

А. Г. Сошинов, О. И. Карпенко

Лабораторный практикум
по
ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАМЫШИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

А.Г. Сошинов, О.И. Карпенко

Лабораторный практикум
по
ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ

Учебное пособие

РПК «Политехник»
Волгоград
2006

УДК 621. 3 + 621. 38 (075. 8)

С 69

Рецензенты: заведующий кафедрой «Электротехника и электроника» Саратовского государственного технического университета, д.т.н., профессор Б.К. Сивяков; заведующий кафедрой «Электротехника» Кубанского государственного технологического университета, з.д.н. и т. РФ, профессор Б.Х. Гайтов

Сошинов А. Г., Карпенко О. И. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ: Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. – 88 с.

ISBN 5-230-04859-X

Излагаются краткие сведения из теории, необходимые для выполнения лабораторных работ, порядок выполнения работы, указания по оформлению отчёта, контрольные вопросы для проверки усвоенного материала.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Электротехника и электроника» по направлению подготовки бакалавров «Информатика и вычислительная техника» и специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

Ил. 58. Табл. 19. Библиогр.: 5 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

ISBN 5-230-04859-X

© Волгоградский
государственный
технический
университет, 2006

Анатолий Григорьевич Сошинов
Ольга Ивановна Карпенко

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО
ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ

Учебное пособие

Под редакцией авторов
Темплан 2006 г., поз. № 15.
Подписано в печать 20. 12. 2006 г. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Бумага листовая. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 5,5. Усл. авт. л. 5,19.
Тираж 100 экз. Заказ №

Волгоградский государственный технический университет
400131 Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28.
РПК «Политехник»
Волгоградского государственного технического университета
400131 Волгоград, ул. Советская, 35.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторный практикум по курсу «Электротехника и электроника» охватывает следующие разделы:

- «Цепи постоянного тока». Работы №1-2;
- «Однофазные цепи переменного тока». Работы №3-4;
- «Трехфазные цепи». Работы №5-6;
- «Электрические измерения». Работы №7-8;
- «Электрические машины и трансформаторы». Работы №9-10;
- «Основы электроники». Работы №11-12.

В описании каждой работы приведены:

- 1) краткие сведения из теории, необходимые для выполнения лабораторных работ;
- 2) порядок выполнения работы;
- 3) указания по оформлению отчёта;
- 4) контрольные вопросы для проверки усвоенного материала.

При выполнении лабораторных работ студенты должны достичь следующих целей:

– убедиться в правильности теоретических положений, рассмотренных на лекционных занятиях, повторить и закрепить теоретический материал этих занятий;

– получить практический опыт чтения и сборки электрических схем, а также работы с электрооборудованием;

– научиться снимать показания электроизмерительных приборов, обрабатывать полученные данные и на их основе делать выводы о характере исследуемых процессов;

– на основе составления отчетов по лабораторным работам получить навыки оформления электротехнической документации;

– получить практические навыки по управлению электрическим оборудованием и технике безопасности при работе с ним.

Учебное пособие составлено применительно к лаборатории общей электротехники и электроники, рассчитанной на одну учебную группу. В ее состав входят 10 универсальных стендов. Лабораторные занятия проводятся «фронтальным методом», т. е. студенты учебной группы выполняют одновременно одну и ту же работу.

Коллоквиум по проверке готовности студентов к выполнению лабораторной работы проводится в начале каждого занятия.

Хорошая подготовка к лабораторной работе — непереносимое условие ее эффективности, так как проведение любого эксперимента имеет смысл только в том случае, если экспериментатор отчетливо представляет себе цель эксперимента и характер ожидаемых результатов.

1. ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

При работе в лаборатории электротехники и электроники во избежание несчастных случаев, а также преждевременного выхода из строя приборов и электрооборудования студент при выполнении лабораторных работ должен строго выполнять следующие правила внутреннего распорядка и техники безопасности:

1. Приступая в лаборатории к работе, студент должен ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и техники безопасности.

2. Студенты обязаны не только строго выполнять эти правила, но и требовать неуклонного выполнения их от своих товарищей.

3. После ознакомления с правилами внутреннего распорядка и инструктажа по технике безопасности студент должен расписаться в соответствующем журнале.

4. При работе в лаборатории категорически запрещается приносить с собой вещи и предметы, загромождающие рабочие места, способствующие созданию условий, могущих привести к нарушению правил техники безопасности.

5. В лаборатории запрещается громко разговаривать, покидать рабочие места и переходить от одного стенда к другому.

6. Приступая к работе в лаборатории, студенческая группа делится на бригады, которые затем распределяются по лабораторным стендам.

7. Лабораторная работа, пропущенная студентом, выполняется по разрешению деканата и особому расписанию.

8. Сборку электрической цепи производят соединительными проводами при выключенном напряжении питания в строгом соответствии со схемой, представленной в лабораторном практикуме, обеспечивая при этом надежность электрических контактов всех разъемных соединений.

9. Приступая к сборке электрической цепи, необходимо убедиться в том, что к стенду не подано напряжение.

10. При сборке электрической цепи необходимо следить затем, чтобы соединительные провода не перегибались и не скручивались петлями. Приборы и электрооборудование расставляются так, чтобы было удобно ими пользоваться.

11. Собранная электрическая цепь предъявляется для проверки преподавателю или лаборанту.

12. Включение электрической цепи под напряжение (после проверки) производится только с разрешения и в присутствии преподавателя или лаборанта.

13. При обнаружении неисправностей в электрической цепи необхо-

димо немедленно отключить ее от питающей сети и доложить об этом преподавателю или лаборанту.

14. Переключения и исправления в собранной электрической цепи разрешается производить только при отключенном напряжении питания.

15. Запрещается прикасаться пальцами, карандашами и другими предметами к оголенным токоведущим частям электрической цепи, находящимся под напряжением.

16. При работе с конденсаторами следует помнить, что на их зажимах, отключенных от сети, некоторое время сохраняется электрический заряд, могущий быть причиной поражения электрическим током.

17. При обнаружении повреждений электрического оборудования и приборов стенда, а также при появлении дыма, специфического запаха или искрения необходимо немедленно выключить напряжение питания стенда и известить об этом преподавателя или лаборанта.

18. После выполнения лабораторной работы необходимо выключить напряжение питания стенда, разобрать исследуемую электрическую цепь и привести в порядок рабочее место.

19. В случае поражения человека электрическим током необходимо немедленно обесточить стенд, выключив напряжение питания. При потере сознания и остановке дыхания необходимо немедленно освободить пострадавшего от стесняющей его одежды и делать искусственное дыхание до прибытия врача.

2. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Подготовка к лабораторным работам. Лабораторные работы в группах проводятся в соответствии с расписанием учебных занятий в институте и в течение определенного времени. Поэтому для выполнения лабораторных работ студент должен руководствоваться следующими положениями:

1) предварительно ознакомиться с графиком выполнения лабораторных работ;

2) внимательно ознакомиться с описанием соответствующей лабораторной работы и установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы;

3) по лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной лабораторной работе;

4) до проведения лабораторной работы подготовить в рабочей тетради соответствующие схемы, миллиметровку для построения графиков, таблицы наблюдений и расчетные формулы;

5) неподготовленные к работе студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Выполнение лабораторных работ. Успешное выполнение лабораторных работ может быть достигнуто в том случае, если экспериментатор отчетливо представляет себе цель эксперимента и ожидаемые результаты, поэтому важным условием обстоятельности проводимых исследований является тщательная подготовка к лабораторной работе. При этом необходимо соблюдение следующих требований:

1. Перед сборкой электрической цепи студенты должны предварительно ознакомиться с электрическим оборудованием и его номинальными данными¹, а также с измерительными приборами, предназначенными для проведения соответствующей лабораторной работы.

2. Сборку электрической цепи необходимо производить в точном соответствии с заданием. Целесообразно вначале соединить все элементы цепи, включаемые последовательно, а затем – параллельно. Электрические цепи, включаемые параллельно, рекомендуется соединять проводками другого цвета.

3. После окончания сборки электрическая цепь должна быть предъявлена для проверки. Включать цепь под напряжением можно только с разрешения преподавателя или дежурного лаборанта.

4. Запись показаний всех приборов в процессе выполнения лабораторной работы следует производить по возможности одновременно и быстро.

5. Результаты измерений заносятся студентом в свою рабочую тетрадь.

6. После выполнения отдельного этапа лабораторной работы результаты опыта вместе с простейшими контрольными расчетами предъявляются для проверки преподавателю до разборки электрической цепи.

7. Разбирать электрическую цепь, а также переходить к сборке новой можно только по разрешению преподавателя.

8. После окончания работы в лаборатории рабочее место должно быть приведено в порядок.

9. В течение всего времени занятий в лаборатории студенты обязаны находиться на своих рабочих местах. Выходить из помещения лаборатории во время занятий можно только с разрешения преподавателя.

1. Номинальными данными являются значения тока, напряжения и мощности, на которые рассчитаны соответствующие электротехнические устройства.

Оформление отчета по лабораторным работам. Составление отчета о проведенных исследованиях является важнейшим этапом выполнения лабораторной работы. По каждой выполненной работе в рабочей тетради составляют отчет, руководствуясь следующими положениями:

1) указать название и порядковый номер лабораторной работы, а также кратко сформулировать цель работы;

2) указать тип и номинальные данные испытуемых электрических машин и аппаратов, а также типы, номера, пределы измерений, класс точности и системы измерительных приборов, используемых при выполнении лабораторной работы (например: амперметр типа М42100, № 01985, магнитоэлектрической системы, 30 делен., предел измерений 3А, кл. 1,5);

3) схемы и графики вычертить с помощью трафарета радиоинженера или циркуля и линейки с соблюдением принятых стандартных условных обозначений;

4) графические зависимости дать в прямоугольной системе координат в масштабе, с равномерными шкалами; произвольный перенос начала координат не допускается; на графиках необходимо наносить экспериментальные точки;

5) отчет по каждой лабораторной работе должен содержать основные выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Последовательное, параллельное и смешанное соединение приемников

Цель работы:

Экспериментальным путем проверить основные соотношения электрических величин для цепей постоянного тока с последовательным, параллельным и смешанным соединением приемников электрической энергии.

1. Материалы для подготовки к работе

Существуют следующие соединения приемников: последовательное, параллельное и смешанное.

Последовательным соединением приемников называется такое, при котором начало последующего приемника соединяется с концом предыдущего (рис. 1.1, а).

Часто такая цепь (или участок цепи) называется неразветвленной.

Отличительной особенностью последовательного соединения является то, что во всех приемниках протекает одинаковый ток.

При этом соединении напряжение U , приложенное к цепи, равно сумме падений напряжений на отдельных приемниках:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR_{\Sigma},$$

где $R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_3$ – эквивалентное сопротивление всей последовательной цепи, равное сумме сопротивлений отдельных приемников.

Поделив почленно падения напряжений на приемниках, получим

$$U_1 : U_2 : U_3 = IR_1 : IR_2 : IR_3 = R_1 : R_2 : R_3,$$

т.е. падения напряжения в отдельных приемниках пропорциональны сопротивлениям этих приемников.

Мощность, потребляемая последовательной цепью

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = I^2 R_1 + I^2 R_2 + I^2 R_3 = IU_1 + IU_2 + IU_3 = UI.$$

Поделив почленно мощности отдельных приемников, получим:

$$P_1 : P_2 : P_3 = R_1 : R_2 : R_3,$$

т.е. развиваемая в отдельных приемниках мощность пропорциональна их сопротивлениям.

При изменении величины сопротивления одного из приемников в цепи происходит изменение тока и сопротивления, перераспределение падений напряжений между приемниками или, как говорят, изменяется режим работы всех приемников. Это является существенным недостатком последовательного соединения.

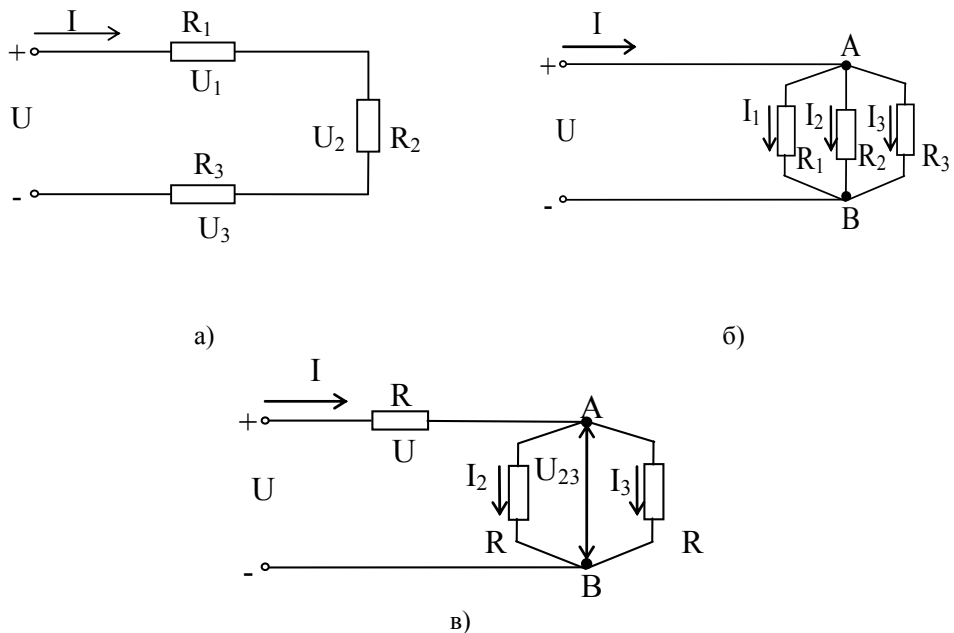


Рис. 1.1. Схемы соединения приемников:
 а- последовательное соединение;
 б- параллельное соединение;
 в- смешанное соединение

Параллельным соединением приемников называется такое, при котором начала всех приемников соединены в один узел, а концы – в другой (рис. 1.1, б).

При таком соединении цепь получается разветвленной, а сами приемники являются ее ветвями.

Отличительной особенностью параллельного соединения является то, что все приемники находятся под одним и тем же напряжением. Токи в них равны:

$$I_1 = U/R_1 = UG_1, I_2 = U/R_2 = UG_2, I_3 = U/R_3 = UG_3,$$

где $G_1 = 1/R_1$, $G_2 = 1/R_2$, $G_3 = 1/R_3$, проводимости отдельных приемников.

Поделив почленно токи в приемниках, получим

$$I_1:I_2:I_3 = (1/R_1):(1/R_2):(1/R_3) = G_1:G_2:G_3.$$

Т.е. при параллельном соединении токи в приемниках обратно пропорциональны их сопротивлениям или прямо пропорциональны их проводимостям.

Согласно первому закону Кирхгофа ток в неразветвленной части цепи равен

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = U \frac{1}{R_3},$$

где $\frac{1}{R_{\text{э}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$, величина, обратная эквивалентному сопротивлению параллельной цепи.

Переходя к проводимостям, получим

$$I = U(G_1 + G_2 + G_3) = UG_{\text{э}},$$

где $G_{\text{э}} = G_1 + G_2 + G_3$ – эквивалентная проводимость параллельной цепи, равная сумме проводимостей отдельных приёмников.

Эквивалентное сопротивление параллельной цепи $R_{\text{э}} = 1/G_{\text{э}}$.

Мощность, потребляемая параллельной цепью

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = U^2G_1 + U^2G_2 + U^2G_3 = UI_1 + UI_2 + UI_3 = UI.$$

Поделив почленно мощности отдельных приёмников, получим:

$$P_1:P_2:P_3 = G_1:G_2:G_3,$$

т.е. развиваемая в отдельных приёмниках мощность пропорциональна их проводимостям (или обратно пропорциональна их сопротивлениям).

При параллельном включении приёмников режим работы каждого из них не влияет на режим работы остальных.

Смешанное соединение приёмников представляет собой цепь, которая состоит из ряда последовательно и параллельно соединённых приёмников (рис. 2.1, в). Для расчёта таких цепей выделяют отдельные участки с последовательным или параллельным соединением приёмников и к ним применяют выше рассмотренные соотношения.

Для схемы на рис. 2.1.в, эквивалентное сопротивление находится следующим образом. Сначала определяется эквивалентное сопротивление параллельной цепи. Т.к.

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}, \text{ то } R_{23} = \frac{R_2R_3}{R_2 + R_3}.$$

Сопротивление R_1 , включено последовательно с сопротивлением R_2 , поэтому эквивалентное сопротивление всей цепи равно $R_{\text{э}} = R_1 + R_2$.

Ток в неразветвлённой части цепи

$$I_1 = \frac{U}{R_{\text{э}}}.$$

Напряжение на сопротивлении R_1

$$U_1 = I_1R_1.$$

Напряжение на зажимах параллельных ветвей

$$U_{23} = I_1R_{23} \text{ или } U_{23} = U - U_1.$$

Токи в параллельных ветвях

$$I_2 = \frac{U_{23}}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U_{23}}{R_3}.$$

Мощность, потребляемая всей смешанной цепью

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = U_1I_1 + U_{23}I_2 + U_{23}I_3 = UI.$$

2. Программа работы

1. Ознакомиться с реостатами, которые используются в качестве приёмников электрической энергии, и приборами, необходимыми для выполнения работы; записать их основные технические данные.

2. С помощью омметра установить сопротивления реостатов, равными: $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $R_3 = 15 \text{ Ом}$.

3. Собрать схему (рис. 1.2, а) и предъявить её для проверки преподавателю.

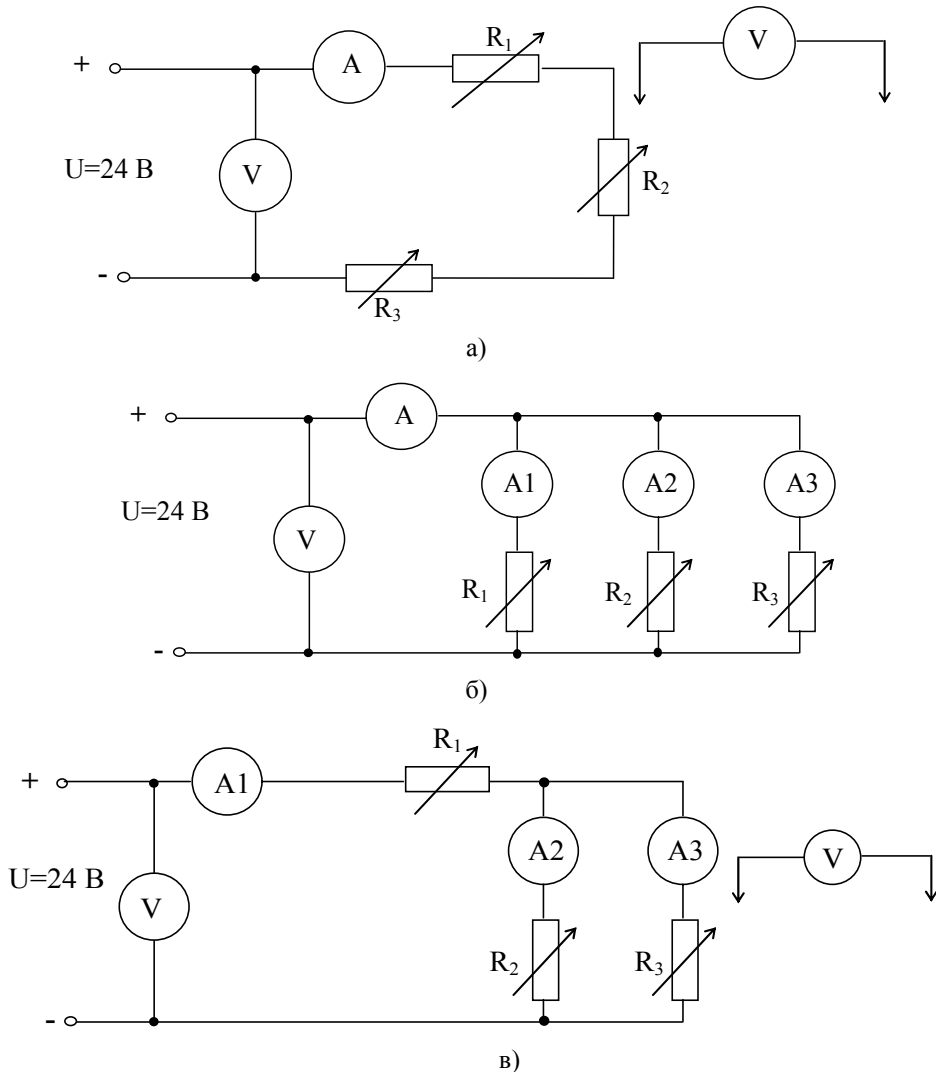


Рис. 1.2. Схемы лабораторной работы для исследований:
а – с последовательным соединением реостатов;
б – с параллельным соединением реостатов;
в – со смешанным соединением реостатов.

12. С помощью омметра установить сопротивления реостатов равными:
 $R_1 = 15 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $R_3 = 5 \text{ Ом}$.

13. Собрать схему (рис. 1.2, в) и предъявить её для проверки преподавателю.

14. Включить источник питания. Измерить: токи в параллельных ветвях I_2 , I_3 и в неразветвлённой части цепи I_1 ; напряжение U_1 на зажимах всей цепи; напряжение U_1 на сопротивлении R_1 ; напряжение U_{23} на разветвлённом участке цепи. Выключить источник. Установить сопротивления реостатов равными $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$. Включить источник и снова выполнить указанные измерения.

15. Вычислить: сопротивления параллельных ветвей R_2 , R_3 ; сопротивление неразветвлённой части цепи R_1 ; эквивалентное сопротивление всей цепи $R_Э$; мощности, потребляемые отдельными реостатами P_1 , P_2 , P_3 ; мощность P , потребляемую всей цепью. Проверить соотношения:

$$R_Э = R_1 + R_2 R_3; I_1 = I_2 + I_3; P = P_1 + P_2 + P_3$$

16. Результаты измерений и расчётов записать в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Условия опыта	Опытные данные						Расчетные данные								
	U	U_1	U_{23}	I_1	I_2	I_3	R_1	R_2	R_3	$R_Э$	P_1	P_2	P_3	P	
	В	В	В	А	А	А	Ом	Ом	Ом	Ом	Вт	Вт	Вт	Вт	
$R_1 \neq R_2 \neq R_3$															
$R_1 = R_2 = R_3$															

Примечание: при установке сопротивлений реостатов и в момент измерений их омметром реостаты должны быть отключены от цепи.

3. Содержание отчёта

1. Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
2. Схемы исследований (3 схемы).
3. Расчёт сопротивлений, токов и мощностей для трёх схем (шести опытов).
4. Таблицы с опытными и расчётными данными (3 таблицы).
5. Выводы по работе.

4. Контрольные вопросы

1. Какие соединения приёмников электрической энергии называются последовательными, параллельными, смешанными?
2. Как определить общее сопротивление цепи при любом соединении, если сопротивления участков известны?
3. В чём состоит особенность последовательного и параллельного соединений приёмников?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Опытная проверка принципа наложения

Цель работы:

Экспериментально проверить принцип наложения.

1. Материалы для подготовки к работе

Метод (принцип) наложения применяется для расчета токов в сложной линейной электрической цепи, в которой действует небольшое количество источников ЭДС (2...3).

Согласно этому методу ток в цепи равен алгебраической сумме токов, создаваемых в ней источниками ЭДС, действующими независимо друг от друга, при неизменных сопротивлениях всех участков цепи. Сущность метода сводится к следующему.

Сначала предполагают, что в цепи действует только ЭДС первого источника, а остальные источники ЭДС исключают и заменяют внутренними сопротивлениями. Определяют токи для такой цепи. Затем производят расчет, полагая, что в цепи действует только ЭДС второго источника, а все остальные источники ЭДС исключают и заменяют внутренними сопротивлениями.

Аналогичные расчеты производят поочередно для всех источников ЭДС.

Так как для каждого участка цепи получается несколько токов, создаваемых в этом участке каждой ЭДС в отдельности, то алгебраическая сумма этих токов (их называют частичными) дает истинное значение тока, проходящего по этому участку при одновременном действии всех ЭДС.

Применим метод наложения к цепи, изображенной на рис. 2.1, а.

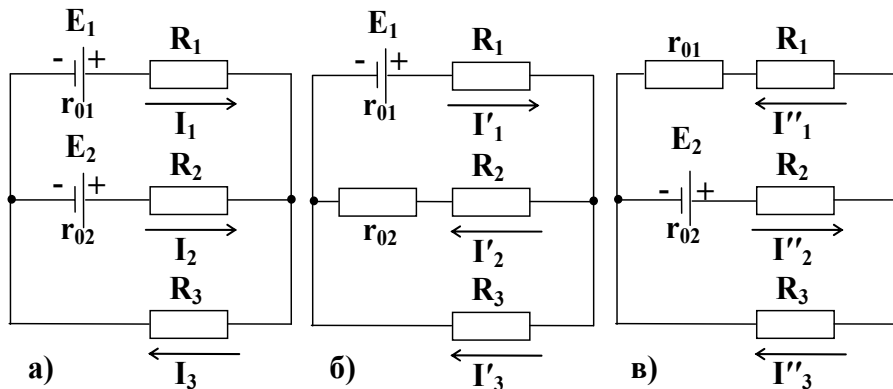


Рис. 2.1. К расчету цепи методом наложения токов:

- а – действуют ЭДС E_1 и E_2 ;
- б – действует только ЭДС E_1 ;
- в – действует только ЭДС E_2 .

Сначала рассмотрим цепь при действии только ЭДС E_1 (рис. 2.1, б) и определим частичные токи I'_1, I'_2, I'_3 :

$$I'_1 = \frac{E_1}{R_{\Sigma 1}},$$

$$\text{где } R_{\Sigma 1} = R_1 + r_{01} + \frac{R_3(R_2 + r_{02})}{R_2 + r_{02} + R_3}; \quad I'_2 = I'_1 \frac{R_3}{R_2 + r_{02} + R_3}; \quad I'_3 = I'_1 \frac{R_2 + r_{02}}{R_2 + r_{02} + R_3}.$$

Теперь предположим, что в цепи действует только ЭДС E_2 (рис. 2.1, в) и определим частичные токи I''_1, I''_2, I''_3 :

$$I''_2 = \frac{E_2}{R_{\Sigma 2}},$$

$$\text{где } R_{\Sigma 2} = R_2 + r_{02} + \frac{R_3(R_1 + r_{01})}{R_1 + r_{01} + R_3}; \quad I''_1 = I''_2 \frac{R_3}{R_1 + r_{01} + R_3}; \quad I''_3 = I''_2 \frac{R_1 + r_{01}}{R_1 + r_{01} + R_3}.$$

Наложив друг на друга частичные токи в ветвях с учетом их направления получим

$$I_1 = I'_1 - I''_1, \quad I_2 = -I'_2 + I''_2, \quad I_3 = I'_3 + I''_3.$$

2. Программа работы

1. Ознакомиться с источниками питания, реостатами и приборами, необходимыми для выполнения работы: записать их основные технические данные.

2. Измерить ЭДС каждого источника и сопротивление каждого реостата в зафиксированном, положении движков. Измерить сопротивления реостатов.

3. Собрать схему (рис. 2.2) и предъявлять ее для проверки преподавателю.

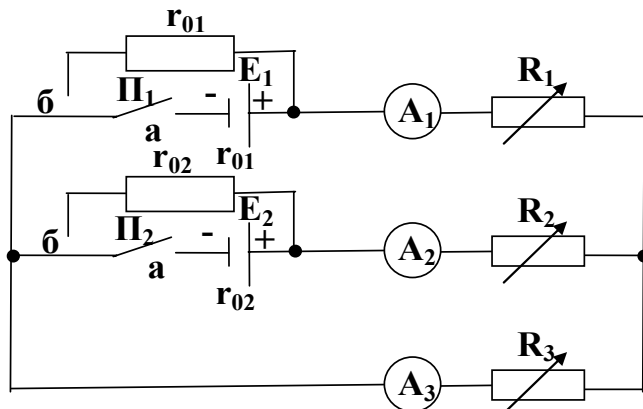


Рис. 2.2. Схема для опытной проверки метода наложения токов

4. Установить переключатель П1 в положение «а», а переключатель П2 в положение «б» и измерить токи I'_1, I'_2, I'_3 . Установить переключатель П1 в положение «б», а переключатель П2 в положение «а» и измерить токи I''_1, I''_2, I''_3 . Установить переключатели П1 и П2 в положение «а» и измерить токи I_1, I_2, I_3 .

5. По известным значениям величин E_1, E_2, R_1, R_2, R_3 (полученных измерением), а также r_{01} и r_{02} (данных преподавателем перед началом работы) методом наложения рассчитать токи $I'_1, I'_2, I'_3, I''_1, I''_2, I''_3, I_1, I_2, I_3$. Определить также токи I_1, I_2, I_3 методом наложения измеренных частичных токов.

6. Результаты измерений и расчётов записать в табл. 2.1 и сравнить.

Таблица 2.1

Способ определения	E_1	E_2	I'_1	I'_2	I'_3	I''_1	I''_2	I''_3	I_1	I_2	I_3
	В	В	А	А	А	А	А	А	А	А	А
Из опыта											
Наложением измеренных токов											
Расчетом											

Примечание: при выполнении п.4 убедиться в справедливости первого закона Кирхгофа для узла А.

3. Содержание отчёта

1. Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
2. Схема исследования.
3. Расчёт токов.
4. Табл. с опытными и расчётными данными.
5. Выводы по работе.

4. Контрольные вопросы

1. Методика расчёта по методу наложения.
2. В каких случаях для расчёта сложной цепи целесообразно применять метод наложения?
3. Почему нельзя применять метод наложения для определения мощностей?
4. Сформулировать первый закон Кирхгофа.
5. Почему метод наложения не используется при анализе нелинейных цепей?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Исследование неразветвленной цепи переменного тока с активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями

Цель работы:

1. Экспериментальным путем получить резонанс напряжений.
2. Исследовать влияние изменения индуктивности на ток и напряжения на участках неразветвленной цепи, содержащей R , L и C , а также на параметры цепи.

1. Материалы для подготовки к работе

В неразветвленной цепи с активным сопротивлением R , индуктивностью L и емкостью C (рис. 3.1) при условии, что индуктивное и емкостное сопротивления равны между собой ($X_L = X_C$), возникает особый режим работы, который называется резонансом напряжений.

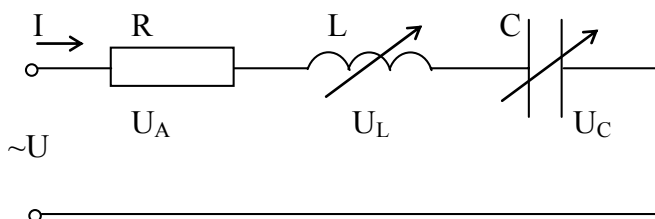


Рис. 3.1. Неразветвленная цепь с R , L и C

Из условия резонанса напряжений ($X_L = X_C$ или $\omega L = \frac{1}{\omega C}$) следует, что при заданных значениях индуктивности и емкости резонанс напряжений в цепи возникает при угловой частоте $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_p$ или частоте

$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f_p$, которые называют резонансными и обозначают соответственно ω_p и f_p .

Резонансная частота f_p определяется исключительно параметрами цепи и поэтому называется частотой собственных колебаний цепи. Таким образом, в неразветвленной цепи с R , L и C резонанс напряжений возникает в случае, когда частота вынужденных колебаний (частота приложенного напряжения) оказывается равной частоте собственных колебаний цепи.

Резонанс напряжений можно получить путем изменения одной из трех величин L , C или f при постоянных двух других.

В простейшем случае резонанс напряжений может быть получен в электрической цепи переменного тока при последовательном включении катушки индуктивности и конденсаторов. При этом, изменяя индуктивность катушки при постоянных параметрах конденсатора, получают резонанс напряжений при неизменных значениях напряжения и емкости, частоты и активного сопротивления цепи. При изменении индуктивности L катушки происходит изменение реактивного индуктивного сопротивления. При этом полное сопротивление цепи также изменяется, следовательно, изменяются ток, коэффициент мощности, напряжения на катушке индуктивности, конденсаторах и активном сопротивлении катушки и активная, реактивная и полная мощности электрической цепи. Зависимости тока I , коэффициента мощности $\cos \varphi$ и полного сопротивления Z цепи переменного тока в функции индуктивного сопротивления (резонансные кривые) для рассматриваемой цепи приведены на рис. 3.2.

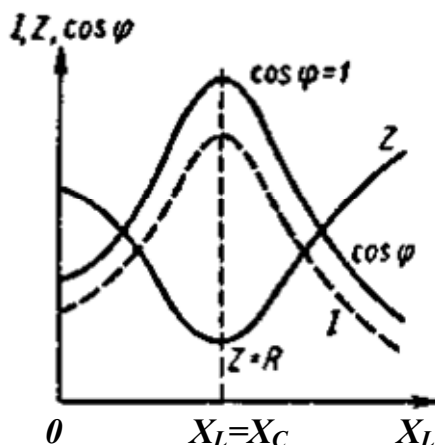


Рис. 3.2. Резонансные кривые

Резонанс напряжений характеризуется рядом существенных факторов.

1. При резонансе напряжений полное сопротивление электрической цепи переменного тока принимает минимальное значение и оказывается равным ее активному сопротивлению, т. е.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R, \text{ так как при этом } X_L = X_C.$$

2. Из этого следует, что при неизменном напряжении питающей сети ($U = \text{const}$) при резонансе напряжений ток в цепи достигает наибольшего значения $I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{R}$ и совпадает по фазе с напряжением U , приложенным к зажимам цепи. Теоретически ток может достигать больших значений, определяемых напряжением сети и активным

сопротивлением катушки. При малом значении активного сопротивления ток может достигать большого значения.

3. Коэффициент мощности цепи равен единице $\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{R} = 1$, т.е. принимает наибольшее значение, которому соответствует угол $\varphi = 0$.

4. Активная мощность при резонансе $P=RI^2$ имеет наибольшее значение, равное полной мощности S , в то же время реактивная мощность цепи $Q=XI^2=(X_L-X_C)I^2$ оказывается равной нулю: $Q=Q_L-Q_C=0$.

При этом реактивная индуктивная и реактивная емкостная составляющие полной мощности $Q_L=Q_C=X_L I^2=X_C I^2$ могут приобретать теоретически весьма большие значения, в зависимости от значений тока и реактивных сопротивлений.

5. При резонансе напряжений напряжения на емкости и индуктивности оказываются равными $U_L=U_C=I \cdot X_C=I \cdot X_L$ и в зависимости от тока и реактивных сопротивлений могут принимать большие значения, во много раз превышающие напряжение питающей сети. При этом напряжение на активном сопротивлении оказывается равным напряжению питающей сети, т. е. $U_R=U$.

Резонанс напряжений в промышленных электротехнических установках нежелательное и опасное явление, так как может привести к аварии вследствие недопустимого перегрева отдельных элементов электрической цепи или к пробое изоляции обмоток электрических машин и аппаратов, изоляции кабелей и конденсаторов при возможном перенапряжении на отдельных участках цепи. В то же время резонанс напряжений в электрических цепях переменного тока широко используется в радиотехнике и электронике в различного рода приборах и устройствах, основанных на резонансном явлении.

Векторная диаграмма неразветвленной цепи с R , L и C при резонансе напряжений показана на рис. 3.3.

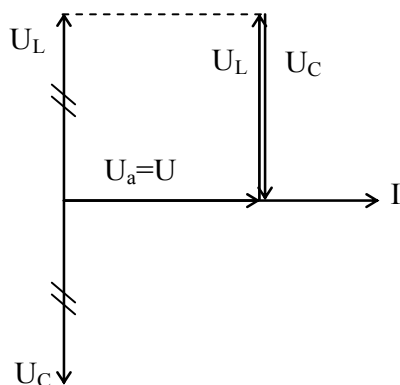


Рис. 3.3. Векторная диаграмма неразветвленной цепи с R , L и C при резонансе напряжений

Если цепь не находится в резонансе, то она может работать в индуктивном ($\varphi > 0$) или емкостном ($\varphi < 0$) режиме (рис. 3.4).

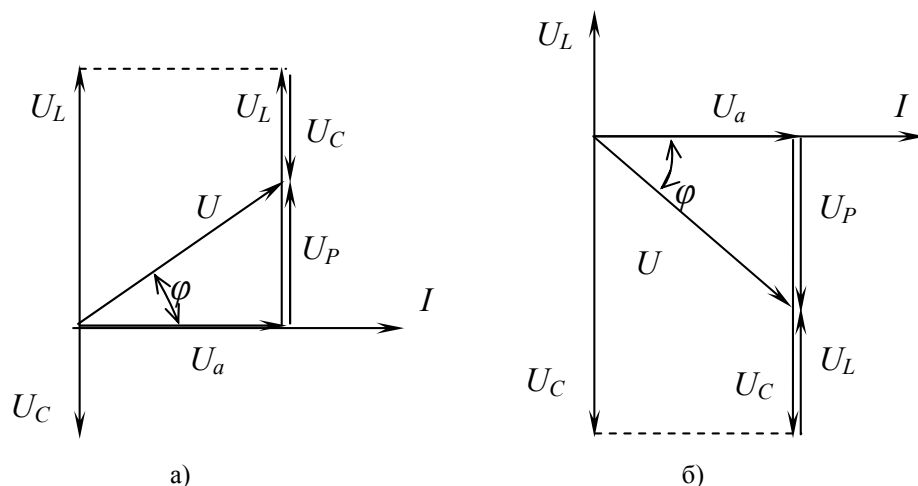


Рис. 3.4. Векторные диаграммы неразветвленной цепи с R, L и C :
 а – при преобладании индуктивной нагрузки;
 б – при преобладании емкостной нагрузки

При выполнении лабораторной работы напряжение на индуктивном сопротивлении катушки U_L рассчитывается по формуле

$$U_L = \sqrt{U_K^2 - U_a^2},$$

где U_K - напряжение, измеренное на катушке.

Вычисления производятся по следующим формулам:

$$R = \frac{P}{I^2}, \quad Z = \frac{U}{I}, \quad U_P = |U_L - U_C|.$$

2. Программа работы

Собрать схему (рис. 3.5).

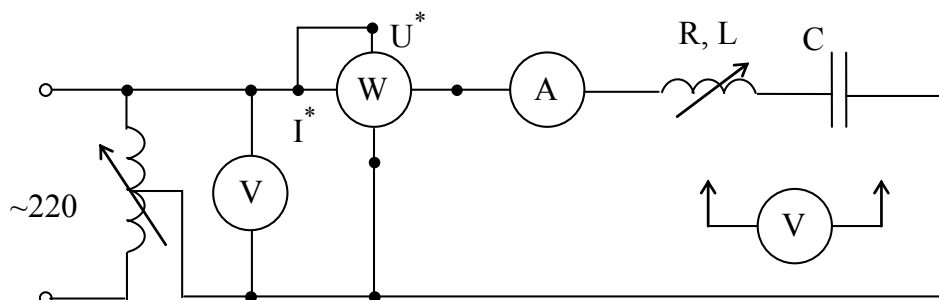


Рис. 3.5. Схема лабораторной работы для исследования неразветвленной цепи R, L и C

1. Установить ручку ЛАТРа в нулевое положение и включить схему в сеть переменного тока с напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

2. Установить напряжение $U \leq 40$ В (вращая ручку ЛАТРа) и вставляя сердечник в катушку (т.е. увеличивая индуктивность), добиться резонанса напряжений (при резонансе ток наибольший). После того, как был зафиксирован резонанс, продолжать вводить сердечник.

3. Измерить ток в цепи I , напряжение на зажимах исследуемой цепи U , напряжение на катушке индуктивности U_k , напряжение на конденсаторе U_C и активную мощность цепи P до, во время и после резонанса напряжений.

Таблица 3.1

Режим Работы	Опытные данные						Расчетные данные							
	f	I	U	U_k	U_C	P	R	Z	X_C	X_L	U_L	U_a	U_p	φ
	Гц	А	В	В	В	Вт	Ом	Ом	Ом	Ом	В	В	В	
$X_L < X_C$	50													
$X_L = X_C$														
$X_L > X_C$														

3. Содержание отчёта

1. Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
2. Электрическая схема опытов;
3. Заполненная табл. 3.1;
4. Расчетные формулы;
5. Векторные диаграммы напряжений;
6. Выводы по работе.

4. Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление резонанса напряжений и при каких условиях оно возникает?
2. Какую опасность представляет резонанс напряжений для электротехнических устройств?
3. Изменением каких параметров электрической цепи можно получить резонанс напряжений?
4. Как практически определить резонанс напряжений?
5. Запишите выражения для тока, полного сопротивления и коэффициента мощности электрической цепи при резонансе напряжений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Исследование разветвленной цепи переменного тока с индуктивным и емкостным сопротивлениями

Цель работы:

1. Экспериментальным путем получить резонанс токов.
2. Исследовать влияние изменения проводимости цепи на токи и проводимости разветвленной цепи с индуктивным и емкостным сопротивлениями.

1. Материалы для подготовки к работе

В разветвленной цепи, состоящей из двух ветвей, одна из которых имеет активное сопротивление R и индуктивность L , а другая емкость C при условии, что индуктивная и емкостная проводимости ветвей равны между собой ($B_L = B_C$) возникает особый режим работы, который называется резонансом токов.

Простейшей электрической цепью, в которой может наблюдаться резонанс токов, является цепь с параллельным соединением катушки индуктивности и конденсатора (рис. 4.1).

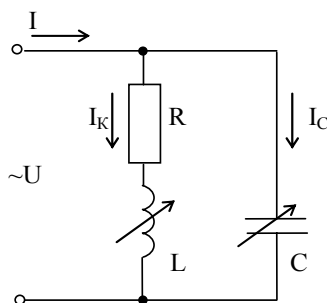


Рис. 4.1. Разветвленная цепь с R , L и C

Полная проводимость рассматриваемой цепи

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}$$

Условие резонанса токов ($B_L = B_C$) можно записать через соответствующие параметры электрической цепи. Так как реактивная проводимость катушки определяется выражением $B_L = \frac{X_L}{Z_K^2} = \frac{\omega L}{(R_K^2 + \omega^2 L^2)}$, а проводимость конденсатора без учета его активного сопротивления ($R_C=0$)

$B_C = \frac{X_C}{Z_C^2} = \frac{1}{X_C} = \omega C$, то условие резонанса может быть записано

в виде $\frac{\omega L}{(R_k^2 + \omega^2 L^2)} = \omega C$.

Резонанс токов можно получить путем изменения одной из трех величин L , C или f при постоянных двух других. При некоторых условиях в подобных цепях резонанс может возникать и при одновременном изменении указанных параметров.

Простейшие резонансные цепи, состоящие из параллельно соединенных между собой катушки индуктивности и конденсатора, широко применяют в радиоэлектронике в качестве колебательных контуров, в которых резонанс токов достигается при некоторой определенной частоте поступающего на вход соответствующего устройства сигнала.

В лабораторных условиях наиболее часто резонанс токов достигается при неизменной емкости C конденсатора, путем изменения индуктивности L катушки. С изменением индуктивной проводимости $B_L = \omega L$, пропорциональной емкости конденсатора, происходит изменение полной проводимости Y , общего тока I и коэффициента мощности $\cos \varphi$.

Указанные зависимости называются резонансными кривыми (рис. 4.2).

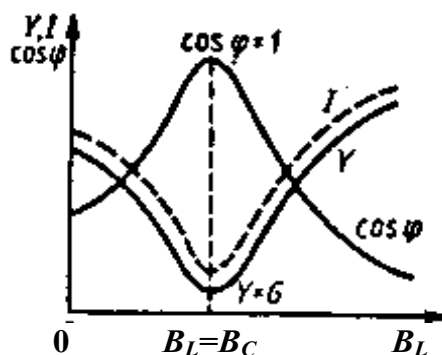


Рис. 4.2. Резонансные кривые

Резонанс токов характеризуется следующими явлениями:

1. В состоянии резонанса токов полная проводимость цепи равна активной проводимости $Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} = G$ и является наименьшей.

2. Минимальное значение проводимости обуславливает и минимальное значение тока цепи: $I = YU = GU$.

3. Индуктивная и емкостная составляющая токов в ветвях цепи равны между собой: $I_L = U \cdot B_L = U \cdot B_C = I_C$.

Ток в неразветвленной части цепи при этом имеет наименьшее значение и является чисто активным, т.е. совпадает по фазе с напряжением U , приложенным к зажимам цепи: $I = U \cdot Y = U \cdot G = I_a$.

При этом реактивные составляющие тока I_L и I_C (в зависимости от значения реактивных проводимостей) могут приобретать теоретически весьма большие значения и намного превышать ток I , потребляемый электрической цепью из сети.

4. Реактивная составляющая полной мощности, потребляемой цепью, при $B_L = B_C$ оказывается равной нулю: $Q = B_L U^2 - B_C U^2 = Q_L - Q_C = 0$.

При этом индуктивная и емкостная составляющие реактивной мощности также могут приобретать весьма большие значения, оставаясь равными друг другу.

5. Полная мощность цепи при резонансе равна ее активной составляющей: $S = Y U^2 = G U^2 = P$.

6. Коэффициент мощности цепи:

$$\cos \varphi = \frac{G}{Y} = \frac{Y}{Y} = 1, \text{ а } \varphi = 0$$

Векторная диаграмма разветвленной цепи с R , L и C при резонансе токов показана на рис. 4.3

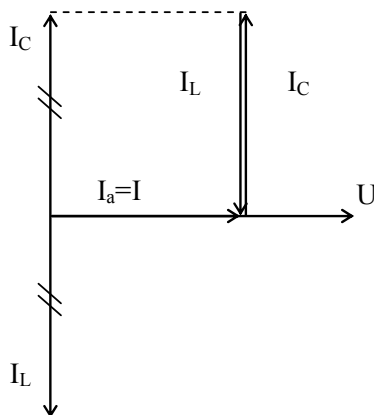


Рис. 4.3. Векторная диаграмма разветвленной цепи с R , L и C при резонансе токов

Если цепь не находится в резонансе, то она может работать в индуктивном ($\varphi > 0$) или емкостном ($\varphi < 0$) режиме (рис. 4.4)

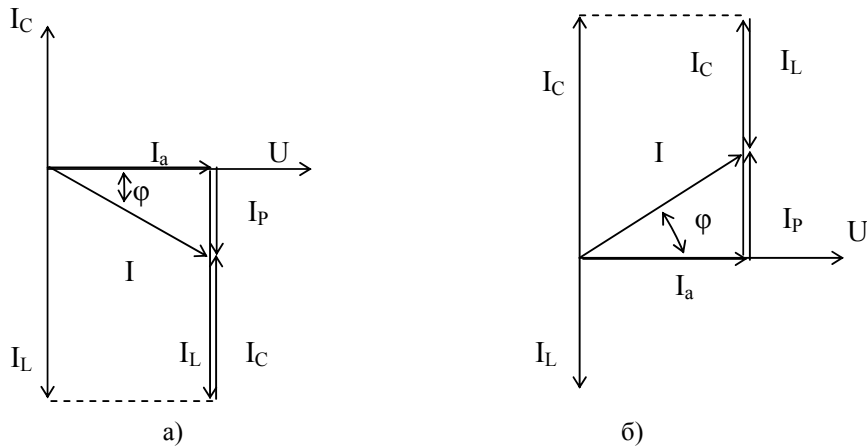


Рис. 4.4. Векторные диаграммы разветвленной цепи с R , L и C :
 а – при преобладании индуктивной нагрузки;
 б – при преобладании емкостной нагрузки

При выполнении лабораторной работы I_L рассчитывается по формуле

$$I_L = \sqrt{I_K^2 - I_a^2},$$

где I_K - ток катушки.

$$I_a = \frac{P}{U}, \quad I_p = |I_L - I_C|.$$

2. Программа работы

Собрать схему (рис. 4.5).

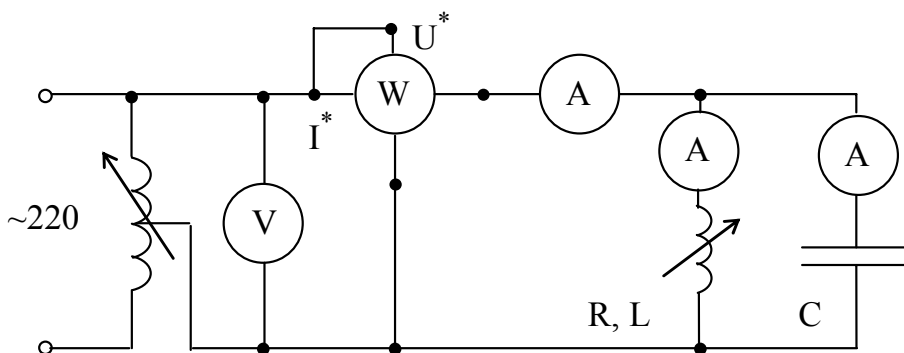


Рис. 4.5. Схема лабораторной работы для исследования разветвленной цепи R , L и C

1. Установить ручку ЛАТРа в нулевое положение и включить схему в сеть переменного тока с напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

2. Установить напряжение $U = 80 - 100$ В (вращая ручку ЛАТРа) и вставляя сердечник в катушку (т.е. увеличивая индуктивность), добиться ре-

зонанса токов (при резонансе ток в неразветвленной части цепи наименьший). После того, как был зафиксирован резонанс, продолжать вводить сердечник.

3. Измерить ток в цепи I , напряжение на зажимах исследуемой цепи U , ток в катушке индуктивности I_K , ток в конденсаторе I_C и активную мощность цепи P до, во время и после резонанса токов.

4. Отключить цепь.

Таблица 4.1

Режим работы	Опытные данные						Расчетные данные							
	f	I	U	I_K	I_C	P	G	Y	B_C	B_L	I_L	I_a	I_p	φ
	Гц	A	B	A	A	Bm	Cm	Cm	Cm	CM	A	A	A	
$B_L > B_C$	50													
$B_L = B_C$														
$B_L < B_C$														

3. Содержание отчёта

1. Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
2. Электрическая схема опытов;
3. Заполненная табл. 4.1;
4. Расчетные формулы;
5. Векторные диаграммы токов;
6. Выводы по работе.

4. Контрольные вопросы

1. Дайте определение резонанса токов в электрической цепи.
2. В какой цепи и при каких условиях наступает резонанс токов?
3. Чем отличается резонанс токов от резонанса напряжений?
4. Как практически определить резонанс токов?
5. Способы получения резонанса токов
6. Почему при резонансе токов ток в катушке или конденсаторе может быть больше тока в неразветвленной части цепи?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Соединение приемников трехфазного тока звездой

Цель работы:

1. Экспериментально проверить соотношения между линейными и фазными величинами в трехфазной цепи при соединении приемников звездой.
2. Получить практические навыки в соединении приемников звездой.

1. Материалы для подготовки к работе

В современных условиях электрическая энергия вырабатывается преимущественно источниками энергии с трехфазной системой напряжений. Такие источники широко применяют в технике. Объясняется это тем, что трехфазная система переменного тока является наиболее экономичной. В качестве трехфазных источников напряжений на электрических станциях используют трехфазные синхронные генераторы, на статоре которых размещаются три фазные обмотки (фазы), смещенные в пространстве относительно друг друга на угол 120° .

Трехфазной цепью называется совокупность трех однофазных электрических цепей, в которых действуют три ЭДС одинаковой частоты, сдвинутые по фазе друг относительно друга на угол 120° . Отдельные электрические цепи, образующие трехфазную цепь, называются фазами. Фазами так же называют обмотки синхронных генераторов, питающие провода и приемники трехфазной цепи. Фазы обозначают буквами А, В, С.

Каждая фаза генератора или приемника имеет начало и конец т.е. два вывода. Начала фаз обычно обозначают буквами А, В, С, а концы – буквами X, Y, Z.

В трехфазной цепи обмотки генератора и фазы приемников соединяются звездой или треугольником.

Фазы обмотки генератора (трансформатора) и провода соединительной сети обычно одинаковы. Фазы приемника по характеру нагрузки и потребляемой мощности могут быть как одинаковыми, так и не одинаковыми.

Если фазы приемника совершенно одинаковы, то такой приемник представляет собой равномерную нагрузку для генератора, т.к. в этом случае по фазам генератора протекают равные по величине токи.

Если фазы приемника не одинаковы, то такой приемник представляет собой не равномерную нагрузку. Неравномерную нагрузку создают обычно осветительные системы, т.к. в фазах такой системы работает одновременно разное число ламп.

При соединении фаз приемника звездой концы фаз (X, Y, Z) соединяются в общую точку, которую называют нулевой или нейтральной точкой N

(иногда просто нейтралью), а к началам фаз (А, В, С) присоединяют линейные провода, идущие от источника.

В лабораторной работе источником является щиток лабораторного стола. Нулевая точка приемника соединяется с нулевой точкой источника посредством нулевого провода, (рис. 5.1)

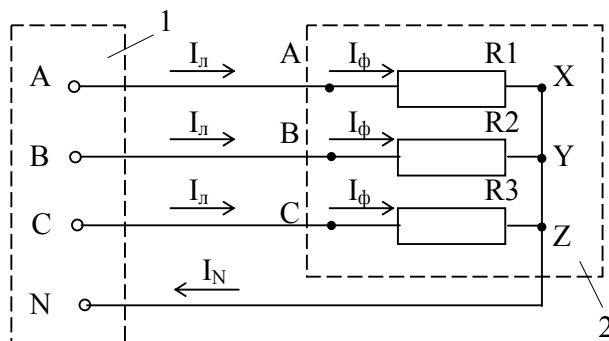


Рис. 5.1. Схема соединения приемника звездой (1 – лабораторный щиток, 2 – приемник)

При соединении звездой различают линейные и фазные напряжения, линейные и фазные токи.

Напряжение между началом и концом любой из фаз или между любым линейным и нулевым проводом называется *фазным напряжением*. Оно обозначается U_A, U_B, U_C или U_ϕ .

Напряжение между началами двух фаз или между любыми двумя линейными проводами называется *линейным напряжением*. Оно обозначается U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} или U_L . По абсолютной величине линейные напряжения в $\sqrt{3}$ раз больше фазных $U_L = \sqrt{3} \cdot U_\phi$.

Токи, протекающие в фазах приемника, называются *фазными токами*. Они обозначаются I_ϕ . Токи в линейных проводах называются *линейными токами*. Они обозначаются I_A, I_B, I_C или I_L .

Из рис. 5.1. видно, что $I_L = I_\phi$.

При соединении приемника звездой с нулевым проводом (рис. 5.1) фазы работают независимо друг от друга. В этом случае по нулевому проводу протекает ток, действующее значение которого равно геометрической сумме действующих значений токов в фазах. $I_N = I_A + I_B + I_C$.

При равномерной нагрузке (рис. 5.2) эта сумма токов равна нулю, следовательно, ток в нулевом проводе протекать не будет и нулевой провод не нужен.

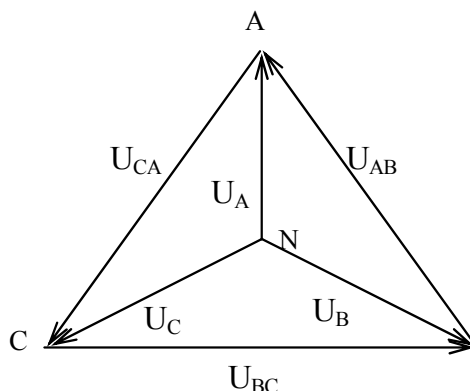


Рис. 5.2. Векторная диаграмма напряжений и токов при соединении звездой и равномерной активной нагрузке

В случае несимметрии нагрузки трехфазной трехпроводной цепи (при отсутствии нулевого провода) между нейтральными точками генератора и приемников возникает *узловое напряжение* или иначе – происходит смещение нейтрали приемников. Из-за смещения нейтрали нарушается симметрия фазных напряжений на приемнике, что приводит к его ненормальной работе.

Чтобы восстановить равенство фазных напряжений на приемниках при несимметричной нагрузке, в трехпроводную цепь добавляется нулевой провод, благодаря которому потенциал нулевой точки приемников становится равным потенциалу нулевой точки источника.

В этом случае при любой несимметрии нагрузки смещения нейтрали не происходит и система фазных напряжений будет симметричной.

При несимметричной нагрузке обрыв нулевого провода вызывает значительное изменение фазных напряжений и токов у потребителя, что в большинстве случаев не допустимо. Поэтому в нулевой провод предохранители не устанавливаются.

Предельными случаями несимметрии нагрузки является обрыв проводов или короткое замыкание одной из фаз трехфазной цепи.

При обрыве одной из фаз трехпроводной цепи, например фазы А, две другие фазы оказываются включенными последовательно на линейное напряжение U_{BC} . При одинаковом сопротивлении этих фаз на каждую из них придется половина линейного напряжения. Напряжения на оборванной фазе не будет: $U_A = 0$, $U_B = \frac{U_{BC}}{2}$, $U_C = \frac{U_{BC}}{2}$.

2. Программа работы

Собрать схему (рис. 5.3). В линейные провода включить амперметры на 2 А, а в нулевой провод – на 1 А.

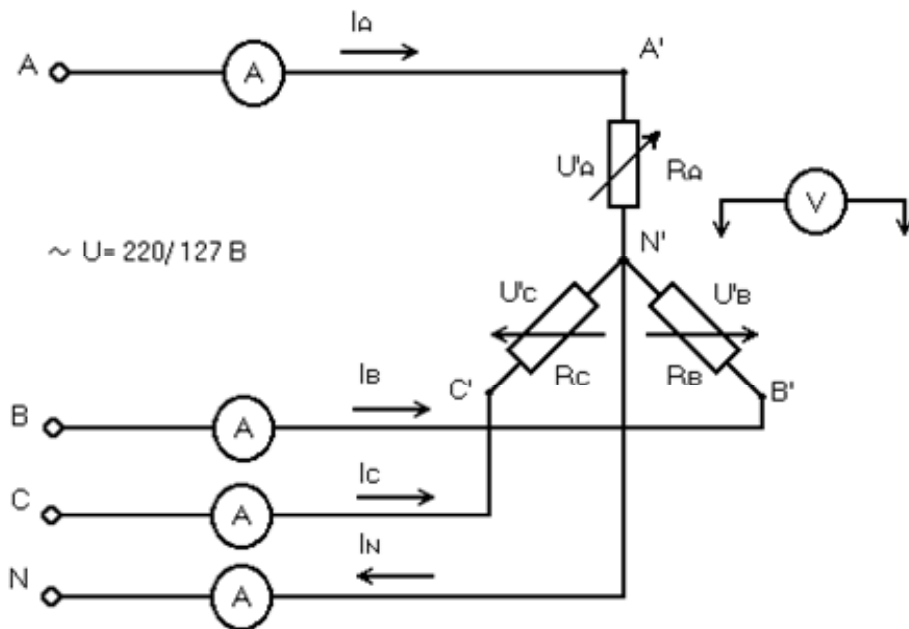


Рис. 5.3. Электрическая схема опыта

1. Включить схему. Установить равномерную нагрузку фаз. Записать в табл. 5.1 показания всех амперметров. Вольтметром измерить на зажимах лампового резистора фазные и линейные напряжения, показания вольтметра записать в табл. 5.1.

2. Установить неравномерную нагрузку в фазах приемника и подключить нулевой провод. Записать в табл. 5.1 показания всех амперметров. Измерить на зажимах лампового резистора фазные и линейные напряжения, показания вольтметра записать в табл. 5.1.

3. Отключить схему и отсоединить нулевой провод. Включить схему. Результаты изменений записать в табл. 5.1.

4. Установить равномерную нагрузку и отключить фазу А. Показания приборов записать в табл. 5.1.

5. Отключить схему и отсоединить нулевой провод. Включить схему. Результаты изменений записать в табл. 5.1.

6. Отключить схему.

Таблица 5.1

Характер нагрузки и состояние цепи	I_A	I_B	I_C	$U_{A'}$	$U_{B'}$	$U_{C'}$	$U_{AB'}$	$U_{BC'}$	$U_{AC'}$	U_N	I_N
	А	А	А	В	В	В	В	В	В	В	А
Равномерная нагрузка (без нейтрального провода)											
Неравномерная нагрузка (с нейтральным проводом)											
Неравномерная нагрузка (без нейтрального провода)											
Обрыв фазы А (с нейтральным проводом)											
Обрыв фазы А (без нейтрального провода)											

3. Содержание отчёта

1. Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
2. Электрическая схема опыта (рис. 5.3).
3. Заполненная табл. 5.1.
4. Топографические диаграммы напряжений для случаев 1, 2, 3.
5. Выводы по работе с объяснением всех случаев (п. 1, 2, 3, 4, 5).

4. Контрольные вопросы

1. Каково соотношение между линейными и фазными величинами (напряжениями, токами) в симметричной трехфазной системе при соединении звездой?
2. Что происходит в трехфазной трехпроводной цепи при соединении приемников звездой в случае нарушения симметрии нагрузки фаз?
3. Роль нулевого провода.
4. Что означает «смещение нейтрали»?
5. Чему равен ток в нулевом проводе при симметричной и не симметричной нагрузках в трехфазной четырехпроводной цепи?
6. Как изменяются токи и напряжения в цепи при обрыве линейного провода (при наличии нулевого провода и без него).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Соединение приемников трехфазного тока треугольником

Цель работы:

1. Экспериментально проверить соотношения между линейными и фазными величинами в трехфазной цепи при соединении приемников треугольником.
2. Получить практические навыки в соединении приемников треугольником.

1. Материалы для подготовки к работе

При соединении приёмников треугольником конец предыдущей фазы приёмника соединяется с началом последующей. Так, конец фазы А соединяется с началом фазы В, конец фазы В – с началом фазы С, конец фазы С - с началом фазы А. Линейные провода от источника присоединяются к началам фаз приёмника.

При соединении приёмников треугольником различают линейные напряжения $U_L (U_{AB}, U_{BC}, U_{CA})$ – напряжения между линейными проводами и фазные напряжения U_ϕ – напряжения на фазах приемника. Так как линейные провода подключены к началу и концу каждой фазы приемника, то линейные напряжения в то же время являются фазными напряжениями, т.е. $U_L = U_\phi$.

Различают также линейные токи $I_L (I_A, I_B, I_C)$ – токи в линейных проводах и фазные токи $I_\phi (I_{AB}, I_{BC}, I_{CA})$ – токи на фазах приемника.

При симметричной нагрузке фаз системы фазных и линейных токов будут симметричными. Наглядно это хорошо видно на векторной диаграмме (рис. 6.1).

Из векторной диаграммы видно также, что вектора линейных токов отстают по фазе от векторов фазных токов на 30° , т.е. соотношение между линейными и фазными токами при симметричной нагрузке $I_L = \sqrt{3} \cdot I_\phi$.

При неравномерной нагрузке фаз ($Z_{AB} \neq Z_{BC} \neq Z_{CA}$) симметрия как фазных, так и линейных токов будет нарушена, т.е. $I_{AB} \neq I_{BC} \neq I_{AC}$ и $I_A \neq I_B \neq I_C$. При этом симметрия напряжений на фазах не нарушается, так как она обеспечивается источником энергии.

Любое изменение сопротивления нагрузки одной из фаз сопровождается изменением тока в этой фазе и токов в двух линейных проводах, между которыми включен приемник с изменяющимся сопротивлением.

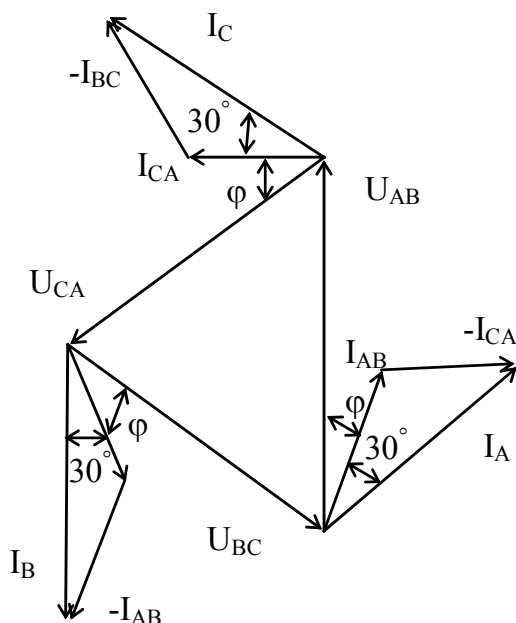


Рис. 6.1. Векторная диаграмма симметричной трехфазной цепи при соединении приемников электрической энергии треугольником

Равенство $I_{л} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi}$ при несимметричной нагрузке нарушается. При обрыве одной из фаз, например C'A' (рис. 6.2), ток в ней станет равным нулю, а режим работы двух других фаз не нарушается, так как на них по-прежнему будет линейное напряжение. Линейный ток I_B увеличится, а линейные токи I_A, I_C уменьшатся и станут равными фазным токам $I_A = I_{AB}, I_C = -I_{BC}$.

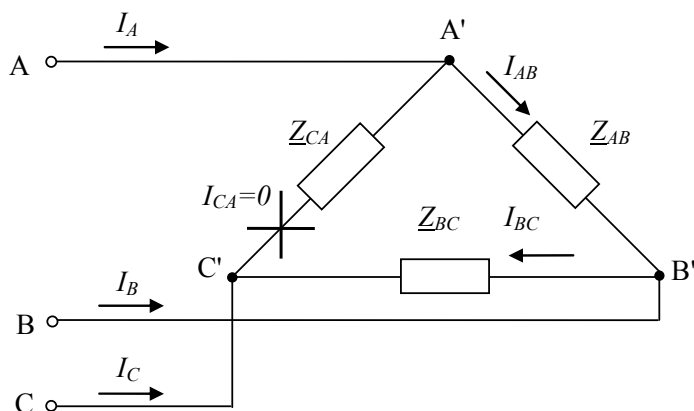


Рис. 6.2. Схема трехфазной цепи при соединении приемников треугольником и обрыве фазы C'A'

При обрыве одного из линейных проводов, например провода A (рис. 6.3), режим работы фазы (в данном случае B'C'), включенной между исправ-

ными проводами, не изменится. Две другие фазы окажутся включенными последовательно на линейное напряжение. Трехфазная цепь превращается в однофазную цепь с двумя параллельными ветвями.

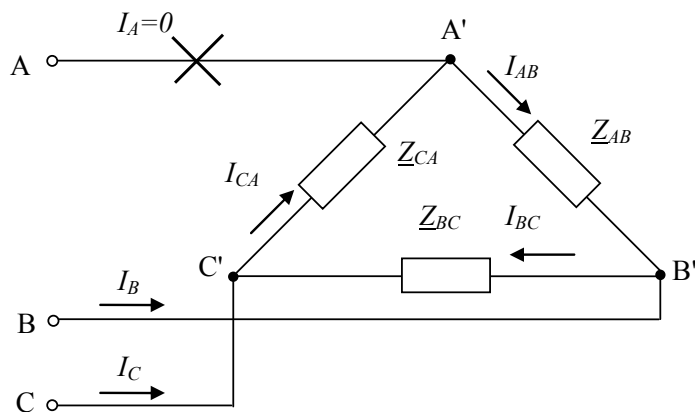


Рис. 6.3. Схема трехфазной цепи при соединении приемников треугольником и обрыве линейного провода А

Если фазы симметричного приемника переключить с треугольника на звезду при неизменном напряжении источника, то напряжение на фазах приемника уменьшится в $\sqrt{3}$ раз, фазные токи уменьшатся в $\sqrt{3}$ раз, линейные токи уменьшатся в 3 раза и потребляемая мощность также уменьшится в 3 раза.

2. Программа работы

Собрать схему (рис. 6.4). В линейные провода включить амперметры на 2 А, а в фазы приёмника – на 1 А.

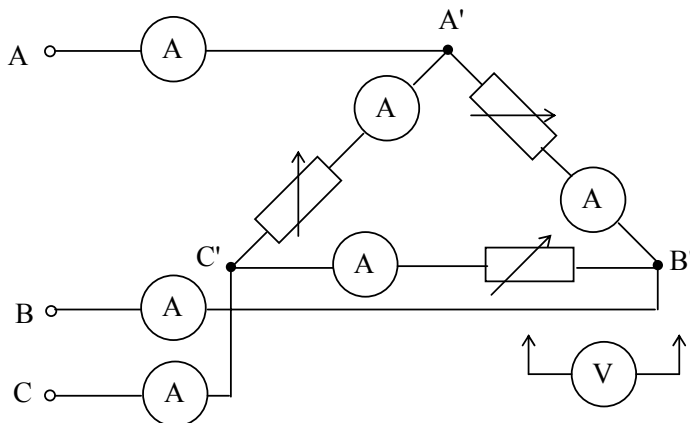


Рис. 6.4. Схема лабораторной работы для исследования трехфазной цепи при соединении приемников треугольником

1. Включить схему. Установить равномерную нагрузку фаз приёмника. Записать в табл. 6.1 показания амперметров. Вольтметром измерить на зажимах лампового резистора фазные и линейные напряжения, показания вольтметра записать в табл. 6.1.

2. Установить неравномерную нагрузку фаз приёмника. Записать в табл. 6.1 показания амперметров. Вольтметром измерить на зажимах лампового резистора фазные и линейные напряжения, записать значения в табл. 6.1.

3. Исследовать работу цепи при обрыве одной фазы приёмника (С'А'), для чего:

- установить снова равномерную нагрузку фаз приёмника;
- отключить схему;
- отсоединить линейный провод фазы С от щитка питания;
- включить схему, произвести указанные выше измерения и записать в табл. 4 значения фазных и линейных токов, фазных и линейных напряжений.

4. Исследовать работу цепи при обрыве линейного провода, для чего:

- при той же равномерной нагрузке и отсутствии напряжения на схеме замкнуть цепь оборванной фазы и отсоединить от источника питания линейный провод А;

- включить схему, произвести указанные выше измерения.

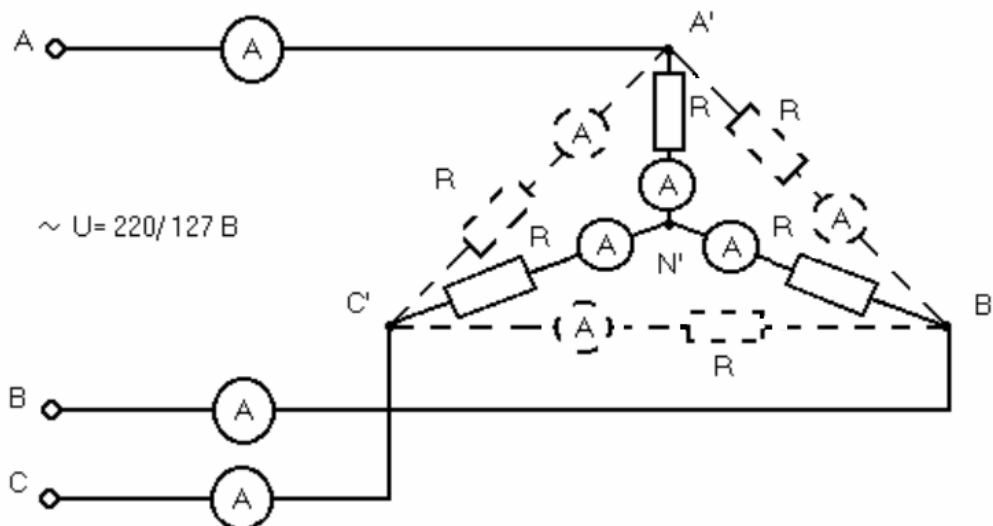


Рис. 6.5. Схема переключения приемников с треугольника на звезду без нулевого провода

5. Исследовать изменение фазных напряжений, фазных и линейных токов при переключении приемников с треугольника на звезду, для чего:

– при снятом напряжении со схемы и той же равномерной нагрузке подсоединить линейный провод А, переключить приемники с треугольника на звезду без нулевого провода (рис. 6.5);

– включить схему под напряжение.

измерить фазные (линейные) токи, фазные и линейные напряжения. Сравнить их величины для обоих случаев соединения приемников.

6. Отключить схему, результаты измерений показать преподавателю и с его разрешения разобрать схему.

Таблица 6.1

№ п/п	Характер нагрузки и состояние цепи	I_{AB}	I_{BC}	I_{CA}	I_A	I_B	I_C	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}
		А	А	А	А	А	А	В	В	В
1	Равномерная нагрузка									
2	Неравномерная нагрузка									
3	Обрыв фазы С`А`									
4	Обрыв линейного провода А									
5	Переключение на звезду									

3. Содержание отчёта

1. Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
2. Электрическая схема (рис. 6.4).
3. Заполненная табл. 6.1.
4. Векторная диаграмма напряжений и токов для случаев 1 и 2 выполненная в масштабе.
5. Выводы по работе с объяснением всех случаев (п. 1, 2, 3, 4, 5).

4. Контрольные вопросы

1. Каково соотношение между линейными и фазными величинами (напряжениями, токами) в симметричной трехфазной системе при соединении приемника треугольником?
2. Особенность работы цепи при симметричной нагрузке фаз.
3. Что происходит в цепи в случае нарушения равномерности нагрузки фаз?
4. Как изменяются токи и напряжения в цепи при обрыве одной из фаз?
5. Как изменяются токи и напряжения в цепи при обрыве одного из линейных проводов?
6. Как изменяются токи и напряжения в цепи при переключении приемников с треугольника на звезду?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Измерение активной мощности в трехфазной цепи

Цель работы:

Проверить рассмотренные в теории методы измерения активной мощности. Получить практические навыки измерения активной мощности в трехфазных цепях переменного тока.

1. Материалы для подготовки к работе

Полная мощность цепи постоянного тока определяется по формуле:
 $S=UI$.

Следовательно, измеряя ток амперметром и напряжение вольтметром, можно определить полную мощность цепи.

Для измерения активной мощности переменного тока кроме амперметра и вольтметра нужен еще фазометр. Это следует из выражения $P=UI\cos\varphi$.

Однако оба эти метода неудобны. На практике мощность измеряют с помощью ваттметра. В цепях постоянного тока применяются электродинамические ваттметры, а в цепях переменного тока – электродинамический или ферродинамический ваттметр, в основе принципа действия которого лежит взаимодействие магнитных полей двух катушек при протекании по ним токов. Одна из катушек включается в измеряемую цепь последовательно с нагрузкой (как амперметр), а другая – параллельно (как вольтметр).

Это взаимодействие катушек приводит к повороту подвижной катушки и, соответственно, стрелки, укрепленной на одной оси с этой катушкой.

Измерение активной мощности в трехфазных цепях может производиться с помощью однофазных ваттметров. При этом может быть использован метод одного, двух и трех ваттметров. Применение каждого из этих методов возможно только при определенных условиях.

1.1. Метод одного ваттметра

Этот метод применяется для измерения активной мощности в трехфазных цепях при равномерной нагрузке фаз.

При измерении могут встретиться несколько случаев:

а) трехфазная цепь имеет нулевой провод или приемник имеет доступную нулевую точку. При этом для измерения мощности трехфазной цепи достаточно одного ваттметра, измеряющего мощность одной фазы (рис. 7.1).

Мощность трехфазной цепи определяют по формуле: $P = 3PW$.

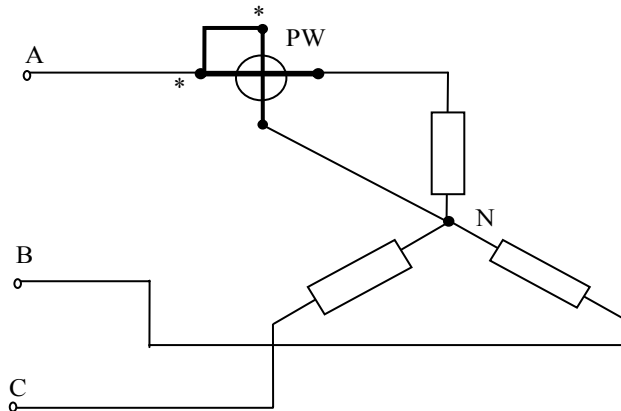


Рис. 7.1. Схема измерения активной мощности трехфазной цепи одним однофазным ваттметром при доступной нулевой точке

б) трехфазная цепь имеет соединение треугольником или звездой с недоступной нулевой точкой. Для измерения мощности трехфазной цепи однофазным ваттметром в этом случае нужно создать искусственную нулевую точку. Она создается с помощью активных сопротивлений, рассчитанных на номинальный ток параллельной цепи ваттметра (рис. 7.2). Активные сопротивления выбираются равными сопротивлению цепи обмотки напряжения ваттметра.

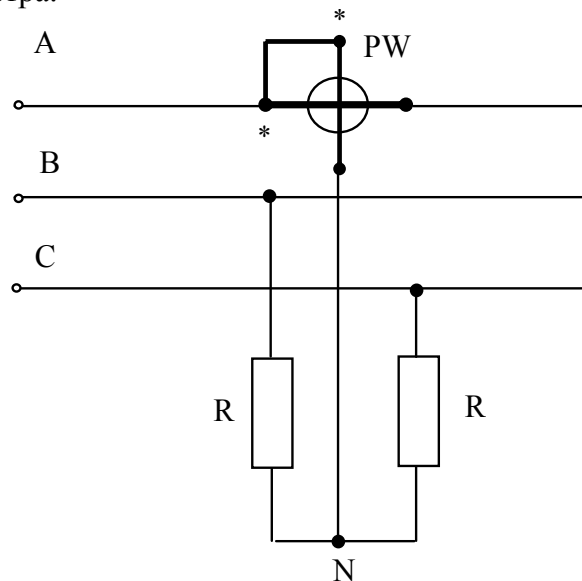


Рис. 7.2. Схема измерения активной мощности трехфазной цепи одним однофазным ваттметром при недоступной нулевой точке

Очевидно, что при таком включении к зажимам параллельной обмотки ваттметра приложено фазное напряжение U_ϕ , а по последовательной обмотке проходит ток I_ϕ и, следовательно, ваттметр измеряет активную мощность одной фазы. Мощность трехфазной цепи равна $P = 3PW$.

1.2. Метод двух ваттметров

Этот метод применяется для измерения активной мощности в трехфазных трехпроводных цепях, как при равномерной, так и при неравномерной нагрузках независимо от способа соединения приемников энергии. В качестве измерительных приборов могут быть использованы два однофазных ваттметра или один трехфазный двухэлементный ваттметр.

Для измерения мощности трехфазной цепи по методу двух ваттметров однофазные ваттметры могут быть включены по одной из трех схем, изображенных на рис. 7.3.

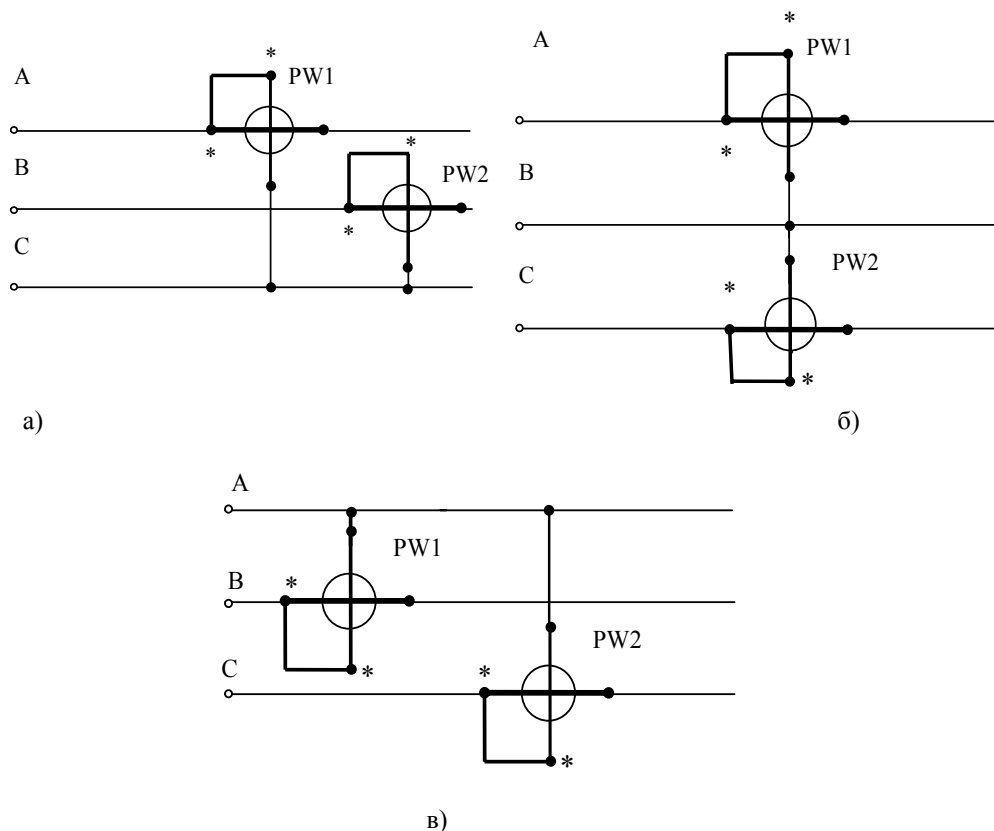


Рис. 7.3. Варианты схем включения двух однофазных ваттметров для измерения активной мощности в трехфазной цепи

Общая измеряемая мощность трехфазной цепи определяется в этом случае как алгебраическая сумма показаний обоих ваттметров $P = PW1 + PW2$

При измерении активной мощности в трехфазной цепи двумя ваттметрами возможны некоторые частные случаи:

а) один из приборов показывает нуль. Это бывает при активно-индуктивной нагрузке, когда угол сдвига фаз между током и напряжением

ем $\varphi = 60^\circ$ ($\cos\varphi=0,5$). В этом случае активная мощность трехфазной цепи измеряется только одним ваттметром.

б) один из приборов показывает отрицательное показание. Это бывает при активно-индуктивной нагрузке, когда угол сдвига фаз между током и напряжением $\varphi > 60^\circ$ ($\cos\varphi < 0,5$). Для производства отсчета необходимо переключить зажимы одной из обмоток ваттметра. Активная мощность трехфазной цепи в этом случае определяется разностью показаний ваттметров

$$P = PW2 - PW1;$$

в) оба прибора дают одинаковые показания. Это бывает при чисто активной нагрузке ($\cos\varphi = 1$).

1.3. Метод трех ваттметров

Этот метод применяется для измерения активной мощности в трехфазных цепях с нейтральным проводом при неравномерной нагрузке фаз. В качестве измерительных приборов могут быть использованы три однофазных ваттметра или один трехфазный трехэлементный ваттметр. Ваттметры включаются по схеме, изображенной на рис. 7.4. Каждый из ваттметров (элементов) измеряет мощность одной из фаз.

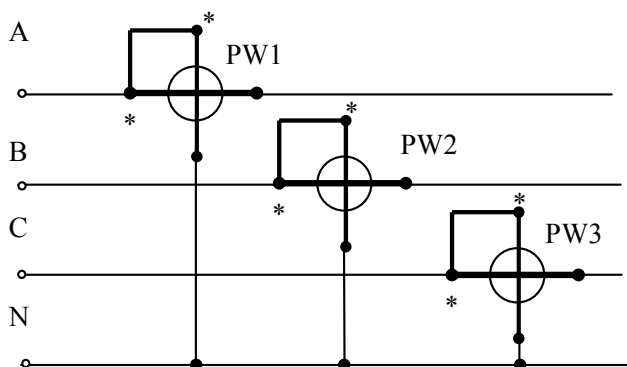


Рис. 7.4. Схема измерения активной мощности в трехфазной четырехпроводной цепи тремя однофазными ваттметрами

Активная мощность трехфазной цепи определяется суммой показаний трех ваттметров $P = PW1 + PW2 + PW3$.

2. Программа работы

1. Ознакомиться с аппаратурой и приборами, необходимыми для выполнения работы и записать их основные технические данные.
2. Собрать схему (рис. 7.5) для измерения мощности трехфазного лампового резистора методом одного ваттметра.

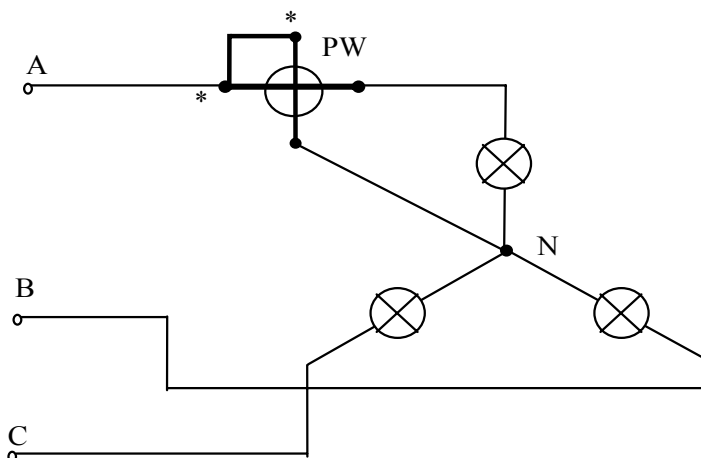


Рис. 7.5. Схема измерения активной мощности трехфазной цепи методом одного ваттметра при доступной нулевой точке

3. Включить схему в сеть переменного тока напряжением 220/127 В. Измерить активную мощность при одной и при двух лампах в каждой фазе. Результаты измерений и расчетов записать в табл. 7.1.

Таблица 7.1

№ п/п	Опытные данные	Расчетные данные		
	PW	P (по показанию прибора)	P (по мощности ламп)	ΔP
	Вт	Вт	Вт	%
1				
2				

4. Собрать схему (рис. 7.6) для измерения мощности трехфазного лампового резистора методом двух ваттметров и предъявить ее для проверки преподавателю.

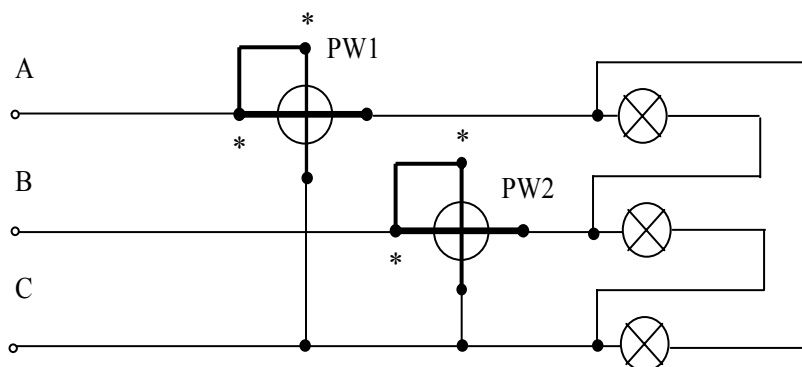


Рис. 7.6. Схема измерения активной мощности методом двух ваттметров

5. Включить схему в сеть переменного тока напряжением 220/127 Вт. Включив в каждой фазе трехфазного лампового резистора по 2 лампы (равномерная нагрузка) измерить мощность ваттметрами $PW1$ и $PW2$.

Результаты измерений и расчетов записать в табл. 7.2.

Таблица 7.2.

№ п/п	Опытные данные		Расчетные данные		
	$PW1$	$PW2$	P (по показанию прибора)	P (по мощности ламп)	δ_p
	Вт	Вт	Вт	Вт	%
1					
2					

6. Выключить в фазах В и С по одной лампе, т.е. установить неравномерную нагрузку, и снять показания ваттметров. Результаты измерений и расчетов записать в табл. 7.2.

7. Отключить схему и показать результаты измерений преподавателю. С его разрешения разобрать схему.

3. Содержание отчета

1. Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
2. Привести электрические схемы выполненных измерений.
3. Произвести расчет мощности и погрешностей при измерении.
4. Привести табл. 7.1, 7.2 с опытными и расчетными данными.

4. Контрольные вопросы

1. Какой метод применяется для измерения активной мощности в трехфазной цепи при равномерной нагрузке?

2. Какой метод применяется для измерения активной мощности в трехфазной цепи при неравномерной нагрузке?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

Измерение энергии в цепях переменного тока

Цель работы:

Научиться измерять электрическую энергию в однофазных и трехфазных цепях переменного тока.

1. Материалы для подготовки к работе

1.1. Измерение активной энергии в однофазных цепях

Измерение электрической энергии в однофазных цепях переменного тока производится с помощью однофазных счетчиков. В лабораторной работе используется однофазный индукционный счетчик типа СО.

Счетчики относятся к интегрирующим приборам, так как они дают показания с непрерывно нарастающим итогом. Угол поворота подвижной части в счетчиках не ограничен и она вращается с частотой вращения n , пропорциональной мощности цепи. При этом количество оборотов подвижной части за некоторый промежуток времени пропорционально измеряемой энергии. Для регистрации измеряемой энергии каждый счетчик имеет счетный механизм, представляющий, по существу, счетчик оборотов подвижной части.

Активная энергия, измеренная счетчиком за время t , равна

$$W = P \cdot t = Cnt = CN.$$

Следовательно, число оборотов диска счетчика N за время t пропорционально измеряемой энергии.

Коэффициент пропорциональности $C = W/N$ называется действительной постоянной счетчика, которая определяет энергию, учитываемую счетчиком в цепи за время одного оборота диска. Так как эта величина переменная, то для определения энергии, регистрируемой счетчиком, используется номинальная постоянная счетчика $C_{\text{ном}}$, которая подсчитывается по передаточному числу, указанному на щитке каждого счетчика. Передаточное число – это число оборотов диска, приходящееся на единицу учитываемой счетчиком энергии.

Например: $1\text{кВт}\cdot\text{ч}=2000$ оборотов диска. Величина, обратная передаточному числу счетчика, называется *номинальной постоянной счетчика*. Для счетчика с указанным выше передаточным числом она равна:

$$C_{\text{ном}} = 3600 \cdot 1000 / 2000 = 1800 \text{Вт}\cdot\text{с}/\text{оборот}.$$

Зная $C_{\text{ном}}$ и число оборотов диска счетчика за время t , энергию, регистрируемую счетчиком, определяют по формуле

$$W = C_{\text{ном}} N.$$

На практике энергия, измеряемая счетчиком за определенный про-

межутков времени, находится как разность показаний счетчика в конце и начале этого промежутка.

Точность измерения энергии оценивается относительной погрешностью измерения

$$\delta\% = \frac{W_{сч} - W}{W} 100,$$

где $W_{сч}$ – энергия, зарегистрированная счетчиком за определенный промежуток времени;

W – действительная энергия, израсходованная за то же время в цепи, определяемая по образцовому счетчику или ваттметру и секундомеру.

На рис. 8.1 показана схема подключения однофазного счетчика.

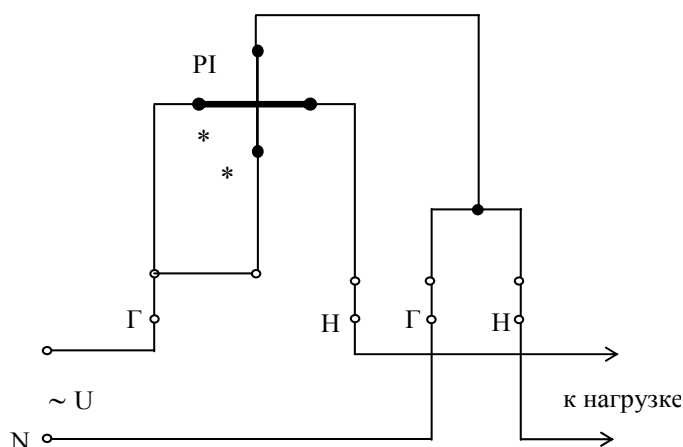


Рис. 8.1. Схема включения однофазного счетчика

1.2. Измерение активной энергии в трехфазных цепях

Трехфазные индукционные счетчики активной энергии имеют в одном корпусе два или три измерительных механизма (вращающихся элемента), подобных измерительному механизму однофазного счетчика.

Двухэлементные счетчики используются для учета активной энергии в трехфазных трехпроводных цепях переменного тока. Трехэлементными счетчиками учитывается активная энергия в трехфазных четырехпроводных цепях переменного тока.

Как в двухэлементных, так и в трехэлементных счетчиках диски вращающихся элементов укрепляются на одной оси. Это позволяет получить общий вращающий момент подвижной части счетчика, равный алгебраической сумме вращающихся моментов отдельных элементов. Таким образом, независимо от количества применяемых вращающихся элементов в счетчиках устанавливается один счетный механизм.

Включение вращающихся элементов счетчиков для учета активной энергии производится по схемам включения ваттметров для измерения активной мощности.

Генераторные зажимы токовых обмоток счетчиков обозначаются буквой Г, а зажимы, к которым подключается нагрузка, - буквой Н. Зажимы обмоток напряжения счетчиков, предназначенных для включения в трехфазные трех- или четырехпроводные цепи, обозначаются цифрами 1,2,3 и 0.

Промышленностью выпускаются счетчики трех разновидностей: счетчики непосредственного включения, трансформаторные счетчики и счетчики трансформаторные универсальные.

Трансформаторные счетчики предназначены для включения через измерительные трансформаторы, имеющие определенные, наперед заданные коэффициенты трансформации.

Трансформаторные универсальные счетчики предназначены для включения через измерительные трансформаторы, имеющие любые коэффициенты трансформации.

В трехфазных трехпроводных цепях для измерения активной энергии используются двухэлементные счетчики активной энергии типа САЗ или САЗУ.

В трехфазных четырехпроводных цепях для измерения активной энергии используются трехэлементные счетчики активной энергии типа СА4 или СА4У.

Включение вращающихся элементов счетчиков для учета активной энергии производится по схемам включения, представленным на рис. 8.2 и 8.3.

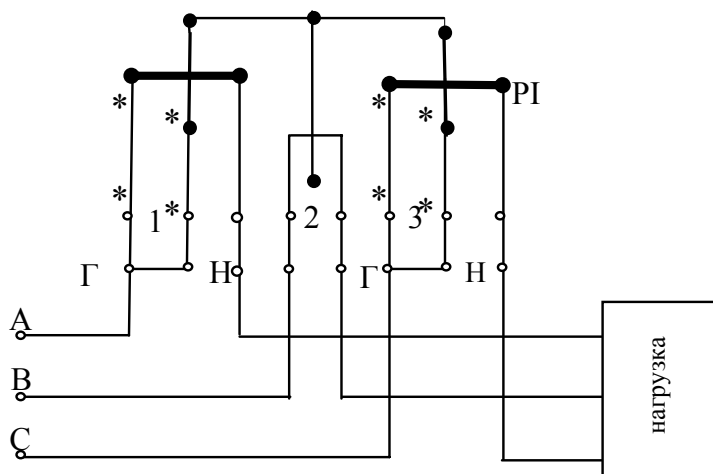


Рис. 8.2. Схема включения двухэлементного трехфазного счетчика типа САЗ

В случае измерения активной энергии в трехфазной четырехпроводной цепи с применением измерительных трансформаторов тока и измерительных трансформаторов напряжения показания счетчика необходимо умножить на номинальный коэффициент трансформации $K_{Ином}$ приме-

няемого измерительного трансформатора тока и номинальный коэффициент трансформации $K_{U_{ном}}$ применяемого трансформатора напряжения:

$$W = W_{СЧ} \cdot K_{I_{ном}} \cdot K_{U_{ном}}$$

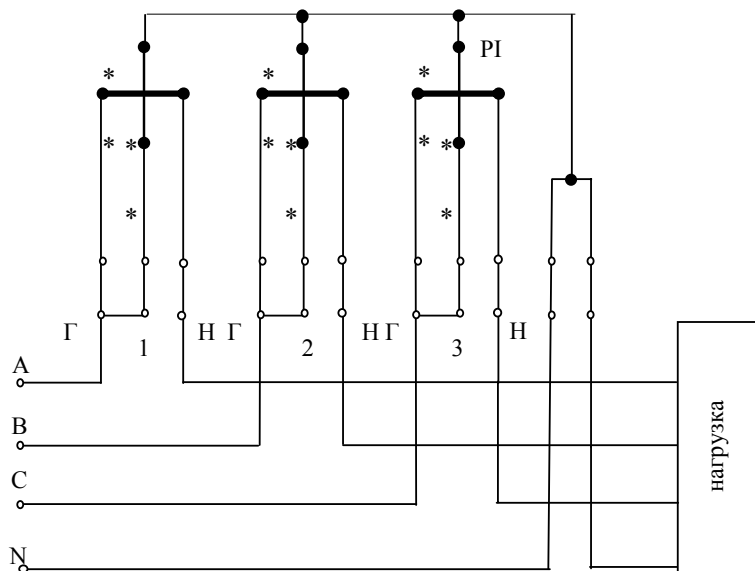


Рис. 8.3. Схема включения трехэлементного трехфазного счетчика типа СА4

При этом генераторные зажимы токовых обмоток счетчика Г должны быть подключены к зажимам И₁ измерительных трансформаторов тока, а зажимы обмоток напряжения счетчика 1, 2 и 3 – к зажимам «а» измерительных трансформаторов напряжения.

2. Программа работы

1. Ознакомиться с аппаратурой и приборами, необходимыми для выполнения работы и записать их основные технические данные.

2. Собрать схему (рис. 8.4) и предъявить ее для проверки преподавателю.

8. Собрать схему (рис. 8.5) и предъявить ее для проверки преподавателю.

9. Определить номинальную постоянную трехфазного счетчика $C_{ном}$.

10. Измерить активную энергию, израсходованную в трехфазной цепи за время $t = 300$ сек., для чего:

- включить схему в сеть переменного тока напряжением 220/127В;
- замкнуть ключ SA и изменяя сопротивление нагрузки R_A, R_B, R_C по амперметрам A_1, A_2, A_3 установить неравномерную нагрузку;
- измерить за время $t=300$ сек число оборотов диска трехфазного счетчика активной энергии N , токи I_A, I_B, I_C и напряжения U_A, U_B, U_C ;
- вычислить: активную мощность трехфазной цепи P (используя показания ваттметров PW_1 и PW_2); активную энергию за время $t=300$ сек, регистрируемую счетчиком САЗ ($W_{сч}$) и по показаниям двух ваттметров (W).

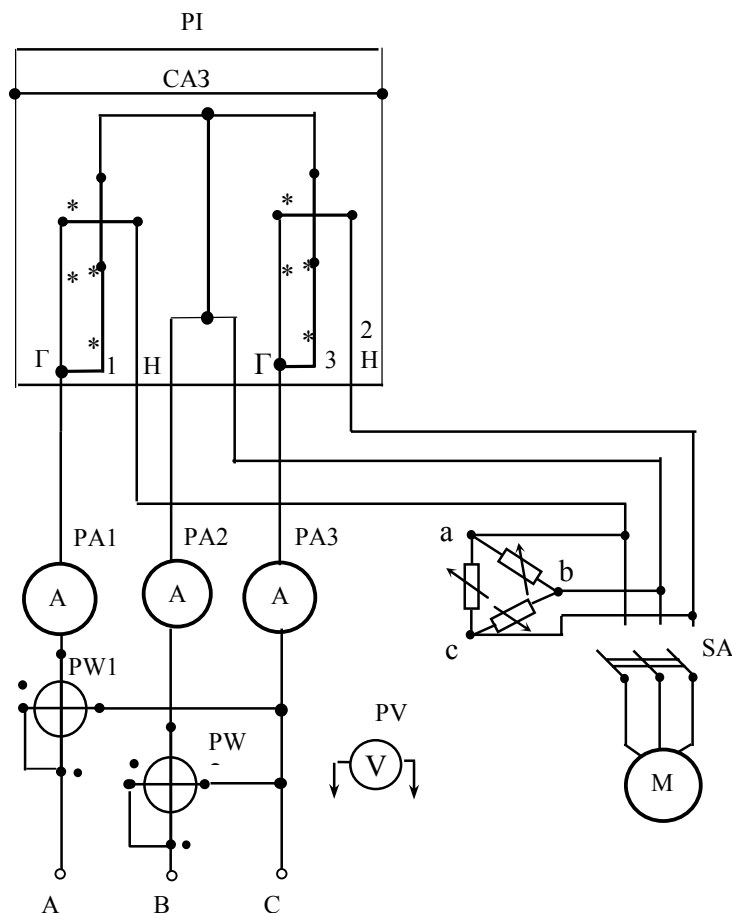


Рис. 8.5. Схема измерения активной энергии в трехфазной цепи

11. Приняв за действительные значения активной энергии величину, подсчитанную по показаниям двух ваттметров за время $t = 300$ сек, а за измеренные значения – энергию, регистрируемую трехфазным счетчиком активной энергии за время $t = 300$ сек, вычислить погрешность измерения активной энергии (δ_w).

12. Результаты измерений и расчетов записать в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Опытные данные										Расчетные данные				
t	N	I _A	I _B	I _C	U _A	U _B	U _C	PW ₁	PW ₂	P	S _{ном}	W	W _{сч}	δ_w
сек.	обор	A	A	A	B	B	B	Вт	Вт	Вт	Вт·с/об	Вт·с	Вт·с	

3. Содержание отчета

1. Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
2. Привести электрические схемы выполненных измерений.
3. Произвести расчет электрической энергии и погрешностей при измерении.
4. Привести табл. 8.1, 8.2 с опытными и расчетными данными.

4. Контрольные вопросы

1. Принцип действия однофазного счетчика.
2. Как определяется номинальная постоянная счетчика?
3. Как проверить счетчик на отсутствие самохода?
4. Какие виды счетчиков применяются для измерения энергии в переходных трехфазных цепях?
5. Как определяется действительная энергия в случае измерения активной энергии в трехфазной четырехпроводной цепи с применением измерительных трансформаторов тока и измерительных трансформаторов напряжения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

Исследование генератора постоянного тока (ГПТ)

Цель работы:

1. Закрепить теоретические знания принципа действия и устройства ГПТ.
2. Получить практические навыки в сборке схемы и включении генератора постоянного тока.
3. Снять основные характеристики ГПТ.

1. Материалы для подготовки к работе

Генератор постоянного тока представляет собой электрическую машину, предназначенную для преобразования механической энергии в энергию постоянного тока.

Принцип действия ГПТ основывается на законе электромагнитной индукции, суть которого следующая. При движении проводника в магнитном поле в проводнике индуцируется ЭДС, прямо пропорциональная величине магнитной индукции B , длине проводника l и скорости движения V :

$$e = B \cdot l \cdot V.$$

ГПТ состоит из следующих основных частей (рис. 9.1):

- станина (корпус), к которой крепятся сердечники полюсов и подшипниковые щиты;
- система возбуждения (1), состоящая из обмотки возбуждения, намотанной на полюсные сердечники;
- якорь (2), состоящий из обмотки, намотанной на сердечник. Сердечник закреплён на валу;
- коллектор (3), состоящий из медных пластин, изолированных друг от друга и собранных в виде цилиндра. Коллектор находится на валу якоря и вращается вместе с ним;
- щётки, закреплённые на специальной траверзе;
- подшипниковые щиты.

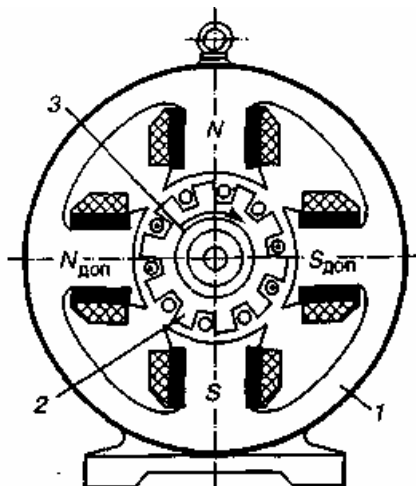


Рис. 9.1. Устройство генератора постоянного тока

На рис. 9.2 изображена принципиальная схема ГПТ с параллельным возбуждением.

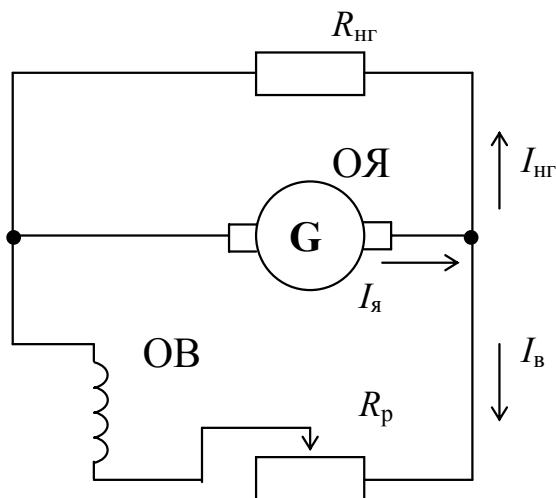


Рис. 9.2. Принципиальная схема ГПТ

При вращении проводников обмотки якоря (ОЯ) в магнитном поле, создаваемой обмоткой возбуждения (ОВ), в обмотке якоря индуцируется ЭДС, и на зажимах обмотки якоря создаётся напряжение U . Под действием этого напряжения по сопротивлению нагрузки $R_{нГ}$ протекает ток нагрузки $I_{нГ}$, по якорю – ток якоря $I_я$ а по цепи возбуждения протекает ток возбуждения $I_в$. Ток возбуждения может регулироваться изменением сопротивления цепи возбуждения с помощью регулировочного резистора R_p . Ток возбуждения обычно значительно меньше тока якоря, т.к. мощность нагрузки значительно больше мощности цепи возбуждения. Поэтому можно допустить, что $I_я \approx I_{нГ}$ и измерять ток якоря амперметром в цепи нагрузки.

Начальное возбуждение ГПТ параллельного возбуждения осуществляется благодаря наличию остаточного магнитного потока в сердечниках полюсов.

Режим работы ГПТ характеризуется следующими основными величинами: напряжением на зажимах якоря U , частотой вращения якоря n , током якоря I_a и током возбуждения I_B . Зависимости между двумя из указанных выше величин при постоянстве остальных называют характеристиками генератора. В настоящей работе необходимо исследовать три характеристики: характеристику холостого хода, внешнюю характеристику и нагрузочную характеристику.

1.1. Характеристика холостого хода (Х.Х.Х)

Характеристика холостого хода есть зависимость напряжения (ЭДС) на зажимах якоря генератора от тока возбуждения при отсутствии тока нагрузки и постоянной частоте вращения якоря, т.е.

$$U_0 = F(I_B) \text{ при } I_{a2}=0 \text{ и } n=const.$$

Х.х.х. даёт представление о степени использования стали машины и возможностях регулирования напряжения на зажимах якоря.

Х.х.х. имеет вид, изображённый на рис. 9.3.

U_n – номинальное значение напряжения.

$U_0=E$ – напряжение генератора при отсутствии нагрузки, равно ЭДС генератора.

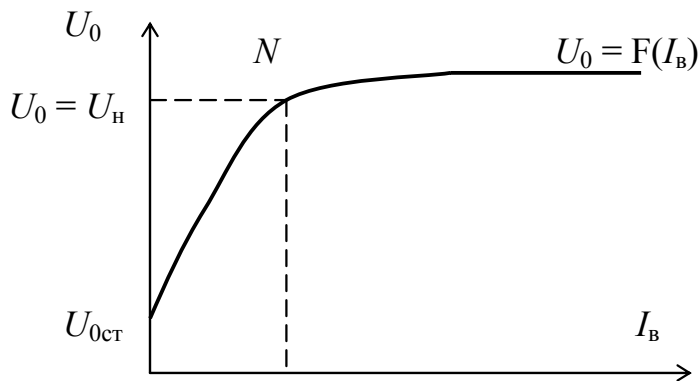


Рис. 9.3. Характеристика холостого хода ГПТ

1.2. Внешняя характеристика ГПТ

Внешняя характеристика ГПТ представляет собой зависимость напряжения генератора U от тока якоря I_a при постоянной частоте вращения и постоянном сопротивлении цепи возбуждения, т.е.

$$U_0 = F(I_a) \text{ при } R_e=0 \text{ и } n=const.$$

Внешняя характеристика имеет вид, изображённый на рис. 9.4.

Из рис. 9.4 следует, что с увеличением тока якоря I_a напряжение на

зажимах генератора уменьшается. Причину этого явления можно уяснить из анализа уравнения второго закона Кирхгофа для цепи якоря генератора:

$$U = E - I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

где $E = U_0$ – ЭДС, индуцированная в якоре.

$R_{\text{я}}$ – полное сопротивление цепи якоря.

Из этого уравнения видно, что при увеличении тока якоря $I_{\text{я}}$ напряжение на зажимах якоря уменьшается.

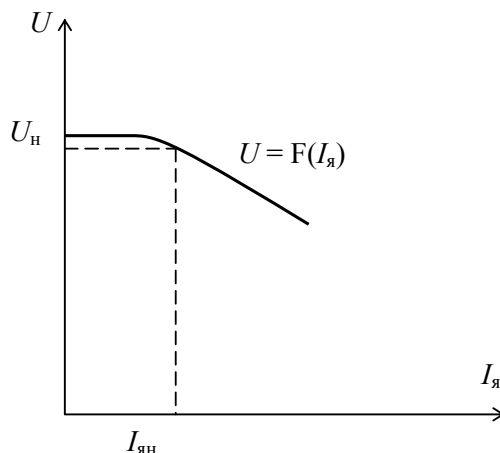


Рис. 9.4. Внешняя характеристика ГПТ параллельного возбуждения

1.3. Регулировочная характеристика

Регулировочная характеристика представляет собой зависимость тока возбуждения $I_{\text{в}}$ от тока якоря $I_{\text{я}}$ при постоянном напряжении на зажимах якоря генератора и постоянной частоте вращения якоря генератора, т.е.

$$I_{\text{в}} = F(I_{\text{я}}) \text{ при } U = \text{const} \text{ и } n = \text{const}.$$

Регулировочная характеристика имеет вид, изображённый на рис. 9.5.

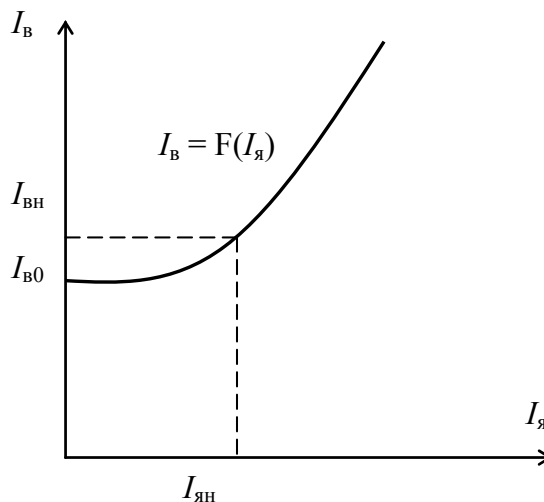


Рис. 9.5. Регулировочная характеристика ГПТ

Регулировочная характеристика показывает, как нужно изменять ток возбуждения, чтобы при изменении нагрузки (тока якоря I_a) поддерживать напряжение генератора постоянным – что постоянно применяется на практике.

2. Программа работы

1. Ознакомиться с оборудованием рабочего места и его номинальными параметрами.

2. Собрать схему ГПТ (рис. 9.6), обратив внимание на маркировку выводов обмотки якоря и обмотки возбуждения. При этом вначале собрать цепь нагрузки, а затем – цепь возбуждения.

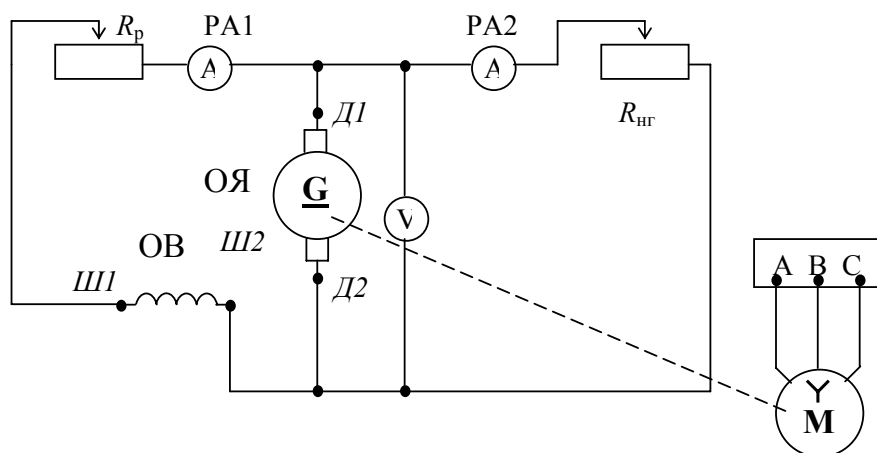


Рис. 9.6. Схема лабораторной работы

3. Собрать схему включения приводного асинхронного двигателя, соединив его фазы звездой или треугольником в зависимости от величины линейного напряжения на зажимах щитка питания.

4. Полностью ввести сопротивление регулировочного резистора в цепи возбуждения генератора, повернув его рукоятку до отказа против часовой стрелки, а так же выключить все лампы на ламповом резисторе.

5. Получив разрешение преподавателя или лаборанта на включение схемы, включить приводной двигатель и проверить работоспособность ГПТ и всех приборов (амперметров и вольтметра). Для этого немного повернуть рукоятку регулировочного резистора по часовой стрелке. Если при этом напряжение на генераторе и ток в цепи возбуждения будут увеличиваться, то цепь возбуждения собрана правильно. Если стрелка амперметра или вольтметра «зашкаливает», т.е. пытается повернуться против часовой стрелки, то необходимо выключить двигатель и поменять провода на зажимах соответствующего прибора. После этого вновь включить двигатель и проверить работу приборов. В случае если прибо-

ры не «зашкаливают», но и не показывают увеличение напряжения и тока, необходимо выключить двигатель и поменять местами проводники, подходящие к выводам обмотки возбуждения ГПТ.

6. Полностью ввести резистор возбуждения и записать показания вольтметра и амперметра РА1 в цепи возбуждения в табл. 9.1.

7. Постепенно уменьшая сопротивление цепи возбуждения с помощью регулировочного резистора, изменять напряжение генератора до номинального (140-150 В). Записать в табл. 9.1 показания приборов для 4...6 точек характеристики холостого хода.

8. При номинальном напряжении записать в табл. 9.2 показания вольтметра и амперметра РА2 в цепи нагрузки.

9. Поочередно включая лампы в резисторе нагрузки, изменять ток нагрузки до максимально возможного. Записать в табл. 9.2 показания вольтметра и амперметра в цепи нагрузки для 4...6 точек внешней характеристики.

10. Не выключая ламп нагрузки, регулировочным резистором в цепи возбуждения довести напряжение генератора до номинального ($\approx 120\text{В}$). Записать показания всех приборов в табл. 9.3.

11. Поочередно выключая лампы, поддерживать регулировочным резистором напряжение генератора постоянным. Записать показания приборов в табл. 9.3 для точек 4...6 регулировочной характеристики.

12. Выключит все лампы нагрузки. Уменьшить до минимума напряжение генератора с помощью регулировочного резистора. Отключить двигатель.

13. Результаты измерений показать преподавателю и с его разрешения разобрать схему.

Таблица 9.1

№ п\п		1	2	3	4	5	6
U ₀	В						
I _в	А						

Таблица 9.2

№ п\п		1	2	3	4	5	6
U	В						
I _я	А						
I _в	А						

Таблица 9.3

№ п\п		1	2	3	4	5	6
I _в	А						
I _я	А						
U	В						

3. Содержание отчёта

1. Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
2. Электрическая схема работы (рис. 9.6).
3. Табл. 9.1, 9.2, 9.3 с результатами измерений.
4. Графики: характеристики холостого хода, внешней и регулировочной характеристик испытываемого генератора, выполненные в масштабе.

4. Контрольные вопросы

1. Как осуществляется начальное возбуждение испытываемого генератора постоянного тока?
2. Почему в характеристике холостого хода нарушается пропорциональность между током возбуждения и напряжением?
3. Как изменяется напряжение генератора при увеличении тока нагрузки?
4. Как поддержать напряжение генератора постоянным при увеличении тока нагрузки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

Исследование однофазного трансформатора

Цель работы:

1. Закрепить практические знания принципа действия и устройства трансформатора.
2. Приобрести практические навыки в сборке схемы и включении однофазного трансформатора.
3. Исследовать основные свойства трансформатора.

1. Материалы для подготовки к работе

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, в котором переменный ток одного напряжения преобразуется в переменный ток той же частоты, но другого напряжения.

Трансформатор состоит из стального сердечника, собранного из тонких листов электротехнической стали, так же как в катушках индуктивности с ферромагнитным сердечником, изолированных друг от друга с целью снижения потерь мощности на гистерезис и вихревые токи. На сердечнике однофазного трансформатора (рис. 10.1) в простейшем случае расположены две обмотки, выполненные из изолированного провода. К первичной обмотке подводится питающее напряжение U_1 . Со вторичной его обмотки снимается напряжение U_2 , которое подводится к потребителю электрической энергии.

Во многих случаях трансформатор имеет не одну, а две или несколько вторичных обмоток, к каждой из которых подключается свой потребитель электроэнергии.

Принцип действия трансформатора основан на законе электромагнитной индукции, который реализуется следующим образом. При протекании переменного тока по первичной катушке в стальном сердечнике возникает переменный магнитный поток Φ (рис. 10.1).

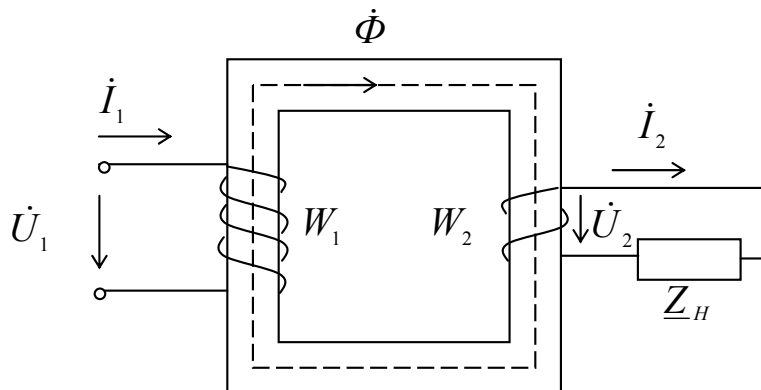


Рис. 10.1. Схема, поясняющая работу трансформатора

Магнитный поток Φ , пронизывая витки первичной и вторичной катушек, индуцирует в них ЭДС E_1 и E_2 , которые определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} E_1 &= 4.44\Phi_m W_1 f, \\ E_2 &= 4.44\Phi_m W_2 f, \end{aligned}$$

где Φ_m – амплитудное значение магнитного потока;

W_1 и W_2 – число витков первичной и вторичной обмоток;

f – частота изменения тока и напряжения источника переменного тока. В лабораторной работе $f = 50$ Гц.

Таким образом соотношение ЭДС E_1 и E_2 обмоток трансформатора зависит от соотношения чисел витков первичной и вторичной обмоток W_1 и W_2 .

Отношение ЭДС обмотки высшего напряжения к ЭДС обмотки низшего напряжения называется коэффициентом трансформации трансформатора (n_T).

$$n_T = \frac{E_B}{E_H} = \frac{4.44 W_m \Phi_B f}{4.44 W_m \Phi_H f} = \frac{W_B}{W_H}$$

Если $W_1 > W_2$, то $E_1 > E_2$ и трансформатор будет понижающий.

Если $W_1 < W_2$, то $E_1 < E_2$ и трансформатор будет повышающий.

При исследовании появляется необходимость проведения опыта холостого хода трансформатора. Этот опыт проводится в целях определения коэффициента трансформации n_T , магнитного потока Φ_m , а также потерь мощности $P_{T \text{ ном}}$ в сердечнике магнитопровода трансформатора при номинальном режиме.

При опыте холостого хода к первичной обмотке трансформатора подводится напряжение, равное номинальному его значению $U_{1 \text{ ном}}$. Вторичная обмотка трансформатора при этом разомкнута, так как в цепи ее отсутствует нагрузка. В результате этого ток во вторичной обмотке оказывается равным нулю ($I_2 = 0$), в то время как в цепи первичной обмотки трансформатора будет ток холостого хода I_0 , значение которого обычно невелико и составляет порядка 4—10% от номинального значения тока в первичной обмотке $I_{1 \text{ ном}}$. С увеличением номинальной мощности трансформатора относительное значение тока холостого хода снижается.

На холостом ходу, когда падение напряжения в трансформаторе мало, отношение ЭДС E_1 и E_2 можно заменить отношением напряжений на зажимах обмоток трансформатора U_B и U_H т.е.

$$n_T = \frac{E_B}{E_H} = \frac{U_B}{U_H}$$

Воспользовавшись вторым законом Кирхгофа для первичной и вторичной цепи трансформатора в режиме холостого хода, можно получить следующие уравнения электрического равновесия:

- для первичной цепи: $\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1$;

- для вторичной цепи: $\dot{U}_2 = \dot{E}_2$,

где \underline{Z}_1 – полное сопротивление первичной обмотки.

При работе с нагрузкой вторичная цепь замкнута и по ней протекает под действием ЭДС E_2 ток нагрузки I_2 . В этом случае для вторичной цепи можно записать уравнение:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 \underline{Z}_2$$

где \underline{Z}_2 – полное сопротивление вторичной обмотки трансформатора.

Из последнего уравнения видно, что с увеличением тока I_2 напряжение U_2 уменьшается. Это явление хорошо видно на внешней характеристике трансформатора (рис. 10.2), т.е. зависимости напряжения на зажимах вторичной обмотки U_2 от тока нагрузки I_2 при постоянном первичном напряжении и частоте $\cos \varphi$.

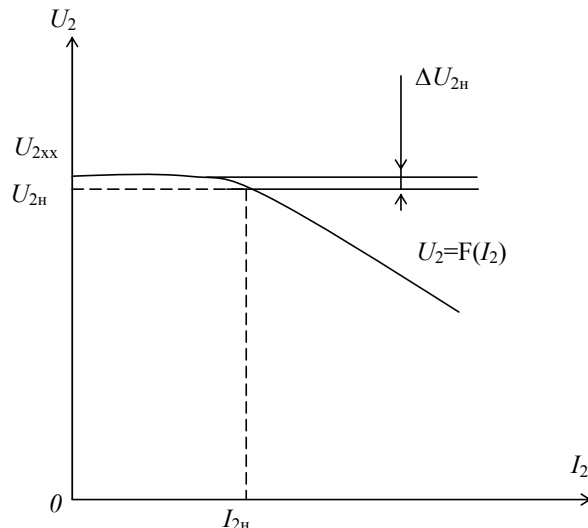


Рис. 10.2. Внешняя характеристика трансформатора:

U_{2xx} – вторичное напряжение трансформатора на холостом ходу.

$U_{2н}$ – вторичное напряжение при номинальной нагрузке трансформатора

I_{2x} – ток вторичной цепи при номинальной нагрузке трансформатора

Разность между вторичным напряжением при холостом ходе (U_{2xx}) и вторичным напряжением при нагрузке ($U_{2н}$) называется потерей напряжения в трансформаторе (ΔU_2).

$$\Delta U = U_{2xx} - U_2 \text{ или } \Delta U\% = (U_{2xx} - U_2) / U_{2xx} * 100\%$$

КПД современных трансформаторов весьма высок. С увеличением номинальной мощности трансформатора КПД растет, причем для мощных трансформаторов он достигает значений порядка 98—99%.

3. Содержание отчёта

1. Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
2. Электрическая схема (рис. 10.3).
3. Заполненная табл. 10.1.
4. Расчётные формулы, по которым производились вычисления.
5. Внешняя характеристика трансформатора.

4. Контрольные вопросы

1. Объясните устройство и принцип действия однофазного трансформатора.
2. Объясните, почему коэффициент трансформации трансформатора определяется из опыта холостого хода.
3. В какой цепи, первичной или вторичной, ток больше и почему?
4. Что происходит с током в первичной обмотке при увеличении тока во вторичной обмотке?
5. Что происходит с напряжением на зажимах вторичной обмотки при увеличении в ней тока?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

Исследование биполярного транзистора

Цель работы:

Ознакомится с устройством и принципом действия полупроводникового транзистора и получить практические навыки по исследованию входных и выходных характеристик транзистора.

1. Материалы для подготовки к работе

Биполярный транзистор представляет собой трехэлектродный полупроводниковый прибор с двумя электронно-дырочными переходами, имеет три вывода и предназначен для усиления и генерирования электрических сигналов.

Основным элементом транзистора является кристалл германия или кремния, в котором с помощью соответствующих примесей созданы три области (слоя) с различными типами проводимости. В германиевом транзисторе (рис. 11.1, а) обычно два крайних слоя обладают дырочной проводимостью (p -области), а внутренний слой имеет электронную проводимость (n -область), в соответствии с чем такой транзистор называется полупроводниковым триодом типа $p-n-p$.

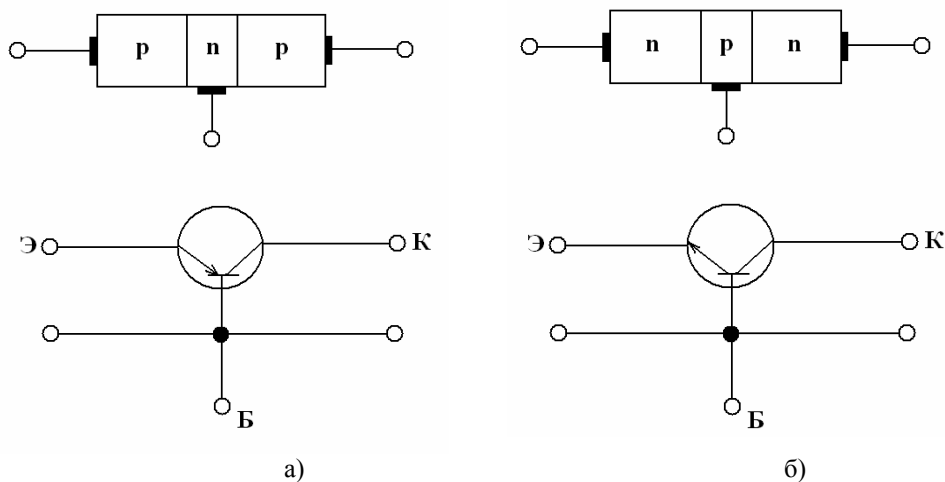


Рис. 11.1. Строение и условное обозначение биполярного транзистора

Условное обозначение транзистора типа $p-n-p$ показано на рис. 11.1, б. Кремниевые транзисторы чаще изготавливают в виде полупроводниковых триодов типа $n-p-n$, принципиальная схема и условное изображение которых показаны на рис. 11.2, б. Следует заметить, что принцип действия полупроводниковых транзисторов независимо от их типа один и тот же.

Различие состоит лишь в выборе полярности присоединяемых к ним источников питания. Средняя область (слой) транзистора независимо от типа является его базой Б или основанием, а крайние — эмиттером Э и коллектором К.

Наличие трех слоев с различной проводимостью обуславливает на границах их раздела два $p-n$ -перехода, характеризующихся динамическим равновесием. Чтобы вывести $p-n$ -переход из состояния равновесия, к нему прикладывается внешнее напряжение.



Рис. 11.2. Схемы включения источников питания транзисторов

Схемы включения источников питания транзисторов типов $p-n-p$ и $n-p-n$ показаны на рис. 11.2 а, б.

Транзисторы включаются в схему таким образом, чтобы к переходу эмиттер—база внешнее напряжение было приложено в прямом направлении, а к $p-n$ -переходу коллектор – база – в обратном направлении.

При воздействии внешних напряжений потенциальный барьер между эмиттером и базой понижается, а между базой и коллектором — увеличивается. В результате основные носители заряда эмиттерного слоя переходят в область базы, а затем в область коллектора, создавая ток коллекторного перехода.

Одновременно с этим происходит и переход основных носителей заряда базы через эмиттерный переход. Однако в область базы при изготовлении транзистора вводят значительно меньшее количество атомов примеси, чем в эмиттер, поэтому ток эмиттерного перехода создается главным образом переходом основных носителей эмиттерного слоя. Если время прохождения основных носителей заряда эмиттера через область базы много меньше времени их независимого существования, то основная часть этих носителей доходит до коллекторного перехода и попадает в область коллектора. При этом лишь небольшая часть указанных носителей рекомбинирует в области базы с ее основными носителями. Таким образом, значение тока в цепи коллекторного (закрытого) перехода зависит от значения тока в цепи эмиттерного (открытого) перехода.

В рассмотренном примере (см. рис. 11.1) базовый электрод является общим для эмиттерной и коллекторной цепей. Такое включение транзистора называют *включением по схеме с общей базой*. Схему усилительной ячейки на транзисторе с общей базой можно применять на более высоких частотах, однако она имеет коэффициент усиления по току меньше единицы и малое входное сопротивление. Возможны также другие способы включения транзистора, с общим эмиттером (рис. 11.3, а), с общим коллектором (рис. 11.3, б).

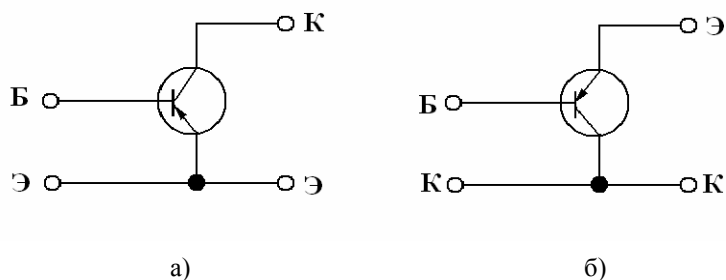


Рис. 11.3. Схемы включения транзисторов:
а - с общим эмиттером;
б - с общим коллектором

Схема включения транзистора с общим коллектором имеет большое входное и малое выходное сопротивления. Поэтому ее часто применяют в многокаскадных усилителях в качестве согласующего каскада и выходного каскада при работе на низкоомную нагрузку.

Наиболее часто используют схему с общим эмиттером, с помощью которой можно осуществлять усиление по току, напряжению и наибольшее по сравнению с другими схемами включения транзистора усиление по мощности. Эта схема характеризуется незначительным входным сопротивлением.

В схеме с общим эмиттером ток базы управляет током коллектора, в схеме с общим коллектором ток базы управляет током эмиттера. Входным напряжением в схеме с общим эмиттером является $U_{бэ}$. На базе должно быть отрицательное напряжение (в случае транзистора типа $p-n-p$, чтобы первый переход оказался открытым. Выходным напряжением здесь является $U_{кэ}$. Напряжение на коллекторе также должно быть отрицательным относительно эмиттера, а чтобы второй переход был закрытым, напряжение на коллекторе по модулю должно превышать напряжение на базе.

Представим себе структуру транзистора типа $n-p-n$, включенного по схеме ОЭ (рис. 11.4, а). Условное обозначение такого транзистора приведено на рис. 11.4, б.

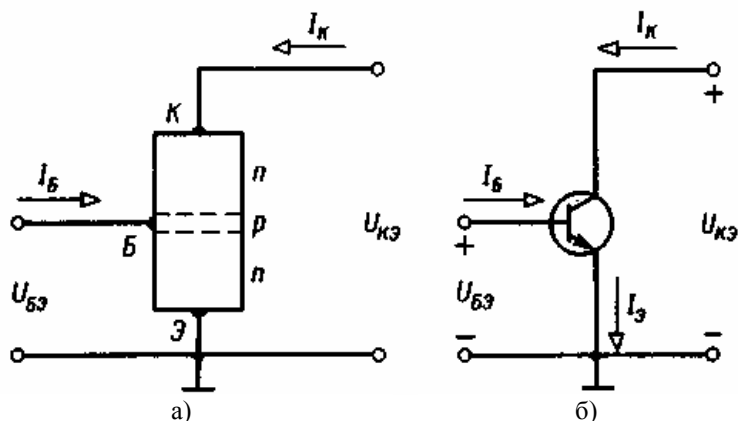


Рис. 11.4. Принцип действия транзистора
 а – структура транзистора;
 б – условное обозначение

Для удобства отсчета потенциалов эмиттер транзистора заземлим. Входным электродом транзистора является база p -типа, выходным — коллектор n -типа. В соответствии с изложенным ранее между базой и эмиттером подается небольшое положительное напряжение $U_{бэ}$, а между коллектором и эмиттером напряжение $U_{кэ}$ также положительное и большее, чем $U_{бэ}$ (несколько вольт). Тогда на переходах транзистора получаются напряжения, соответствующие его работе в усилительном режиме.

При подаче указанных напряжений в структуре транзистора происходят следующие явления. Поскольку на эмиттерный p - n -переход подано прямое напряжение, возникает инжекция, т.е. введение электронов из эмиттера в базу. Одновременно инжектируют и дырки из базы в эмиттер, но этим явлением можно пренебречь, так как база имеет меньшую концентрацию примесей по сравнению с эмиттером, а следовательно, и меньшую концентрацию носителей заряда.

Небольшая часть инжектированных электронов (1-3 %) рекомбинирует с дырками базы. За счет этого по проводу, соединенному с базой, будет протекать небольшой ток базы $I_б$. Остальная часть электронов ($\alpha=0,97\div 0,99$) проникает далее в коллектор. Этому способствует положительный заряд коллектора, а также то, что базу намеренно выполняют очень тонкой (порядка 1 мкм).

Из такого рассмотрения легко понять механизм усиления схемы ОЭ по току и напряжению. Действительно, пусть за счет входного переменного сигнала напряжение $U_{бэ}$ изменяется. Это приведет к значительным колебаниям инжектированного эмиттером тока. Наиболее значительная часть этого тока будет протекать в коллектор, а на долю базы опять будет приходиться только небольшая часть тока. Это означает, что хотя вход-

ной ток базы небольшой, однако он вызывает значительные колебания тока на выходе. Если же в коллекторную цепь включить резистор с достаточно большим сопротивлением, то в соответствии с законом Ома колебания тока вызовут увеличение амплитуды колебания напряжения, т.е. произойдет усиление сигнала и по току, и по напряжению.

Поскольку полярность напряжений, подаваемых на базу и коллектор, положительная, обе цепи можно питать от одного источника, на базу напряжение подают с помощью делителя, так как оно должно быть небольшим.

Параметры транзистора можно определить по его входным и выходным характеристикам. Входные характеристики транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, представляют собой зависимости тока базы от напряжения на базе:

$$I_b = f(U_{бэ}) \text{ при } U_{кэ} = \text{const.}$$

На рис. 11.5 приведены входные характеристики транзистора при его включении с общим эмиттером.

При открытом первом переходе ток базы I_b (т. е. входной ток) сильно зависит от прямого напряжения на базе $U_{бэ}$ и мало зависит от обратного напряжения $U_{кэ}$ (при его большом значении).

При увеличении обратного напряжения $U_{кэ}$ входная характеристика немного смещается вниз, что объясняется уменьшением тока базы из-за увеличения тока коллектора.

Используя входную характеристику транзистора, можно определить его входное сопротивление $R_{вх}$ для определенного положения рабочей точки А (рис. 11.5). Для этого при постоянном напряжении на коллекторе $U_{кэ}$ задают приращение тока базы ΔI_b и определяют получающееся при этом изменение напряжения на базе $\Delta U_{бэ}$. Входное сопротивление транзистора определяют как отношение $R_{вх} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_b$.

Выходные характеристики транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, представляют собой зависимости коллекторного тока от напряжения на коллекторе:

$$I_k = f(U_{кэ}) \text{ при } I_b = \text{const.}$$

На рисунке 11.6 приведены выходные характеристики транзистора включенного по схеме с общим эмиттером.

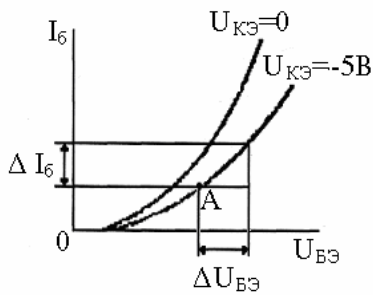


Рис. 11.5. Входные характеристики

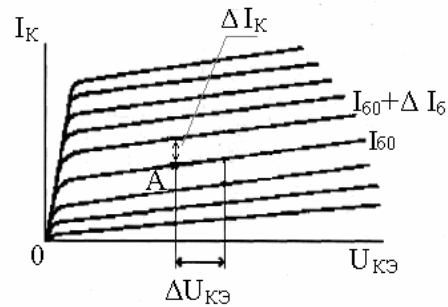


Рис. 11.6. Выходные характеристики

С увеличением тока базы I_6 характеристики смещаются вверх. Связь между током коллектора $I_к$ и током базы I_6 определяется коэффициентом передачи тока базы $\beta = \Delta I_к / \Delta I_6$, который легко можно выразить через известный коэффициент передачи тока эмиттера α :

$$\beta = \Delta I_к / \Delta I_6 = \Delta I_к / (\Delta I_э - \Delta I_к) = \alpha / (1 - \alpha).$$

Коэффициент передачи тока базы β зависит от напряжения на коллекторе $U_{кэ}$ и от тока эмиттера $I_э$. У транзисторов имеется некоторое оптимальное значение тока эмиттера, при котором коэффициент передачи тока базы β получается наибольшим.

При увеличении тока базы на ΔI_6 характеристика коллекторного тока смещается вверх на $\beta \Delta I_6$. Так как коэффициент передачи тока базы β зависит от тока эмиттера, смещение выходных характеристик вверх при одинаковых изменениях тока базы получается различным: сначала расстояние между характеристиками возрастает, а затем уменьшается.

При малых напряжениях на коллекторе $|U_{кэ}| < |U_{бэ}|$ транзистор переходит в режим насыщения, при котором не основные заряды инжектируются в базу не только эмиттером, но и коллекторными переходами. Для сохранения тока базы неизменным (так как характеристики снимают при $I_6 = const$) нужно уменьшить напряжение на базе, что приводит к резкому уменьшению токов эмиттера и коллектора. В этом месте выходные характеристики имеют резкий спад, коэффициент передачи тока базы β резко уменьшается, эффективность управления коллекторным током снижается.

По выходным характеристикам можно определить также выходное сопротивление транзистора $R_{вых}$. Для этого в рабочей точке А при $I_6 = const$ задают приращение коллекторного напряжения $\Delta U_{кэ}$ и определяют получающееся при этом приращение тока коллектора $\Delta I_к$. Выходное сопротивление транзистора находят как отношение:

$$R_{вых} = \Delta U_{кэ} / \Delta I_к.$$

2. Программа работы

1. Собрать схему лабораторной установки для снятия статических характеристик транзистора (рис. 11.7).

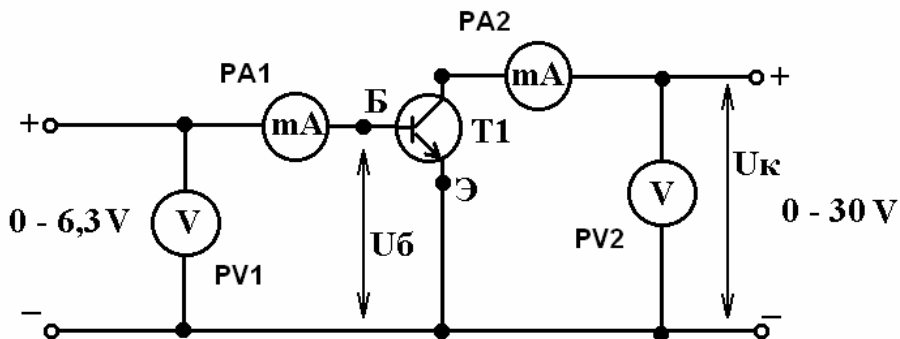


Рис. 11.7. Схема лабораторной работы

PV1 — вольтметр постоянного тока 3 В;

PA1 — миллиамперметр постоянного тока 10 мА;

PA2 — миллиамперметр постоянного тока 300 мА;

PV2 — вольтметр постоянного тока 15 В;

T1 — транзистор КТ801А.

2. Установите на блоке питания переключатель «0 - 30 В», «0 - 6,3 В» в положение «—».

3. Подключите схему к клеммам питания « - 0 - 30 В» и « - 0 - 6,3 В» штатива приборного.

4. Изменяя напряжение базы $U_б$ от 0 до 1В, измерьте по прибору PA1 ток базы $I_б$ для двух фиксированных значений коллекторного напряжения:

$$U_к = 0; U_к = 6 \text{ В.}$$

5. Изменяя коллекторное напряжение $U_к$ от 0 до 10 В, измерьте по прибору PA2 коллекторный ток $I_к$ для двух фиксированных значений тока базы:

$$I_б = 2 \text{ мА}; I_б = 4 \text{ мА.}$$

6. Показания приборов свести в табл. 11.1, 11.2

Таблица 11.1

$U_к=0\text{В}$							
$U_б, \text{В}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1
$I_б, \text{мА}$							
$U_к=6\text{В}$							
$U_б, \text{В}$							
$I_б, \text{мА}$							

Таблица 11.2

U _{кэ} , В	I _б , мА	
	2	4
	I _{кэ} , мА	
0		
2,0		
4,0		
6,0		
8,0		
10,0		

7. По данным измерений постройте графики зависимости:
 $I_{б} = f(U_{б})$ при $U_{кэ} = const$, $I_{кэ} = f(U_{кэ})$ при $I_{б} = const$.

3. Содержание отчета

1. Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
2. Схема лабораторной установки.
3. Заполненные табл. 11.1 и 11.2
4. Входные и выходные характеристики исследованного транзистора.
5. Выводы.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое транзистор и для чего он используется?
2. Чем отличается транзистор типа $p-n-p$ от транзистора типа $n-p-n$?
3. Объяснить принцип действия транзистора.
4. Привести возможные схемы включения транзистора.
5. Чем различаются схемы включения транзистора?
6. Какие характеристики являются входными и выходными каждой из схем включения транзистора?
7. Каково соотношение между токами эмиттера, коллектора и базы транзистора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

Исследование работы мостового выпрямителя

Цель работы:

Анализ процессов в схемах выпрямительного диодного моста. Исследование осциллограмм входного и выходного напряжения для выпрямительного моста.

1. Материалы для подготовки к работе

Для питания электронной аппаратуры, электродвигателей постоянного тока, электролизных и других установок возникает необходимость в выпрямлении переменного тока в постоянный. Под выпрямлением понимается процесс преобразования переменного тока в постоянный с помощью устройств, обладающих односторонней проводимостью (электрических вентилей).

Выпрямительные устройства обычно состоят из трех основных элементов (рис. 12.1): трансформатора, электрического вентиля и сглаживающего фильтра. Трансформатор позволяет изменять значение переменного напряжения, получаемого от источника питания до значения требуемого выпрямленного напряжения. Сглаживающие фильтры предназначены для уменьшения пульсации выпрямленного тока и напряжения на выходе выпрямительных устройств.

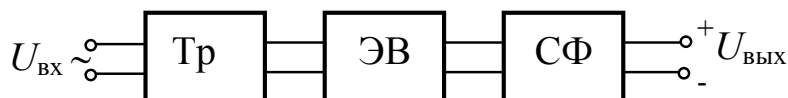


Рис. 12.1. Структура выпрямительного устройства

Выпрямление переменного тока осуществляется электрическим вентиляем. Вентиль преобразует переменное напряжение в пульсирующее, что обеспечивается его свойством односторонней проводимости. При прямом напряжении вентиль имеет сопротивление, близкое к нулю, а при обратном напряжении его сопротивление становится очень большим.

Электрические вентили по своим вольтамперным характеристикам подразделяют на две группы. К *первой* относят вакуумные электронные и полупроводниковые диоды. К *второй* относят газоразрядные (ионные) приборы. Однако в настоящее время большинство выпрямителей выполняют на полупроводниковых диодах германиевых и кремниевых. Силовые полупроводниковые вентили по сравнению с другими имеют ряд преимуществ: более высокий КПД, постоянная готовность к работе,

большой срок службы, малая масса и габариты, высокая надежность.

Вольт-амперная характеристика полупроводникового диода (рис. 12.2,б) отличается от идеальной характеристики вентиля (рис. 12.2, а), так как при обратном напряжении диод проводит ток. Однако у хороших полупроводниковых диодов обратные токи весьма малы и несущественно влияют на работу выпрямителя.

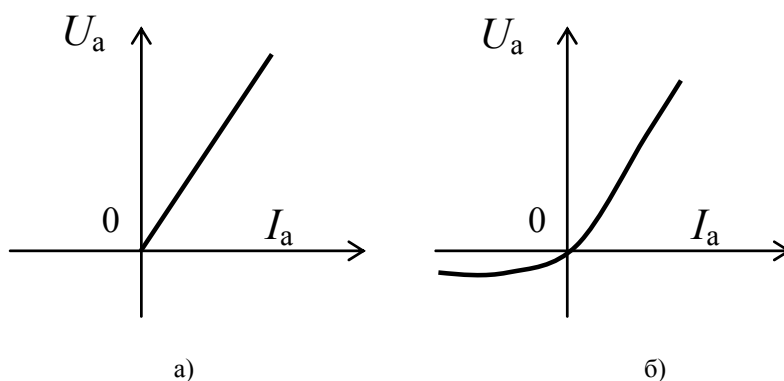


Рис. 12.2. Вольт-амперная характеристика:
а – идеальная характеристика вентиля
б – полупроводникового диода

При выпрямлении переменного тока в зависимости от числа фаз сети, питающей выпрямительное устройство, и характера нагрузки, а также требований, предъявляемых к выпрямленному току и напряжению, электрические вентили могут быть соединены по различным схемам.

На рис. 12.3 представлена простейшая схема однополупериодного выпрямителя, в состав которой входят трансформатор Tr , вентиль D и активная нагрузка R . Диаграммы напряжений и тока в схеме однополупериодного выпрямителя показаны на рис. 12.4.

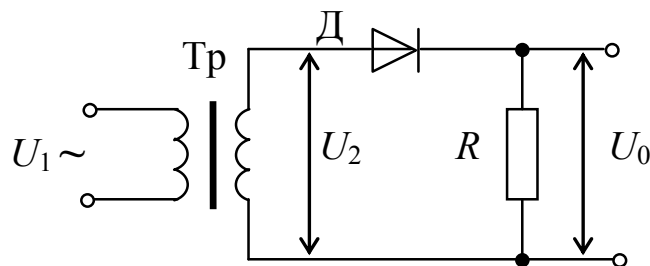


Рис. 12.3. Схема однополупериодного выпрямителя

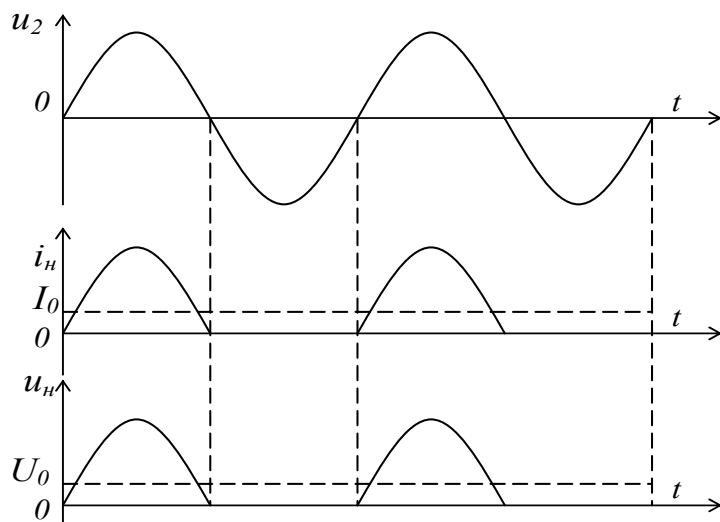


Рис. 12.4. Диаграммы напряжений и тока в схеме однополупериодного выпрямителя

Ток в цепи нагрузки, включенной последовательно с вентилем, проходит лишь в те моменты времени, когда к вентилю приложено прямое напряжение. Каждые полпериода напряжение вторичной обмотки трансформатора меняет свой знак. Поэтому в течение одной половины периода к вентилю прикладывается прямое напряжение, в течение следующего полупериода — обратное.

Через вентиль и нагрузку ток проходит только в одном (прямом) направлении, т. е. ток в нагрузке получается постоянным по направлению, но пульсирующим. Выпрямленное напряжение совпадает по форме с выпрямленным током. Частота пульсаций выпрямленного напряжения равна частоте сети.

Пульсирующие ток и напряжение содержат постоянные составляющие. Среднее за период значение выпрямленного (пульсирующего) напряжения, т. е. его постоянная составляющая, определяется величиной $U_0 = U_{2m} / \pi$, где U_{2m} - амплитудное значение напряжения во вторичной обмотке трансформатора, или $U_0 = \sqrt{2}U_2 / \pi$, где U_2 - действующее значение напряжения.

Максимальное значение обратного напряжения, прикладываемого к вентилю, равно амплитудному значению U_{2m} :

$$U_{\text{обр.м}} = U_{2m} = \pi U_0.$$

Качество выпрямителя характеризуется отношением постоянной составляющей выпрямленного напряжения к действующему значению переменного напряжения: U_0/U_2 . Чем больше значение этого отношения, тем выше качество схемы выпрямителя. Для однополупериодного выпрямителя $U_0/U_2 = 0,45$.

Важным требованием к выпрямителю является снижение переменной составляющей выпрямленного напряжения при получении постоянной составляющей. Выполнение этого требования характеризуется коэффициентом пульсаций $K_{\text{п}}$, равным отношению амплитудного значения переменной составляющей выпрямленного напряжения к его постоянной составляющей: $K_{\text{п}}=U_{\text{м}}/U_0$.

Коэффициент пульсаций часто определяют по первой гармонике: $K_{\text{п1}}=U_{\text{м1}}/U_0$, где $U_{\text{м1}}$ амплитуда первой гармоники выпрямленного напряжения. Для однополупериодного выпрямителя $K_{\text{п1}}=1,57$.

К выпрямителям предъявляется также требование, касающееся режима работы вентиля: обратное напряжение, прикладываемое к закрытым вентилям, не должно намного превышать выпрямленное напряжение. Выполнение этого требования характеризуется отношением максимального значения обратного напряжения к среднему значению выпрямленного: $U_{\text{обр.м}}/U_0$. Для однополупериодного выпрямителя: $U_{\text{обр.м}}/U_0 = \pi$.

К недостаткам однополупериодной схемы выпрямления следует отнести значительные пульсации выпрямленного тока и напряжения, а также недостаточно высокое использование трансформатора, так как по его вторичной обмотке при этом протекает ток только в течение полупериода. Выпрямители подобного типа применяют главным образом в мало-мощных установках, когда выпрямленный ток мал, а достаточно удовлетворительное сглаживание пульсаций может быть обеспечено с помощью фильтра.

На практике часто используют различные схемы двухполупериодных выпрямителей.

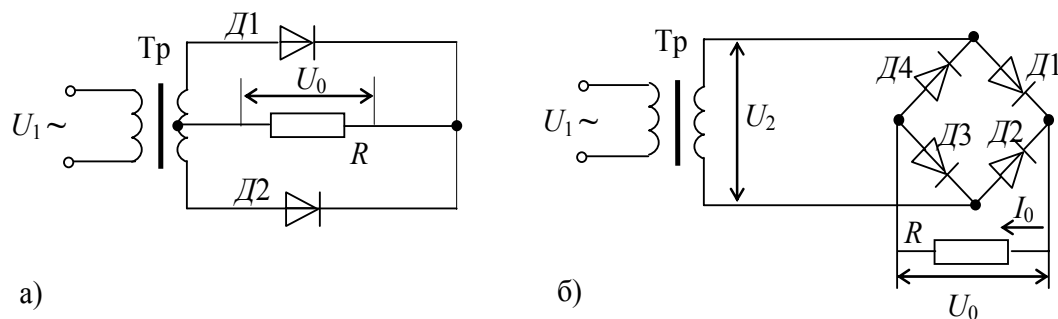


Рис. 12.5. Схемы двухполупериодного выпрямителя:
 а – с выводом от середины вторичной обмотки трансформатора;
 б – мостовая схема

На рис. 12.5, а, б представлены схемы двухполупериодного выпрямителя с выводом от середины вторичной обмотки трансформатора и мостовая схема. Наиболее распространена из них мостовая схема, в кото-

рой не требуется трансформатор, имеющий отвод от середины вторичной обмотки, что позволяет получить двухполупериодное выпрямление переменного тока при полном использовании мощности трансформатора,

Четыре вентиля схемы образуют мост, к одной диагонали которого присоединяются концы вторичной обмотки трансформатора, а к другой нагрузка выпрямителя. Вентили в схеме работают поочередно попарно: при положительной полуволне напряжения U_2 которая соответствует прямому напряжению вентиля Д1, ток проходит через Д1, нагрузку и Д3, а при отрицательной полуволне напряжения U_2 соответствующей прямому напряжению вентиля Д2 ток проходит через Д2, нагрузку и Д4. На рис. 12.6 представлены диаграммы напряжений и тока в мостовой схеме. Частота пульсаций выпрямленного напряжения здесь в два раза больше, чем в однополупериодной схеме, что увеличивает среднее значение выпрямленного напряжения: $U_0 = 2U_{2m} / \pi = 2\sqrt{2}U_2 / \pi$.

Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения по первой гармонике $K_{\text{п1}} = 0,667$.

Максимальное значение обратного напряжения, прикладываемого к закрытым вентилям, равно амплитудному значению напряжения U_{2m} , так как падение напряжения на открытых вентилях близко к нулю, т. е. $U_{\text{обр.м}} = U_{2m} = \pi U_0 / 2 = 1,57U_0$.

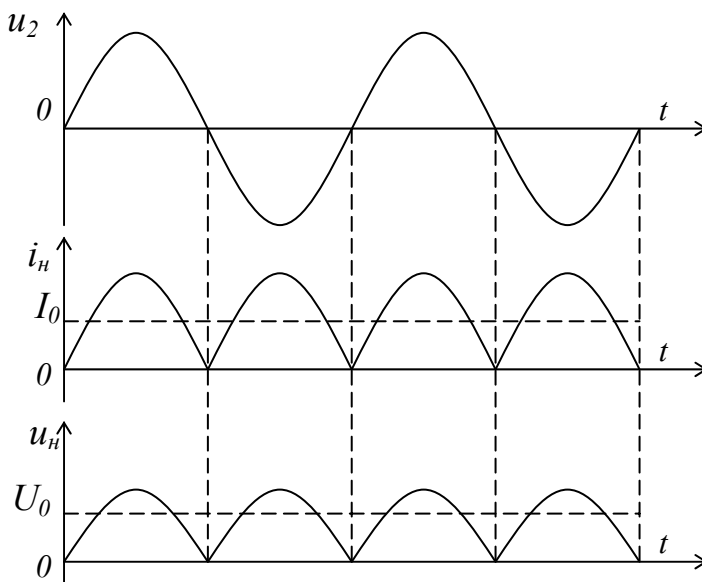


Рис. 12.6. Диаграммы напряжений и тока в мостовой схеме

Простейшие схемы выпрямителей имеют большой коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения. Поэтому далее предусматривают сглаживающие фильтры.

Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения можно значительно снизить, если на выходе выпрямителя включить сглаживающий электрический фильтр. Простейшими сглаживающими фильтрами являются конденсатор, включаемый параллельно слаботочной нагрузке (рис. 12.7, а) и дроссель, включаемый последовательно с сильноточной нагрузкой (рис. 12.7, б).

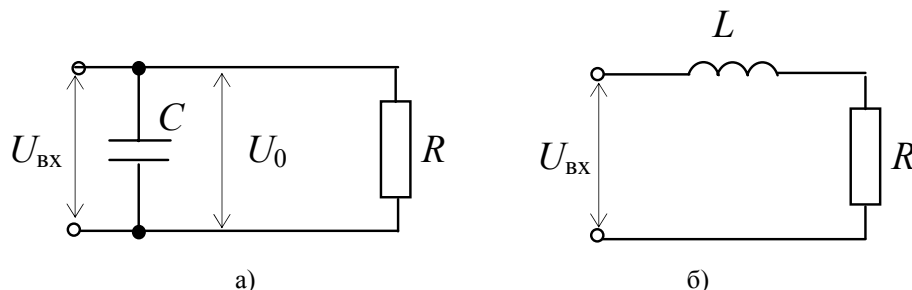


Рис. 12.7. Схемы простейших сглаживающих фильтров

Другие фильтры (комбинированные), представляющие собой сочетания емкостных и индуктивных элементов, позволяют получить достаточно малые значения коэффициента пульсации.

При использовании простейшего емкостного фильтра сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения и тока происходит за счет периодической зарядки конденсатора фильтра C (когда напряжение на выходе трансформатора превышает напряжение на нагрузке) и последующей его разрядки на сопротивление нагрузки R_n .

Конденсатор, как известно, не пропускает постоянной составляющей тока и обладает тем меньшим сопротивлением для переменных составляющих, чем выше их частота. Емкостные фильтры предпочтительно применять в схемах выпрямления с малыми значениями выпрямленного тока, так как при этом возрастает эффективность сглаживания.

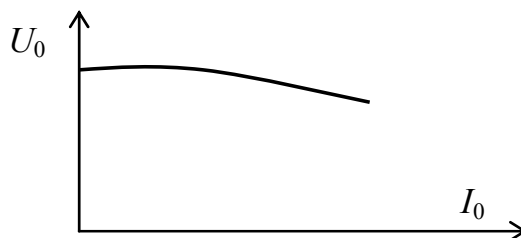
Простейший индуктивный сглаживающий фильтр состоит из индуктивной катушки — дросселя, включаемого последовательно с нагрузкой. В результате пульсаций выпрямленного тока в катушке индуктивности возникает электродвижущая сила самоиндукции $e_L = \pm L \frac{di}{dt}$, которая в

силу закона электромагнитной индукции стремится сгладить пульсации тока в цепи нагрузки, а следовательно, и пульсации напряжения на ее зажимах. Индуктивные фильтры обычно применяют в схемах выпрямления с большими значениями выпрямленного тока, так как в этом случае увеличивается эффективность сглаживания.

Качество фильтра оценивают коэффициентом сглаживания $K_{\text{СГЛ}} = K_{\text{П.ВХ}} / K_{\text{П.ВЫХ}}$, где $K_{\text{П.ВХ}}$ и $K_{\text{П.ВЫХ}}$ — коэффициенты пульсаций выпрямителя

на входе и выходе фильтра. Чем больше $K_{\text{сгл}}$ тем эффективнее работает фильтр.

При работе выпрямителя часть выпрямленного напряжения падает на активном сопротивлении вторичной обмотки трансформатора, на прямом сопротивлении открытого вентиля, на элементах сглаживающего фильтра. С увеличением выпрямленного тока I_0 подобные потери напряжения увеличиваются, а напряжение на нагрузке U_0 уменьшается. Зависимость $U_0 = f(I_0)$ называют внешней характеристикой выпрямителя (рис. 12.8). Чем меньше изменяется напряжение на нагрузке U_0 при изменении тока I_0 , тем выше качество выпрямителя.



12.8. Внешняя характеристика выпрямителя

2. Программа работы

1. Соберите схему согласно рисунку 12.9.

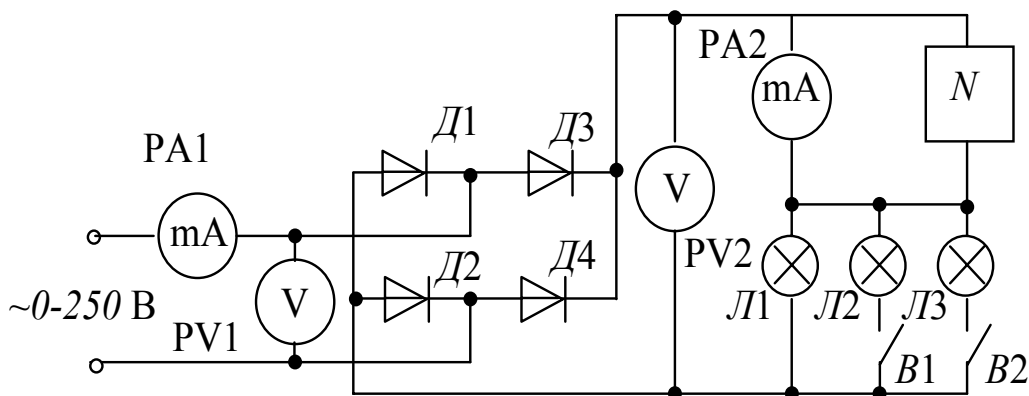


Рис. 12.9. Схема опыта

- РА1 — миллиамперметр переменного тока 300 мА;
- PV1 — вольтметр переменного тока 250 В;
- PV2 — вольтметр постоянного тока 450 В;
- РА1 — миллиамперметр постоянного тока 300 мА;
- Д1 — Д4 — диоды КД 209А;
- Л1—Л3 — нагрузочные лампы;
- В1, В2— тумблеры

2. Установите на блоке питания переключатель ЛАТР в положение « $\sim 0 - 250 \text{ В}$ ».
3. Подключите схему к клеммам питания « $\sim 0 - 250 \text{ В}$ » штатива приборного.
4. Изменяя напряжение на входе выпрямителя от 0 до 250 В, снимите и постройте вольтамперную характеристику однофазного мостового выпрямителя.
5. Показания приборов занесите в табл. 12.1

Таблица 12.1

Параметры	Однофазный выпрямитель										
	0	20	50	100	120	140	160	180	200	220	250
При нагрузке с одной лампой											
$U_{\text{вып}}, \text{ В}$											
$I_{\text{вып}}, \text{ А}$											
$I_{\text{п}}, \text{ А}$											
При нагрузке с двумя лампам											
$U_{\text{вып}}, \text{ В}$											
$I_{\text{вып}}, \text{ А}$											
$I_{\text{п}}, \text{ А}$											
При нагрузке с тремя лампами											
$U_{\text{вып}}, \text{ В}$											
$I_{\text{вып}}, \text{ А}$											
$I_{\text{п}}, \text{ А}$											

3. Содержание отчета

1. Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
2. Схема лабораторной установки однофазного мостового выпрямителя.
3. Таблицы с экспериментальными данными.
4. Выводы.

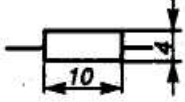
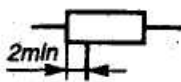
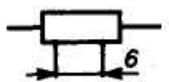
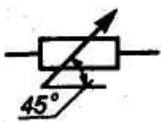
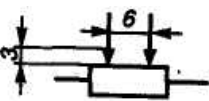
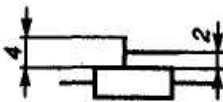
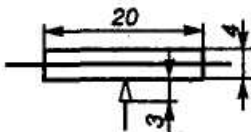
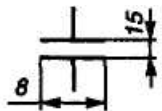
4. Контрольные вопросы

1. Пояснить назначение элементов схемы выпрямителя.
2. Изобразить вольтамперную характеристику вентиля.
3. Какие элементы можно использовать в качестве вентиля?
4. Перечислить известные вам схемы выпрямителей.
5. От чего зависит частота пульсаций выпрямленного напряжения?
6. Дать определение коэффициентов пульсаций и сглаживания
7. Из каких соображений выбирают элементы сглаживающего фильтра?
8. Изобразить внешнюю характеристику выпрямителя.

**Методические указания к графическому оформлению отчета
по лабораторным работам
(условные графические обозначения в схемах)
ГОСТы: 2.722-68; 2.723-68; 2.710-81; 2.747-68; 2.730-73; 2.728-74)**

Таблица 1

Резисторы, конденсаторы и другие элементы схем

Наименование	Обозначение, размеры
1	2
Резистор постоянный	
Резистор постоянный с дополнительными отводами:	
одним	
двумя	
Резистор переменный	
Резистор переменный с двумя подвижными контактами	
Резистор подстроенный	
Потенциометр функциональный	
Конденсатор постоянной емкости	



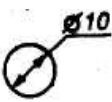
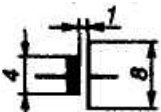
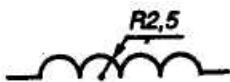
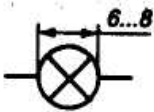

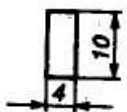







1	2
Конденсатор переменной емкости	
Нагревательный элемент	
Статор электрической машины	
Ротор электрической машины	
Гальванический или аккумуляторный элемент	
Катушка индуктивности, обмотка	
Лампа накаливания (осветительная и сигнальная). Общее назначение	
Диод полупроводниковый	
Прибор измерительный	
Предохранитель плавкий	

Таблица 2

Электроизмерительные приборы

Наименование	Обозначение
1	2
Прибор измерительный показывающий	
регистрирующий	
интегрирующий (например, счетчик)	
<p>Для изображения комбинированных измерительных приборов используют сочетания соответствующих обозначений, например комбинированный прибор показывающий и регистрирующий</p> <p>Для указания назначения прибора в его обозначение вписывают буквенные символы единиц измерения или измеряемых величин:</p>	
амперметр	A
вольтметр	V
вольтметр дифференциальный	V-V
вольтамперметр	VA
ваттметр	W
ваттметр суммирующий	ΣW
вариометр	Var
микроамперметр	μA
миллиамперметр	mA
милливольтметр	mV
омметр	Ω
мегомметр	M Ω
частотомер	Hz
волномер	λ
прибор с цифровой регистрацией (печатающий)	
прибор с регистрацией перфорированием	
<i>Например:</i>	
вольтметр с цифровым отсчетом	

Продолжение таблицы 2













1	2
вольтметр с непрерывной регистрацией	
амперметр, подвижная часть которого отклоняется в обе стороны от нулевой отметки	
Гальванометр	
Синхроскоп	
Осциллоскоп	
Осциллограф	









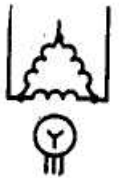
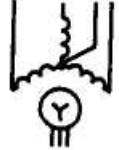

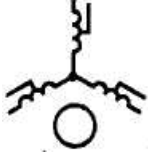
Таблица 3

Полупроводниковые приборы

Наименование	Обозначение
1	2
Диод (выпрямительный блок)	
Триодный незапираемый тиристор с управлением по аноду	
Триодный незапираемый тиристор с управлением по катоду	
Триодный запираемый тиристор с управлением по аноду	
с управлением по катоду	
Транзистор типа <i>p-n-p</i>	
Транзистор типа <i>n-p-n</i>	

Электрические машины

Наименование 1	Обозначение 2
<p>Выводы обмоток статора и ротора</p> <p>Взаимное расположение обмоток в машинах переменного тока и универсальных изображают с учетом или без учета сдвига фаз</p> <p>Взаимное расположение обмоток в машинах постоянного тока изображают с учетом направления магнитного поля, создаваемого обмоткой</p> <p>Взаимное расположение обмоток в машинах постоянного тока изображают без учета направления магнитного поля, создаваемого обмоткой</p> <p>Обмотка добавочных полюсов, обмотка компенсационная</p> <p>Обмотка статора (каждой фазы) машины переменного тока, обмотка последовательного возбуждения машины постоянного тока</p> <p>Обмотка параллельного возбуждения машины постоянного тока, обмотка независимого возбуждения</p> <p>Статор, обмотка статора. Общее обозначение</p> <p>Ротор с обмоткой, коллектором и щетками</p>	

<p>Статор с трехфазной обмоткой, соединенной: в треугольник</p>	<p>Форма I</p> 	<p>Форма II</p> 
<p>в звезду</p> <p>Машина асинхронная трехфазная с фазным ротором, обмотка которого соединена в звезду; обмотка статора соединена: в треугольник</p> <p>в звезду с выведенной нейтральной (средней) точкой</p> <p>Машина асинхронная трехфазная с шестью выведенными концами фаз обмотки статора и короткозамкнутым ротором</p> <p>Машина асинхронная с переключением обмотки статора на два числа полюсов с короткозамкнутым ротором. Переключение обмотки статора со звезды на звезду с двумя параллельными ветвями</p>	    	    

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.В.Немцов. Электротехника и электроника: Учебник для вузов.– М.: Издательство МЭИ, 2003. – 616с. ил.
2. В.А. Кузовкин. Теоретическая электротехника: Учебник. – М.: Логос, 2002. – 480с.
3. Г.С. Зиновьев. Основы силовой электроники: Учеб. пособие – Изд. 3-е испр. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004 – 672с.
4. В.А.Прянишников. Электроника: Полный курс лекций. – 4-е изд. – СПб.: КОРОНА принт, 2004. – 416с.
5. С.Г. Герман-Галкин. Силовая электроника: Лабораторные работы на ПК. – СПб.: Учитель и ученик, КОРОНА принт, 2002. – 304с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	4
ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 Последовательное, параллельное и смешанное соединение приемников	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 Опытная проверка принципа наложения	14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 Исследование неразветвленной цепи переменного тока с активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями	17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 Исследование разветвленной цепи переменного тока с индуктивным и емкостным сопротивлениями	22
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 Соединение приемников трехфазного тока звездой	27
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 Соединение приемников трехфазного тока треугольником	32
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 Измерение активной мощности в трехфазной цепи	37
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 Измерение энергии в цепях переменного тока	43
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 Исследование генератора постоянного тока (ГПТ)	50
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10 Исследование однофазного трансформатора	57
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11 Исследование биполярного транзистора	62
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12 Исследование работы мостового выпрямителя	70
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ГРАФИЧЕСКОМУ ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ.....	78
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	84

