

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Барановичский государственный университет»

И. В. Дубень, О. В. Понталёв, А. В. Гайдук

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Лабораторный практикум
для студентов инженерных специальностей

Барановичи
БарГУ
2015

УДК 631.171 : 636(072)
ББК 31.261 : 31.264я73
Д45

Авторы:
И. В. Дубень, О. В. Понталёв, А. В. Гайдук

Рецензенты:
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механизации и энергообеспечения производства учреждения образования «Барановичский государственный университет» В. А. Дремук,
главный инженер филиала республиканского унитарного предприятия «Брестэнерго»
«Барановичские электрические сети» В. В. Масюкевич

Дубень, И. В.
Д45 Электротехника : лаб. практикум для студентов инженер. специальностей / И. В. Дубень, О. В. Понталёв, А. В. Гайдук ; М-во образования Респ. Беларусь, Барановичский государственный университет. — Барановичи : БарГУ, 2015. — 49 с.
ISBN 978-985-498-705-7.

Приведены правила техники безопасности при работе в лаборатории электротехники, порядок подготовки к лабораторным занятиям и оформления отчётов, методика проведения опытов и обработки опытных данных при выполнении лабораторных работ.

Издание предназначено для студентов инженерных специальностей, изучающих дисциплины «Электротехника», «Электротехника, электрические машины и аппараты» и «Электротехника и электроника».

УДК 631.171 : 636(072)
ББК 31.261 : 31.264я73

Учебное издание

Дубень Игорь Викторович
Понталёв Олег Владимирович
Гайдук Александр Владимирович

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Лабораторный практикум
для студентов инженерных специальностей

Ответственный за выпуск Е. Г. Хохол
Технический редактор Е. П. Юзефович
Компьютерная вёрстка Е. П. Юзефович
Корректор Е. П. Юзефович

Подписано в печать 24.12.2015. Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,00. Уч.-изд. л. 1,60. Тираж 125 экз. Заказ 1108.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Барановичский государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/424 от 02.09.2014.

Ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.
Тел. 8 (0163) 45 46 28, e-mail: rio@barsu.by .

ISBN 978-985-498-705-7

© БарГУ, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Лаборатория электротехники БарГУ оснащена комплектными стендами К4822-2, на базе которых студенты инженерного факультета выполняют лабораторные работы по направлению «Электротехника».

При подготовке к занятиям предварительно необходимо ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и строго соблюдать требования техники безопасности. Теоретическая часть, относящаяся к первому циклу лабораторных работ по дисциплинам «Электротехника», «Электротехника, электрические машины и аппараты» и «Электротехника и электроника», изучается по лекциям и соответствующим литературным источникам.

Студенты, явившиеся на занятие неподготовленными, к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Выполнение лабораторных работ:

1. На рабочем месте необходимо ознакомиться с приборами, аппаратами и прочим оборудованием, записать в отчёт технические данные объектов и средств исследования. При этом нужно выяснить, какие зажимы приборов соответствуют тем или иным точкам электрической схемы и в какие положения нужно установить органы управления на блоке питания.

2. Сборку электрических цепей следует производить, пользуясь соответствующей электрической схемой и указаниями руководителя.

3. При сборке схемы нужно сначала собрать последовательную (токовую) цепь, начиная от одного зажима источника к другому, а затем — параллельные участки цепи.

4. Во время выполнения работы необходимо следить за показаниями приборов и не перегружать их.

5. По окончании опытов лабораторный стенд нужно отключить, показать руководителю полученные результаты и с его разрешения разобрать электрическую схему.

Уход из лаборатории до окончания занятий запрещается. Время, отводимое студентам для выполнения лабораторной работы, равно двум академическим часам.

Отчёты по лабораторным работам оформляются согласно общепринятым на инженерном факультете нормам и правилам. Электрические схемы выполняются карандашом с соблюдением правил начертания и обозначения элементов согласно системе ЕСКД. Все вычисления следует производить в системе единиц СИ. Построение экспериментальных кривых выполняется в прямоугольной системе координат, желательно на миллиметровой бумаге. Координатные оси должны иметь обозначения изображаемых величин, размерность и масштаб.

Содержание отчёта:

1. Наименование работы и её номер, а также цель работы.
2. Перечень аппаратуры, её технические данные, условные обозначения.
3. Краткое описание порядка выполнения работы с принципиальными электрическими схемами.
4. Основные расчётные формулы с подробной расшифровкой условных обозначений и указанием единиц измерения.
5. Результаты измерений и расчётов.
6. Графические зависимости и векторные диаграммы (при необходимости).
7. Анализ результатов работы и выводы.

Отчёты, выполненные с отступлениями от вышеперечисленных требований, к защите не допускаются.

Лабораторная работа считается защищённой, если студент показывает знание цели, физической сущности исследуемых процессов, методики выполнения опытов, может объяснить и проанализировать полученные результаты, сделать выводы и обосновать их.

ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

К работе в учебной лаборатории электротехники допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности с обязательной росписью в соответствующем журнале.

Перед началом выполнения лабораторной работы:

1. Изучить указания по выполнению работы, правила работы с приборами и оборудованием, а также правила техники безопасности при работе в лаборатории электротехники.

2. Ознакомиться с экспериментальной установкой, подготовить рабочее место, убрав все посторонние предметы.

3. Убедиться, что переключатели напряжения на блоке питания находятся в нулевом положении, а рукоятки регулирования лабораторных автотрансформаторов выведены в крайнее левое положение.

При выполнении лабораторной работы:

1. Строго соблюдать правила работы с используемыми приборами и оборудованием.

2. Не наклоняться низко над приборами и оборудованием, не передавать через них предметы и не опираться на них.

3. Быть внимательным, соблюдать порядок, не вмешиваться в работу других студентов и не отвлекать их разговорами.

4. Не включать приборы и оборудование, работа которых не предусмотрена заданием.

5. Не оставлять без присмотра включённое оборудование.

6. На рабочем месте поддерживать чистоту и порядок, не загромождать проходы.

7. Перед сборкой электрических схем следует убедиться в исправности изоляции используемых соединительных проводов. Запрещается пользоваться проводами без наконечников.

8. Собирать электрические цепи разрешается только при выключенных автоматических выключателях.

9. При сборке цепей следует избегать излишнего пересечения соединительных проводов.

10. При сборке цепей постоянного тока необходимо соблюдать полярность включения приборов в соответствии с полярностью источника тока.

11. Включать стенды под напряжение разрешается только после проверки сборки электрических цепей руководителем и только в его присутствии.

12. Не прикасаться к неизолированным проводам, соединительным зажимам и другим частям электрических цепей, которые находятся под напряжением.

13. Прежде чем производить какие-либо изменения в схеме, необходимо отключить её от источника электрической энергии, а после присоединения получить разрешение руководителя на повторное включение.

14. Запрещается без надобности держать собранную цепь под напряжением во избежание перегрева источника питания и элементов цепи.

15. При отключении цепей переменного тока, содержащих индуктивности и ёмкости, следует плавно снизить напряжение питания рукояткой лабораторного автотрансформатора, так как при резком отключении могут возникнуть значительные ЭДС, опасные для человека и для изоляции обмоток.

16. Перед разборкой цепи необходимо убедиться, что источник питания отключён. Запрещается выдёргивать соединительные провода из зажимов.

17. При обнаружении любой неисправности в электротехническом устройстве, находящемся под напряжением, а также при появлении дыма, специфического запаха или искрения, следует немедленно сообщить о случившемся руководителю лабораторного занятия.

18. После выполнения лабораторной работы необходимо выключить питание стенда, разобрать цепь и привести в порядок рабочее место.

В случае возникновения аварийной ситуации:

1. Немедленно прекратить работу.
2. Отключить вышедшее из строя оборудование либо отключить напряжение в лаборатории общим выключателем и доложить о случившемся руководителю.
3. В случае поражения человека электрическим током немедленно оказать пострадавшему доврачебную медицинскую помощь, освободив его от действия электротока, сообщить о случившемся руководителю или в скорую помощь.
4. При возникновении пожара или возгорания следует немедленно сообщить о случившемся руководителю или в городскую пожарную службу.

Помните! Несоблюдение правил техники безопасности может привести к поражению электрическим током или выходу из строя дорогостоящей измерительной аппаратуры и оборудования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

Исследование цепи постоянного тока с последовательным соединением приёмников

Цель работы: изучить основные соотношения между физическими величинами в неразветвлённой цепи постоянного тока с последовательным соединением приёмников; экспериментально определить силу тока в цепи, сопротивление нагрузки и падение напряжения на её элементах, проверить закон Ома и второй закон Кирхгофа; определить потребляемую мощность и работу электрического тока.

Основные теоретические сведения

Согласно закону Ома для участка цепи постоянного тока, состоящего из соединённых последовательно резистивных приёмников, сила тока I (А) прямо пропорциональна подведённому напряжению и обратно пропорциональна суммарному сопротивлению:

$$I = U / R, \quad (1.1)$$

где U — подведённое напряжение, В;

R — сопротивление цепи с учётом всех n приёмников, вычисляемое по формуле

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i,$$

где R_i — сопротивление i -го токоприёмника, Ом.

Согласно второму закону Кирхгофа, алгебраическая сумма ЭДС E в контуре равна алгебраической сумме падений напряжения на участках:

$$E = \sum_{i=1}^n U_i = I \sum_{i=1}^n R_i, \quad (1.2)$$

где U_i — падение напряжения на i -м токоприёмнике, В.

Мощность P_i (Вт), потребляемая i -м приёмником, вычисляется по формуле

$$P_i = I^2 R_i.$$

Суммарная мощность приёмников P (Вт) определяется из выражения

$$P = I^2 R = U^2 / R.$$

Уравнение баланса мощности имеет вид:

$$P_{\text{ист}} = P = \sum_{i=1}^n P_i,$$

где $P_{\text{ист}}$ — мощность источника, Вт, вычисляемая по формуле $P_{\text{ист}} = UI$.

Работа A (Дж) электрического тока в цепи за время t (с) определяется следующим образом:

$$A = I^2 R t = U^2 t / R. \quad (1.4)$$

Порядок выполнения работы

1. Отключите на блоке питания все выключатели, установите переключатели в среднее положение, рукоятки — в положение против часовой стрелки до упора.

2. Установите на лабораторный стенд плату № 1 и соберите схему (рисунок 1.1). На штатив установите необходимые для проведения опытов приборы.

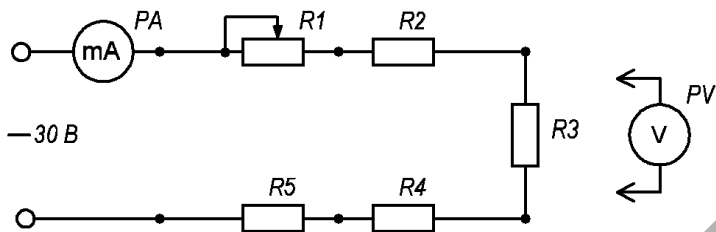
3. Установите на блоке питания переключатель «0—30 V» в положение «—», сопротивление резистора $R1$ — по указанию преподавателя. Подключите схему к клеммам питания «0—30 V» штатива. По разрешению руководителя включите лабораторный стенд в сеть кнопкой «Пуск» на панели блока питания.

4. Рукояткой «0—30 V» на блоке питания установите ток I в цепи, равный 30 мА, контролируя его по миллиамперметру PA . При трёх положениях резистора $R1$ (в порядке уменьшения сопротивления) измерьте падение напряжения U_i на всех резисторах, а также напряжение U на всём участке $R1—R5$ с помощью вольтметра PV . Результаты измерений запишите в таблицу (рисунок 1.2).

5. Определите сопротивление каждого участка R_i и всей цепи R , мощность P_i отдельных токоприёмников, а также мощность P всей нагрузки. Результаты расчётов запишите в таблицу (см. рисунок 1.2).

6. Проверьте закон Ома для неразветвлённой цепи по выражению (1.1), второй закон Кирхгофа по выражению (1.2), а также баланс мощности в цепи по выражению (1.3). Результаты проверки следует отразить в выводах.

7. Определите работу A (Дж) электрического тока в цепи за время t (по указанию руководителя) по выражению (1.4).



$R1$ — резистор ППБ-25Г, 220 Ом; $R2$ — $R5$ — резисторы ПЭВ-7,5, 200 Ом;
 PA — миллиамперметр постоянного тока, 50 мА;
 PV — вольтметр постоянного тока, 50 В

Рисунок 1.1 — Принципиальная электрическая схема цепи постоянного тока с последовательным сопротивлением приёмников

Т а б л и ц а __ — Результаты исследования неразветвлённой цепи постоянного тока

Величина (расчётная формула)	Единица измерения	Участок цепи (номер резистора)				
		1	2	3	4	5
I	А					
U	В					
$R_i = U_i / I$	Ом					
$P_i = I^2 R_i$	Вт					
P	Вт					

Рисунок 1.2 — Образец таблицы для заполнения

Контрольные вопросы

1. Объясните закон Ома для участка цепи постоянного тока с последовательным соединением приёмников.
2. Объясните второй закон Кирхгофа для контура с последовательным соединением приёмников.
3. Почему при увеличении напряжения питания цепи, содержащей резисторы, их сопротивление остаётся практически неизменным?
4. Как определяется мощность и работа источников и приемников в цепи постоянного тока?
5. Как определить коэффициент полезного действия цепи?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

Исследование цепи постоянного тока с параллельным соединением приёмников

Цель работы: изучить основные соотношения между физическими величинами (токи, электродвижущие силы, напряжения, сопротивления) в разветвлённой цепи постоянного тока с параллельным соединением приёмников; экспериментально определить напряжение, силу тока в цепи и её ветвях, сопротивление приёмников; экспериментально проверить первый закон Кирхгофа, сравнив опытные данные с расчётными; определить потребляемую в цепи мощность и работу электрического тока.

Основные теоретические сведения

Закон Ома для разветвлённого участка цепи постоянного тока, содержащего приёмники с сопротивлением R_i , выражается следующим образом:

$$I = Ug = U \sum_{i=1}^n g_i, \quad (2.1)$$

где I — сила тока на неразветвлённом участке, А;

U — подведённое напряжение, В;

g — проводимость всего разветвлённого участка цепи, См;

g_i — проводимость i -й ветви цепи, См.

Проводимость i -й ветви обратно пропорциональна её сопротивлению и выражается в сименсах (См = Ом⁻¹):

$$g_i = 1 / R_i .$$

Таким образом, проводимость разветвлённого участка цепи равна сумме проводимостей всех её ветвей:

$$g = g_1 + g_2 + \dots + g_n = \sum_{i=1}^n (1 / R_i) .$$

Согласно первому закону Кирхгофа, алгебраическая сумма токов в любом узле разветвлённой цепи в любой момент времени равна нулю:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 ,$$

где i — число ветвей, соединённых в узле.

Применительно к цепи постоянного тока с одним источником первый закон Кирхгофа можно сформулировать следующим образом: сила тока в неразветвлённой части цепи равна сумме токов в ветвях. Следовательно, определить силу тока I в неразветвлённой части можно по выражению:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n U g_i = U \sum_{i=1}^n (1 / R_i). \quad (2.2)$$

Мощность P_i (Вт), потребляемая приёмниками в i -й ветви, определяется по формуле

$$P_i = I_i^2 R_i = U^2 g_i.$$

Мощность P (Вт) всех приёмников на разветвлённых участках цепи вычисляется следующим образом:

$$P = \sum_{i=1}^n I_i^2 R_i = \sum_{i=1}^n U_i^2 g_i.$$

Уравнение баланса мощности имеет вид:

$$P_{\text{ист}} = P = \sum_{i=1}^n P_i, \quad (2.3)$$

где $P_{\text{ист}}$ — мощность источника, Вт, находится по формуле $P_{\text{ист}} = UI$.

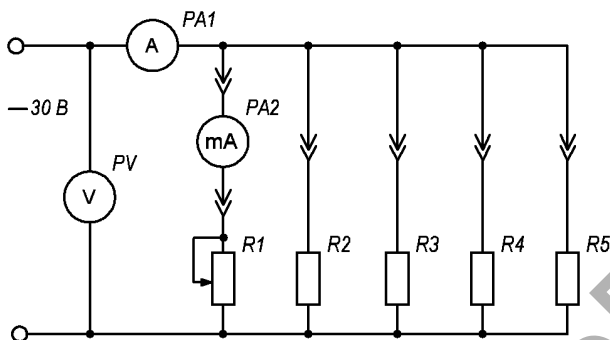
Работа A (Дж) электрического тока в цепи за время t (с) определяется из выражения

$$A = U \cdot I \cdot t = Pt. \quad (2.4)$$

Порядок выполнения работы

1. Отключите на блоке питания все выключатели, установите переключатели в среднее положение, рукоятки потенциометров — против часовой стрелки до упора.

2. Установите в выемку лабораторного стенда плату № 1 вместо вкладыша. На штатив установите необходимые для проведения опытов приборы. С помощью соединительных проводов соберите схему (рисунк 2.1). В качестве узловых точек используйте свободные клеммы, находящиеся в центре платы.



PV — вольтметр постоянного тока, 50 В; *PA1* — амперметр постоянного тока 1 А; *PA2* — миллиамперметр постоянного тока, 300 мА; *R2—R5* — резисторы ПЭВ-7,5, 200 Ом

Рисунок 2.1 — Принципиальная электрическая схема исследования цепи постоянного тока с параллельным соединением приёмников

3. Установите на блоке питания переключатель «0—30 В» в положение «←». Подключите схему к клеммам питания «0—30 В» штатива. С разрешения преподавателя включите лабораторный стенд в сеть кнопкой «Пуск» на блоке питания. Установите сопротивление резистора *R1* по указанию преподавателя, а также напряжение питания 30 В, контролируя его по вольтметру *PV*.

4. С помощью амперметра *PA1* измерьте общий ток *I* в цепи. Поочередно включая миллиамперметр *PA2* в разрыв ветвей цепи, измерьте ток в цепи каждого резистора *R1—R5*. Результаты измерений запишите в таблицу (рисунок 2.2).

Внимание! На время переключений в цепи блок питания следует отключать.

5. По результатам измерений вычислите проводимости g_i ветвей *R1—R5* и всей цепи *g*, сопротивления R_i ветвей *R1—R5* и сопротивление *R* всей цепи, а также мощность P_i приёмников на отдельных ветвях и всей нагрузки *P*, мощность источника $P_{ист}$. Результаты расчётов запишите в таблицу (см. рисунок 2.2).

6. Проверьте выполнение закона Ома для разветвлённой цепи постоянного тока по выражению (2.1), первого закона Кирхгофа по выражению (2.2) и баланса мощности в цепи по выражению (2.3). Результаты проверки следует отразить в выводах.

7. Определите работу A (Дж) электрического тока в цепи за время t (по указанию руководителя) по выражению (2.4).

Т а б л и ц а __ — Результаты исследования цепи постоянного тока с параллельным включением приёмников

Величина (расчётная формула)	Единица измерения	Участок цепи				
		R1	R2	R3	R4	R5
U	В					
I_i	А					
$R_i = U / I_i$	Ом					
$g_i = 1 / R_i$	См					
$g = \sum g_i$	См					
R	Ом					
$P = U^2 g$	Вт					
$P_{ист} = UI$	Вт					

Рисунок 2.2 — Образец таблицы для заполнения

Контрольные вопросы

1. Объясните закон Ома для разветвлённой цепи постоянного тока.
2. Объясните первый закон Кирхгофа.
3. Как определяются сопротивление и проводимость разветвлённого участка цепи?
4. Почему сопротивление разветвлённой цепи не равно сумме сопротивлений ветвей?
5. Как определяются мощность и работа источника в разветвлённой цепи постоянного тока?
6. Как определяются мощность и работа приёмников в разветвлённой цепи постоянного тока?
7. Как определить коэффициент полезного действия цепи?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

Определение параметров резисторов, катушек индуктивности и конденсаторов в цепи переменного синусоидального тока

Цель работы: изучить основные параметры резисторов, катушек индуктивности и конденсаторов в цепи переменного синусоидального тока; экспериментально определить параметры схем замещения резистора, катушки индуктивности и конденсатора в цепи переменного синусоидального тока.

Основные теоретические сведения

Резистор при синусоидальном напряжении питания $u = U_m \sin \omega t$ (рисунок 3.1) обладает активным сопротивлением R , при этом мгновенное значение тока выражается зависимостью

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t .$$

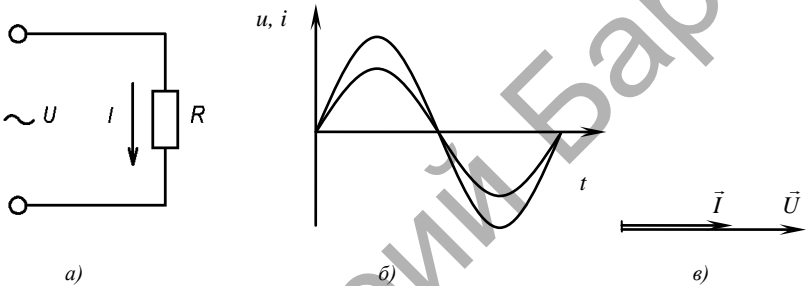


Рисунок 3.1 — Условное обозначение (а), временная (б) и векторная (в) диаграммы тока и напряжения резистора

Амплитуда I_m (А) и действующее значение тока I (А) вычисляются по формулам

$$I_m = U_m / R ;$$

$$I = U / R .$$

Напряжение и ток резистора совпадают по фазе (см. рисунок 3.1, б, в).

Угол сдвига фаз φ (град) определяется следующим образом:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 0 ,$$

где ψ_u и ψ_i — начальные фазы напряжения и тока соответственно, град.

Основным параметром резистора является его сопротивление R (Ом), которое на практике можно определить тремя способами:

1) из закона Ома для участка цепи, содержащей резистор:

$$R = U / I ;$$

2) при известной потребляемой активной мощности по формуле

$$R = U^2 / P ;$$

3) путём непосредственного измерения сопротивления омметром, так как активное сопротивление практически равно омическому при постоянном токе.

Катушка индуктивности без сердечника на схеме замещения (рисунок 3.2) может быть представлена в виде последовательно включённых активного R_L (Ом) и индуктивного X_L (Ом) сопротивлений. Индуктивное сопротивление определяется из выражения

$$X_L = 2\pi fL ,$$

где f — частота тока, Гц;

L — индуктивность, Гн.

Полное сопротивление катушки Z_L (Ом) рассчитывается по формуле

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} .$$

При синусоидальном напряжении питания $u = U_m \sin \omega t$ мгновенное значение тока i выражается зависимостью

$$i = u / Z_L = I_m \sin(\omega t + \varphi) ,$$

где I_m — амплитуда тока, А, определяемая по формуле $I_m = U_m / Z_L$;

φ — угол сдвига фаз между напряжением и током (рисунок 3.3):

$$\varphi = \psi_u - \psi_i .$$

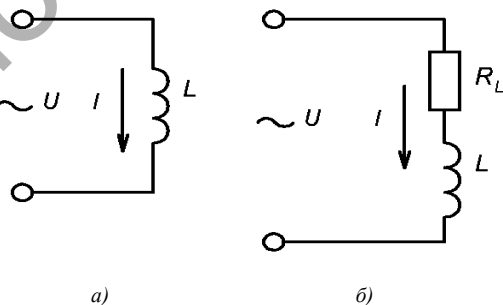


Рисунок 3.2 — Условное обозначение (а) и схема замещения (б) катушки индуктивности без сердечника

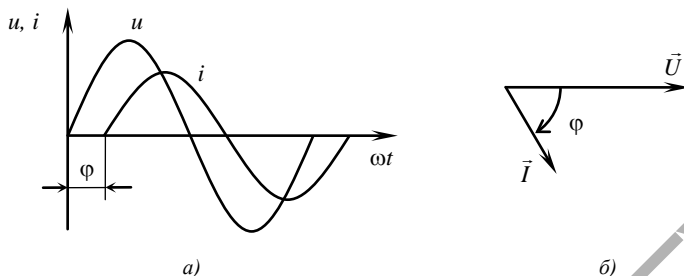


Рисунок 3.3 — Временная (а) и векторная (б) диаграммы напряжения и тока катушки индуктивности

Конденсатор на схеме замещения (рисунок 3.4) может быть представлен в виде параллельно включённых активного R_C и ёмкостного сопротивлений X_C . Расчётная формула ёмкостного сопротивления представлена следующим образом:

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

где C — ёмкость конденсатора, Ф.

При синусоидальном напряжении питания $u = U_m \sin \omega t$ мгновенное значение тока конденсатора выражается зависимостью

$$i = u / Z_L = I_m \sin(\omega t - \varphi), \quad (3.1)$$

где I_m — амплитуда тока, А, вычисляемая по формуле $I_m = U_m / Z_C$.

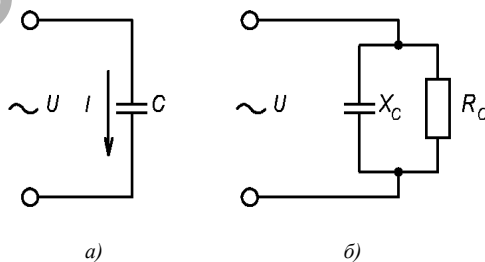


Рисунок 3.4 — Условное обозначение (а) и схема замещения (а) реального конденсатора

Поскольку ток утечки между обкладками конденсатора пренебрежительно мал, то в большинстве случаев можно считать $R_C \rightarrow \infty$, т. е. конденсатор считается идеальным ёмкостным элементом и на схеме замещения изображается только в виде ёмкостного сопротивления X_C . Полное сопротивление при этом равно ёмкостному сопротивлению ($Z_C \approx X_C$).

Знак « \leftarrow » перед значением угла φ в выражении (3.1) указывает на то, что для ёмкостного элемента напряжение отстаёт от тока. Абсолютное значение угла сдвига фаз для конденсатора $\varphi \approx 90^\circ$ (рисунок 3.5).

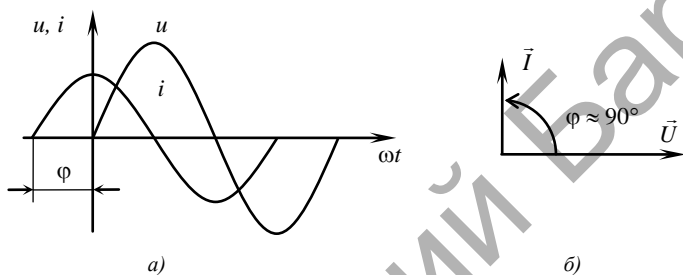


Рисунок 3.5 — Временная (а) и векторная (б) диаграммы напряжения и тока конденсатора

Определение параметров катушки индуктивности и конденсатора производится в следующем порядке:

1. С помощью измерительных приборов измеряется сила тока I , напряжение U и активная мощность P .
2. Определяется полное сопротивление Z (Ом) и полная мощность S ($V \cdot A$) приёмника по формулам

$$Z = U / I ;$$

$$S = UI .$$

3. Вычисляется коэффициент мощности $\cos \varphi$ и угол сдвига фаз φ (град):

$$\cos \varphi = P / S .$$

4. Определяются значения активного R (Ом) и реактивного X (Ом) сопротивлений из выражений:

$$R = Z \cdot \cos \varphi ;$$

$$X = Z \cdot \sin \varphi .$$

5. Для катушки индуктивности вычисляется значение индуктивности L (мГн) по формуле

$$L = \frac{X_L \cdot 10^3}{2\pi f}.$$

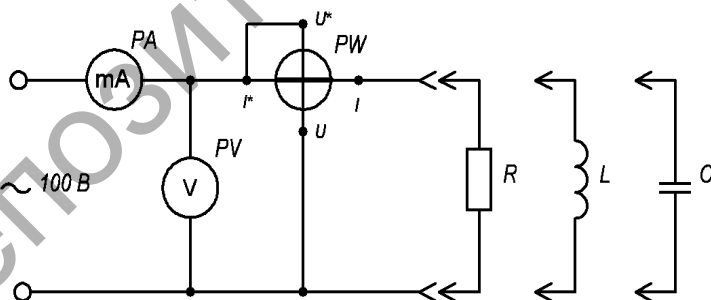
Для конденсатора определяется значение ёмкости C (мкФ) по выражению

$$C = \frac{1 \cdot 10^6}{2\pi f X_C}.$$

Порядок выполнения работы

1. Установите в выемку лабораторного стенда плату № 2. С помощью соединительных проводов соберите схему (рисунок 3.6).

2. Установите переключатель ЛАТР в положение « $\sim 0-250 \text{ V}$ ». Рукоятку автотрансформатора переведите в крайнее левое положение. Подключите схему к клеммам питания « $\sim 0-250 \text{ V}$ » на штативе. В качестве приёмника включите в цепь резистор R . Включите тумблер «Схема собрана» и с разрешения преподавателя включите блок питания стенда в сеть.



PA — миллиамперметр переменного тока, 300 мА; PV — вольтметр переменного тока, 150 В; PW — ваттметр, 0,6 кВт; R — резистор; L — катушка индуктивности; C — конденсатор

Рисунок 3.6 — Схема цепи для определения параметров резистора, катушки индуктивности и конденсатора

3. Вращением рукоятки автотрансформатора установите напряжение питания резистора U , равное 100 В (контролируется по вольтметру PV), и в дальнейшем поддерживайте его. Измерьте ток в цепи I по амперметру PA , активную мощность P по ваттметру (показания ваттметра необходимо умножить на 0,1). Результаты измерений запишите в таблицу (рисунок 3.7).

4. Повторите измерения, включив в качестве нагрузки вместо резистора поочередно катушку индуктивности L и конденсатор C (см. рисунок 3.6). Результаты измерений запишите в соответствующие колонки таблицы (см. рисунок 3.7).

Внимание! На время переключений в цепи блок питания следует отключать.

5. По результатам расчётов постройте векторные диаграммы напряжений и токов для резистора, катушки индуктивности и конденсатора.

6. Полученные значения параметров резистора (сопротивление R), катушки индуктивности (индуктивность L , сопротивления R_L и X_L) и конденсатора (ёмкость C и сопротивление X_C) следует отразить в выводах.

Т а б л и ц а __ — Результаты исследования элементов в цепи переменного тока

Величина (расчётная формула)	Единица измерения	Резистор	Катушка индуктивности	Конденсатор
U	В			
I	А			
P	Вт			
R	Ом			
$Z = U / I$	Ом			
$S = UI$	В · А			
$\cos \varphi = P / S$	—			
φ	град			
$R = Z \cdot \cos \varphi$	Ом			
$X = Z \cdot \sin \varphi$	Ом			
$L = \frac{X_L \cdot 10^3}{2\pi f}$	мГн	—		—
$C = \frac{1 \cdot 10^6}{2\pi f X_C}$	мкФ	—	—	

Рисунок 3.7 — Образец таблицы для заполнения

Контрольные вопросы

1. Как экспериментально определить активное сопротивление и индуктивность катушки, ёмкость конденсатора?
2. Почему значения угла сдвига фаз φ для катушки индуктивности и конденсатора имеют разные знаки?
3. Почему резистор является активным элементом в цепи переменного тока, а катушка индуктивности и конденсатор — реактивными?
4. Объясните зависимость сопротивления катушки индуктивности и конденсатора от частоты тока.
5. Как изменится ёмкость нескольких конденсаторов при их параллельном или последовательном соединении?
6. Как изменится сила тока в цепи при увеличении ёмкости конденсатора?
7. Как изменится сила тока в цепи с катушкой индуктивности, если в неё дополнительно установить сердечник?
8. Поясните схемы замещения катушки индуктивности и конденсатора.
9. Объясните физический смысл активных сопротивлений на схемах замещения катушки индуктивности и конденсатора.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

Исследование однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений

Цель работы: изучить основные соотношения между физическими величинами (ток, напряжения, сопротивления) в неразветвлённой цепи переменного синусоидального тока с последовательным соединением активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений; экспериментально определить силу тока, напряжения, мощности, активные и реактивные сопротивления цепи и её элементов; экспериментально проверить закон Ома для цепи переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений.

Основные теоретические сведения

Закон Ома для цепи переменного тока с последовательным соединением элементов (рисунок 4.1) имеет вид:

$$I = U / Z ,$$

где I — сила тока, А;

U — напряжение питания, В;

Z — полное сопротивление цепи, Ом, вычисляемое по формуле

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

где ΣR — суммарное активное сопротивление элементов цепи, Ом;

ΣX_L — суммарное индуктивное сопротивление, Ом;

ΣX_C — суммарное ёмкостное сопротивление, Ом.

Индуктивное сопротивление катушки X_L (Ом) и ёмкостное сопротивление конденсатора X_C (Ом) определяются из выражений:

$$X_L = 2\pi fL;$$

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

где f — частота тока, Гц;

L — индуктивность катушки, Гн;

C — ёмкость конденсатора, Ф.

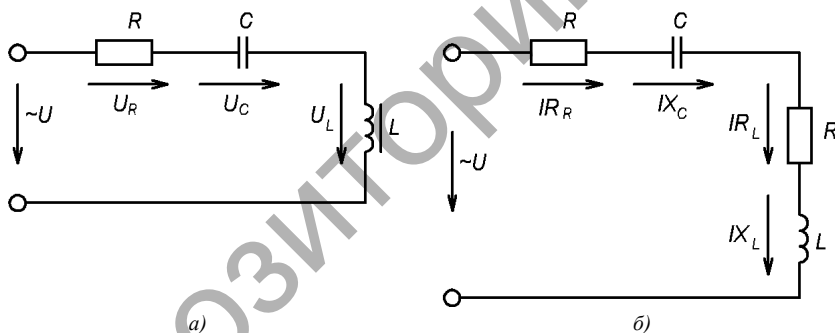


Рисунок 4.1 — Принципиальная электрическая схема (а) и схема замещения (б) цепи переменного синусоидального тока с последовательным соединением резистора, конденсатора и катушки индуктивности

Построение векторной диаграммы напряжений и токов (рисунок 4.2) производится в следующем порядке. Предварительно необходимо выбрать масштабы тока M_I (А / см) и напряжения M_U (В / см), ориентируясь на максимальные значения соответствующих величин. Вектор тока \vec{I} является базовым и откладывается из произвольной начальной точки горизонтально. Векторы напряжений строятся из начальной точки последовательно в соответствии с порядком расположения в цепи

соответствующих элементов (см. рисунок 4.1) согласно векторному уравнению

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_C + \vec{U}_L, \quad (4.1)$$

где \vec{U}_R , \vec{U}_C и \vec{U}_L — векторы напряжений на резисторе, конденсаторах и катушке индуктивности соответственно.

Абсолютные значения напряжений \vec{U}_R , \vec{U}_C и \vec{U}_L (В) определяются по формулам

$$\begin{aligned} U_R &= IR_R; \\ U_C &= IX_C; \\ U_L &= IZ_L = I\sqrt{R_L^2 + X_L^2}, \end{aligned} \quad (4.2)$$

где R_R — сопротивление активного (резистивного) элемента цепи, Ом;

Z_L — полное сопротивление катушки индуктивности, Ом;

R_L — активное сопротивление катушки индуктивности, Ом;

X_L — индуктивное сопротивление катушки индуктивности, Ом.

Из выражения (4.2) видно, что катушка индуктивности обладает как индуктивным, так и активным сопротивлением. Следовательно, векторное уравнение напряжения катушки индуктивности можно представить так:

$$\vec{U}_L = \vec{I}R_L + \vec{I}X_L.$$

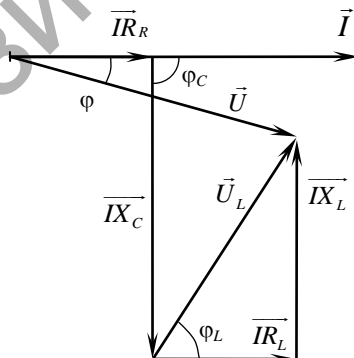


Рисунок 4.2 — Векторная диаграмма напряжений в цепи с последовательным соединением резистора, катушки и конденсатора

Выражение (4.1) можно записать в следующем виде (см. рисунок 4.1):

$$\vec{U} = \vec{IR}_R + \vec{IX}_C + \vec{IR}_L + \vec{IX}_L.$$

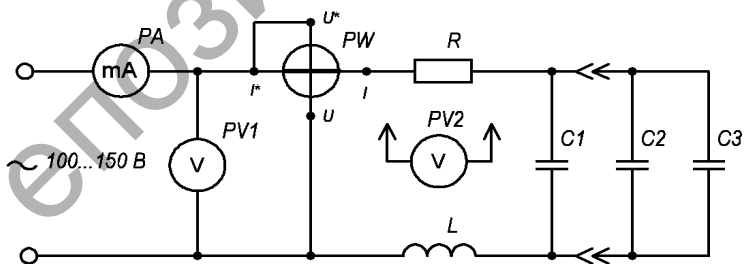
На участке с активным сопротивлением R падение напряжения U_R совпадает по фазе с током I , поэтому векторы \vec{IR}_R и \vec{IR}_L направлены параллельно вектору тока \vec{I} . Напряжение \vec{U}_C отстаёт от тока на 90° , следовательно, вектор \vec{IX}_C направлен под углом $\pi/2$ в сторону отставания от вектора \vec{I} (по часовой стрелке). Напряжение IX_L на идеальном индуктивном элементе опережает ток I на 90° , следовательно, вектор \vec{IX}_L направлен под углом $\pi/2$ в сторону опережения относительно вектора \vec{I} (против часовой стрелки).

Соединив начало вектора \vec{U}_R и конец вектора \vec{U}_C , получим суммарный вектор напряжения \vec{U} . Угол между векторами \vec{I} и \vec{U} равен углу сдвига фаз φ между соответствующими током и напряжением в цепи, а $\cos \varphi$ представляет собой коэффициент мощности нагрузки.

Порядок выполнения работы

1. Установите в выемку лабораторного стенда плату № 2. С помощью соединительных проводов соберите схему (рисунок 4.3).

2. Установите переключатель ЛАТР в положение « $\sim 0-250 \text{ V}$ ». Подключите схему к клеммам питания « $\sim 0-250 \text{ V}$ » на штативе, вращением рукоятки автотрансформатора установите напряжение питания U , равное 150 В , и в дальнейшем поддерживайте его.



PW — ваттметр, $0,6 \text{ кВт}$; PA — миллиамперметр переменного тока, 300 мА ;
 $PV1$ и $PV2$ — вольтметры переменного тока, 150 В ; $R1$ — резистор ПЭВ-75, 750 Ом ;
 L — катушка индуктивности с сердечником; $C1-C3$ — конденсаторы, 4 мкФ , 400 В

Рисунок 4.3 — Принципиальная электрическая схема исследования цепи переменного тока с параллельным соединением R -, L - и C -элементов

3. При двух вариантах ёмкости конденсаторов ($C1$ и $C1—C3$) и катушке индуктивности без сердечника измерьте ток I в цепи, активную мощность P по ваттметру (показания ваттметра необходимо умножить на 0,1), напряжения на резисторе U_R , индуктивном U_L и ёмкостном U_C элементах цепи. Результаты измерений запишите в таблицу (рисунок 4.4).

Внимание! На время переключений в цепи блок питания следует отключать.

4. Подключите в цепь конденсатор $C1$ и вставьте сердечник в катушку индуктивности. Измерьте ток I в цепи по амперметру PA , напряжение U по вольтметру $PV1$, активную мощность P по ваттметру PW (показания ваттметра необходимо умножить на 0,1), напряжения на резисторе U_R , индуктивном U_L и ёмкостном U_C сопротивлениях с помощью вольтметра $PV2$. Результаты измерений запишите в таблицу (см. рисунок 4.4).

Т а б л и ц а — Результаты исследования цепи с последовательным соединением активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений

Величина (расчётная формула)	Единица измерения	Режим работы катушки и число конденсаторов		
		без сердечника		с сердечником
		$C1$	$C1—C3$	$C1$
U	В			
I	А			
P	Вт			
U_R	В			
U_L	В			
U_C	В			
$Z = U / I$	Ом			
$R = U^2 / P$	Ом			
$Z_L = U_L / I$	Ом			
$R_L = R - R_R^*$	Ом			
$X_L = \sqrt{Z_L^2 - R_L^2}$	Ом			
$L = \frac{X_L}{2\pi f}$	мГн			
$X_C = U_C / I$	Ом			
$C = \frac{1 \cdot 10^6}{2\pi f X_C}$	мкФ			
$S = UI$	В · А			
$\cos \varphi = P / S$	—			
$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}$	град			
$Q = S \cdot \sin \varphi$	вар			

* R_R — сопротивление резистора, 750 Ом; f — частота тока в сети, 50 Гц.

Рисунок 4.4 — Образец таблицы для заполнения

5. По результатам измерений рассчитайте и запишите в таблицу (см. рисунок 4.4) полное Z и активное R сопротивления цепи, полное Z_L , активное R_L и индуктивное X_L сопротивления катушки, индуктивность L катушки, ёмкостное сопротивление X_C конденсаторов и их ёмкость C , полную S и реактивную Q мощности цепи, коэффициент мощности $\cos \varphi$ и угол φ сдвига фаз между током и напряжением.

6. Постройте векторные диаграммы напряжений и токов при трёх исследованных режимах работы цепи.

7. Проверьте закон Ома для цепи с последовательным соединением активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений, сравнив опытные значения напряжения U (В) с рассчитанными по формуле

$$U = I \sqrt{(R_R + R_L)^2 + (X_L - X_C)^2} .$$

Результаты проверки следует отразить в выводах.

8. По результатам измерений и расчётов определите, какой из режимов работы цепи близок к режиму резонанса напряжений.

Контрольные вопросы

1. Объясните закон Ома для цепи с последовательным соединением активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений.

2. Как определяется полное сопротивление в цепи, содержащей активное сопротивление, индуктивность и ёмкость?

3. При каких условиях возникает резонанс в цепи переменного тока?

4. Почему падение напряжения на катушке и конденсаторах превышает напряжение на всей цепи?

5. Как влияет ёмкость конденсатора и индуктивность катушки на значение реактивного сопротивления в цепи?

6. Какое резонансное явление может возникнуть в цепи с последовательным соединением катушки индуктивности и конденсатора?

7. Опишите признаки возникновения резонанса в цепи с последовательным соединением катушки и конденсатора.

8. Какие последствия может вызвать резонанс в силовой цепи с последовательным соединением индуктивности и ёмкости?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

Исследование однофазной цепи переменного тока с параллельным соединением индуктивного и ёмкостного сопротивлений

Цель работы: изучить основные соотношения между физическими величинами в разветвлённой цепи переменного синусоидального тока с параллельным соединением активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений; экспериментально определить напряжение, силу тока, мощности, активные и реактивные сопротивления цепи и её элементов; экспериментально проверить закон Ома для цепи переменного тока с параллельным соединением индуктивного и ёмкостного сопротивлений.

Основные теоретические сведения

Закон Ома для цепи переменного тока с параллельным соединением активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений (рисунок 5.1) выражает зависимость полного тока в неразветвлённой части цепи от проводимости его элементов и записывается следующим образом:

$$I = Uy,$$

где U — напряжение на зажимах разветвлённого участка цепи, В;
 y — полная проводимость цепи, См.

Полная проводимость цепи определяется по формуле

$$y = \sqrt{(\Sigma g)^2 + (\Sigma b_L - \Sigma b_C)^2},$$

где Σg — суммарная активная проводимость ветвей цепи, См;

Σb_L — суммарная индуктивная проводимость ветвей цепи, См;

Σb_C — суммарная ёмкостная проводимость ветвей цепи, См.

Активная, индуктивная и ёмкостная проводимости i -й ветви определяются из выражений

$$g_i = R_i / Z_i^2;$$

$$b_{Li} = X_{Li} / Z_i^2;$$

$$b_{Ci} = X_{Ci} / Z_i^2,$$

где R_i , X_{Li} , X_{Ci} и Z_i — активное, индуктивное, ёмкостное и полное сопротивление i -й ветви соответственно, Ом.

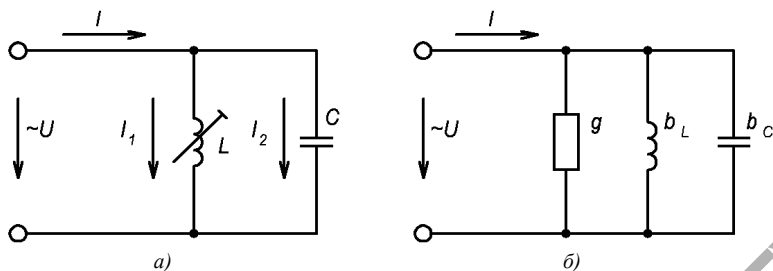


Рисунок 5.1 — Принципиальная электрическая схема (а) и схема замещения (б) цепи переменного синусоидального тока с параллельным соединением катушки индуктивности и конденсатора

Для каждого узла разветвлённой цепи выполняется первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма мгновенных значений тока в узле равна нулю. Однако при известных токах I_i в ветвях нельзя определить значение тока I в неразветвлённой части цепи простым сложением токов I_i , так как при этом необходимо учитывать их фазовые углы φ_i . Поэтому ток I определяют как геометрическую (векторную) сумму токов в ветвях:

$$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \dots + \vec{I}_n = \sum_{i=1}^n \vec{I}_i. \quad (5.1)$$

Фазовый угол φ_i между напряжением U и током I_i в i -й ветви зависит от характера нагрузки:

1) если в ветви имеется только активное сопротивление (b_{Li} и b_{Ci} равняются нулю), то фазовый угол φ_i равен нулю;

2) если проводимость ветви имеет индуктивный характер ($b_{Li} > b_{Ci}$), то угол φ_i может принимать положительные значения в диапазоне от 0 до $\pi/2$. При отсутствии активной проводимости $\varphi_i = \pi/2$;

3) если проводимость ветви имеет ёмкостной характер ($b_{Li} < b_{Ci}$), то угол φ_i может принимать отрицательные значения в диапазоне от 0 до $-\pi/2$. При отсутствии активной проводимости $\varphi_i = -\pi/2$.

Фазовый угол φ_i можно выразить через значения соответствующих проводимостей по формуле

$$\varphi_i = \arctg \frac{b_{Li} - b_{Ci}}{g_i},$$

где b_i — реактивная проводимость ветви, См, определяемая по формуле

$$b_i = b_{Li} - b_{Ci}.$$

Фазовый угол φ тока I в неразветвлённой части цепи находится из выражения

$$\varphi = \arctg \frac{\Sigma b_{L i} - \Sigma b_{C i}}{\Sigma g_i}.$$

Построение и анализ векторной диаграммы является наиболее простым и наглядным способом определения токов в разветвлённой цепи (рисунок 5.2). Сначала необходимо выбрать значения масштабов тока M_I (А / см) и напряжения M_U (В / см), ориентируясь на максимальные значения этих величин. Вектор напряжения \vec{U} является базовым и откладывается из выбранной начальной точки горизонтально. Векторы токов строятся последовательно из начальной точки в соответствии со значениями фазовых углов, а также векторного уравнения (5.1).

Если в i -й ветви имеется только активное сопротивление R_i (фазовый угол φ_i равен нулю, ток совпадает по фазе с напряжением U), то вектор тока \vec{I} направлен параллельно вектору напряжения \vec{U} . Если сопротивление ветви имеет индуктивный характер ($\varphi_i > 0$), то угол φ_i откладывается по часовой стрелке. При ёмкостном характере нагрузки ($\varphi_i < 0$) угол φ_i откладывается против часовой стрелки.

Результирующий вектор тока \vec{I} получают геометрическим сложением всех векторов \vec{I}_i . Угол между вектором \vec{I} и базовым вектором \vec{U} равен углу сдвига фаз φ между соответствующими током и напряжением в цепи, а его косинус представляет собой коэффициент мощности нагрузки:

$$\cos \varphi = P / S.$$

При анализе параллельных цепей переменного тока следует иметь в виду, что реальные индуктивные устройства (катушки индуктивности, дроссели и др.) обладают как индуктивным, так и активным сопротивлением. На схеме замещения такой элемент изображается в виде последовательно соединённых идеальных активного сопротивления R_L и индуктивного X_L либо параллельно соединённых ветвей с проводимостями g_L и b_L . Соответственно, угол сдвига фаз ветви будет принимать значения $0 < \varphi < \pi / 2$.

Реальный конденсатор в большинстве случаев обладает незначительной активной проводимостью, так как токи утечки предельно малы. На схеме замещения его с достаточной точностью можно представить идеальным ёмкостным элементом, обладающим только ёмкостной проводимостью $b_{C i}$. В результате угол сдвига фаз для конденсатора $\varphi \approx -\pi / 2$.

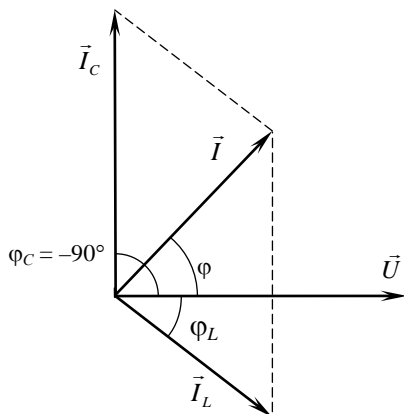


Рисунок 5.2 — Векторная диаграмма токов в цепи с параллельным соединением L - и C -элементов

Резонанс токов в цепи с параллельным соединением ёмкости и индуктивности будет наблюдаться в том случае, если индуктивная проводимость ветвей равна ёмкостной ($b_L = b_C$). Тогда фазовый угол φ тока в неразветвлённой части цепи будет равен нулю, коэффициент мощности цепи $\cos \varphi = 1$, вектор тока \vec{I} совпадёт по направлению с вектором напряжения \vec{U} . В результате токи I_i на отдельных ветвях цепи могут значительно превышать ток I в её неразветвлённой части.

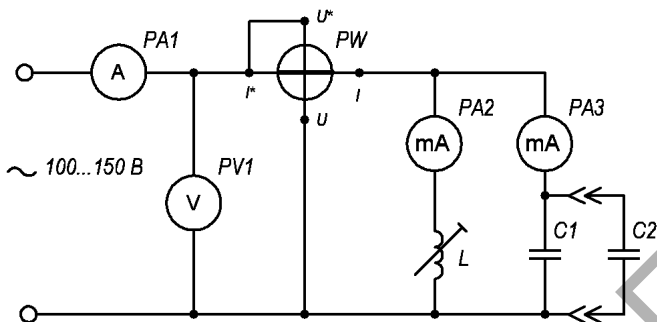
Порядок выполнения работы

1. Установите в выемку лабораторного стенда плату № 2 и соберите цепь (рисунок 5.3).

2. Установите переключатель ЛАТР в положение « $\sim 0-250\text{ В}$ ». Подключите цепь к клеммам питания « $\sim 0-250\text{ В}$ » на штативе и рукояткой автотрансформатора установите напряжение U питания цепи, равное 120 В , контролируя его по вольтметру PV .

3. При включённых конденсаторах $C1$ и $C1-C3$ и катушке индуктивности без сердечника измерьте общий ток I контура, ток катушки индуктивности I_L и конденсаторов I_C , активную мощность P цепи (показания ваттметра следует умножить на $0,1$). Результаты измерений запишите в соответствующие столбцы таблицы (рисунок 5.4).

Внимание! На время переключений блок питания следует отключать.



PW — ваттметр 0,6 кВт; *PA1—PA3* — миллиамперметры переменного тока, 300 мА; *PV* — вольтметр переменного тока, 150 В; *L* — катушка индуктивности с сердечником; *C1—C3* — конденсаторы, 4 мкФ, 400 В

Рисунок 5.3 — Принципиальная электрическая схема исследования цепи переменного тока с параллельным соединением *L*- и *C*-элементов

4. Подключите в цепь конденсатор *C1* и вставьте сердечник в катушку индуктивности. При заданном преподавателем напряжении *U* питания цепи измерьте ток *I* в неразветвлённой её части, токи на индуктивном *I_L* и ёмкостном *I_C* элементах, а также активную мощность *P* цепи. Результаты измерений запишите в таблицу (см. рисунок 5.4).

5. Рассчитайте и запишите в таблицу (см. рисунок 5.4) полные сопротивления *Z_L* и *Z_C* ветвей, активную *g*, индуктивную *b_L* и ёмкостную *b_C* проводимости, угол сдвига фаз катушки φ_L и всей цепи φ , индуктивное сопротивление *X_L* и индуктивность *L* катушки, ёмкостное сопротивление *X_C* и ёмкость *C* конденсатора, полную *S* и реактивную *Q* мощности цепи.

6. Проверьте закон Ома для разветвлённой цепи переменного тока по формуле

$$I = U \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}.$$

Сравните опытные значения тока *I* в цепи с расчётными. Результаты проверки по всем опытам необходимо отразить в выводах.

7. Постройте векторные диаграммы напряжений и токов, соответствующие двум исследованным режимам работы цепи (по указанию руководителя).

8. Проверьте условие возникновения резонанса в цепи, сравнив значения индуктивной *b_L* и ёмкостной *b_C* проводимостей. Результаты проверки необходимо отразить в выводах.

Т а б л и ц а — Результаты исследования цепи с параллельным соединением индуктивного и ёмкостного сопротивлений

Величина (расчётная формула)	Единица измерения	Режим работы катушки и конденсаторов		
		без сердечника		с сердечником
		C1	C1—C3	C1
U	В			
P	Вт			
I	А			
I_L	А			
I_C	А			
$Z_L = U / I_L$	Ом			
$Z_C = U / I_C$	Ом			
$R = U^2 / P$	Ом			
$g = R / Z_L^2$	См			
$b_L = \sqrt{Z_L^2 - g^2}$	См			
$b_C = 1 / Z_C$	См			
$\varphi_L = \arctg(b_L / y_L)$	град			
$X_L = \sqrt{Z_L^2 - R^2}$	Ом			
$L = \frac{X_L \cdot 10^3}{2\pi f}$	мГн			
$X_C = 1 / b_C$	Ом			
$C = \frac{1 \cdot 10^6}{2\pi f X_C}$	мкФ			
$S = UI$	В · А			
$\varphi = \arctg \frac{b_L - b_C}{g}$	град			
$\cos \varphi = P / S$	—			
$Q = S \cdot \sin \varphi$	вар			

Рисунок 5.4 — Образец таблицы для заполнения

Контрольные вопросы

1. Объясните закон Ома для цепи переменного тока, содержащей активное, индуктивное и ёмкостное сопротивления.
2. Объясните явление резонанса токов в цепи с активным, индуктивным и ёмкостным сопротивлениями.

3. Как по векторной диаграмме определить значения активной и реактивной проводимостей участков цепи?
4. Как влияет ёмкость конденсаторов на реактивное сопротивление цепи и коэффициент мощности?
5. Какое резонансное явление возможно при параллельном включении катушки индуктивности и конденсатора в цепь синусоидального тока?
6. Как изменяется ток в неразветвлённой части цепи при возникновении резонанса?
7. Какие условия необходимы для возникновения в разветвлённой цепи резонанса токов?
8. Какие нежелательные последствия может вызвать резонанс в силовой цепи с параллельным соединением индуктивности и ёмкости?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

Исследование трёхфазной цепи переменного тока с соединением приёмников по схеме «звезда»

Цель работы: изучить основные соотношения между физическими величинами в трёхфазной трёх- и четырёхпроводной цепи переменного синусоидального тока с соединением приёмников по схеме «звезда»; экспериментально определить силы тока, напряжения, мощности при симметричных и несимметричных режимах работы цепи.

Основные теоретические сведения

Соединение приёмников способом «звезда» возможно как в четырёхпроводной трёхфазной цепи, так и в трёхпроводной (без нейтрального провода). При этом отдельные фазные приёмники подключаются одной клеммой к соответствующим фазам генератора (сети), а другой — к нейтральной точке N_1 нагрузки (рисунок 6.1). В четырёхпроводной цепи нейтральная точка N_1 нагрузки соединяется с нейтральной точкой N генератора с помощью нейтрального провода.

При симметричном режиме работы на фазах A , B и C включены однородные (активные, индуктивные, ёмкостные) и одинаковые по величине сопротивления.

Соотношение между линейными $U_{\text{л}}$ и фазными $U_{\text{ф}}$ напряжениями (в четырёхпроводной или трёхпроводной цепи при симметричной нагрузке) выражается следующим образом:

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

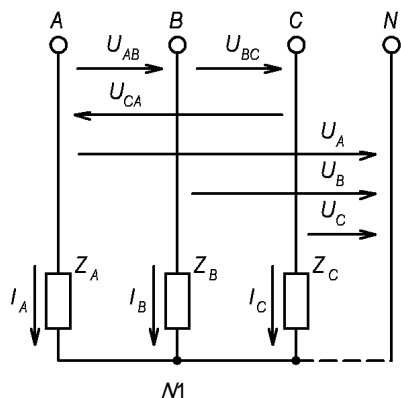


Рисунок 6.1 — Схема трёхфазной цепи со схемой соединения «звезда»

Фазные токи при этом равны соответствующим линейным токам:

$$I_{\text{л}} = I_{\Phi}.$$

Согласно первому закону Кирхгофа алгебраическая сумма токов в узле $N1$ равна нулю:

– в четырёхпроводной цепи:

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = \vec{I}_N = 0;$$

– в трёхпроводной цепи (ввиду отсутствия нейтрального провода):

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = 0.$$

Таким образом, при симметричных режимах работы цепи нейтральный провод обычно не используется.

При несимметричном режиме работы на фазах A , B и C включены разнородные (активные, индуктивные, ёмкостные) или различные по величине сопротивления. В этих случаях применяется четырёхпроводная цепь, нейтральный провод в которой обеспечивает равенство фазных напряжений:

$$U_A = U_B = U_C = U_{\Phi}. \quad (6.1)$$

Соотношение между линейными $U_{\text{л}}$ и фазными U_{Φ} напряжениями имеет вид:

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\Phi}. \quad (6.2)$$

Токи фаз A , B и C определяются по закону Ома:

$$\begin{aligned}I_A &= U_A / Z_A ; \\I_B &= U_B / Z_B ; \\I_C &= U_C / Z_C .\end{aligned}$$

Сила тока в нейтральном проводе определяется векторным уравнением по первому закону Кирхгофа:

$$\vec{I}_N = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C . \quad (6.3)$$

Несимметричный режим в трёхпроводной цепи возникает обычно в результате обрыва нейтрального провода. При этом между точками M и N возникает напряжение смещения нейтрали U_{N1N} , значение которого можно определить комплексным методом по формуле

$$\dot{U}_{N1N} = \frac{\dot{U}_A / Z_A + \dot{U}_B / Z_B + \dot{U}_C / Z_C}{1 / Z_A + 1 / Z_B + 1 / Z_C} .$$

Действительные фазные напряжения U_a , U_b и U_c определяются комплексным методом по формулам

$$\begin{aligned}\dot{U}_a &= \dot{U}_A - \dot{U}_{N1N} ; \\ \dot{U}_b &= \dot{U}_B - \dot{U}_{N1N} ; \\ \dot{U}_c &= \dot{U}_C - \dot{U}_{N1N}\end{aligned}$$

или по аналогичным выражениям в векторном представлении.

Значения силы тока фаз определяются по закону Ома:

$$\begin{aligned}I_A &= U_a / Z_A ; \\I_B &= U_b / Z_B ; \\I_C &= U_c / Z_C .\end{aligned}$$

Ввиду отсутствия нейтрального провода токи фаз между собой связаны соотношением

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 ;$$

соответственно в векторном комплексном виде:

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = 0 . \quad (6.4)$$

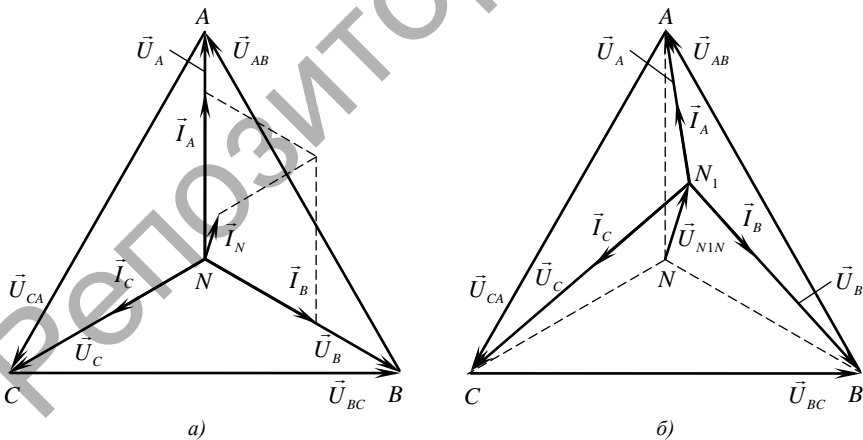
Несимметричный режим в трёхпроводной цепи в большинстве случаев является аварийным, так как может вызвать выход из строя фазных приёмников из-за отклонения напряжений от номинальных значений.

Построение топографической векторной диаграммы напряжений и векторной диаграммы токов для четырёхпроводной цепи выполняется в следующем порядке (рисунок 6.2). Сначала следует записать векторное уравнение токов по первому закону Кирхгофа (6.3) и три векторных уравнения напряжений по второму закону Кирхгофа:

$$\begin{cases} \vec{U}_{AB} = \vec{U}_A - \vec{U}_B ; \\ \vec{U}_{BC} = \vec{U}_B - \vec{U}_C ; \\ \vec{U}_{CA} = \vec{U}_C - \vec{U}_A , \end{cases} \quad (6.5)$$

где A, B, C — вершины треугольника, образуемые векторами напряжений.

В соответствующем масштабе напряжений M_U необходимо построить симметричную трёхлучевую звезду векторов фазных напряжений \vec{U}_A, \vec{U}_B и \vec{U}_C . Фазовые углы между этими векторами равны 120° , начала всех векторов находятся в точке N . Векторы линейных напряжений $\vec{U}_{AB}, \vec{U}_{BC}$ и \vec{U}_{CA} строятся на основании системы уравнений (6.5) как векторные разности соответствующих фазных напряжений.



- a* — несимметричный режим в четырёхпроводной цепи (с нейтральным проводом);
б — несимметричный режим в трёхпроводной цепи (без нейтрального провода)

Рисунок 6.2 — Топографическая векторная диаграмма напряжений и токов в трёхфазной цепи со схемой соединения «звезда»

Векторы линейных (фазных) токов \vec{I}_A , \vec{I}_B и \vec{I}_C откладываются относительно векторов одноимённых фазных напряжений под соответствующими фазовыми углами φ_A , φ_B и φ_C . Для исследуемых в работе ламп накаливания векторы токов параллельны одноимённым векторам фазных напряжений, так как фазовые углы φ равны нулю. Вектор тока \vec{I}_N в нейтральном проводе определяется сложением векторов фазных токов согласно выражению (6.3).

При построении векторной диаграммы для трёхпроводной цепи необходимо иметь в виду следующее: линейные напряжения U_{AB} , U_{BC} и U_{CA} остаются неизменными при любой нагрузке, так как они поддерживаются генератором. Поэтому сначала в выбранном масштабе напряжений M_U строится равнобедренный треугольник линейных напряжений. В геометрическом центре треугольника линейных напряжений отмечается точка нейтрали генератора N . Затем из точки A с помощью циркуля необходимо провести дугу с радиусом, равным значению напряжения U_a в масштабе M_U . Аналогичные дуги проводятся из точек B и C для напряжений U_b и U_c . При соблюдении точности измерений и построений все три дуги должны пересечься в одной точке $N1$, которая определяет потенциал нейтральной точки трёхфазного приёмника. Начала векторов фазных напряжений \vec{U}_a , \vec{U}_b и \vec{U}_c будут находиться в точке $N1$, а концы — в точках A , B и C соответственно. Вектор напряжения смещения нейтрали \vec{U}_{N1N} проводится из точки N до точки $N1$ и определяет значение и фазовый угол напряжения между нейтральными точками генератора и трёхфазного приёмника.

Векторы токов \vec{I}_A , \vec{I}_B и \vec{I}_C согласно уравнению (6.4) откладываются из точки $N1$ под соответствующими фазовыми углами относительно векторов одноимённых фазных напряжений. В случае активной нагрузки они будут совпадать по направлению с одноимёнными векторами фазных напряжений \vec{U}_a , \vec{U}_b и \vec{U}_c .

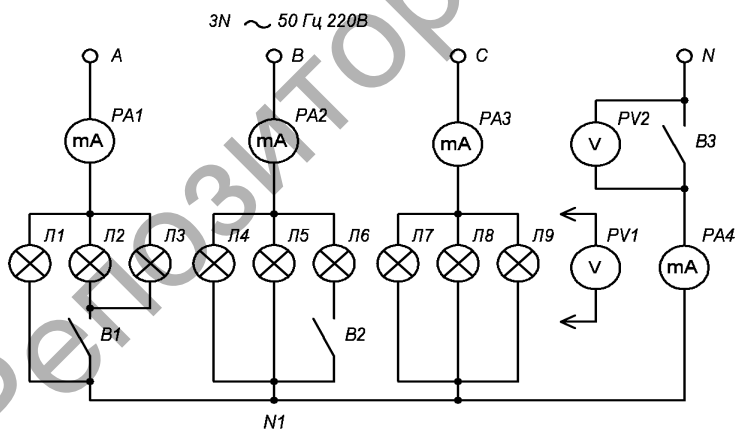
Порядок выполнения работы

1. Установите в выемку лабораторного стенда плату № 3. С помощью соединительных проводов соберите схему (рисунок 6.3) и подключите её к клеммам A , B , C и 0 трёхфазного питания «3~220 V» приборного штатива.

2. Для исследования симметричного режима работы четырёхпроводной трёхфазной цепи выключатели В1, В2 и В3 необходимо установить в положение «Вкл.» (режим 1). Получив разрешение руководителя, включите установку в сеть и произведите необходимые измерения. Фазные напряжения U_A , U_B и U_C измеряются вольтметром PV1 на соответствующих точках цепи, фазные токи I_A , I_B и I_C — миллиамперметрами PA1, PA2 и PA3 соответственно, ток I_N в нейтральном проводе — миллиамперметром PA4. Результаты измерений запишите в таблицу (рисунок 6.4).

3. Для исследования четырёхпроводной трёхфазной цепи с несимметричной нагрузкой (число включённых ламп по фазам 1—3—3, режим 2) выключатель В1 необходимо установить в положение «Выкл.», выключатели В2 и В3 — в положение «Вкл.». Измерения производятся аналогично п. 2. Результаты измерений запишите в таблицу (см. рисунок 6.4).

4. Для исследования четырёхпроводной трёхфазной цепи с несимметричной нагрузкой (число включённых ламп по фазам 1—2—3, режим 3) выключатели В1 и В2 необходимо установить в положение «Выкл.», выключатель В3 — в положение «Вкл.». Измерения производятся аналогично п. 2. Результаты измерений запишите в таблицу (см. рисунок 6.4).



PA1—PA4 — миллиамперметры переменного тока, 300 мА; PV1 — вольтметр переменного тока, 250 В; PV2 — вольтметр переменного тока, 50 В; В1—В3 — выключатели; Л1—Л9 — нагрузочные лампы, 25 Вт

Рисунок 6.3 — Принципиальная электрическая схема исследования трёхфазной цепи переменного тока с соединением приёмников по схеме «звезда»

5. Для исследования трёхпроводной трёхфазной цепи с симметричной нагрузкой выключатели В1 и В2 необходимо установить в положение «Вкл.», выключатель В3 — в положение «Выкл.» (режим 4). Получив разрешение преподавателя, включите установку в сеть и произведите необходимые измерения. Фазные напряжения U_A , U_B , U_C измеряются вольтметром $PV1$, напряжение смещения нейтрали U_{MIN} — вольтметром $PV2$ на соответствующих точках цепи, фазные токи I_A , I_B и I_C — миллиамперметрами $PA1$, $PA2$ и $PA3$ соответственно. Результаты измерений запишите в таблицу (см. рисунок 6.4).

6. Для исследования трёхпроводной трёхфазной цепи с несимметричной нагрузкой (число включённых ламп по фазам 1—3—3, режим 5) выключатель В2 необходимо установить в положение «Вкл.», выключатели В1 и В3 — в положение «Выкл.». Измерения производятся аналогично п. 5. Результаты измерений запишите в таблицу (см. рисунок 6.4).

Т а б л и ц а — Результаты исследования трёхфазной цепи с однофазными потребителями, соединёнными по схеме «звезда»

Величина (расчётная формула)	Единица измерения	Четырёхпроводная цепь			Трёхпроводная цепь		
		1. Симметричный режим (3—3—3)	2. Несимметричный режим (1—3—3)	3. Несимметричный режим (1—2—3)	4. Симметричный режим (3—3—3)	5. Несимметричный режим (1—3—3)	6. Несимметричный режим (1—2—3)
U_A	В						
U_B	В						
U_C	В						
U_{MIN}	В	—	—	—			
I_A	А						
I_B	А						
I_C	А						
I_N	А				—	—	—
$P_A = U_A I_A$	Вт						
$P_B = U_B I_B$	Вт						
$P_C = U_C I_C$	Вт						
$P = P_A + P_B + P_C$	Вт						

Рисунок 6.4 — Образец таблицы для заполнения

7. Для исследования трёхпроводной трёхфазной цепи с несимметричной нагрузкой (число включённых ламп по фазам 1—2—3, режим б) выключатели В1, В2 и В3 необходимо установить в положение «Выкл.». Измерения производятся аналогично п. 5. Результаты измерений запишите в таблицу (см. рисунок 6.4).

8. Рассчитайте фазные мощности P_A , P_B , P_C и суммарную мощность P приёмников.

9. Проверьте соотношения (6.1) и (6.2) для каждой фазы. Результаты проверки для всех опытов следует отразить в выводах.

10. Постройте векторные диаграммы токов и напряжений для трёх режимов работы цепи (по указанию руководителя). По векторной диаграмме необходимо графическим способом определить значения тока I_N в нейтральном проводе (для четырёхпроводной цепи) или напряжения смещения нейтрали U_{NIN} (для трёхпроводной цепи) и сравнить их с опытными значениями. Результаты сравнения для всех построенных векторных диаграмм следует отразить в выводах.

Контрольные вопросы

1. Объясните соотношение между фазными и линейными напряжениями в трёхфазной цепи с соединением приёмников по схеме «звезда». Как изменяются эти соотношения в зависимости от режима работы цепи?

2. Раскройте физический смысл напряжения смещения нейтрали U_{NIN} в трёхпроводной трёхфазной цепи со схемой соединения «звезда».

3. В каких случаях и для чего в трёхфазных цепях необходим нейтральный провод? Можно ли обойтись без него при работе однофазных и трёхфазных потребителей?

4. Какой из исследованных режимов работы цепи создаёт угрозу для нормальной работы приёмников и почему?

5. Укажите преимущества и недостатки трёхпроводной и четырёхпроводной цепей со схемой соединения «звезда».

6. Укажите область применения трёх- и четырёхпроводных схем соединения приёмников.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

Исследование трёхфазной цепи переменного тока с соединением приёмников по схеме «треугольник»

Цель работы: изучить основные соотношения между физическими величинами (токи, напряжения, мощности) в трёхфазной трёхпроводной цепи переменного синусоидального тока с соединением приёмников по схеме «треугольник»; экспериментально определить силы тока, напряжения и мощности при симметричных и несимметричных режимах работы цепи.

Основные теоретические сведения

Схема, когда все фазы трёхфазного приёмника включены на линейные напряжения, называется «треугольник» (рисунок 7.1). При этом линейные напряжения одновременно являются фазными:

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}.$$

При симметричной нагрузке соотношение между линейными и фазными токами выражается следующим образом:

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\text{ф}}. \quad (7.1)$$

При несимметричной нагрузке линейные токи определяются векторными уравнениями на основании первого закона Кирхгофа:

$$\begin{cases} \vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}; \\ \vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}; \\ \vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}. \end{cases} \quad (7.2)$$

Важным преимуществом схемы «треугольник» является независимость работы фаз: при изменении сопротивления фазы будет изменяться только её ток и токи в сопряжённых линейных проводах. Поэтому схема «треугольник» используется для включения однофазных потребителей на линейное напряжение.

Для построения топографической векторной диаграммы напряжений и векторной

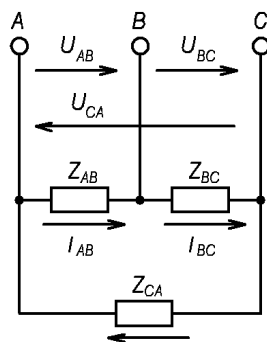


Рисунок 7.1 — Схема трёхфазной цепи со схемой соединения «треугольник»

диаграммы токов (рисунок 7.2) предварительно необходимо выбрать масштабы напряжений M_U (В / см) и токов M_I (А / см). Сначала нужно построить равнобедренный треугольник линейных (фазных) напряжений \vec{U}_{AB} , \vec{U}_{BC} и \vec{U}_{CA} . Фазовые углы между векторами равны между собой (120°), начала векторов \vec{U}_{AB} , \vec{U}_{BC} и \vec{U}_{CA} располагаются в точках В, С и А соответственно.

Затем в выбранном масштабе токов M_i следует построить векторы фазных токов \vec{I}_{AB} , \vec{I}_{BC} и \vec{I}_{CA} . Их откладывают из тех же точек, что и соответствующие напряжения, с учётом фазовых углов φ , при этом положительное значение угла соответствует направлению поворота по часовой стрелке. Если в качестве нагрузки используется активное сопротивление, то значение фазового угла φ равняется нулю.

Для построения вектора линейного тока \vec{I}_A согласно системе уравнений (7.2) к вектору фазного тока \vec{I}_{AB} необходимо прибавить вектор $-\vec{I}_{CA}$, равный по длине и противоположный по направлению вектору \vec{I}_{CA} . Аналогичным образом получают векторы токов \vec{I}_B и \vec{I}_C в линейных проводах.

При несимметричном режиме работы цепи построение векторной диаграммы производится аналогично, однако фазные и линейные токи в этом случае не образуют симметричной системы (см. рисунок 7.2, б).

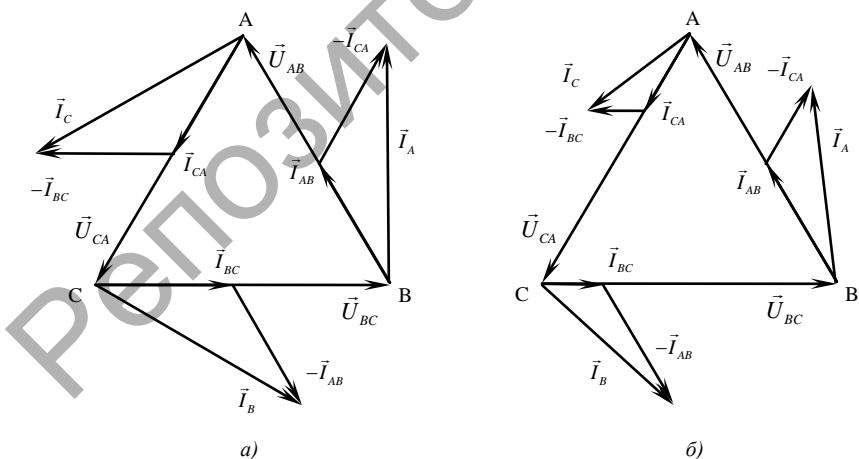


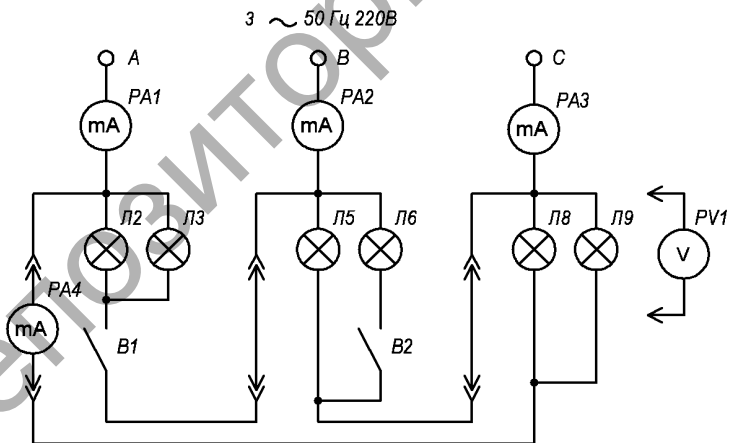
Рисунок 7.2 — Векторная диаграмма токов и напряжений в трёхфазной цепи с соединением фаз по схеме «треугольник» при симметричном (а) и несимметричном (б) режимах

Порядок выполнения работы

1. Установите на лабораторный стенд плату № 3, соберите схему (рисунок 7.3) и подключите её к клеммам *A*, *B* и *C* трёхфазного питания «3~220 В» штатива.

2. Для исследования симметричного режима работы трёхпроводной трёхфазной цепи выключатели *B1* и *B2* необходимо установить в положение «Вкл.». Получив разрешение руководителя, включите установку в сеть и произведите необходимые измерения. Фазные (линейные) напряжения U_{AB} , U_{BC} и U_{CA} измеряются вольтметром *PV* в соответствующих точках цепи. Фазные токи I_{AB} , I_{BC} и I_{CA} измеряются миллиамперметром *PA4* при включении в рассечку соответствующей фазы, линейные токи I_A , I_B и I_C — амперметрами *PA1—PA3*. Результаты измерений запишите в таблицу (рисунок 7.4).

3. Для исследования несимметричного режима работы цепи (количество включённых ламп 1—3—3) выключатель *B1* необходимо установить в положение «Выкл.», выключатель *B2* — в положение «Вкл.». Измерения производятся аналогично п. 2. Результаты измерений запишите в таблицу (см. рисунок 7.4).



PA1—PA3 — миллиамперметры переменного тока, 300 мА; *PA4* — амперметр переменного тока, 1 А; *PV* — вольтметр переменного тока, 250 В;
B1—B2 — выключатели; *Л2—Л9* — нагрузочные лампы, 25 Вт

Рисунок 7.3 — Принципиальная электрическая схема исследования трёхфазной цепи переменного тока с соединением приёмников по схеме «треугольник»

Т а б л и ц а — Результаты исследования трёхфазной цепи с однофазными потребителями, соединёнными по схеме «треугольник»

Величина (расчётная формула)	Единица измерения	Симметричный режим (3—3—3)	Несимметричный режим (1—3—3)	Несимметричный режим (1—2—3)
U_{AB}	В			
U_{BC}	В			
U_{CA}	В			
I_A	А			
I_B	А			
I_C	А			
I_{AB}	А			
I_{BC}	А			
I_{CA}	А			
$P_{AB} = U_{AB} I_{AB}$	Вт			
$P_{BC} = U_{BC} I_{BC}$	Вт			
$P_{CA} = U_{CA} I_{CA}$	Вт			
$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}$	Вт			

Рисунок 7.4 — Образец таблицы для заполнения

4. Для исследования несимметричного режима работы цепи (количество включённых ламп 1—2—3) выключатели В1 и В2 необходимо установить в положение «Выкл.». Измерения производятся аналогично п. 2. Результаты измерений запишите в таблицу (см. рисунок 7.4).

5. Рассчитайте фазные мощности P_{AB} , P_{BC} , P_{CA} и суммарную мощность P приёмников.

6. Проверьте, соблюдается ли соотношение между фазными и линейными токами для каждой фазы по формуле (7.1). Результаты проверки необходимо отразить в выводах.

7. Постройте векторные диаграммы токов и напряжений для трёх режимов работы цепи. По векторной диаграмме определите графическим способом значения линейных токов I_A , I_B и I_C , сравните их с опытными значениями. Результаты сравнения отразите в выводах.

Контрольные вопросы

1. Объясните соотношение между фазными и линейными токами в трёхфазной цепи с соединением приёмников по схеме «треугольник». Как изменяются эти соотношения в зависимости от режима работы цепи?

2. Какие преимущества имеет схема «треугольник» по сравнению со схемой «звезда» при включении однофазных потребителей в трёхфазную цепь?

3. Объясните порядок построения векторной диаграммы напряжений и токов для схемы «треугольник».
4. Как определяется мощность в трёхфазной цепи с соединением приёмников по схеме «треугольник»?
5. Укажите преимущества и недостатки трёхпроводной цепи со схемой соединения «треугольник».
6. Укажите область применения трёхпроводной цепи со схемой соединения «треугольник».
7. В каких случаях применяют схему «треугольник» для соединения фаз генератора?
8. Как изменится потребляемая симметричным приёмником мощность при обрыве одной из фаз?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

Измерение мощности в цепи трёхфазного переменного тока

Цель работы: изучить методы измерения активной мощности в четырёхпроводных и трёхпроводных цепях трёхфазного переменного тока; экспериментально определить активную, реактивную и полную мощности в трёхпроводной цепи трёхфазного переменного тока при симметричном и несимметричных режимах работы.

Основные теоретические сведения

Полная мощность i -й фазы $S_{\Phi i}$ (В · А) определяется по выражению

$$S_{\Phi i} = U_{\Phi i} I_{\Phi i},$$

где $U_{\Phi i}$ — напряжение i -й фазы, В;

$I_{\Phi i}$ — ток i -й фазы, А.

Полная мощность трёхфазного приёмника в целом вычисляется по формуле

$$S = \sum S_{\Phi i}.$$

Следовательно, для определения полной мощности S необходимо измерить напряжения и токи на каждой фазе. При симметричной нагрузке полная мощность определяется по формуле

$$S = 3U_{\Phi} I_{\Phi} = \sqrt{3}U_{\text{Л}} I_{\Phi},$$

где $U_{\text{Л}}$ — линейное напряжение, В.

Активная мощность i -й фазы P_{Φ_i} (Вт) и приёмника P (Вт) в целом вычисляются по формулам

$$P_{\Phi_i} = U_{\Phi_i} I_{\Phi_i} \cos \varphi_i ;$$

$$P = \sum P_{\Phi_i} ,$$

где $\cos \varphi_i$ — коэффициент мощности i -й фазы;

φ_i — угол сдвига фаз между током и напряжением, град.

Реактивная мощность фазы Q_{Φ_i} (вар) определяется по выражению

$$Q_{\Phi_i} = S_{\Phi_i} \cdot \sin \varphi_i = \sqrt{S_{\Phi_i}^2 - P_{\Phi_i}^2} .$$

Реактивная мощность Q (вар) трёхфазного приёмника в целом определяется следующим образом:

$$Q = \sum Q_{\Phi_i} .$$

Для измерения активной мощности в трёхфазной цепи применяются различные схемы включения ваттметров в зависимости от характера нагрузки (симметричная или несимметричная) и от схемы электрической цепи (трёхпроводная или четырёхпроводная).

Метод трёх ваттметров в четырёхпроводной цепи применяется для измерения активной мощности (рисунок 8.1). Каждый из ваттметров измеряет мощность отдельной фазы P_A , P_B , P_C , активная мощность P всей нагрузки равна сумме показаний трёх приборов:

$$P = P_A + P_B + P_C .$$

Реактивную мощность можно измерить тремя ваттметрами активной мощности, включёнными по схеме (рисунок 8.2). Для отдельной фазы она равна показанию соответствующего ваттметра, делённому на $\sqrt{3}$. Соответственно реактивную мощность Q (вар) всей цепи можно определить по выражению

$$Q = \frac{Q_A + Q_B + Q_C}{\sqrt{3}} .$$

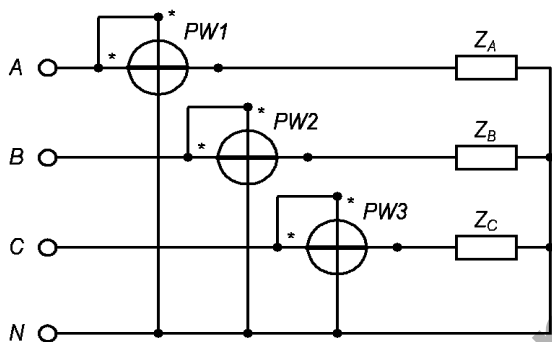


Рисунок 8.1 — Схема измерения мощности в цепи трёхфазного переменного тока с нейтральным проводом

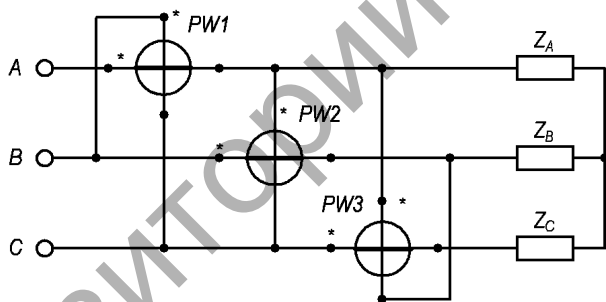


Рисунок 8.2 — Схема измерения реактивной мощности в трёхпроводной цепи трёхфазного переменного тока

Метод ваттметра с искусственной нейтральной точкой применяется в трёхфазной цепи без нейтрального провода при схеме соединения «звезда» либо «треугольник» (рисунок 8.3). Искусственная нейтральная точка N^* образуется двумя добавочными резисторами R_1 и R_2 , сопротивление которых должно быть равно сопротивлению R_U цепи напряжения (параллельной цепи) ваттметра:

$$R_1 = R_2 = R_U .$$

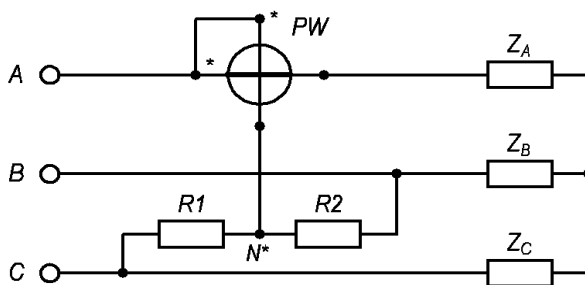


Рисунок 8.3 — Схема измерения мощности в трёхпроводной цепи при симметричной нагрузке по фазам

Активная мощность нагрузки равна утроенному значению показаний ваттметра.

Метод двух ваттметров используется для измерения активной мощности в трёхпроводной трёхфазной цепи при несимметричных режимах работы (рисунок 8.4). Последовательные обмотки ваттметров включаются в два любых линейных провода, а концы параллельных обмоток, не обозначенных знаком «*», подключают к третьему линейному проводу.

При активной нагрузке (угол сдвига фаз φ равняется нулю) оба ваттметра покажут одинаковую мощность. По мере увеличения фазового угла φ показания одного ваттметра будут уменьшаться, другого — увеличиваться, а при $\varphi > 60^\circ$ один из ваттметров показывает отрицательное значение (стрелка прибора отклоняется влево). В этом случае необходимо изменить полярность этого ваттметра (поменять местами провода, подключаемые к последовательной обмотке ваттметра) и измеренное затем значение считать отрицательным.

Активная P и реактивная Q мощности цепи определяются по формулам

$$P = P_1 + P_2 ;$$

$$Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2) .$$

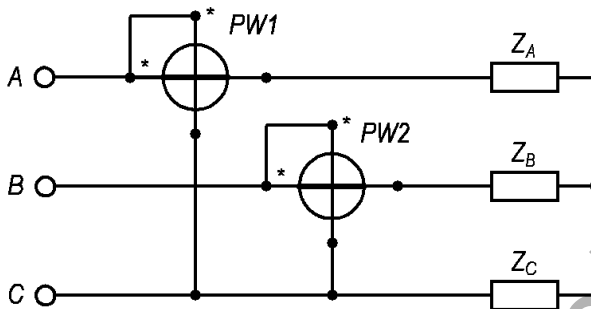


Рисунок 8.4 — Схема измерения мощности в трёхпроводной цепи трёхфазного переменного тока методом двух ваттметров

Порядок выполнения работы

1. Установите в выемку лабораторного стенда плату № 3. С помощью соединительных проводов соберите схему (рисунок 8.5) и подключите её к клеммам A , B и C трёхфазного питания «3~220 V» приборного штатива.

2. Установите выключатели В1—В3 в положение «Вкл.», создавая тем самым трёхпроводную цепь с симметричной нагрузкой по фазам (режим 3—3—3). Получив разрешение руководителя, включите установку в сеть.

3. Измерьте фазные напряжения U_A , U_B и U_C с помощью вольтметра PV . Поочередно измерьте фазные токи I_A , I_B и I_C и мощности P_1 и P_2 (показания ваттметра следует умножить на 0,1). Результаты измерений запишите в таблицу (рисунок 8.6).

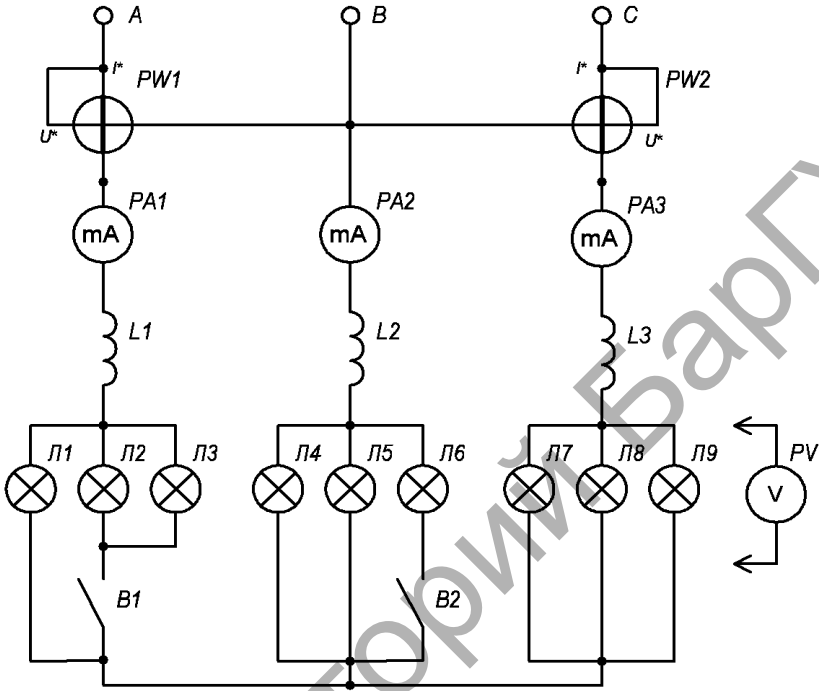
4. Установите выключатель В1 в положение «Выкл.», создавая тем самым трёхпроводную цепь с несимметричной нагрузкой (режим 1—3—3). Повторите измерения, результаты запишите в таблицу (см. рисунок 8.6).

Внимание! На время переключений в цепи блок питания следует отключать.

5. Установите выключатели В1 и В2 в положение «Выкл.», создавая тем самым трёхпроводную цепь с несимметричной нагрузкой (режим 1—2—3). Повторите измерения, результаты запишите в таблицу (см. рисунок 8.6).

Если стрелка ваттметра PW при измерении значений мощности отклоняется влево, то необходимо изменить полярность подключения токовой обмотки прибора (клеммы I и I^*) и измеренное затем значение мощности записать со знаком «минус».

3 \sim 50 Гц 220В



PW — ваттметр 0,6, кВт; PA — миллиамперметр переменного тока, 300 мА;
 PV — вольтметр переменного тока, 250 В; $L1-L3$ — катушки индуктивности;
 $Л1-Л9$ — нагрузочные лампы, 25 Вт; $B1-B2$ — выключатели

Рисунок 8.5 — Принципиальная электрическая схема измерения мощности в трёхфазной четырёхпроводной цепи переменного тока по методу двух ваттметров

6. По результатам измерений вычислите активную мощность P цепи, полную мощность фаз S_A , S_B , S_C и всей цепи S , коэффициент мощности $\cos \varphi$ и реактивную мощность Q цепи. Результаты расчётов запишите в таблицу (см. рисунок 8.6).

7. Постройте треугольники фазных мощностей для одного из режимов работы цепи (по указанию руководителя).

Т а б л и ц а __ — Результаты измерений и расчётов мощностей с использованием метода двух ваттметров

Величина (расчётная формула)	Единица измерения	Симметричный режим (3—3—3)	Несимметричный режим (1—3—3)	Несимметричный режим (1—2—3)
U_A	В			
U_B	В			
U_C	В			
I_A	А			
I_B	А			
I_C	А			
P_1	Вт			
P_2	Вт			
$P = P_1 + P_2$	Вт			
$S_A = U_A I_A$	В · А			
$S_B = U_B I_B$	В · А			
$S_C = U_C I_C$	В · А			
$\cos \varphi_A = P_A / S_A$	—		—	—
$\cos \varphi_B = P_B / S_B$	—		—	—
$\cos \varphi_C = P_C / S_C$	—		—	—
$S = S_A + S_B + S_C$	В · А			
$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	вар			

Рисунок 8.6 — Образец таблицы для заполнения

Контрольные вопросы

1. При каких условиях применяется метод трёх ваттметров для измерения активной мощности в трёхфазной цепи переменного тока?
2. При каких условиях применяется метод двух ваттметров для измерения активной мощности в трёхфазной цепи переменного тока?
3. Как измерить активную мощность трёхфазного приёмника с соединением фаз по схеме «звезда»?
4. Как измерить активную мощность трёхфазного приёмника с соединением фаз по схеме «треугольник»?
5. Как определить реактивную и полную мощности в трёхфазной цепи переменного тока?
6. Объясните порядок построения векторной диаграммы токов и напряжений.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Борисов, Ю. М.* Электротехника : учеб. для вузов / Ю. М. Борисов [и др.]. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 552 с.
2. *Волынский, Б. А.* Электротехника : учеб. для вузов / Б. А. Волынский [и др.]. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 528 с.
3. *Иванов, И. И.* Электротехника. Основные положения, примеры и задачи : учеб. пособие / И. И. Иванов [и др.]. — СПб. : Линь, 2004. — 192 с.
4. *Касаткин, А. С.* Электротехника : учеб. / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. — М. : Высш. шк., 2000. — 542 с.
5. *Лоторейчук, Е. А.* Теоретические основы электротехники : учеб. / Е. А. Лоторейчук. — М. : Форум : Инфра-М, 2004. — 316 с.
6. Электротехника : учеб. / под ред. В. Г. Герасимова. — М. : Высш. шк., 1985. — 480 с.

Репозиторий Баргу

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Требования техники безопасности при выполнении лабораторных работ	5
<i>Лабораторная работа 1</i> Исследование цепи постоянного тока с последовательным соединением приёмников	7
<i>Лабораторная работа 2</i> Исследование цепи постоянного тока с параллельным соединением приёмников	10
<i>Лабораторная работа 3</i> Определение параметров резисторов, катушек индуктивности и конденсаторов в цепи переменного синусоидального тока	13
<i>Лабораторная работа 4</i> Исследование однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений	20
<i>Лабораторная работа 5</i> Исследование однофазной цепи переменного тока с параллельным соединением индуктивного и ёмкостного сопротивлений	26
<i>Лабораторная работа 6</i> Исследование трёхфазной цепи переменного тока с соединением приёмников по схеме «звезда»	32
<i>Лабораторная работа 7</i> Исследование трёхфазной цепи переменного тока с соединением приёмников по схеме «треугольник»	40
<i>Лабораторная работа 8</i> Измерение мощности в цепи трёхфазного переменного тока	44
Список рекомендуемых источников	51