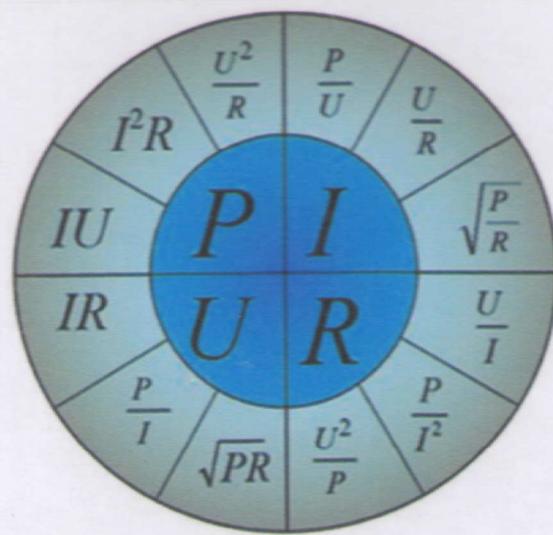


А.Б. БАКАСОВА Н.Т. НИЯЗОВ

Г.Э. ЖУМАШОВА

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ЛАБОРАТОРНЫЙ
ПРАКТИКУМ



Бишкек 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. И. РАЗЗАКОВА
КАРА – КУЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ

А.Б. Бакасова, Н.Т. Ниязов, Г.Э. Жумашова

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Лабораторный практикум

Допущено Министерством образования и науки Кыргызской Республики в
качестве учебного пособия для студентов среднего профессионального
образования по электроэнергетическим специальностям

Бишкек 2019

УДК 621.3.013 (078.5)

ББК 31.21

Б 19

Утверждена в печать редакционно – издательским советом секции технических наук Министерства образования и культуры Кыргызской Республики и Ученым Советом КГТУ им. И. Рazzакова

Рецензенты: канд.техн.наук., профессор КГТУ К.А. Сатаркулов

д-р.техн.наук., профессор И.В. Брякин

начальник Токтогульской ГЭС Т.Д. Конурбаев

А.Б. Бакасова, Н.Т. Ниязов, Г.Э. Жумашова

Б 19 Электротехника. Лабораторный практикум: Учебное пособие к выполнению лабораторных работ по предмету «Электротехника» предназначено для студентов Кара – Кульского технического колледжа обучающихся по специальностям «Электрические станции» и «Электроснабжение». / А.Б. Бакасова, Н.Т. Ниязов, Г.Э. Жумашова; Кырг. гос. техн. ун. – Б.: Технологический парк, ИЦ «Текник», 2019. – 65 с.

ISBN 978-9967-467-91-0

Приведены описания 10 лабораторных работ. Даны подробная информация о необходимом лабораторном оборудовании, применительно к которому составлены описания. Порядок выполнения каждой работы сопровождается краткими теоретическими сведениями, необходимыми для понимания цели работы, способов ее достижения и смысла полученных результатов, а также имеется список необходимой литературы.

Б 2202010000-18

ISBN 978-9967-467-91-0

УДК 621.3.013 (078.5)

ББК 31.21

© Авторский коллектив, 2019

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Лабораторные работы являются неотъемлемой составной частью курса электротехники.

Они ставят своей целью:

1. Ознакомить студентов с элементами реальных электрических цепей и процессами, происходящими в них;
2. Обучить умению и навыкам обращения с измерительной аппаратурой и техники эксперимента;
3. Научить обобщать и оформлять результаты эксперимента, связать теорию с практикой – подтвердить опытом положение теории;
4. Привить навыки лабораторных исследований на производстве и умение разбираться в их результатах;
5. Воспитывать навыки в научно – исследовательской работы и обучить её методике.

Лабораторные занятия требуют от студентов ещё большей самостоятельности и активности, чем практические.

До начала лабораторных работ каждый студент обязан усвоить правила техники безопасности и строго соблюдать их

При подготовке к выполнению лабораторной работы студент должен;

1. Ознакомится с теорией исследуемого вопроса.
2. Четко представить себе методику проведения эксперимента.

Заготовить себе бланк протокола проведения лабораторной работы.

К очередной лабораторной работе допускаются студенты, представившие оформленный отчёт по предыдущей работе и показавшие достаточную подготовленность к предстоящей.

Выполнение лабораторной работы

Проведение лабораторной работы студентом начинается со знакомства с оборудованием лабораторной установки.

Перед тем, как приступить к сборке схемы, необходимо убедиться в том, что сеть отключена. Измерительные приборы и оборудование соответствует указаниям описания.

При сборке электрической цепи и работе с нею необходимо придерживаться следующего порядка;

1. Сборка цепи должна проводится при разомкнутых рубильниках и отключенных автоматах.
2. Вначале необходимо выполнить сборку силовой – токовой части цепи (источники питания, сопротивления, амперметры, токовые обмотки ваттметров и фазометров), затем подключить вольтметры, обмотки напряжения ваттметров или фазометров и т.д.
3. По окончанию сборки цепи необходимо:
 - вывести движки ЛАТРа на нулевое положение;
 - движки регулируемых реостатов поставить в положение, соответствующее наибольшим сопротивлениям (за исключением случаев, специально оговоренных в описаниях лабораторных работ);
 - проверить соответствие пределов измерения измерительных приборов ожидаемым величинам токов и напряжений, откорректировать нулевое положение стрелок.
4. Источники питания можно подключать только после проверки собранной цепи руководителем (преподавателем) работ.
5. Всякие пересоединения в цепи в ходе работ должны выполняться при отключенном питании. После каждого присоединения электрическая цепь должна быть заново проверена преподавателем.
6. При любой неисправности, замеченной в работе оборудования, следует немедленно отключить питание и сообщить об этом руководителю.
7. В ходе работы запрещается покидать рабочее место, не отключив цепь от источника питания.

Проведение эксперимента начинается с предварительного испытания. При этом, изменяя в заданных пределах напряжение источника, сопротивления нагрузки и т.д., необходимо проследить за качественным характером исследуемого процесса, проверить правильность включения и выбора измерительных приборов, реостатов, ёмкостей и т.д.

После предварительного проверочного испытания необходимо провести окончательный эксперимент с записью результатов измерений.

Замеры рекомендуется проводить через равные промежутки, на которые делится весь диапазон измерений исследуемой величины.

По окончании каждого этапа лабораторной работы до разборки или изменения цепи следует показать преподавателю результаты с тем, чтобы при необходимости можно было повторить эксперимент.

Разборку цепи следует производить с разрешения преподавателя и при полном отключении цепи от источника питания.

Оформление отчёта

Отчет по выполненной работе составляется каждым студентом в тетради для лабораторных работ или на отдельных листах. В последнем случае возможно оформление отчета на компьютере.

Отчет должен включать в себя:

- титульный лист, на котором указывается наименование колледжа, лаборатории, номер и наименование лабораторной работы, фамилия и инициалы студента, номер его группы;
- цель работы;
- схемы исследуемых в работе электрических цепей, расчетные формулы, таблицы с результатами измерений и вычислений, графики и диаграммы, иллюстрирующие результаты эксперимента.

Схемы и таблицы должны быть вычерчены аккуратно. Таблицы должны иметь необходимое число столбцов и строк, определяемое заданием. В таблицах указываются принятые обозначения измеряемых и вычисляемых величин и их размерность в системе СИ (Таблица 1).

Таблица 1

Измерено					Вычислено				
U_0	I	U_1	U_2	φ	Z	R	X	L	C
V	A	V	V	град.	$Ом$	$Ом$	$Ом$	гн	ϕ

Силовые цепи на схемах вычерчиваются толстыми линиями, цепи напряжения и ваттметров – тонкими (см. рис. 1).

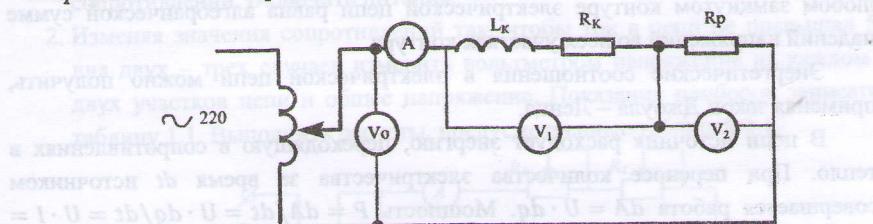


Рис.1 Испытательная схема

Графики и векторные диаграммы следует вычерчивать на миллиметровой бумаге. В конце отчета необходимо провести краткие выводы, сделанные на основании полученных экспериментальных данных.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: Опытная проверка законов Ома и Кирхгофа. Исследование распределения напряжений и токов при последовательном, параллельном и смешанном соединении сопротивлений.

Теоретические сведения

Резистор – это структурный элемент электрической цепи, основное назначение которого оказывать известное (номинальное) сопротивление электрическому току, например, для регулирования тока и напряжения. В электроустановках резисторы применяются в качестве нагрузочных и пускорегулируемых реостатов добавочных сопротивлений к некоторым электроприемникам, электроизмерительным приборам и др. Электрические цепи и их участки могут состоять из соединенных различно между собой электроприемников или резисторов: последовательно, параллельно и смешанно.

Токи и напряжения в ветвях электрической цепи определяются составлением и решением системы уравнений по законам Кирхгофа.

Для любого узла на основании принципа непрерывности тока может быть записан первый закон Кирхгофа, т.е. алгебраическая сумма токов ветвей, образующих узел равно нулю $\sum I_k = 0$.

Соотношение $\sum E_k = \sum r_k \cdot I_k$ выражает собой второй закон Кирхгофа, который устанавливает тот факт, что алгебраическая сумма ЭДС источников в любом замкнутом контуре электрической цепи равна алгебраической сумме падений напряжений во всех участках контура.

Энергетические соотношения в электрической цепи можно получить, применяя закон Джоуля – Ленца.

В цепи источник расходует энергию, переходящую в сопротивлениях в тепло. При переносе количества электричества за время dt источником совершается работа $dA = U \cdot dq$. Мощность $P = dA/dt = U \cdot dq/dt = U \cdot I = r \cdot I^2 = q \cdot U^2$ (закон Джоуля – Ленца).

Помимо этого, общие методы применяются вытекающие из тех же законов другие методы, дающие в некоторых случаях менее громоздкие решения за счет упрощения цепи или расчленения задачи на ряд более простых задач.

В частности, при расчете электрической цепи с одним источником электрической энергии при смешанном соединении приемников, представляющим собой сочетание последовательного и параллельного соединения, применяется *метод преобразования*.

Этот метод заключается в замене участков сложной цепи более простыми, или эквивалентными, т.е. не вызывающими изменения напряжения и токов в остальной части цепи.

Рассмотрим применение этого метода к различным видам соединения приемников.

Приборы и оборудование

1. Источник постоянного тока на номинальное напряжение 12 и 24 В и ток до 12 А.
2. Лабораторные проволочные реостаты – 3 шт.
3. Амперметр магнитоэлектрической системы типа М109 до 5 А – 3 шт.
4. Вольтметры – 3 шт.
5. Соединительные провода с наконечниками.

Порядок выполнения работы

Последовательное соединение резисторов.

1. Собрать электрическую схему согласно рис.1.1 и представить ее на проверку. Установить движки реостатов в положение наибольших сопротивлений. Включить питание.
2. Изменяя значения сопротивлений так, чтобы ток в цепи не превышал 5 А, для двух – трех случаев измерить вольтметром напряжение на каждом из двух участков цепи и общее напряжение. Показания приборов записать в таблицу 1.1. Выполнить расчеты, предусмотренные таблицей 1.1

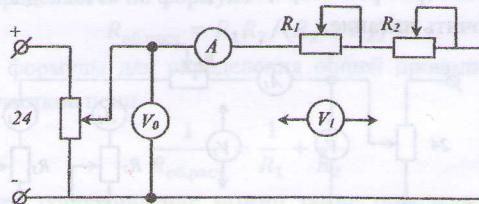


Рис 1.1 Последовательное соединение резисторов

Таблица 1.1

№ п/п	Данные наблюдений				Данные расчетов				
	I	U ₁	U ₂	U _{общ}	R ₁	R ₂	R _{об.расч}	R' _{об.расч}	U _{об.расч}
1									
2									
3									

Параллельное соединение резисторов.

3. Собрать электрическую схему согласно рис.1.2. Включить питание.

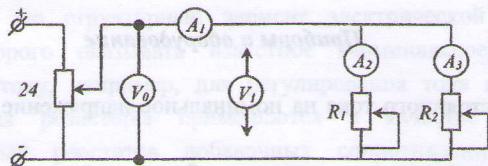


Рис 1.2 Параллельное соединение резисторов

4. Изменяя значения сопротивлений резисторов для трех случаев, наблюдать показания амперметров и вольтметра, соблюдая условие, чтобы общий ток в цепи не превышал 5А. Показания приборов записать в таблицу 1.2. Выполнить расчеты, предусмотренные таблицей 1.2.

Таблица 1.2

№ п/п	Данные наблюдений				Данные расчетов				
	I ₁	I ₂	I _{общ}	U ₀	I _{об.расч}	R ₁	R ₂	R _{об.расч}	R' _{об.расч}
1									
2									
3									

Смешанное соединение резисторов.

5. Используя все три резистора, собрать электрическую схему согласно рис.1.3. Включить питание.

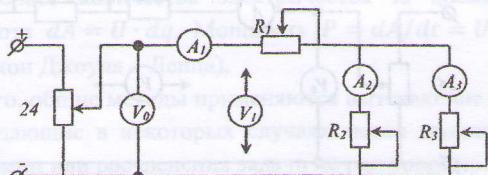


Рис 1.3 Смешанное соединение резисторов

6. Изменяя значения сопротивлений резисторов для трех случаев, записать в таблицу 1.3, показания амперметров и вольтметра. Выполнить расчеты, предусмотренные таблицей 1.3.

Таблица 1.3

№ п/ п	Данные наблюдений						Данные расчетов				
	I_1	I_2	$I_3 = I_{\text{общ}}$	U_1	U_2	U_3	$U_{\text{об}}$	R_1	R_2	R_3	$R_{\text{экв}}$
1											
2											
3											

**Методические указания к проведению работы и выполнению
расчетно – графической части**

- Сопротивление каждого участка цепи определяется по закону Ома $R = U/I$, сопротивление всей цепи – по формуле $R'_{\text{обрасч}} = U_{\text{об}}/I$. Расчетное сопротивление всей цепи при последовательном соединении определяется по формуле

$$R_{\text{обрасч}} = R_1 + R_2$$

Общее напряжение определяется по формуле

$$U_{\text{обрасч}} = U_1 + U_2$$

При последовательном соединении резисторов (см. рис.1.1) проверяется справедливость второго закона Кирхгофа

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 = IR_1 + IR_2$$

Полученные расчетом значения $R_{\text{обрасч}}$ и $U_{\text{обрасч}}$ должны совпадать с величинами $R'_{\text{обрасч}}$ и $U_{\text{об}}$. Небольшое различие может быть вследствие погрешностей при измерениях.

- При параллельном соединении резисторов (см. рис.1.2) проверяется справедливость первого закона Кирхгофа. Общее расчетное сопротивление в данном случае определяется по формуле

$$R_{\text{обрасч}} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$

Вытекающей из формулы для определения общей проводимости как суммы проводимостей участков цепи.

$$\frac{1}{R_{\text{обрасч}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Эквивалентное сопротивление можно также определить по закону Ома $R_{\text{экв}} = U/I_{\text{общ}}$. Оба значения должны совпадать.

3. По данным таблицы 1.2 можно проверить правило, согласно которому токи в ветвях обратно пропорциональны их сопротивлениям, т.е. $I_1/I_2 = R_2/R_1$
4. Общее сопротивление R вычисляется по формуле

$$R_{\text{общ.расч}} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

5. При заполнении таблицу 1.1–1.3 в графу «Данные расчетов» необходимо в отчете привести по одному примеру выполненных вычислений.

6. В отчете укажите, как влияет изменение величины одного из сопротивлений параллельных ветвей при смешанном соединении резисторов на перераспределение токов и напряжений на участке цепи. Например, при уменьшении сопротивления резистора R_2 в два раза уменьшается общее сопротивление участка параллельных ветвей R_2, R_3 и также уменьшается эквивалентное сопротивление источника питания. При этом увеличится значение общего тока (ток на участке резистора R_1) и напряжение между его выводами, а в то же время ток в ветви резистора R_3 и напряжение на его выводах уменьшиться. Таким образом, при смешанном соединении резисторов в данной лабораторной работе практически проверяется справедливость законов Ома и Кирхгофа.

Контрольные вопросы

- Сформулировать первый закон Кирхгофа. Что называется электрическим узлом?
- Сформулировать второй закон Кирхгофа. Что называется электрическим контуром?
- Как распределяются напряжения и мощности на каждом из участков цепи, соединенных последовательно?
- Как распределяются токи, напряжения и мощности на каждом из участков цепи, соединенных параллельно?
- Чему равно эквивалентное сопротивление цепи при смешанном соединении?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 $W = 9$ атмосф

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: Целью данной работы является исследование режимов работы линии передачи электрической энергии постоянного тока, имеющей сосредоточенную нагрузку в конце.

Теоретические сведения

В настоящей лабораторной работе опытным путем устанавливается зависимость потери мощности и потери напряжения в проводах линии, а также определяется КПД линии. Кроме того, определяется технически возможная длина линии электропередачи при заданных значениях потери напряжения и поперечного сечения проводов, изготавливаемых из меди и алюминия.

В процессе передачи и распределения электрической энергии большое значение имеет фактор потери напряжения в проводах, что связано с непроизводительной потерей энергии, оцениваемой обычно величиной «потери мощности». В результате потери напряжения в линии напряжение у приемников электрической энергии может оказаться недостаточным для нормальной работы. Мощность электроприемников, работающих на тепловом принципе (лампы накаливания, нагревательные приборы), пропорционально квадрату подведенного к ним напряжения, поэтому снижение напряжения резко оказывается на световой отдаче ламп накаливания, неудовлетворительно работают электротермические установки (электропаяльник, электропечи и др.). У электродвигателей, работающих на пониженном напряжении, снижается частота вращения вала, уменьшается способность выдерживать кратковременные перегрузки. Согласно «Правилам устройства электроустановок» допустимая потеря напряжения в осветительных линиях распределительных электросетей не должна превышать 2,5%, а в силовых (питающих электродвигатели) – 5% номинального напряжения.

Уменьшение потери напряжения и потери мощности в линиях электропередачи достигается либо за счет увеличения сечения проводов для уменьшения их сопротивления. При этом возрастает расход цветного металла и удорожается стоимость линии.

Уменьшение силы тока в проводах при передаче электроэнергии достигается за счет применения высокого напряжения, поскольку передаваемая

мощность $P = UI$. Расчет показывает, что сечение проводов линии электропередачи обратно пропорционально ее напряжению.

Приборы и оборудование

1. Источник постоянного тока на номинальное напряжение 12 и 24В и ток до 12А.
2. Лабораторные проволочные реостаты – 2 шт.
3. Амперметр магнитоэлектрической системы типа М109 до 5А – 1 шт.
4. Вольтметры – 2 шт.
5. Соединительные провода с наконечниками.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему, изображенную на рисунке 2.1.

2. Исследовать работу линии передачи:

- а) Режим короткого замыкания;
- б) Режим рабочий или номинальный;
- в) Режим холостого хода.

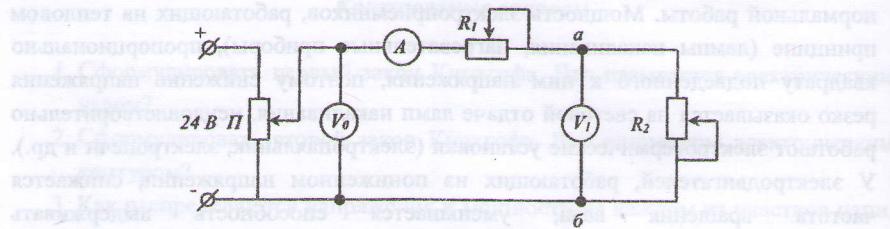


Рис. 2.1 Эквивалентная схема линии электропередачи

Где П потенциометр, служащий для регулирования входного напряжения;

R_1 – имитирует собой сопротивления проводов;

R_2 – сопротивление нагрузки.

Методические указания к проведению работы и выполнению расчетно – графической части

Эквивалентная схема линии передачи показана на рисунке 2.1.
Исследование линии электропередачи заключается в определении зависимости потери напряжения, мощности нагрузки и КПД линии от величины тока нагрузки. Для этого линии передачи постоянного тока исследуется для наиболее характерных режимов работы:

- 1) Номинальный или рабочий режим;
- 2) Режим холостого хода;
- 3) Режим короткого замыкания.

Перед подачей на схему напряжения движки реостатов необходимо установить в положение, соответствующее наибольшей величине сопротивление цепи. Затем, меняя положение движка реостата R_2 , можно добиться различных режимов работы:

при $R_2 > 0$ достигается номинальный или рабочий режим,

при $R_2 = 0$ режим короткого замыкания,

при $R_2 = \infty$ режим холостого хода, т.е. когда внешняя цепь разомкнута.

Потенциометром регулируется напряжение так, чтобы ток в линии не превышал максимально допустимого тока включенных в схему приборов и реостатов. В ходе опытов записывают показания приборов в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

№ п/п	Данные наблюдений				Данные расчетов					
	I	U_1	U_2	ΔU	P_1	P_2	ΔP	$\Delta U'$	$\Delta P'$	η
1										
2										
3										

На основании опытных данных и расчетных данных строятся кривые:

$$V = f(I); P_1 = f(I); P_2 = f(I); \Delta U = f(I); \eta = f(I).$$

где: I – ток в линии электропередачи;

U_1 – напряжение в начале линии;

U_2 – напряжение в конце линии;

P_1 и P_2 – мощность в начале и конце линии;

η – КПД линии электропередачи;

ΔU – потеря напряжения.

1. Потеря напряжения в испытуемой линии определяется как разность показаний вольтметров, включенных вначале и конце линии. Этую величину расчетным путем определяют по формуле $\Delta U = IR_{\text{пров}}$, где $R_{\text{провод}}$ — сопротивление обоих проводов линии.

Потеря мощности в проводах ЛЭП из опытных данных определяется по формуле

$\Delta P = P_1 + P_2$, где $P_1 = U_1 I$ и $P_2 = U_2 I$ или $\Delta P = (U_1 - U_2)I$, а расчетным путем по формуле $\Delta P' = I^2 R_{\text{провод}}$

2. Коэффициент полезного действия ЛЭП определяется как отношение мощности, отдаваемой электроприемникам (в конце линии), к мощности поступающей в линию, или так же как отношение напряжения в конце линии к напряжению в начале ее по формуле $\eta = P_2/P_1 = U_2/U_1$.

3. В отчете по данной лабораторной работе необходимо сделать краткие выводы, отметив технико-экономическое значение факторов потери напряжения и потери мощности в проводах:

- Качество электроэнергии, характеризуемое значениями напряжения у зажимов электроприемников и его допустимыми отклонениями от номинального;
- Непроизводный расход электроэнергии, обусловленный потерей мощности в проводах.

Контрольные вопросы

1. В каких режимах может работать линии электропередачи?
2. Что такое падение и потеря напряжения?
3. От чего зависит потеря напряжения в линии передачи?
4. Как определить потерю напряжения в линии электропередачи опытным путем?
5. Как определить КПД линии электропередачи?
6. Как увеличить КПД линии передачи?
7. Почему с увеличением длины линии электропередачи необходимо повышать ее рабочее напряжение?
8. Провода, из каких металлов наиболее выгодны для линии электропередачи?
9. При какой величине нагрузочного сопротивления мощность, отдаваемая источником в сеть, наибольшая?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ R , ИНДУКТИВНОСТИ L И ЁМКОСТИ C

Цель работы: Целью данной работы является изучение физических процессов в неразветвленной цепи переменного тока, обладающей индуктивностью и емкостью, приобретение навыков в сборке электрических схем с применением электроизмерительных приборов и управления, а также умение произвести расчеты в цепях переменного тока и построение векторных диаграмм.

Теоретические сведения

Величайшим достижением науки и техники являются радио и телевидение. Радиотехнические устройства применяются не только в системах связи и информации, но также в промышленности, на транспорте, в медицине и многих других областях деятельности человека.

Радиотехнические и некоторые электротехнические устройства работают на основе использования переменного электромагнитного поля, они характеризуется наличием двух основных физических величин – индуктивности L и электрической емкости C . Электрическая цепь помимо индуктивности и емкости обладает ещё и активным сопротивлением, в котором совершается превращение электрической энергии в теплоту. При переменном напряжении источника питания в цепи имеются три вида электрических сопротивлений:

- Активное сопротивление (резистор) $R = \rho l / S$
- Индуктивное сопротивление (электромагнит) $x_L = \omega L$, где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота
- Емкостное сопротивление (конденсатор) $x_C = 1/\omega C$.

Напряжение на каждом участке неразветвленной цепи, состоящей из R , L и C , можно выразить формулами $U_R = IR$; $U_L = Ix_L$; $U_C = Ix_C$. Сила тока в такой цепи определяется формулой:

$$I = U / \sqrt{R^2 + (x_L + x_C)^2} = U/Z$$

где: U – напряжение, приложенное к цепи;

I – ток в цепи;

Z – полное сопротивление цепи.

При этом полное сопротивление эквивалентной неразветвленной цепи переменного тока вычисляется по формуле:

$$Z = \sqrt{\left(\sum r\right)^2 + \left(\sum x_L - \sum x_C\right)^2}$$

где: $\sum r$ – активное сопротивление цепи, равное сумме активных сопротивлений отдельных участков;

$\sum x_L$ – индуктивное сопротивление цепи;

$\sum x_C$ – емкостное сопротивление цепи.

Если известна активная мощность P , то активное сопротивление может быть вычислено по формуле:

$$r = P/I^2$$

реактивное сопротивление всей цепи определяется разностью суммы сопротивлений индуктивного и емкостного сопротивлений

$$x = \sum x_L - \sum x_C$$

При известных значениях полного и активного сопротивлений оно может быть найдено непосредственно по формуле:

$$x = \sqrt{Z^2 - \left(\sum r\right)^2}$$

В цепях переменного тока наличие потребителей, обладающих индуктивностью и емкостью, обуславливают сдвиг фаз между током и напряжением. От величины сдвига фаз ($\cos \varphi$) зависит потребляемая мощность в цепи, а также технико-экономические показатели работы установки (КПД, мощность потерь энергии в проводах и др.).

Кажущаяся (полная) мощность цепи для любого режима работы цепи:

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

Активная мощность

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R = I^2 \sum_1^n R = \sum_1^n P$$

Реактивная мощность

$$Q = UI \sin \varphi = I^2 x = I^2 \left(\sum_1^n x_L - \sum_1^n x_C \right) = \sum_1^n Q_L - \sum_1^n Q_C$$

При обработке экспериментальных данных можно пользоваться расчетными формулами непосредственно по опытным данным.

Приборы и оборудование

- Источник питания – сеть переменного тока промышленной частоты 50Гц напряжением 220В.
- Лабораторный автотрансформатор типа ЛАТР.
- Электромагнит с разъемным магнитопроводом и обмоткой рассчитанный на напряжение 220В.
- Батарея статических конденсаторов общей емкостью 20мкФ.
- Амперметр электромагнитной системы типа Э8027.
- Вольтметр электромагнитной системы типа Э378.
- Соединительные провода с наконечниками.

Порядок выполнения работы

- Собрать электрическую цепь, содержащую последовательно включенные катушку индуктивности, емкость и активное сопротивление, по схеме рис.3.1.

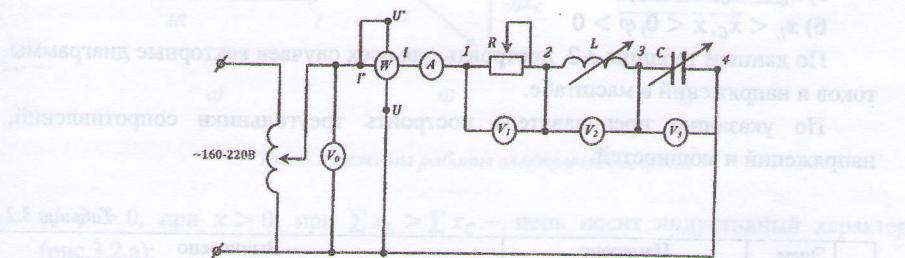


Рис.3.1 Испытательная электрическая цепь

- Исследовать работу цепей, поочередно оставляя по одному сопротивлению и результаты замеров внести в таблицу 3.1:
 - цепь с активным сопротивлением, когда $x_L = 0$ закорачивая клеммы 2–3 и $x_C = 0$ зазорачивая клеммы 3–4;
 - цепь с индуктивной катушкой, когда $R = 0$ зазорачивая клеммы 1–2 и $x_C = 0$ зазорачивая клеммы 3–4;
 - цепь с емкостью, когда $R = 0$ зазорачивая клеммы 1–2 и $x_L = 0$ зазорачивая клеммы 2–3;

Приборы и оборудование

1. Источник питания – сеть переменного тока промышленной частоты 50Гц напряжением 220В.
2. Лабораторный автотрансформатор типа ЛАТР.
3. Электромагнит с разъемным магнитопроводом и обмоткой рассчитанный на напряжение 220В.
4. Батарея статических конденсаторов общей емкостью 20мкФ.
5. Амперметр электромагнитной системы типа Э8027.
6. Вольтметр электромагнитной системы типа Э378.
7. Соединительные провода с наконечниками.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь, содержащую последовательно включенные катушку индуктивности, емкость и активное сопротивление, по схеме рис.3.1.

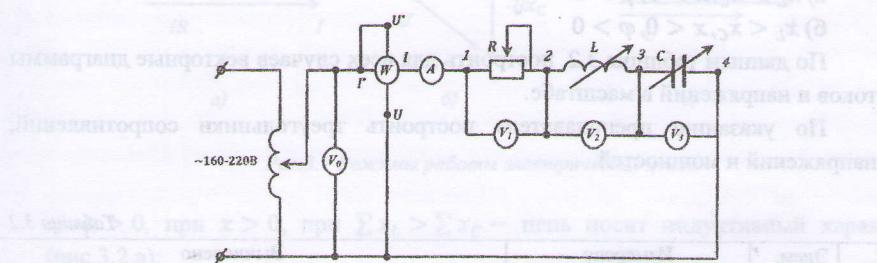


Рис.3.1 Испытательная электрическая цепь

2. Исследовать работу цепей, поочередно оставляя по одному сопротивлению и результаты замеров внести в таблицу 3.1:

- цепь с активным сопротивлением, когда $x_L = 0$ закорачивая клеммы 2–3 и $x_C = 0$ заворачивая клеммы 3–4;
- цепь с индуктивной катушкой, когда $R = 0$ закорачивая клеммы 1–2 и $x_C = 0$ заворачивая клеммы 3–4;
- цепь с емкостью, когда $R = 0$ закорачивая клеммы 1–2 и $x_L = 0$ закорачивая клеммы 2–3;

При этом запись производится в табл. 3.1. Таблица 3.1

№ п/п	Участок цепи	Данные наблюдений			Данные расчетов									
		I	U	P	R	XL	XC	L	C	U	UC	UL	cosφ	
		A	V	VA	Om	Om	Om	Gн	Ф	B	B	B		
1	Реостат				-	-	-	-	-	-	-	-		
2	Катушка					-	-	-	-	-	-	-		
3	Конденсатор				-	-	-	-	-	-	-	-		

3. По данным таблицы 3.1. построить для всех случаев векторные диаграммы токов и напряжений в масштабе.

4. Исследовать работу цепи при следующих режимах и результаты замеров внести в таблицу 3.2.

- $x_C = 0$, закорачивая клеммы 3–4 изменения произвольно R и x_L произвести два замера;

- $x_L = 0$, закорачивая клеммы 2–3 изменения произвольно R и x_C произвести два замера;

- Рассмотреть два режима:
 - $x_L > x_C, x > 0, \varphi > 0$
 - $x_L < x_C, x < 0, \varphi > 0$

По данным таблицы 3.2. построить для всех случаев векторные диаграммы токов и напряжений в масштабе.

По указанию преподавателя построить треугольники сопротивлений, напряжений и мощностей.

Таблица 3.2

№ п/п	Элем. электр. цепи	Измерено						Вычислено							
		U0	UI	U2	I	P	Z	R	X	XL	XC	φ	cosφ	Q	S
		B	B	B	A	Вт	Om	Om	Om	Om	Om	град		Bар	ВА
1	R,L $C=0$	a													
		б													
2	R,C $L=0$	a													
		б													
3	RLC	a													
		б													
		в													

Методические указания к проведению работы и выполнению расчетно – графической части

Расчеты величин, указанных в таблице 3.1, выполняются по формулам:

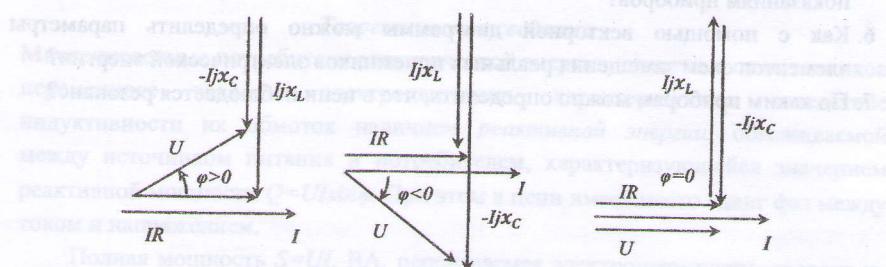
$$R = P/I^2; \quad z = U/I; \quad \cos \varphi = P/(UI); \quad x_L = Z \sin \varphi$$

или $x_L = \sqrt{Z^2 - R^2}; \quad L = x_L/\omega$, где $\omega = 2\pi f$.

$$C = 1/(x_C \omega); \quad U = IR; \quad U_L = Ix_L; \quad U_C = Ix_C$$

Сдвиг фаз между точками и входным напряжением определяется соотношением:

$$\varphi = \arctg x / \sum r$$



Полная мощность $S=UI$, РА, потребляемая электрическими цепями, состоит из двух составляющих: активной мощности $P = UI \cos \varphi$ и реактивной энергии преобразуемой в теплоту и совершающей работу в реактивных элементах.

Рис.3.2 Режимы работы электрических цепей

- a) $\varphi > 0$, при $x > 0$, при $\sum x_L > \sum x_C$ – цепь носит индуктивный характер (рис.3.2.а);
- б) $\varphi < 0$, при $x < 0$, при $\sum x_L < \sum x_C$ – цепь носит емкостной характер (рис.3.2.б);
- в) $\varphi = 0$, при $x = 0$, при $\sum x_L = \sum x_C$ – такой режим работы цепи называется резонансом напряжений (рис.3.2 в).

Снижение реактивной мощности в системах электроснабжения при отставании во фазе тока возможно методом компенсации её реактивной мощности. При $\varphi = 0$, $\cos \varphi = 1$.

Снижение реактивной мощности в системах электроснабжения при отставании во фазе тока возможно методом компенсации её реактивной

Контрольные вопросы

1. Чему равен эквивалентное сопротивление цепи при последовательном соединении приемников энергии?
2. Как определить модель комплекса сопротивления, вещественную и мнимую часть, аргумент?
3. Чему равны кажущаяся (полная), активная и реактивная мощности для отдельных участков цепи, для всей цепи?
4. Векторные диаграммы для индуктивного, емкостного и резонансного режимов работы цепи?
5. Как построить векторные диаграммы напряжений для исследуемых цепей по показаниям приборов?
6. Как с помощью векторной диаграммы можно определить параметры элементов схем замещения реальных приемников электрической энергии?
7. По каким приборам можно определить, что в цепи наблюдается резонанс?

• Рассмотреть два случая:

a) $x_1 > x_2, \varphi > 0$

b) $x_1 < x_2, \varphi < 0$

По данным таблицы 3.2, построить для всех случаев векторные диаграммы токов и напряжений в масштабе.

По указанию преподавателя построить треугольники сопротивлений напряжений и мощностей максимальный масштаб 1:1 м²

причем ёмкостный ток $-jx_2 < jx_1$ или $0 < x_2$ или $0 < x_1$

№	Элемент	Измерение	Масштаб
1	R	амперметр	1:1
2	C	вольтметр	1:1
3	L	амперметр	1:1
4	RCL	амперметр	1:1

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ
СОЕДИНЕНИЕМ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ R, ИНДУКТИВНОСТИ L
И ЁМКОСТИ C

Цель работы: Целью данной работы является изучить сущность процессов, происходящих при обмене реактивной энергией в системе «генератор – электроприемник» и экспериментальное определение основных параметров и величин, характеризующих работу электрической цепи синусоидального тока при параллельном соединении приемников энергии.

Теоретические сведения

Многочисленные потребители электрической энергии, питаемые от источников переменного тока – электродвигатели, характеризуются вследствие индуктивности их обмоток наличием *реактивной энергии*, обмениваемой между источником питания и потребителем, характеризующейся значением реактивной мощности $Q = UI\sin\varphi$. При этом в цепи имеет место сдвиг фаз между током и напряжением.

Полная мощность $S = UI$, ВА, передаваемая электроприемникам, состоит из двух составляющих: активной мощности $P = UI\cos\varphi$, Вт (электрическая энергия преобразуется в теплоту и механическую работу) и реактивной: $Q = UI\sin\varphi$, ВАр (энергия обменивается между генератором и электроприёмником), причем $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$, ВА. Реактивная энергия поступает в обмотку электромагнита в процессе нарастания тока и запасается в его магнитном поле, но в следующую четверть периода по мере убывания силы тока (и магнитного потока) возвращается к генератору.

Коэффициент мощности $\cos\varphi = P/S$ характеризует долю активной мощности в составе полной мощности.

Чем ниже $\cos\varphi$, тем хуже технико – экономические показатели работы установки: снижается к.п.д., увеличиваются потери энергии в проводах, увеличивается при одной и той же мощности загрузка генераторов и трансформаторов током. Уменьшение величины реактивной мощности при неизменном значении активной мощности означает *повышение коэффициента мощности*. При $Q = 0$, $\cos\varphi = 1$.

Снижение реактивной мощности в системах электроснабжения при отстающем по фазе тока возможно методом компенсации её реактивной

мощностью при опережающем токе (отрицательный сдвиг фаз) в цепи конденсаторов, подключенных параллельно индуктивной нагрузке (асинхронные электродвигатели, трансформаторы, электромагнитные аппараты).

Повышение коэффициента мощности, согласно уравнению $P=UI \cos\varphi$ при U и $I=const$, приводит к уменьшению значения тока во всех звеньях системы электроснабжения (генератор электростанции, понижающие и повышающие трансформаторы, линии электропередачи) и следовательно, к уменьшению потерь активной энергии (мощности) на нагревание проводников. Таким образом, повышение коэффициента мощности путем компенсации реактивной мощности имеет важное технико – экономическое значение для народного хозяйства.

Приборы и оборудование

- Источник питания – сеть переменного тока промышленной частоты 50Гц напряжением 220В.
- Лабораторный автотрансформатор типа ЛАТР.
- Электромагнит с разъемным магнитопроводом и обмоткой рассчитанный на напряжение 220В.
- Батарея статических конденсаторов общей емкостью 20мкФ.
- Амперметр электромагнитной системы типа Э8027.
- Вольтметр электромагнитной системы типа Э378.
- Ваттметр ферродинамической системы типа Д50043.
- Соединительные провода с наконечниками.

Порядок выполнения работы

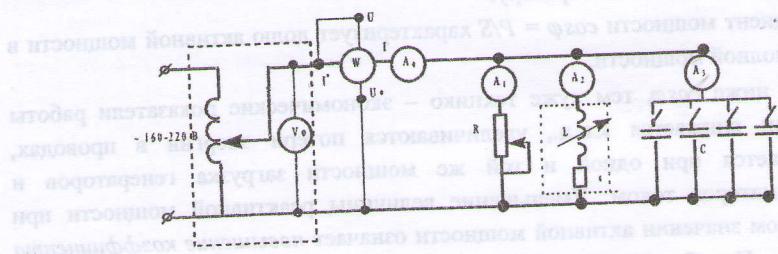


Рис 4.1 Испытательная электрическая цепь

- Собрать электрическую цепь, содержащую параллельно включенные катушку индуктивности, емкость и активное сопротивление, по схеме рис. 4.1.
- Исследовать следующие режимы работы схемы, поочередно отключив по одному сопротивлению, результаты замеров внести в таблицу 4.1.
 - индуктивная проводимость $b_L=0$;
 - емкостная проводимость $b_C=0$;
 - включены все три сопротивления $\cos\varphi \neq 0$.
- По данным таблицы определить параметры цепи, активную реактивную и кажущуюся мощности, построить векторные диаграммы для всех режимов работы цепи.

По указанию преподавателя построить треугольники токов, проводимостей и мощностей.

Таблица 4.1

№	Элемент электр. цепи	ИЗМЕРЕНО						ВЫЧИСЛЕНО												
		V ₀	I ₀	I ₁	I ₂	I ₃	P	q	b	y	φ	Q _L	Q _C	Q	S	r	z	X _L	X _C	C
B	A	A	A	A	A	Вт	сим	сим	сим	cos	град	вар	вар	вар	вар	ВА	Ом	Ом	Ом	θ
1	R,L C=0																			
2	R,C L=0																			
3	R,L,C																			

Методические указания к проведению работы и выполнению

расчетно – графической части.

- Известно, что при параллельном соединении двух или более приемников электрической энергии они находятся под действием одного и того же напряжения U . При различных значениях проводимостей отдельных ветвей q , b_L и b_C токи в этих ветвях также будут различны. Общий ток всей группы приемников может быть найден по формуле:

$$I = \sqrt{I_A^2 + (I_L - I_C)^2} \text{ а полная проводимость находится по формуле:}$$

$$y = \sqrt{q^2 + (b_L - b_C)^2}; \quad \cos\varphi = \frac{q}{y}; \quad \text{или} \quad \cos\varphi = \frac{I_A}{I};$$

мощностью при отражении тока (правильный сдвиг фаз) в пасьянсе где: I - полный ток;
 I_a - ток в первой ветви обладающей проводимостью q ;
 I_L - ток во второй ветви, обладающей индуктивной проводимостью b_L ;
 I_C - ток в третьей ветви, обладающей ёмкостной проводимостью b_C ;
 $q = I/R$ - активная проводимость;
 $b_L = 1/X_L$ - индуктивная проводимость;
 $b_C = 1/X_C$ - ёмкостная проводимость;

2. Расчетные величины для записи в таблице определяются по следующим формулам: $\cos \varphi = P/(UI)$; $x_L = U \sin \varphi_L / I_L$; $x_C = U / I_C$;

$$C = 1/(ax_C); Q_L = UI_L \sin \varphi_L; Q_C = UI_C;$$

$$R = P_L / I^2; Q = Q_L - Q_C;$$

3. Векторные диаграммы токов для трех случаев: $I_L \sin \varphi_L > I_C$; $I_L \sin \varphi_L = I_C$; $I_L \sin \varphi_L < I_C$; показаны на рисунке 4.2.

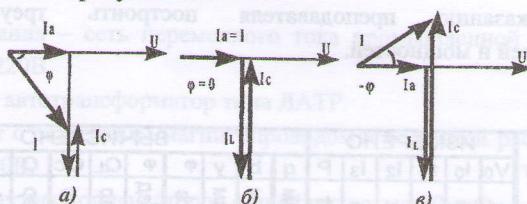


Рис. 4.2. Векторные диаграммы для цепи при параллельном соединении катушки индуктивности и батареи конденсаторов:

а) $I_c < I_L$; б) $I_c = I_L$; в) $I_c > I_L$

4. Величину ёмкости конденсаторов по условию $\cos \varphi = 1$ находим по формуле

$$C = I_L \sin \varphi_L / (U_{\omega}), [\Phi]$$

5. В отчете по лабораторной работе необходимо дать заключение о практическом применении конденсаторов в системах электроснабжения на переменном токе, указав, что повышение коэффициента мощности $\cos \varphi$ приводит к уменьшению силы тока в проводах, а следовательно к уменьшению потерь электроэнергии на их нагревание, поскольку $\Delta P = I^2 R_{np}$

Рис. 4.1. Использование фаз от полных стадиях током поглощением

Напряжение на зажимах индуктивности и ёмкости при разомкнутом
напряжении размыкаемом выключателе по фазе. А общее
напряжение сети и токи в цепи при только поданном напряжении на

1. Чему равен комплекс эквивалентной проводимости всей цепи при параллельном соединении приемников энергии?
2. Как определить модуль комплекса проводимости, вещественную и мнимую часть, аргумент?
3. Как определить полную активную и реактивную проводимости цепи, угол сдвига фаз между током и напряжением?
4. Записать законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме для исследуемых цепей.
5. Чему равны кажущаяся, активная и реактивная мощности для отдельных участков и для всей цепи?
6. Как построить векторные диаграммы токов для исследуемых цепей?

называется добротностью цепи. Нелинейную характеристику цепи называют затуханием:

где $\rho = \sqrt{L/C}$ – ведомое сопротивление цепи в единицах сопротивления – Ω .
затухание в дифракционных искажениях искажено в склоне характеристики на величину $\alpha = \frac{\rho}{X_L + X_C} = \frac{\rho}{R + j(X_L - X_C)}$ в режиме резонанса напряженность $= \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = Q$.

Резонанс напряжений может быть получен путем изменения параметров цепи включением R и C в цепь. Резонанс напряжений может быть получен путем изменения параметров цепи в отрицательном сопротивлении, включением катушки индукции в цепь, в

режиме резонанса напряжений $= \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = Q$.

а) в отрицательном сопротивлении это означает включение катушки индукции в цепь.

б) в отрицательном сопротивлении это означает включение катушки индукции в цепь.

2. Лабораторный измерительный прибор для измерения магнитного потока в ПП

3. Электромагнит с разъемной магнитопроводом и обмоткой рассчитанный на катушку и магнитопровод с зазором и зазором магнитопровода

4. Амперметр электромагнитной системы

5. Вольтметр электромагнитной системы типа 1573

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

Цель работы: Целью данной работы является экспериментальное исследование последовательной цепи, содержащей активное сопротивление, индуктивность и ёмкость, и изучение режима резонанса.

Теоретические сведения

Из теории переменных токов известно, что при последовательном соединении активного сопротивления r , индуктивности L и ёмкости C ток в цепи вычисляется по формуле

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

где: Z – полное сопротивление цепи;

U – напряжение, приложенное к цепи;

R – активное сопротивление;

X_L – индуктивное сопротивление;

X_C – ёмкостное сопротивление;

Угол сдвига фаз тока и напряжения для всей цепи вычисляется по формуле:

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{r} = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{Z}$$

где: ω – угловая частота.

Коэффициент мощности $\cos \varphi$ определяется по формуле: $\cos \varphi = P/S$

где P – активная мощность, равная показанию ваттметра, включенного в цепь, S – кажущаяся мощность $S = UI$ [Вт]

При работе цепи возможен случай, когда собственная частота колебательного контура $f = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ равна частоте колебаний напряжения генератора (в данной работе $f=50Гц$), в цепи наблюдается явление **резонанса напряжений**.

При этом: $X_L = X_C$ или $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, $2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C}$

В этом случае ток совпадает по фазе с напряжением и становится наибольшей и особенно большой при малом активном сопротивлении

$$\text{резистора: } I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{R}$$

Напряжение на зажимах индуктивности и ёмкости при резонансе напряжений равны по величине, но противоположны по фазе. А общее напряжение сети U уравновешивается только падением напряжения на активном сопротивлении:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = U_R$$

В момент резонанса напряжений, напряжение U_L на индуктивности и U_C на ёмкости могут оказаться во много раз выше напряжения источника питания U . Поэтому резонанс напряжений для силовых электроустановок и системы электроснабжения является опасным и нежелательным.

Однако для колебательных контуров радиотехнических устройств резонанс напряжений необходим и используется для настройки радиоприемных устройств на определенную частоту передатчика с отстройкой от множества других передатчиков.

$$\text{Отношение: } \frac{\omega L}{R} = \frac{1/(\omega C)}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} = \frac{\rho}{R} = Q$$

называется добротностью цепи. Величину α , обратную добротности, называют затуханием:

$$\alpha = \frac{1}{Q} = \frac{R}{\rho}$$

где $\rho = \sqrt{L/C}$ – волновое сопротивление цепи.

Величина добротности показывает, во сколько раз падение напряжение на индуктивности или ёмкости превышает напряжение, приложенное к цепи, в режиме резонанса напряжений:

$$U_L/U = U_C/U = Q \text{ или } X_L/R = X_C/R = Q$$

Резонанс напряжений может быть получен путем изменения одной из трех величин – f , L и C .

Приборы и оборудование

1. Источник питания – сеть переменного тока промышленной частоты 50Гц напряжением 220В.
2. Лабораторный автотрансформатор типа ЛАТР.
3. Электромагнит с разъемным магнитопроводом и обмоткой рассчитанный на напряжение 220В.
4. Батарея статических конденсаторов общей емкостью 20мкФ.
5. Амперметр электромагнитной системы типа Э8027.
6. Вольтметр электромагнитной системы типа Э378.

7. Ваттметр ферродинамической системы типа Д50043.
 8. Соединительные провода с наконечниками.
- Порядок выполнения работы.**

1. Собрать электрическую цепь, содержащую последовательно включенные катушку индуктивности и емкости, по схеме рис. 5.1.

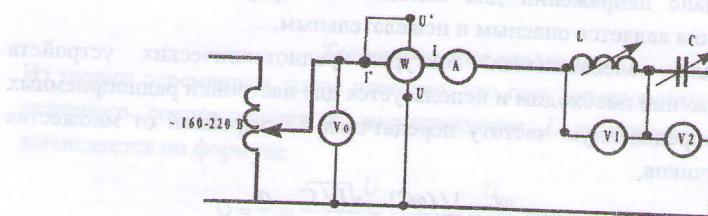


Рис. 5.1. Испытательная электронная цепь

2. Рассмотреть три режима:

- $X_L > X_C, X > 0, \phi > 0$ (до резонанса)
- $X_L = X_C, X = 0, \phi = 0$ УВХ – не более 50 В! (резонанс)
- $X_L < X_C, X < 0, \phi < 0$ (после резонанса)

3. Снять (по выполненным выше измерениям) и построить зависимости:

$I, U_L, U_C, \phi = f(L)$ при $C, Uf = const$.

4. Снять и построить зависимости:

$I, U_L, U_C, \phi = f(C)$ при $L, Uf = const$.

Результаты наблюдений и вычислений свести в таблицу 5.1.

5. Построить векторные диаграммы токов и напряжений для случаев: $X_L > X_C$; $X_L = X_C$; $X_L < X_C$.

Таблица 5.1

№ п/п	Элемент электр. цепи	ИЗМЕРЕНО						ВЫЧИСЛЕНО							
		f Гц	U0 В	U1 В	U2 В	I А	P Вт	r Ом	Z Ом	XL Ом	L Г	φ cos φ	Xc Ом	C Ф	φ grad
1	$X_L > X_C$														
2	$X_L = X_C$														
3	$X_L < X_C$														

**Методические указания к проведению работы и выполнению
расчетно – графической части**

1. В настоящей работе режим резонанса получают по схеме (рис. 5.1.) изменением только L и C при постоянном значении f .
2. В схеме на рисунке 5.1. включение электромагнита предусмотрено от автотрансформатора на пониженное напряжение. Если в качестве индуктивной нагрузки использован катушка с разъемным сердечником и в магнитной цепи будет установлен воздушный зазор, то напряжение на обмотке должно быть понижено настолько, чтобы ток в цепи не превышал 5А. Напряжение на выходе автотрансформатора следует повышать постепенно, наблюдая за показаниями амперметра.
- Индуктивность электромагнита можно изменять путем изменения воздушного зазора в магнитной цепи.
3. Расчеты величин, указанных в таблице 5.1. выполняются по формулам:

$$R = P / I^2; \quad z = U / I; \quad \cos\varphi = P / (UI); \quad X_L = Z \sin\varphi$$

$$\text{или } X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}; \quad L = X_L / \omega, \quad \text{где } \omega = 2\pi f;$$

$$C = 1 / (X_C \omega); \quad U = IR; \quad U_L = IX_L; \quad U_C = IX_C$$

Общий вид векторных диаграмм показан на рисунке 5.2.

- a) $\varphi > 0$, при $X > 0$, при $\sum x_L > \sum x_C$ – цепь носит индуктивный характер (рис. 5.2 а);
- б) $\varphi = 0$, при $X = 0$, при $\sum x_L = \sum x_C$ – такой режим работы цепи носит название резонанса напряжений (рис. 5.2 б);
- в) $\varphi < 0$, при $X < 0$, при $\sum x_L < \sum x_C$ – цепь носит ёмкостный характер (рис. 5.2 в);

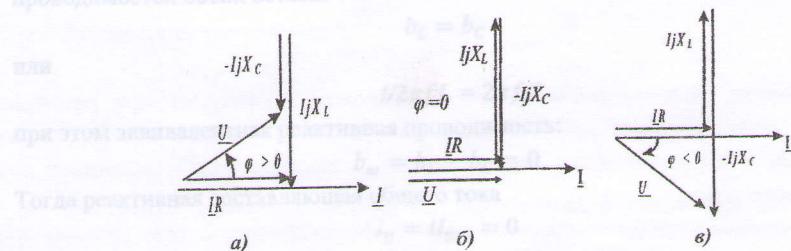


Рис 5.2 Векторные диаграммы

Контрольные вопросы

1. При каком условии возникает резонанс напряжений?
2. По каким приборам можно определить, что в цепи наблюдается резонанс?
3. Изменением каких параметров цепи можно добиться резонанса?
4. Где применяется явление резонанса?
5. Чему равен коэффициент добротности резонансного контура?
6. Дайте определение добротности Q и затухания α контура. Как определить эти величины?

2. Рассмотреть три режима:
 - * $X_L > X_C, X > 0$, т.е. $\omega L = 1/X_C \Rightarrow \omega = 1/\sqrt{L C}$
 - * $X_L = X_C, X = 0$, т.е. $\omega L = 1/X_C \Rightarrow \omega = \sqrt{1/L C}$
 - * $X_L < X_C, X < 0$ (это значение ω не является макром ввиду отрицательного значения X)
3. Снять (при различных частотах) зависимость $I = f(\omega)$ при $U_s < U_c$ при $0 < \varphi < \pi/2$, $I_s, U_s \propto f(t)$ при $C, U_f = const$.
5. Построить векторные диаграммы токов и напряжений для случаев $X_L > X_C$, $X_L < X_C$.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

РЕЗОНАНС ТОКОВ

Цель работы: Экспериментальное исследование режима резонанса в разветвленной цепи переменного тока и изучение условий и физической сущности явлений, при которых включение конденсаторов параллельно с потребителями энергии приводит к увеличению $\cos \varphi$ установки.

3. Активная проводимость цепи

Теоретические сведения

Из теории переменных токов известно, что при параллельном соединении активного сопротивления r , индуктивности L , и емкости C ток в неразветвленной части цепи определяется по уравнению:

$$I = U \cdot y = U \sqrt{q^2 + (b_L - b_C)^2}$$

где: U — напряжение, приложенное к цепи;
 y — полная эквивалентная проводимость цепи;
 q — активная проводимость;
 b_C — реактивная емкостная проводимость;
 b_L — реактивная индуктивная проводимость;

Активная проводимость является обратной величиной активного сопротивления:

$$q = I/r$$

а реактивные проводимости определяются соответственно по формулам:

$$b_C = \omega C; b_L = \frac{I}{\omega L};$$

где: $\omega = 2\pi f$ — угловая частота в $I/\text{сек.}$

Условием возникновения резонанса токов является равенство реактивных проводимостей обеих ветвей:

$$b_L = b_C$$

или

$$I/2\pi f L = 2\pi f C \quad (6.1)$$

при этом эквивалентная реактивная проводимость:

$$b_\omega = b_L - b_C = 0$$

Тогда реактивная составляющая общего тока

$$I_p = U_{\text{вк}} = 0$$

и ток в неразветвленной части цепи

$$I = I_\alpha = U_q$$

совпадает по фазе с напряжением U согласно формуле (6.1), где при постоянной частоте f резонанс в цепи может быть достигнут соответствующим подбором индуктивности L или емкости C .

В промышленных электроэнергетических установках явление резонанса токов используется для повышения коэффициента мощности.

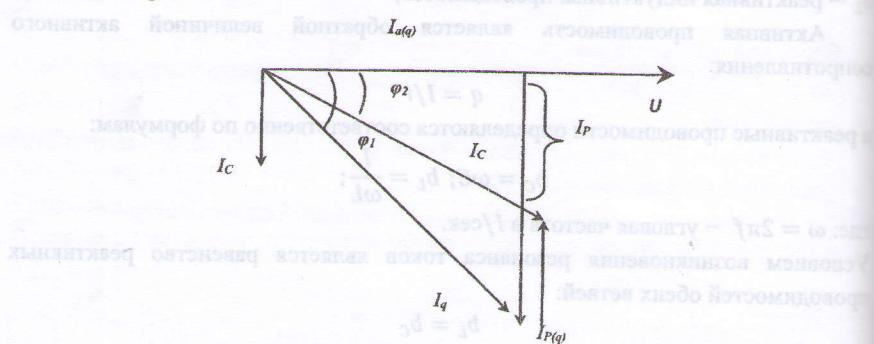
Искусственные меры повышения $\cos \varphi$.

Использование конденсаторов для компенсации реактивной мощности

1. Установка синхронных электродвигателей, которые при большом возбуждении вызывают в цепи опережающий реактивный ток.
2. Включение параллельно к приемникам (двигателям) электрической энергии батареи статических конденсаторов.

После подключения батареи конденсаторов реактивная составляющая тока для двигателей компенсируется емкостным током I_C .

Ток в подводящих проводах уменьшается до значения I , а угол φ_1 уменьшается до φ_2 , а $\cos \varphi$ установки увеличивается. Энергосистема и ЛЭП разгружаются от реактивного тока, что приведет к уменьшению потерь напряжения и экономии электроэнергии.



(1.6) Полная компенсация реактивной мощности происходит при резонансе токов, получающимся при определенных условиях в цепи колебательного контура, образованного параллельно соединенными катушкой и конденсатором.

Изучение колебательного контура и происходящих в нем резонансных процессов приобретает еще более важное значение, потому что эти процессы лежат в основе работы всех радиоприемных и радиопередающих устройств.

Приборы и оборудование

1. Источник питания – сеть переменного тока промышленной частоты 50Гц, напряжением 220В.
2. Лабораторный автотрансформатор типа ЛАТР.
3. Электромагнит с разъемным магнитопроводом и обмоткой рассчитанный на напряжение 220В.
4. Батарея статических конденсаторов общей емкостью 20мкФ.
5. Амперметр электромагнитной системы типа Э8027.
6. Вольтметр электромагнитной системы типа Э378.
7. Ваттметр ферродинамической системы типа Д50043.
8. Соединительные провода с наконечниками.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с приборами и оборудованием, собрать электрическую цепь, содержащую параллельно включенные катушку индуктивности и емкости, по схеме рис.6.1.

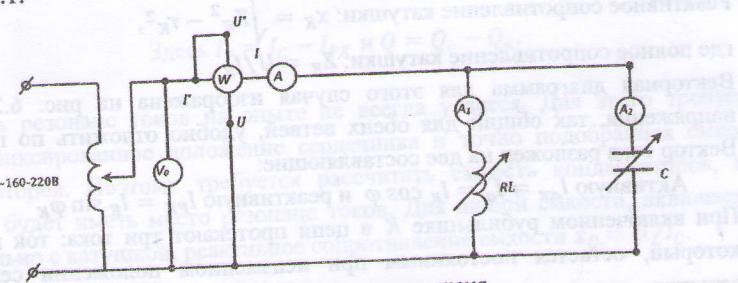


Рис.6.1 Испытательная схема

2. Рассмотреть три режима:
 - $x_{LK} > x_C$
 - $x_{LK} = x_C$
 - $x_{LK} < x_C$
3. Результаты записать в таблицу 6.1.
4. Построить векторные диаграммы напряжений и токов для всех трех случаев.

Таблица 6.1

№ п/ п	Данные измерений					Данные расчетов										$\cos\varphi$
	I_0	U	I_C	P	f	R_K	Z_K	X_{LK}	C	Q	S	Q_C	X_C			
	A	V	A	W	$Гц$	$Ом$	$Ом$	$Ом$	Φ	B_a	B	O	O			
1																
2																
3																

**Методические указания к проведению работы и выполнению
расчетно – графической части**

При отключенном рубильнике K в цепи конденсаторов (см. рис. 6.1) ток емкости $I_C = 0$, ток в неразветвленной части цепи $I = I_K$, ваттметр покажет мощность, потребляемую катушкой, $P_K = UI_K \cos\varphi_K = I_K^2 r_K$, где φ_K – угол сдвига фаз между током и напряжением катушки, U – напряжение сети, показываемое вольтметром, r_K – активное сопротивление катушки.

Отсюда: $r_K = P_K / I_K^2$

Реактивное сопротивление катушки: $x_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2}$,

где полное сопротивление катушки: $Z_K = U / I_K$

Векторная диаграмма для этого случая изображена на рис. 6.2 а. Вектор напряжения, так общий для обеих ветвей, удобно отложить по горизонтали. Вектор тока разложен на две составляющие:

Активную $I_{ax} = I_a = I_K \cos\varphi$ и реактивную $I_{pk} = I_K \sin\varphi_K$

При включенном рубильнике K в цепи протекают три тока: ток катушки I_K , который, остается постоянным при неизменном положении сердечника в катушке, ток емкости I_C , опережающий по фазе напряжение на четверть периода, и ток в неразветвленной части цепи I .

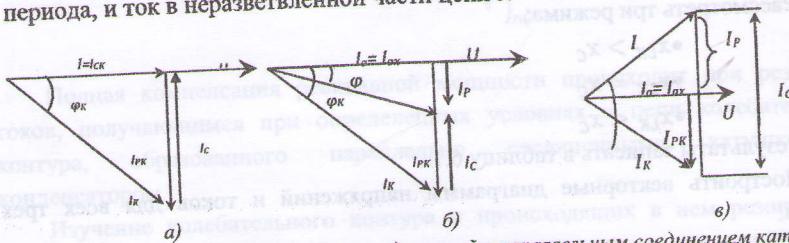


Рис. 6.2. Векторные диаграммы для цепей с параллельным соединением катушки и конденсаторов

Векторная диаграмма для этого случая представлена на рис. 6.2 б. как видно из диаграммы, ток емкости I_C частично компенсирует реактивную слагающую тока катушки I_{PK} . Поэтому ток в неразветвленной части цепи будет меньше тока в катушке. При этом уменьшится и сдвиг фаз между током I и напряжением U ($\cos \varphi$ увеличивается). Важно отметить, что показания ваттметра не изменяется (практически небольшое изменение показания ваттметра будет иметь место за счет активной проводимости как самих конденсаторов, так и соединительных проводов в ветви с емкостью).

Действительно мощность всей цепи $P = UI \cos \varphi$, но произведение $I \cos \varphi$ выражает активную слагающую тока I_a , которая при любой величине емкостного тока равна активной слагающей тока катушки I_{ak} . Следовательно, $P = UI \cos \varphi = UIa = U I_k \cos \varphi_k = P_k$

При постановке опыта может оказаться, что ток емкости больше реактивной слагающей тока катушки, векторная диаграмма для этого случая представлена на рис. 6.2 в. В этом случае все расчетные формулы останутся прежними, но вследствие «перекомпенсации» появляется избыточная реактивная мощность емкости ($Q_c > Q_k$), которая должна быть покрыта за счет генератора (сети), и $\cos \varphi$ снова уменьшится.

$$\text{Здесь } I_P = I_C - I_{PK} \text{ и } Q = Q_c - Q_k.$$

Получить резонанс токов на опыте не всегда удается. Для этого требуется строго фиксированное положение сердечника и точно подобранный емкость конденсаторов. Поэтому требуется рассчитать емкость конденсаторов, при которой будет иметь место резонанс токов. Для любой емкости, включаемой параллельно с катушкой, реактивное сопротивление емкости $x_C = U/I_C$. Емкость конденсаторов

$$C = \frac{10^6}{2\pi f x_C} \text{ мкФ}$$

Частота f принимается равной частоте сети – 50 Гц.

При резонансе токов, как видно из векторной диаграммы рис.6.3.

$$I_{C\text{рез}} = I_{PK} = I_k \sin \varphi_k$$

Графики зависимости I и $\cos \varphi$ от I_C показаны на рисунке 6.4.

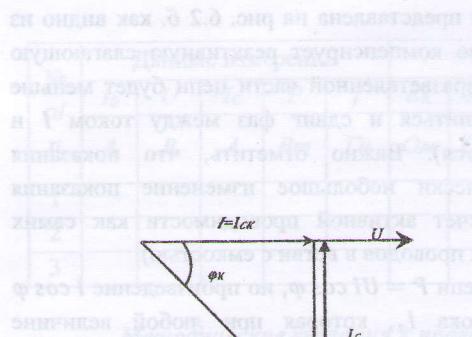


Рис. 6.3. Векторная диаграмма

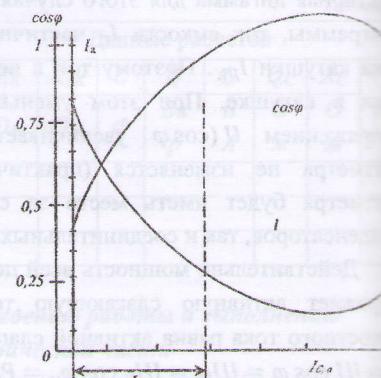


Рис. 6.4. Графики I и $\cos\phi = f(I_C)$

Формулы для расчета

Активное сопротивление катушки, Ом

$$R_K = \frac{P}{I_K^3}$$

где P — мощность, Вт;

I_K — ток катушки, А.

Полное сопротивление катушки, Ом

$$Z_K = \frac{U}{I_K}$$

Индуктивное сопротивление катушки, Ом

$$x_{LK} = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}$$

где Z_K — полное сопротивление катушки;

R_K — активное сопротивление катушки.

Емкостное сопротивление конденсаторов, Ом

$$x_C = U/I_C$$

где I_C — ток конденсатора.

Реактивная мощность катушки, Вар

$$Q_K = I_K^2 x_{LK}$$

Реактивная мощность конденсатора, Вар

$$Q_C = I_C^2 x_C$$

Полная мощность всей цепи, ВА

$$T \cdot I = U I_C \text{ при } R = 0$$

где I_C — ток до разветвления или ток всей цепи;

если U — напряжение всей цепи.

$$\cos \varphi = \frac{P}{U I_C}$$

здесь P — полная мощность, выделяемая в цепи.

Контрольные вопросы

- Почему общий ток в цепи до разветвления не равен алгебраической сумме токов в ветвях с катушкой и конденсаторами?
- При каких условиях возникает резонанс токов, каковы его признаки?
- Какое практическое значение имеет повышение $\cos \varphi$ электроустановок переменного тока?

Ток в линии из правой ветви катушки сопротивления, пропущенный в нее от катушки, имеет фазу $\pi/2$ относительно тока катушки. Ток в линии из правой ветви конденсатора, пропущенный в нее от катушки, имеет фазу $-\pi/2$ относительно тока катушки. Поэтому ток в линии из правой ветви конденсатора, пропущенный в нее от катушки, имеет фазу π относительно тока катушки.

У фазы π разности фаз между током в линии из правой ветви катушки и током в линии из правой ветви конденсатора нет, поэтому ток в линии из правой ветви конденсатора, пропущенный в нее от катушки, имеет фазу 0 относительно тока катушки. Поэтому ток в линии из правой ветви конденсатора, пропущенный в нее от катушки, имеет фазу 0 относительно тока катушки.

У матрицы сопротивлений в линии из правой ветви катушки разность фаз между током в линии из правой ветви катушки и током в линии из правой ветви конденсатора равна $\pi/2$. Поэтому ток в линии из правой ветви конденсатора, пропущенный в нее от катушки, имеет фазу $-\pi/2$ относительно тока катушки. Поэтому ток в линии из правой ветви конденсатора, пропущенный в нее от катушки, имеет фазу $-\pi/2$ относительно тока катушки.

4. Амперметр электромагнитной системы с пределом измерения до 3 А.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ ЗВЕЗДОЙ

Цель работы: Целью настоящей работы является опытная проверка основных соотношений между напряжениями и токами в трехфазной цепи при соединении приемников энергии звездой.

Теоретические сведения

В электроэнергетике, вследствие наибольшей экономичности технологического совершенства, получили исключительное применение трехфазные цепи. Все звенья трехфазной цепи были изобретены и разработаны известным русским инженером и ученым М.О. Доливо – Добровольским.

Электрификация во всем мире базируется на применении трехфазных электрических систем, включающих трехфазные генераторы на электростанциях, трехфазные трансформаторы на подстанциях (для повышения и понижения напряжения), трехфазные линии электропередачи, подавляющее большинство трехфазных электродвигателей.

Одним из основных способов соединения обмоток генераторов, трансформаторов и приемников в трехфазных цепях являются соединение звездой.

В трех неподвижных обмотках статора генератора, смешенных в пространстве при вращении ротора первичным двигателем, по принципу электромагнитной индукции наводятся три синусоидальные электродвигущие силы (ЭДС), амплитуды которых смешены по времени на $1/3$ периода. Создаваемая ими ЭДС напряжения и токи в обмотках генератора и во внешней цепи также смешены по времени (по фазе) на $1/3 T$. Как обмотки статора генератора, так и отдельные цепи (фазы) электроприемников (например, лампы накаливания) могут быть соединены между собой в трехфазную систему.

При соединении звездой все «начала» или «концы» фазных обмоток соединяют в одну общую точку. Общие точки обмоток генератора и ветвей звезды приемника (нагрузки) называются нейтральными или нулевыми точками, а соединяющий провод – нейтральным или нулевым. Провода, соединяющие обмотки генератора с приемником, называются линейными. Схема соединения фазных обмоток источника и трехфазного приемника электрической энергии звездой изображена на рис.7.1.

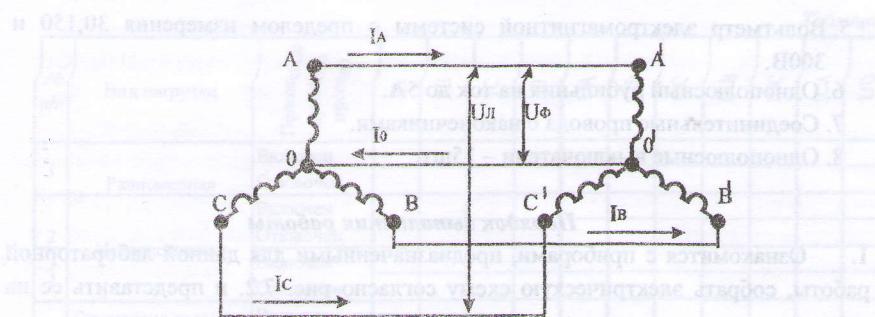


Рис 7.1. Схема соединения звездой

В системе трехфазного тока необходимо отличать фазный ток I_ϕ от линейного I_L , а также фазное напряжение U_ϕ от линейного напряжения U_L .

Напряжение между началом и концом фазы или между линейным проводом и нулевой точкой (нулевым проводом) называется *фазным напряжением*. Напряжение между фазами или линейными проводами называется *линейным напряжением*.

Ток в линейном проводе называется *линейным током*, а ток, протекающий по фазе *фазным током*. В случае соединения звездой при равномерной нагрузке фаз приемника линейное напряжение U_L больше фазного напряжения U_ϕ в $\sqrt{3}$ раз:

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_\phi$$

При неравномерной нагрузке фаз и при отсутствии нейтрального (нулевого) провода это соотношение нарушается.

Линейный ток равен фазному:

$$I_L = I_\phi$$

Приборы и оборудование

- Источник питания – четырехпроводная трехфазная сеть напряжением 220/127В с коммутационной аппаратурой и защитой.
- Панели с лампами накаливания на номинальное напряжение 220В мощностью порядка 1кВт в каждой фазе.
- Три амперметра электромагнитной системы с пределом измерения силы тока до 5А.
- Амперметр электромагнитной системы с пределом измерения до 3А.

- ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7
5. Вольтметр электромагнитной системы с пределом измерения 30,150 в
300В.
 6. Однополюсный рубильник на ток до 5А.
 7. Соединительные провода с наконечниками.
 8. Однополюсные выключатели – 15шт.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с приборами, предназначенными для данной лабораторной работы, собрать электрическую схему согласно рис. 7.2. и представить ее на проверку.

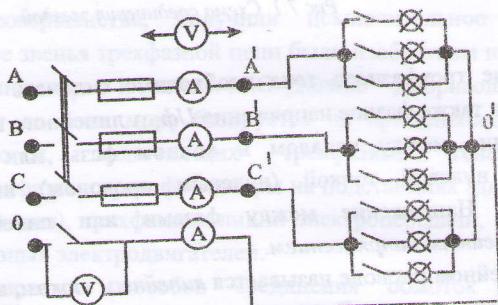


Рис. 7.2. Четырехпроводная цепь при соединении фаз звездой

2. При замкнутом рубильнике в цепи нулевого провода включить установку под напряжение и установить равномерную нагрузку всех трех фаз. Переносным вольтметром измерить линейные и фазные напряжения. Показания электроизмерительных приборов записать в таблицу 7.1. Убедится в отсутствии тока в нулевом проводе.
3. Отключить рубильник в нулевом проводе и снова записать показания приборов в табл.7.1. Убедится с помощью вольтметра в отсутствии напряжения между нулевыми точками потребителя и источника питания при равномерной нагрузке фаз.
4. При включенном рубильнике в нулевом проводе изменить нагрузку одной фазе так, чтобы амперметр, включенный в нулевом проводе, дал заметное показание значения тока. Повторить те же измерения и записать в таблицу 7.1. показания всех приборов. Затем отключить рубильник в нулевом проводе и снова произвести те же измерения, включая изменения напряжения между нейтралями (нулевыми точками) сети и потребителей. Показания электроизмерительных приборов записать в таблицу 7.1. Повторить опыты двух – трех случаев неравномерной нагрузки фаз.

Таблица 7.1

№ п/п	Вид нагрузки	Положение нулевого провода	IА	IВ	IС	Ю	UA	UB	UC	IAB	IBC	ICA	UO
1	Равномерная	Включен											
		Отключен											
2	Неравномерная	Включен											
		Отключен											
3		Включен											
		Отключен											
4	Отключена нагрузка одной фазы	Включен											
		Отключен											
5	Перегорел предохранитель в линейном проводе	Включен											
		Отключен											

5. Отключив полностью нагрузку одной из фаз, повторить все измерения при включенном, а затем при отключенном рубильнике в нулевом проводе. Показания приборов записать в таблицу 7.1.

6. При отключенном линейном проводе одной из фаз и включенных лампах во всех фазах потребителя повторить измерения при включенном и отключенном рубильнике.

7. По данным табл. 7.1. построить в масштабе векторные диаграммы для трех случаев: а) при равномерной нагрузке фаз; б) при неравномерной нагрузке фаз при включенном нулевом проводе; в) при той же неравномерной нагрузке при отключенном нулевом проводе.

8. Сделать краткие выводы по проделанной работе.

Методические указания к проведению работы и выполнению расчетно – графической части

1. При сборке электрической схемы амперметры для измерения линейных токов следует выбирать с пределом измерения до 5А. В нулевой провод включить амперметр с пределом до 3А. Провода от переносного вольтметра необходимо оборудовать наконечниками из изолирующего материала, что важно в отношении безопасности измерений.

2. Изменение нагрузки в фазах производится с помощью однополюсных выключателей в цепи питания каждой лампы.

3. При равномерной нагрузке фаз и отключенном нулевом проводе напряжение между нейтралями 0 и 0' должно отсутствовать, поскольку их потенциалы равны.

4. В случае неравномерной нагрузки при включенном нулевом проводе фазные напряжения у потребителей будут одинаковы и равны напряжениям фаз относительно нулевого провода, т.е. $U_\phi = U_0 \sqrt{3}$ (рис. 7.3. а). Сила тока в нулевом проводе, равная геометрической сумме токов фаз, будет тем больше, чем больше разница в нагрузках фаз (их сопротивлений) (рис. 7.3. б)

5. В случае отключения полностью нагрузки одной из фаз (например, фазы C) при одинаковых нагрузках двух других фаз ($I_A = I_B$) сила тока в нулевом проводе будет равна силе тока любой из фаз (рис. 7.3. в). При отключении нулевом проводе и неравномерной нагрузке фаз принудительно сумма фазных токов будет равна нулю $\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0$. Следовательно, поскольку изменяются фазные токи, то изменятся и фазные напряжения источника питания, и между точками системы 0-0' появится напряжение U_0 (рис. 7.3. г). Линейные напряжения, поддерживаемые источником питания, по-прежнему останутся равными и симметричными.

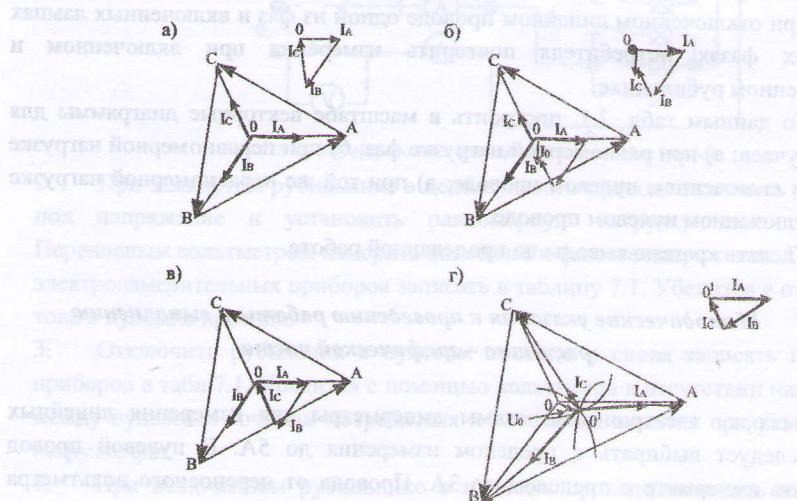


Рис. 7.3. Векторные диаграммы для трехфазной цепи при соединении фаз звездой:
 а - равномерная нагрузка фаз; б - нагрузка фазы С отсутствует;
 в - неравномерная нагрузка с включенным нулевым проводом;
 г - неравномерная нагрузка при отключенном нулевом проводе

6. При отключении линейного провода (например, в фазе A перегорела плавкая вставка предохранителя или оборвался провод воздушной линии, питающей потребителей, в условиях опыта достаточно вынуть вставку плавкого

предохранителя) при отключенном нулевом проводе цепь представляет собой последовательное соединение двух групп (двух фаз) ламп. В случае одинаковой нагрузки этих фаз линейное напряжение делится между ними поровну $U_\phi = U_{ll}/2$. При неодинаковых сопротивлениях фаз линейное напряжение делится пропорционально сопротивлениям фаз. Если же нулевой провод в этом случае будет включен, то фазные напряжения у потребителей будут такие же, как и у источника питания, лампы получат нормальное фазное напряжение $U_\phi = U_{ll}\sqrt{3}$. Таким образом, выявляется роль нулевого провода как *выравнивающего фазные напряжения при неравномерной нагрузке фаз, включая случай обрыва линейного провода.*

7. При построении векторных диаграмм необходимо руководствоваться правилом: вектор линейного напряжения представляет собой геометрическую разность векторов фазных напряжений. Построение векторной диаграммы для случая неравномерной нагрузки трех фаз и при отключенном нулевом проводе (рис. 7.3. г.) выполнено следующим образом. В начале проведены три вектора линейных напряжений в форме равностороннего треугольника с вершинами в точках A , B и C . Эти векторы сдвинуты под углами 120° . Векторы фазных напряжений источника питания представлены отрезками OA , OB и OC , равными и сдвинутыми также на угол 120° . Вектор фазного напряжения потребителя представляет собой геометрическую разность векторов фазного напряжения генератора (например, отрезок OA на рис. 7.3. г) и напряжения U_0 . Такой разностью будет отрезок $O'A$, лежащий против угла между векторами OA и OO' . Соответственно отрезок $O'B$ представляет вектор фазного напряжения у потребителей фазы B и отрезок $O'C$ – вектор фазного напряжения у потребителей фазы C . Для определения положения точки O' необходимо из точек A , B и C (с помощью циркуля), равным в масштабе значениям напряжения $U'A$, $U'B$ и $U'C$ (взятыми из табл. 7.1.) провести внутри треугольника дуги, пересечение которых и определит положение точки O' .

В направлении векторов фазных напряжений потребителей в масштабе проводятся векторы фазных токов I_A , I_B и I_C (они совпадают по фазе с фазными напряжениями).

8. В отчете по данной лабораторной работе укажите, к каким нежелательным последствиям может привести случайный обрыв нулевого провода при неравномерной нагрузке фаз и соединении потребителей звездой (как правило, электрическое освещение).

Контрольные вопросы

1. Что называется трехфазной электрической системой?
 2. Каков порядок соединения фаз «звездой»?
 3. Какие провода называют линейными?
 4. Дайте определения понятиям «фазное» и «линейное» напряжение?
 5. Какие токи и напряжения называют линейными? Фазными?
 6. Какая нагрузка называется симметричной?
 7. Какая нагрузка называется несимметричной?
 8. Каково отношение фазных и линейных токов напряжений симметричной системы? Какую систему называют несимметричной?
 9. Чему равен ток в нулевом проводе при симметричной нагрузке? При несимметричной?
 10. Как изменяются токи и напряжения в фазах симметричной системы при отрыве линейного провода в схемах с нулевым проводом и без него? При коротком замыкании?
 11. Преимущества и недостатки трехфазных цепей при соединении звездой без нулевого провода и с нулевым проводом?
 12. Объясните наличие нулевого провода в трехфазной цепи?
 13. Почему практически осветительную нагрузку соединенную звездой, нельзя включать без нулевого провода?
6. При отключении линейного провода (например, в фазе A) потребители питаются предохранителями или оборвались провод воздушной линии, питающей потребителей, в условиях опыта необходимо вынуть вставку плавкого

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

Цель работы: Целью настоящей работы является опытная проверка основных соотношений между напряжениями и токами в трехфазной цепи при соединении приемников энергии треугольником.

Теоретические сведения

Схема соединения в треугольник показана на рис. 8.1.

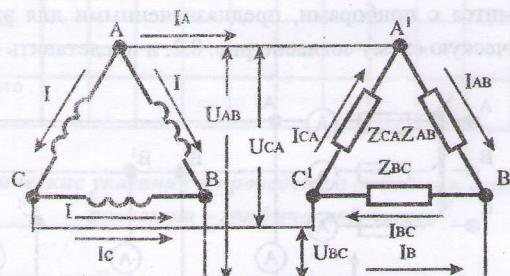


Рис. 8.1. Схема соединения в треугольник

При соединении в треугольник уже не приходится различать фазные и линейные напряжения, так как напряжение между началом и концом каждой фазы приемника оказывается в то же время линейным напряжением. Зато появляется различие между фазными и линейными токами. При симметричной нагрузке фаз, т.е. при одинаковых по величине и характеру фазных сопротивлениях $r_{AB}=r_{BC}=r_{CA}$ между фазным и линейным током имеет место такое же соотношение, как между линейным и фазным напряжением при соединении звездой, а именно:

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi$$

При неравномерной нагрузке фаз приемника эта зависимость нарушается.

Приборы и оборудование

1. Источник питания – четырехпроводная трехфазная сеть напряжением 220/127 В с коммутационной аппаратурой и защитой.

2. Панели с лампами накаливания на номинальное напряжение 220 В с мощностью порядка 1 кВт в каждой фазе.

3. Три амперметра электромагнитной системы с пределом измерения силы тока до 5А.
4. Амперметр электромагнитной системы с пределом измерения до 3А.
5. Вольтметр электромагнитной системы с пределом измерения 30, 150 = 300В.
6. Однополюсный рубильник на ток до 5А.
7. Соединительные провода с наконечниками.
8. Однополюсные выключатели – 15 шт.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с приборами, предназначенными для этой работы, собрать электрическую схему согласно рис. 8.2. и представить ее на проверку.

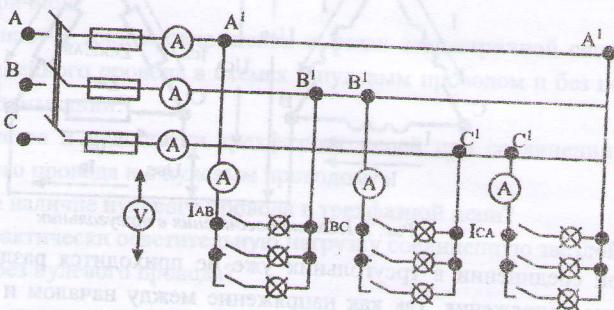


Рис. 8.2. Трехфазная цепь при соединении фаз треугольником

2. Установить равномерную нагрузку фаз и включить установку под напряжение. Записать показания всех амперметров и вольтметра подключаемого поочередно к зажимам $A'B'$, $B'C'$, и $C'A'$, в табл. 8.1.
3. Изменяя число работающих ламп в фазах, повторить измерения токов и напряжений; показания приборов записать в ту же таблицу. Убедится, что при неравномерной нагрузке фазовые напряжения сохраняются одинаковыми.
4. Отключить полностью лампы в одной фазе (например, $I_{AB} = 0$) и снова записать показания всех приборов в табл. 8.1.
5. При наличии нагрузки во всех трех фазах (при снятом напряжении): отсоединить один линейный провод от схемы, что равносильно перегоранию плавкой вставки предохранителя, включить установку и вновь записать показания всех приборов в табл. 8.1.

6. Для случаев равномерной нагрузки и для одного случая неравномерной нагрузки построить в масштабе по данным таблицы 8.1. векторные диаграммы.
7. Сделать краткие выводы о выполненной работе.

Таблица 8.1

№ п/п	Характер нагрузки	I_{AB}	I_{BC}	I_{CA}	I_A	I_B	I_C	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	P_{AB}	P_{BC}	P_{CA}	P
1	Равномерная													
2														
3														
4														
5														
6	Обрыв линейного провода													

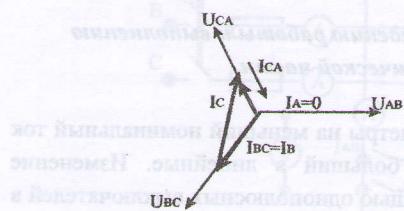
*Методические указания к проведению работы и выполнению
расчетно – графической части*

- При сборке схемы необходимо амперметры на меньший номинальный ток включать в фазные провода, а на больший в линейные. Изменение нагрузки в фазах осуществлять с помощью однополюсных выключателей в цепи каждой лампы.
- Обратить внимание на то, что при неравномерной нагрузке фаз их фазные напряжения остаются одинаковыми, поскольку они являются одновременно и линейными напряжениями источника питания (сети).
- При отключенной нагрузке фазы AB схема остается включенной в трехфазную линию в «открытый треугольник». Потребители действующих фаз BC и CA по – прежнему находятся под нормальным для них линейным напряжением и работают normally (обратите внимание на накал нитей ламп). В линейных проводах проходят не одинаковые по силе токи. В проводах A и B протекают линейные токи, равные фазным, а в проводе C – линейный ток, равный геометрической разности токов фаз BC и CA . В случае одинаковой нагрузке в этих фазах линейный ток в проводе C будет $I_C = I_\phi / \sqrt{3}$.
- В случае обрыва линейного провода (например, фазы A), что при опыте осуществляется снятием вставки предохранителя, цепь получает питание по двум проводам и становится однофазной при смешанном соединении электроприемников. Лампы фазы $B^I C^I$ остаются включенными на полное

фазное напряжение, а лампы фаз $C'A'$ и $\Phi'B'$ оказываются включенным между собой последовательно на то же линейное напряжение, которое делится между ними пропорционально сопротивлениям этих фаз.

5. Примерный вид векторных диаграмм и токов при неравномерной нагрузке фаз, в случае отсутствия нагрузки в фазе AB показан на рис. 8.3 *a*. Как видно из диаграммы на рис. 8.3 *b*, значительная неравномерность нагрузки фаз (ток I_{AB} в два раза больше тока I_{CA}) не вызывает такой же неравномерности нагрузки линейных проводов, что очень важно для уменьшения потерь напряжения и потерь мощности в линии электропередачи. Напомним, что мощность потерь на выделения теплоты в проводах пропорциональна квадрату силы тока: $\Delta P_{pp} = I^2 R_{pp}$. Поэтому перегрузка одного провода за счет недогрузки других сопряжена со значительными потерями при передаче электрической энергии.

a)



b)

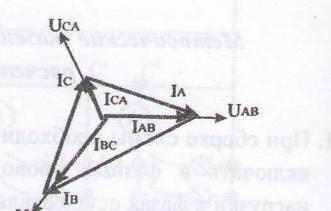


Рис. 8.3. Векторные диаграммы для трехфазной цепи при соединении фаз треугольником:
a - при отсутствии тока в фазе AB ; *b* - при неравномерной нагрузке всех трех фаз

6. В отчете по лабораторной работе укажите на достоинства соединения ламп треугольником, состоящее в том, что и в случае неравномерной нагрузки фаз фазные напряжения у зажимов отдельных ламп остаются одинаковыми и равными линейным напряжениям. К недостатку этой схемы следует отнести то, что данная трехфазная система располагает только одним напряжением, поскольку $U_L = U_\phi$, тогда как при соединении звездой имеется возможность питать электроприемники двумя напряжениями – линейным и фазным, отличающимся по величине в $\sqrt{3}$ раз.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

Цель работы: Цель работы заключается в опытной проверке графического метода расчета разветвленных и неразветвленных цепей постоянного тока, содержащих нелинейные элементы.

Теоретические сведения

Электрические цепи, содержащие один или несколько элементов с нелинейными вольтамперными характеристиками (В.А.Х. – зависимость тока, протекающего по элементу от напряжения на нем), принято называть нелинейными цепями. Нелинейным называется такой элемент, который обладает нелинейной вольтамперной характеристикой. Встречающиеся в электрических цепях нелинейные элементы могут быть симметричными и несимметричными.

К первым относятся такие элементы, как электрические лампы накаливания, барреттеры, термосопротивления и др. Их вольтамперные характеристики не зависят от направления тока.

Ко вторым относятся такие элементы, как, например, электрическая дуга с разнородными электродами, электронные лампы, вентили и др. Их вольтамперные характеристики при различных направлениях токов и напряжений различны.

Если вольтамперные характеристики можно представить аналитическими функциями, то исследование нелинейных цепей проводят аналитическим методом. Однако, в большинстве случаев вольтамперные характеристики не поддаются замене аналитической функцией. Поэтому нелинейные цепи чаще всего приходится рассчитывать графоаналитическим методом, основанным на законах Кирхгофа.

Приборы и оборудование

1. Источник постоянного тока на номинальное напряжение 12 и 24В и ток до 12А.
2. Лабораторные проволочные реостаты – 1 шт.
3. Нелинейные элементы (барреттеры) – 2 шт.
4. Амперметры магнитоэлектрической системы типа М109 до 5А – 1 шт.
5. Вольтметры – 1 шт.
6. Соединительные провода с наконечниками.

Порядок выполнения работы

В настоящей работе следует опытным путем получить зависимости токов от напряжения для элементов, указанных на схемах и построить их вольтамперные характеристики.

1. Снятие вольтамперных характеристик

- Собрать цепь для снятия вольтамперной характеристики исследуемых элементов рис.9.1.

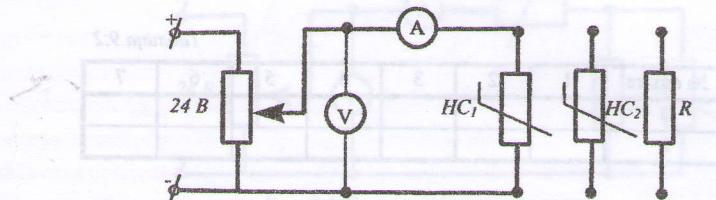


Рис. 9.1. Экспериментальная схема

- Плавно изменяя напряжение от 0 до U_{max} снять В.А.Х. HC_1 , HC_2 и R поочередно. Не следует допускать тока в цепи более одного ампера.
Результаты измерений занести в таблицу 9.1

Таблица 9.1

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
HC_1	U						
HC_1	I						
HC_2	U						
HC_2	I						
R	U						
R	I						

- Изобразить В.А.Х. исследуемых элементов на графике.

2. Последовательное соединение элементов

- Собрать цепь, показанную на рис. 9.2.
- Плавно изменяя напряжение от 0 до U_{max} снять В.А.Х. токов и напряжений. Результаты измерений занести в таблицу 9.2.

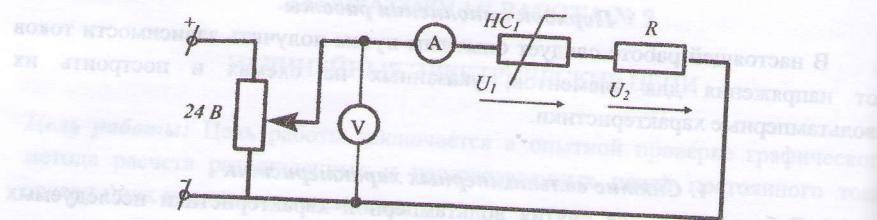


Рис. 9.2. Экспериментальная схема

Таблица 9.2

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
U							
I							

2.3. По данным таблицы 9.2 построить В.А.Х. цепи. Сравнить ее с расчетной, построенной графическим методом по известным вольтамперным характеристикам HC_1 и R (см. п.1.3). По расчетным В.А.Х. определить величину тока I и напряжения U_1 и U_2 на элементах при заданных преподавателем значениях общего напряжения U .

3. Параллельное соединение элементов

3.1. Собрать цепь, показанную на рис. 9.3.

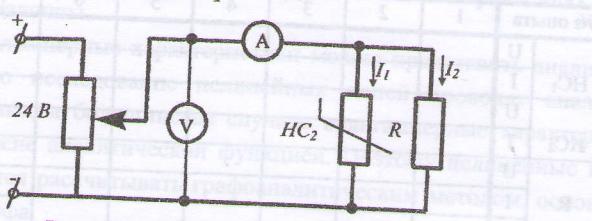


Рис. 9.3. Экспериментальная схема

3.2. Плавно изменяя напряжение от 0 до U_{max} снять В.А.Х. токов напряжений. Результаты измерений занести в таблицу 9.3.

3.3. По данным таблицы 9.3, а также расчетным путем построить В.А.Х. цепи, используя В.А.Х. HC_2 и R (см. п.1.3). Результаты построений сравнить.

3.4. По расчетным В.А.Х. определить величины токов I_1 и I_2 при напряжении U заданном преподавателем.

отсюда получим характеристики каждого элемента

Таблица 9.3

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
U							
I							

4. Смешанное соединение элементов

4.1. Собрать цепь, показанную на рис. 9.4.

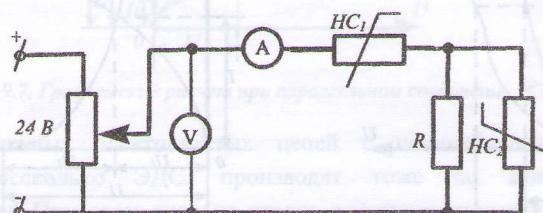


Рис. 9.4. Экспериментальная схема

4.2. Плавно изменяя напряжение от 0 до U_{max} снять В.А.Х. токов и напряжений. Результаты измерений занести в таблицу 9.4.

Таблица 9.4

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
U							
I							

4.3. По данным таблицы 9.4, а также расчетным путем построить В.А.Х. цепи, используя В.А.Х. HC_2 и R (см. п.1.3.). Результаты построений сравнить.

4.4. По расчетным В.А.Х. определить величины I_1 , I_2 и U_1 , U_2 при заданном преподавателем напряжении U .

Методические указания к проведению работы и выполнению расчетно – графической части

Расчет неразветвленных цепей, содержащих несколько нелинейных элементов, проводится с применением вспомогательных характеристик.

Эти характеристики могут быть построены или сложением напряжения при одних и тех же токах, как это показано на рис. 9.5 для двух элементов, или путем вычитания абсцисс заданных вольтамперных характеристик из

напряжения источника питания при соответствующих значениях тока, как это показано на рис. 9.6.

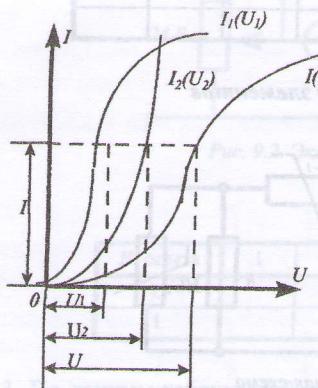


Рис. 9.5. Графический расчет при последовательном соединении НЭ

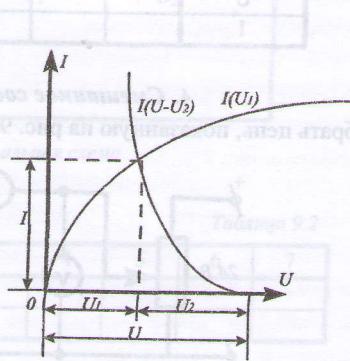
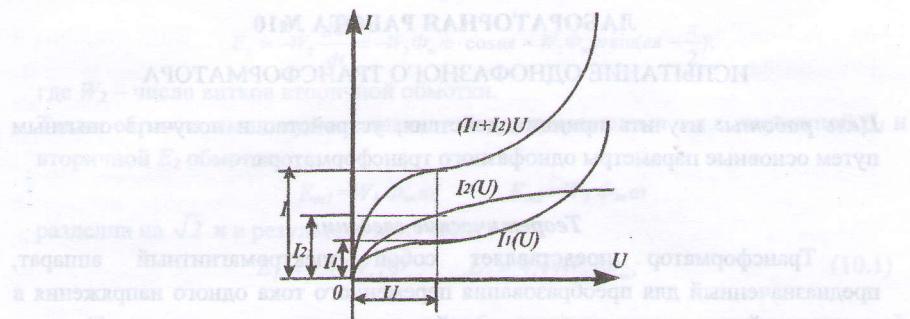


Рис. 6. Графический расчет с помощью вспомогательной характеристикой

Аналогичным путем строятся характеристики и при наличии трех и более нелинейных элементов. Графическое определение токов и напряжений по вспомогательным характеристикам показано на рис. 9.5 – 9.6.

В случае параллельного соединения элементов вспомогательные характеристики строятся сложением координат при одинаковых напряжениях. Построение вспомогательной характеристики для двух параллельно соединенных элементов и пользование ею показано на рис. 9.7.

При расчете цепей со смешанным соединением элементов сначала строятся вспомогательная характеристика для эквивалентного участка, состоящего из параллельного соединения элементов, а затем строится результирующая характеристика для всех последовательных участков, включая и эквивалентный.



Rис. 9.7. Графический расчет при параллельном соединении НЭ

Расчет сложных электрических цепей с нелинейными элементами, содержащими несколько ЭДС, производят тоже по вспомогательным характеристикам. При этом сначала строят вспомогательные характеристики для всех участков, находящихся под действием узлового напряжения, а затем с применением первого или второго закона Кирхгофа строится результирующая расчетная характеристика.

Контрольные вопросы

1. Какую цепь называют нелинейной цепью?
2. Какой элемент называют нелинейным элементом?
3. Что называется вольтамперной характеристикой?
4. Как опытным путем получить В.А.Х. линейного элемента?
5. Как построить В.А.Х. линейного элемента?
6. Какие нелинейные элементы называют несимметричными?
7. Как графически рассчитать нелинейную цепь при последовательном соединении элементов?
8. Как графически рассчитать нелинейную цепь при параллельном соединении элементов?
9. Как графически рассчитать нелинейную цепь при смешанном соединении элементов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10
ИСПЫТАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: изучить принцип действия, устройство и получить опытным путем основные параметры однофазного трансформатора.

Теоретические сведения

Трансформатор представляет собой электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

В простейшем случае (рис. 10.1) трансформатор имеет одну первичную обмотку 1 к которой подводится электрическая энергия, и одну вторичную обмотку 2, от которой энергия отводится к потребителю. Передача энергии из одной обмотки в другую производится путем электромагнитной индукции. Для усиления электромагнитной связи между обмотками последние обычно располагаются на замкнутом ферромагнитном сердечнике 3. С целью уменьшения потерь на вихревые токи и гистерезис сердечник 3 обычно изготавливается из листов электротехнической стали.

При подключении первичной обмотки трансформатора (рис. 10.1.) к сети с синусоидальным напряжением в первичной обмотки возникает ток I_1 , который создает синусоидально изменяющийся магнитный поток.

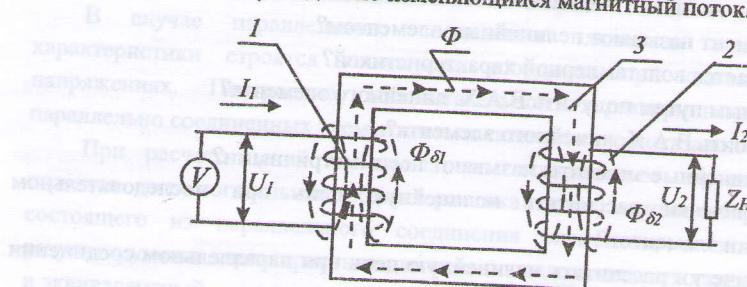


Рис. 10.1. Схема простейшего трансформатора

$$\Phi_t = \Phi_m \sin \omega t,$$

где Φ_m – амплитудное значение потока, замыкающегося по сердечнику 3.
 Поток Φ индуцирует э.д.с. как в первичной обмотке

$$E_1 = -W_1 \frac{d\Phi}{dt} = -W_1 \Phi_m \omega \cdot \cos \omega t = W_1 \Phi_m \omega \sin(\omega t - \frac{\pi}{2});$$

где W_1 – число витков первичной обмотки, так и во вторичной обмотке

$$E_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt} = -W_2 \Phi_m \omega \cdot \cos \omega t = W_2 \Phi_m \omega \sin(\omega t - \frac{\pi}{2});$$

где W_2 – число витков вторичной обмотки.

Таким образом, амплитудные значения индуктируемых э.д.с. первичной E_1 и вторичной E_2 обмоток,

$$E_{m1} = W_1 \Phi_m \omega, \quad E_{m2} = W_2 \Phi_m \omega$$

разделив на $\sqrt{2}$ и в результате получаем:

$$E_1 = 4,44 W_1 f \Phi_m; \quad E_2 = 4,44 W_2 f \Phi_m; \quad (10.1)$$

При подключении ко вторичной обмотке нагрузки возникает вторичный ток I_2 и на ее зажимах устанавливается некоторое напряжение U_2 . Результирующий магнитный поток сердечника Φ создается током обеих обмоток. В этом случае в формулах вместо потока Φ нужно подставить поток Φ .

Отношение э.д.с. первичной и вторичной обмоток или отношение их чисел витков называется *коэффициентом трансформации*.

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}; \quad (10.2)$$

Если не учитывать потери в трансформаторе, то приближенно можно получить:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{W_1}{W_2}; \quad (10.3)$$

В процессе эксплуатации трансформаторы могут работать в режимах холостого хода, нагрузочном и аварийного короткого замыкания. Для нагрузочного режима, который получается при подсоединении ко вторичной обмотке нагрузки сопротивлением Z_h , можно получить уравнение по второму закону Кирхгофа в комплексной форме относительно первичной и вторичной цепи

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 = \dot{I}_1(r_1 + jx_1); \quad \dot{E}_2 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2(r_2 + jx_2); \quad (10.4)$$

где r_1, x_1 – активное и индуктивное сопротивления первичной обмотки;

r_2, x_2 – активное и индуктивное сопротивления вторичной обмотки.

В режиме нагрузки результирующая м.д.с. равна сумме м.д.с. первичной и вторичной обмоток.

$$\dot{I}_1 W_1 + \dot{I}_2 W_2 = \dot{I}_0 W_1 \quad \text{или} \quad \dot{I}_1 + \frac{1}{K} \dot{I}_2 = 0; \quad (10.5)$$

где I_0 – ток намагничивания.

Расчеты токов и напряжений в трансформаторе могут быть сведены к обычным расчетам цепей переменного тока. Для этой цели составляется схема замещения трансформатора, процессы в которой описываются теми же уравнениями, как и процессы в реальном трансформаторе. В этом случае первичные и вторичные токи, напряжения и другие величины имеют одинаковый порядок, что удобно в расчетах и построении векторной диаграммы. При составлении схемы замещения удобно применять прием, который заключается в том, что фаза э.д.с. в первичной и вторичной обмотках изменяется на π , т.е. вводится вектор

$$\dot{E}_o = \dot{E}_1 = -\dot{E}'_2 \quad (10.6)$$

$E'_2 = KE_2$ – приведенная вторичная э.д.с.

Фазы вторичного тока и напряжения тоже меняются на π и вводятся векторы

$$\dot{I}'_2 = -\frac{\dot{I}_2}{K}; \quad \dot{U}'_2 = -K\dot{U}_2 \quad (10.7)$$

где \dot{I}'_2, \dot{U}'_2 – приведенные вторичный ток и напряжение.

С учетом этого, уравнения трансформатора (10.4, 10.5) могут быть записаны в следующем виде:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{E}_o + \dot{I}_1(r_1 + jx_1); \\ \dot{U}'_2 &= \dot{E}_o - \dot{I}_2(r'_2 + jx'_2); \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_o + \dot{I}_2; \end{aligned} \quad (10.8)$$

где $r'_2 = K^2 r_2, x'_2 = K^2 x_2$ – приведенное активное и реактивное сопротивление вторичной обмотки.

Систему уравнений (10.8) иногда называют *уравнениями приведенного трансформатора*. По этим уравнениям составлена схема замещения трансформатора (рис. 10.2).

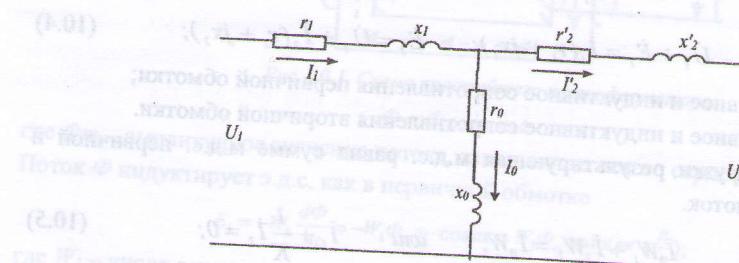


Рис. 10.2. Схема замещения однофазного трансформатора

Сопротивление контура намагничивания

$Z_0 = r_0 + jx_0$

имеет активную r_0 и индуктивную x_0 составляющие и определяется так, чтобы выполнялось условие

$$\dot{E}_0 = -\dot{E}_1 = I_0 Z_0$$

Параметры и отдельные величины, входящие в систему уравнений (10.8) и схему замещения (рис. 10.2), не всегда бывают известны. Эти величины и параметры легче всего определить из опытов холостого хода (хх) и короткого замыкания (кз). Если неизвестны число витков W_1 и W_2 , то коэффициент трансформации обычно определяется из опыта холостого хода, который представляет режим работы трансформатора, когда первичная обмотка присоединена к сети переменного тока, а вторичная — разомкнута. Следовательно, измерив напряжение первичной U_1 и вторичной U_2 обмоток по формуле (10.3), достаточно точно можно оценить коэффициент трансформации K .

Следует отметить что потери в режиме холостого хода в основном определяются потерями в стали. Поэтому из-за малости тока холостого хода I_0 потери в меди незначительны, т.е. при проведении опыта холостого хода ваттметром можно измерить потери в стали трансформатора $P_{ст}$.

Опыт короткого замыкания производится для определения потерь в меди и параметров обмоток. Под опытом короткого замыкания трансформатора понимается такой режим, при котором его вторичная обмотка в ходе испытаний замкнута накоротко, к первичной обмотке приведено пониженное напряжение U_{IK} . Как правило, напряжение U_{IK} выбирается так, чтобы токи вторичной и первичной обмоток равнялись номинальному или составляли 75% и 125% от номинального. При опыте короткого замыкания мощность определяется активными потерями в обмотках трансформатора

$$P_{IK} = I^2_{IK} \cdot r_k \quad (10.9)$$

откуда

$$r_k = \frac{P_{IK}}{I^2_{IK}} \quad (10.10)$$

где $r_k = 2r_1 = 2r'_2$ — активные сопротивления короткого замыкания;

P_{IK} — мощность короткого замыкания;

I_{IK} — ток в первичной обмотке при коротком замыкании вторичной обмотки. Полное сопротивление короткого замыкания трансформатора определяется из выражения

$$Z_k = \frac{U_{IK}}{I_{IK}} \quad (10.11)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} \quad (10.12)$$

где $x_k = 2x_1 = 2x_2'$ – индуктивное сопротивление короткого замыкания.

Следовательно, по результатам опытов короткого замыкания и холостого хода можно определить коэффициент трансформации и потери в стали и меди, сопротивления обмоток и другие величины, необходимые для анализа электрических цепей с трансформаторами.

Приборы и оборудование

1. Испытуемый трансформатор, имеющий первичную обмотку W_1 и вторичные обмотки W_2, W_d .
2. Лабораторный автотрансформатор (ЛАТР). (для регулирования напряжения питающей сети U_1 .)
3. Амперметры – 2 шт.
4. Вольтметры – 2 шт.
5. Ваттметр – 1 шт.

Порядок выполнения работы

1. До начала экспериментов нужно ознакомится с аппаратами и приборами, необходимыми для выполнения работы.
2. Для определения количества витков первичной обмотки W_1 трансформатора производится опыт холостого хода относительно дополнительной обмотки W_d . С этой целью собирается схема (рис.10.3) и с помощью ЛАТРа устанавливается произвольное напряжение U_1 , а к зажимам дополнительной обмотки подключается вольтметр V_d .

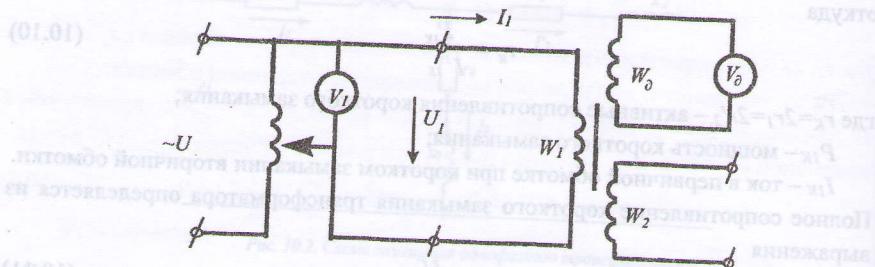


Рис. 10.3. Экспериментальная схема

3. Результаты показаний вольтметров V_1 и V_2 , а также количество витков дополнительной обмотки W_d заносится в таблицу 10.1.

Таблица 10.1

Наименование величин	Измерено		W_d	Вычислено	
	U_I	U_d		K_d	W_I
Приборы измерения	V_1	V_d			
Количественные данные					

4. Согласно схеме рис.10.4 производится опыт холостого хода относительно вторичной обмотки W_2 . С целью определения потерь в стали $P_{ст}$ трансформатора нужно провести испытание при номинальном напряжении U_{IH} . Для этого после сборки схемы (рис.10.4) с помощью ЛАТРа устанавливается номинальное напряжение U_{IH} или $U_{IH}=1,1U_{IH}$. Результаты показаний вольтметров V_1 , V_2 , амперметра AI и ваттметра W заносятся в таблицу 10.2.

5. Опыт короткого замыкания относительно вторичной обмотки производится согласно схеме рис.10.5. С целью ограничения токов в обмотках нужно провести испытания при пониженном напряжении питающей цепи. Для этого после сборки схемы (рис.10.5.) с помощью ЛАТРа устанавливается напряжение $U_I=0,12U_{IH}$, а вторичная обмотка замыкается на амперметр A_2 .

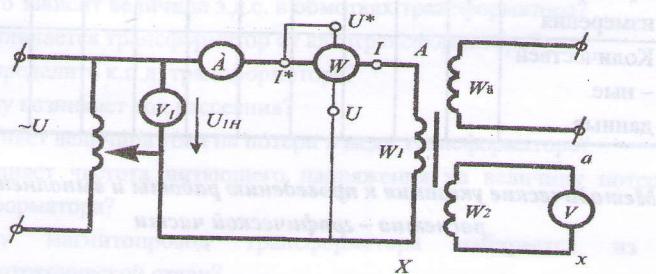


Рис. 10.4. Экспериментальная схема

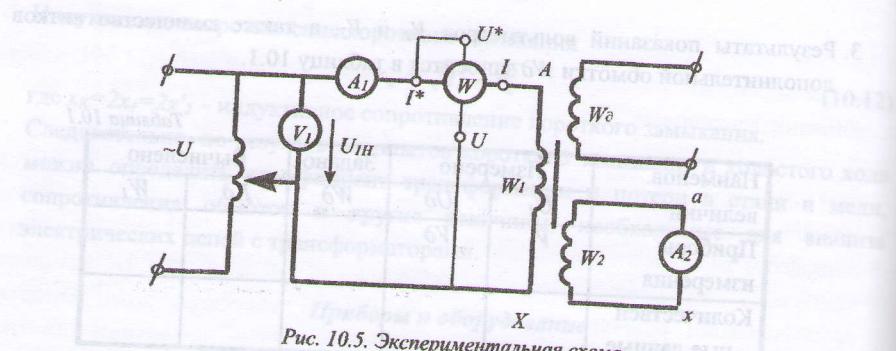


Рис. 10.5. Экспериментальная схема

Таблица 10.2

Наименование величин	Измерено				Вычислено		
	U_1	U_2	I_0	P_{ct}	K_2	W_2	$\cos\phi_0$
Приборы измерения	V_1	V_2	A_1	W			
Количественные данные							

Результаты показаний приборов A_1 , A_2 , вольтметра V_2 и ваттметра W заносятся в таблицу 10.3.

Таблица 10.3

Наименование величин	Измерения				Вычислено				
	U_1	I_{1K}	I_{2K}	P_K	r_K	x_K	r_1	r_2	x_1
Приборы измерения	V_1	A_1	A_2	W					
Количественные данные									

Методические указания к проведению работы и выполнению расчетно-графической части

1. По результатам холостого хода относительно дополнительной обмотки W_d заполняется таблица 10.1. Данные опыта позволяют рассчитать коэффициент трансформации K_d .

$$K_d = \frac{U_1}{U_d}$$

Определить количество витков первичной обмотки.

$$W_i = K_d \cdot W_d$$

2. Согласно опыту холостого хода относительно вторичной обмотки W_2 заполняется таблица 10.2. Опытные данные дают возможность рассчитать коэффициент трансформации.

$$K_2 = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

и определить количество витков вторичной обмотки

$$W_2 = \frac{W_1}{K_2}$$

Кроме того, по данным опыта можно рассчитать

$$\cos \phi_o = \frac{P_{ctm}}{I_o U_1}$$

3. Используя данные опыта короткого замыкания, заполняем таблицу 10.3. В этом случае экспериментальные значения тока короткого замыкания первичной обмотки I_{IK} , потери меди обмоток P_k , а также полученный в таблице 10.2 коэффициент трансформации K_2 и формулы (10.10, 10.11, 10.12) позволят рассчитать параметры обмоток.

Контрольные вопросы

- Лабораторная работа 8. Контрольные вопросы при выполнении
1. Может ли обмотка высшего напряжения быть вторичной обмоткой?
 2. От чего зависит величина э.д.с. в обмотках трансформатора?
 3. Чем отличается трансформатор от автотрансформатора?
 4. Как определить к.п.д. трансформатора?
 5. Почему возникает ток рассеяния?
 6. Как влияет величина тока на потери в меди трансформатора?
 7. Как влияет частота питающего напряжения на величину потерь в стали трансформатора?
 8. Почему магнитопровод трансформатора набирается из листовой электротехнической стали?
 9. Почему опыт короткого замыкания проводится при пониженных напряжениях?
 10. Для каких целей служит трансформатор?

Литература

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Высшая школа, 1984.
 2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: ГАРДАРИКИ, 2007.
 3. Демирчан К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники, изд. 4-е. Питер, 2004.
 4. Жуховицкий Б.Я., Негневицкий И.Б. Нелинейные цепи. – М.: Энергия, 1972.
 5. Иванов И.И., Равдоник В.С. Электротехника. – М.: Высшая школа, 1984.
 6. Касаткин А.С. Электротехника. 1973.
 7. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
 8. Мансуров Н.Н., Попов В.С. Теоретическая электротехника. – М.: Энергия, 1968.
 9. Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. Энергоиздат, 1981.
 10. Общая электротехника / под ред. проф. Пантишина В.С. 1970.
 11. Попов В.С. Теоретическая электротехника. 1971.

Содержание

Правила выполнения работ.....	3
Лабораторная работа 1. Исследование простых линейных электрических цепей постоянного тока.....	6
Лабораторная работа 2. Исследование линии электропередачи постоянного тока.....	11
Лабораторная работа 3. Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением активного сопротивления R, индуктивности L и ёмкости C.....	15
Лабораторная работа 4. Исследование цепи переменного тока с параллельным соединением активного сопротивления R, индуктивности L, ёмкости C.....	21
Лабораторная работа 5. Резонанс напряжений.....	26
Лабораторная работа 6. Резонанс токов.....	31
Лабораторная работа 7. Трехфазная цепь при соединении электроприемников звездой.....	38
Лабораторная работа 8. Трехфазная цепь при соединении электроприемников треугольником.....	45
Лабораторная работа 9. Нелинейные электрические цепи.....	50
Лабораторная работа 10. Испытание однофазного трансформатора.....	56
Список литературы	64

Подписано к печати 10.02.2019 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆.
Бумага офс. Печать офс. Объем 4,125 п.л. Тираж 50 экз. Заказ 202.
Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. Технологический парк ИЦ "Текник"
КГТУ им. И.Раззакова, т.: 54-29-43
e-mail: beknur@mail.ru