

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ



БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра физико-математических дисциплин

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
И АППАРАТЫ»

Для студентов инженерных специальностей

Барановичи 2004

Одобрено методической комиссией инженерного факультета 27.10.2004.

Составили И.В. ДУБЕНЬ, Д.А. ЦИОНЕНКО.

УДК 631.171 : 636 (072)

Электротехника: Методические указания /Барановичский государственный университет; Сост. И. В. Дубень, Д.А. Ционенко. Барановичи, 2004. 48 с.

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

Для студентов инженерных специальностей.

Рисунков 22. Таблиц 11. Библиогр. 4.
Рецензент А. В. Акулов.

©Составление. И. В. Дубень, Д.А. Ционенко, 2004
©Барановичский государственный университет, 2004

ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

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

Перед началом выполнения лабораторной работы:

1. Изучить методические 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 включенное 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. Нельзя прикасаться к неизолированным проводам, соединительным зажимам и другим частям электрических цепей, которые находятся под напряжением.

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

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

15. При отключении цепей переменного тока, содержащих индуктивности и емкости, следует сначала 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 отключен. Запрещается выдергивать соединительные провода из зажимов.

17. Обнаружив любую неисправность 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 напряжение питания 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 к выходу из строя дорогостоящей измерительной аппаратуры и оборудования.

УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные работы, представленные в настоящих методических указаниях, выполняются на базе комплектных лабораторных стендов К4822-2, которыми оснащена лаборатория электротехники.

Подготовка к лабораторным работам:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и техники безопасности.

2. По лекциям и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной работе.

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 отчет 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 блока питания.

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

2. При сборке схемы необходимо сначала собрать последовательную (токовую) цепь, начиная от одного зажима источника до другого, а затем – параллельные участки цепи.

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

4. По окончании опытов лабораторной работы необходимо отключить лабораторный стенд, показать руководителю полученные результаты, и с его разрешения разобрать электрическую схему.

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

Отчеты 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.

Отчеты должны содержать:

1. Наименование работы и ее номер, а также цель работы.

2. Перечень аппаратуры, ее технические данные, условные обозначения (заполняются в лаборатории).

3. Краткое описание порядка выполнения работы с принципиальными электрическими схемами.

4. Основные расчетные формулы с подробной расшифровкой условных обозначений и указанием единиц измерения.

5. Результаты измерений и расчетов.

6. Графические зависимости и векторные диаграммы (при необходимости)

7. Анализ результатов работы и выводы.

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

Лабораторные работы считаются защищенными, если студент показывает знание цели, физической сущности исследуемых процессов, методики выполнения опытов, может объяснить и проанализировать полученные результаты и разъяснить основные выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Исследование цепи постоянного тока с последовательным соединением приемников

Цель работы: 1. Изучить основные соотношения между физическими величинами (токи, электродвижущие силы, напряжения, сопротивления) в неразветвленной цепи постоянного тока с последовательным соединением приемников;

2. Экспериментально определить силу тока в цепи, сопротивление нагрузки и падение напряжения на ее элементах;

3. Экспериментально проверить закон Ома и второй закон Кирхгофа, сравнив опытные данные с расчетными;

4. Определить потребляемую в цепи мощность и работу электрического тока.

Основные теоретические сведения

Согласно закону Ома для участка цепи постоянного тока, состоящего из соединенных последовательно резистивных приемников, сила тока I прямо пропорциональна подведенному напряжению U и обратно пропорциональна его суммарному сопротивлению R :

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{\sum_{i=1}^n R_i}, \quad (1.1)$$

где R_i – сопротивление i -го токоприемника, Ом.

Для экспериментальной проверки закона Ома можно воспользоваться соотношением

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (1.2)$$

Согласно второму закону Кирхгофа, алгебраическая сумма ЭДС в контуре равна алгебраической сумме падений напряжения на участках. Применительно к участку цепи с последовательным соединением приемников

$$U = I \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n U_i, \quad (1.3)$$

где U_i – падение напряжения на i -м токоприемнике, В.

Мощность, потребляемая i -м приемником, Вт

$$P_i = I^2 R_i. \quad (1.4)$$

Суммарная мощность нагрузки, Вт

$$P = UI = \sum I^2 R_i; \quad (1.5)$$

Работа электрического тока в цепи за время t (с), Дж

$$A = UI t = U^2 t / r = I^2 r t = P t. \quad (1.6)$$

Порядок выполнения работы

1. Установите на блоке питания все выключатели в отключенное положение, переключатели – в среднее положение, рукоятки – против часовой стрелки до упора.

2. Установите в выемку лабораторного стенда плату № 1 вместо вкладыша. С помощью соединительных проводов соберите схему (рис. 1.1). На приборный штатив установите необходимые для проведения опытов приборы.

3. Установите на блоке питания переключатель «0–30 В» в положение «—», а резистор R_1 – на максимальное сопротивление. Подключите схему к клеммам питания «0–30 В» приборного штатива. После разрешения руководителя включите лабораторный стенд в сеть кнопкой «Пуск» на лицевой панели блока питания.

4. Рукояткой «0–30 В» на блоке питания установите ток в цепи $I = 30$ мА, контролируя его по миллиамперметру РА. При трех положениях резистора R_1 (в порядке уменьшения сопротивления) измерьте силу тока I по миллиамперметру РА и напряжение U по вольтметру PV. Запишите результаты измерений в табл. 1.1.

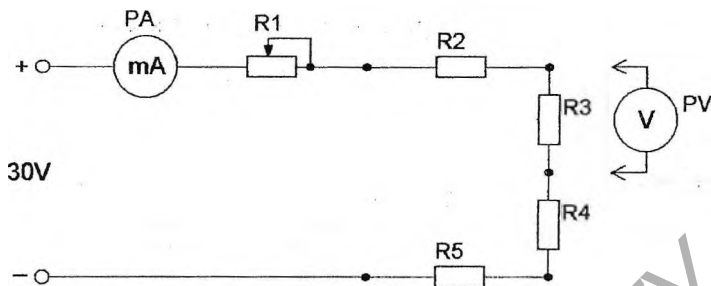


Рис. 1.1. Принципиальная электрическая схема исследования цепи постоянного тока с последовательным сопротивлением приемников: R1 – резистор ППБ-25I 220 Ом; R2–R5 – резисторы ПЭВ-7,5 200 Ом; PA – миллиамперметр постоянного тока 50 мА; PV – вольтметр постоянного тока 50 В.

Таблица 1.1. Результаты измерений и расчетов сопротивления цепи

Величина (расчетная формула)	Единица измерения	1 опыт	2 опыт	3 опыт
U	В			
I	А			
$R = U/I$	Ом			

5. По результатам измерений вычислите сопротивление R всей цепи и запишите результаты в табл. 1.1.

6. При максимальном токе в цепи (минимальном сопротивлении резистора R1) измерьте падение напряжения U_i на резисторах R2, R3, R4, R5, а также напряжение U на всем участке R2-R5 с помощью вольтметра PV. Результаты измерений запишите в табл. 1.2.

7. Определите сопротивление каждого участка R_i и всей цепи R , мощность P , отдельных токоприемников R2-R5, а также мощность P всей нагрузки. Результаты расчетов запишите в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Результаты измерений и расчетов сопротивления приемников

Величина (расчетная формула)	Единица измерения	Участок цепи				
		R2	R3	R4	R5	R2-R5
I	А					
U	В					
$R = U/I$	Ом					
$P = I^2 R$	Вт					

8. Проверьте закон Ома, сравнив опытное значение сопротивления всей цепи R с расчетным. Проверьте второй закон Кирхгофа, сравнив опытное значение напряжения U с расчетным:

$$U = \sum U_i = U_2 + U_3 + U_4 + U_5, \quad (1.7)$$

где i – номер резистора, $i = 2-5$.

Результаты проверки следует отразить в выводах.

9. Определите работу A (Дж) электрического тока в цепи за время t (по указанию руководителя) по выражению (1.6).

Контрольные вопросы

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

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Исследование цепи постоянного тока с параллельным соединением приемников

Цель работы: 1. Изучить основные соотношения между физическими величинами (токи, электродвижущие силы, напряжения, сопротивления) в разветвленной цепи постоянного тока с параллельным соединением приемников;

2. Экспериментально определить напряжение, силу тока в цепи и ее ветвях, сопротивление приемников;

3. Экспериментально проверить первый закон Кирхгофа, сравнив опытные данные с расчетными;

4. Определить потребляемую в цепи мощность и работу электрического тока.

Основные теоретические сведения

Закон Ома для разветвленного участка цепи постоянного тока, содержащего приемники сопротивлением R_i , имеет вид

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

где I – сила тока на неразветвленном участке, А;

U – подведенное напряжение, В;

g и g_i – соответственно проводимость всего разветвленного участка и ее ветвей, См.

Проводимость отдельного приемника обратно пропорциональна его сопротивлению r и выражается в сименсах ($\text{См} = \text{Ом}^{-1}$):

$$g_i = 1 / R_i, \quad (2.2)$$

Проводимость разветвленного участка цепи равна сумме проводимостей отдельных ветвей

$$g = I / U = g_1 + g_2 + \dots + g_n = \sum_{i=1}^n g_i. \quad (2.3)$$

Проводимость можно выразить также через сопротивления ветвей:

$$g = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}. \quad (2.4)$$

Согласно первому закону Кирхгофа, алгебраическая сумма токов в любом узле разветвленной цепи равна нулю (сумма токов, приходящих к узлу, равна сумме токов, уходящих от него):

$$\sum I_j = 0, \quad (2.5)$$

где j – число ветвей, соединенных в узле.

Применительно к разветвленной цепи постоянного тока первый закон Кирхгофа можно сформулировать следующим образом: сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме токов в ветвях:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n U g_i = U \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}. \quad (2.6)$$

Мощность, потребляемая i -м приемником и всей нагрузкой, Вт

$$P_i = I_i^2 R_i = U^2 g_i. \quad (2.7)$$

Мощность приемников на разветвленном участке цепи (Вт)

$$P = UI = \sum_{i=1}^n I_i^2 R_i = \sum_{i=1}^n U_i^2 g_i = U^2 \sum_{i=1}^n g_i. \quad (2.8)$$

Работа электрического тока в цепи за время t (с), Дж:

$$A = UI t = I^2 R t = U^2 g t = P t. \quad (2.9)$$

Порядок выполнения работы

1. Установите на блоке питания все выключатели в отключенное положение, переключатели – в среднее положение, рукоятки – против часовой стрелки до упора.

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

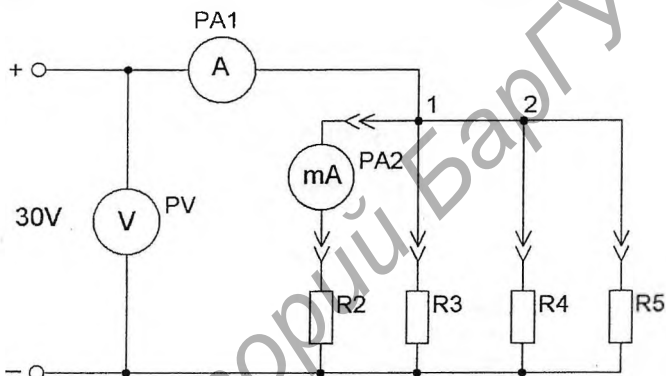


Рис. 2.1. Принципиальная электрическая схема исследования цепи постоянного тока с параллельным соединением приемников: PV – вольтметр постоянного тока 50 В; PA1 – амперметр постоянного тока 1 А; PA2 – миллиамперметр постоянного тока 300 мА; R2–R5 – резисторы ПЭВ-7,5 200 Ом.

3. Установите на блоке питания переключатель «0–30 В» в положение «—». Подключите схему к клеммам питания «0–30 В» приборного штатива. После разрешения руководителя включите лабораторный стенд в сеть кнопкой «Пуск» на передней панели блока питания. Установите 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 R2–R5. На время переключений в цепи лабораторный стенд следует обесточивать. Результаты измерений запишите в табл. 2.1.

5. По результатам измерений вычислите проводимости g , ветвей R2–R5 и всей цепи g (См), сопротивления R , ветвей R2–R5 и сопротивление R всей цепи (Ом), а также мощность P , приемников на отдельных ветвях и мощность всей нагрузки P . Результаты расчетов запишите в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Результаты исследования цепи постоянного тока с параллельным включением приемников

Величина (расчетная формула)	Единица измерения	Участок цепи				
		R2	R3	R4	R5	R2-R5
U	В					
I	А					
$g = I/U$	См					
$R = U/I$	Ом					
$P = U \cdot I$	Вт					

6. Проверьте первый закон Кирхгофа:

$$I = \Sigma I_i = I_2 + I_3 + I_4 + I_5. \quad (2.10)$$

Результаты проверки следует отразить в выводах.

7. Определите работу A (Дж) электрического тока в цепи за время t (по указанию руководителя) по выражению (2.9).

Контрольные вопросы

1. Объясните закон Ома для разветвленной цепи постоянного тока.
2. Объясните первый закон Кирхгофа.
3. Как определяется сопротивление и проводимость разветвленного участка цепи?
4. Почему сопротивление разветвленной цепи не равно сумме сопротивлений ветвей?
5. Как определяется мощность и работа в разветвленной цепи постоянного тока?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
Исследование однофазной цепи переменного тока
с последовательным соединением активного, индуктивного
и емкостного сопротивлений

Цель работы: 1. Изучить основные соотношения между физическими величинами (ток, напряжения, сопротивления) в неразветвленной цепи переменного синусоидального тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений.

2. Экспериментально определить силу тока, напряжения, мощности, активные и реактивные сопротивления цепи и ее элементов.

3. Экспериментально проверить закон Ома для цепи переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений.

Основные теоретические сведения

Закон Ома для цепи переменного тока с последовательным соединением элементов имеет вид:

$$I = U / Z, \quad (3.1)$$

где Z – полное сопротивление цепи:

$$Z = \sqrt{\Sigma R^2 + (\Sigma X_L - \Sigma X_C)^2}. \quad (3.2)$$

Векторная диаграмма токов и напряжений строится в следующем порядке. Сначала необходимо выбрать значения масштабов тока M_I (А/см) и напряжения M_U (В/см), ориентируясь на максимальные значения этих величин. Вектор тока считается базовым и откладывается из выбранной начальной точки горизонтально. Векторы напряжений строятся последовательно из начальной точки в соответствии со значениями фазовых углов, а также векторного уравнения

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C, \quad (3.3)$$

где \vec{U}_R , \vec{U}_L и \vec{U}_C – векторы напряжений на активном, индуктивном и емкостном элементах цепи.

Абсолютные значения этих напряжений (В):

$$U_R = I R_R; \quad (3.4)$$

$$U_L = I Z_L = I \sqrt{R_L^2 + X_L^2}; \quad (3.5)$$

$$U_C = I Z_C, \quad (3.6)$$

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

Z_L , R_L и X_L – соответственно полное, активное и индуктивное сопротивление катушки индуктивности, Ом:

$$X_L = 2\pi fL. \quad (3.7)$$

X_C – емкостное сопротивление конденсатора, Ом:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}; \quad (3.8)$$

f – частота тока, Гц;

L – индуктивность катушки, Гн;

C – емкость конденсатора, Ф.

Из выражения (3.5) видно, что катушка индуктивности обладает как индуктивным, так и активным сопротивлением, следовательно

$$\vec{U}_L = \vec{I}R_L + \vec{I}X_L. \quad (3.9)$$

Полное сопротивление конденсатора

$$Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2}, \quad (3.10)$$

Так как активное сопротивление R_C конденсатора незначительно, то с приемлемой точностью можно считать полное сопротивление Z_C равным емкостному X_C . Следовательно,

$$U_C = IZ_C \approx IX_C. \quad (3.11)$$

Векторное уравнение (3.3) можно записать в следующем виде:

$$\vec{U} = \vec{I}R_R + \vec{I}R_L + \vec{I}X_L + \vec{I}X_C. \quad (3.12)$$

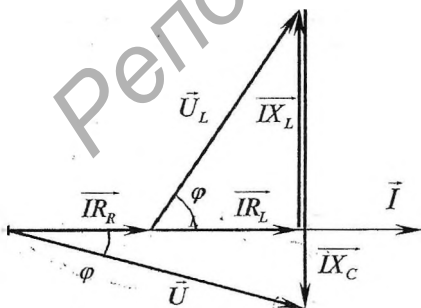


Рис. 3.1. Векторная диаграмма напряжений в цепи с последовательным соединением R, L и C-элементов.

Построение векторов на диаграмме производится в порядке расположения в цепи соответствующих элементов (рис. 3.1). На участке с

активным сопротивлением R падение напряжения U_R совпадает по фазе с током, векторы $\overline{IR_R}$ и $\overline{IR_L}$ направлены параллельно вектору тока \overline{I} . Напряжение на идеальном индуктивном элементе IX_L опережает ток I на угол 90° , вектор $\overline{IX_L}$ направлен под углом $\pi/2$ в сторону опережения относительно вектора \overline{I} (против часовой стрелки).

Напряжение U_C отстает от тока на 90° , следовательно, вектор $\overline{IX_C}$ направлен под углом $\pi/2$ в сторону отставания от вектора \overline{I} (по часовой стрелке). Соединив начало вектора $\overline{IR_R}$ и конец вектора $\overline{IX_C}$, получим суммарный вектор напряжения \overline{U} . Угол между векторами \overline{I} и \overline{U} равен углу сдвига фаз φ между соответствующими током и напряжением в цепи, а его косинус представляет собой коэффициент мощности нагрузки.

Порядок выполнения работы

1. Установите в выемку лабораторного стенда плату № 2 вместо вкладыша. С помощью соединительных проводов соберите схему (рис. 3.2).

2. Установите переключатель ЛАТР в положение « $\sim 0-250$ В». Установите сердечник катушки L в среднее положение. Подключите схему к клеммам питания « $\sim 0-250$ В», вращением рукоятки автотрансформатора установите напряжение питания $U = 150$ В и в дальнейшем поддерживайте его.

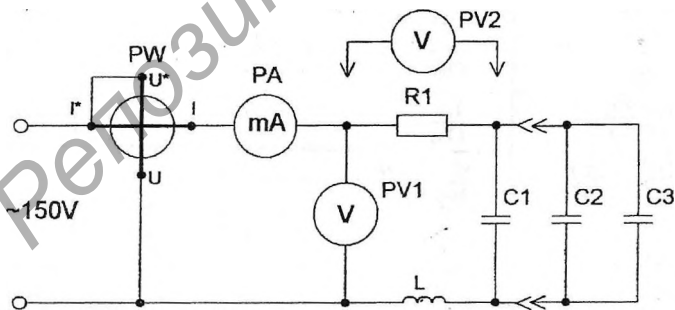


Рис. 3.2. Принципиальная электрическая схема исследования цепи переменного тока с параллельным соединением R , L и C -элементов: PW – ваттметр 0,6 кВт; PA – миллиамперметр переменного тока 300 мА; PV1 и PV2 – вольтметры переменного тока 150 В;

R1 – резистор ПЭВ-75 750 Ом; L – катушка индуктивности L1 с сердечником; C1–C3 – конденсаторы 4 мкФ 400 В.

3. При двух вариантах емкости конденсаторов (С1 и С1-С3) и катушке индуктивности без сердечника измерьте ток в цепи I , активную мощность P по ваттметру (показания ваттметра необходимо умножить на 0,1), напряжения на резисторе U_R , индуктивном U_L и емкостям U_C элементах цепи. Результаты измерений запишите в табл. 3.1.

4. Подключите в цепь конденсатор С1 и вставьте сердечник в катушку индуктивности. Измерьте ток в цепи I по амперметру РА, напряжение U по вольтметру PV1, активную мощность P по ваттметру РW (показания ваттметра необходимо умножить на 0,1), напряжения на резисторе U_R , индуктивном U_L и емкостном U_C сопротивлениях с помощью вольтметра PV2. Результаты измерений запишите в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1. Результаты исследования цепи с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений

Величина (расчетная формула)	Единица измерения	Режим работы катушки и число конденсаторов		
		без сердечника		с сердечником
		С1	С1-С3	С1
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			
$L = X_L / (2\pi f)$	Гн			
$X_C = U_C / I$	Ом			
$C = 10^6 / (2\pi f X_C)$	мкФ			
$S = U \cdot I$	В·А			
$\cos \varphi = P / S$	—			
$\varphi = \arccos (P / S)$	град.			
$Q = S \cdot \sin \varphi$	вар			

* R_R – сопротивление резистора ($R_R = 750$ Ом), f – частота тока в сети ($f = 50$ Гц).

5. По результатам измерений рассчитайте и запишите в табл. 3.1 полное Z и активное R сопротивления цепи, полное Z_L , активное R_L и индуктивное сопротивления катушки X_L , индуктивность катушки L , емкостное сопротивление конденсаторов X_C и их емкость 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 трех исследованных режимах работы цепи.

7. Проверьте закон Ома для цепи с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений, сравнив опытное значения напряжения U с расчетным:

$$U = I\sqrt{(R_R + R_L)^2 + (X_L - X_C)^2}, \quad B. \quad (3.13)$$

Результаты проверки следует отразить в выводах.

8. По результатам измерений и расчетов 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 емкостного сопротивлений.

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

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 емкость конденсатора и индуктивность катушки на значение реактивного сопротивления в цепи?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

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

Цель работы: 1. Изучить основные соотношения между физическими величинами (напряжение, токи, сопротивления и проводимости) в разветвленной цепи переменного синусоидального тока с параллельным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений.

2. Экспериментально определить напряжение, силу тока, мощности, активные и реактивные сопротивления цепи и ее элементов;

3. Экспериментально проверить закон Ома для цепи переменного тока с параллельным соединением индуктивного и емкостного сопротивлений.

Основные теоретические сведения

Закон Ома для цепи переменного тока с параллельным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений выражает зависимость полного тока в неразветвленной части цепи от проводимости его элементов

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_X^2} = U \cdot y = U \sqrt{(\Sigma g)^2 + (\Sigma b_L - \Sigma b_C)^2}, \quad (4.1)$$

где I_R и I_X – соответственно активная и реактивная составляющие полного тока, А;

U – напряжение на зажимах разветвленного участка цепи, В;

y – полная проводимость цепи (См):

$$y = \sqrt{(\Sigma g)^2 + (\Sigma b_L - \Sigma b_C)^2}; \quad (4.2)$$

Σg , Σb_L и Σb_C – соответственно суммарные активная, индуктивная и емкостная проводимости ветвей цепи (См).

Активная, индуктивная и емкостная проводимости i -й ветви (См):

$$\begin{aligned} g_i &= R_i / Z_i^2; \\ b_{Li} &= X_{Li} / Z_i^2; \\ b_{Ci} &= X_{Ci} / Z_i^2. \end{aligned}$$

где R_i , X_{Li} , X_{Ci} и Z_i – активное, индуктивное, емкостное и полное сопротивления соответствующих ветвей, Ом.

Для каждого узла разветвленной цепи выполняется первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма мгновенных значений тока в узле равна нулю. Однако при известных токах в ветвях I_i нельзя определить значение тока I в неразветвленной 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:

$$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \dots + \vec{I}_n = \sum_{i=1}^n \vec{I}_i. \quad (4.3)$$

Фазовый угол φ_i , на который сдвинут ток I_i в i -й ветви относительно напряжения U_i , зависит от характера сопротивления в ветви – активного, индуктивного или емкостного:

1. Если в ветви имеется только активное сопротивление ($X_{Li} = X_{Ci} = 0$), то $\varphi_i = 0$.

2. Если сопротивление имеет индуктивный характер ($X_{Li} > X_{Ci}$), то угол φ_i может принимать значения в диапазоне от 0 до $\pi/2$. При отсутствии активного сопротивления в ветви $\varphi_i = \pi/2$.

3. Если сопротивление имеет емкостной характер ($X_{Li} < X_{Ci}$), то угол φ_i может принимать значения в диапазоне от 0 до $-\pi/2$. При отсутствии активного сопротивления в ветви $\varphi_i = -\pi/2$.

Фазовый угол можно выразить через значения соответствующих проводимостей

$$\varphi_i = \arctg \frac{b_i}{g_i} = \arccos \frac{g_i}{y_i}, \quad (4.4)$$

где b_i – реактивная проводимость ветви, См:

$$b_i = b_{Li} - b_{Ci}. \quad (4.5)$$

Фазовый угол тока I в неразветвленной части цепи

$$\varphi = \arctg \frac{\sum (b_{Li} - b_{Ci})}{\sum g_i}. \quad (4.6)$$

Наиболее простой и наглядный способ определения токов в разветвленной цепи – построение и анализ векторной диаграммы (рис. 4.1). Сначала необходимо выбрать значения масштабов тока M_I (А/см) и напряжения M_U (В/см), ориентируясь на максимальные значения этих величин. Вектор напряжения считается 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 (4.3).

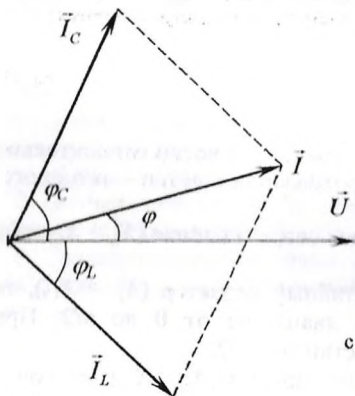


Рис. 4.1. Векторная диаграмма токов в цепи с параллельным соединением L и C-элементов.

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

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

$$\cos \varphi = P / S. \quad (4.7)$$

При анализе параллельных цепей переменного тока следует иметь в виду, что реальный индуктивный элемент (катушка индуктивности, дроссель и др.) обладает как индуктивным, так и значительным активным сопротивлением. На схеме замещения такой элемент изображается в виде последовательно соединенных идеальных активного сопротивления R_i и индуктивного X_{L_i} . Соответственно, угол сдвига фаз ветви будет принимать значения $0 < \varphi_i < \pi/2$.

Реальный конденсатор в большинстве случаев обладает незначительной активной проводимостью, так как токи утечки несущественны. На схеме замещения его с достаточной точностью можно представить идеальным емкостным элементом, обладающим только емкостной проводимостью (угол сдвига фаз $\varphi_i = -\pi/2$).

Резонанс токов в цепи с параллельным соединением емкости и индуктивности будет происходить в том случае, если индуктивное сопротивление ветвей равно емкостному:

$$X_L = X_C, \quad (4.8)$$

тогда фазовый угол тока в неразветвленной части цепи $\varphi = 0$, коэффициент мощности цепи $\cos \varphi = 1$, вектор тока \vec{I} совпадает по направлению с вектором напряжения \vec{U} . В результате токи I , на отдельных ветвях цепи могут значительно превышать ток I в ее неразветвленной части.

Порядок выполнения работы

1. Установите в выемку лабораторного стенда плату № 2 вместо вкладыша. С помощью соединительных проводов соберите схему (рис. 4.2).

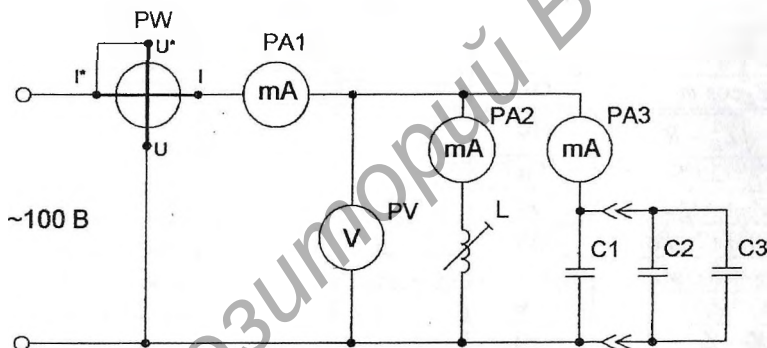


Рис. 4.2. Принципиальная электрическая схема исследования цепи переменного тока с параллельным соединением R, L и C-элементов: PW – ваттметр 0,6 кВт; PA1–PA3 – миллиамперметры переменного тока 300 мА; PV – вольтметр переменного тока 150 В; L – катушка индуктивности L1 с сердечником; C1–C3 – конденсаторы 4 мкФ 400 В.

2. Установите переключатель ЛАТР в положение «~0–250 В». Подключите схему к клеммам питания «~0–250 В» и вращением ручки автотрансформатора установите напряжение питания цепи $U = 120$ В, контролируя его по вольтметру PV.

3. При включенных конденсаторах C1 и C1–C3 и катушке индуктивности без сердечника измерьте общий ток контура I , 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 табл. 4.1.

Таблица 4.1. Результаты исследования цепи с параллельным соединением индуктивного и емкостного сопротивлений

Величина (расчетная формула)	Единица измерения	Режим работы катушки и число конденсаторов		
		без сердечника		с сердечником
		C1	C1-C3	C1
U	В			
P	Вт			
I	А			
I_L	А			
I_C	А			
$I_{RL} = P / U$	А			
$I_{XL} = \sqrt{I^2 - I_{RL}^2}$	А			
$\cos \varphi_L = I_{RL} / I$	—			
$\varphi_L = \arccos (I_{RL} / I)$	град.			
$Z_L = U / I_L$	Ом			
$R_L = Z_L \cos \varphi_L$	Ом			
$X_L = \sqrt{Z_L^2 - R_L^2}$	Ом			
$L = X_L / (2\pi f)$	Гн			
$X_C = Z_C = U / I_C$	Ом			
$C = 10^6 / (2\pi f X_C)$	мкФ			
$g = g_L = R_L / Z_L^2$	См			
$b_L = X_L / Z_L^2$	См			
$b_C = X_C / Z_C^2$	См			
$S = U \cdot I$	В·А			
$\cos \varphi = P / S$	—			
$\varphi = \arccos (P / S)$	град.			
$Q = S \cdot \sin \varphi$	вар			

4. Подключите в цепь конденсатор C1 и вставьте сердечник в катушку индуктивности. При напряжении питания цепи $U = 120$ В измерьте ток I в неразветвленной части цепи, токи I_L на индуктивном и I_C на емкостном элементах, а также активную мощность P цепи. Результаты измерений запишите в табл. 4.1.

5. Рассчитайте и запишите в табл. 4.1 активную I_{RL} и реактивную I_{XL} составляющие тока катушки, коэффициент мощности $\cos \varphi_L$ и угол сдвига фаз φ_L катушки, полное Z_L , активное R_L и индуктивное X_L сопротивление катушки, емкостное сопротивление конденсатора X_C , активную g , индуктивную b_L и емкостную b_C проводимости цепи, полную

мощность S , коэффициент мощности $\cos \varphi$, реактивную мощность Q и угол сдвига фаз φ между током и напряжением для всей цепи.

6. Проверьте закон Ома для разветвленной цепи переменного тока при различной емкости конденсаторов, сравнив опытные значения тока I в цепи с расчетными:

$$I = U \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}, \quad \text{А.} \quad (4.9)$$

Результаты проверки необходимо отразить в выводах.

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

8. Проверьте условие возникновения резонанса в цепи, сравнив значения индуктивного X_L и емкостного X_C сопротивлений. Результаты проверки необходимо отразить в выводах.

Контрольные вопросы

1. Объясните закон Ома для цепи переменного тока, содержащей активное, индуктивное и емкостное сопротивления.
2. Объясните явление резонанса токов в цепи с активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями.
3. Как из векторной диаграммы определить значения активной и реактивной проводимости участков цепи?
4. Как влияет емкость конденсаторов на реактивное сопротивление цепи и коэффициент мощности?
5. Как изменяется ток в неразветвленной части цепи при резонансе напряжений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Исследование трехфазной цепи переменного тока с соединением приемников по схеме «звезда»

Цель работы: 1. Изучить основные соотношения между физическими величинами (токи, напряжения, мощности) в трехфазной трех- и четырехпроводной цепи переменного синусоидального тока с соединением приемников по схеме «звезда».

2. Экспериментально определить силы тока, напряжения, мощности при симметричных и несимметричных режимах работы цепи.

Основные теоретические сведения

Соединение приемников способом «звезда» возможно как в четырехпроводной трехфазной сети, так и в трехпроводной (без нейтрального провода). При этом отдельные фазные приемники включаются одной клеммой к соответствующим фазам генератора (сети), а другой соединяются все вместе – в нейтральной точке нагрузки. В четырехпроводной цепи нейтральная точка также соединяется с нейтралью генератора с помощью нейтрального провода.

Четырехпроводная сеть применяется в том случае, если на фазах А, В и С включены разнородные (активные, индуктивные, емкостные) или разные по величине сопротивления. Нейтральный провод в этом случае обеспечивает равенство фазных напряжений U_A , U_B и U_C . Соотношение между линейными U_L и фазными U_ϕ напряжениями (в четырехпроводной сети или в трехпроводной при симметричной нагрузке)

$$U_L = \sqrt{3}U_\phi. \quad (5.1)$$

Фазные токи равны соответствующим линейным токам

$$I_L = I_\phi. \quad (5.2)$$

Сила тока в нейтрали определяется векторным уравнением (по первому закону Кирхгофа):

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = \vec{I}_N; \quad (5.3)$$

Если к фазам сети подключены однофазные приемники с однородными и одинаковыми по величине сопротивлениями (симметричный режим), то ток в нейтрали I_N отсутствует, и в нейтральном проводе нет нужды. Такая цепь – без нейтрального провода – называется трехпроводной.

При построении топографической векторной диаграммы напряжений и векторной диаграммы токов необходимо руководствоваться следую-

щими правилами. Сначала следует записать векторное уравнение токов (5.3) (по первому закону Кирхгофа) и три векторных уравнения напряжений (по второму закону Кирхгофа):

$$\begin{cases} \vec{U}_{AB} = \vec{U}_A - \vec{U}_B; \\ \vec{U}_{BC} = \vec{U}_B - \vec{U}_C; \\ \vec{U}_{CA} = \vec{U}_C - \vec{U}_A, \end{cases} \quad (5.4)$$

где А, В, С – буквы, обозначающие вершины треугольника, образуемых векторами напряжений.

В соответствующем масштабе напряжений M_U необходимо построить симметричную трехлучевую звезду векторов фазных напряжений \vec{U}_A, \vec{U}_B и \vec{U}_C . Фазовые углы между векторами равны между собой и составляют по 120° , начала всех векторов находятся в точке N. Линейные напряжения $\vec{U}_{AB}, \vec{U}_{BC}, \vec{U}_{CA}$ строятся на основании уравнений (5.4) как векторные разности соответствующих фазных напряжений (рис. 5.1).

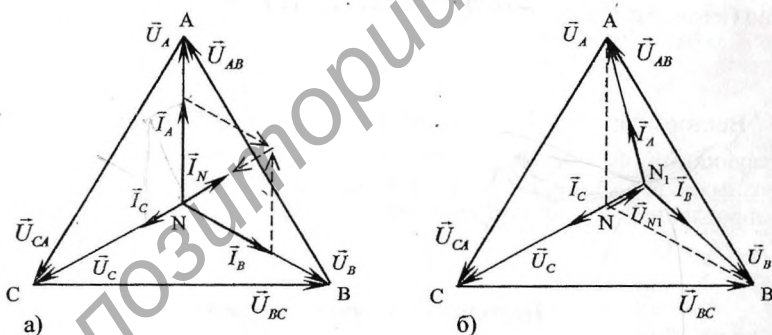


Рис. 5.1. Топографическая векторная диаграмма напряжений и токов при трехфазной нагрузке, соединенной по схеме «звезда»: а) несимметричный режим с нейтральным проводом; б) несимметричный режим без нейтрального провода.

Векторы линейных (фазных) токов $\vec{I}_A, \vec{I}_B, \vec{I}_C$ откладываются относительно векторов одноименных фазных напряжений под соответствующими фазовыми углами. Для исследуемых в работе ламп накаливания векторы токов параллельны одноименным векторам фазных напряжений (фазовые углы φ равны нулю). Вектор тока \vec{I}_N в нейтральном проводе определяется по формуле (5.3) как геометрическая сумма векторов фазных токов.

При построении векторной диаграммы для трехпроводной 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 равносторонний треугольник линейных напряжений. В геометрическом центре треугольника линейных напряжений отмечается точка нейтрали генератора (сети) N .

Построение векторов фазных напряжений производится в следующем порядке. 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 необходимой точности измерений и построений все три дуги должны пересечься в одной точке N_1 , которая определяет потенциал нейтральной точки нагрузки. Начала векторов фазных напряжений U_A , U_B и U_C будут находиться в точке N_1 , а концы – в точках A , B и C соответственно. Вектор напряжения смещения нейтрали U_{N_1} определяет значение и фазовый угол напряжения между нейтральными точками генератора и нагрузки и проводится из точки N до точки N_1 .

Векторное уравнение токов по первому закону Кирхгофа будет иметь вид (из-за отсутствия нейтрального провода):

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = 0. \quad (5.5)$$

Векторы токов \vec{I}_A , \vec{I}_B , \vec{I}_C откладываются из точки N_1 под соответствующими фазовыми углами относительно векторов одноименных фазных напряжений. В случае активной нагрузки они будут совпадать по направлению с одноименными векторами фазных напряжений \vec{U}_A , \vec{U}_B и \vec{U}_C .

Порядок выполнения работы

1. Установите в выемку лабораторного стенда плату № 3 вместо вкладыша. С помощью соединительных проводов соберите схему (рис. 5.2) и подключите ее к клеммам A , B , C и 0 трехфазного питания «3-220 В» приборного штатива.

2. Для исследования симметричного режима работы четырехпроводной трехфазной цепи выключатели $B1$, $B2$ и $B3$ необходимо установить в положение «Вкл.». Получив разрешение руководителя, включить установку в сеть и произвести 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 – миллиамперметром $PA1$ при установке на соответствующую фазу, ток в нейтральном проводе I_N – амперметром $PA2$. Результаты измерений запишите в табл. 5.1, режим 1.

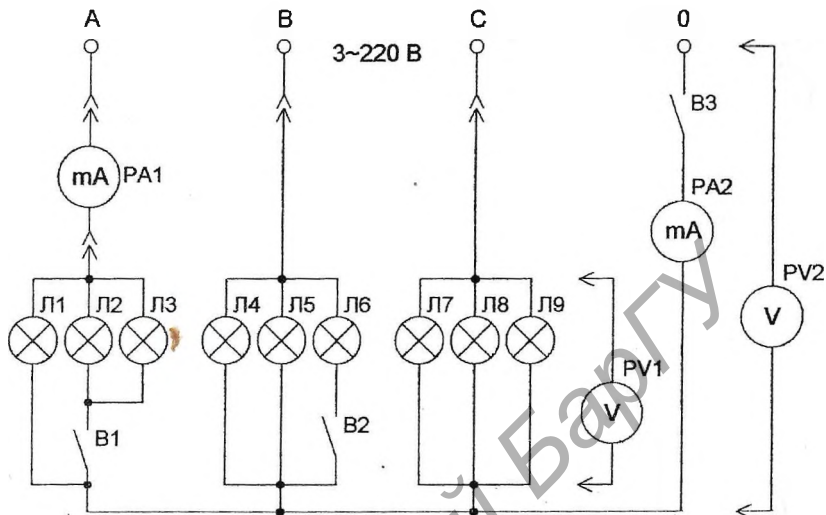


Рис. 5.2. Принципиальная электрическая схема исследования трехфазной цепи переменного тока с соединением приемников по схеме «звезда»: PA1–PA2 – миллиамперметры переменного тока 300 мА; PV1 – вольтметр переменного тока 250 В; PV2 – вольтметр переменного тока 50 В; B1–B3 – выключатели; Л1–Л9 – нагрузочные лампы 25 Вт.

3. Для исследования четырехпроводной трехфазной цепи с несимметричной нагрузкой (число включенных ламп по фазам 1–3–3) выключатель B1 необходимо установить в положение «Выкл.», выключатели B2 и B3 – в положение «Вкл.». Измерения производятся аналогично п. 2. Результаты измерений запишите в табл. 5.1, режим 2.

4. Для исследования четырехпроводной трехфазной цепи с несимметричной нагрузкой (число включенных ламп по фазам 1–2–3) выключатели B1 и B2 необходимо установить в положение «Выкл.», выключатель B3 – в положение «Вкл.». Измерения производятся аналогично п. 2. Результаты измерений запишите в табл. 5.1, режим 3.

5. Для исследования трехпроводной трехфазной цепи с симметричной нагрузкой выключатели B1 и B2 необходимо установить в положение «Вкл.», выключатель B3 – в положение «Выкл.». Получив разрешение руководителя, включить установку в сеть и произвести необходимые измерения. Фазные напряжения U_A , U_B , U_C измеряются вольтметром PV1, напряжение смещения нейтрали U_{Nl} – вольтметром PV2 на соответствующих точках цепи, фазные токи I_A , I_B и I_C – миллиамперметром PA1 при установке на соответствующую фазу. Результаты измерений запишите в табл. 5.1, режим 4.

Т а б л и ц а 5.1. Результаты исследования трехфазной цепи с однофазными потребителями, соединенными по схеме «звезда»

Величина (расчетная формула)	Единица измерения	Четырехпроводная цепь			Трехпроводная 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_{NI}	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						

6. Для исследования трехпроводной трехфазной цепи с несимметричной нагрузкой (число включенных ламп по фазам 1-3-3) выключатель В2 необходимо установить в положение «Вкл.», выключатели В1 и В3 – в положение «Выкл.». Измерения производятся аналогично п. 5. Результаты измерений запишите в табл. 5.1, режим 5.

7. Для исследования трехпроводной трехфазной цепи с несимметричной нагрузкой (число включенных ламп по фазам 1-2-3) выключатели В1, В2 и В3 необходимо установить в положение «Выкл.». Измерения производятся аналогично п.5. Результаты измерений запишите в табл. 5.1, режим 6.

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

9. Проверьте соотношение между фазными и линейными напряжениями для каждой фазы

$$U_{л} = \sqrt{3}U_{\phi}, \quad (5.6)$$

10. Постройте векторные диаграммы токов и напряжений для трех режимов работы цепи (по указанию руководителя). По векторной диаграмме необходимо графическим способом определить значения тока I_N

в нейтральном проводе и напряжения U_{NIN} смещения нейтрали (соответственно в четырехпроводной или трехпроводной цепи) и сравнить их с опытными значениями. Результаты сравнения следует отразить в выводах.

Контрольные вопросы

1. Объясните соотношение между фазными и линейными напряжениями в трехфазной цепи с соединением приемников по схеме «звезда». Как изменяются эти соотношения в зависимости от режима работы цепи?
2. Раскройте физический смысл напряжения смещения нейтрали U_{NIN} в трехпроводной трехфазной цепи.
3. В каких случаях и для чего в трехфазных цепях необходим нейтральный провод? Можно ли обойтись без него при работе однофазных (трехфазных) потребителей?
4. Какой из исследованных режимов работы цепи создает угрозу для нормальной работы приемников и почему?
5. Укажите недостатки и преимущества трехпроводной и четырехпроводной цепей трехфазного тока.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Исследование трехфазной цепи переменного тока с соединением приемников по схеме «треугольник»

Цель работы: 1. Изучить основные соотношения между физическими величинами (токи, напряжения, мощности) в трехфазной трехпроводной цепи переменного синусоидального тока с соединением приемников по схеме «треугольник».

2. Экспериментально определить силы тока, напряжения и мощности при симметричных и несимметричных режимах работы цепи.

Основные теоретические сведения

Схема, когда каждая фаза трехфазного приемника включены на линейное напряжение, называется «треугольник». При этом линейное напряжение одновременно является и фазным:

$$U_L = U_\phi. \quad (6.1)$$

При симметричной нагрузке соотношение между линейными I_A, I_B и I_C и фазными I_{AB}, I_{BC} и I_{CA} токами

$$I_L = \sqrt{3}I_\phi. \quad (6.2)$$

Важным преимуществом схемы «треугольник» в трехпроводной цепи является независимость работы одних фаз от других: при изменении сопротивления фазы будет изменяться только ток этой фазы и токи в сопряженных линейных проводах. Поэтому схема «треугольник» используется и для включения однофазных потребителей.

В общем случае (при несимметричной нагрузке по фазам) линейные токи определяются векторными уравнениями на основании первого закона Кирхгофа:

$$\begin{cases} \vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}; \\ \vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}; \\ \vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}. \end{cases} \quad (6.3)$$

Построение топографической векторной диаграммы напряжений и векторной диаграммы токов (рис. 6.1) начинают с построения в выбранном масштабе напряжений M_U равностороннего треугольника линейных (фазных) напряжений \vec{U}_{AB} , \vec{U}_{BC} , \vec{U}_{CA} .

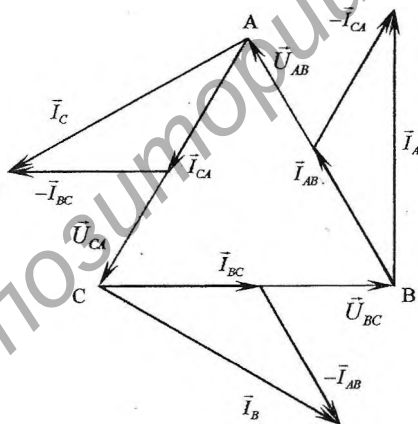


Рис. 6.1. Векторная диаграмма токов и напряжений при трехфазной симметричной нагрузке, соединенной по схеме «треугольник».

Фазовые углы между векторами равны между собой (120°), начало вектора \vec{U}_{AB} располагается в точке В, начало вектора \vec{U}_{BC} – в точке С и начало вектора \vec{U}_{CA} – соответственно в точке А. Затем в выбранном масштабе токов M_I строят векторы фазных токов \vec{I}_{AB} , \vec{I}_{BC} и \vec{I}_{CA} . Их от-

кладывают из тех же точек, что и соответствующие напряжения, но с учетом фазовых углов φ (положительное значение угла соответствует направлению поворота по часовой стрелке). Если в качестве нагрузки на i -й фазе используется активное сопротивление, то в этом случае фазовый угол $\varphi_i = 0$.

Для построения вектора линейного тока \vec{I}_A к вектору фазного тока \vec{I}_{AB} необходимо прибавить в соответствии с первым уравнением системы (6.3) вектор $-\vec{I}_{AB}$, равный по длине и противоположный по направлению вектору \vec{I}_{AB} . Аналогичным образом могут быть получены и векторы токов в остальных линейных проводах.

При несимметричном режиме работы цепи построение векторной диаграммы производится аналогично, но фазные и линейные токи не образуют в этом случае симметричной системы.

Порядок выполнения работы

1. Установите в выемку лабораторного стенда плату № 3 вместо вкладыша. С помощью соединительных проводов соберите схему (рис. 6.2) и подключите ее к клеммам А, В, С и 0 трехфазного питания «3~220 В» приборного штатива

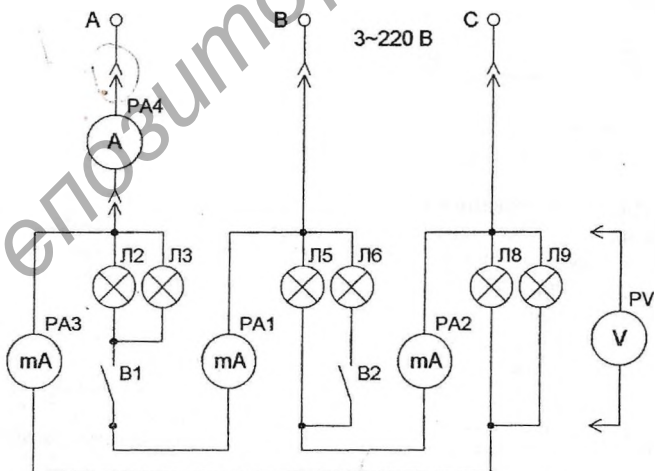


Рис. 6.2. Принципиальная электрическая схема исследования трехфазной цепи переменного тока с соединением приемников по схеме «треугольник»: PA1–PA3 – миллиамперметры переменного тока 300 мА; PA4 – амперметр переменного тока 1 А; PV – вольтметр переменного тока 250 В; B1–B2 – выключатели; L2–L9 – нагрузочные лампы 25 Вт.

2. Для исследования симметричного режима работы трехпроводной трехфазной цепи выключатели В1 и В2 необходимо установить в положение «Вкл.». Получив разрешение руководителя, включить установку в сеть и произвести необходимые измерения. Фазные (линейные) напряжения U_{AB} , U_{BC} и U_{CA} измеряются вольтметром PV на соответствующих точках цепи. Фазные токи I_{AB} , I_{BC} и I_{CA} измеряются миллиамперметрами PA1–PA3, линейные токи I_A , I_B и I_C – амперметром PA4 при включении его в соответствующую фазу. Результаты измерений запишите в табл. 6.1, режим 1.

Таблица 6.1. Результаты исследования трехфазной цепи с однофазными потребителями, соединенными по схеме «треугольник»

Величина (расчетная формула)	Единица измерения	1. Симметричный режим (3–3–3)	2. Несимметричный режим (1–3–3)	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			

3. Для исследования несимметричного режима работы цепи (количество включенных ламп 1–3–3) выключатель В1 необходимо установить в положение «Выкл.», выключатель В2 – в положение «Вкл.». Измерения производятся аналогично п. 2. Результаты измерений запишите в табл. 6.1, режим 2.

4. Для исследования несимметричного режима работы цепи (количество включенных ламп 1–2–3) выключатели В1 и В2 необходимо установить в положение «Выкл.». Измерения производятся аналогично п. 2. Результаты измерений запишите в табл. 6.1, режим 3.

5. Рассчитайте фазные мощности (Вт) и суммарную мощность приемников

$$P_{\Phi i} = U_{\Phi i} I_{\Phi i} \cos \varphi_i, \quad (6.4)$$

где $U_{\Phi i}$, $I_{\Phi i}$ – соответственно фазное напряжение и ток i -й фазы;

$\cos \varphi_i$ – коэффициент мощности приемника на i -й фазе (для ламп накаливания $\cos \varphi \approx 1$).

$$\Sigma P_{\phi} = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}. \quad (6.5)$$

9. Проверьте, соблюдается ли соотношение между фазными и линейными токами для каждой фазы

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\phi}. \quad (6.6)$$

Результаты проверки необходимо отразить в выводах.

10. Постройте векторные диаграммы токов и напряжений для трех режимов работы цепи (табл. 6.1). По векторной диаграмме определите графическим способом значения линейных токов I_A , I_B и I_C , сравните их с опытными значениями. Результаты сравнения следует отразить в выводах.

Контрольные вопросы

1. Объясните соотношение между фазными и линейными токами в трехфазной цепи с соединением приемников 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 трехфазную цепь?

3. Объясните порядок построения векторной диаграммы напряжений и токов для схемы «треугольник».

4. Как определяется мощность в трехфазной цепи с соединением приемников по схеме «треугольник»?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Измерение мощности в цепи трехфазного переменного тока

Цель работы: 1. Изучить методы трех ваттметров и двух ваттметров для измерения активной мощности в четырехпроводных и трехпроводных цепях трехфазного переменного тока.

2. Экспериментально определить активную, реактивную и полную мощности в четырехпроводной и трехпроводной цепях трехфазного переменного тока при несимметричных режимах работы.

Основные теоретические сведения

Полная мощность фазы и трехфазного приемника в целом (В·А)

$$S_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi}; \quad (7.1)$$

$$S = \Sigma S_{\phi}. \quad (7.2)$$

где U_{ϕ} и I_{ϕ} – соответственно напряжение и ток фазы.

Следовательно, для определения полной мощности необходимо измерить напряжения и токи на каждой фазе. При симметричной нагрузке

$$S = 3U_{\phi} I_{\phi} = \sqrt{3}U_{л} I_{\phi}, \quad (7.3)$$

где $U_{л}$ – линейное напряжение, В.

Активная мощность фазы (Вт) и приемника в целом

$$P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi}; \quad (7.4)$$

$$P = \Sigma P_{\phi},$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности фазы;

φ – угол сдвига фаз между током и напряжением (фазовый угол).

Реактивная мощность фазы и трехфазного приемника в целом (вар)

$$Q_{\phi} = S \cdot \sin \varphi = \sqrt{S_{\phi}^2 - P_{\phi}^2}, \quad (7.5)$$

$$Q = \Sigma Q_{\phi}. \quad (7.6)$$

При измерении активной мощности в трехфазной цепи применяются различные схемы включения ваттметров в зависимости от характера нагрузки (симметричная или несимметричная) и от схемы электрической цепи (трехпроводная или четырехпроводная).

В цепи с нейтральным проводом в общем случае активную мощность можно измерить тремя ваттметрами (рис. 7.1), каждый из которых измеряет мощность отдельной фазы P_A , P_B , P_C . Активная мощность всей нагрузки равна сумме показаний трех приборов: $P = P_A + P_B + P_C$.

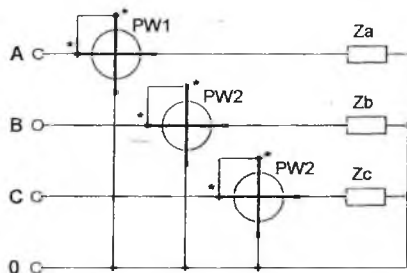


Рис. 7.1. Схема измерения мощности в цепи трехфазного переменного тока с нейтральным проводом.

При симметричной нагрузке в трехфазной цепи без нейтрального провода используется способ включения ваттметра с искусственной нейтральной точкой (рис. 7.2), которая образуется двумя добавочными резисторами R_1 и R_2 , сопротивление каждого из которых в отдельности равно сопротивлению параллельной цепи ваттметра $R_{\text{ВАТ}}$. Активная мощность нагрузки равна утроенному значению показаний ваттметра.

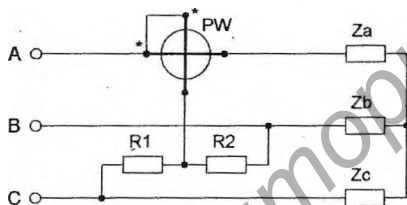


Рис. 7.2. Схема измерения мощности в трехпроводной цепи трехфазного переменного тока при симметричной нагрузке по фазам.

Для измерения активной мощности в трехпроводной трехфазной цепи при несимметричных режимах работы может быть использован метод двух ваттметров (рис. 7.3). Последовательные обмотки ваттметров включаются в два любых линейных провода, а концы параллельных обмоток, не обозначенных звездочкой, необходимо подключить к оставшейся фазе.

При активной нагрузке (угол сдвига фаз $\varphi = 0$) оба ваттметра показывают одинаковую мощность. По мере увеличения фазового угла нагрузки φ показания одного ваттметра будут уменьшаться, а другого — увеличиваться, и 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 последовательно обмотке), и измеренное затем значение считать отрицательным. Активная мощность цепи равна сумме (с учетом знака) показаний двух ваттметров: $P = P_1 + P_2$.

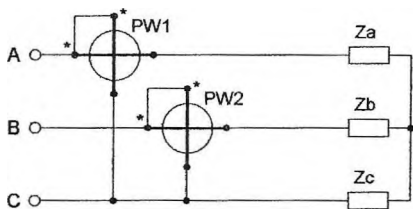


Рис. 7.3. Схема измерения мощности в трехпроводной цепи трехфазного переменного тока методом двух ваттметров.

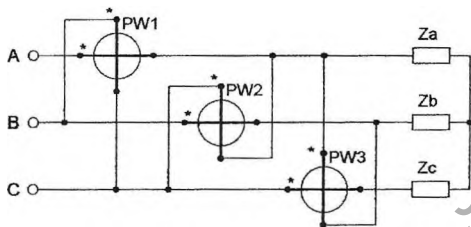


Рис. 7.4. Схема измерения реактивной мощности в трехпроводной цепи трехфазного переменного тока.

Для измерения реактивной мощности в трехпроводной цепи можно воспользоваться схемой (рис. 7.3):

$$Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2). \quad (7.7)$$

Также реактивную мощность можно измерить тремя ваттметрами активной мощности, включенными по схеме (рис. 7.4). Для отдельной фазы она равна показанию соответствующего ваттметра, деленному на $\sqrt{3}$. Реактивная мощность всей цепи (вар):

$$Q = \frac{Q_A + Q_B + Q_C}{\sqrt{3}}. \quad (7.8)$$

Порядок выполнения работы

1. Установите в выемку лабораторного стенда плату № 3 вместо вкладыша. С помощью соединительных проводов соберите схему (рис. 7.5) и подключите ее к клеммам А, В, С и 0 трехфазного питания «3~220 В» приборного штатива.

2. Установите выключатели В1 и В2 в положение «Выкл.», выключатель В3 – в положение «Вкл.», создав тем самым четырехпроводную цепь с несимметричной нагрузкой по фазам. Получив разрешение руководителя, включите установку в сеть.

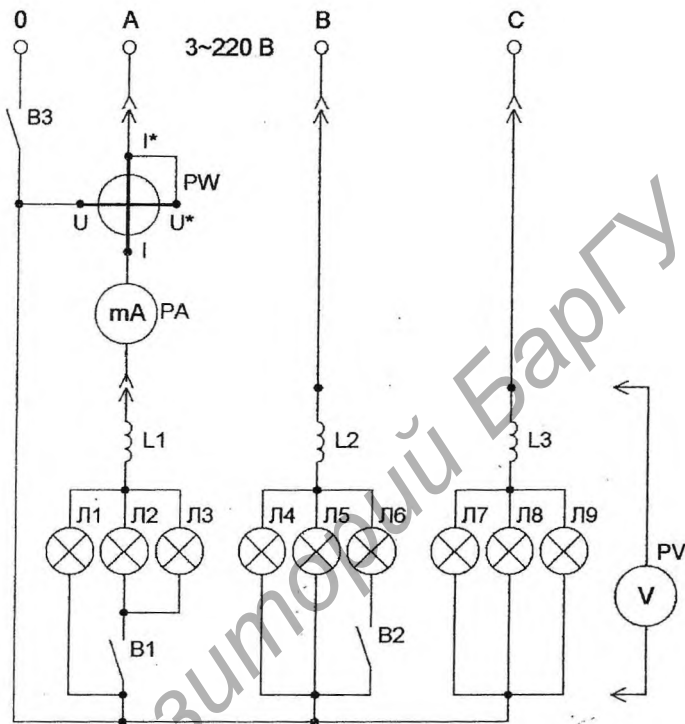


Рис. 7.5. Принципиальная электрическая схема измерения мощности в трехфазной четырехпроводной цепи переменного тока по методу трех ваттметров: PW – ваттметр 0,6 кВт; PA – миллиамперметр переменного тока 300 мА; PV – вольтметр переменного тока 250 В; L1–L3 – катушки индуктивности; Л1–Л9 – нагрузочные лампы 25 Вт; В1–В2 – выключатели.

3. Измерьте фазные напряжения U_A , U_B и U_C с помощью вольтметра PV. Поочередно измерьте фазные фазные токи I_A , I_B и I_C и мощности P_A , P_B и P_C , переключая миллиамперметр PA и токовую обмотку ваттметра PW в разрыв соответствующей фазы (показания ваттметра следует умножать на 0,1). Результаты измерений запишите в табл. 7.1.

Лабораторную установку на время переключений следует обесточивать.

4. Установите выключатели В1–В3 – в положение «Выкл.», создав тем самым трехпроводную цепь с несимметричной нагрузкой по фазам.

Получив разрешение руководителя, включить установку в сеть. Повторите измерения п. 3 и запишите результаты в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Результаты измерений и расчета мощностей по методу трех ваттметров

Величина (расчетная формула)	Единица измерения	Четырехпроводная цепь	Трехпроводная цепь
U_A	В		
U_B	В		
U_C	В		
I_A	А		
I_B	А		
I_C	А		
P_A	Вт		
P_B	Вт		
P_C	Вт		
$P = P_A + P_B + P_C$	Вт		
$B = U_A \cdot I_A$	В·А		
$S_B = U_B \cdot I_B$	В·А		
$S_C = U_C \cdot I_C$	В·А		
$\cos \varphi_A = P_A / B$	—		
$\cos \varphi_B = P_B / S_B$	—		
$\cos \varphi_C = P_C / S_C$	—		
$S = B + S_B + S_C$	В·А		
$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	вар		

5. С помощью соединительных проводов соберите схему (рис. 7.6) и подключите ее к клеммам А, В, С и 0 трехфазного питания «3~220 В» приборного штатива.

6. Установите выключатели В1–В3 в положение «Выкл.», создав тем самым трехпроводную цепь с несимметричной нагрузкой по фазам. Получив разрешение руководителя, включите установку в сеть.

7. Измерьте фазные токи I_A , I_B и I_C с помощью миллиамперметров РА1–РА3, фазные напряжения U_A , U_B и U_C с помощью вольтметра PV. Поочередно измерьте мощности P_1 и P_2 , переключая токовую обмотку I–I* ваттметра PW в разрыв фаз В и С (показания ваттметра следует умножать на 0,1). Результаты измерений запишите в табл. 7.2.

Если стрелка ваттметра PW при измерении значений P_1 или P_2 отклоняется влево, то необходимо изменить полярность подключения токовой обмотки прибора (клеммы I и I*), и измеренное затем значение мощности записать со знаком «минус».

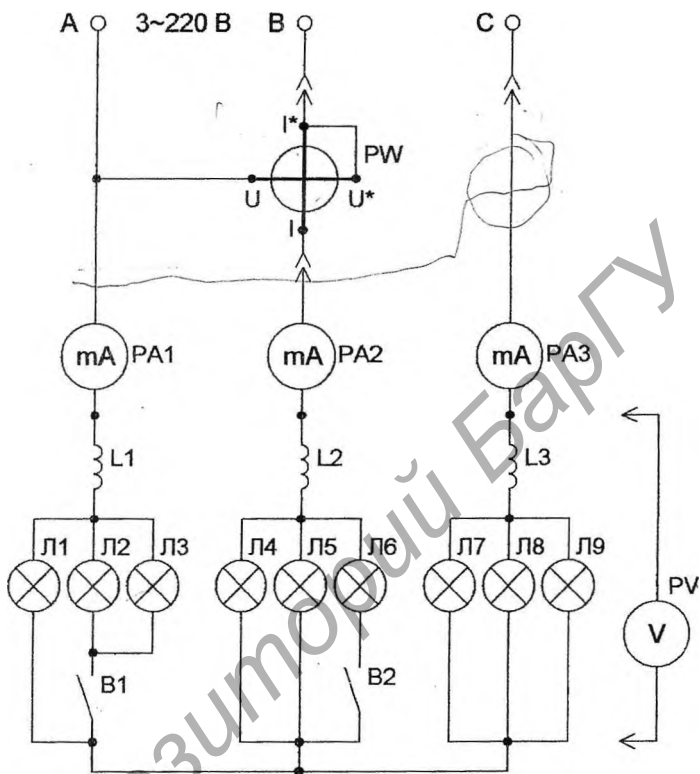


Рис. 7.6. Принципиальная электрическая схема измерения мощности в трехфазной трехпроводной цепи переменного тока по методу двух ваттметров: PW – ваттметр 0,6 кВт; PA1–PA3 – миллиамперметры переменного тока 300 мА; PV – вольтметр переменного тока 250 В; L1–L3 – катушки индуктивности; Л1–Л9 – нагрузочные лампы 25 Вт; В1–В2 – выключатели.

8. По результатам измерений вычислите активную мощность цепи P , полную мощность фаз B , S_B , S_C и всей цепи S , коэффициент мощности $\cos \varphi$ и реактивную мощность цепи Q . Результаты расчетов запишите в табл. 7.2.

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

Таблица 7.2. Результаты измерения и расчета мощностей с использованием метода двух ваттметров

Величина (расчетная формула)	Единица измерения	Значение
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	
$B \neq U_A I_A$	В·А	
$S_B = U_B I_B$	В·А	
$S_C = U_C I_C$	В·А	
$\cos \varphi_A = P_A / B$	—	
$\cos \varphi_B = P_B / S_B$	—	
$\cos \varphi_C = P_C / S_C$	—	
$S = B + S_B + S_C$	В·А	
$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	вар	

Контрольные вопросы

1. Объясните метод трех ваттметров для измерения активной мощности в трехфазной цепи переменного тока. При каких условиях применяется этот метод?
2. Объясните метод двух ваттметров для измерения активной мощности в трехфазной цепи переменного тока. При каких условиях применяется этот метод?
3. Как измерить активную мощность трехфазного приемника с соединением фаз способом «звезда»?
4. Как определить реактивную и полную мощности в трехфазной цепи переменного тока?
5. По результатам опытов постройте векторную диаграмму токов и напряжений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Исследование работы полупроводниковых выпрямителей

Цель работы: 1. Изучить назначение, устройство, принцип действия и основные характеристики однофазного и трехфазного мостовых выпрямителей.

2. Снять вольт-амперную характеристику однофазного мостового выпрямителя и определить его коэффициент полезного действия.

3. Определить коэффициент полезного действия трехфазного мостового выпрямителя при различной нагрузке.

Основные теоретические сведения

Если полупроводниковый (или ламповый) диод включить в цепь переменного напряжения, то он будет работать как вентиль, т.е. пропускать ток только в то время, когда анод имеет положительный потенциал. Это свойство используется для выпрямления электрического тока. В общем случае вентиль независимо от вида (полупроводниковый диод, двух-электродная лампа или газотрон) включается по различным схемам.

Однополупериодная схема (рис. 8.1) используется для выпрямления однофазного тока: диод включают во вторичную обмотку трансформатора последовательно с нагрузкой. Недостаток этой схемы – пульсация напряжения от нуля до амплитудного значения U_M .

Для измерения выпрямленных напряжений и токов применяют магнитоэлектрические приборы, которые показывают среднее значение измеряемых величин. В случае однополупериодного выпрямления средние значения выпрямленного напряжения и тока

$$U_{CP} = U_M / \pi, \quad (8.1)$$

$$I_{CP} = I_M / \pi, \quad (8.2)$$

где U_M и I_M – амплитудные значения напряжения и тока;

Электромагнитный вольтметр, включенный в цепь, покажет действующее значение напряжения

$$U = U_M / \sqrt{2}. \quad (8.3)$$

Отношение среднего значения выпрямленного напряжения к действующему значению переменного напряжения

$$U_{CP} / U = \sqrt{2} / \pi = 0,45. \quad (8.4)$$

Отношение среднего значения I_{CP} выпрямленного тока к действующему значению I_D переменного тока за период

$$I_{CP} / I_D = 2 / \pi = 0,637. \quad (8.5)$$

Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения (отношение амплитудного значения величины к среднему)

$$q = U_M / U_{CP} = \pi. \quad (8.6)$$

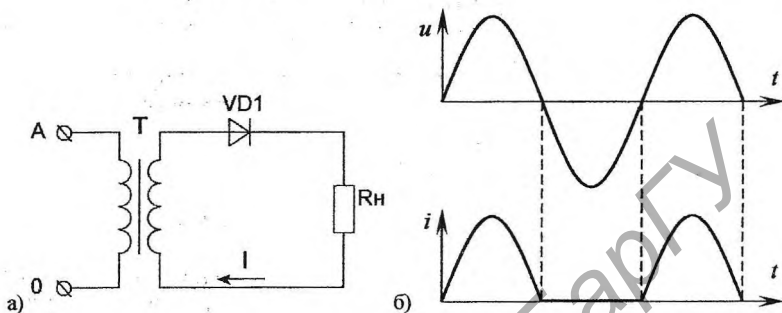


Рис. 8.1. Схема однополупериодного выпрямления (а) и график напряжения и тока (б).

Двухполупериодные схемы однофазных выпрямителей бывают двух типов: с нулевой точкой и мостовая.

Схема двухполупериодного выпрямителя выпрямления с нулевой точкой (рис. 8.2) применяется в выпрямителях малой мощности. Вторичная обмотка трансформатора имеет выведенную нулевую точку в середине вторичной обмотки, в цепь включены два вентиля — VD1 и VD2. В первый полупериод анод диода VD1 имеет положительный потенциал, этот диод открыт; диод VD2 имеет отрицательный потенциал на аноде — он заперт. В следующий полупериод заперт диод VD1, а вентиль VD2 проводит ток. Оба полупериода в нагрузке есть ток.

Коэффициент пульсаций двухполупериодного выпрямителя с нулевой точкой $q = 2/3 = 0,67$.

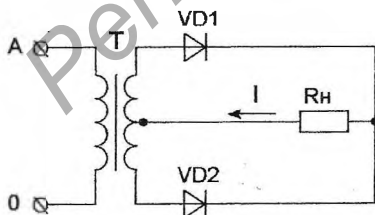


Рис. 8.2. Схема двухполупериодного выпрямителя с нулевой точкой.

Недостатком данного типа выпрямителя является наличие достаточно большого обратного напряжения $U_{OБP,MAX} = \pi U_B$, которое прикладывается к закрытому диоду, когда ток проводит другой диод. Кроме того, максимальное рабочее напряжение равно половине максимального

вторичного напряжения трансформатора, т. к. каждую половину периода работает только одна половина вторичной обмотки трансформатора.

Мостовая схема (рис. 8.3) не имеет указанных выше недостатков, поэтому применяется более широко. Нагрузка включена в диагональ моста, образованного диодами VD1–VD4. В различные моменты времени работают те диоды, у которых потенциал анода положителен. В положительный полупериод диоды VD1 и VD2 включены в прямом направлении, а VD3, VD4 – в обратном. В отрицательный полупериод питающего напряжения и диоды VD3, VD4 проводят ток, а VD1, VD2 – закрыты. В результате ток I_B на нагрузке R_H имеет одно направление.

Среднее значение выпрямленного напряжения U_{CP} и тока I_{CP} на нагрузке (при измерении прибором магнитоэлектрической системы)

$$U_{CP} = 2U_M / \pi; \quad (8.7)$$

$$I_{CP} = 2I_M / \pi, \quad (8.8)$$

где U_M и I_M – соответственно амплитудное и действующее значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора, В.

Действующие значения переменного напряжения и тока в мостовой схеме определяются по выражениям

$$U = U_M / \sqrt{2}; \quad (8.9)$$

$$I = I_M / \sqrt{2}. \quad (8.10)$$

Отношение среднего значения выпрямленного напряжения и тока к действующим значениям

$$\frac{U_{CP}}{U} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0,9; \quad (8.11)$$

$$\frac{I_{CP}}{I} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0,9. \quad (8.12)$$

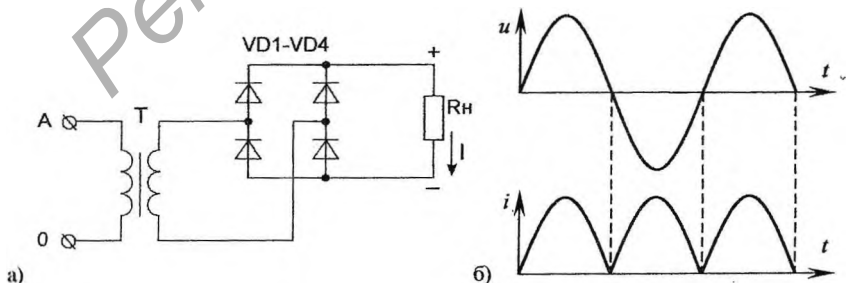


Рис. 8.3. Однофазная мостовая схема выпрямления (а) и графики напряжения и тока (б).

Схемы выпрямления трехфазного тока подразделяются на схемы с общей нулевой точкой и мостовые (схема Ларионова).

В схеме с общей нулевой точкой (рис. 8.3) в каждую из фаз вторичной обмотки трансформатора включен вентиль VD1–VD3, катоды которых образуют общую точку. Нагрузка включена между общей точкой вентилей и нулевой точкой трансформатора, в результате каждый вентиль проводит ток в течение 1/3 периода, ток нагрузки $i = i_A + i_B + i_C$.

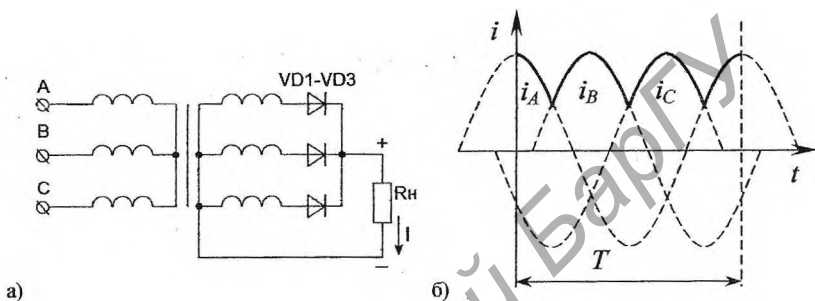


Рис. 8.4. Схема выпрямителя с нулевым проводом и график выпрямленного тока.

Трехфазная мостовая схема выпрямителя (схема Ларионова) содержит шесть диодов VD1 – VD6, включенных попарно на каждой фазе (рис. 8.4). В этой схеме амплитуда пульсаций меньше, чем в предыдущих схемах выпрямления ($q = 0,057$). Отношение выпрямленного тока к действующему значению переменного тока

$$\frac{I_{CP}}{I} = \frac{3\sqrt{3}\sqrt{2}}{\pi} = 3,34. \quad (8.13)$$

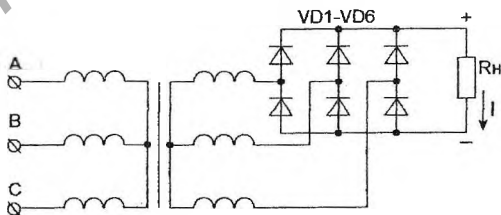


Рис. 8.5. Трехфазная мостовая схема выпрямителя.

Диоды для выпрямителей выбирают по двум основным параметрам: постоянному (выпрямленному) току, который должен давать выпрями-

тель, и обратному напряжению $U_{OБP.MАX}$. Допустимый ток диода должен быть не меньше полного тока, потребляемого нагрузкой. На практике желательнее применять диоды с 2-3-кратным запасом по току. Допустимое обратное напряжение диодов должно быть не меньше удвоенного амплитудного значения напряжения в цепи.

Порядок выполнения работы

1. Установите в выемку лабораторного стенда плату № 4 вместо вкладыша. С помощью соединительных проводов соберите схему (рис. 8.6). Установите на блоке питания переключатель ЛАТР в положение « $\sim 0-250$ В». Подключите схему к клеммам питания « $\sim 0-350$ В» приборного штатива. Получив разрешение руководителя, включите установку в сеть.

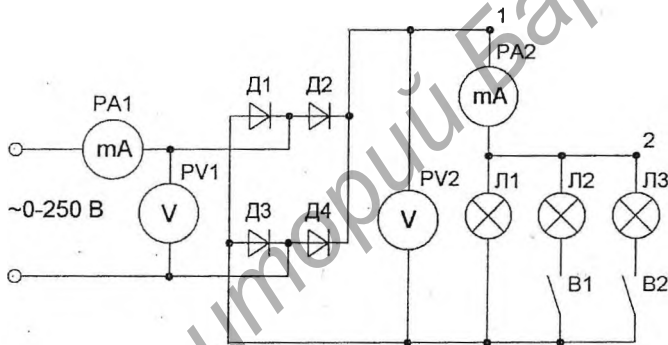


Рис. 8.6. Принципиальная электрическая схема исследования однофазного мостового выпрямителя: PA1 – миллиамперметр переменного тока 300 мА; PA2 – миллиамперметр постоянного тока 300 мА; PV1 – вольтметр переменного тока 250 В; PV2 – вольтметр постоянного тока 450 В; Д1–Д4 – диоды КД105Б; Л1–Л3 – нагрузочные лампы; В1, В2 – выключатели.

2. Изменяя напряжение питания U на входе выпрямителя от 0 до 220 В измерьте силу тока на входе I по амперметру PA1, напряжение U_B по вольтметру PV2 и силу тока I_B на выходе выпрямителя по амперметру PA2 при двух включенных нагрузочных лампах Л1 и Л2. Результаты измерений запишите в табл. 8.1.

3. Определите и запишите в табл. 8.1 потребляемую мощность P и мощность нагрузки P_B выпрямителя, а также его коэффициент полезного действия η при всех исследуемых режимах работы.

4. С разрешения преподавателя подключите к клеммам 1 и 2 осциллограф Н313. Зарисуйте с экрана осциллограмму выпрямленного тока при различной нагрузке (одна, две, три лампы Л1–Л3).

Т а б л и ц а 8.1. Результаты исследования однофазного мостового выпрямителя

Величина (расчетная формула)	Единица измерения	Значения					
		0	50	100	150	200	220
U	В						
I	А						
U_B	В						
I_B	А						
$P = UI$	Вт						
$P_B = U_B I_B$	Вт						
$\eta = (P_B / P) \cdot 100\%$	—						

5. Соберите схему согласно рис. 8.7.

6. Подключите схему к клеммам питания «3–220 В» приборного штатива. Получив разрешение руководителя, включите установку в сеть.

7. Последовательно нагружая выпрямитель путем включения ламп Л1–Л3, снимите показания приборов и запишите их в табл. 8.2.

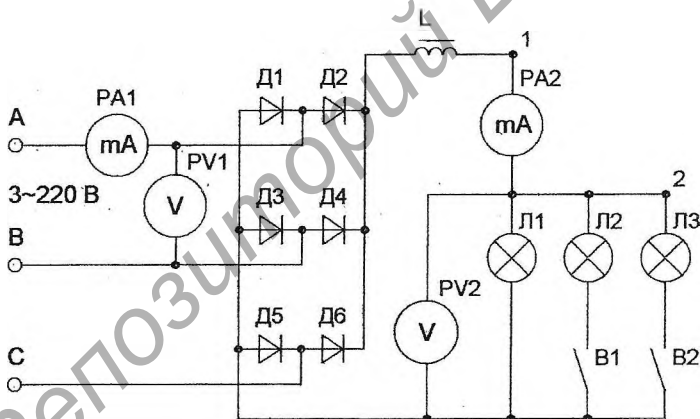


Рис. 8.7. Принципиальная электрическая схема исследования трехфазного мостового выпрямителя: PA1 – миллиамперметр переменного тока 300 мА; PA2 – миллиамперметр постоянного тока 300 мА; PV1 – вольтметр переменного тока 250 В; PV2 – вольтметр постоянного тока 50 В; Д1–Д6 – диоды КД105Б; L – катушка индуктивности I.1 с сердечником; Л1–Л3 – нагрузочные лампы; В1, В2 – выключатели.

8. Определите и запишите в табл. 8.2 потребляемую мощность P и мощность нагрузки P_B выпрямителя, а также его коэффициент полезного действия η .

9. С разрешения преподавателя подключите к клеммам 1 и 2 осциллограф НЗ13. Зарисуйте с экрана осциллограмму выпрямленного тока

при различной нагрузке (одна, две, три лампы Л1-Л3) и закороченном дросселе (дроссель следует закорачивать кратковременно).

Таблица 8.2. Результаты исследования трехфазного мостового выпрямителя

Величина (расчетная формула)	Единица измерения	Число включенных ламп Л1-Л3		
		1	2	3
U	В			
I	А			
U_B	В			
I_B	А			
$P = \sqrt{3} UI$	Вт			
$P_B = U_B I_B$	Вт			
$\eta = (P_B / P) \cdot 100\%$	—			

10. По результатам исследования однофазного выпрямителя (табл. 8.1) постройте внешнюю вольт-амперную характеристику однофазного мостового выпрямителя $I_B = f(U_B)$.

Контрольные вопросы

1. Объясните устройство и принцип действия однофазного мостового полупроводникового выпрямителя.
2. Объясните устройство и принцип действия трехфазного мостового полупроводникового выпрямителя.
3. Объясните полученную внешнюю вольт-амперную характеристику однофазного выпрямителя.
4. Как выбрать параметры полупроводникового диода для работы в схемах мостовых выпрямителей?
5. Какие значения принимает коэффициент пульсаций для основных схем однофазных и трехфазных выпрямителей?

Литература

1. Герасимов В. Г. Электротехника для ВТУЗов. – М.: Высшая школа, 1985. – 463 с.
2. Касаткин С. И. Электротехника. – М.: Наука, 1979. – 512 с.
3. Пантюшин В. С. Электротехника. – М.: Высшая школа, 1976. – 463 с.
4. Сборник задач по электротехнике и основам электроники / Под ред. В. Г. Герасимова. – М.: Высшая школа, 1987.

Содержание

Требования техники безопасности при выполнении лабораторных работ	3
Указания по выполнению лабораторных работ	5
Лабораторная работа 1. Исследование цепи постоянного тока с последовательным соединением приемников.....	6
Лабораторная работа 2. Исследование цепи постоянного тока с параллельным соединением приемников	9
Лабораторная работа 3. Исследование однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений	13
Лабораторная работа 4. Исследование однофазной цепи переменного тока с параллельным соединением индуктивного и емкостного сопротивлений	18
Лабораторная работа 5. Исследование трехфазной цепи переменного тока с соединением приемников по схеме «звезда»	24
Лабораторная работа 6. Исследование трехфазной цепи переменного тока с соединением приемников по схеме «треугольник»	29
Лабораторная работа 7. Измерение мощности в цепи трехфазного переменного тока ..	34
Лабораторная работа 8. Исследование полупроводникового выпрямителя	41
Литература	47

Учебно-методическое издание

Дубень Игорь Викторович
Ционенко Дмитрий Александрович

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Методические указания к лабораторным работам
по дисциплине «Электротехника, электрические машины и аппараты»

Компьютерный набор и верстка Дубень Е.А.

Подписано в печать 22.11.2004.

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага для множительных аппаратов.

Печать ризографическая. Гарнитура «Таймс».

Усл. печ. л. 2,59. Уч.-изд. л. 3,3.

Тираж 100 экз. Заказ 152.

Редакционно-издательский отдел БарГУ
213410, г. Барановичи Брестской обл., ул. Войкова, 21