_L , X_C сопротивлений.

Режим работы электрической цепи, содержащей все три вида приемников электрической энергии (R , L , C), когда векторы тока I и напряжения U совпадают по фазе ($\varphi = 0$), называется резонансным.

В цепи с последовательным соединением этих элементов резонанс наступает при $X_L = X_C$, и, следовательно, при $U_L = U_C$. Такое явление называют резонансом напряжений.

Поскольку сопротивления реактивных элементов $X_L = X_C$ могут значительно превышать величину активного сопротивления R , то и напряжения на них U_L и U_C также могут быть значительно больше напряжения источника питания. Учитывая, что векторы напряжений U_L и U_C направлены в противоположные стороны, т.е. они взаимно уничтожают друг друга, напряжение, приложенное к зажимам цепи $U = U_R$, может быть значительно меньше напряжений U_L и U_C .

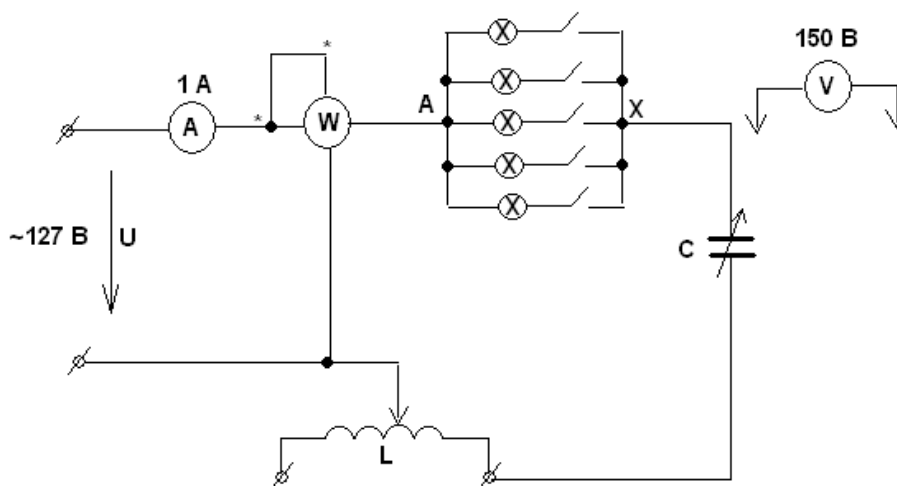


Содержание работы

1. На вход цепи подается синусоидальное напряжение, равное 127 В, 50 Гц . В качестве активного сопротивления используется набор ламп. Индуктивным сопротивлением служит вторичная обмотка автотрансформатора. Емкостным сопротивлением служит набор конденсаторов. Будем считать индуктивную катушку и конденсаторы идеальными, т. е. пренебрегаем их активными сопротивлениями.
2. Произвести необходимые расчеты для обеспечения явления резонанса напряжений.
3. Построить векторную диаграмму последовательной цепи, в том числе для условия резонанса. Построить треугольники сопротивлений и мощностей.

Порядок выполнения работы

1. Собрать (зарисовать) схему рис. 3.1.
2. Записать из таблицы 3.1 по варианту задания значения «измеренных» идеальными приборами напряжения U_R , U_L , U_C .
3. Построить векторную диаграмму напряжений.
4. Произвести расчеты тока I , сопротивлений X_L , X_C , $\cos\varphi$, активной мощности P и определить условия возникновения резонанса напряжений.
5. Построить векторные диаграммы напряжений при $X_C > X_L$, при $X_C < X_L$ и при $X_C = X_L$.
5. Построить треугольники сопротивлений и мощностей.



Примечание: указанное на рисунке значение тока или напряжения у прибора характеризует его предельную измеряемую величину.

Таблица 3.1

«Измеренные» значения	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R, \text{ Ом}$	90	70	30	150	100	80	25	80	120	50
$U_R, \text{ В}$	50	60	17	57	80	67	20	80	70	30
$U_L, \text{ В}$	30	17	80	150	37	40	30	27	40	70
$U_C, \text{ В}$	47	50	30	150	10	20	77	20	17	27

Контрольные вопросы

1. Назвать условия возникновения резонанса напряжений.
2. Что такое коэффициент мощности?
3. Чему равен коэффициент мощности при резонансе напряжений?
4. Какова зависимость реактивных сопротивлений от частоты сети?
5. Каков порядок построения векторных диаграмм данной цепи?
6. Может ли напряжение на зажимах цепи быть меньше напряжения на отдельных элементах?

РАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: исследование цепи синусоидального переменного тока с параллельным соединением активного сопротивления, индуктивности и электрической емкости, ознакомление с явлением резонанса токов и условиями, при которых оно возникает.

Краткие сведения

При параллельном соединении приемников электрической энергии напряжение на каждом из них одинаково, а токи распределяются обратно пропорционально

сопротивлениям. В соответствии с первым законом Кирхгофа ток в неразветвленной части цепи

$$\bar{I} = \bar{I}_R + \bar{I}_L + \bar{I}_C, \quad (4.1)$$

Токи в ветвях соответственно

$$I_R = \frac{U}{R}; \quad I_L = \frac{U}{X_L}; \quad I_C = \frac{U}{X_C}. \quad (4.2)$$

.Здесь U - напряжение в цепи; R - активное сопротивление; $X_L = \omega L$ - индуктивное сопротивление; $X_C = 1/\omega C$ - емкостное сопротивление; $\omega = 314 \text{ с}^{-1}$.

При расчете цепи переменного тока с параллельным соединением R , L , C вместо сопротивлений, удобнее пользоваться проводимостями. Различают три проводимости:

полная - $y = \frac{I}{z}$;

активная - $g = \frac{R}{z^2}$;

реактивная - $b = \frac{X}{z^2}$

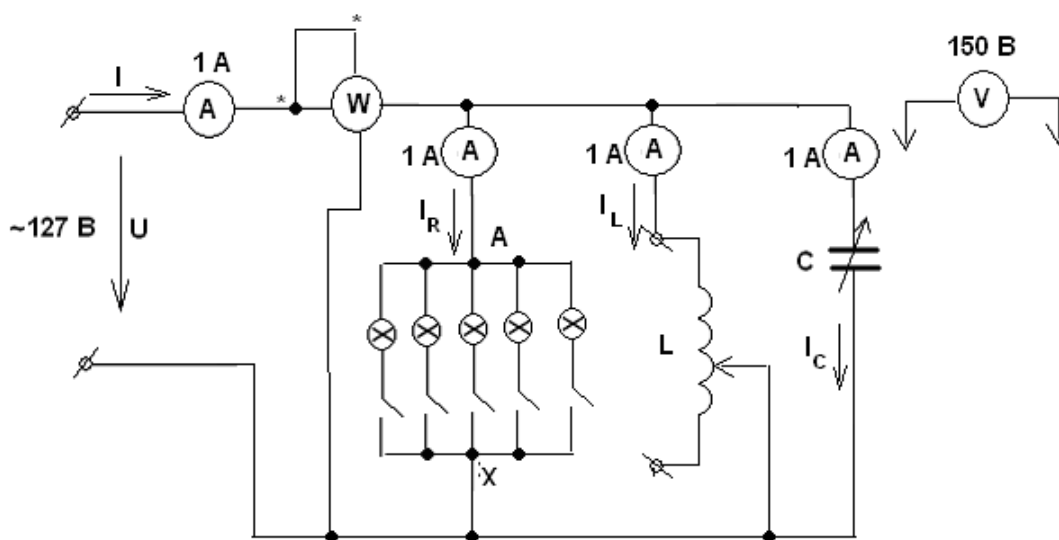
В случае равенства индуктивной и емкостной реактивных проводимостей наступает явление резонанса токов. В этом случае токи I_L и I_C , равные по величине, но противоположные по фазе, компенсируют друг друга.

Ток в неразветвленной части цепи при резонансе будет равен току, протекающему через активное сопротивление: $I = I_R = Ug$. При этом токи, протекающие в ветвях с L и C , могут значительно превышать ток в неразветвленной части цепи.

Содержание работы

1. Схема включается в сеть переменного тока напряжением 127 В, 50 Гц. Будем считать индуктивную катушку и конденсаторы идеальными, т. е. пренебрегаем их активными сопротивлениями.
2. Произвести необходимые расчеты для определения тока в неразветвленной части цепи и для обеспечения явления резонанса токов.
3. Построить векторные диаграммы для $b_L > b_C$, $b_L = b_C$, $b_L < b_C$.

Порядок выполнения работы



Примечание: указанное на рисунке значение тока или напряжения у прибора характеризует его предельную измеряемую величину

2. Собрать (зарисовать) схему рис. 4.1.
2. Записать из таблицы 4.1 по варианту задания значения «измеренных» идеальными приборами токи I_R , I_L , I_C .
3. Построить векторную диаграмму токов.
4. Произвести расчеты тока I в неразветвленной части цепи, сопротивлений R , X_L , X_C , а также C и L , активной мощности P и определить условия возникновения резонанса токов.
5. Построить векторные диаграммы токов при $b_L > b_C$, $b_L = b_C$, $b_L < b_C$.

Таблица 4.1

«Измеренные» значения	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I_R, A	0,5	0,6	0,1	0,4	0,3	0,2	0,5	0,1	0,4	0,3
I_L, A	0,3	0,17	0,8	1,0	0,37	0,4	0,30	0,7	0,40	0,7
I_C, A	0,47	0,5	0,3	1,0	0,1	0,2	0,77	0,2	0,17	0,4

Контрольные вопросы

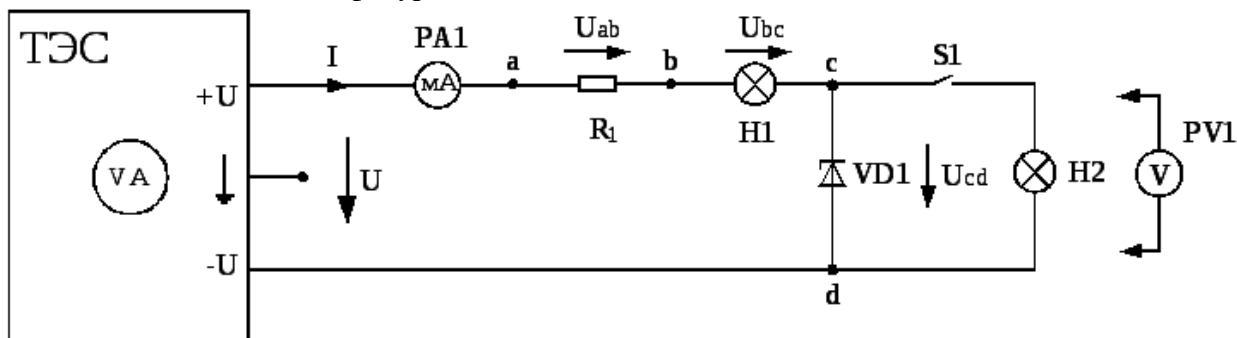
1. Назвать условия возникновения резонанса токов.
2. Как определить ток в неразветвленной части цепи при известных токах в отдельных ветвях параллельной цепи?
3. Может ли ток в ветви быть больше тока в неразветвленной части цепи?
4. Как определить параметры b_L , b_C , g , y по опытным данным?
5. Каков порядок построения векторных диаграмм?

Практическое занятие № 4: Исследование нелинейных цепей постоянного тока.

Цель работы – изучение экспериментальных и графических методов анализа электрических цепей с нелинейными элементами.

Описание установки

В работе исследуется электрическая цепь, содержащая линейный резистор R_1 , две электрические лампы накаливания $H1$ и $H2$ и полупроводниковый стабилитрон $VD1$ (рис.1). Для снятия вольт-амперных характеристик (ВАХ) используется регулируемый источник ЭДС, миллиамперметр $PA1$ и вольтметр $PV1$. С помощью ключа $S1$ изменяется конфигурация схемы.



Задание на подготовку к работе

1. Изучить раздел курса электротехники, в котором рассматриваются нелинейные электрические цепи постоянного тока.

2. Подготовить бланк протокола, соответствующий программе выполнения лабораторной работы.
3. Привести пример нелинейной ВАХ и рассчитать для произвольной точки статическое и динамическое (дифференциальное) сопротивление.
4. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

Порядок выполнения экспериментальной части

1. Ознакомиться с оборудованием и измерительными приборами, необходимыми для проведения эксперимента.
2. Собрать электрическую цепь, соответствующую схеме замещения и показать её преподавателю.
3. Снять ВАХ резистора R_1 , лампы накаливания $H1$ и стабилитрона $VD1$. Для этого разомкнуть ключ $S1$. Изменяя напряжение источника U , измерить соответствующие значения тока I с помощью миллиамперметра $PA1$ и соответствующие значения напряжений U_{ab} , U_{bc} и U_{cd} с помощью вольтметра $PV1$. Измеренные значения занести в таблицу 1. В диапазоне токов от нуля и до 50 мА измерения вести с шагом 10 мА, далее - с шагом 50 мА.
4. Снять эквивалентную ВАХ всей цепи. Для этого замкнуть ключ $S1$ и изменяя напряжение источника U , измерить соответствующие значения тока I с помощью миллиамперметра $PA1$. Напряжение U контролировать по цифровому вольтметру источника. Измеренные значения занести в таблицу 2.
5. Используя экспериментальные данные, построить ВАХ исследуемых элементов и графически найти эквивалентную ВАХ всей цепи при замкнутом ключе $S1$. На этом же графике построить экспериментальную эквивалентную ВАХ цепи и оценить точность эксперимента.
6. Выбрать точку примерно в середине участка стабилизации ВАХ стабилитрона $VD1$ и рассчитать соответствующие статическое и динамическое сопротивления.
7. По результатам физического эксперимента сделать выводы.

Таблица 1 Таблица 2

I	U_{ab}	U_{bc}	U_{cd}
мА	В	В	В
10			
20			
30			
40			
50			
100			
150			
200			
250			
300			
350			

I	U
мА	В
10	
20	
30	
40	
50	
100	
150	
200	
250	
300	
350	

Контрольные вопросы

1. Дайте определение вольт-амперной характеристики резистора.
2. Чем отличаются ВАХ линейных и нелинейных элементов электрических цепей ?
3. Дайте определение статического и динамического (дифференциального) сопротивлений.
4. Дайте классификацию нелинейных элементов по виду ВАХ.
5. Покажите порядок графического расчёта неразветвлённой нелинейной цепи постоянного тока.
6. Покажите порядок графического расчёта разветвлённой нелинейной цепи постоянного тока.

Практическое занятие № 5: Явление электромагнитной индукции, ее практическое применение

Явление электромагнитной индукции было открыто Майклом Фарадеем, который в течение десяти лет пытался «превратить магнетизм в электричество».

Сегодня в ходе выполнения практической работы Вы можете решить поставленную Фарадеем задачу, если воспользуется законом сохранения энергии.

Действительно, чтобы «превратить магнетизм в электричество» нужно располагать магнитным полем и замкнутой электрической цепью без источника тока. В качестве источника магнитного поля может выступать постоянный магнит, или катушка, по которой течет электрический ток. А в качестве простейшей электрической цепи можно также использовать катушку. Концы ее нужно присоединить к какому-нибудь регистрирующему ток прибору. В качестве регистрирующего прибора будем использовать осциллограф и экран компьютера.

- Кривая на экране представляет собой зависимость напряжения на концах катушки от времени.
- Появления напряжения на концах катушки в определенные моменты времени означает, что в эти промежутки времени по катушке течет ток, противоположные знаки измеряемого напряжения на концах катушки означают, что направление тока в эти промежутки времени противоположно.

Магнит сколь угодно долго может лежать рядом с катушкой, замкнутой на гальванометр: в ее цепи ток не потечет! Это запрещает закон сохранения энергии. Чтобы в цепи катушки появился ток, кто-то должен поработать. Поработать можете Вы, вдвигая или выдвигая магнит из катушки, или катушка падая в поле постоянного магнита. Полученный электрический ток называется индукционным, то есть наведенным.

Опыт №1.

1 зависимость возникновения индукционного тока при движении катушки в поле постоянного магнита

2 зависимость возникновения индукционного тока при движении магнита в катушке.

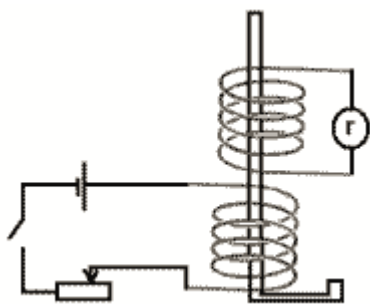
Выполнение работы.

Обсуждение результатов опытов.

1. Направление индукционного тока.
2. Природа возникновения индукционного тока.

Общий вывод, от чего зависит возникновение индукционного тока.

Опыт №2. зарисуйте схему демонстрационной установки.



Возникновение индукционного тока при перемещении одной катушки относительно другой.

Обсуждение результатов опытов. Вывод, от чего зависит возникновение индукционного тока.

Вопросы для самоконтроля и повторения

1. Что называют явлением электромагнитной индукции? Сформулируйте закон электромагнитной индукции.
2. В чем заключается правило Ленца?
3. Охарактеризуйте вихревое электрическое поле. Чем такое поле отличается от электростатического поля?
4. В чем заключаются явления самоиндукции и взаимной индукции?
5. Что такое индуктивность контура? От чего она зависит, каков ее физический смысл?
6. Какие токи называют вихревыми? Почему сердечники трансформаторов не делают сплошными?
7. Расскажите принцип работы генератора переменного тока, трансформатора.

Задачи для самостоятельного решения

1. В однородном магнитном поле с индукцией перпендикулярно полю движется проводник длиной l . Какая ЭДС наводится в проводнике к моменту, когда он переместится на s ? Начальная скорость проводника v_0 , ускорение a . (Ответ: $\frac{1}{2} a s^2$).
2. Самолет летит горизонтально со скоростью v . Определить ЭДС индукции, возникающей на крыльях самолета, если их размах составляет l , а модуль вертикальной составляющей магнитного поля B_v . (Ответ: $B_v l v$).
3. Магнитная индукция поля между полюсами двухполюсного генератора равна 1 Тл. Ротор имеет 140 витков (площадь каждого витка $S=500 \text{ см}^2$). Определить частоту вращения ротора, если максимальное значение ЭДС индукции равно 220 В. (Ответ: 5с-1).
4. Трансформатор с коэффициентом трансформации 0,15 понижает напряжение с 220 В до 6В. При этом сила тока во вторичной обмотке равна 6 А. Пренебрегая потерями энергии в первичной обмотке, определить сопротивление вторичной обмотки трансформатора. (Ответ: 4,5Ом).
5. Трансформатор, понижающий напряжение с 220В до 12В, содержит в первичной обмотке 2000 витков. Сопротивление вторичной обмотки 0,15Ом. Пренебрегая сопротивлением первичной обмотки, определить число витков во вторичной обмотке, если в сеть пониженного напряжения передается мощность $P = 20\text{Вт}$. (Ответ: 111).

Практическое занятие № 6: Взаимоиндукция и ее использование в трансформаторах

Цель работы: экспериментальная проверка закона Фарадея и некоторых следствий, вытекающих из него.

Приборы и принадлежности: лабораторная установка, состоящая из соленоида и четырех катушек, милливольтметра, амперметра, осциллографа и блока питания.

Сведения из теории

Явление электромагнитной индукции. В 1831 году английский физик М. Фарадей открыл явление, заключающееся в том, что при всяком изменении магнитного потока, пронизывающего площадку, ограниченную замкнутым проводящим контуром, в нем возникает электрический ток. Это явление называется явлением электромагнитной индукции, а возникающий ток - индукционным током. Этот факт свидетельствует о том, что при изменении магнитного потока в контуре возникает электродвижущая сила \mathcal{E}_i . Опыт показал, что \mathcal{E}_i (ЭДС индукции) зависит от скорости изменения магнитного потока, пронизывающего данный контур, т. е.

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt} . \quad (1)$$

Магнитный поток, пронизывающий контур, определяется выражением

$$\Phi = B S \cos \alpha , \quad (2)$$

где \vec{B} - вектор индукции магнитного поля; S - площадь контура; α - угол между вектором \vec{B} и положительной нормалью к площадке.

Индукция и напряженность магнитного поля связаны соотношением

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H} ,$$

где μ - магнитная проницаемость; μ_0 - магнитная постоянная.

Если контур содержит N витков, то \mathcal{E}_i определяется выражением

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d \Psi}{d t} . \quad (3)$$

Величина Ψ называется потокоцеплением, или полным магнитным потоком,

$$\Psi = N \Phi . \quad (4)$$

Соленоид. Соленоидом называется контур, состоящий из N витков одинакового радиуса, расположенных вплотную друг к другу. В теории рассматривается бесконечный соленоид, состоящий из бесконечного числа витков.

Известно, что индукция магнитного поля в любой точке внутри бесконечного соленоида

$$B = \mu \mu_0 n I , \quad (5)$$

где I - ток, текущий по соленоиду; n - число витков на единицу длины соленоида. Если соленоид конечной длины, то индукция в любой точке любого сечения

$$B' = \frac{\mu \mu_0 n I}{2} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) , \quad (6)$$

где α_1 и α_2 - углы между осью соленоида и радиусами - векторами, проведенными из любой точки на оси соленоида к концам (рис.8.1).

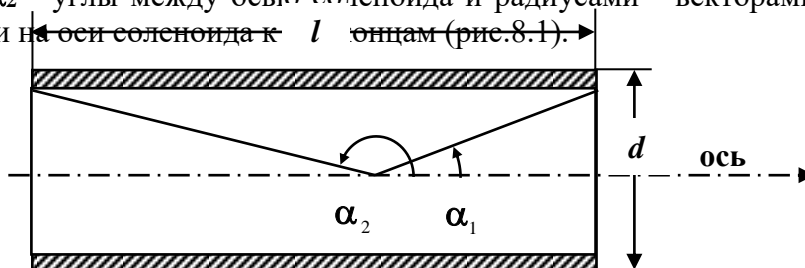


Рис.1

Взаимоиндукция. Частным случаем явления электромагнитной индукции является явление взаимоиндукции, которое имеет место тогда, когда два контура расположены достаточно близко друг к другу (рис.2). При протекании переменного тока I_1 по первому контуру во втором контуре возникает ЭДС индукции, которая определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{i2} = - \frac{d \Phi_{21}}{d t} = - L_{21} \frac{d I_1}{d t} , \quad (8.7)$$

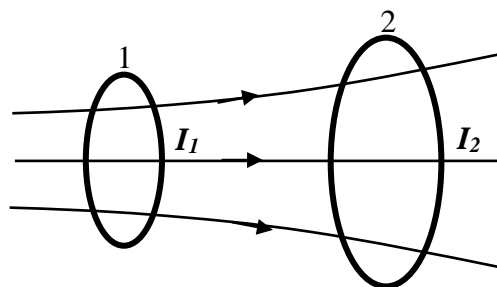


Рис..2

здесь Φ_{21} - магнитный поток,

пронизывающий второй контур (создается током I_1); L_{21} - коэффициент взаимной индукции второго контура с первым. Если создать переменный ток I_2 во втором контуре, то в первом контуре наведется ЭДС индукции:

$$\varepsilon_{i1} = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -L_{12} \frac{dI_2}{dt}, \quad (8)$$

где Φ_{12} - магнитный поток, пронизывающий первый контур (Φ_{12} создается током I_2); L_{12} - коэффициент взаимной индукции первого контура со вторым.

Теоретически доказано, что $L_{21} = L_{12}$. Если это так, то при поочередном протекании одинаковых переменных токов в двух связанных контурах, ЭДС индукции, возникающие в них, должны быть равны, т. е. $\varepsilon_{i2} = \varepsilon_{i1}$.

Описание установки и метода исследования

Схема установки, состоящей из соленоида (C) и четырех катушек (K_1, K_2, K_3, K_4), представлена на рис.3.

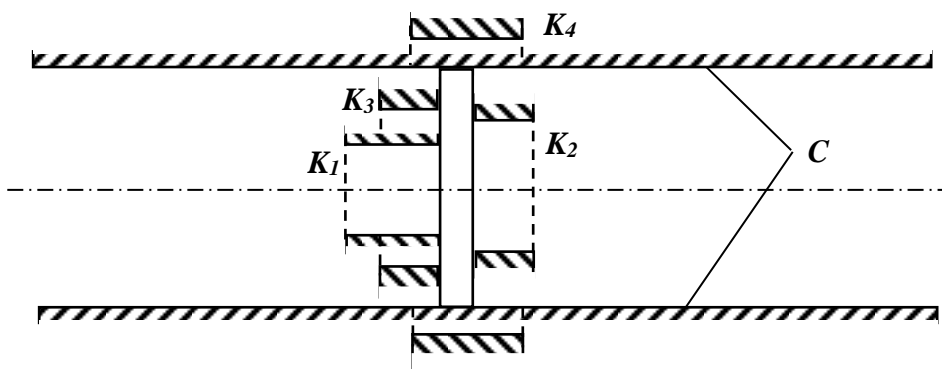


Рис.3

Соленоид представляет полую трубу, изготовленную из диэлектрического материала, на которую намотана медная проволока виток к витку в один слой. Диаметр соленоида 111 мм, длина 1 м, количество витков $N = 1000$. Все катушки изготовлены подобно соленоиду, т.е. намотаны на диэлектрические каркасы медной проволокой в один слой. Параметры катушек приведены в табл. 1. Катушки K_1, K_2, K_3 , закрепленные на

Таблица 1

Номер катушки	Диаметр d , мм	Число витков
K_1	39,3	80
K_2	60,4	122
K_3	85,0	53
K_4		47

круглой диэлектрической пластине, помещаются внутри соленоида в центральной его части. Концы катушек выведены из соленоида наружу. Катушка K_4 жестко закреплена. Она охватывает соленоид снаружи. Ток, текущий по соленоиду, создает магнитное поле, пронизывающее контуры всех катушек.

Выведем формулу для определения теоретического значения ЭДС индукции (ε_{iT}) в любой катушке, находящейся в поле бесконечного соленоида. Пусть по соленоиду течет ток I , меняющийся по гармоническому закону

$$I = I_0 \cos \omega t.$$

(Если ток в соленоиде не будет меняться, то ЭДС индукции в неподвижных катушках не возникает, так как магнитный поток, пронизывающий катушку, не зависит от времени). Индукция магнитного поля внутри соленоида без сердечника в любой момент времени определяется по формуле

$$B = \mu_0 n I.$$

Магнитный поток, пронизывающий один виток катушки, находящейся внутри соленоида, определяется выражением

$$\Phi = B S = \mu_0 n I S,$$

где S - площадь одного витка катушки. Полный магнитный поток, пронизывающий катушку, содержащую N витков,

$$\Psi = \Phi N = \mu_0 n I S N$$

или

$$\Psi = \frac{\mu_0 n N \pi d^2}{4} I_0 \cos \omega t, \quad (9)$$

где d - диаметр катушки; I_0 - амплитудное значение тока; ω - циклическая частота.

ЭДС индукции, возникающая в катушке, определяется выражением

$$\varepsilon_{iT} = - \frac{d \Psi}{d t} = \mu_0 n N \frac{\pi d^2}{4} I_0 \omega \sin \omega t. \quad (10)$$

Выражение (10) определяет теоретическое значение ЭДС индукции, возникающей в любой катушке, находящейся в поле бесконечного соленоида, по которому течет ток, меняющийся по гармоническому закону.

Амплитудное значение возникающей ЭДС индукции

$$\varepsilon_{iT} = \mu_0 n N \frac{\pi d^2}{4} \omega I_0. \quad (11)$$

Если в выражении (11) амплитудное значение тока заменить действующим значением I_d , то полученное выражение будет определять действующее значение возникающей ЭДС

$$\varepsilon_{iT} = \mu_0 n N \frac{\pi d^2}{4} \omega I_d. \quad (12)$$

Таким образом, задав параметры катушки, соленоида и тока, текущего по нему, можно определить теоретическое значение действующей ЭДС, используя выражение (12).

Порядок выполнения работы

1. Оценить погрешность, которую дает соленоид конечных размеров, при определении вектора \vec{B} по сравнению с бесконечным соленоидом.

Поле бесконечного соленоида однородно. В данной работе все теоретические формулы базируются на предположении, что магнитное поле создается бесконечно длинным соленоидом, т.е. индукция магнитного поля определяется выражением (5). Рабочий же соленоид имеет конечные размеры, следовательно, реальная индукция

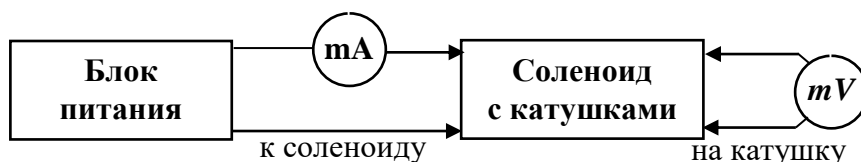


Рис. 4

магнитного поля будет другая. Поэтому между теоретическими и экспериментальными результатами для ϵ_i будет некоторое расхождение, оценить которое можно следующим образом

$$\epsilon_B = \frac{B - B'}{B} \cdot 100\%. \quad (13)$$

Подставив в выражение (8.13) формулы (8.5) и (8.6), получим

$$\epsilon_B = \frac{2 - \cos\alpha_1 + \cos\alpha_2}{2} \cdot 100\%. \quad (14)$$

Зависимость между ϵ и B линейная, поэтому расхождение при определении теоретического и экспериментального значений ЭДС не должно превышать расхождения для B .

По известным параметрам l и d (см. рис. 1) определим $\cos\alpha_1$ и $\cos\alpha_2$ не менее чем для двух точек, находящихся на оси соленоида в центральной его части.

Используя выражение (14), оценим расхождение для B в этих точках.

2. Теоретически и экспериментально определить ЭДС индукции в катушках.

2.1. Собрать схему (рис.4).

2.2. Подать напряжение с блока питания на соленоид. Частота подаваемого напряжения определяется по указанию преподавателя. По миллиамперметру определить величину тока I_d .

2.3. Поочередно подключая милливольтметр к выводам катушек, определить ЭДС, возникающую в них. Результаты занести в табл. 2 в строку ϵ_{iB} .

2.4. Используя выражение (12), вычислить теоретическое значение ϵ_{iT} в каждой катушке при I_d и ω , определенных в п.2.

2.5. Оценить расхождение, полученное при теоретическом и экспериментальном

определении ЭДС. Сравнить его с тем, которое было получено в п. 1, и сделать вывод.

Таблица .2

ЭДС	K_1	K_2	K_3	K_4
ϵ_{iB}				
ϵ_{iT}				

3. Определить зависимость $\varepsilon_i = f(s)$, где s -площадь катушки.

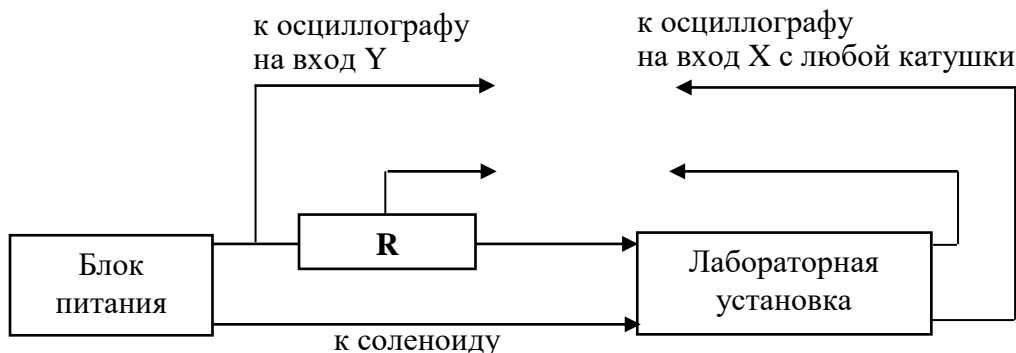


Рис. 5

3.1. Используя экспериментальные данные, полученные в п. 2, вычислить ЭДС, возникающую в одном витке каждой катушки.

3.2. Построить график зависимости $\varepsilon_i = f(s)$.

4. Определить сдвиг фаз между током, текущим по соленоиду, и ЭДС индукции, возникающей в любой из катушек.

Выше было показано, что, если сила тока в соленоиде меняется по закону $I = I_0 \cos \omega t$, то

$$\varepsilon_i = \mu_0 n N \frac{\pi d^2}{4} I_0 \omega \sin \omega t.$$

Это означает, что между током в соленоиде и ЭДС индукции в катушке существует сдвиг фаз. Для определения этого сдвига фаз воспользуемся осциллографом. Собрать схему (рис. 8.5). По виду фигуры, полученной на осциллографе, определим сдвиг фаз между током и ЭДС индукции.

5. Экспериментально сравнить коэффициенты взаимоиנדукции L_{12} и L_{21} .

5.1. Пропустить ток $I = 0,5$ А через катушку K_1 . Измерить ЭДС, возникающую в катушке K_3 .

5.2. Пропустить такой же ток через катушку K_3 . Измерить ЭДС, возникающую в катушке K_1 . Сравнить полученные результаты и сделать вывод относительно L_{12} и L_{21} .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается явление электромагнитной индукции?
2. Что такое магнитный поток и как он вычисляется?
3. Что называется потокоцеплением?
4. Как определяется индукция магнитного поля для конечного и бесконечного соленоидов?
5. Что такое коэффициент взаимоиנדукции?
6. Вывести формулу для ЭДС катушки, находящейся внутри бесконечного соленоида, по которому течет ток.
7. Что называется действующим значением тока и напряжения, и как они связаны с амплитудными значениями?

Цель работы: изучить цепь трехфазного тока при соединении приемника звездой в симметричном и несимметричном режимах. Определить роль нейтрального (нулевого) провода.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Трехфазной системой переменных токов называется совокупность трех однофазных электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, сдвинутые по фазе на $1/3$ периода и создаваемые общим источником электрической энергии. Трехфазная система была изобретена и разработана во всех деталях талантливым русским инженером М.О. Доливо-Добровольским в 1891 году.

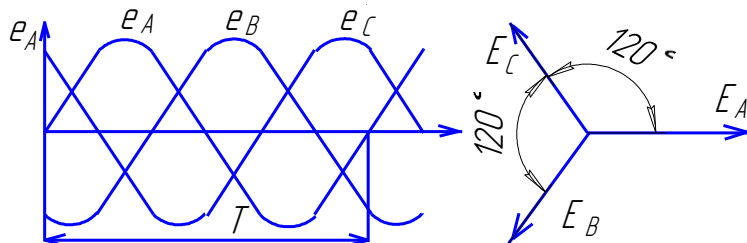
Источником энергии в трехфазной системе служит трехфазный генератор. В пазах его статора размещены три электрически изолированные друг от друга обмотки (фазные обмотки или просто фазы) генератора. Если ротор генератора двухполюсный, то оси фазных обмоток генератора повернуты в пространстве относительно друг друга на угол $2\pi/3$. При вращении ротора в фазных обмотках статора индуцируются синусоидальные фазные ЭДС. Вследствие симметрии конструкции генератора максимальные E_m и действующие E значения ЭДС во всех фазах одинаковы.

Соединение фаз (обмоток) генератора может осуществляться по схеме “звезда” или “треугольник”. Фазы трехфазного генератора принято обозначать первыми буквами латинского алфавита: А, В, С. Чередование фаз генератора строго определенное и определяется изменением во времени фазных ЭДС, т.е. в очередности максимумов ЭДС: сначала фазы А, затем через $1/3T$ фазы В и через $2/3T$ фазы С. Такая последовательность чередования называется прямой.

Мгновенные значения ЭДС трехфазных обмоток генератора равны:

$$e_A = E_m \sin \omega t \quad e_B = E_m \sin(\omega t - 2/3\pi) \quad e_C = E_m \sin(\omega t - 4/3\pi) \quad (1)$$

На рисунке показаны графики мгновенных значений фазных ЭДС и три вектора соответствующих им действующих значений ЭДС.



3

Как видно из рисунка сумма мгновенных значений ЭДС в любой момент времени равна нулю, следовательно, геометрическая сумма действующих значений фазных ЭДС генератора также равна нулю:

$$e_A + e_B + e_C = 0 \quad (2)$$
$$\underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C = 0$$

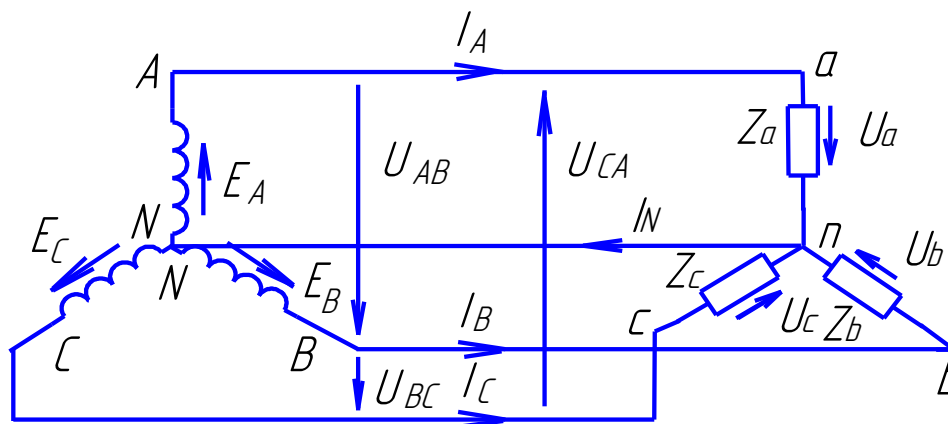
Согласно рисунку, выразим комплексные значения ЭДС трехфазного генератора через одинаковое для всех трех фаз действующее значение E , тогда

$$\underline{E}_A = E \cdot e^{j0}$$
$$\underline{E}_B = E \cdot e^{-j2/3\pi} \quad (3)$$
$$\underline{E}_C = E \cdot e^{2/3\pi}$$

Для получения трехфазной системы необходимо определенным образом соединить также фазы приемника, обычно по схеме “звезда” или “треугольник”.

В настоящее время трехфазная система является основной для передачи и распределения энергии.

Фазные обмотки трехфазного генератора можно соединить с тремя приемниками по схеме “звезда”. “Звездой” называется такое соединение, при котором концы фаз соединены в одну общую точку N называемую нейтральной или нулевой, а к началам фаз A, B, C подведены линейные провода. В «звезду» соединяют и фазы нагрузки с нулевой точкой n и началами фаз a, b, c



Провод, соединяющий точки N-n, называется нейтральным или нулевым. Провода, соединяющие точки A-a, B-b и C-c, называют линейными.

Приняв сопротивления всех проводов равным нулю, можно определить токи трех фаз приемника и генератора :

$$\underline{I}_A = \underline{E}_A / Z_A ; \underline{I}_B = \underline{E}_B / Z_B ; \underline{I}_C = \underline{E}_C / Z_C. \quad (4)$$

Токи \underline{I}_A , \underline{I}_B , \underline{I}_C , протекающие по линейным проводам, называют

4

линейными (\underline{I}_L). Токи протекающие в фазах генератора и в фазах нагрузки называются фазными токами (\underline{I}_ϕ). Для соединения “звездой” линейные токи равны фазным, то есть

$$\underline{I}_L = \underline{I}_\phi \quad (5)$$

Ток в нейтральном проводе по первому закону Кирхгофа равен:

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C \quad (6)$$

Приемники с одинаковым сопротивлением всех трех фаз $Z_a = Z_b = Z_c$ называются симметричными. При симметричном приемнике $\underline{I}_A = \underline{I}_B = \underline{I}_C$ и ток в нейтральном проводе $\underline{I}_N = 0$

Напряжение между началом и концом фазы генератора (или фазы нагрузки) или напряжение между линейным и нулевым проводом называется фазным напряжением. Для генератора и линии электропередачи фазные напряжения (их три) обозначаются так: U_A , U_B , U_C или U_ϕ . Фазные напряжения нагрузки обозначаются так: U_a , U_b , U_c .

Напряжения между двумя началами фаз генератора (или двумя началами фаз нагрузки) или между двумя линейными проводами называются линейными и обозначаются для генератора и линии электропередачи: U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} , или U_L , для нагрузки U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} .

Рассматривая поочередно контуры abn, bcn, can по второму закону Кирхгофа линейные напряжения равны :

$$\begin{aligned} \underline{U}_{AB} &= \underline{U}_A - \underline{U}_B \\ \underline{U}_{BC} &= \underline{U}_B - \underline{U}_C \\ \underline{U}_{CA} &= \underline{U}_C - \underline{U}_A \end{aligned} \quad (7)$$

Пользуясь этим соотношением, построим векторную диаграмму (рис.8.3а) напряжений для симметричной нагрузки.

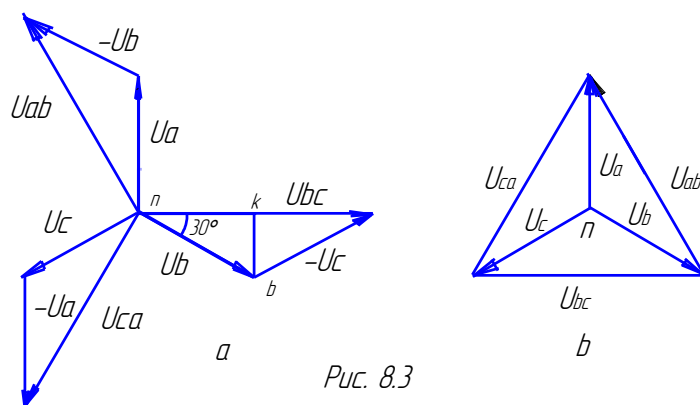


Рис. 8.3

Из рис.8.3а видно, что “звезда” линейных напряжений опережает “звезду” фазных напряжений на 30° . Отсюда из Δnkb :

$$U_{BC}/2U_B = \sin 30^\circ \quad U_{BC} = \sqrt{3} * U_B, \text{ т.е. } U_L = \sqrt{3} * U_\Phi \quad (8)$$

При наличии нейтрального провода условие (8) выполняется как при симметричном, так и при несимметричном приемнике. На Рис.8.3б приведены векторная диаграмма фазных напряжений и топографическая диаграмма линейных напряжений.

5

Фазные коэффициенты мощности равны:

$$\cos \varphi_a = R_a / Z_a ; \cos \varphi_b = R_b / Z_b ; \cos \varphi_c = R_c / Z_c \quad (9)$$

где $\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$ углы сдвига фаз между фазными напряжениями и фазными токами.

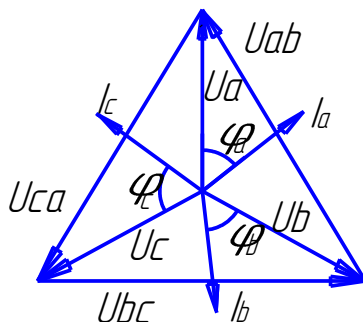
При симметричной нагрузке :

$$I_a = I_b = I_c = I_\Phi = U_\Phi / Z_\Phi \quad (10)$$

$$\cos \varphi_a = \cos \varphi_b = \cos \varphi_c = R_\Phi / Z_\Phi$$

Ток в нейтральном проводе $I_N = 0$, поэтому для подключения трехфазных симметричных установок (нагревательных печей, сушильных установок, электродвигателей и других симметричных установок) применяется трехпроводная цепь. Для осветительной нагрузки наличие нейтрального провода обязательно, так как почти постоянно сохраняется несимметрия. В нейтральном проводе в четырехпроводной осветительной сети запрещена установка предохранителей или выключателей, так как при отключении нейтрального провода фазные напряжения могут стать неравными. В одних фазах напряжение будет больше номинального, в других – меньше номинального. В обоих случаях возможен выход приемника из строя. При этом нарушается цепь защитного зануления.

Векторная диаграмма напряжений и токов при симметричной активно-индуктивной нагрузке



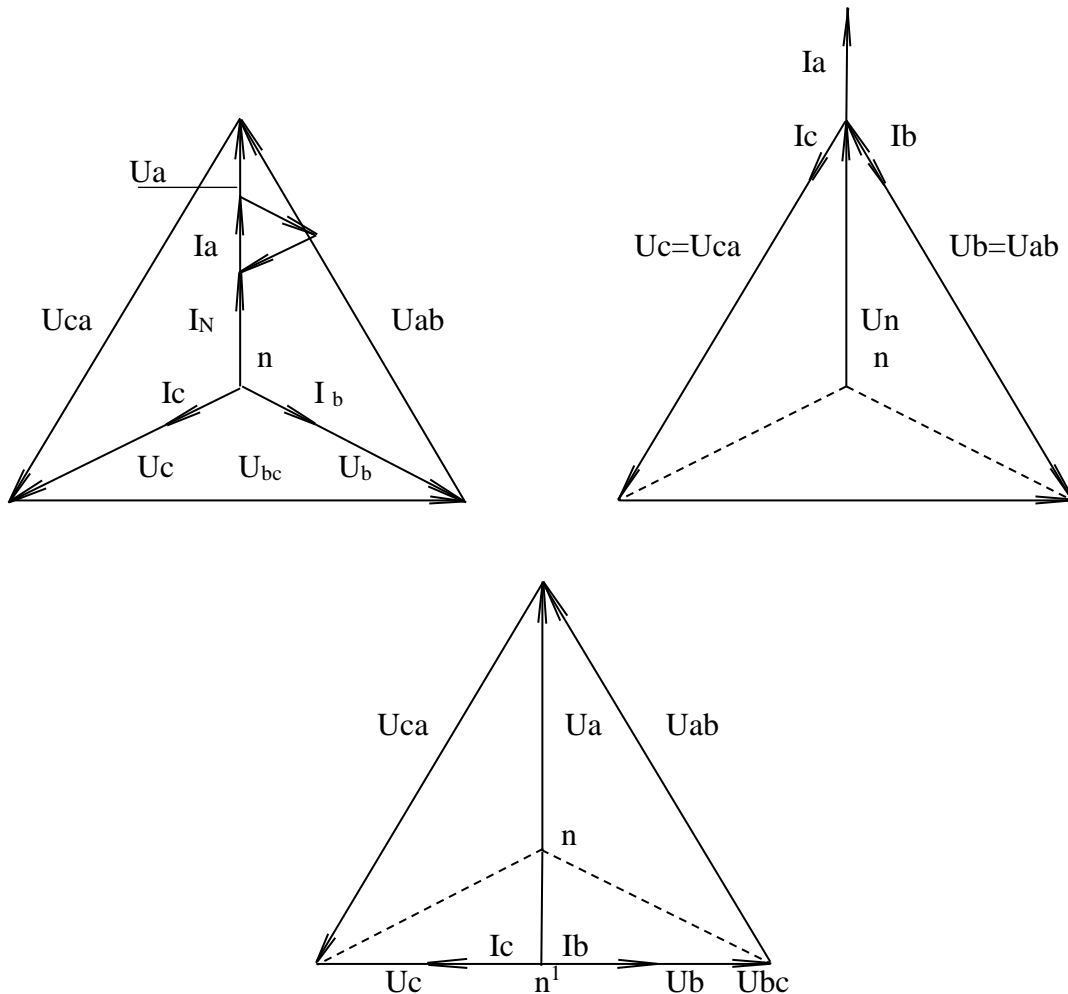
При несимметричном приемнике, например : $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$ соотношение $I_L = I_\Phi$ сохраняется, а соотношение $U_L = \sqrt{3} * U_\Phi$ нарушается.

На рис.8.5 показана векторная диаграмма при увеличении нагрузки в фазе «а», то есть при $Z_a < Z_b = Z_c$, нагрузка активная.

На рис.8.6 - векторная диаграмма короткого замыкания фазы “а”, что соответствует перемещению нейтральной точки n в точку a, и $U_A = 0$, $Z_a = 0$.

На рис.8.7 - векторная диаграмма для случая обрыва фазы А, что соответствует $Z_a = \infty$ нейтральная точка n переместится на середину линейного напряжения вектора U_{bc} (n^1), тогда напряжения на фазах “b” и “c” будут

$$U_b = U_c = U_{bc}/2 = U_a/2 \quad (11)$$



Активная мощность фазы при соединении нагрузки “звездой” например, фазы а, равна:

$$P_a = U_a I_a \cos \varphi.$$

Активная и реактивная мощности приемников трехфазной цепи при несимметричной нагрузке равны:

$$P = P_a + P_b + P_c$$

$$Q = \pm Q_a \pm Q_b \pm Q_c$$

Для реактивной мощности знак + при индуктивном характере нагрузки, знак – при емкостном характере нагрузки.

Полная мощность трехфазной цепи при несимметричной нагрузке равна:

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

При симметричной нагрузке полная, активная и реактивная мощности приемников трехфазной цепи соответственно равны:

$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L; \quad P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi; \quad Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi$$

$$\text{Или } S = 3S_\Phi = 3U_\Phi \cdot I_\Phi; \quad P = 3P_\Phi = 3U_\Phi \cdot I_\Phi \cdot \cos \varphi; \quad Q = 3Q_\Phi = 3U_\Phi \cdot I_\Phi \cdot \sin \varphi$$

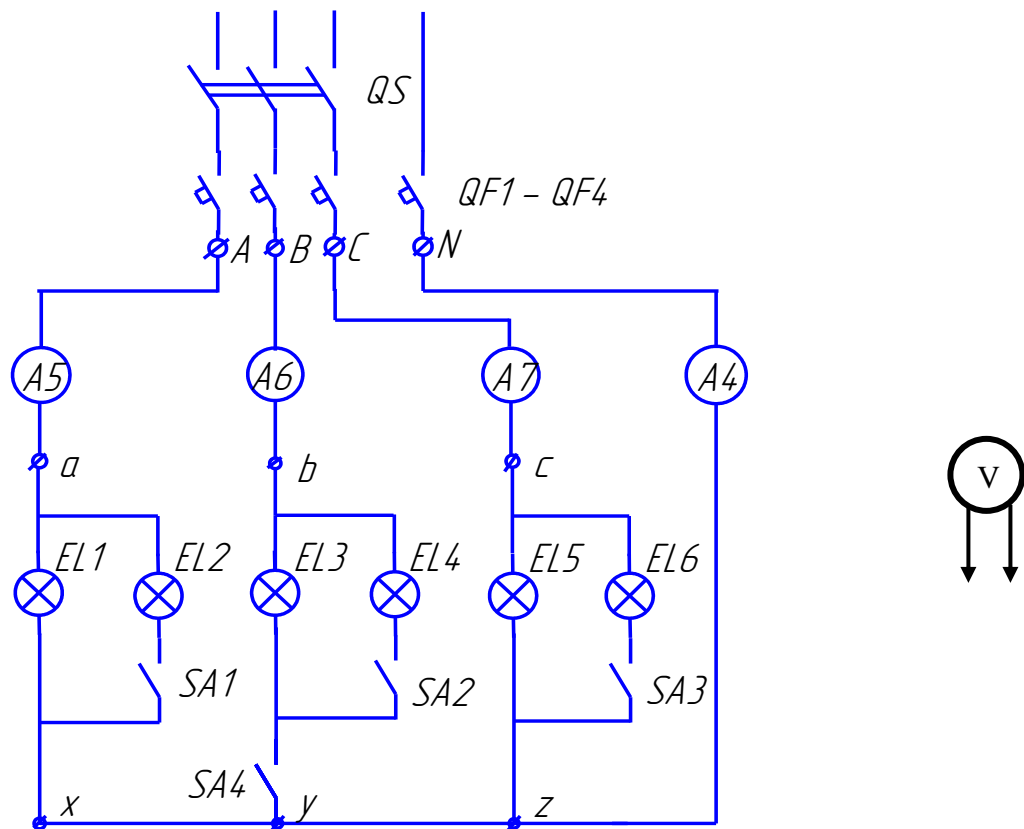
МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА.

В работе измерения электрических величин проводятся с помощью приборов непосредственной оценки. На стендах установлены амперметры для включения в каждую фазу. Для измерения тока в нулевом проводе на стендах установлены отдельные приборы. На рисунке приведена принципиальная схема работы.

К клеммам А, В, С и N подводится напряжение 36 В от трехфазного понижающего трансформатора, соединенного по схеме “звезда”/ “звезда” с нулевой точкой с напряжением 380/36 В.

Приборы А1..А7 и V измеряют линейные и фазные токи и напряжения. В качестве нагрузки трехфазной цепи служат лампы накаливания с $U_{\text{ном}}=36$ В, $P_{\text{ном}}=40$ Вт, включаемые тумблерами SA1-SA3.

Изменение нагрузки регулируется числом включенных ламп накаливания в каждой фазе. Обрыв фазы осуществляется отключением тумблера SA4. Короткое замыкание проводится путем соединения проводом начала и конца одной из фаз только в трехпроводной цепи. Изучение трехфазной цепи проводится по схеме стенда.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Приборы и принадлежности.

Выключение стенда осуществляется пакетным выключателем QS,

Назначение приборов :

A4 – амперметр для измерения силы тока в нулевом проводе;

A5, A6, A7 – амперметры для измерения силы тока в фазах a, b, c;

V – вольтметр для измерения линейных и фазных напряжений цепи;

1. Ознакомьтесь с лабораторным стендом. Найдите сетевой выключатель, тумблеры дополнительных нагрузок.
2. Соберите схему соединения нагрузки звездой с нулевым проводом. Монтажные схемы опыта приведены на стенде. Покажите собранную схему для проверки преподавателю или лаборанту.
3. Запишите технические данные применяемых приборов. Выключите стенд и установите симметричную нагрузку фаз. Тумблеры SA1, SA2, SA3 должны быть отключены, тумблер SA4 в исходном состоянии должен быть включен.

По показаниям амперметров в фазах убедитесь в равенстве токов в фазах, а так же в отсутствии тока в нулевом проводе. Измерьте фазные и линейные напряжения. Данные запишите в таблице

Таблица

Режим нагрузки	Измерено											Вычислено			
	U _{ab}	U _{bc}	U _{ca}	U _a	U _b	U _c	I _a	I _b	I _c	I _n	U _{Nn}	R _a	R _b	R _c	P, Вт
	, В	, В	, В	, В	, В	, В	, А	, А	, А	, А	, В	, Ом	, Ом	, Ом	

Исследуйте нагрузку в четырехпроводной цепи в несимметричных режимах, проделав следующие опыты:

- увеличьте (уменьшите) нагрузку в одной из фаз (например, “a”);
- то же в двух фазах;
- обрыв одной из фаз.

Исследуйте трехпроводную цепь, то есть без нейтрального провода. Для этого выключите автоматический выключатель QF4 в цепи нулевого провода и проделайте следующие опыты:

- симметричная нагрузка (так же, как пункт 3);
- увеличьте (уменьшите) нагрузку в одной из фаз (например, “a”);
- то же в двух фазах;
- короткое замыкание одной из фаз.

В соответствии с данными табл. 8.1 для всех опытов постройте векторные диаграммы токов и напряжений. Сделайте выводы по работе по форме, приведенной в лабораторной работе №10 настоящего руководства.

9

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА.

В работе проводятся прямые, однократные измерения, точность которых оценивается классом точности измерительного прибора (U_ф, U_л, U_{Nn}, I_ф, I_л, I_N). Результат измерения выражаем двумя числами, например: I=4.00 ± 0,05 А, где 4.00 А – значение измеряемой величины, 0,05 А – абсолютная погрешность измерения. Оценку точности минимальных значений U_{Nn}, I_{Nn} провести по формуле относительной погрешности:

$$\delta = \pm K(X_N/x) ;$$

где K – класс точности прибора ;

X_N – нормирующие значения измеряемой величины (верхний предел шкалы прибора);

x – значение измеряемой величины.

Результаты измерений запишите в таблице

Таблица

Измеренные значения в единицах	U_{Nn}	I_{Nn}	
$\delta, \%$			

Вычерчивание электрических схем производится в соответствии с ГОСТом.

Построение векторных и топографических диаграмм производится в масштабе.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.

1. Какова цель работы и каков порядок ее выполнения ?
2. Изобразить схему опыта с включением всех приборов. Указать назначение всех приборов.
3. Написать формулы связи линейных токов и напряжений с их фазными значениями при симметричной нагрузке при соединении в “звезду”. Как определяются величины $\cos \varphi_a$, $\cos \varphi_b$, $\cos \varphi_c$, P_Φ , P_A , P_B , P_C , P , Q , S ?
4. Рассказать о порядке построения векторной диаграммы напряжений и токов для активной нагрузки.
5. Каково назначение нулевого провода? В каких случаях по нулевому проводу протекает ток и как он определяется?
6. Изобразить схему соединения нагрузки “звездой” и включить приборы для измерения фазных и линейных токов, тока в нейтральном проводе.
7. Почему в нулевой провод никогда не ставят предохранитель?
8. Изобразите векторную диаграмму напряжений и токов при увеличении нагрузки одной из фаз четырехпроводной цепи.
9. Изобразите векторную диаграмму напряжений и токов при увеличении нагрузки в двух фазах четырехпроводной цепи.
10. Изобразите векторную диаграмму напряжений и токов при обрыве одного из линейных проводов в четырехпроводной цепи.