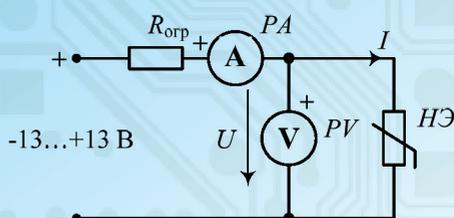
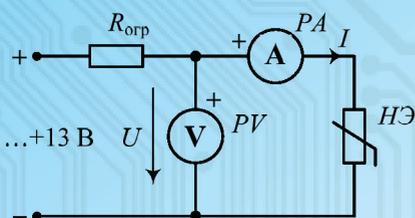


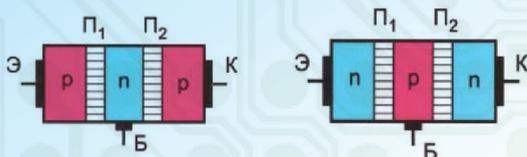
Н.В. Шаврина, И.В. Горохов

СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Лабораторный практикум



© ФГБОУ ВО
«Тольяттинский
государственный
университет», 2021



ISBN 978-5-8259-1573-9

УДК 621.3.01

ББК 31.211

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

Казанского государственного энергетического университета

Н.В. Роженцова;

д-р техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение и электротехника» Тольяттинского государственного университета

В.В. Вахнина.

Шаврина, Н.В. Современные энергетические системы и электронные преобразователи : лабораторный практикум / Н.В. Шаврина, И.В. Горохов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2021. – 1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-1573-9.

В практикуме представлены методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Современные энергетические системы и электронные преобразователи».

Рекомендовано для студентов университета направлений подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» очной и заочной форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПИИ 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2021

Редактор *Т.М. Воропанова*
Технический редактор *Н.П. Крюкова*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

Дата подписания к использованию 28.04.2021.

Объем издания 12,7 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск,
первичная упаковка.

Заказ № 1-32-20.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

Введение	5
Лабораторная работа 1. Измерение сопротивлений, токов, напряжений и мощности в цепи постоянного тока	10
Лабораторная работа 2. Исследование цепей постоянного тока при последовательном соединении приемников	15
Лабораторная работа 3. Исследование цепей постоянного тока при параллельном соединении приемников	19
Лабораторная работа 4. Исследование двухпроводной линии передачи электрической энергии	23
Лабораторная работа 5. Исследование нелинейных электрических цепей постоянного тока	29
Лабораторная работа 6. Исследование биполярного транзистора	34
Лабораторная работа 7. Исследование однофазных выпрямителей	40
Лабораторная работа 8. Исследование работы параметрического стабилизатора	45
Список рекомендуемой литературы	49
Приложение 1	50
Приложение 2	65

ВВЕДЕНИЕ

В лабораторном практикуме представлены методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Современные энергетические системы и электронные преобразователи».

Лабораторные работы выполняются студентами направлений подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» очной и заочной форм обучения в соответствии с учебными планами.

Цель дисциплины – получение студентами знаний об устройстве, принципах работы и правилах эксплуатации современных энергетических систем и электронных преобразователей, формирование навыков их теоретического и практического исследования.

Задачи:

1. Дать знания о структуре и принципах функционирования современных энергетических, электроэнергетических систем и электронных преобразователей.
2. Обучить методам расчета количественных и оценки качественных показателей элементов электроэнергетических систем.
3. Привить навыки лабораторных исследований электротехнических устройств.
4. Ознакомить с перспективами развития отрасли электроснабжения.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны:

- убедиться в правильности теоретических положений, рассмотренных на лекционных занятиях, повторить и закрепить теоретический материал на практике;
- 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.

При работе в лаборатории во избежание несчастных случаев, а также преждевременного выхода из строя приборов и электрооборудования студент должен строго выполнять следующие правила.

Правила внутреннего распорядка и техники безопасности при выполнении лабораторных работ

1. Приступая в лаборатории к работе, студент должен ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и техники безопасности.
2. После ознакомления с правилами внутреннего распорядка и инструктажа по технике безопасности студент должен расписаться в соответствующем журнале.
3. Во время работы на лабораторных стендах не должно быть никаких лишних предметов, не используемых в схемах проводов и приборов (см. прил. 1).
4. В лаборатории запрещается громко разговаривать, покидать рабочие места и переходить от одного стенда к другому.
5. В лаборатории студенческая группа делится на бригады (по 3 человека), которые затем распределяются по лабораторным стендам.
6. Монтаж схем необходимо вести при отключенном питании лабораторного стенда в строгом соответствии со схемой, представленной в лабораторном практикуме.
7. При сборке электрической цепи необходимо следить за тем, чтобы соединительные провода не перегибались и не скручивались петлями. Приборы и электрооборудование расставляются так, чтобы ими было удобно пользоваться.
8. Собранная электрическая цепь предъявляется для проверки преподавателю или учебному мастеру.
9. Включение электрической цепи под напряжение (после проверки) производится только с разрешения и в присутствии преподавателя или учебного мастера.
10. Перед включением напряжения следует предупредить об этом всех участников работы. Необходимо убедиться, что никому из них не угрожает опасность попасть под напряжение.

11. Переключения и исправления в собранной электрической цепи разрешается производить только при отключенном напряжении питания.
12. Запрещается прикасаться пальцами, карандашами и другими предметами к оголенным токоведущим частям электрической цепи, находящимся под напряжением.
13. Во время работы на лабораторных стендах запрещается отходить от приборов и оборудования, находящихся под напряжением.
14. Запрещается без разрешения преподавателя или учебного мастера переносить приборы с одного места на другое и трогать оборудование, не используемое в данной работе.
15. При работе с конденсаторами следует помнить, что на их зажимах, отключенных от сети, некоторое время сохраняется электрический заряд, могущий быть причиной поражения электрическим током.
16. После выполнения лабораторной работы необходимо выключить напряжение питания стенда, разобрать исследуемую электрическую цепь и привести в порядок рабочее место.
17. При обнаружении неисправностей в электрической цепи необходимо немедленно отключить ее от питающей сети и доложить об этом преподавателю или учебному мастеру.
18. 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.

Общие методические рекомендации и указания по выполнению лабораторных работ

Подготовка к лабораторной работе

Каждая лабораторная работа выполняется в течение двух академических часов. Лабораторные занятия проводятся фронтальным методом, т. е. студенты учебной группы выполняют одновременно одну и ту же работу.

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

- 1) предварительно ознакомиться с графиком выполнения лабораторных работ;
- 2) ознакомиться с описанием лабораторной работы, установить, в чем состоит основная цель и задача работы;
- 3) изучить теоретический материал, относящийся к данной лабораторной работе;
- 4) подготовить бланк отчета по лабораторной работе, который должен содержать: цель работы, программу работы, электрическую схему исследуемой цепи, необходимые таблицы и расчетные формулы (см. прил. 2);
- 5) не подготовленные к работе студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Задание на подготовку лабораторной работы и оформление отчета выполняются студентом самостоятельно во внеаудиторное время. Форму отчета по лабораторной работе см. в прил. 2.

Выполнение лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы студенты допускаются после проверки преподавателем отчета, знаний теоретического материала и порядка выполнения лабораторной работы.

Сборку электрической цепи необходимо производить в точном соответствии с заданием. Целесообразно вначале соединить все элементы цепи, включаемые последовательно, а затем – параллельно. После окончания сборки электрическая цепь должна быть предъявлена для проверки. Включать цепь под напряжение можно только с разрешения преподавателя или учебного мастера. Запись показаний всех приборов в процессе выполнения лабораторной работы следует производить по возможности одновременно и быстро. Результаты опыта предъявляются для проверки преподавателю до разборки электрической цепи. Разбирать электрическую цепь, а также переходить к сборке новой можно только с разрешения преподавателя при отключенном напряжении питания. После окончания работы в лаборатории рабочее место должно быть приведено в порядок. 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.

Оформление отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе оформляется индивидуально каждым студентом, выполнившим необходимые эксперименты, независимо от того, выполнялся эксперимент индивидуально или в составе группы. Отчет должен содержать: цель работы, программу работы, электрическую схему исследуемой цепи, результаты эксперимента (таблицы данных, графики экспериментальных зависимостей, результаты обработки эксперимента и т. д.), выводы по работе. Все графические материалы (рисунки, чертежи, графики, схемы и т. д.) должны быть выполнены в соответствии с ЕСКД. При оформлении отчета по лабораторной работе следует руководствоваться требованиями ГОСТ 7.32-2017 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».

Лабораторная работа 1

Измерение сопротивлений, токов, напряжений и мощности в цепи постоянного тока

Цель работы — ознакомиться с правилами сборки схем для измерений токов, напряжений и сопротивлений с помощью мультиметра и мощности с помощью ваттметра, экспериментально убедиться в действии закона Ома и закона Джоуля – Ленца в электрической цепи постоянного тока.

Программа работы

1. Вычислить относительное отклонение измеряемого сопротивления от номинального значения.
2. Экспериментально проверить справедливость расчета законов Ома и Джоуля – Ленца.
3. Проверить результаты измерения расчетом.

Описание лабораторной установки

В лабораторной работе исследуется линейная электрическая цепь постоянного тока. Схема исследуемой цепи (рис. 1.1) собирается с помощью соединительных проводов на наборной панели лабораторного стенда.

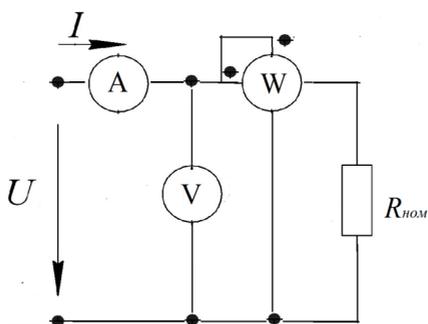


Рис. 1.1. Электрическая схема исследуемой цепи

Приемник электрической энергии $R_{\text{ном}}$ представляет собой миниблок с резистором определенных сопротивлений, заданных вариантом (табл. 1.1). Последовательно с сопротивлением $R_{\text{ном}}$ подключается мультиметр в режиме измерения тока. Для установки заданных значений напряжений U используется генератор постоянных напряжений, предназначенный для получения регулируемого напряжения от -13 В до $+13$ В. Значение устанавливаемого напряжения контролируется с помощью вольтметра из блока мультиметров. Для измерения активной мощности в цепь включается ваттметр. **При измерении мощности необходимо следить за сигнализацией ошибок в выборе пределов измерения $I>$, $I<$, $U>$, $U<$.**

Таблица 1.1

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
Значение сопротивления, $R_{\text{ном}}$, Ом	100	150	220	250	300	370	470	550

Пояснения

Измерить какую-либо величину – это значит сравнить ее с другой величиной того же рода, условно принятой за единицу измерения.

Устройство, при помощи которого производится сравнение измеряемой величины с единицей измерения, называется измерительным прибором.

Разность между измеренным и действительным значениями величины называется абсолютной погрешностью измерения.

Качество измерения оценивается относительной погрешностью измерения. Эта погрешность представляет собой выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности измерения к значению измеряемой величины.

Для измерения токов используют амперметр. Для того чтобы по показанию амперметра определить величину тока на каком-либо участке электрической цепи, нужно, чтобы этот ток проходил через этот прибор. Следовательно, амперметр включается в расщепку участка цепи, ток которого нужно измерить. Сопротивление амперметра должно быть малым по сравнению с сопротивлением соответствующего потребителя или участка цепи, чтобы не было влияния на ток цепи.

Для измерения ЭДС и напряжения на каком-либо участке электрической цепи используются вольтметры. Вольтметр включается параллельно измеряемому участку цепи и обладает большим сопротивлением по сравнению с сопротивлением этого участка.

Мощность в электрических цепях измеряют прямым и косвенным способом. При прямом измерении используют ваттметры, при косвенном – амперметры и вольтметры.

Определив амперметром значение тока и вольтметром напряжение, мощность вычисляют по формуле

$$P = UI.$$

Для измерения малых и средних сопротивлений применяют омметры. Также сопротивление в цепи можно определить, измерив ток амперметром и напряжение вольтметром на заданном участке. Сопротивление для участка цепи согласно закону Ома можно найти по формуле

$$R = \frac{U_V}{I_A}.$$

Порядок выполнения экспериментальной части

1. Ознакомьтесь с оборудованием и измерительными приборами, необходимыми для проведения эксперимента.

2. Включите блок мультиметров, установите на одном из них переключатель в положение измерения сопротивлений (Ω), подключите к мультиметру с помощью соединительных проводов сопротивление $R_{\text{НОМ}}$ из набора миниблоков согласно варианту. Выберите ближайший превышающий измеряемое сопротивление предел измерения и запишите показание мультиметра $R_{\text{ИЗМ}}$ и номинальное сопротивление, указанное на этикетке миниблока:

$$R_{\text{ИЗМ}} = \dots \text{ Ом} \quad R_{\text{НОМ}} = \dots \text{ Ом}.$$

3. Вычислите относительное отклонение измеряемого сопротивления от номинального значения в % (относительную погрешность):

$$\Delta R \% = \frac{R_{\text{ИЗМ}} - R_{\text{НОМ}}}{R_{\text{НОМ}}} \cdot 100 \%$$

4. Соберите исследуемую цепь в соответствии с заданной схемой (рис. 1.1), установив на наборную панель сопротивление $R_{ном}$; последовательно включите мультиметр в режим измерения постоянного тока с диапазоном 200 мА. Запишите значение сопротивления в табл. 1.2.

5. Подключите исследуемую цепь через промежуточный блок «ваттметр» к блоку генераторов напряжений. Последним присоедините вольтметр параллельно входным зажимам исследуемой цепи. Переключите мультиметр в режим измерения постоянного напряжения с диапазоном 20 В.

6. Устанавливая регулятором напряжения, указанные в табл. 1.2, значения запишите в таблицу показания приборов.

Не забывайте следить за сигнальными светодиодами ваттметра! При включении светодиода $I >$ или $U >$ переведите соответствующий переключатель на больший предел. При включении светодиода $I <$ или $U <$ переключайте его на меньший предел.

Следите также за светодиодами, указывающими размерность измеряемой мощности: Вт или мВт.

Таблица 1.2

Измеренные значения				Вычисленные значения	
$R_{ном}, \text{ Ом}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$P, \text{ мВт}$	$P, \text{ мВт}$	$R, \text{ Ом}$
	–5				
	4				
	6				
	8				
	12				

7. Вычислите значения мощности и сопротивления. Запишите результаты в столбцы табл. 1.2 «Вычисленные значения».

8. Сравните результаты измерений и вычислений.

9. Сделайте выводы по результатам экспериментов.

Контрольные вопросы

1. Какими приборами производятся прямые измерения силы тока, напряжения, мощности и сопротивления?
2. Как включаются в электрическую цепь амперметр и вольтметр?
3. На основании какого закона по показаниям амперметра и вольтметра определяют сопротивление электрической цепи?
4. Какими способами измеряют электрическое сопротивление?
5. Как производится косвенное измерение мощности?

Лабораторная работа 2

Исследование цепей постоянного тока при последовательном соединении приемников

Цель работы – экспериментальным путем проверить основные соотношения электрических величин для цепей постоянного тока с последовательным соединением приемников электрической энергии.

Программа работы

1. Убедиться, что ток одинаков в любой точке последовательной цепи.
2. Экспериментально доказать, что сумма напряжений каждого последовательно соединенного сопротивления равна напряжению, приложенному ко всей цепи.
3. Проверить результаты измерения расчетом.

Описание лабораторной установки

В лабораторной работе исследуется последовательная линейная электрическая цепь постоянного тока. Схема исследуемой цепи (рис. 2.1) собирается с помощью соединительных проводников на наборной панели лабораторного стенда.

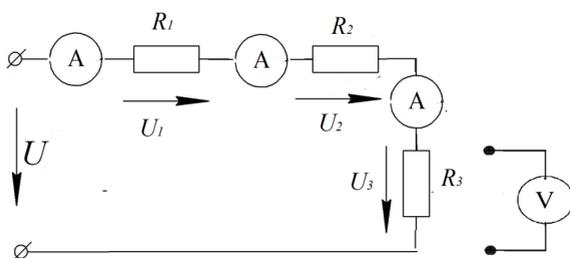


Рис. 2.1. Электрическая схема исследуемой цепи

Приемники электрической энергии R_1 , R_2 , R_3 представляют собой миниблоки с резисторами определенных сопротивлений, заданных вариантом (табл. 2.1). Последовательно с резисторами включаются специальный коммутационный миниблок «ампер-

метр». С помощью двухжильного измерительного проводника со штекером к этим миниблокам подключается мультиметр в режиме измерения тока.

Для установки заданных значений напряжения U используется генератор постоянных напряжений, предназначенный для получения стабилизированных напряжений $+15$ В, -15 В и регулируемого напряжения от -13 В до $+13$ В. Величина напряжения определяется номером варианта (табл. 2.1). Для измерения напряжений на приемниках R_1 , R_2 , R_3 используется вольтметр из блока мультиметров.

Таблица 2.1

Параметры	№ варианта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
U , В	15	13	15	13	15	13	15	13
R_1 , Ом	470	470	330	330	220	220	100	100
R_2 , Ом	100	100	100	100	100	100	100	100
R_3 , Ом	220	220	220	220	220	220	220	220

Пояснения

Если два или несколько сопротивлений участка электрической цепи соединены одно за другим и по ним проходит один и тот же ток $I = I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_3}$, то такое соединение приемников называется последовательным.

По закону Ома напряжение на отдельных участках цепи (сопротивлениях) вычисляется следующим образом:

$$U_1 = IR_1; \quad U_2 = IR_2; \quad U_3 = IR_3.$$

При этом соединении напряжение U , приложенное к цепи, в соответствии со вторым законом Кирхгофа равно сумме падений напряжений на отдельных приемниках:

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

где $R_{\text{ЭКВ}} = \Sigma R = R_1 + R_2 + R_3$ – эквивалентное сопротивление всей последовательной цепи.

Порядок выполнения экспериментальной части

1. Выберите номиналы миниблоков с резисторами R_1 , R_2 , R_3 и соберите исследуемую цепь на макетной панели с помощью проводников; последовательно после каждого сопротивления включите миниблок «амперметр» (рис. 2.1).

2. Включите питание блоков генераторов напряжений и мультиметров. Установите регуляторами напряжения необходимую величину напряжения U согласно варианту.

3. Переключите мультиметр в режим измерения постоянного тока с диапазоном 200 мА. С помощью двухжильного измерительного проводника со штекером поочередно подключайте к этим миниблокам мультиметр и измерьте ток вдоль всей последовательной цепи. Убедитесь, что ток I имеет одно и то же значение, и запишите его значения в табл. 2.2.

4. Переключите мультиметр в режим измерения постоянного напряжения с диапазоном 20 В. Измерьте напряжение на каждом резисторе, а также полное напряжение на входе цепи. Полученные значения занесите в табл. 2.2.

Таблица 2.2

	Ток I , мА	Падение напряжения на резисторах			Напряжение на входе цепи U , В	Эквивалентное сопротивление $R_{\text{экв}}$, Ом
		U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В		
Измеренные значения						
Рассчитанные значения						

5. Рассчитайте эквивалентное сопротивление цепи $R_{\text{экв}}$, ток и падение напряжения на каждом резисторе. Результаты запишите в табл. 2.2 и сравните с измеренными значениями.

6. Сравните экспериментальные данные с расчетными значениями и убедитесь в правильности второго закона Кирхгофа.

7. Сделайте выводы.

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами характеризуется последовательное соединение резисторов?
2. Как записывается формула закона Ома для пассивного участка цепи?
3. Как определить эквивалентное сопротивление при последовательном соединении резисторов?
4. Сформулируйте второй закон Кирхгофа.

Лабораторная работа 3

Исследование цепей постоянного тока при параллельном соединении приемников

Цель работы – экспериментальным путем проверить основные соотношения электрических величин для цепей постоянного тока с параллельным соединением приемников электрической энергии.

Программа работы

1. Убедиться, что напряжение, прикладываемое к каждому резистору в параллельной цепи, одинаково.
2. Экспериментально доказать, что сумма токов ветвей равна полному току цепи.
3. Проверить результаты измерения расчетом.

Описание лабораторной установки

В лабораторной работе исследуется параллельная линейная электрическая цепь постоянного тока. Схема исследуемой цепи (рис. 3.1) собирается с помощью соединительных проводников на наборной панели лабораторного стенда.

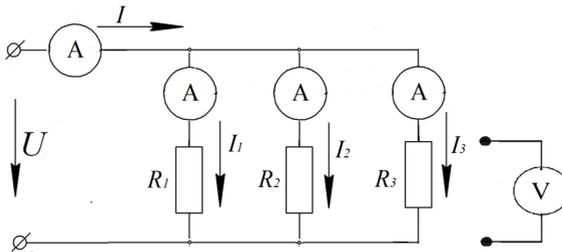


Рис. 3.1. Электрическая схема исследуемой цепи

Приемники электрической энергии R_1 , R_2 , R_3 представляют собой миниблоки с резисторами определенных сопротивлений, заданных вариантом (табл. 3.1). Последовательно в каждую ветвь включаются специальный коммутационный миниблок «амперметр». С помощью двухжильного измерительного проводника со штекером к этим миниблокам подключается мультиметр в режиме измерения тока. Для установки заданных значений напряжения

U используется генератор постоянных напряжений, предназначенный для получения стабилизированных напряжений +15 В, –15 В и регулируемого напряжения от –13 В до +13 В. Величина напряжения определяется номером варианта (табл. 3.1). Для измерения напряжений на приемниках R_1 , R_2 , R_3 используется вольтметр из блока мультиметров.

Таблица 3.1

Параметры	№ варианта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
U , В	15	13	15	13	15	13	15	13
R_1 , Ом	470	470	330	330	220	220	100	100
R_2 , Ом	100	100	100	100	100	100	100	100
R_3 , Ом	220	220	220	220	220	220	220	220

Пояснения

Параллельным соединением приемников называется такое, при котором начала всех приемников соединены в один узел, а концы – в другой. Таким образом, между двумя точками электрической цепи будет включено несколько сопротивлений, образующих параллельные ветви.

При этом напряжение между концами всех ветвей будет одним и тем же $U = U_{R_1} = U_{R_2} = U_{R_3}$, а в каждой ветви цепи протекает свой ток. Токи в отдельных ветвях можно определить по закону Ома:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; I_2 = \frac{U}{R_2}; I_3 = \frac{U}{R_3}.$$

Сумма токов всех ветвей в соответствии с первым законом Кирхгофа равна полному току: $I = I_1 + I_2 + I_3$, или

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{U}{R_{\text{эКВ}}},$$

где $\frac{1}{R_{\text{эКВ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ – формула для вычисления эквивалентного сопротивления всей цепи.

Порядок выполнения экспериментальной части

1. Ознакомьтесь с оборудованием и измерительными приборами, необходимыми для проведения эксперимента.

2. Выберите номиналы миниблоков с резисторами R_1 , R_2 , R_3 и соберите исследуемую цепь на макетной панели с помощью проводников. В каждую ветвь последовательно включите миниблок «амперметр» (рис. 3.1).

3. Включите питание блоков генераторов напряжений и мультиметров. Установите регуляторами напряжения необходимое значение величины напряжения U согласно варианту.

4. Переключите мультиметр в режим измерения постоянного напряжения с диапазоном 20 В. Измерьте напряжение на каждом резисторе, а также напряжение на источнике. Убедитесь, что все они одинаковы; запишите значение напряжения в табл. 3.2.

Таблица 3.2

	Напряжение U , В	Токи в ветвях			Ток на входе цепи I , мА	Эквивалентное сопротивление $R_{\text{экв}}$, Ом
		I_1 , мА	I_2 , мА	I_3 , мА		
Измеренные значения						
Рассчитанные значения						

5. Переключите мультиметр в режим измерения постоянного тока с диапазоном 200 мА и с помощью двухжильного измерительного проводника со штекером поочередно подключайте к миниблокам «амперметр» мультиметр и измерьте токи в каждой ветви и на входе цепи. Полученные значения занесите в табл. 3.2.

6. Рассчитайте эквивалентное сопротивление цепи $R_{\text{экв}}$, токи в ветвях и на входе цепи. Результаты запишите в табл. 3.2.

7. Сравните экспериментальные данные с расчетными значениями и убедитесь в правильности первого закона Кирхгофа.

8. Сделайте выводы по результатам экспериментов.

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами характеризуется параллельное соединение резисторов?
2. Как читается и записывается закон Ома для участка цепи?
3. Как определить эквивалентное сопротивление при параллельном соединении резисторов?
4. Сформулируйте первый закон Кирхгофа.

Лабораторная работа 4

Исследование двухпроводной линии передачи электрической энергии

Цель работы – изучение экспериментальных и расчетных методов анализа режимов работы двухпроводной линии передачи электрической энергии постоянного тока.

Программа работы

1. Исследовать режимы холостого хода и короткого замыкания линии передачи постоянного тока.
2. Исследовать режимы работы линии с различной нагрузкой.
3. Определить условие передачи максимальной мощности в нагрузку (согласованный режим).

Описание лабораторной установки

В работе исследуется модель линии передачи электрической энергии постоянного тока, состоящая из резистора, сопротивление которого равно $R_{\text{Л}}$, и регулируемого источника ЭДС (рис. 4.1). Значения U_1 и $R_{\text{Л}}$ задаются согласно варианту из табл. 4.1. Для установки заданных значений U_1 используется генератор постоянных напряжений, предназначенный для получения стабилизированных напряжений $+15$ В и -15 В. Схема исследуемой цепи собирается с помощью соединительных проводников на наборной панели лабораторного стенда. В качестве нагрузки используется регулируемое сопротивление $R_{\text{Н}}$, представляющее собой миниблок с потенциометром СП4-2М-1 кОм. Последовательно с сопротивлением $R_{\text{Н}}$ подключается мультиметр в режиме измерения постоянного тока.

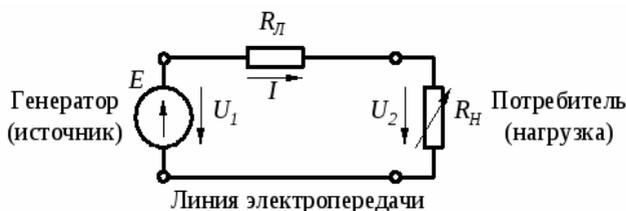


Рис. 4.1. Электрическая схема исследуемой цепи

Таблица 4.1

Параметры	№ варианта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_1, \text{В}$	15	15	13	13	15	15	13	13
$R_{\text{л}}, \text{Ом}$	100	94	100	94	122	110	110	80

Для измерения напряжения на нагрузке $R_{\text{н}}$ используется вольтметр из блока мультиметров.

Пояснения

Линия электропередачи (ЛЭП) – элемент электрической сети, предназначенный для передачи электроэнергии от источника к потребителю (рис. 4.1).

Передача электрической энергии от источника к потребителю по линии электропередачи связана с потерей напряжения и потерей мощности в проводах линии.

Потери напряжения в ЛЭП постоянного тока могут быть определены

$$\Delta U = IR_{\text{л}},$$

где $R_{\text{л}}$ – сопротивление проводов линии; I – ток линии (ток нагрузки).

Потери мощности находятся по формуле

$$\Delta P = P_1 - P_2 = I^2 R_{\text{л}},$$

где P_1 – мощность источника электрической энергии; P_2 – мощность потребителя (полезная мощность).

Мощность, подведенная от источника к линии (полная мощность), –

$$P_1 = U_1 I.$$

Мощность, потребляемая приемником (полезная), –

$$P_2 = U_2 I = I^2 R_{\text{н}}.$$

Коэффициент полезного действия ЛЭП определяется по выражению

$$\eta \% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100\%.$$

Выделяют четыре режима работы ЛЭП: холостой ход, номинальный, согласованной нагрузки (режим передачи максимальной мощности) и короткое замыкание.

Режим холостого хода (ХХ) характеризуется тем, что:

- сопротивление нагрузки $R_{\text{н}} = \infty$;
- ток в цепи будет равен нулю, $I = 0 \text{ А}$;
- напряжение на нагрузке равняется напряжению источника, $U_{\text{н}} = U_{\text{ист}}$;
- мощность источника, передаваемая по ЛЭП и потребляемая нагрузкой, равны нулю: $P_1 = P_2 = 0$;
- потерь нет, следовательно, $\eta = 1,0$, или 100 %.

Режим ХХ используют для измерения ЭДС источника электрической энергии и теста линии на устойчивость к рабочему напряжению.

Включение нагрузки ЛЭП сопровождается появлением тока в цепи, величина которого определяется по закону Ома:

$$I = \frac{U_2}{R_{\text{н}}}.$$

По закону Ома снижение сопротивления нагрузки ведет к увеличению тока в ЛЭП. Рост тока сопровождается увеличением потерь на нагрев провода. Согласно существующей практике допустимые потери электрической мощности в ЛЭП в номинальном режиме не должны превышать (10...15 %), следовательно, номинальный КПД определен в диапазоне 85...90 %, или $\eta = 0,85...0,9$.

Номинальный режим характеризуется тем, что напряжение, ток и мощность, передаваемая по ЛЭП, соответствуют тем значениям, на которые линия рассчитана проектировщиком. При этом режиме обеспечиваются оптимальные условия работы (наибольшие экономичность и долговечность).

Изменение сопротивления нагрузки позволяет создать режим, при котором передается максимальная мощность на нагрузку. Этот режим называют согласованным, так как он реализуется при равенстве сопротивления нагрузки внутреннему сопротивлению источника и сопротивлениям проводов ЛЭП.

КПД при согласованном режиме низкий, равен 50 %, или $\eta = 0,5$, и в этой связи для мощных цепей работа ЛЭП в согласованном режиме экономически невыгодна.

Режим КЗ – это аварийный режим, возникающий при работе ЛЭП как следствие ошибок в эксплуатации, нарушении изоляции между токоведущими элементами электрической цепи и по другим причинам.

Режим КЗ характеризуется тем, что:

- сопротивление нагрузки при КЗ стремится к нулю, $R_H = 0$;
- ток в ЛЭП превышает номинальный в несколько раз, и его величина ограничена лишь сопротивлением проводов ЛЭП;
- напряжение на нагрузке стремится к нулю, $U_H = 0$;
- мощность потребителя в режиме КЗ равна нулю, $P_2 = 0$, и КПД, соответственно, тоже равен нулю, $\eta = 0$.

Ток КЗ сопровождается мощным термическим и электромагнитным воздействием, опасным для источника и линии. Электрооборудование на ток КЗ не рассчитывается и при его воздействии разрушается. В этой связи на практике возникает необходимость применять все меры для ликвидации режима КЗ в кратчайшее время.

Порядок выполнения экспериментальной части

1. Ознакомьтесь с оборудованием и измерительными приборами, необходимыми для проведения эксперимента.

2. Соберите модель линии передачи электрической энергии постоянного тока (рис. 4.1). Последовательно с сопротивлением нагрузки включите мультиметр в режим измерения постоянного тока с диапазоном 200 мА.

3. Присоедините вольтметр параллельно выходным зажимам исследуемой цепи. Переключите мультиметр в режим измерения постоянного напряжения с диапазоном 20 В. Покажите схему преподавателю или учебному мастеру.

4. Включите питание блоков генераторов напряжений и мультиметров, вращая ручку потенциометра, убедитесь, что ток и напряжение на нагрузке изменяются.

5. Выполните опыт холостого хода линии передачи, для этого выньте из гнезда наборного поля потенциометр. Установите заданное напряжение U_1 , измерьте значения I и U_2 , занесите их в табл. 4.2.

Величину U_1 во всех последующих опытах поддерживайте одинаковой.

6. Выполните опыт короткого замыкания, вставив на место нагрузки перемычку. Измерьте ток короткого замыкания $I_{кз}$ и напряжение U_2 , занесите их значения в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Измеряемые величины			Вычисленные величины				
$U_1 = \dots$ В	I	U_2	R_H	P_2	ΔP	η	Режим
	мА	В	Ом	мВт	мВт	%	
$I = 0$							
$I = 0,1I_{кз}$							
$I = 0,2I_{кз}$							
$I = 0,3I_{кз}$							
$I = 0,4I_{кз}$							
$I = 0,5I_{кз}$							
$I = 0,6I_{кз}$							
$I = 0,7I_{кз}$							
$I = 0,8I_{кз}$							
$I = 0,9I_{кз}$							
$I = I_{кз} \text{ (max)}$							

7. Вставьте на свое место потенциометр и, изменяя значение сопротивления нагрузки R_H , выполните опыт с различной нагрузкой линии. Сопротивление нагрузки изменяйте таким образом, чтобы ток линии изменялся через $0,1I_{кз}$. Соответствующие значения токов I и напряжений U_2 занесите в табл. 4.2.

8. Вычислите по результатам каждого измерения величины R_H , P_2 , ΔP , η . Результаты вычислений занесите в табл. 4.2.

9. Постройте зависимости $P_2(I)$, $\Delta P(I)$, $U_2(I)$, $\eta(I)$ при изменении тока в линии от $I = 0$ до $I = I_{кз}$. Укажите на графиках зависимостей основные режимы работы: холостой ход, согласованной нагрузки и короткое замыкание.

10. Определите по экспериментальным данным условие, при котором в нагрузке выделяется максимальная мощность (согласованный режим).

11. Сделайте выводы по результатам экспериментов.

Контрольные вопросы

1. Что такое линия электропередачи?
2. Какие потери связаны с передачей энергии от источника к потребителю по линии электропередачи?
3. Поясните, как экспериментальным путём определить сопротивление линии передачи.
4. При каких условиях возникает короткое замыкание и в чём заключается его опасность?
5. Назовите условия передачи максимальной мощности от источника к приёмнику (согласованный режим).

Лабораторная работа 5

Исследование нелинейных электрических цепей постоянного тока

Цель работы – ознакомиться с устройством и принципом действия нелинейных элементов.

Программа работы

Снять экспериментально и построить графики вольтамперных характеристик лампы накаливания, стабилитрона и полупроводникового диода.

Описание лабораторной установки

В данной работе экспериментально снимаются вольтамперные характеристики (ВАХ) нелинейных элементов (табл. 5.1) электрической цепи.

Таблица 5.1

№	Исследуемые нелинейные элементы	Параметры	Условно-графическое обозначение
1	Лампа накаливания	СМН-10 55 $U = 10 \text{ В}, I = 55 \text{ мА}$	
2	Полупроводниковый стабилитрон	КС 456А, $U = 5,6 \text{ В}, I = 100 \text{ мА}$	
3	Полупроводниковый диод	КД 226 (IN5408), $I = 1 \text{ А}, U = 100 \text{ В}$	

Принципиальная схема (рис. 5.1) для снятия ВАХ исследуемых элементов состоит из:

- регулируемого источника постоянного напряжения от -13 В до $+13 \text{ В}$;
- ограничительного резистора $R_{\text{огр}}$. Ограничивает ток в цепи при малых сопротивлениях исследуемых элементов ($100 \dots 220 \text{ Ом}$);

- измерительных приборов – амперметра и вольтметра. Располагаются на блоке мультиметров, режим работы приборов – постоянный ток;
- исследуемый нелинейный элемент – НЭ.

На рис. 5.1, *а* изображена электрическая схема измерения с погрешностью по напряжению. На практике применяется для измерений больших сопротивлений, когда сопротивление исследуемого элемента сравнимо с внутренним сопротивлением вольтметра ($R_{нэ} \approx R_V$). Показания вольтметра близко к напряжению на нелинейном элементе.

На рис. 5.1, *б* изображена электрическая схема измерения с погрешностью по току. На практике применяется для измерения малых сопротивлений, когда сопротивление исследуемого элемента сравнимо с внутренним сопротивлением амперметра ($R_{нэ} \approx R_A$). Показания амперметра близко к току нелинейного элемента.

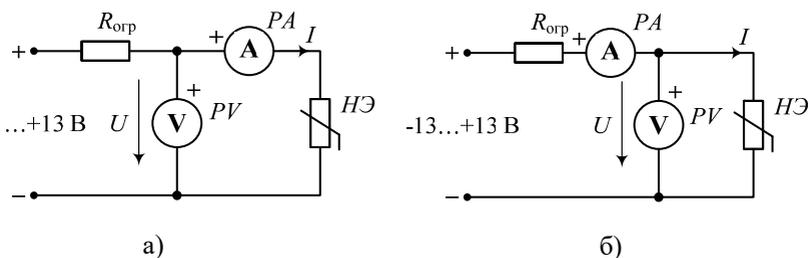


Рис. 5.1. Схема для снятия ВАХ исследуемого нелинейного элемента:
а – с погрешностью по напряжению; *б* – с погрешностью по току

В данной лабораторной работе для снятия ВАХ нелинейных элементов схема измерения с погрешностью по напряжению применяется для:

- лампы накаливания;
- обратной ветви полупроводникового диода;
- рабочей ветви полупроводникового стабилитрона.

Схема измерения с погрешностью по току применяется для снятия ВАХ:

- прямой ветви полупроводникового диода;
- прямой ветви полупроводникового стабилитрона.

Пояснения

Сопротивления, величина которых зависит от протекающего по ним тока и приложенного напряжения, называются нелинейным. К нелинейным электрическим цепям постоянного тока относятся электрические цепи, содержащие нелинейные сопротивления, обладающие нелинейными вольтамперными характеристиками. Вольтамперная характеристика (ВАХ) представляет собой график зависимости напряжения на зажимах резистивного нелинейного элемента от тока $U(I)$ (или наоборот – $I(U)$) в нем.

Нелинейные вольтамперные характеристики имеют: лампы накаливания, электрическая дуга, полупроводниковые выпрямители (диоды), транзисторы, тиристоры, терморезисторы и другие элементы.



Рис. 5.2. Вольтамперные характеристики нелинейных элементов

Вольтамперные характеристики бывают симметричными, как у лампы накаливания, и несимметричными, ею обладают полупроводниковые выпрямители (кремневые, германиевые), диоды, стабилитроны.

Вольтамперные характеристики могут быть заданы в виде графиков, таблиц и аналитических выражений. Расчет нелинейных цепей постоянного тока производят, как правило, графически.

Нелинейные свойства элементов могут быть источником нежелательных явлений, например, искажения формы тока в цепи, что недопустимо для правильного восприятия сигналов. Однако в ряде случаев нелинейные свойства элементов лежат в основе принципа

действия электротехнических устройств, например, выпрямителей и стабилизаторов напряжения, усилителей и т. д. Для реализации таких устройств создаются элементы с необходимыми нелинейными характеристиками на основе диэлектрических, полупроводниковых, ферромагнитных и других материалов.

Порядок выполнения экспериментальной части

1. Ознакомьтесь с оборудованием и измерительными приборами, необходимыми для проведения эксперимента.

2. Соберите электрическую цепь (рис. 5.1, а) для снятия вольтамперной характеристики лампы накаливания. **Обратите внимание, что схема измерения – с погрешностью по напряжению.** Последовательно лампе накаливания включите мультиметр в режим измерения постоянного тока с диапазоном 200 мА.

3. Переключите мультиметр в режим измерения постоянного напряжения с диапазоном 20 В и присоедините параллельно к входным зажимам лампы накаливания.

4. Изменяя ток в цепи, как показано в табл. 5.2, запишите в таблицу соответствующие значения напряжения на лампе.

Таблица 5.2

$I, \text{ mA}$	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
$U, \text{ V}$									

5. Замените лампу накаливания стабилитроном, соблюдая полярность, показанную в табл. 5.1, и снимите его вольтамперную характеристику, устанавливая либо напряжения, либо токи, указанные в табл. 5.3. **Для увеличения точности при отрицательных напряжениях и токах схема измерения – с погрешностью по току (рис. 5.1, б), а при положительных – с погрешностью по напряжению (рис. 5.1, а).**

Таблица 5.3

$I, \text{ mA}$	-40	-20	0					4	10	20	40
$U, \text{ V}$				1	2	3	4				

6. Замените стабилитрон полупроводниковым диодом, соблюдая полярность, показанную в табл. 5.1, и снимите его вольтамперную характеристику, устанавливая либо напряжения, либо токи, указанные в табл. 5.4. **Для увеличения точности при отрицательных напряжениях и токах схема измерения – с погрешностью по напряжению (рис. 5.1, а), а при положительных – с погрешностью по току (рис. 5.1, б).**

Таблица 5.4

$I, \text{ мА}$						2	5	10	20	30	40
$U, \text{ В}$	-8	-6	-4	-2	0						

7. Постройте на одной плоскости вольтамперные характеристики $U = f(I)$ исследуемых элементов, используя данные табл. 5.2–5.4.

8. По результатам физического эксперимента сделайте выводы.

Контрольные вопросы

1. Какая электрическая цепь называется нелинейной?
2. Что называется вольтамперной характеристикой элемента электрической цепи?
3. Приведите классификацию нелинейных элементов по виду ВАХ.

Лабораторная работа 6

Исследование биполярного транзистора

Цель работы – изучение принципа действия и основных характеристик биполярного транзистора.

Программа работы

1. Снять экспериментально одну из входных характеристик биполярного транзистора.
2. Снять экспериментально семейство выходных характеристик биполярного транзистора.

Описание лабораторной установки

В лабораторной работе исследуется биполярный транзистор. Схема включения транзистора с общим эмиттером (рис. 6.1) собирается с помощью соединительных проводников на наборной панели лабораторного стенда.

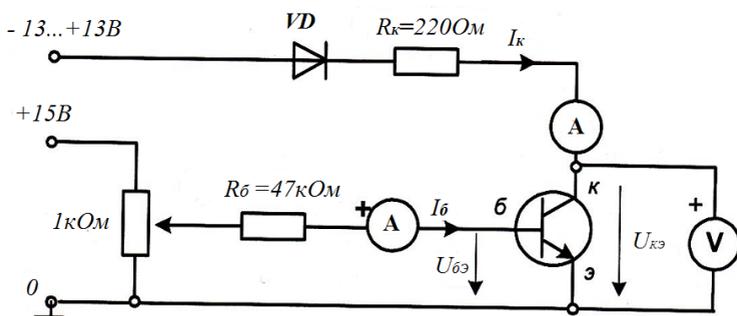


Рис. 6.1. Схема для снятия выходных ВАХ биполярного транзистора

Для предотвращения подачи на транзистор обратного напряжения и ограничения тока в цепь коллектора включены миниблоки резистор $R_к = 220$ Ом и диод КД226. В цепи базы установлены регулируемое сопротивление, представляющее собой миниблок с потенциометром СП4-2М-1 кОм, и миниблок с резистором $R_б = 47$ кОм. Последовательно в цепь коллектора и в цепь базы включены специальные коммутационные миниблоки «амперметр».

С помощью двухжильного измерительного проводника со штекером к этим миниблокам подключается мультиметр в режиме измерения тока.

Для установки заданных значений напряжения U используется генератор постоянных напряжений, предназначенный для получения стабилизированных напряжений $+15$ В, -15 В и регулируемого напряжения от -13 В до $+13$ В.

Для измерения напряжений используется вольтметр из блока мультиметров.

Пояснения

Биполярный транзистор – это полупроводниковый прибор с двумя p - n -переходами, образованными тремя областями проводимостей типа p - n - p или n - p - n (рис. 6.2). Транзистор называется биполярным потому, что физические процессы в нем связаны с движением носителей зарядов обоих знаков (свободных электронов и дырок).

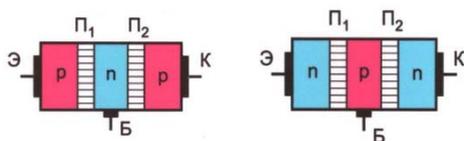


Рис. 6.2. Структура биполярного транзистора

Средняя, тонкая область транзистора называется базой (Б), одна крайняя область – эмиттером (Э), другая крайняя область – коллектором (К). Каждый слой имеет вывод, при помощи которого транзистор включается в цепь.

На электрических схемах транзистор p - n - p -типа изображают, как показано на рис. 6.3, а, а транзисторы n - p - n -типа – в соответствии с рис. 6.3, б.

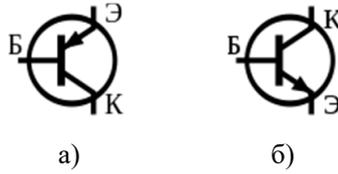


Рис. 6.3. Условно-графическое обозначение биполярного транзистора

Для транзистора выполняется первый закон Кирхгофа:

$$i_э = i_к + i_б.$$

В этом соотношении ток базы много меньше тока эмиттера и тока коллектора, поэтому $i_э \approx i_к$.

Различают три схемы включения транзистора: с общей базой (ОБ), с общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором (ОК) (рис. 6.4).

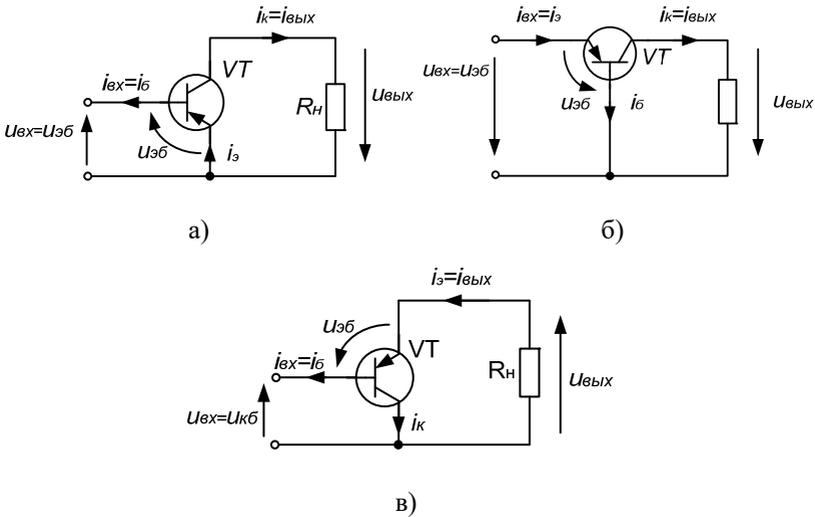


Рис. 6.4. Схемы включения транзистора:
а – ОЭ; б – ОБ; в – ОК

В схеме с ОЭ осуществляется усиление по току, напряжению и мощности. При этом выходное напряжение $U_{кэ}$ находится в противофазе с входным напряжением $U_{эб}$.

В схеме с ОБ отсутствует усиление по току. Выходное напряжение $U_{кб}$ совпадает по фазе с входным напряжением $U_{эб}$.

В схеме с ОК не происходит усиление по напряжению. При этом выходное напряжение совпадает по фазе с входным.

Свойства транзистора в зависимости от схемы включения оцениваются его статическими входными и выходными характеристиками. Входные характеристики — это зависимость входного тока от входного напряжения при постоянном выходном смещении. Так как входной переход транзистора в усилительном режиме смещен прямо, то они аналогичны прямой ветви ВАХ $p-n$ -перехода. Выходные характеристики представляют собой зависимость выходного тока от выходного напряжения при постоянном входном токе и аналогичны обратной ветви ВАХ $p-n$ -перехода. На рис. 6.5 представлен вид статических характеристик для схемы с ОЭ. Для каждого выпускаемого промышленностью типа транзистора статические характеристики заданы в справочнике по полупроводниковым приборам или снимаются экспериментально.

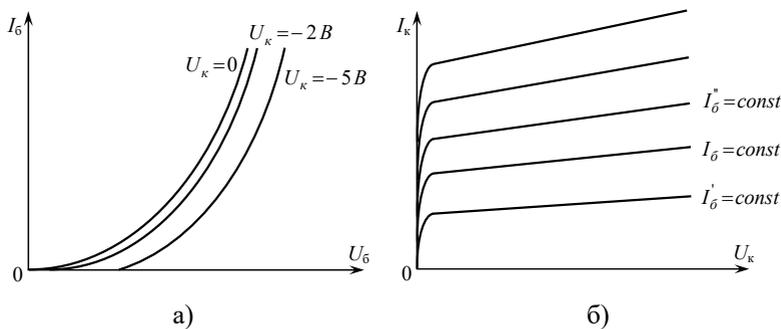


Рис. 6.5. Статические характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с ОЭ: *a* — входные; *б* — выходные

Основное достоинство биполярных транзисторов — высокое быстродействие при достаточно больших токах коллектора. Наличие внешних теплоотводов позволяет работать биполярным транзисторам при мощности рассеяния до 50 Вт и токах до 10 А. Основной недостаток — относительно небольшие сопротивления входной цепи биполярного транзистора, включенного по схеме с ОЭ

(1–10 кОм), и плотность размещения при производстве интегральных микросхем.

Порядок выполнения экспериментальной части

1. Ознакомьтесь с оборудованием и измерительными приборами, необходимыми для проведения эксперимента.

2. Соберите исследуемую цепь (рис. 6.1) на макетной панели с помощью проводников. Последовательно в цепи коллектора и в цепь базы включите миниблок «амперметр». Переключите мультиметр в режим измерения постоянного тока с диапазоном 200 мА и с помощью двухжильного измерительного проводника со штекером поочередно подключайте к миниблокам «амперметр» мультиметр.

3. Включите питание блоков генераторов напряжений и мультиметров, предварительно установив рукоятку потенциометра в положение, соответствующее нулевому току базы.

4. Установите максимальное напряжение на выходе регулируемого источника и отрегулируйте потенциометром ток базы так, чтоб ток коллектора составлял 10 мА. Переключите мультиметр для измерения тока базы и запишите это первое значение тока базы в табл. 6.1. Верните мультиметр для измерения тока коллектора.

5. Переключите мультиметр в режим измерения постоянного напряжения с диапазоном 20 В. Уменьшая напряжение, подаваемое на коллектор, снимите вольтамперную характеристику. Измеряемые значения записывайте в табл. 6.1.

Таблица 6.1

$I_{61} = \dots \text{ мА}$	$U_{кз}, \text{ В}$							
	$I_{к}, \text{ мА}$							10
$I_{62} = \dots \text{ мА}$	$U_{кз}, \text{ В}$							
	$I_{к}, \text{ мА}$							20
$I_{63} = \dots \text{ мА}$	$U_{кз}, \text{ В}$							
	$I_{к}, \text{ мА}$							30
$I_{64} = \dots \text{ мА}$	$U_{кз}, \text{ В}$							
	$I_{к}, \text{ мА}$							40

6. Снова установите максимальное напряжение на коллекторе и отрегулируете ток базы так, чтобы ток коллектора составлял 20 мА. Запишите новое значение тока базы, снимите и постройте новую вольтамперную характеристику.

7. Повторите опыт при максимальном токе коллектора 30 мА и 40 мА.

8. Для снятия входной характеристики исключите из схемы резистор $R_k = 220$ Ом так, чтобы напряжение $U_{кэ}$ при увеличении тока коллектора не менялось.

9. Установите для начала ток базы равным нулю, а напряжение $U_{кэ} = 5$ В. Осторожно увеличивая ток базы, определите, при каком токе базы ток коллектора достигнет величины 50...60 мА (**при большем токе есть опасность перегрева транзистора**). Запишите это максимальное значение в последний столбец табл. 6.2.

Таблица 6.2

$I_b, \text{мкА}$									
$U_{бэ}, \text{В}$									

10. Переключите теперь мультиметр из коллекторной цепи в цепь базы для измерения напряжения $U_{бэ}$ и, увеличивая ток базы от 0 до записанного максимального значения, снимите зависимость $I_b(U_{бэ})$ при $U_{кэ} = 5$ В.

11. По данным измерений постройте графики зависимости: $I_b = f(U_{бэ})$ при $U_{кэ} = \text{const}$, $I_k = f(U_{кэ})$ при $I_b = \text{const}$.

12. Сделайте выводы по результатам экспериментов.

Контрольные вопросы

1. Что такое транзистор и для чего он используется?
2. Какие типы транзисторов бывают?
3. Привести возможные схемы включения транзисторов.
4. Каково соотношение между токами эмиттера, коллектора и базы транзистора?
5. Какими характеристиками оцениваются свойства транзистора?

Лабораторная работа 7

Исследование однофазных выпрямителей

Цель работы – изучение однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей.

Программа работы

1. Исследовать экспериментально однополупериодный выпрямитель.
2. Исследовать экспериментально двухполупериодный выпрямитель.

Описание лабораторной установки

Схемы выпрямителей (рис. 7.1, 7.2) собираются с помощью соединительных проводников на наборной панели лабораторного стенда.

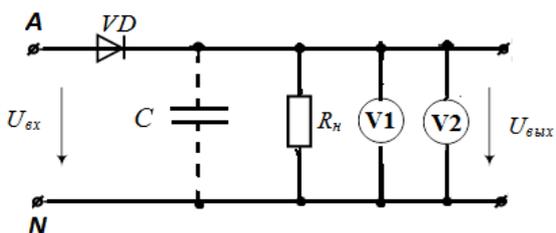


Рис. 7.1. Электрическая схема исследуемого однополупериодного выпрямителя

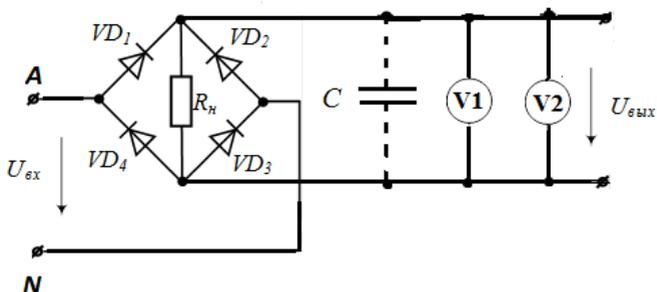


Рис. 7.2. Электрическая схема исследуемого двухполупериодного выпрямителя

Источником питания является симметричный трехфазный источник ЭДС с фазным напряжением $U_{\phi} = 8 \text{ В}$ частотой $f = 50 \text{ Гц}$ и выведенной нейтральной точкой. На вход выпрямителей подается напряжение U_{AN} одной фазы, в данном случае фазы А.

Для наблюдения за формой напряжения в исследуемых цепях при проведении эксперимента к выходным зажимам цепи подключается двухканальный осциллограф.

Для измерения напряжений используются вольтметры из блока мультиметров.

Сопrotивление нагрузки R_H представляет собой миниблок с резистором определенной величины. Сглаживающие фильтры – миниблоки конденсаторов с различными значениями ёмкости.

Пояснения

В цепи с полупроводниковым диодом (рис. 7.3) установившийся ток может протекать только при положительной полярности приложенного к диоду напряжения. При изменении полярности напряжения диод запирается и ток прекращается. В результате при синусоидальном входном напряжении $u_{вх}$ в нагрузке протекает пульсирующий ток одного направления. Такую же форму имеет и выходное (выпрямленное) напряжение на нагрузке $u_{вых}$.

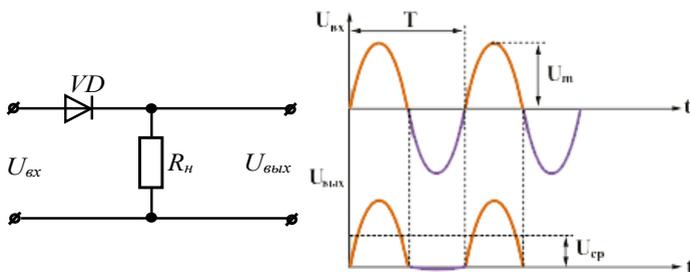


Рис. 7.3. Схема однополупериодного выпрямителя

Для уменьшения пульсаций включают сглаживающие фильтры. В простейшем случае сглаживание на нагрузке достигается включением параллельно ей емкости. Тогда при открытом состоянии диода конденсатор заряжается, а при закрытом – разряжается на нагрузку.

Ток и напряжение на нагрузке становятся непрерывными, пульсации уменьшаются, и увеличивается среднее значение напряжения на нагрузке. При этом время открытого состояния диода уменьшается. Ток через него протекает только тогда, когда напряжение на входе превышает напряжение на конденсаторе.

Для увеличения среднего напряжения на нагрузке используют двухполупериодные схемы выпрямления (мостовые).

В однофазной мостовой схеме выпрямления (рис. 7.4), когда источник переменного напряжения включен в одну диагональ, а нагрузка в другую, диоды работают попарно.

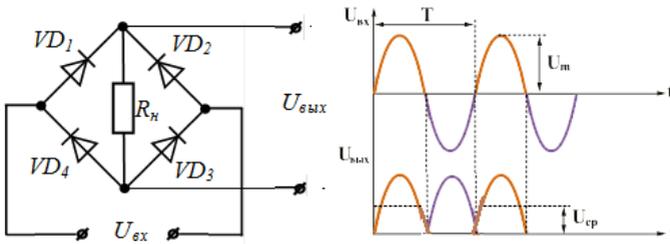


Рис. 7.4. Схема двухполупериодного выпрямителя

В первый период, когда от источника действует положительная полуволна, диоды 1 и 3 проводят ток, а 2 и 4 закрыты. Во второй полупериод диоды 2 и 4 открыты, а 1 и 3 не пропускают ток. Ток через нагрузку протекает все время и в одном и том же направлении. По сравнению с однополупериодным в два раза увеличивается постоянная составляющая выпрямленного напряжения.

Работа выпрямительного устройства характеризуется коэффициентом пульсации. Коэффициентом пульсации напряжения (тока) называют величину, равную отношению амплитудного значения (максимальной величины) переменной составляющей выпрямленного напряжения (тока) $U_{m\sim}$ к постоянной составляющей (среднему значению) U_{cp}

$$k_n = \frac{U_{m\sim}}{U_{cp}} = \frac{\sqrt{2}U_{\sim}}{U_{cp}}$$

Для определения коэффициента пульсации напряжения необходимо измерить при помощи осциллографа или двух вольтметров

действующее значение синусоидального напряжения на нагрузке $U_{\text{д}}$ и выходное (среднее) постоянное напряжение $U_{\text{ср}}$.

Порядок выполнения экспериментальной части

1. Ознакомьтесь с оборудованием и измерительными приборами, необходимыми для проведения эксперимента.

2. Соберите исследуемую цепь (рис. 7.1) на макетной панели с помощью проводников сначала без сглаживающего фильтра с сопротивлением нагрузки $R_{\text{н}} = 2,2 \text{ кОм}$. Включите мультиметры в режим измерения напряжения: V_1 – для измерения действующего значения синусоидального напряжения с диапазоном 20 В, V_2 – для измерения постоянного напряжения с диапазоном 20 В.

3. Подсоедините исследуемую цепь одним входным зажимом к фазе А, а другим – к нейтральной точке N трехфазного источника (рис. 7.1).

4. Включите и настройте осциллограф. Установите развертку 5 мс/дел.

5. Зарисуйте форму синусоидального импульса.

6. Подключите осциллограф к нагрузке. Зарисуйте форму напряжения на нагрузке и запишите значения напряжений в табл. 7.1.

7. Параллельно нагрузочному резистору $R_{\text{н}}$ подключите сглаживающие конденсаторы с емкостями C , указанными в табл. 7.1 (**не ошибитесь с полярностью при подключении электролитических конденсаторов**).

8. Соберите цепь двухполупериодного мостового выпрямителя согласно схеме, на рис. 7.2, повторите все измерения. Результаты запишите в табл. 7.1. Подключите осциллограф к сопротивлению нагрузки $R_{\text{н}}$ и зарисуйте форму напряжений.

9. Параллельно нагрузочному резистору $R_{\text{н}}$ подключите сглаживающие конденсаторы с емкостями C , указанными в табл. 7.1. Повторите эксперимент при разных значениях C , зарисуйте форму и запишите значения напряжений в табл. 7.1.

Таблица 7.1

C, мкФ		0	1	10	
Однополупериодный выпрямитель	Выходные напряжения	U_1 , В			
		U_2 , В			
	Коэффициент пульсации	k_n			
Двухполупериодный выпрямитель	Выходные напряжения	U_1 , В			
		U_2 , В			
	Коэффициент пульсации	k_n			

10. Рассчитайте и запишите в табл. 7.1 коэффициенты пульсации для каждого измерения.

11. Полученные в каждом опыте кривые напряжения перенесите в отчет.

12. По результатам физического эксперимента сделайте выводы.

Контрольные вопросы

1. Пояснить назначение выпрямителей.
2. Перечислить известные схемы выпрямителей.
3. Как уменьшить пульсации выпрямителя?

Лабораторная работа 8

Исследование работы параметрического стабилизатора

Цель работы — изучение основных характеристик и свойств параметрического стабилизатора.

Программа работы

1. Исследовать зависимость выходного напряжения и тока стабилизатора от входного напряжения в цепи параметрического стабилизатора напряжения.
2. Экспериментально определить коэффициенты стабилизации по напряжению и по току.

Описание лабораторной установки

Схема параметрического стабилизатора (рис. 8.1) собирается с помощью соединительных проводников на наборной панели лабораторного стенда.

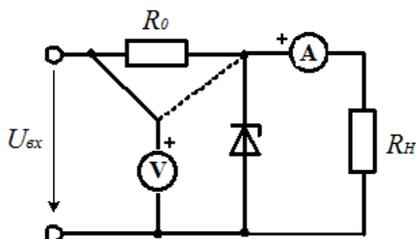


Рис. 8.1. Электрическая схема исследуемой цепи

Для установки заданных значений входного напряжения $U_{\text{вх}}$ используется генератор постоянных напряжений, предназначенный для получения регулируемого напряжения от -13 В до $+13$ В. Во избежание перегрузки последовательно со стабилитроном КС456А включают миниблок балластный резистор $R_0 = 100$ Ом. Сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$ представляет собой миниблок с резистором определенной величины. Последовательно с сопротивлением нагрузки подключается мультиметр в режиме измерения тока.

Для измерения напряжений используются вольтметры из блока мультиметров.

Пояснения

Для питания электронных схем, которые не требуют высокой стабильности питающего напряжения постоянного тока или большой выходной мощности, целесообразно применять простые, надёжные и дешёвые линейные источники напряжения. Основой любого линейного источника напряжения является параметрический стабилизатор напряжения.

Схема параметрического стабилизатора напряжения (рис. 8.2) состоит из балластного резистора R_0 (для ограничения тока через стабилитрон) и стабилитрона, подключенного параллельно нагрузке R_H . Такой стабилизатор напряжения обеспечивает стабилизацию выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ при изменении напряжения питания и тока нагрузки I_H .

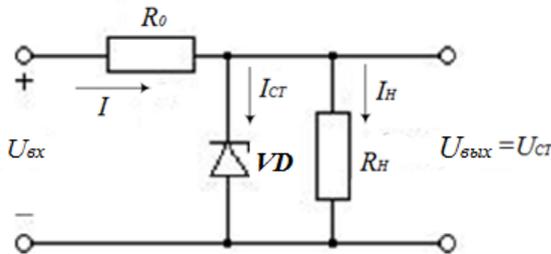


Рис. 8.2. Схема параметрического стабилизатора напряжения

Основным свойством стабилитрона, на базе которого выполнен параметрический стабилизатор напряжения, является особенность обратной ветви его вольтамперной характеристики (рис. 8.3), при которой напряжение $U_{\text{СТ}}$ на стабилитроне в рабочем диапазоне токов (от $I_{\text{СТ min}}$ до $I_{\text{СТ max}}$) остается практически неизменным.

Таким образом, при повышении напряжения на входе стабилизатора и увеличении тока в сопротивлении R_0 и стабилитроне VD напряжение на нем практически не меняется, и, соответственно, напряжение на сопротивлении нагрузки R_H также остается неизменным. То же самое происходит при колебаниях нагрузки: если

ток стабилитрона при изменении нагрузки $R_{\text{н}}$ не выходит за пределы рабочего диапазона, то напряжение на выходе остается практически неизменным.

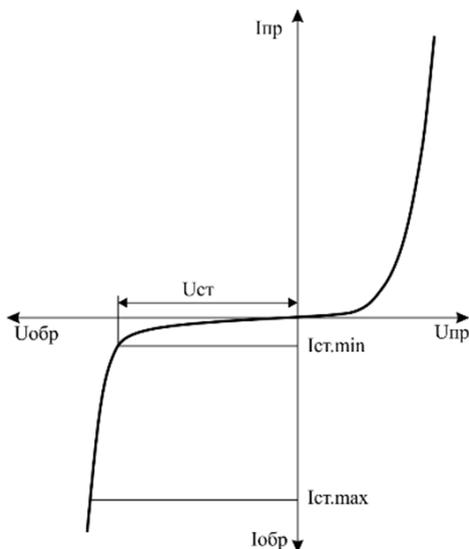


Рис. 8.3. Вольтамперная характеристика стабилитрона

Качество функционирования стабилизатора вычисляется по коэффициентам стабилизации по напряжению и по току

$$k_{\text{ст}U} = \frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВХ.НОМ}}} : \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ.НОМ}}}, \quad k_{\text{ст}I} = \frac{\Delta I_{\text{Н}}}{I_{\text{Н.НОМ}}} : \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ.НОМ}}}.$$

Порядок выполнения экспериментальной части

1. Ознакомьтесь с оборудованием и измерительными приборами, необходимыми для проведения эксперимента.
2. Соберите цепь параметрического стабилизатора (рис. 8.1) на макетной панели с помощью проводников, сначала не включая в нее сопротивление нагрузки.
3. Включите мультиметры в режим измерения постоянного напряжения с диапазоном 20 В и постоянного тока с диапазоном 200 мА.

4. Подсоедините исследуемую цепь к генератору напряжений и, изменяя постоянное напряжение на входе стабилизатора от 0 до максимального значения 13 В, снимите зависимость выходного напряжения от входного на холостом ходу. Результаты записывайте в табл. 8.1.

Таблица 8.1

$U_{вх}, В$	0	2	4	6	8	10	12	13
$U_{вых}, В$								

5. Установите максимальное напряжение на входе и, включая различные сопротивления нагрузки, согласно табл. 8.2, снимите зависимость выходного напряжения стабилизатора от тока нагрузки.

Таблица 8.2

$R_n, Ом$	∞	150	100	47+22	47+10	47	33+10	33
I_n, mA	0(х.х)							
$U_{вых}, В$								

6. Постройте графики $U_{вых}(U_{вх})$ и $U_{вых}(I_n)$.

7. На графиках укажите минимально допустимое входное напряжение, максимально допустимый ток нагрузки и определите коэффициенты стабилизации по напряжению и по току, приняв $U_{вх.ном} = 8 В$ и $I_{н.ном} = 80 mA$.

8. По результатам физического эксперимента сделайте выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое стабилизатор напряжения, для чего он нужен?
2. Из каких элементов состоит схема параметрического стабилизатора напряжения?
3. При каких условиях выходное напряжение параметрического стабилизатора остается постоянным?
4. Как изменится ток стабилизатора при увеличении нагрузки?

Список рекомендуемой литературы

1. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника : учебник / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. – Саратов : Профобразование, 2017. – 416 с.
2. Ушаков В.Я. Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях ТЭК : учеб. пособие / В.Я. Ушаков, Н.Н. Харлов, П.С. Чубик ; Томский политехнический университет. – Томск : ТПУ, 2015. – 283 с.
3. Козадеров О.А. Современные химические источники тока : учеб. пособие / О.А. Козадеров, А.В. Введенский. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 132 с.
4. Кудинов А.А. Горение органического топлива : учеб. пособие / А.А. Кудинов. – Москва : ИНФРА-М, 2015. – 390 с. – (Высшее образование. Бакалавриат).
5. Кудинов А.А. Тепловые электрические станции : схемы и оборудование : учеб. пособие / А.А. Кудинов. – Москва : ИНФРА-М, 2015. – 325 с. – (Высшее образование).
6. Вахнина В.В. Системы электроснабжения : электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. «Электроснабжение и электротехника». – Тольятти : ТГУ, 2015. – 46 с.
7. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы : учеб. пособие / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз ; Томский политехнический университет. – 6-е изд., испр. – Томск : ТПУ, 2013. – 181 с.

Описание блоков учебного комплекта

Комплект лабораторного оборудования «Электрические и магнитные цепи» предназначен для проведения лабораторного практикума по дисциплине «Современные энергетические системы и электронные преобразователи». Позволяет исследовать линейные и нелинейные электрические и магнитные цепи при различных воздействиях в статических и динамических режимах.

Комплект лабораторного оборудования состоит из следующих блоков:

- однофазный источник питания;
- блок генераторов напряжений;
- наборная панель;
- набор миниблоков;
- блок мультиметров;
- ваттметр;
- электронный осциллограф;
- соединительные провода и перемычки, питающие кабели.

Однофазный источник питания (218.9)

Назначение

Предназначен для питания однофазным переменным током промышленной частоты функциональных блоков учебного лабораторного комплекса. Основные параметры блока отображены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики

Параметр блока	Значение параметра
Электропитание от однофазной сети переменного тока с нулевым и защитным проводниками: Напряжение, В Ток, А, не более Частота, Гц	220±22 16 50±0,5
Выходные: Напряжение, В Ток, А, не более	220±22 16
Устройства защиты	Автоматический выключатель, устройство защитного отключения (УЗО) с током срабатывания 10 мА

Устройство и принцип действия

Конструктивно источник выполнен в виде коробки с лицевой панелью и кожухом. На лицевой панели нанесена электрическая мнемосхема соединений источника. На панели размещены: два однофазных автоматических выключателя, устройство защитного отключения, сигнальный светодиод и три штепсельные розетки с заземляющими контактами. На кожухе с тыльной стороны расположены приборные однофазные вилка и три розетки с заземляющими контактами.

Работа источника основана на передаче электрической энергии с его входа на выходы к потребителям с обеспечением защиты от сверхтоков и нарушения изоляции.

Внешний вид и порядок работы



Рис. 1. Состояние блока «выключено»

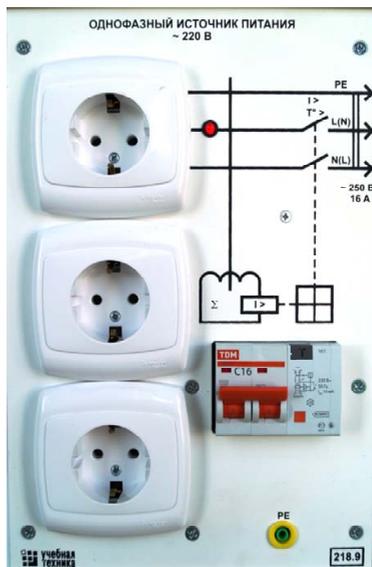


Рис. 2. Состояние блока «включено»

Порядок работы:

- включите автоматический выключатель источника и устройство защитного отключения, если оно отключено;
- для снятия выходных напряжений (отключения) источника отключите его автоматический выключатель.

Внешний вид блока в отключенном состоянии представлен на рис. 1, в состоянии «включено» – на рис. 2.

Блок генераторов напряжений (212.6)

Назначение

Предназначен для формирования однофазных регулируемых сигналов различной формы, трехфазного синусоидального напряжения и постоянных напряжений для питания исследуемых схем. Основные параметры блока отображены в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики

Параметр блока	Значение параметра
Выходное напряжение нерегулируемых источников питания: Положительной полярности, В Отрицательной полярности, В Ток от перегрузки по току, А	+15±0,3 -15±0,3 0,2
Выходное напряжение регулируемых источников питания, В Ток от перегрузки по току, А	-13...0...+13 0,2
Виды сигналов на выходе однофазного генератора	Синусоидальный Прямоугольный двухполярный Прямоугольный униполярный Пилообразный двухполярный
Диапазон изменения амплитуды выходного напряжения однофазного генератора, В	0...12
Диапазон изменения частоты синусоидального и пилообразного сигналов	0,2 Гц...200 кГц
Диапазон изменения частоты прямоугольных сигналов	0,2 Гц...100 кГц
Генератор трехфазного напряжения: Количество выходов Частота выходного напряжения, Гц Амплитуда выходного напряжения, В	3 50±1 12±0,5

Внешний вид и порядок работы

Конструктивно источник выполнен в виде коробки с лицевой панелью и кожухом. На лицевой панели нанесена мнемосхема и названия основных органов управления и защиты (рис. 3):

- 1 – выключатель «СЕТЬ» подачи питания на блок;
- 2 – предохранитель в цепи питания блока;
- 3 – генератор напряжений специальной формы;
- 4 – кнопка «ФОРМА», изменяющая форму напряжения на выходе генератора. Горящий светодиод показывает выбранную форму выходного сигнала;
- 5 – светодиоды, показывающие форму сигнала на выходе генератора. Горящее/мигающее состояние светодиода показывает, как будет изменяться выходная частота при повороте ручки энкодера-потенциометра;
- 6 – ручка энкодера-потенциометра, позволяющая изменять выходную частоту генератора. При горящем состоянии светодиода частота меняется по декадам. При мигающем состоянии светодиода частота меняется с минимально возможным шагом. Переключение между режимами производится путем нажатия кнопки энкодера-потенциометра;
- 7 – индикатор частоты генератора;
- 8 – светодиоды, показывающие размерность установленной частоты генератора;
- 9 – ручка потенциометра регулировки выходного напряжения генератора;
- 10 – светодиод, показывающий перегрузку выхода генератора по току (выходное напряжение при срабатывании защиты перегрузки по току может отсутствовать или быть искажено);
- 11 – выход генератора напряжений специальной формы;
- 12 – генератор постоянных напряжений;
- 13 – выходное гнездо источника питания +15 В;
- 14 – светодиод, показывающий перегрузку источника +15 В по току (выходное напряжение при срабатывании защиты перегрузки по току может отсутствовать или быть искажено);
- 15 – выходное гнездо источника питания –15 В;

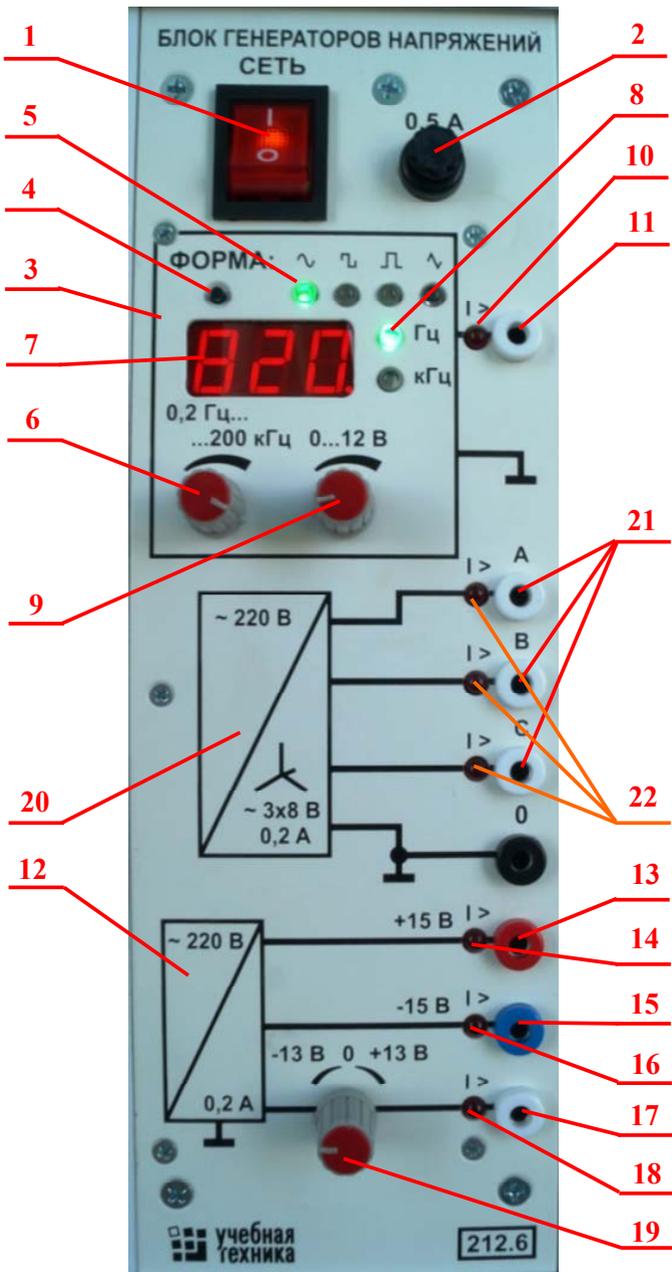


Рис. 3. Внешний вид блоков генераторов

16 – светодиод, показывающий перегрузку источника –15 В по току (выходное напряжение при срабатывании защиты перегрузки по току может отсутствовать или быть искажено);

17 – выходное гнездо регулируемого источника питания –13...0...+13 В;

18 – светодиод, показывающий перегрузку регулируемого источника питания по току (выходное напряжение при срабатывании защиты перегрузки по току может отсутствовать или быть искажено);

19 – ручка потенциометра, регулировки выходного напряжения регулируемого источника питания;

20 – генератор трехфазного напряжения с действующим значением выходного напряжения 8 В;

21 – выходные гнезда генератора трехфазного напряжения (фазы А, В, С и 0);

22 – светодиоды в цепях фазных напряжений трехфазного генератора, показывающие перегрузку соответствующей фазы по току (выходное напряжение при срабатывании защиты перегрузки по току может отсутствовать или быть искажено);

23 – разъем подключения сетевого напряжения и заземления блока (на задней крышке блока).

Порядок работы:

- включите автоматический выключатель «СЕТЬ». При наличии перегрузки или короткого замыкания в соответствующей цепи загорается светодиод перегрузки I>. Устраните причину перегрузки или короткого замыкания и дождитесь, пока соответствующий светодиод погаснет. Генератор напряжения снова находится в рабочем состоянии;
- регулировку выходной частоты генератора напряжений специальной формы производит энкодер-потенциометр (позиция 6);
- при повороте ручки энкодера меняется выходная частота, и ее величина отображается на индикаторе (позиция 7) с размерностью, показываемой светодиодами (позиция 8);
- переключение формы выходного напряжения производится путем нажатия на кнопку «ФОРМА» (позиция 4). При этом соответствующий светодиод (позиция 5) показывает форму выходного напряжения (мнемосхема формы выходного сигнала нанесена над светодиодом);

- ручкой потенциометра (позиция 8) производится регулировка амплитуды выходного напряжения генератора специальной формы;
- регулировка величины выходного напряжения регулируемого генератора постоянного напряжения производится ручкой потенциометра (позиция 19);
- выключение генератора напряжений производится выключателем «СЕТЬ» по окончании проведения экспериментов.

Наборная панель (305)

Назначение

Предназначена для установки и соединения между собой миниблоков при построении исследуемых электрических и электронных цепей.

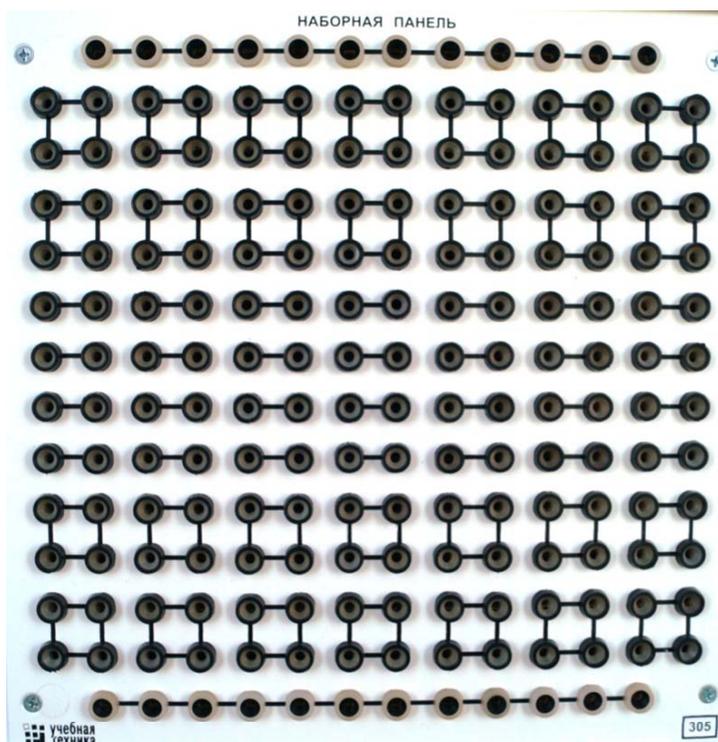


Рис. 4. Внешний вид наборной панели

Внешний вид и порядок работы

- конструктивно панель выполнена в виде коробки с лицевой панелью и кожухом. На лицевой панели нанесена электрическая схема соединений панели и в соответствии с ней размещены соединительные гнезда;
- электрический контакт миниблоков и проводников осуществляется путем введения контактных штырей последних в гнезда панели. Внешний вид блока представлен на рис. 4.

Набор миниблоков (600.17)

Назначение

Предназначен для построения электрических и электронных цепей.

Устройство и принцип действия

Конструктивно набор выполнен в виде панели с установленными на ней миниблоками. Миниблоки представляют собой отдельные радиоэлементы электрических цепей (резисторы, конденсаторы, индуктивности, диоды, транзисторы и т. п.), помещённые в прозрачные корпуса, имеющие штыри для соединения с гнездами наборной панели. Некоторые миниблоки содержат несколько элементов, соединённых между собой, или более сложные функциональные блоки. На этикетках миниблоков изображены условные обозначения элементов или упрощённые электрические схемы их соединения, показано расположение выводов и приведены основные технические характеристики. Миниблоки хранятся в специальном контейнере.

Внешний вид

Общий вид контейнера с миниблоками представлен на рис. 5.

Характеристики одноэлементных миниблоков:

1 – резисторы МЛТ, мощность 2 Вт, погрешность сопротивления $\pm 5\%$, номиналы: 4,7 Ом, 10 Ом, 22 Ом, 33 Ом, 47 Ом, 100 Ом, 220 Ом, 330 Ом, 470 Ом, 1 кОм, 2,2 кОм, 47 кОм;

2 – конденсаторы, тип К73-17, напряжением 63...100 В, номиналы: 0,22 мкФ, 0,47 мкФ, 1 мкФ, 4,4 мкФ, полярный 10 мкФ, полярный 100 мкФ;

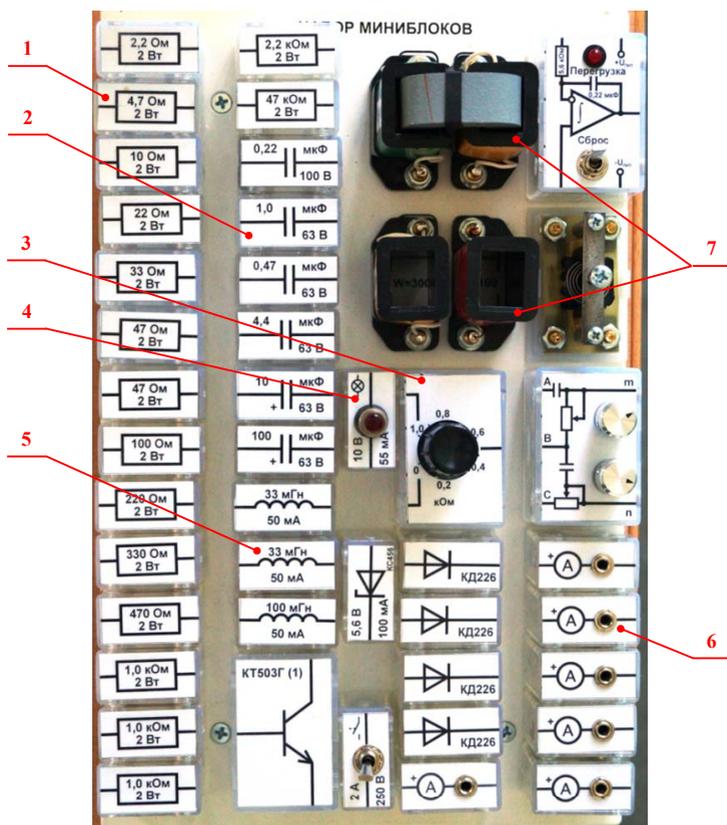


Рис. 5. Внешний вид набора миниблоков

3 – потенциометр, тип СП4-2М, номинал 1 кОм;

4 – лампа сигнальная СМН-10 55;

5 – индуктивности, ток 50 мА, номиналы: 33 мГн, 100 мГн;

6 – миниблоки «Амперметр» (6 шт.) позволяют подключать амперметр в различные ветви исследуемой электрической цепи без разборки схемы. Их устанавливают в наборную панель в тех местах схемы, где требуется измерить токи. В крышку миниблока встроено гнездо коаксиального разъёмного соединителя, а к амперметру подсоединяется кабель с соответствующим штырём;

7 – миниблок «Трансформатор». Трансформатор выполнен на разъёмном U-образном сердечнике из листовой электротехнической стали с толщиной листа 0,08 мм. Сечение сердечника

16×12 мм. На сердечнике установлены катушки 900 и 300 витков, и имеются две сменные катушки 300 и 100 витков. Катушки легко переставляются в ходе лабораторной работы. Номинальные параметры трансформаторов при частоте 50 Гц приведены в табл. 3.

Таблица 3

Номинальные параметры трансформаторов

W	$U_H, В$	$I_H, мА$	$R, Ом$	$S_H, В \cdot А$
100	2,33	600	0,9	1,4
300	7	200	4,8	1,4
900	21	66,7	37	1,4

Блок мультиметров (509.2.1)

Назначение

Блок мультиметров предназначен для измерения напряжений, токов, сопротивлений, а также для проверки диодов и транзисторов. Основные параметры блока отображены в табл. 4.

Таблица 4

Технические характеристики

Параметр блока	Значение параметра
Электропитание от однофазной сети переменного тока с нулевым и защитным проводниками: Напряжение, В Частота, Гц	220±22 50±0,5
Потребляемая мощность, В · А, не более	20
Тип мультиметра	UNI-T

Устройство и принцип действия

Конструктивно блок мультиметров выполнен в виде коробки с лицевой панелью и кожухом. На лицевой панели закреплены мультиметры, сетевой выключатель и держатели с предохранителями. На верхней боковой грани кожуха расположена вилка для присоединения шнура питания.

Внешний вид и порядок работы

Общий вид блока представлен на рис. 6. В нём установлены два серийно выпускаемых мультиметра МУ60. Подробная техническая информация о них и правила применения приводится в руководстве по эксплуатации изготовителя. В блоке установлен источник питания мультиметров от сети с выключателем и предохранителем на 1 А. На лицевую панель блока вынесены также четыре предохранителя защиты токовых цепей мультиметров.



Рис. 6. Общий вид блока мультиметров

Для обеспечения надёжной длительной работы мультиметров соблюдайте следующие правила:

- не превышайте допустимых перегрузочных значений, указанных в заводской инструкции для каждого рода работы;
- когда порядок измеряемой величины неизвестен, устанавливайте переключатель пределов измерения на наибольшую величину;
- перед тем, как повернуть переключатель для смены рода работы (не для изменения предела измерения!), отключайте щупы от проверяемой цепи;
- не измеряйте сопротивление в цепи, к которой подведено напряжение;
- не измеряйте ёмкость конденсаторов, не убедившись, что они разряжены;
- будьте внимательны при измерении тока мультиметрами МУ62 и МУ64. Предохранитель 0,2 А этих мультиметров может перегореть от источников напряжения, имеющихся в данном стенде. Мультиметр МУ60 защищён предохранителем 2 А, который не может перегореть от токов, создаваемых источниками данного стенда.

До подключения мультиметра к цепи необходимо выполнить следующие операции:

- выбор измеряемой величины: $-V$, $\sim V$, $-A$, $\sim A$ или Ω ;
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к исследуемой цепи.

Присоединение мультиметра как вольтметра, амперметра и омметра показано на рис. 7.

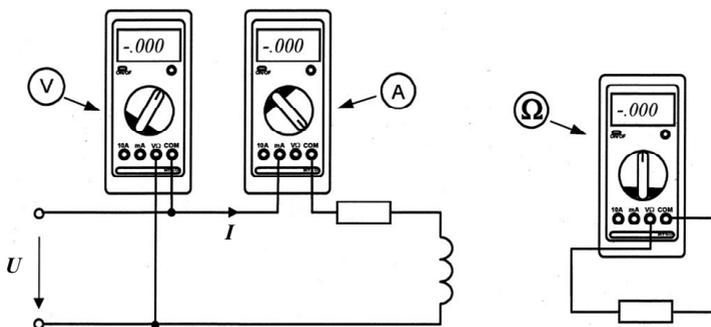


Рис. 7. Подключение мультиметра в электрическую цепь

Порядок работы:

- включите выключатель «СЕТЬ»;
- включите используемые в эксперименте мультиметры;
- с помощью переключателей мультиметров устанавливайте пределы и виды измеряемых параметров;
- отсчет показаний произведите с дисплеев мультиметров. Включите выключатель «СЕТЬ»;
- для выведения блока мультиметров из работы отключите выключатель «СЕТЬ».

Блок «ваттметр» (511)

Назначение

Предназначен для измерения активной мощности в цепях постоянного и переменного тока. Основные параметры блока отображены в табл. 5.

Таблица 5

Технические характеристики

Параметр блока	Значение параметра
Электропитание от однофазной сети переменного тока с нулевым и защитным проводниками: Напряжение, В Частота, Гц	220±22 50±0,5
Потребляемая мощность, В · А, не более	20
Пределы измерения: – напряжение (постоянное/переменное), В – ток (постоянный/переменный), А – частота тока/напряжения, Гц	0...5/50 0...0,04/0,4 0...20000
Пределы измерения активной мощности, Вт	0...20
Погрешность измерения, %, не более	±2,5

Устройство и принцип действия

Конструктивно ваттметр выполнен в виде коробки с лицевой панелью и кожухом. На лицевой панели нанесена электрическая мнемосхема соединений ваттметра и в соответствии с ней размещены гнезда для присоединения внешних устройств. На ней так-

же размещены LED-индикатор, выключатель сетевого питания, держатель с предохранителем, переключатели пределов измерения напряжения и тока, светодиоды, сигнализирующие о выходе напряжения и тока за пределы измерения.

Работа ваттметра основана на перемножении мгновенных значений тока и напряжения и отображении среднего значения этого произведения на LED-дисплее прибора в цифровом виде.

Внешний вид и порядок работы

Внешний вид блока представлен на рис. 8.

Порядок работы:

- включите прибор в электрическую цепь согласно приведённой на лицевой панели схеме. Для измерения активной мощности гнезда, помеченные символом «•», должны быть соединены перемычкой;
- включите выключатель «Сеть» и установите необходимые пределы измерения по току и по напряжению тумблерами;
- если выбран заниженный предел измерения, то включается сигнализация перегрузки $I >$ или (и) $U >$. Если, наоборот, предел превышен, то включается сигнализация $I <$ или (и) $U <$;
- отсчитайте показания на LED-индикаторе. Следует помнить, что справа от окошка цифровых индикаторов включаются автоматически светодиоды сигнализации размерности Вт или мВт;
- для выведения блока «ваттметр» из работы отключите выключатель «СЕТЬ».

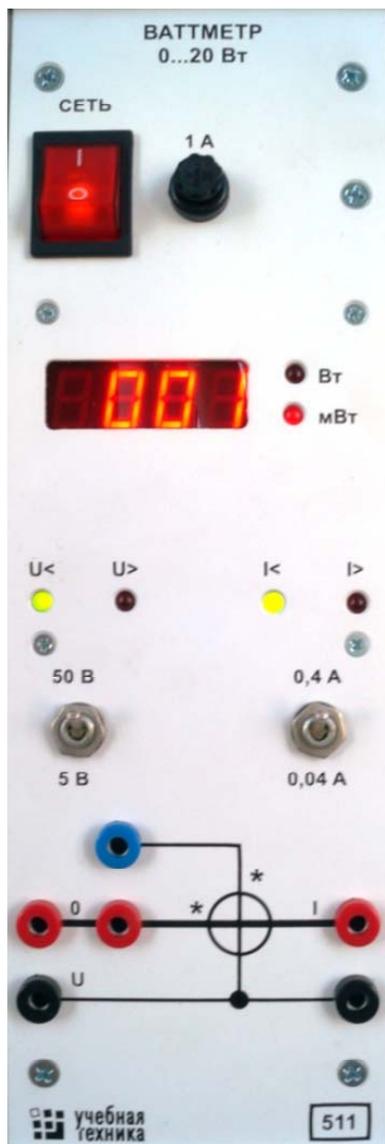


Рис. 8. Внешний вид блока «ваттметр»

Форма отчета по лабораторной работе

ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»
Институт энергетики и электротехники
Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

Отчет по лабораторной работе №

(название лабораторной работы)

Выполнил студент группы ____: _____

Проверил преподаватель: _____

Тольятти 20__

Цель работы —

Программа работы

- 1.
- 2.
- 3.
- ...

Описание лабораторной установки

Приводится электрическая схема исследуемой цепи (может быть одна или несколько), измеряемые величины, их метрологическое обеспечение, ссылки на нормативные источники и методические указания.

Расчетные и экспериментальные данные

Содержит таблицы с результатами индивидуального расчета и данные, полученные в ходе эксперимента.

Результаты эксперимента

Данный раздел включает в себя результаты обработки экспериментальных данных, сопровождаемые необходимыми расчетными формулами и таблицами, при необходимости строятся графики зависимостей, потенциальные и векторные диаграммы электрической цепи.

Выводы по работе

Выводы записываются по результатам экспериментов в соответствии с целью работы.