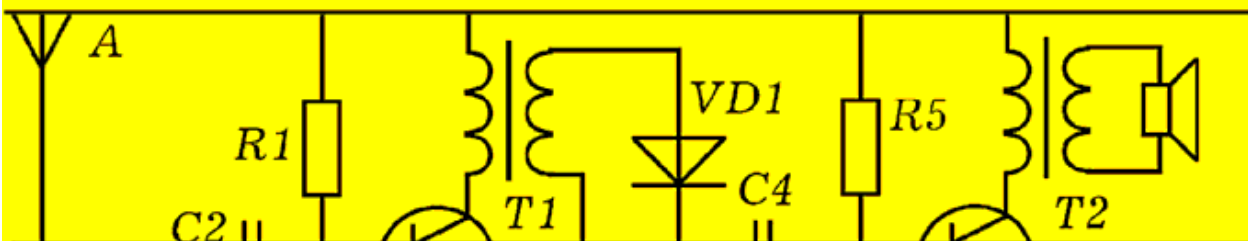
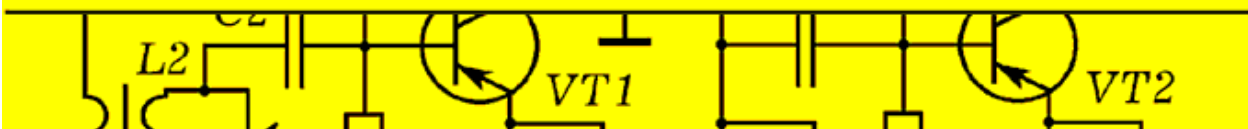


Майер Р.В., Кощев Г.В.



# УЧЕБНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ  
Глазовский инженерно–экономический институт (филиал)  
ГОУ ВПО "Ижевский государственный технический университет"  
ГОУ ВПО "Глазовский государственный педагогический институт  
имени В. Г. Короленко"

---

**Майер Р.В., Кощеев Г.В.**

**УЧЕБНЫЕ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ  
И ЭЛЕКТРОНИКЕ**

Глазов 2010

УДК 372.8  
ББК 31.2я73  
М14

Печатается по решению кафедры "Автоматизированные системы управления" Глазовского инженерно-экономического института (филиала) ГОУ ВПО ИжГТУ (протокол N 5 от 17.06.2010).

Авторы: Майер Роберт Валерьевич, Кощев Георгий Викторович.

Рецензенты:

В. А. Саранин, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики и дидактики физики ГОУ ВПО "Глазовский государственный педагогический институт".

А. С. Казаринов, доктор педагогических наук, профессор кафедры информатики ГОУ ВПО "Глазовский государственный педагогический институт".

---

**Майер, Р. В. Учебные экспериментальные исследования по электротехнике и электронике / Р. В. Майер, Г. В. Кощев; под ред. Р. В. Майера. — Глазов: ГИЭИ, 2010. — 72 с.**

---

В учебном пособии предложены задания для проведения экспериментальных исследований по электротехнике и электронике на лабораторных занятиях. Представлены следующие разделы: "Цепи постоянного тока", "Однофазные цепи переменного тока", "Трёхфазные цепи", "Электрические измерения", "Электрические машины и трансформаторы", "Основы аналоговой электроники", "Основы цифровой электроники". Предлагаемые задания исследовательского типа могут использоваться при изучении основ физики, электротехники и электроники в школе, техническом лицее и вузе. Предназначено для студентов и преподавателей вузов, учителей физики.

© ГИЭИ (филиал) ГОУ ВПО ИжГТУ, 2010

© Майер Р.В., Кощев Г.В., 2010

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из эффективных методов формирования творческих способностей студентов, развития интереса к процессу познания является исследовательский метод обучения. Он предполагает создание преподавателем проблемных ситуаций, формулировку задач, требующих от студентов самостоятельного творческого решения. Использование этого метода позволяет организовать поиск и применение знаний, овладеть некоторыми методами научного познания, повысить мотивацию, потребность в решении нестандартных задач, сформировать полноценные, хорошо осознанные знания, умения и навыки, способствует развитию творческого мышления.

Каждый человек рождается маленьким исследователем, желающим постичь законы природы. Поэтому исследовательское поведение является одной из форм взаимодействия живых существ с реальным миром, направленного на его познание. В его основе лежит потребность в поисковой активности, в познании окружающих явлений. Все это позволяет так организовать учебный процесс, что студенты будут последовательно решать нестандартные для них задачи, овладевая новыми знаниями и методами познания. Обучение приобретает проблемный характер, что приводит к повышению интереса, мотивации и творческой активности обучаемых.

Исследовательский метод обучения может быть использован на лабораторных занятиях по электротехнике и электронике. Практически все лабораторные работы связаны с возникновением и разрешением проблемной ситуации и требуют от студентов творческого подхода. Сложность экспериментальных заданий такова, что среднестатистический студент неизбежно испытает определенные трудности, связанные со сборкой электрической цепи, выполнением измерений, обработкой и анализом их результатов. В то же время выполняемые студентами эксперименты отличаются вариативностью, многообразием наблюдаемых явлений, высокой наукоемкостью.

Студент, придя в лабораторию, получает задание с помощью соответствующего оборудования изучить, допустим, трансформатор и снять зависимость его КПД от нагрузки. Как правило, этого бывает мало, — необходима инструкция или описание работы, содержащее более или менее подробные указания, что и как следует делать. Очень детальное описание действий часто только осложняет выполнение исследования. Студент должен, исходя из этих кратких описаний, понять суть проводимого исследования, собрать электрическую цепь, выполнить измерения, заполнить таблицы, обработать результаты, нарисовать графики, написать вывод.

Учебное пособие содержит описания 30 экспериментальных исследовательских заданий по электротехнике и электронике. В нем представлены следующие разделы: "Цепи постоянного тока", "Однофазные цепи переменного тока", "Трехфазные цепи", "Электрические измерения", "Электрические машины и трансформаторы", "Основы аналоговой электроники", "Основы цифровой электроники". Каждое задание содержит схему цепи, теоретические сведения, образцы таблиц и порядок выполнения работы.

На первом занятии следует разбить всех студентов на звенья по два человека. Желательно перед выполнением эксперимента проверить готовность студентов к его выполнению. Студент должен иметь отчетливое представление о цели проводимого им учебного исследования и ожидаемых результатах. Рекомендуется объяснить студентам алгоритм сборки электрических цепей: сначала собирают ветвь, соединяющую полюса источника, последовательно подключая амперметр, реостат, катушку индуктивности, конденсатор. После этого параллельно соответствующим участкам цепи подсоединяют вольтметры. Затем собирают вторую ветвь и т.д. Наибольшую сложность представляет собой включение ваттметра: токовая обмотка (клеммы  $I$  и  $*I$ ) включается последовательно с нагрузкой, а вольтовая (клеммы  $U$  и  $*U$ ) — параллельно (рис. 0).

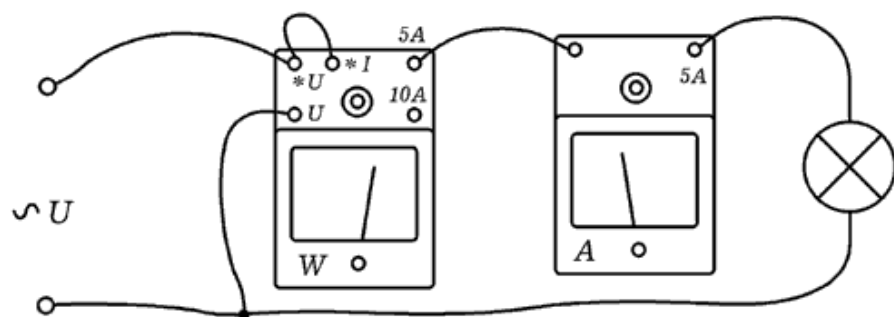


Рис. 0.

Для определения показаний стрелочного прибора необходимо число делений  $N$ , на которое отклонилась стрелка, умножить на цену деления  $C$ . Чтобы найти цену деления, предел измерения, например 5 А, делят на максимальное число делений, допустим, 100:  $C = 5/100 = 0,05$  А/дел. Цена деления ваттметра определяется так: предел измерения по напряжению, например 300 В, умножают на предел измерения по току 5 А и делят на максимальное число делений — 150:  $C = 300 \cdot 5/150 = 10$  Вт/дел.

Р. В. Майером осуществлена основная работа по подготовке пособия: создание текста, рисунков, а также верстка и редакторская правка. Г. В. Кощеев составил описания двух учебных исследований, выполнил эксперименты, внедрил рассматриваемую методику в учебный процесс Глазовского инженерно-экономического института.

Скажи мне, и я забуду.  
Покажи мне, и я запомню.  
Дай сделать мне, и я пойму.  
Сократ

## ПОЧУВСТВУЙ СЕБЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЕМ!

Вы приступаете к важному этапу изучения курса электротехники и электроники — к выполнению лабораторных работ. Не следует относиться к этим занятиям как к чему-то скучному и ненужному. Вашему вниманию будут предложены 10 – 20 экспериментальных заданий исследовательского характера, выполнение которых требует от Вас познавательной активности, творческого подхода, практических умений.

При выполнении учебных исследовательских заданий Вам предоставляется уникальная возможность почувствовать себя ученым-исследователем, например, Фарадеем, Омом, Кирхгофом ... Как и перечисленные выше ученые, Вы будете ставить проблему, планировать, а затем и выполнять эксперимент, анализировать результаты, доказывать справедливость теоретических положений, опровергать свои заблуждения. При этом Вам придется самостоятельно "добывать" знания, а не получать их в готовом виде от преподавателя или из учебника.

Выполняя экспериментальные исследовательские задания, следует понимать, что Вы проводите *свой* эксперимент и получаете *свои* уникальные результаты измерений. Они имеют такую же доказательную силу, как результаты исследований других людей, в том числе и известных ученых, изучавших электрические цепи, электротехнические устройства и электронные приборы. Факты, то есть результаты опытов, выраженные с помощью научных терминов, представляют собой ценность уже потому, что являются основой теории и критерием ее истинности. Как говорил великий русский ученый М. В. Ломоносов, "один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений, рожденных только воображением".

Представленные описания опытов не являются исчерпывающими и содержат некоторую неопределенность. В процессе выполнения исследовательских заданий Вам придется решать различные проблемы, связанные со сборкой цепи, подключением приборов, выполнением измерений, обработкой результатов. Проводя эксперимент, Вы как бы задаете вопросы природе и получаете на них ответ. В самом деле, а что произойдет, если подключить конденсатор к источнику постоянного напряжения? увеличить напряжение между базой и эмиттером транзистора? поменять направление тока в обмотке возбуждения

двигателя? Чтобы ответить на эти и другие вопросы, выполним эксперимент.

Понятно, что учебные исследования принципиально отличаются от научных тем, что они повторно "переоткрывают" известные истины. Необходимо сопоставлять результаты экспериментов с содержанием учебника и лекций, устанавливать ассоциативные связи, искать аналогии, пытаться объяснить наблюдаемые явления. Это позволит построить в своем сознании систему знаний, в которой теоретические положения подтверждаются экспериментальными фактами. Особую ценность представляют знания, связанные с практической деятельностью, которые можно проверить экспериментально и использовать для создания новых приборов и устройств.

Выполнение экспериментальных заданий, работа с различным электрооборудованием, проведение измерений позволяют сформировать в Вашем сознании наглядно-чувственный образ изучаемых явлений и объектов. Для более успешного усвоения теоретического материала следует целенаправленно формировать у себя образы объектов (трансформатора, счетчика электрической энергии, транзисторного усилителя, цифровой микросхемы) и процессов (трансформации переменного напряжения, вращения диска счетчика, увеличения амплитуды сигнала, генерации прямоугольных импульсов). Если Вы изучаете машину постоянного тока, так внимательно рассмотрите устройство статора, ротора, коллектора, щеток и т.д. Желательно одновременно с этим полистать учебник, — все это облегчит Вашу подготовку к экзамену.

В результате выполнения исследовательских заданий Вы должны: 1) экспериментально подтвердить правильность теоретических знаний; 2) связать теоретические знания, получаемые на лекциях, с экспериментами, выполняемыми в лаборатории; 3) получить практические навыки по сборке электрических схем и работе с электрооборудованием; 4) научиться снимать показания электроизмерительных приборов, обрабатывать полученные данные и на их основе делать выводы о характере исследуемых процессов; 5) на основе составления отчетов по лабораторным работам получить навыки оформления электротехнической документации.

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

1. При работе в лаборатории запрещается приносить с собой вещи и предметы, загромождающие рабочие места, громко разговаривать

и переходить от одного стола к другому.

2. Приступая к лабораторным работам, студенческая группа делится на звенья по 2 человека, переход из одного звена в другое не допускается.

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

4. Включение электрической цепи производится только после ее проверки преподавателем.

5. Запрещается касаться токоведущих частей приборов, оголенных проводников, если схема находится под напряжением.

6. При обнаружении неисправностей в электрической цепи, повреждений электрического оборудования или приборов, а также при появлении дыма, специфического запаха или искрения необходимо немедленно выключить напряжение питания стола и известить об этом преподавателя.

7. Переключения и исправления в собранной электрической цепи следует производить только при отключенном напряжении питания.

8. При получении механической, тепловой или электрической травмы следует оказать пострадавшему первую помощь и при необходимости вызвать врача по телефону 03. При возникновении пожара следует эвакуироваться из лаборатории и вызвать пожарную охрану по телефону 01.

9. После выполнения лабораторной работы необходимо выключить напряжение питания стола, разобрать исследуемую электрическую цепь и привести в порядок рабочее место, задвинуть стулья.

Следует помнить, что тело человека является хорошим проводником. На исход воздействия тока на организм человека влияют его величина, длительность протекания, путь прохождения, а также сопротивление человеческого тела. Различают следующие предельные значения переменного тока частотой 50 Гц при протекании по пути рука–рука: 1) осязаемый ток (0,6–1,5 мА): легкое покалывание и слабый зуд; 2) неотпускающий ток (10–15 мА): пострадавший чувствует непереносимую боль, не может разжать руку с проводом; 3) фибрилляционный ток (более 100 мА): частые сокращения волокон сердечной мышцы, что может привести к смерти. Напряжение, превышающее 42 В, является опасным для жизни!

**Рекомендации по выполнению исследовательских заданий.** Перед выполнением лабораторного исследования студент должен: 1) изучить теоретический материал по соответствующему вопросу; 2) ознакомиться с порядком выполнения эксперимента и установить, в



чем состоит его основная цель и задача; 3) подготовить в рабочей тетради соответствующие схемы, таблицы и расчетные формулы.

Успешное выполнение лабораторных работ может быть достигнуто лишь в случае, когда экспериментатор отчетливо представляет себе цель опыта и ожидаемые результаты. В начале каждого занятия преподаватель проверяет готовность студентов к выполнению лабораторной работы. По результатам этой проверки делается заключение, имеет ли учащийся отчетливое представление о цели эксперимента и характере ожидаемых результатов. Если подготовка к лабораторной работе признается удовлетворительной (непрерывное условие эффективности проведения опытов), то учащийся получает допуск к выполнению.

Каждый студент должен участвовать в сборке схемы, проведении измерений и математической обработке результатов. Ситуация, когда один студент выполняет все измерения, а другой занимается заполнением таблиц и оформлением отчета, является неприемлимой. Результаты проведенного исследования оформляются в виде отчета в рабочей тетради или на отдельных листах бумаги. Отчет должен содержать: 1) название и номер учебного исследования; 2) цель исследования; 3) принципиальную схему электрической цепи в соответствии с ГОСТом; 4) таблицу результатов измерений; 5) примеры вычислений каждой величины; 6) графики изучаемых зависимостей; 7) векторные диаграммы (если необходимо); 8) вывод с анализом результатов исследования.

Перед построением графиков и векторных диаграмм следует выбрать удобный масштаб так, чтобы они вместились на странице и в то же время не были бы слишком мелкими. Для напряжения и тока следует использовать разные масштабы (например, 1 см — 10 В, 2 см — 1 А). Рядом с осями координат следует написать обозначения величин и указать единицы измерения. Схемы, графики и векторные диаграммы вычерчиваются карандашом и по линейке.

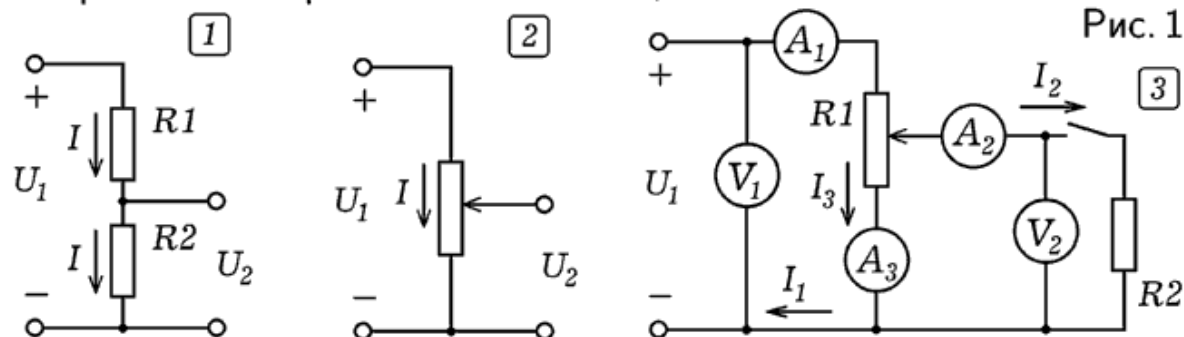
Представленные исследовательские задания более десяти лет использовались Майером Р.В. и Кошечевым Г.В. на лабораторных занятиях по электротехнике и электронике в Глазовском филиале Ижевского технического университета (специальности 230102 — автоматизированные системы обработки информации и управления; 151001 — технология машиностроения). Содержание пособия соответствует действующему образовательному стандарту и включает лабораторные работы по всем разделам курса. Предлагаемая методика также была внедрена в учебный процесс Глазовского государственного педагогического института и применялась на занятиях спецкурса "Школьный физический практикум по электродинамике".

# = Исследование 1 = ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

## ТЕОРИЯ

Делитель напряжения представляет собой два резистора с сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$  (рис. 1.1). При подаче напряжения  $U_1$  на вход делителя его выходное напряжение в режиме холостого хода будет равно  $U_2 = U_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ . Регулируемый делитель напряжения (или потенциометр) представляет собой реостат, включенный по схеме, приведенной на рис. 1.2. Выходное напряжение зависит от положения подвижного контакта реостата.

Для изучения работы делителя напряжения используется схема, изображенная на рис. 1.3. На вход делителя подают некоторое напряжение  $U_1$ , измеряемое вольтметром  $V_1$ , а к выходу подключают вольтметр  $V_2$ , измеряющий напряжение  $U_2$ . Амперметры позволяют измерить токи в различных ветвях цепи.



## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Соберите цепь (рис. 1.3), покажите ее преподавателю.
2. Включите цепь, подайте напряжение  $U_1$  10 – 15 В. Отключите нагрузочный резистор  $R_2$  (холостой ход).
3. С помощью линейки измерьте длину катушки реостата  $L$  и разделите ее на 5 частей. Перемещая подвижный контакт реостата в точки с координатами  $0, L/5, 2L/5, 3L/5, 4L/5, L$ , запишите показания приборов в табл. 1.1. Так как  $R_2$  бесконечно велико, то  $I_2 = 0$ .

Таблица 1.1

$N$	$U_1$	$x$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$U_2$	$R_2$
1		0					
2		$0,2L$					
...	...	...	...	...	...	...	...
6		$L$					

4. Подключите нагрузочный реостат  $R_2$  и повторите измерения, занося результаты в другую таблицу, аналогичную табл. 1.1.

5. Снимите внешнюю характеристику делителя напряжения. Для этого проведите серию измерений при различных значениях сопротивления нагрузочного резистора  $R_2$ . Намотку реостата  $R_2$  разделите на 5 частей и перемещайте подвижный контакт реостата в точки с координатами  $0, L/5, 2L/5, 3L/5, 4L/5, L$ . Показания приборов запишите в третью таблицу, аналогичную табл. 1.1.

6. Постройте графики зависимости выходного напряжения  $U_2$  и токов  $I_1, I_2, I_3$  от координаты  $x$  движка потенциометра ( $U_2 = f(x), I_1 = f(x), I_2 = f(x), I_3 = f(x)$ ) для случаев, когда  $R_2$  бесконечно велико (холостой ход) и  $R_2$  конечно (рабочий режим).

7. Постройте внешнюю характеристику делителя напряжения, то есть зависимость выходного напряжения  $U_2$  от тока через нагрузку  $I_2 : U_2 = f(I_2)$ .

8. В выводе охарактеризуйте и объясните получившиеся графики.

## = Исследование 2 = СЛОЖНЫЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

### ТЕОРИЯ

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из трех ветвей с двумя источниками постоянной ЭДС в разных ветвях (рис. 2.2). Из закона Ома для участка цепи, содержащего ЭДС, получаем:

$$I = \frac{E - (\varphi_a - \varphi_b)}{R} = \frac{E - U_{ab}}{R},$$

где  $U_{ab}$  — напряжение между концами ветви  $a$  и  $b$  (рис. 2.1).

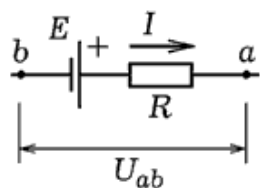
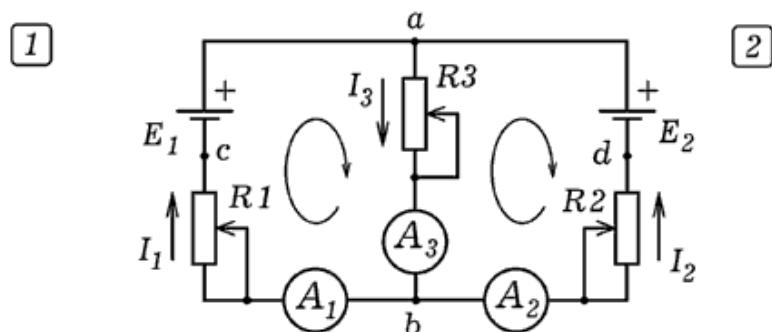


Рис. 2



По первому закону Кирхгофа, алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю. Иными словами, сумма токов, втекающих в узел  $a$  (или  $b$ ), равна сумме токов, вытекающих из узла:

$$I_1 + I_2 = I_3.$$

По второму закону Кирхгофа, алгебраическая сумма ЭДС, действующих в замкнутом контуре, равна алгебраической сумме падений напряжения на всех элементах контура:

$$E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3, \quad -E_2 = -I_2 R_2 - I_3 R_3.$$

Из законов Кирхгофа следует:

$$I_1 = \frac{E_1 - I_3 R_3}{R_1}, \quad I_2 = \frac{E_2 - I_3 R_3}{R_2}, \quad \frac{E_1 - I_3 R_3}{R_1} + \frac{E_2 - I_3 R_3}{R_2} = I_3,$$

Это позволяет определить ток  $I_3$  :

$$I_3 = \frac{E_1/R_1 + E_2/R_2}{1 + R_3/R_1 + R_3/R_2}.$$

Зная  $I_3$ , можно найти токи  $I_1$  и  $I_2$ .

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Соберите цепь, представленную на рис. 2.2. Источники питания подключите после проверки цепи преподавателем.

2. С помощью вольтметра измерьте ЭДС источников  $E_1$  и  $E_2$  в режиме холостого хода, а также напряжения на резисторах (вместе с амперметрами)  $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$ ,  $U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c$ ,  $U_{bd} = \varphi_b - \varphi_d$ .

3. Измерьте силу тока в ветвях  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  и определите их направления. Результаты запишите в табл. 2.1.

Таблица 2.1

$N$	$E_1$	$E_2$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{bd}$	$R_1$	$R_2$	$R_3$
1											
2											
3											

4. Зная напряжение и силу тока, вычислите сопротивления резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .

5. Рассчитайте силу тока в каждой ветви по закону Ома:  $I'_i = (E_i - U_{ab})/R_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ . Сравните  $I'_1$ ,  $I'_2$ ,  $I'_3$  с  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ .

Таблица 2.2

$N$	$I'_1$	$I'_2$	$I'_3$	$I_1 + I_2 - I_3$	$I_1 R_1 + I_3 R_3$	$I_2 R_2 + I_3 R_3$
1						
2						
3						

6. Убедитесь в справедливости первого закона Кирхгофа. Для этого вычислите алгебраическую сумму токов  $I_1 + I_2 - I_3$  (она должна быть близка к нулю).

7. Вычислите суммы падений напряжения на элементах контуров  $I_1 R_1 + I_3 R_3$ ,  $I_2 R_2 + I_3 R_3$  и сравните их с величинами ЭДС  $E_1$  и  $E_2$ . Результаты запишите в табл. 2.2.

8. Выполните эти измерения и вычисления три раза при различных сопротивлениях резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .

9. В выводе проанализируйте получившиеся результаты, отметьте, удалось ли подтвердить закон Ома и законы Кирхгофа.

### = Исследование 3 = ДИАГНОСТИКА "ЧЕРНЫХ ЯЩИКОВ"

#### ТЕОРИЯ

Представьте себе, что Вы завладели космическим кораблем какой-то высокоразвитой цивилизации. Перед Вами лежит один его модуль — "черный ящик" с четырьмя выводами. Внутри него находится электрическая цепь, состоящая из проводника, резистора, конденсатора и диода, причем используется всего три элемента из перечисленных четырех. У Вас имеется омметр, собранный из источника постоянного напряжения, реостата и амперметра (рис. 3.1). Как с его помощью установить электрическую схему "черного ящика"?

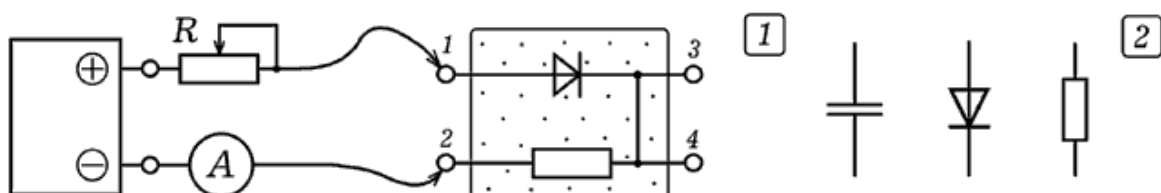


Рис. 3

Допустим, щупы омметра замкнули накоротко, — амперметр покажет ток  $I_0 = U/R$ , где  $U$  — напряжение на полюсах источника. Если коснуться щупами резистора  $r$  (рис. 3.2), то ток через амперметр станет равным  $I = U/(R+r)$ , это позволяет определить  $r$ . Если к омметру подключить диод в прямом направлении (анод — к плюсу источника), то через амперметр потечет ток, так как сопротивление диода мало. При обратном включении диода его сопротивление велико, ток равен нулю.

При подключении к омметру конденсатора достаточно большой емкости по цепи потечет ток заряда, который сначала достигнет максимальной величины  $i(0) = U/R$ , а затем по мере увеличения напряжения на обкладках конденсатора будет уменьшаться по экспоненте. Если электролитический конденсатор включить в обратном направлении (плюсом — к минусу источника), то он ведет себя как высокоомный резистор.

#### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Из источника постоянного напряжения, реостата и амперметра соберите омметр (рис. 3.1). Регулируя напряжение питания и сопротивление реостата, добейтесь того, чтобы при замыкании щупов

омметра стрелка амперметра отклонялась в правую часть шкалы. Вычислите сопротивление реостата по формуле  $R = U/I_0$ .

2. Подключите к омметру резистор (рис. 3.2), сопротивление  $r$  которого сравнимо с сопротивлением реостата  $R$ . Измерьте ток  $I$  и вычислите сопротивление резистора из закона Ома:  $I = U/(R + r)$ .

3. Коснитесь щупами омметра полупроводникового диода. Убедитесь, что диод хорошо пропускает ток в прямом направлении (анод — к плюсу) и практически не пропускает в обратном (анод — к минусу).

4. Подключите к омметру электролитический конденсатор емкостью 100 мкФ (плюс конденсатора к плюсу источника). Через амперметр потечет ток заряда: его стрелка резко отклонится вправо, затем медленно вернется к нулю. Разрядите конденсатор и повторите опыт еще раз. А что наблюдается, если плюс конденсатора подключить к минусу источника?

Таблица 3.1

$N$	Соединения щупов омметра и "черного ящика"	Показания омметра
1	"-" омметра ==> 1 вывод; "+" омметра ==> 2 вывод	Стрелка резко отклонилась вправо и медленно вернулась к нулю.
2	"-" омметра ==> 2 вывод; "+" омметра ==> 3 вывод	Стрелка прибора показывает ноль.
всего 12 опытов		

5. Подключая омметр к различным выводам "черного ящика", запишите показания прибора в табл. 3.1. Восстановите принципиальную схему "черного ящика", исходя из того, что она состоит не более чем из трех элементов, которыми могут быть проводник, резистор, диод или конденсатор. Если в "черном ящике" имеется резистор, определите его сопротивление.

6. Повторите эти опыты с другими "черными ящиками".

## = Исследование 4 = ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА

### ТЕОРИЯ

Конденсатор представляет собой две металлические пластины, разделенные слоем диэлектрика. При подключении к источнику постоянного напряжения  $U$  он накапливает заряд  $q$ . Электрической емкостью конденсатора называется величина  $C = q/U$ . Емкость плоского конденсатора пропорциональна площади пластин  $S$  и обратно пропорциональна расстоянию  $d$  между ними:  $C = \varepsilon\varepsilon_0 S/d$ , где  $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость среды между пластинами,  $\varepsilon_0 =$

$8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м. Зная емкость  $C$ , площадь пластин  $S$  и расстояние  $d$  между ними, можно определить  $\varepsilon$ .

Один из способов измерения емкости состоит в определении силы тока  $I$ , протекающего через конденсатор при подаче на него переменного напряжения  $U$  известной частоты  $f$ . Емкостное сопротивление равно  $X_C = U/I = 1/(\omega C)$ , где  $\omega = 2\pi f$ . Отсюда выражают  $C$  и находят  $\varepsilon$ . Если измерить емкость воздушного конденсатора  $C_0$  и емкость конденсатора с диэлектриком  $C_X$ , имеющего те же размеры ( $S$  и  $d$ ), то это позволит вычислить диэлектрическую проницаемость среды из формулы:  $C_X/C_0 = \varepsilon/1$  (для воздуха  $\varepsilon = 1$ ).

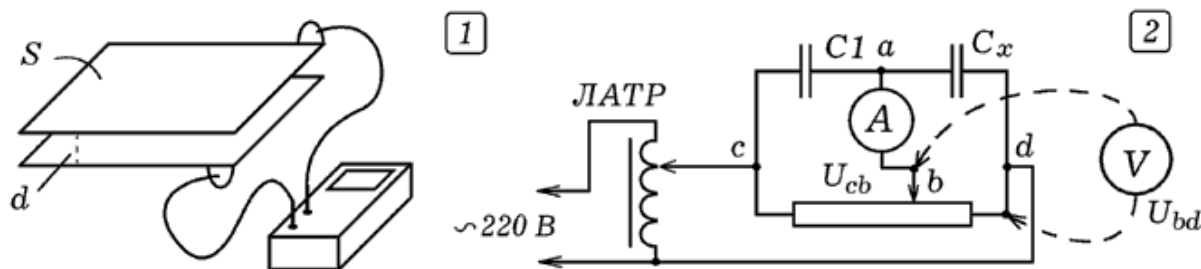


Рис. 4

Определить емкость конденсатора можно с помощью измерительного моста, схема которого приведена на рис. 4.2. Принцип измерения основан на взаимной компенсации сопротивлений двух звеньев, одно из которых включает измеряемую емкость  $C_X$ . В качестве индикатора обычно используется чувствительный амперметр, показания которого при равновесии моста должны быть равны нулю. Ток через амперметр равен нулю, когда потенциалы точек  $a$  и  $b$  равны. Это происходит при условии  $X_{C1}/X_{Cx} = R_{cb}/R_{bd} = U_{cb}/U_{bd} = L_{cb}/L_{bd}$ ,  $L_{cb}$  и  $L_{bd}$  — длины рабочих частей реостата. Так как емкостное сопротивление  $X_C = 1/\omega C$ , то  $C_X/C_1 = U_{cb}/U_{bd}$ . Отношение резистивных сопротивлений (длин рабочих частей реостата  $L_{cb}$  и  $L_{bd}$ ) плеч моста равно отношению емкостей конденсаторов  $C_X$  и  $C_1$ .

#### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Измерьте с помощью микрометра или штангенциркуля толщину пластины или листа диэлектрика. При необходимости сложите несколько листов вместе.

2. Поместите лист диэлектрика в измерительный конденсатор, плотно зафиксировав верхнюю обкладку. При сборке конденсатора обратите внимание на то, чтобы цветные метки на торцах верхней и нижней частей конденсатора были совмещены.

3. Переключите мультиметр в режим измерения емкости и подключите его к обкладкам конденсатора (рис. 4.1). Выполните три измерения емкости при известной толщине диэлектрика  $d$ , каждый раз незначительно (на 2–3 мм) смещая его относительно обкладок.

4. Повторите измерения для других листов и пластин диэлектрика, а также для воздушного конденсатора.

5. Для каждого листа диэлектрика вычислите среднее значение емкости  $C_{CP}$  и найдите диэлектрическую проницаемость. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 4.1.

6. Поместите в конденсатор пластину из оргстекла толщиной  $d$  и измерьте его емкость  $C_X$ . Удалите пластину и установите то же расстояние  $d$  между обкладками получившегося воздушного конденсатора. Измерьте его емкость  $C_0$ . Вычислите диэлектрическую проницаемость пластины:  $\varepsilon = C_X/C_0$ .

7. Соберите мостовую схему для измерения емкости  $C_X$  исследуемого конденсатора (рис. 4.2.). Передвигая движок реостата, переведите мост в равновесие так, чтобы амперметр показывал ноль. Измерьте длины резистивных плеч моста  $L_1$  и  $L_2$  и напряжения  $U_{cb}$  и  $U_{bd}$ . Зная емкость  $C_1$ , вычислите емкость  $C_X$  из формулы  $C_X/C_1 = U_{cb}/U_{bd} = L_{cb}/L_{bd}$ . Самостоятельно создайте таблицу экспериментальных результатов и заполните ее.

Таблица 4.1

$N$	$d$	$S$	$C_{X1}$	$C_{X2}$	$C_{X3}$	$C_{CP}$	$\varepsilon$
1							
2							
3							

8. Повторите измерения с другим конденсатором.

9. Определите емкость двух конденсаторов  $C'$  и  $C''$ , соединенных параллельно. Убедитесь в том, что она равна  $C = C' + C''$ .

10. Измерьте емкость двух конденсаторов  $C'$  и  $C''$ , соединенных последовательно. Проверьте формулу:  $1/C = 1/C' + 1/C''$ .

11. В выводе объясните результаты опытов, сравните получившиеся значения диэлектрической проницаемости среды с табличными.

## = Исследование 5 = ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ R, L, C – ЭЛЕМЕНТОВ

### ТЕОРИЯ

Пусть к источнику переменного напряжения подключены последовательно соединенные резистор  $R$  и катушка индуктивности  $L$  (рис. 5.1). Измеряя напряжение  $U$  на клеммах источника, напряжения  $U_R$  и  $U_L$  на активном и индуктивном сопротивлениях и ток  $I$ , можно рассчитать полное сопротивление цепи  $Z$ , активное сопротивление резистора  $R$ , активное сопротивление всей цепи  $R' = R + r_L$ ,



индуктивное сопротивление  $X_L$ , индуктивность  $L$ , сдвиг фаз  $\varphi$  по следующим формулам:

$$Z = \frac{U}{I}, \quad R = \frac{U_R}{I} = Z \cos \varphi, \quad X_L = \frac{U_L}{I} = Z \sin \varphi, \quad \varphi = \arctg \frac{X_L}{R}.$$

Активная, реактивная и полная мощности определяются так:

$$P = UI \cos \varphi, \quad Q = UI \sin \varphi, \quad S = UI.$$

Величины  $S$ ,  $P$  и  $Q$  (а также  $Z$ ,  $R$ ,  $X$  или  $U$ ,  $U_R$ ,  $U_L$ ) соотносятся как гипотенуза и катеты прямоугольного треугольника (рис. 5.2 и 5.3), который называется треугольником мощностей (сопротивлений или напряжений). Вычисленное значение активной мощности  $P$  должно совпасть показаниями ваттметра  $P_W$ .

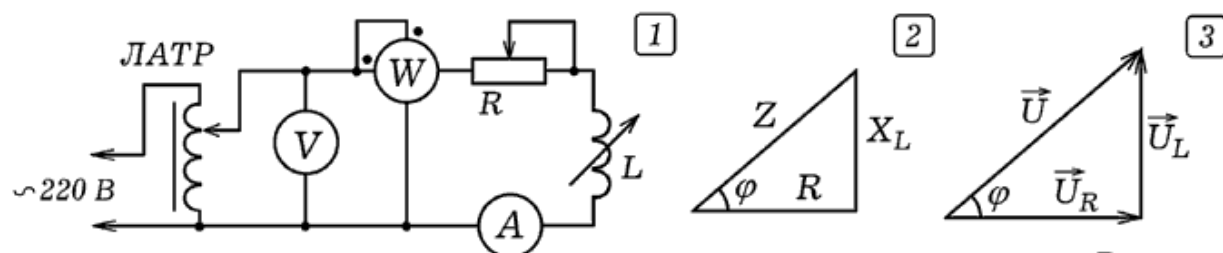


Рис. 5

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Соберите цепь, для этого последовательно соедините токовую обмотку ваттметра, реостат и катушку индуктивности и подключите все это к ЛАТРу. Затем параллельно клеммам ЛАТРа подсоедините вольтметр и вольтную обмотку ваттметра.

2. Подайте напряжение 60 – 75 В. С помощью дополнительного вольтметра измерьте напряжение на резисторе  $U_R$  и на катушке индуктивности  $U_L$ . Повторите измерения, передвинув движок реостата и сняв катушку индуктивности с сердечника. Результаты измерений запишите в табл. 5.1.

Таблица 5.1

$N$	$U$	$I$	$P_W$	$U_R$	$U_L$	$Z$	$R'$	$X_L$	$L$	$\varphi$	$S$	$Q$	$P$
1													
2													
3													

3. Вычислите полное сопротивление цепи  $Z$ , активное сопротивление резистора  $R$ , активное сопротивление всей цепи  $R' = R + r_L$ , индуктивное сопротивление  $X_L$ , сдвиг фаз  $\varphi$ , полную  $S$ , активную  $P$  и реактивную  $Q$  мощности. Убедитесь в том, что вычисленные значения  $P$  совпадают с показаниями ваттметра  $P_W$ . Постройте векторную диаграмму, треугольники сопротивлений и мощностей.

4. Вместо катушки индуктивности включите батарею конденсаторов. Выполните три опыта при различных сопротивлениях реостата и емкостях конденсатора. Показания приборов запишите в таблицу, аналогичную табл. 5.1.

5. Как и в предыдущем случае, рассчитайте недостающие величины и заполните всю таблицу. Убедитесь в равенстве вычисленных значений  $P$  и показаний ваттметра  $P_W$ . Постройте векторную диаграмму, треугольники сопротивлений и мощностей.

6. Соберите цепь из последовательно соединенных резистора, конденсатора и катушки индуктивности. Самостоятельно нарисуйте таблицу, содержащую следующие столбцы: напряжение питания  $U$ , сила тока  $I$ , активная мощность  $P_W$ , измеренная ваттметром, напряжения  $U_R$ ,  $U_C$ ,  $U_L$  на резисторе, конденсаторе и катушке индуктивности, полное сопротивление цепи  $Z$ , активное, емкостное и индуктивное сопротивления  $R$ ,  $X_C$ ,  $X_L$ , сдвиг фаз  $\varphi$ , активная, реактивная и полная мощности  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ .

7. Выполните три опыта при различных параметрах цепи  $R$ ,  $L$  и  $C$ , результаты запишите в таблицу. Сравните  $P_W$  и  $P$ , постройте векторную диаграмму, треугольники сопротивлений и мощностей.

8. В выводе проанализируйте результаты экспериментов.

## = Исследование 6 = РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

### ТЕОРИЯ

Последовательно соединенные резистор  $R$ , конденсатор  $C$  ( $\dot{X}_C = -j/\omega C$ ), катушка индуктивности  $L$  ( $\dot{X}_L = j\omega L$ ) образуют последовательный колебательный контур (рис. 6.1). При последовательном соединении комплексы сопротивлений складываются, поэтому импеданс контура равен:

$$\dot{Z} = R + j(\omega L - 1/\omega C) = Ze^{j\varphi},$$

где полное сопротивление цепи и сдвиг фаз между колебаниями тока и напряжения равны:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}.$$

Действующее значение тока зависит от частоты приложенного напряжения:

$$I(\omega) = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/(\omega C))^2}}.$$

Векторная диаграмма строится так (рис. 6.2): откладывается вектор тока  $\vec{I}$ , параллельно ему строится вектор напряжения на резисторе  $\vec{U}_R$ , под прямым углом откладываются вектора напряжений на катушке индуктивности  $\vec{U}_L$  и на конденсаторе  $\vec{U}_C$ . Общее напряжение равно  $\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$ .

На частоте  $\omega$ , равной  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ , наступает резонанс напряжений, — такой режим работы цепи, при котором емкость и индуктивность оказывают равные сопротивления переменному току ( $\omega_0 L = 1/\omega_0 C$ ) и напряжение на конденсаторе  $U_C$  равно по величине напряжению на катушке  $U_L$ . При этом емкость и индуктивность компенсируют друг друга, цепь ведет себя как чисто активная нагрузка сопротивлением  $Z_0 = R$ , ток достигает максимума  $I_0 = U/R$  и колеблется в фазе с напряжением питания ( $\varphi = 0$ ).

При  $\omega < \omega_0$  индуктивное сопротивление меньше емкостного ( $X_L < X_C$ ), напряжение на катушке индуктивности меньше, чем на конденсаторе ( $U_L < U_C$ ), цепь представляет собой активно-емкостную нагрузку, колебания тока опережают колебания напряжения  $-\pi/2 < \varphi < 0$ . При  $\omega > \omega_0$  индуктивное сопротивление больше емкостного ( $X_L > X_C$ ), напряжение на катушке индуктивности превышает напряжение на конденсаторе ( $U_L > U_C$ ), цепь представляет собой активно-индуктивную нагрузку, колебания тока отстают от колебаний напряжения ( $0 < \varphi < \pi/2$ ).

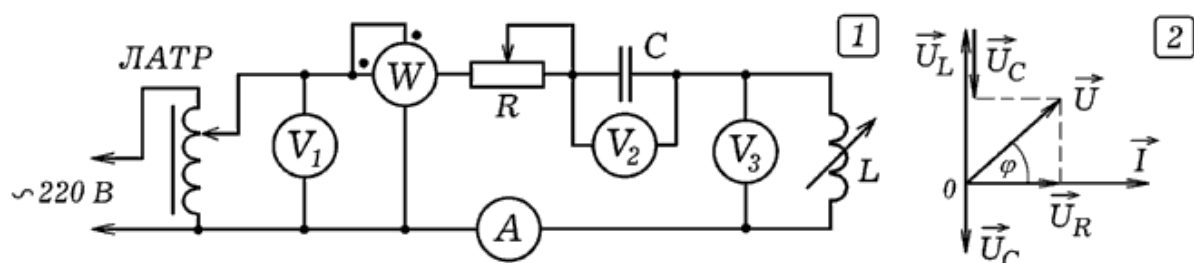


Рис. 6

Чтобы пронаблюдать резонанс напряжений, достаточно плавно уменьшать индуктивное сопротивление катушки, снимая ее с сердечника. Когда  $X_L$  станет равной  $X_C$ , наступит резонанс напряжений: ток достигнет максимума, а напряжения  $U_L$  и  $U_C$  будут равны. Реальная катушка индуктивности имеет полное сопротивление  $Z_L = \sqrt{r^2 + X_L^2} = U_L/I$ , где  $r$  и  $X_L$  — активное и индуктивное сопротивления обмотки. Отсюда  $X_L = \sqrt{Z_L^2 - r^2}$ . В нашем случае активное сопротивление обмотки много меньше индуктивного. Добротность последовательного колебательного контура равна отношению

реактивного сопротивления катушки индуктивности или конденсатора на резонансной частоте к активному сопротивлению резистора:  
 $Q = X_{L0}/R = X_{C0}/R$ .

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. К ЛАТРу последовательно подсоедините токовую обмотку ваттметра, амперметр, реостат, катушку индуктивности, конденсатор (рис. 6.1). Параллельно клеммам ЛАТРа включите вольтметр и вольттовую обмотку ваттметра. Еще два вольтметра присоедините параллельно катушке и конденсатору.

2. Включите цепь и, плавно снимая катушку индуктивности с сердечника, наблюдайте резонанс напряжений: ток достигает максимума,  $U_C = U_L$ . Подберите емкость конденсатора так, чтобы резонанс наступал при среднем положении катушки индуктивности.

3. Уменьшите сопротивление реостата до нуля. Проведите 15 измерений: 7 опытов до резонанса ( $X_L > X_C$ ), 7 опытов после резонанса ( $X_L < X_C$ ) и 1 опыт при резонансе  $X_L = X_C$ . Результаты занесите в табл. 6.1.

Таблица 6.1

$N$	$U$	$I$	$U_R$	$U_L$	$U_C$	$P$	$R$	$S$	$X_C$	$X_L$	$\cos \varphi$	$\varphi$
1												
2												
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
15												

4. Увеличьте сопротивление реостата и повторите 15 измерений, заполнив таблицу аналогичную табл. 6.1.

5. Рассчитайте  $S$ ,  $X_C$ ,  $X_L$ ,  $\cos \varphi$ ,  $\varphi$  для каждого опыта и запишите результаты в таблицу.

6. На двух координатных плоскостях постройте графики зависимости тока  $I = f(X_L)$ , напряжения на катушке индуктивности  $U_L = f(X_L)$ , напряжения на конденсаторе  $U_C = f(X_L)$ , активной мощности  $P = f(X_L)$ , полной мощности  $S = f(X_L)$ , сдвига фаз  $\varphi = f(X_L)$  от индуктивного сопротивления катушки  $X_L$  для обоих случаев.

7. Вычислите добротность колебательного контура в каждом опыте. По результатам измерений постройте векторные диаграммы.

8. В выводе охарактеризуйте и объясните результаты. Почему сумма действующих значений напряжений на всех элементах колебательного контура не равна напряжению питания? Как изменяется сдвиг фаз  $\varphi$  при монотонном увеличении  $X_L$ ?

**ТЕОРИЯ**

Параллельно соединенные резистор  $R$ , конденсатор  $C$  ( $\dot{X}_C = -j/\omega C$ ), катушка индуктивности  $L$  ( $\dot{X}_L = j\omega L$ ) образуют параллельный колебательный контур (рис.7.1). При параллельном соединении комплексы проводимостей складываются, поэтому проводимость цепи и общий ток равны:

$$\dot{Y} = Y_R + \dot{Y}_C + \dot{Y}_L = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) = Y e^{j\varphi}, \quad \dot{I} = \dot{Y}\dot{U}.$$

Для расчета цепи используются следующие формулы:

$$X_C = 1/\omega C, \quad X_L = \omega L, \quad I_R = U/R, \quad I_C = U/X_C, \quad I_L = U/X_L,$$

$$Y = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{1/X_C - 1/X_L}{1/R}, \quad I = UY,$$

$$S = UI, \quad P = UI \cos \varphi, \quad Q = UI \sin \varphi.$$

Векторная диаграмма строится так (рис.7.2): откладывается вектор напряжения  $\vec{U}$ , параллельно ему строится вектор тока через резистор  $\vec{I}_R$ , под прямым углом откладываются вектора токов через катушку индуктивности  $\vec{I}_L$  и конденсатор  $\vec{I}_C$ . Вектор тока в неразветвленной части цепи  $\vec{I} = \vec{I}_R + \vec{I}_L + \vec{I}_C$ .

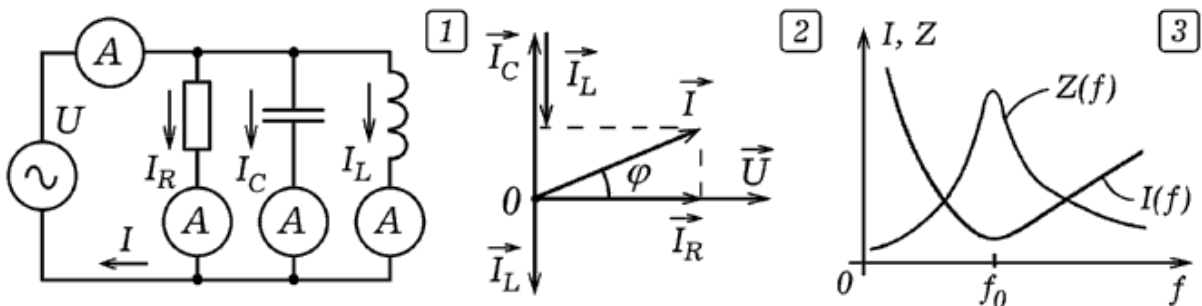


Рис. 7

На частоте  $\omega$ , равной  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ , наступает резонанс токов, — режим работы цепи, при котором конденсатор и катушка оказывают равные сопротивления переменному току ( $\omega_0 L = 1/\omega_0 C$ ) и токи через конденсатор  $I_C$  и индуктивность  $I_L$  равны. Емкость и индуктивность компенсируют друг друга, цепь ведет себя как чисто активная нагрузка сопротивлением  $Z_0 = R$ . Общий ток  $I$  достигает минимума  $U/R$  (рис. 7.3) и колеблется в фазе с напряжением питания ( $\varphi = 0$ ).

При  $\omega < \omega_0$  индуктивное сопротивление меньше емкостного ( $X_L < X_C$ ), ток через катушку индуктивности больше, чем через конденсатор ( $I_L > I_C$ ), цепь представляет собой активно-индуктивную нагрузку, колебания тока отстают от колебаний напряжения. При  $\omega > \omega_0$  индуктивное сопротивление больше емкостного ( $X_L > X_C$ ), ток через катушку индуктивности меньше, чем через конденсатор ( $I_L < I_C$ ), цепь представляет собой активно-емкостную нагрузку, колебания тока опережают колебания напряжения.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Зададимся следующими параметрами колебательного контура:  $R = 500$  Ом,  $L = 0,4$  Гн,  $C = 50$  мкФ. Найдите резонансную частоту по формуле:  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$  и  $f = \omega_0/2\pi$ . Вычисления удобно производить на компьютере в среде MathCAD.

2. Рассчитайте цепь в случае, когда источник создает переменное напряжение с действующим значением  $U$  (например, 40 В) и произвольной частотой  $f$  (например, 100 Гц).

Таблица 7.1

$N$	$U$	$f$	$\omega$	$X_C$	$X_L$	$Y$	$I_R$	$I_C$	$I_L$	$I$	$\varphi$	$S$	$P$	$Q$
1														
2														
...														
15														

3. Выберите диапазон и шаг изменения частоты так, чтобы резонансная частота находилась внутри диапазона. Изменяя частоту  $f$  с некоторым шагом  $\Delta f$ , вычислите все токи  $I_R$ ,  $I_C$ ,  $I_L$ ,  $I$ , проводимость  $Y$ , сдвиг фаз  $\varphi$ , мощности  $S$ ,  $P$  и  $Q$ , полностью заполните табл. 7.1. Отдельно рассчитайте цепь на резонансной частоте.

4. На одной координатной плоскости постройте графики зависимостей рассчитанных величин от частоты:  $I_R(f)$ ,  $I_C(f)$ ,  $I_L(f)$ ,  $I(f)$ ,  $Y(f)$ ,  $\varphi(f)$ ,  $S(f)$ ,  $P(f)$  и  $Q(f)$ .

5. В выводе охарактеризуйте и объясните получившиеся графики.

## = Исследование 8 = ИНДУКЦИОННЫЙ СЧЕТЧИК

### ТЕОРИЯ

Индукционный счетчик используется для измерения активной энергии, потребляемой нагрузкой в цепях переменного тока. Он содержит токовую и вольттовую обмотки, размещенные на одном магнитопроводе и установленные с разных сторон алюминиевого дис-

ка, способного вращаться вокруг вертикальной оси. На валу диска расположен счетчик оборотов, отградуированный в киловатт-часах. Вблизи края диска расположен магнитный тормоз, представляющий собой постоянный магнит. Токовая обмотка имеет небольшое сопротивление и включается последовательно с нагрузкой. Сопротивление вольтовой обмотки велико, она включается параллельно нагрузке.

Токи, текущие по обмоткам счетчика, создают магнитные поля, которые порождают в алюминиевом диске вихревые индукционные токи. Переменное магнитное поле токовой обмотки взаимодействует с индукционным током, созданным переменным магнитным полем вольтовой обмотки, и наоборот. В результате на диск действует вращающий момент, величина которого прямо пропорциональна произведению напряжения на вольтовой обмотке, тока через токовую обмотку и косинуса сдвига фаз между ними:  $M = k_1 UI \cos \varphi = k_1 P$ . Тормозящий момент, действующий на диск со стороны индукционного тормоза, пропорционален частоте его вращения:  $M_T = k_2 n$ . Поэтому скорость вращения диска при включении увеличивается до тех пор пока не начнет выполняться равенство  $M = M_T$ , после чего диск вращается равномерно. При этом  $k_1 P = k_2 n$ , или  $n = k_1 P / k_2$ .

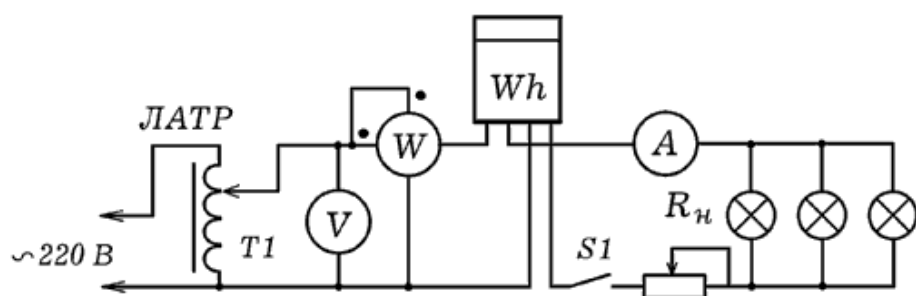


Рис. 8

Потребляемая активная энергия  $W = Pt$  пропорциональна числу оборотов  $N$ :  $N = nt = (k_1/k_2)Pt = (k_1/k_2)W = W/C$ , или  $W = CN$ , где  $C$  — постоянная счетчика, равная электрической энергии, соответствующей одному обороту диска (в Вт·с). Счетный механизм отградуирован в киловатт-часах ( $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Вт} \cdot \text{с}$ ). Относительная погрешность

$$\delta = \frac{W_{\text{сч}} - W_{\text{д}}}{W_{\text{д}}} \cdot 100\%$$

характеризует отклонение показаний счетчика  $W_{\text{сч}} = C_{\text{ном}}N$  от действительно потребленной энергии  $W_{\text{д}} = Pt$ .

#### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Соберите схему, изображенную на рис. 8. Для этого к полюсам ЛАТРа последовательно подключите токовые обмотки ваттметра и счетчика электрической энергии, амперметр, нагрузку. После этого

подсоедините вольтметр и вольтовые обмотки ваттметра и счетчика. Цепь покажите преподавателю.

2. Подайте с помощью ЛАТРа номинальное напряжение 220 В и включите нагрузку. Изменяя сопротивление нагрузки, доведите ток до 20 % номинального значения. Измерьте число полных оборотов за некоторый достаточно большой промежуток времени (время должно быть не менее 100 с, число оборотов — 10 – 20). Результаты измерений запишите в табл. 8.1.

3. Повторите измерения при том же напряжении и различных токах нагрузки, составляющих 40, 60, 80, 100 % от номинального значения, указанного на счетчике. Все результаты занесите в табл. 8.1.

4. По показаниям ваттметра  $P_W$  и секундомера  $t$  вычислите действительные значения энергии, потребленной нагрузкой  $W_d = P_W t$ , а также электрическую энергию, найденную по показаниям счетчика  $W_{сч} = C_{ном} N$ . Найдите относительную погрешность  $\delta$ .

Таблица 8.1

$N$	$U$	$I$	$P$	$N$	$t$	$W_d = Pt$	$W_{сч} = C_{ном} N$	$\delta$
1								
2								
3								
4								
5								

5. Заготовьте вторую такую же таблицу. Повторите опыты для активно-индуктивной нагрузки (коэффициент мощности  $\cos \varphi < 1$ ).

6. Проверьте счетчик на отсутствие самохода. Для этого отключите нагрузку и с помощью ЛАТРа подайте напряжение на 10 % превышающее номинальное значение ( $U = 242$  В). Если диск счетчика сделал не более одного оборота, то самоход отсутствует.

7. В выводе сопоставьте значения  $W_{сч}$  и  $W_d$ . Объясните принцип действия индукционных приборов.

## = Исследование 9 = ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В RC-ЦЕПИ

### ТЕОРИЯ

Разряженный конденсатор  $C$  подсоединим через резистор  $R$  к источнику постоянного напряжения  $e(t) = U = const$ . По второму закону Кирхгофа

$$e(t) = U = u_R + u_C = iR + \frac{1}{C} \int i(t) dt.$$

В первый момент  $t = 0$  напряжение на конденсаторе  $u_C(0) = 0$ , ток равен  $i(0) = I_0 = U/R$ , после чего уменьшается по экспонен-



циальному закону:  $i(t) = I_0 e^{-t/\tau}$ , где  $\tau = RC$  — время релаксации. Напряжение на резисторе и конденсаторе равны:

$$u_R(t) = U e^{-t/\tau}, \quad u_C(t) = U(1 - e^{-t/\tau}).$$

Если конденсатор  $C$ , заряженный до напряжения  $u_C(0) = U_0$ , замкнуть на резистор  $R$ , то он будет разряжаться. При этом напряжение на конденсаторе, напряжение на резисторе и сила тока будут уменьшаться по экспоненциальному закону:

$$u_C(t) = u_R(t) = U_0 e^{-t/\tau}, \quad i(t) = I_0 e^{-t/\tau}.$$

Все это доказывает второй закон коммутации: напряжение на конденсаторе не может измениться скачком; сразу после коммутации оно равно значению непосредственно до коммутации.

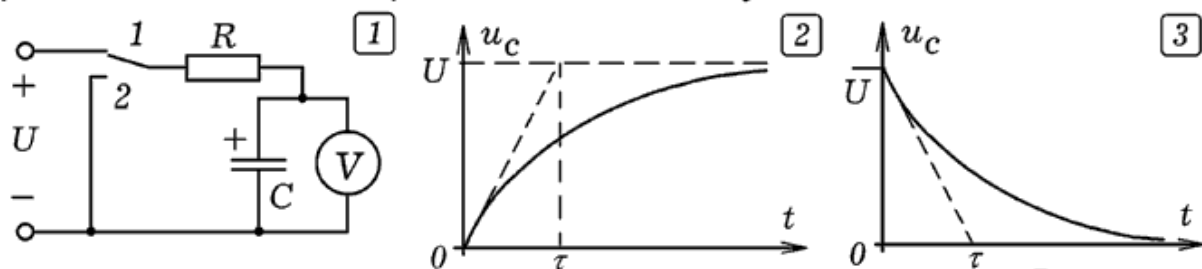


Рис. 9

Экспоненциальная зависимость напряжения на конденсаторе от времени при его разряде позволяет вычислить время релаксации  $\tau$ :

$$u_C(t) = U_0 e^{-t/\tau}, \quad \frac{u_C(t)}{U_0} = e^{-t/\tau}, \quad \ln \frac{u_C(t)}{U_0} = -\frac{t}{\tau}, \quad \tau = \frac{t}{\ln(U_0/u_C(t))}.$$

При заряде сила тока уменьшается по экспоненциальному закону, что позволяет вычислить время релаксации:  $\tau = t/\ln(I_0/i(t))$ .

#### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Соберите цепь и покажите ее преподавателю. Напряжение на клеммах источника 10 В.

2. Разомкните ключ. Разрядите конденсатор, замкнув его выводы проводником. Переведите ключ в положение 1, подключив конденсатор через резистор к источнику постоянного напряжения, и одновременно включите секундомер. Когда напряжение на конденсаторе достигнет 1 В, выключите секундомер. Запишите в табл. 9.1 время заряда конденсатора от 0 до 1 В.

3. Описанным выше способом измерьте время заряда от 0 до 2 В, от 0 до 3 В и т.д. Перед каждым измерением необходимо разряжать конденсатор до 0 В. Результаты запишите в табл. 9.1.

4. Определите напряжение на резисторе при заряде  $u_R = U - u_C$  и ток заряда  $i = u_R/R$ . Вычислите ожидаемое время релаксации  $\tau_1 = RC$  и его экспериментальное значение  $\tau = t/\ln(I_0/i(t))$ ,  $I_0 = U/R$ .

5. Приготовьтесь к экспериментальному изучению разряда конденсатора, в тетради нарисуйте таблицу, аналогичную табл. 9.1.

6. Переведите ключ в положение 1 так, чтобы конденсатор начал заряжаться. Закоротите резистор проводником — напряжение на конденсаторе быстро возрастет до напряжения питания  $U = 10$  В.

Таблица 9.1

$N$	$R$	$C$	$U$	$t$	$u_C$	$u_R$	$i$	$\tau_1$	$\tau_2$
1				0	0				
2					1				
...									
10					9				

7. Переведите ключ в положение 2 так, чтобы конденсатор начал разряжаться, и одновременно включите секундомер. Измерьте время разряда от 10 до 9 В и запишите результат в таблицу.

8. Зарядите конденсатор до 10 В и измерьте время разряда до 8 В. Повторите опыт, измеряя время разряда от 10 до 7 В, от 10 до 6 В, от 10 до 5 В и т.д.

9. Определите напряжение на резисторе при разряде и ток разряда по формулам:  $u_R = u_C$  и  $i = u_R/R$ . Заполните таблицу.

10. Определите ожидаемое время релаксации  $\tau_1 = RC$ . Найдите экспериментальное значение  $\tau_2 = t/\ln(U_0/u_C)$  и сравните его с  $\tau_1$ .

11. Постройте графики зависимостей напряжений и токов от времени  $u_C = u_C(t)$ ,  $u_R = u_R(t)$  и  $i = i(t)$  при заряде и разряде.

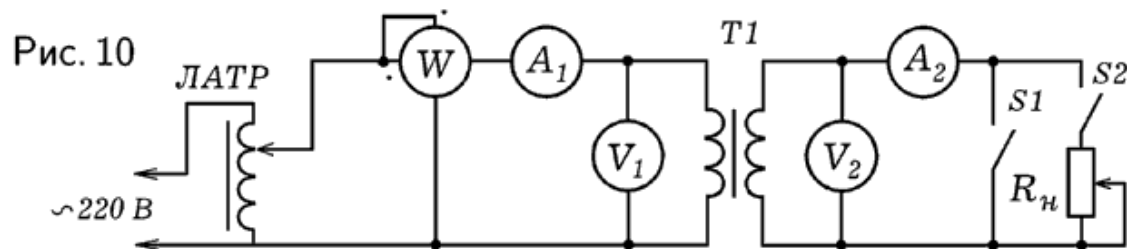
12. Повторите опыт с другими конденсатором и резистором.

## = Исследование 10 = ОДНОФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

### ТЕОРИЯ

Трансформатор — статическое устройство, состоящее из двух или более обмоток, расположенных на одном магнитопроводе, и используемое для преобразования переменного напряжения (тока) некоторой частоты и амплитуды в переменное напряжение (ток) той же частоты и другой амплитуды. Первичная обмотка трансформатора подключается к источнику переменного напряжения; протекающий по ней ток  $I_1$  создает переменное магнитное поле. Оно индуцирует в витках обеих обмоток ЭДС индукции, между концами вторичной обмотки возникает переменное напряжение  $U_2$ , величина которого зависит от соотношения витков в обмотках. Если ко вторичной обмотке подключить нагрузку, по ней потечет переменный ток  $I_2$ , который

создаст свое переменное магнитное поле, влияющее на первичную обмотку. В результате индуктивное сопротивление первичной обмотки уменьшится, ток  $I_1$ , потребляемый трансформатором, увеличится.



В опыте холостого хода через вторичную обмотку ток не течет, то есть  $I_2 = 0$ , потребляемая трансформатором мощность равна потерям в стали (потери на гистерезис и вихревые токи Фуко). В опыте короткого замыкания по вторичной обмотке трансформатора течет достаточно большой ток  $I_2$ , обмотка нагревается, потребляемая мощность равна потерям в меди. Потери в стали при этом малы, так как напряжение на первичной обмотке трансформатора, а значит и индукция магнитного поля в магнитопроводе невелика. Коэффициент загрузки трансформатора  $\beta$  и его КПД  $\eta$  вычисляют по формулам:

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2, \text{ном}}}, \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{ХХ}} + P_{\text{КЗ}}},$$

где  $P_{\text{ХХ}}$  и  $P_{\text{КЗ}}$  — активные мощности холостого хода (потери в стали) и короткого замыкания (потери в меди).

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Соберите цепь по схеме на рис. 10. Установите ручку ЛАТРа в нулевое положение. Покажите цепь преподавателю.

2. Проведите опыт холостого хода: отключите нагрузку, подайте на первичную обмотку трансформатора номинальное напряжение. Запишите показания приборов в таблицу, вычислите коэффициент трансформации. Так как  $I_2 = 0$ , полезная мощность  $P_2 = 0$ , потери в меди отсутствуют, ваттметр показывает потери в стали  $P_{\text{ХХ}}$ .

3. Подключите нагрузку. Регулируя ее сопротивление, нагрузите трансформатор на 20 % от номинального значения тока  $I_2$  (мощности  $P_2$ ). Номинальное значение тока рассчитывается по формуле  $I_{2, \text{ном}} = P_{\text{ном}}/U_{2, \text{ном}}$ . Результаты измерений занесите в табл. 10.1.

4. Регулируя сопротивление нагрузки, повторите измерения для значений тока  $I_2$  во вторичной обмотке, составляющих 40, 60, 80, 100, 120, 140 % от его номинального значения. Напряжение на первичной обмотке должно быть равно номинальному значению.

5. Вместе с преподавателем проведите опыт короткого замыкания. Для этого повернув ручку ЛАТРа в нулевое положение, умень-

шите напряжение  $U_1$  до нуля, после чего замкните вторичную обмотку через амперметр. Плавно увеличивая напряжение  $U_1$  добейтесь того, чтобы ток  $I_2$  во вторичной обмотке составлял 20 % от номинального значения. Ваттметр покажет потери в меди  $P_{КЗ}$  при заданном токе  $I_2$ , их надо записать в табл. 10.1.

6. Повторите опыт короткого замыкания для токов  $I_2$ , составляющих 40, 60, 80, 100, 120, 140 % от его номинального значения  $I_{2,ном}$ . Определите потери в меди при этих значениях тока, результаты занесите в табл. 10.1.

Таблица 10.1

$N$	Режим	$U_1$	$I_1$	$P_1$	$U_2$	$I_2$	$P_{КЗ}$	$P_2$	$\beta$	$\eta_1$	$\eta_2$
1	Холостой ход										
2	Нагрузка 20%										
3	Нагрузка 40%										
4	Нагрузка 60%										
	...										

7. Определите КПД трансформатора для всех значений токов  $I_2$ . Постройте внешнюю характеристику трансформатора  $U_2 = f(I_2)$ , и зависимость КПД от коэффициента загрузки  $\eta = f(\beta)$  при  $U_1 = U_{1,ном}$ ,  $f = 50$  Гц и  $\cos \varphi_2 = 1$ .

8. В выводе охарактеризуйте полученные графики и объясните их. Как измеряют потери в меди и потери в стали?

## = Исследование 11 = НЕЛИНЕЙНАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

### ТЕОРИЯ

Рассмотрим цепь, состоящую из последовательно соединенных конденсатора  $C$  и резистора  $R$  (рис. 11.1). Так как активная мощность  $P = UI \cos \varphi$ , а напряжение на резисторе  $U_R = U \cos \varphi$ , то коэффициент мощности равен:

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI} = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}.$$

Если цепь линейная, то активное и емкостное сопротивления  $R$  и  $X_C$  остаются постоянными, сдвиг фаз  $\varphi$  не изменяется (рис. 11.2).

Пусть вместо резистора включен нелинейный элемент — лампа накаливания. Сопротивление ее вольфрамовой нити прямо пропорционально температуре  $R(t) = R_0(1 + \alpha t)$ , где  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления вольфрама  $\alpha = 5,1 \cdot 10^{-3}$  1/градус,  $t$  — температура в градусах Цельсия. При увеличении тока нить сильно

нагревается и светится, при этом ее сопротивление  $R$  возрастает в 5–10 раз. Это приводит к уменьшению сдвига фаз  $\varphi$  и повышению коэффициента мощности  $\cos \varphi$ .

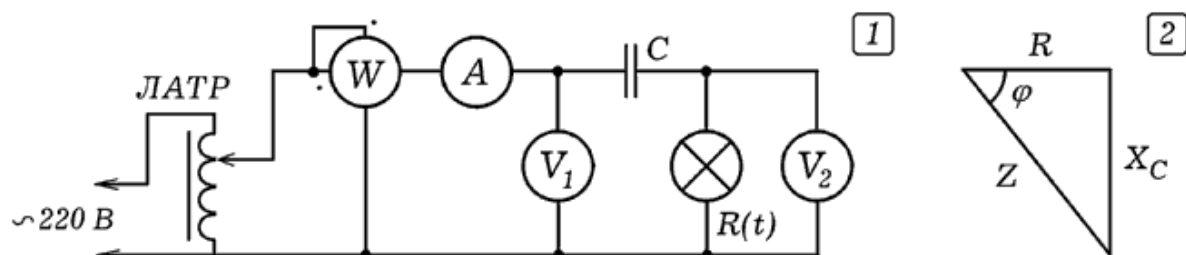


Рис. 11

**ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ**

1. Соберите цепь по схеме, изображенной на рис. 11.1. Сначала последовательно соедините токовую обмотку ваттметра, амперметр, конденсатор и лампу; подключите все это к ЛАТРУ. Затем подсоедините вольттовую обмотку ваттметра и вольтметры.

2. Изменяя напряжение питания с шагом 20 В, проведите 10 – 12 измерений мощности  $P$ , тока  $I$  и напряжений  $U$  и  $U_R$ . Напряжение на лампе не должно превышать 220 В. Запишите показания приборов в табл. 11.1. Постройте треугольник сопротивлений (рис. 11.2).

Таблица 11.1

$N$	$U$	$I$	$P$	$U_R$	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$	$\varphi$
1							
...	...	...	...	...	...	...	...
12							

3. Вычислите значение коэффициента мощности двумя способами:  $\cos \varphi_1 = P/(UI)$  и  $\cos \varphi_2 = U_R/U$ . Сравните получившиеся значения. Найдите сдвиг фаз  $\varphi$  между током и напряжением, а также сопротивление лампы  $R$  при различных значениях тока.

4. Постройте графики зависимостей коэффициента мощности цепи и сопротивления лампы от силы тока  $\cos \varphi = f(I)$  и  $R = f(I)$ , а также силы тока от напряжения  $I = f(U)$ .

5. Замените лампу накаливания реостатом. Выполните 6 измерений, изменяя силу тока в тех же пределах, что и в опытах с лампой накаливания. Результаты измерений запишите в таблицу, аналогичную табл. 11.1.

6. Вычислите активное сопротивление цепи  $R$  и коэффициент мощности  $\cos \varphi$  в каждом опыте. Постройте графики  $\cos \varphi = f(I)$ ,  $\varphi = f(I)$ ,  $R = f(I)$  и  $I = f(U)$ .

7. В выводе охарактеризуйте получившиеся результаты. Объясните, почему при увеличении силы тока изменяется  $\cos \varphi$ .

## = Исследование 12 = ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ: СОЕДИНЕНИЕ ЗВЕЗДОЙ

### ТЕОРИЯ

Рассмотрим четырехпроводную трехфазную систему, в которой фазы генератора и фазы нагрузки соединены звездой (рис. 12.1). Если нагрузка несимметричная, импеданс нейтрали отличен от нуля, то напряжения на фазах нагрузки равны:

$$\dot{U}_A = \dot{E}_A - \dot{U}_N, \quad \dot{U}_B = \dot{E}_B - \dot{U}_N, \quad \dot{U}_C = \dot{E}_C - \dot{U}_N,$$

где  $U_N = U_{OO'}$  — напряжение на нейтрали. Фазный ток равен линейному:  $\dot{I}_A = \dot{U}_A / \dot{Z}_A$ ,  $\dot{I}_B = \dot{U}_B / \dot{Z}_B$ ,  $\dot{I}_C = \dot{U}_C / \dot{Z}_C$ , а ток в нейтрали находится как сумма линейных токов:  $\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$ .

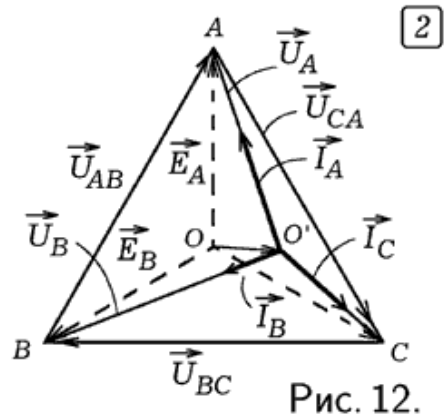
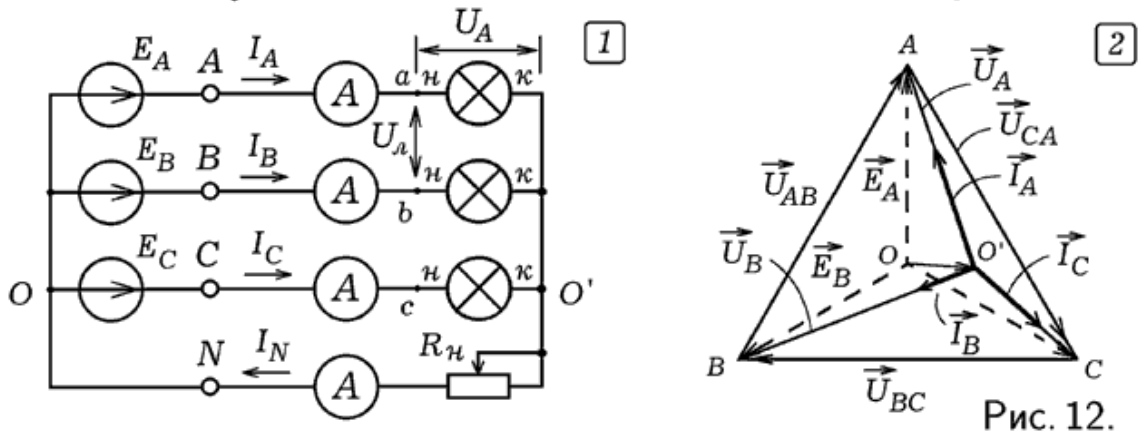


Рис. 12.

Если нейтральный провод отсутствует, то  $I_N = 0$ , поэтому  $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ . Векторная диаграмма приведена на рис. 12.2. При наличии нейтрального провода с импедансом  $\dot{Z}_N = 0$  фазные напряжения на нагрузке равны фазным ЭДС генератора:  $\dot{U}_A = \dot{E}_A$ ,  $\dot{U}_B = \dot{E}_B$ ,  $\dot{U}_C = \dot{E}_C$ . Ток в нейтрали при несимметричной нагрузке отличен от нуля:  $\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \neq 0$ .

В случае симметричной нагрузки ( $\dot{Z}_A = \dot{Z}_B = \dot{Z}_C = \dot{Z}$ ), напряжение на нейтрали  $U_N = 0$  и напряжение на фазах нагрузки равно фазному напряжению генератора  $\dot{U}_A = \dot{E}_A$ ,  $\dot{U}_B = \dot{E}_B$ ,  $\dot{U}_C = \dot{E}_C$ . Линейное напряжение в  $\sqrt{3}$  больше фазного:  $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = \sqrt{3}U_A = \sqrt{3}U_B = \sqrt{3}U_C$ . По линейным проводам текут равные по амплитуде линейные токи, отличающиеся сдвигом фаз на  $2\pi/3$ .  $\dot{I}_A = \dot{E}_A / \dot{Z}$ ,  $\dot{I}_B = \dot{E}_B / \dot{Z}$ ,  $\dot{I}_C = \dot{E}_C / \dot{Z}$ . В силу симметрии цепи ток по нейтрали не течет:  $I_N = 0$ , поэтому можно перейти к трехпроводной линии без нейтрального провода.

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Соберите электрическую цепь (рис. 12.1), для этого соедините концы фаз нагрузки в точке  $O'$ , а их начала подключите через амперметры к клеммам А, В, С на лабораторном столе. Подсоедините нейтральный провод  $OO'$ . Покажите цепь преподавателю.

2. Установите симметричную нагрузку, для этого, изменяя число включенных ламп в каждой фазе, добейтесь того, чтобы сопротивление всех фаз нагрузки было бы одинаковым. Измерьте все линейные и фазные токи и напряжения. Убедитесь в том, что они соответственно равны, а ток в нейтральном проводе отсутствует. Результаты запишите в первую строчку табл. 12.1.

3. Повторите измерения при разорванном нейтральном проводе в случае симметричной нагрузки. Подтвердите соотношение  $U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}$  для симметричной нагрузки. Результаты занесите в табл. 12.1, вторая строчка.

Таблица 12.1

N	U <sub>AB</sub> /U <sub>BC</sub> /U <sub>CA</sub>	U <sub>A</sub> /U <sub>B</sub> /U <sub>C</sub>	I <sub>A</sub> /I <sub>B</sub> /I <sub>C</sub> /I <sub>N</sub>	P <sub>A</sub> /P <sub>B</sub> /P <sub>C</sub> /P
1				
2				
...	...	...	...	...
6				

*В табл. 12.1: 1. Симметричная нагрузка, импеданс нейтрали равен 0 ( $Z_N = 0$ ); 2. Симметричная нагрузка, нейтраль отсутствует ( $Z_N \rightarrow \infty$ ); 3. Несимметричная нагрузка, импеданс нейтрали равен 0 ( $Z_N = 0$ ); 4. Несимметричная нагрузка, нейтраль отсутствует ( $Z_N \rightarrow \infty$ ); 5. Несимметричная нагрузка, нейтраль содержит активное сопротивление ( $Z_N$  конечно и равно  $R$ ); 6. Несимметричная нагрузка с обрывом линейного провода.*

4. Изменяя число включенных ламп в различных фазах цепи, создайте несимметричную нагрузку. Измерьте и запишите в таблицу все линейные и фазные токи и напряжения. Повторите опыт при включенном и отключенном нейтральном проводе. Результаты запишите в третью и четвертую строчки табл. 12.1.

5. В разрыв нейтрали включите реостат. Повторите измерения в случае, когда нейтраль имеет конечное сопротивление. Результаты запишите в пятую строчку табл. 12.1.

6. Изучите работу несимметричной цепи при обрыве одного линейного провода при включенной нейтрали. Запишите показания приборов в шестую строчку табл. 12.1.

7. Вычислите активную мощность, потребляемую каждой фазой и всей цепью в проделанных опытах; результаты занесите в табл. 12.1. Постройте векторные диаграммы для: 1) симметричной нагрузки; 2)

несимметричной нагрузки с нейтральным проводом; 3) несимметричной нагрузки без нейтрального провода. Чтобы определить положение точки  $O'$  на векторной диаграмме, необходимо циркулем нарисовать три окружности с центрами в вершинах  $A, B, C$ , радиусы которых равны  $U_A, U_B, U_C$ , и найти их точку пересечения.

8. Соберите фазоуказатель, для этого включите в фазу  $C$  конденсатор, а в фазы  $A, B$  — одинаковое число ламп. Убедитесь в том, что лампы в разных фазах горят с различным накалом. Запишите показания приборов, постройте векторную диаграмму.

9. В одну из фаз включите конденсатор, в другую — катушку индуктивности, в третьей оставьте лампы накаливания. Повторите все измерения и постройте векторную диаграмму для этого случая.

10. Подключите трехфазный счетчик электрической энергии и убедитесь в том, что он работает.

11. В выводе охарактеризуйте и объясните полученные результаты. Как влияет наличие нейтрали на режим работы цепи при симметричной и несимметричной нагрузке? Как соотносятся линейные и фазные напряжения при симметричной нагрузке? Как можно использовать фазоуказатель для определения последовательности фаз?

---

## = Исследование 13 = ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ: СОЕДИНЕНИЕ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

---

### ТЕОРИЯ

---

При соединении треугольником начало каждой фазы нагрузки соединены с концом другой фазы. Так они образуют треугольник, вершины которого подключаются линейными проводами к генератору (рис. 13.1). Фазное напряжение равно линейному, которое задается генератором, на нагрузке номинальное напряжение.

В общем случае нагрузка несимметричная. Комплексы действующих значений фазных токов равны:  $\dot{I}_{ba} = \dot{U}_{AB} / \dot{Z}_{ba}$ ,  $\dot{I}_{cb} = \dot{U}_{BC} / \dot{Z}_{cb}$ ,  $\dot{I}_{ac} = \dot{U}_{CA} / \dot{Z}_{ac}$ . Фазные токи отстают от колебаний фазного напряжения на  $\varphi = \arctg(\text{Im}\{\dot{Z}\} / \text{Re}\{\dot{Z}\})$  и отличаются по величине. Линейные токи равны:

$$I_A = I_{ac} - I_{ba}, \quad I_B = I_{ba} - I_{cb}, \quad I_C = I_{cb} - I_{ac}.$$

Так как сумма линейных токов  $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ , то соответствующие вектора образуют треугольник. Его вершинами являются концы векторов фазных токов.

Если нагрузка симметричная, то есть импедансы всех фаз одинаковы, то все фазные токи имеют равные величины, действующие значения линейных токов также равны между собой. Векторная диа-



грамма изображена на рис. 13.2. Треугольник из векторов линейных токов является равносторонним, поэтому линейные токи в  $\sqrt{3}$  раз больше фазных:  $I_A = I_B = I_C = \sqrt{3}I_{ba} = \sqrt{3}I_{cb} = \sqrt{3}I_{ac}$ ,  $I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\text{ф}}$ .

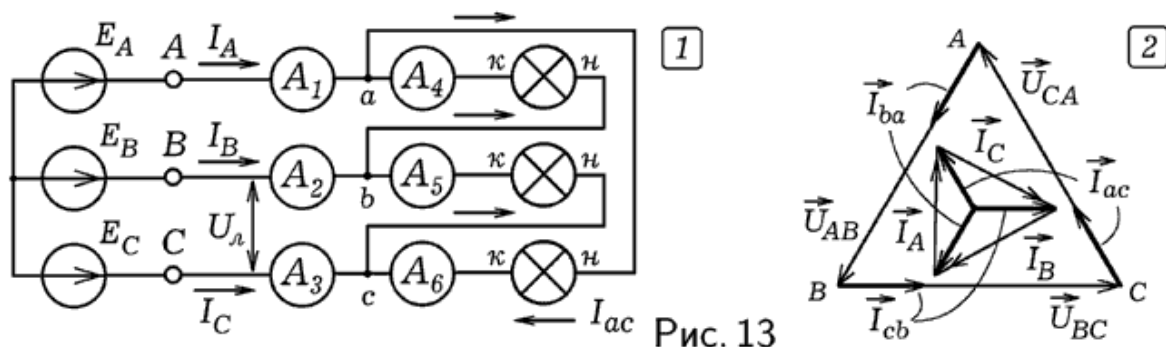


Рис. 13

При подключении к одной из фаз нагрузки дополнительного приемника электрической энергии меняются фазный и линейные токи, но фазные напряжения остаются неизменными, поэтому нагрузка работает в номинальном режиме.

**ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ**

1. Соберите электрическую цепь. Для этого последовательно с каждой фазой нагрузки включите амперметр и соедините их треугольником: конец фазы А – амперметр  $A_4$  – начало фазы С – конец фазы С – амперметр  $A_6$  – начало фазы В – ... и т.д. К началам фаз подключите линейные провода, идущие к генератору. Покажите цепь преподавателю.

2. Изучите работу трехфазной цепи при симметричной нагрузке, для этого в каждой фазе нагрузки включите одинаковое количество ламп. Измерьте напряжения и токи, результаты занесите в табл. 13.1. Убедитесь, что линейные токи в  $\sqrt{3}$  раз больше фазных.

Таблица 13.1

$N$	$U_{AB}/U_{BC}/U_{CA}$	$I_A/I_B/I_C$	$I_{ba}/I_{cb}/I_{ac}$	$P_{AB}/P_{BC}/P_{CA}/P$
1				
2				
...	...	...	...	...
4				

В табл. 13.1: 1. Симметричная активная нагрузка; 2. Несимметричная активная нагрузка; 3. Несимметричная реактивная нагрузка; 4. Несимметричная нагрузка с обрывом линейного провода.

3. Изменяя число включенных ламп, сделайте нагрузку несимметричной. Повторите измерения.

4. Проведите опыт с обрывом линейного провода (нагрузка несимметричная). Измерьте активную мощность нагрузки методом двух

ваттметров, сравните с результатом вычислений:  $P = U_{AB}I_{ba} + U_{BC}I_{cb} + U_{CA}I_{ac}$  (во всех фазах нагрузка активная,  $\varphi = 0$ ). Включите трехфазный счетчик электроэнергии и убедитесь в его работе.

5. По результатам измерений постройте векторные диаграммы, учитывая, что вектора фазных токов и напряжений сонаправлены друг с другом (во всех фазах нагрузка активная,  $\varphi = 0$ ).

6. В одну из фаз включите конденсатор, в другую — катушку индуктивности, в третью — лампы накаливания. Повторите все измерения и постройте векторную диаграмму для этого случая.

7. В выводе охарактеризуйте и объясните полученные результаты. Как соотносятся линейные и фазные токи при симметричной нагрузке? К чему приводит обрыв линейного провода?

---

## = Исследование 14 = МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

---

### ТЕОРИЯ

---

Электрическая машина состоит из статора — неподвижного поло- го цилиндра — и ротора — вращающегося цилиндра. Статор и ротор набраны из листов электротехнической стали, в их пазах находятся обмотки. Статор содержит три обмотки, повернутые относительно друг друга на  $120^\circ$  и соединенные звездой или треугольником.

1. Асинхронная машина (АД). Короткозамкнутый ротор типа "бел- личье колесо" состоит из двух обрuchей, соединенных алюминиевыми стержнями. При подаче на обмотку статора трехфазного напряже- ния вокруг ротора возникает вращающееся магнитное поле, кото- рое создает в нем индукционные токи. В результате взаимодействия вращающегося магнитного поля с индукционными токами в обмотке ротора, ротор начинает двигаться в направлении вращения магнит- ного поля. Частота вращения ротора всегда меньше частоты враще- ния магнитного поля, и поэтому двигатель называется асинхронным. Если бы ротор вращался с той же скоростью, то в нем не возникали бы индукционные токи, вращающий момент был бы равен нулю.

2. Синхронная машина (СМ). Ротор представляет собой постоян- ный магнит или электромагнит, обмотка которого питается постоян- ным током через два изолированных контактных кольца и щетки. Кольца расположены в хвостовой части ротора и контактируют с щетками, установленными на статоре. Частота вращения ротора равна частоте вращения магнитного поля.

2.1. Режим генератора. Через обмотку ротора пропускают постоян- ный ток, ротор приводят во вращение. Вращающееся магнитное поле индуцирует в обмотке статора трехфазную ЭДС. При подключе-

нии к обмотке статора нагрузки в ней возникает ток, создающий свое магнитное поле, которое препятствует вращению ротора.

2.2. Режим двигателя. На обмотку статора подают трехфазное напряжение, вокруг ротора возникает вращающееся магнитное поле. Через обмотку ротора пропускают постоянный ток и разгоняют его до скорости, близкой к скорости вращения магнитного поля. Машина входит в синхронизм, — ротор начинает вращаться с частотой вращения магнитного поля.

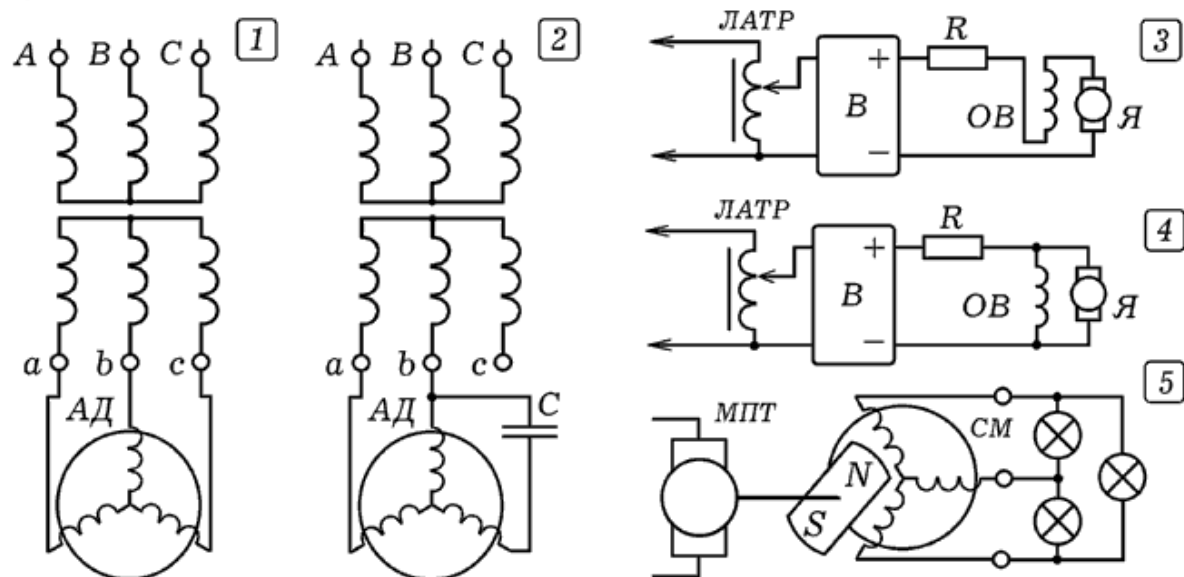


Рис. 14

3. Машины постоянного тока (МПТ). Статор имеет явно выраженные полюса и содержит две (четыре, шесть ...) обмотки, по которым течет постоянный ток. Ротор или якорь содержит несколько обмоток, концы которых подключены к противоположным пластинам коллектора, контактирующих с щетками.

3.1. Режим генератора. Ротор вращают с помощью турбины, через обмотку возбуждения статора пропускают постоянный ток. В обмотках ротора возникает переменная ЭДС индукции, которая снимается с помощью щеток. На щетках возникает однополярное пульсирующее напряжение. При параллельном (последовательном) возбуждении обмотка статора подсоединяется параллельно (последовательно) обмотке ротора.

3.2. Режим двигателя. На щетки подают постоянное напряжение, по обмотке ротора, которая в данный момент контактирует с щетками, течет ток. Через обмотку возбуждения статора пропускают постоянный ток, со стороны магнитного поля статора на обмотку ротора действует вращающий момент. Ротор поворачивается, щетки начинают контактировать с другой парой коллекторных пластин, ток течет по другой обмотке ротора и т.д. Ротор вращается.

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. К источнику трехфазного напряжения через трехфазный трансформатор подключите обмотку статора асинхронного двигателя (рис. 14.1). Расположите обмотку статора так, чтобы ось вращения была ориентирована вертикально. Внесите внутрь обмотки алюминиевую пластину, подвешенную на нити и включите напряжение. Запишите результат опыта в тетрадь. Что изменится, если два линейных провода поменять местами?

2. Установите вертикальный стержень с острием, на острие наденьте ротор "беличье колесо" и включите трехфазное напряжение. Повторите опыт с алюминиевым стаканом. Поменяйте два линейных провода местами, результаты опыта запишите в тетрадь.

3. Установите обмотку асинхронного двигателя так, чтобы ее ось была горизонтальна. Подключите ее к трехфазному трансформатору. Вставьте короткозамкнутый ротор и закрепите его в подшипниках. Включите источник питания, ротор двигателя придет во вращение.

4. Включите асинхронный двигатель в однофазную сеть. Для этого две обмотки статора подключите к двум выводам трехфазного трансформатора, а третью подсоедините к одному из них через конденсатор (рис. 14.2). В качестве источника переменного напряжения можно использовать ЛАТР.

5. Соберите машину постоянного тока и подключите ее к выпрямителю, запитанному от ЛАТРа, используя последовательную схему возбуждения (рис. 14.3). Осуществите реверсирование двигателя (изменение направления вращения ротора); для этого достаточно поменять концы обмотки возбуждения статора местами.

6. Подключите машину постоянного тока к выпрямителю, запитанному от ЛАТРа, используя параллельную схему возбуждения (рис. 14.4). Осуществите реверсирование двигателя; для этого достаточно поменять концы обмотки возбуждения статора местами.

7. Подключите машину постоянного тока через резистор к ЛАТРу без выпрямителя. Осуществите реверсирование двигателя.

8. Соберите синхронную машину переменного тока (ротор — постоянный магнит). Соедините вал синхронной машины с валом машины постоянного тока резиновой трубкой. Включите машину постоянного тока в режиме двигателя, для этого обмотку статора и ротора соедините последовательно и подключите к ЛАТРу через реостат. К выходам синхронного генератора подключите нагрузку в виде лампочек и амперметра (рис. 14.5). Запустите двигатель, лампочки должны загореться.

9. Нарисуйте все схемы в тетрадь. В выводе опишите и объясните результаты всех экспериментов.

## = Исследование 15 = СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

### ТЕОРИЯ

Реверсированием асинхронного двигателя называется изменение направления вращения его ротора. Чтобы осуществить реверсирование, достаточно поменять местами любые две фазы. В этом случае направление вращения магнитного поля статора, а вместе с ним и ротора изменится на противоположное.

Силовая часть схемы (рис. 15) состоит из асинхронного двигателя, обмотка статора которого включается в сеть через две группы силовых контактов магнитных пускателей МП1 и МП2. Для реверсирования двигателя достаточно поменять местами два линейных провода, идущих к обмотке статора. Группа контактов, расположенных на магнитном пускателе МП1, обеспечивает вращение ротора вперед, силовые контакты на МП2 — вращение назад. Одновременное срабатывание обоих магнитных пускателей недопустимо, так как вызывает короткое замыкание.

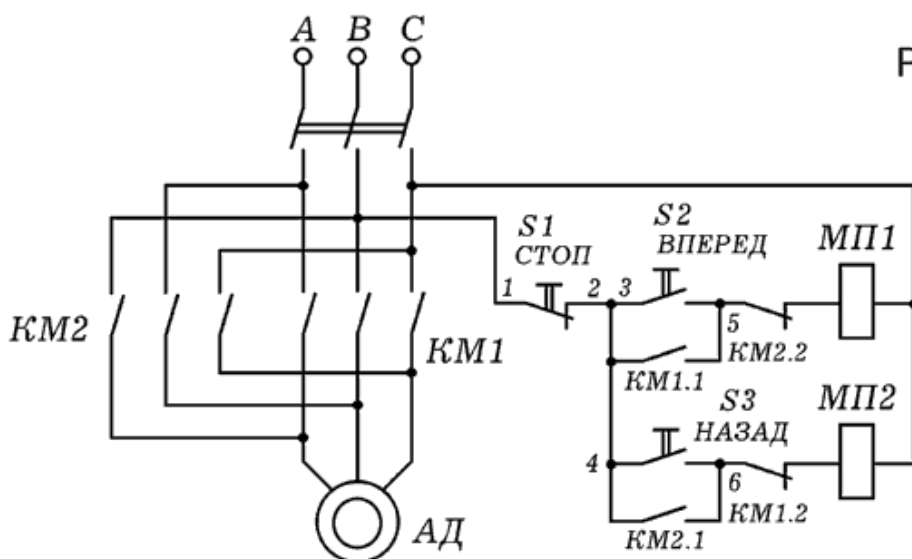


Рис. 15

Схема управления состоит из кнопок S1 "Стоп", S2 "Вперед", S3 "Назад" и магнитных пускателей МП1 и МП2. При нажатии на S2 срабатывает магнитный пускатель МП1, двигатель начинает вращаться вперед. В результате замыкаются нормально разомкнутые контакты КМ1.1, блокирующие кнопку S2, и размыкаются нормально замкнутые контакты КМ1.2. Если теперь разомкнуть кнопку S2, то ток потечет через блок-контакты КМ1.1, двигатель будет продолжать работать. При ошибочном нажатии на S3 из-за разомкнутых контактов КМ1.2 магнитный пускатель МП2 не срабатывает, короткое

замыкание не произойдет. Выключение двигателя осуществляется кнопкой S1. Если нажать на кнопку S3, сработает магнитный пускатель МП2, блок–контакты КМ2.1 замкнутся, а контакты КМ2.2 разомкнутся. Ошибочное нажатие на S2 не вызовет срабатывания магнитного пускателя МП1.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Изучите принцип действия трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Нарисуйте в тетради устройство асинхронного двигателя.

2. Нарисуйте в тетради реверсивную схему управления асинхронным двигателем (рис. 15). Опишите работу схемы.

3. Соберите сначала силовую часть схемы и вместе с преподавателем убедитесь в ее правильной работе.

4. Соберите верхнюю половину цепи управления двигателем с магнитным пускателем МП1. Показав преподавателю, проверьте работу цепи. Отключите блок–контакты, что изменится?

5. Полностью соберите цепь управления и вместе с преподавателем проверьте ее работу.

6. В выводе объясните, как работает схема управления.

## = Исследование 16 = ОДНОФАЗНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

### ТЕОРИЯ

Для питания электронных приборов используются источники постоянного напряжения, состоящие из трансформатора, выпрямителя и фильтра. Трансформатор понижает или повышает сетевое напряжение, выпрямитель преобразует его в однополярное пульсирующее напряжение, а фильтр сглаживает пульсации.

Основным элементом выпрямителя является полупроводниковый диод. Он хорошо пропускает ток в прямом направлении (от анода к катоду) и практически не пропускает в обратном. При последовательном включении диода и нагрузки (рис. 16.1) по цепи течет пульсирующий ток (рис. 16.4), частота пульсаций равна частоте переменного напряжения  $f = 50$  Гц. Так как ток через нагрузку течет в течение одного полупериода, выпрямитель называется однополупериодным. Постоянная составляющая выпрямленного напряжения равна среднему значению за период:  $U_0 = U_m/\pi$ .

На рис. 16.2 и 16.3 представлены схема выпрямителя с общей точкой и мостовая схема, которые осуществляют двухполупериодное выпрямление (рис. 16.4). Постоянная составляющая выпрямленного напряжения в два раза больше:  $U_0 = 2U_m/\pi$ .

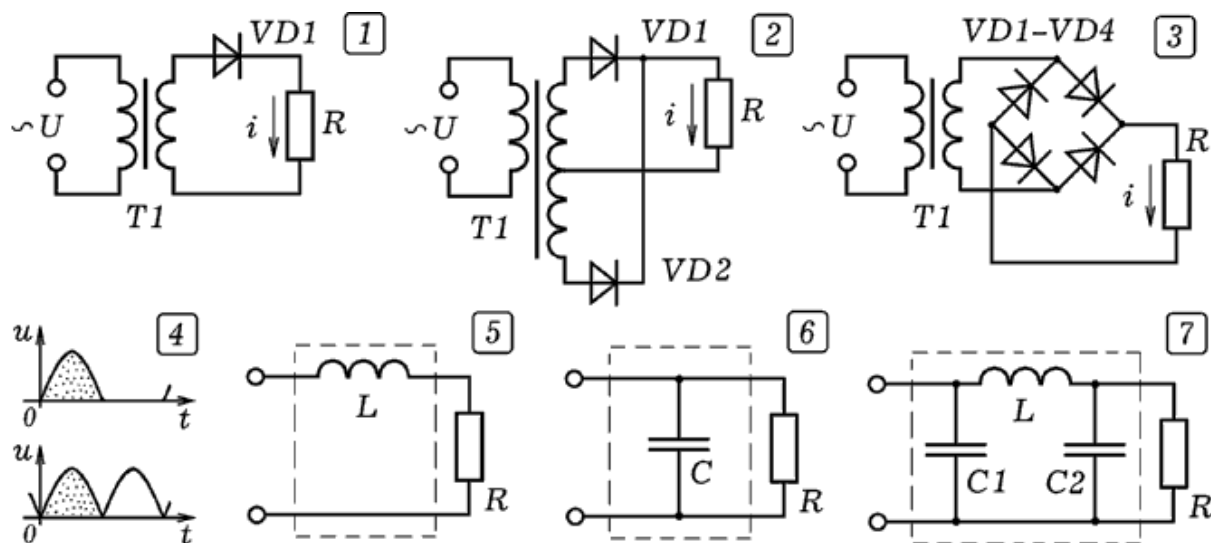


Рис. 16

Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения используют сглаживающие фильтры. Индуктивный фильтр (рис. 16.5) состоит из катушки индуктивности  $L$ , которую соединяют последовательно с нагрузкой  $R$ . Катушка индуктивности хорошо пропускает постоянную составляющую тока и оказывает большое сопротивление переменной составляющей. Емкостный фильтр (рис. 16.6) представляет собой конденсатор  $C$ , подключенный параллельно нагрузке  $R$ . Конденсатор не пропускает постоянную составляющую тока, но хорошо пропускает переменную составляющую. П-образный фильтр (рис. 16.7) состоит из двух конденсаторов и одной катушки индуктивности.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Изучите устройство и принцип действия трансформатора, однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей.

2. Соберите однополупериодный выпрямитель: к источнику переменного напряжения подключите последовательно соединенные диод и резистор нагрузки (рис. 16.1). С помощью осциллографа получите осциллограмму выпрямленного напряжения, зарисуйте ее в тетради. Измерьте частоту пульсаций.

3. Измерьте амплитуду напряжения  $U_m$  на выходе выпрямителя и постоянную составляющую  $U_0$  выпрямленного напряжения. Для определения постоянной составляющей включите П-фильтр (рис. 16.7), который бы полностью сгладил пульсации, и измерьте напряжение после фильтра. Убедитесь, что постоянная составляющая равна  $U_0 = U_m/\pi = 0,318U_m$ .

4. Соберите двухполупериодный выпрямитель с общей точкой (рис. 16.2). Зарисуйте в тетради осциллограмму выпрямленного напряжения. Определите частоту пульсаций.

5. Сравните амплитуду напряжения  $U_m$  с постоянной составляющей  $U_0$  выпрямленного напряжения. Убедитесь, что постоянная составляющая напряжения примерно равна  $U_0 = 2U_m/\pi = 0,636U_m$ .

6. Соберите двухполупериодный выпрямитель с мостовой схемой (рис. 16.3). Зарисуйте осциллограмму выпрямленного напряжения.

7. Включите выпрямитель с индуктивным фильтром (рис. 16.5). С помощью осциллографа измерьте амплитуду пульсаций выпрямленного напряжения. Увеличьте индуктивность катушки. Амплитуда пульсаций увеличилась или уменьшилась? Чем это объясняется?

8. Включите выпрямитель с емкостным фильтром (рис. 16.6). Определите амплитуду пульсаций выпрямленного напряжения. Увеличьте емкость конденсатора. Как и почему изменилась амплитуда пульсаций?

9. Включите выпрямитель с П-образным фильтром (рис. 16.7). Увеличьте сопротивление нагрузки. Как изменилась амплитуда пульсаций? Чем это объясняется?

10. В выводе объясните, как и почему зависит амплитуда пульсаций от сопротивления нагрузки, емкости конденсатора и индуктивности катушки, образующих сглаживающий фильтр.

---

## = Исследование 17 = ТРЕХФАЗНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

### ТЕОРИЯ

Для преобразования трехфазного напряжения в однополярное пульсирующее используются трехфазные выпрямители. Трехфазная схема с нейтральной точкой (рис. 17.1) состоит из трехфазного трансформатора, трех диодов и нагрузки. Вторичные обмотки трансформатора соединены звездой, к каждой подключен анод диода (вентиль), катоды соединены вместе. Переключения диодов происходит в моменты пересечения синусоид трехфазного напряжения. Если частота напряжения питания  $f = 50$  Гц, то на выходе — однополярное пульсирующее напряжение с частотой пульсаций  $3f = 150$  Гц. Среднее значение выпрямленного напряжения  $U_0 = 1,17U_\Phi$ . Недостаток схемы в том, что текущие по вторичной обмотке токи одного направления создают дополнительный постоянный магнитный поток. Магнитопровод входит в насыщение, ЭДС индукции уменьшается.

Мостовая трехфазная схема выпрямления состоит из 6 диодов (рис. 17.2). Первичные и вторичные обмотки трансформатора могут быть соединены как звездой, так и треугольником. При соединении звездой среднее значение выпрямленного напряжения  $U_0 = 2,34U_\Phi = 1,35U_L$ , частота пульсаций  $6f = 300$  Гц.



## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Соедините фазы трансформатора "звезда-звезда". Соберите выпрямитель с нейтральной точкой, нагрузив его на ламповый реостат. Для снятия осциллограммы выпрямленного тока последовательно с нагрузкой включите реостат сопротивлением 10 ом, параллельно которому подключите осциллограф. Осциллограф должен быть включен в сеть независимо от рубильника на лабораторном столе. Покажите цепь преподавателю.

2. Включите цепь и получите на экране осциллограммы выпрямленного напряжения. Зарисуйте осциллограмму, измерьте период пульсаций и частоту.

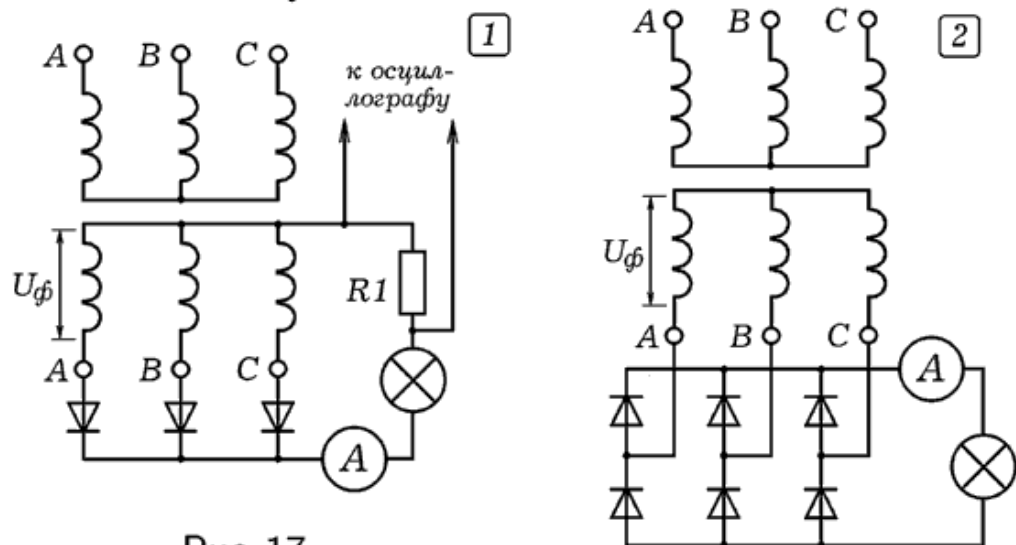


Рис. 17

3. Для сглаживания пульсаций параллельно нагрузке включите конденсатор, а последовательно — катушку индуктивности. С помощью осциллографа убедитесь в том, что пульсации сглажены, напряжение на нагрузке практически постоянно.

4. Последовательно одной из фаз трансформатора включите один амперметр. Последовательно нагрузке включите другой амперметр. Измерьте фазный ток  $I_{\phi}$  через один из диодов и ток через нагрузку  $I_0$ , когда пульсации сглажены, определите их отношение. Результаты запишите в табл. 17.1.

5. Измерьте линейное напряжение между концами фаз вторичной обмотки трансформатора и напряжение на нагрузке в случае, когда пульсации сглажены. Найдите отношение между  $U_{\phi}$  и  $U_0$ .

6. Соедините фазы трансформатора "звезда-звезда". Соберите выпрямитель по мостовой схеме, нагрузив его на ламповый реостат. Для снятия осциллограммы выпрямленного тока последовательно с нагрузкой включите реостат R1 сопротивлением 10 ом, параллельно которому подключите осциллограф. Осциллограф должен быть

включен в сеть независимо от рубильника на лабораторном столе. Покажите цепь преподавателю.

7. Включите цепь и изучите осциллограммы выпрямленного напряжения. Зарисуйте осциллограмму, измерьте частоту и период пульсаций.

Таблица 17.1

Определяемая величина	Схема с нейтральной точкой	Мостовая схема
Фазный ток $I_{\Phi}$		
Выпрямленный ток $I_0$		
Отношение $K_1 = I_0/I_{\Phi}$		
Фазное напряжение $U_{\Phi}$		
Выпрямленное напряжение $U_0$		
Отношение $K_2 = U_0/U_{\Phi}$		

8. Параллельно нагрузке включите конденсатор, сглаживающий пульсации. С помощью осциллографа убедитесь в том, что пульсации сглажены, напряжение на нагрузке практически постоянно.

9. Последовательно одной из фаз трансформатора включите амперметр. Последовательно нагрузке включите другой амперметр. Измерьте фазные токи  $I_{\Phi}$  и ток через нагрузку  $I_0$ , определите их отношение.

10. Измерьте фазное напряжение и напряжение на нагрузке. Найдите отношение между  $U_{\Phi}$  и  $U_0$ . Заполните табл. 17.1.

11. В выводе проанализируйте получившиеся результаты, объясните наблюдаемые осциллограммы.

## = Исследование 18 = КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕДАЧИ ФИЛЬТРА

### ТЕОРИЯ

Фильтром называется пассивный четырехполюсник, составленный из резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности и других элементов, предназначенный для разделения электрических колебаний различных частот. Комплексный коэффициент передачи фильтра по напряжению равен отношению комплексов выходного  $\dot{U}_2$  и входного  $\dot{U}_1$  напряжений:

$$\dot{K}(\omega) = \dot{U}_2/\dot{U}_1 = K(\omega)e^{j\varphi}, \quad K(\omega) = |\dot{K}(\omega)| = U_2/U_1.$$

Г-образный фильтр состоит из двух последовательно соединенных

ветвей с импедансами  $\dot{Z}_1$  и  $\dot{Z}_2$ , на которые подается входное напряжение  $\dot{U}_1$  (рис. 18.1). Его коэффициент передачи равен:

$$\dot{K}(\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\dot{I}\dot{Z}_2}{\dot{I}(\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2)} = \frac{1}{1 + \dot{Z}_1/\dot{Z}_2}, \quad K(\omega) = |\dot{K}(\omega)|.$$

При этом ток через нагрузку, подключенную параллельно  $\dot{Z}_2$ , считается пренебрежимо малым. Полоса пропускания фильтра — это диапазон частот, на границах которого коэффициент передачи фильтра в  $\sqrt{2}$  раз меньше максимального.

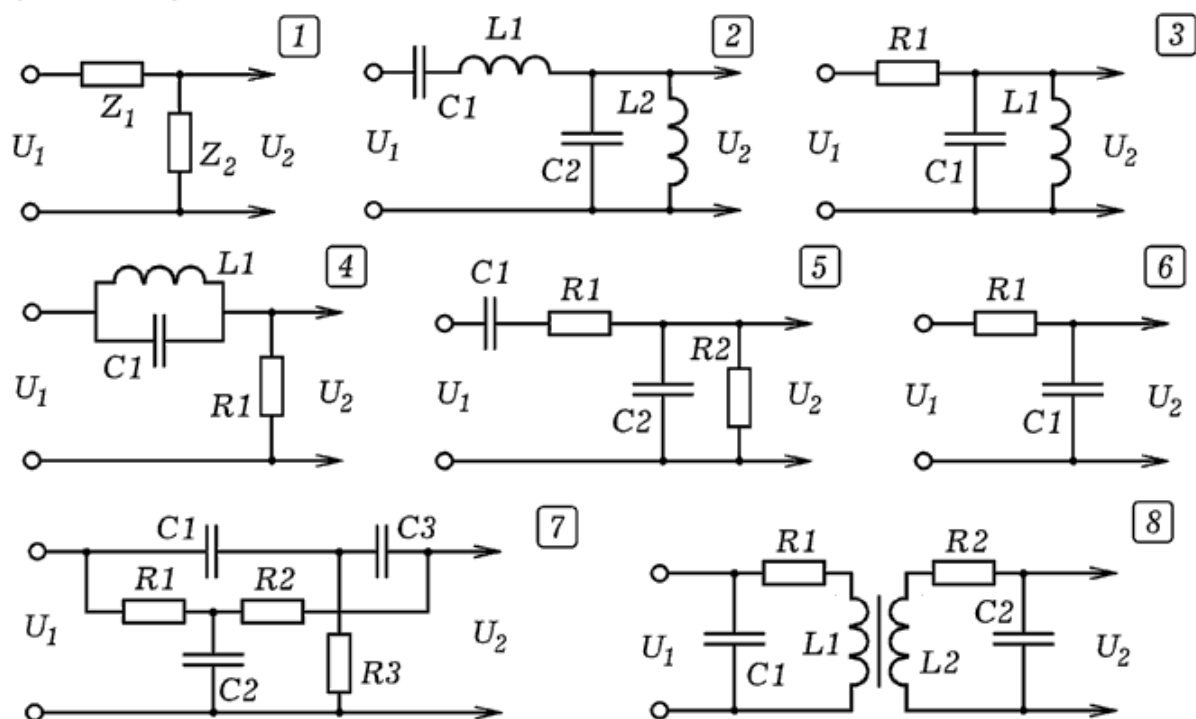


Рис. 18

Изучим частотную зависимость коэффициента передачи моста Вина, представляющего собой Г-образный фильтр, обе ветви которого содержат последовательно и параллельно соединенные резистор и конденсатор (рис. 18.5), причем  $C_1 = C_2$ ,  $R_1 = R_2$ . Импедансы ветвей моста Вина и его коэффициент передачи равны:

$$\dot{Z}_1 = R - \frac{j}{\omega C}, \quad \dot{Z}_2 = \frac{-jR/\omega C}{R - j/\omega C}, \quad \dot{K} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - 1/(\omega RC))}.$$

В идеале полосовой фильтр должен иметь П-образную характеристику  $K = K(\omega)$  и линейную характеристику  $\varphi = \varphi(\omega)$ . Для получения П-образной зависимости  $K = K(\omega)$  используют индуктивно связанные контуры, представляющие собой два колебательных контура, катушки индуктивности которых находятся на одном сердечнике (рис. 18.8).

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Соберите схему. На вход фильтра подайте сигнал с генератора звуковой частоты, выход подключите к осциллографу. Для измерения входного и выходного напряжений используйте два вольтметра.

2. Снимите частотную характеристику фильтра. Для этого, изменяя частоту входного сигнала, запишите в табл. 18.1 показания приборов.

Таблица 18.1

$f$ , Гц	200	400	600	800	...	$4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$10^5$	$2 \cdot 10^5$
$\log(f)$									
$U_{\text{ВХ}}$ , В									
$U_{\text{ВЫХ}}$ , В									
$K(f)$									

3. Вычислите коэффициенты передачи фильтра на различных частотах. Постройте частотную характеристику фильтра  $K = K(f)$ , по оси абсцисс откладывая логарифм частоты.

4. Повторите измерения с двумя другими фильтрами, постройте их частотные характеристики.

5. В выводе охарактеризуйте и объясните получившиеся кривые, сопоставьте их с теоретически ожидаемыми.

## = Исследование 19 = ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

### ТЕОРИЯ

Если в кристалл полупроводника ввести атомы-доноры (атомы-акцепторы), то получится полупроводник типа  $n$  (типа  $p$ ), в котором основными носителями заряда являются электроны (дырки). При контакте двух полупроводников  $p$ - и  $n$ -типа возникает электронно-дырочный  $p-n$ -переход. Если его включить в прямом направлении, соединив область  $p$  с плюсом, а область  $n$  с минусом источника постоянного напряжения, то через  $p-n$ -переход потечет ток, обусловленный движением основных носителей заряда (рис. 19.1). Дырки будут перемещаться из области  $p$  в область  $n$ , а электроны — из области  $n$  в область  $p$ . При обратном включении электронно-дырочного перехода основные носители заряда не будут переходить через  $p-n$ -переход, через него потечет очень небольшой ток, обусловленный движением неосновных носителей заряда. Это свойство диода называется односторонней проводимостью.

Полупроводниковый диод — это двухэлектродный электронный прибор с одним  $p-n$ -переходом. Для снятия вольт-амперной характеристики диода используется схема на рис. 19.2.

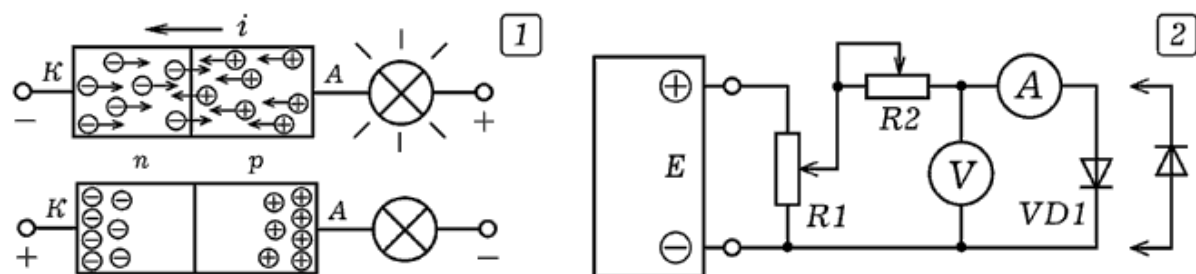


Рис. 19

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Соберите схему, изображенную на рис. 19.2. Сопротивления реостатов  $R_1 = 1$  кОм и  $R_2 = 0,5$  кОм.

2. Снимите вольт-амперную характеристику диода  $I = f(U)$  при прямом включении. Перемещая подвижный контакт реостата  $R_1$ , плавно увеличивайте напряжение на диоде. Показания амперметра и вольтметра записывайте в табл. 19.1.

Таблица 19.1

$N$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$U, \text{В}$											
$I, \text{А}$											

3. Переверните диод, подав на его анод минус, а на катод — плюс. Снимите вольт-амперную характеристику диода  $I = f(U)$  при обратном включении, записывая результаты измерений в табл. 19.1.

4. Постройте вольт-амперную характеристику диода  $I = f(U)$ .

5. В выводе охарактеризуйте и объясните получившийся график. Почему диод является нелинейным элементом?

## = Исследование 20 = БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

### ТЕОРИЯ

Работа биполярного транзистора обусловлена движением основных носителей заряда обоих знаков: отрицательных (электроны) и положительных (дырки). Транзистор имеет два  $p-n$ -перехода и три вывода: база — управляющий электрод, эмиттер — электрод, из которого вытекают основные носители заряда, и коллектор — электрод, в который втекают основные носители заряда. Чтобы изготовить транзистор прямой проводимости ( $p-n-p$ ) берут пластину кремния  $n$ -типа и методом диффузии создают на ее проти-

воположных сторонах области типа  $p$ , соответствующие эмиттеру и коллектору. Для подключения выводов поверхности базы, эмиттера и коллектора металлизуют.

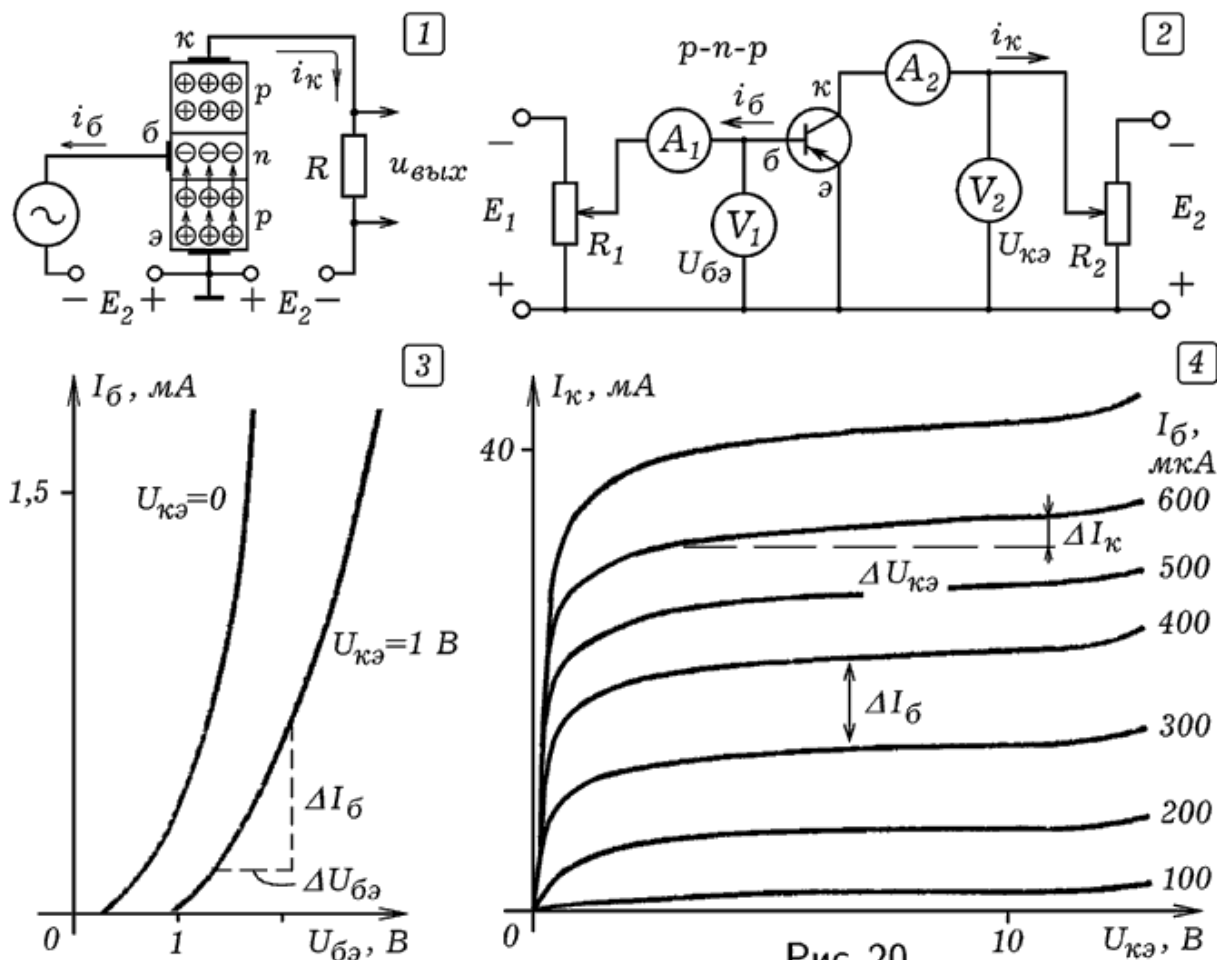


Рис. 20

Схема включения транзистора типа  $p - n - p$  с общим эмиттером изображена на рис. 20.1. На коллектор подают отрицательный потенциал относительно эмиттера,  $p - n$ -переход база-эмиттер открыт, а  $p - n$ -переход база-коллектор закрыт, ток через нагрузку мал ( $I_K = 0$ ). При подаче на базу отрицательного потенциала дырки из эмиттера переходят в базу, которая имеет небольшую толщину и невысокую концентрацию электронов. Небольшая часть дырок рекомбинирует с электронами базы, а остальные оказываются вблизи  $p - n$ -перехода база-коллектор. Сопротивление этого  $p - n$ -перехода падает, коллекторный ток растет. При периодическом изменении потенциала базы происходят соответствующие изменения тока коллектора и напряжения на нагрузке. Параметры цепи подбирают так, чтобы амплитуда колебаний выходного напряжения в десятки раз превышала амплитуду входного. Транзистор типа  $n - p - n$  работает аналогично, при его включении следует поменять полярность источников  $E_1$  и  $E_2$ .

Для снятия статических характеристик транзистора используется схема на рис. 20.2. Ток коллектора  $I_K$  зависит от напряжения на базе  $U_{БЭ}$  и на коллекторе  $U_{КЭ}$  относительно эмиттера. Входная статическая характеристика  $I_B = f(U_{БЭ})$  при  $U_{КЭ} = const$  представляет собой вольт–амперную характеристику  $p-n$ -перехода база–эмиттер (рис. 20.3). Выходные статические характеристики  $I_K = f(U_{КЭ})$  при различных  $U_{БЭ} = const$  — это семейство кривых с практически горизонтальными участками, соответствующими режиму насыщения, когда транзистор полностью открыт (рис. 20.4).

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Изучите устройство и принцип действия транзистора. Соберите схему, изображенную на рис. 20.2.

2. Снимите входную характеристику транзистора  $I_B = f(U_{БЭ})$  (зависимость тока базы от напряжения между базой и эмиттером) при  $U_{КЭ} = U_1 = const$ . Для этого следует с помощью потенциометра  $R_1$  изменять напряжение на базе  $U_{БЭ}$  и измерять ток базы  $I_B$  амперметром А1. Если при этом будет изменяться напряжение коллектора  $U_{КЭ}$ , контролируемое вольтметром V1, то с помощью резистора  $R_1$  его следует возвращать к первоначальному значению.

Таблица 20.1

$I_B = f(U_{БЭ})$	$N$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$U_{КЭ} = \dots$	$U_{БЭ}$												
	$I_B$												
$U_{КЭ} = \dots$	$U_{БЭ}$												
	$I_B$												

3. Повторите измерения при другом напряжении между коллектором и эмиттером  $U_{КЭ}$ . Постройте графики зависимости  $I_B = f(U_{БЭ})$  при различных  $U_{КЭ}$ .

Таблица 20.2

$I_K = f(U_{КЭ})$	$N$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$I_B = \dots$	$U_{КЭ}$												
	$I_K$												
$I_B = \dots$	$U_{КЭ}$												
	$I_K$												

4. Снимите выходную характеристику транзистора  $I_K = f(U_{КЭ})$  (зависимость тока коллектора от напряжения между коллектором и

эмиттером) при некотором токе базы  $I_B = const$ . Ток базы следует поддерживать постоянным с помощью резистора  $R_1$ .

5. Повторите измерения при других токах базы  $I_B$ . Постройте графики  $I_K = f(U_{КЭ})$  при различных  $I_B$ .

6. Определите параметры транзисторов: коэффициент передачи тока базы:  $\beta = \Delta I_K / \Delta I_B$  при  $U_{КЭ} = const$ , входное сопротивление  $R_{ВХ} = \Delta U_{БЭ} / \Delta I_B$  при  $U_{КЭ} = const$ , выходное сопротивление  $R_{ВЫХ} = \Delta U_{КЭ} / \Delta I_K$  при  $I_B = const$ .

7. В выводе охарактеризуйте и объясните результаты опытов.

**= Исследование 21 =**  
**ГЕНЕРАТОР ЛИНЕЙНО-**  
**ИМПУЛЬСНОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

**ТЕОРИЯ**

Тиристор — полупроводниковый прибор с многослойной структурой типа  $p-n-p-n$  (с тремя электронно-дырочными переходами), обладающий свойствами электрического вентиля. Неуправляемый тиристор имеет два вывода (анод и катод) и называется динистром. Управляемый тиристор имеет третий вывод — управляющий электрод и называется тринистром. Для снятия вольт-амперной характеристики динистора используют схему на рис. 21.1. Источник регулируемый, чтобы увеличить его внутреннее сопротивление последовательно с ним включают резистор  $R_1 = 100 \text{ кОм}$ .

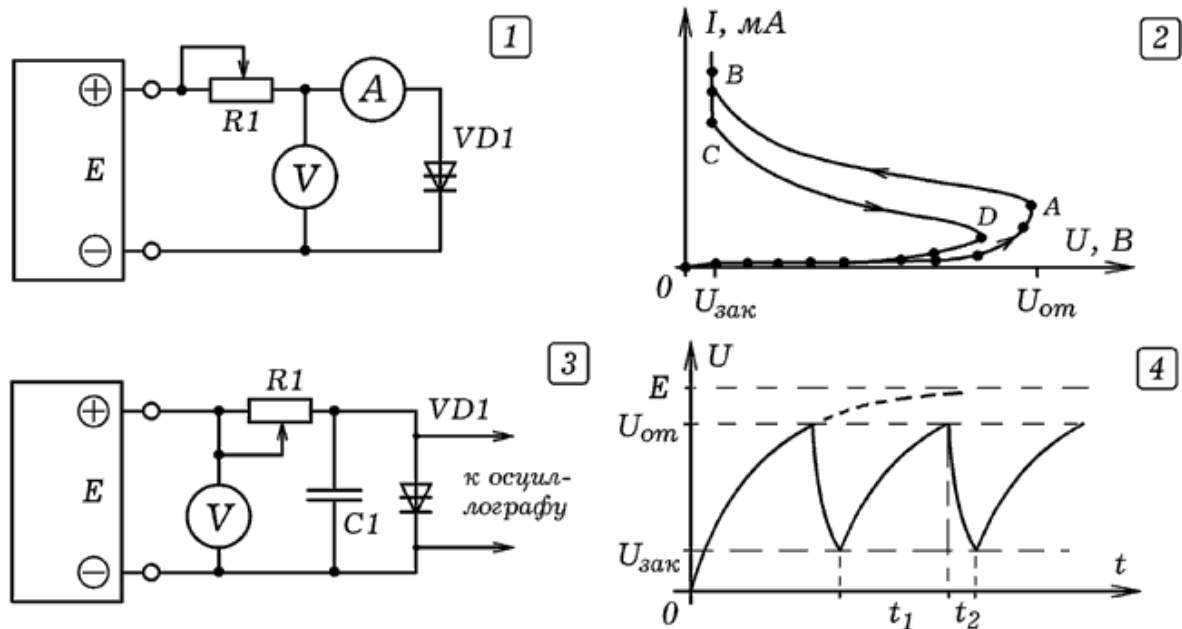


Рис. 21

Сначала с ростом напряжения ток возрастает медленно, сопротивление динистора велико, он закрыт (участок OA, рис. 21.2). При



достижении напряжения открывания  $U_{от}$ , напряжение на динисторе резко падает, ток возрастает (участок АВ с отрицательным сопротивлением, рис. 21.2). При этом сопротивление динистора резко уменьшается, он открывается и пропускает большой ток. При уменьшении напряжения до напряжения закрывания  $U_{зак}$  сопротивление динистора резко возрастает, он закрывается (участок CD, рис. 21.2). Напряжение закрывания меньше напряжения открывания.

Простейший генератор линейно-импульсного (пилообразного) напряжения может быть собран из тиристора (динистора или тринистора), резистора и конденсатора (рис. 21.3). При включении тиристор закрыт, конденсатор  $C1$  медленно заряжается от источника питания через резистор  $R1$ . Напряжение на конденсаторе растет до напряжения открывания тиристора (рис. 21.4). Когда тиристор открывается, его сопротивление резко падает, и конденсатор быстро разряжается через него. При уменьшении анодного напряжения до напряжения закрывания тиристор закрывается, после чего все повторяется снова. Время заряда  $\tau = RC$ , поэтому при увеличении  $R$  и  $C$  период колебаний растет, частота импульсов уменьшается. С ростом напряжения питания конденсатор заряжается быстрее, частота генерируемых импульсов увеличивается. Если использовать тринистор, то при подаче на управляющий электрод положительного относительно катода потенциала напряжение открывания уменьшается, частота формируемых импульсов растет.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Соберите схему для снятия вольт-амперной характеристики динистора (рис. 21.1). Исследуйте процесс открывания динистора, для этого плавно увеличивайте напряжение и измеряйте силу тока, протекающего через него. Результаты запишите в табл. 21.1. Определите напряжение открывания  $U_{от}$  (10 – 12 В).

Таблица 21.2

Таблица 21.1

$N$	$U$	$I$
1	0	0
	...	
8		

$N$	$E$	$R$	$C$	$f$
1	30 В			
2	60 В	100 кОм	2 мкФ	
3	90 В			
4		30 кОм		
5	60 В	60 кОм	4 мкФ	
6		100 кОм		
7			1 мкФ	
8	90 В	50 кОм	2 мкФ	
9			4 мкФ	

2. Исследуйте процесс закрывания динистора, для этого сделайте так, чтобы динистор открылся, а затем медленно уменьшайте напряжение питания, измеряя при этом ток через динистор. Определите напряжение закрывания  $U_{\text{Зак}}$ .

3. Соберите релаксационный генератор линейно-импульсного напряжения (рис. 21.3). Параллельно выходным клеммам источника подключите вольтметр, а параллельно динистору — осциллограф.

4. Подайте на схему напряжение 30–100 В. Получите на экране осциллографа устойчивую осциллограмму пилообразного напряжения. Зарисуйте ее в тетради.

5. Исследуйте зависимость частоты генератора от напряжения питания  $E$ . Выполните три измерения частоты при различных напряжениях питания. Результаты запишите в табл. 21.2.

6. Изменяя сопротивление резистора  $R_1$  и емкость конденсатора  $C_1$ , изучите зависимость частоты колебаний от этих параметров генератора. Результаты занесите в табл. 21.2.

7. В выводе проанализируйте и объясните результаты измерений.

## = Исследование 22 = ОДНОТАКТНЫЙ И ДВУХТАКТНЫЙ УСИЛИТЕЛИ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

### ТЕОРИЯ

Усилитель предназначен для увеличения амплитуды колебаний за счет энергии источника постоянного тока. Если коэффициент усиления не зависит от частоты, то амплитуда всех гармоник сигнала увеличивается в равное число раз и сигнал сохраняет свою форму, увеличивая амплитуду (линейные искажения). В случае, когда коэффициент усиления зависит от частоты или усилитель достигает режима насыщения, усиливаемый сигнал изменяет свою форму (нелинейные искажения).

Резисторный усилитель (рис. 22.1) содержит транзистор  $VT_1$ , включенный по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Конденсаторы  $C_1$  и  $C_3$  разделительные, пропускают переменную составляющую сигнала. Делитель на  $R_1$  и  $R_2$  создает на базе транзистора необходимое напряжение смещения, задавая режим его работы. Чтобы исключить нелинейные искажения, транзистор должен быть полуоткрыт (режим А). При увеличении потенциала на базе транзистор  $n-p-n$ -типа открывается, сопротивление между коллектором и эмиттером падает, напряжение на выходе уменьшается. При уменьшении потенциала базы все происходит наоборот. Сдвиг фаз между входным и выходным сигналами равен  $\pi$ . Частотная зависимость коэффициента усиления представлена на рис. 22.2.

Резистор R4 необходим для температурной стабилизации работы усилителя: если температура растет, ток  $i_K$  через коллектор-эмиттер увеличивается. Это вызывает рост напряжения на R4, что приводит к уменьшению напряжения  $u_{БЭ}$  база-эмиттер. В результате коллекторный ток  $i_K$  стабилизируется. Чтобы на работу транзистора не влияла переменная составляющая тока  $i_K$ , резистор R4 шунтируют конденсатором C2 достаточно большой емкости (рис. 22.1).

Двухтактный усилитель состоит из двух транзисторов, работающих в режиме В (рис. 22.3). В состоянии покоя транзисторы закрыты, а при поступлении на вход синусоидального сигнала поочередно открываются. Когда потенциал точки А положительный, диод VD1 и транзистор VT2 закрыты, транзистор VT3 открывается, и потенциал его коллектора (точка В) уменьшается. Когда потенциал точки А отрицательный, транзистор VT3 закрывается, а диод VD1 открывается, и потенциал базы VT2 уменьшается. Это приводит к открыванию VT2, потенциал его эмиттера (точка В) растет. Конденсаторы C1 и C2 разделительные, они пропускают только переменную составляющую сигнала.

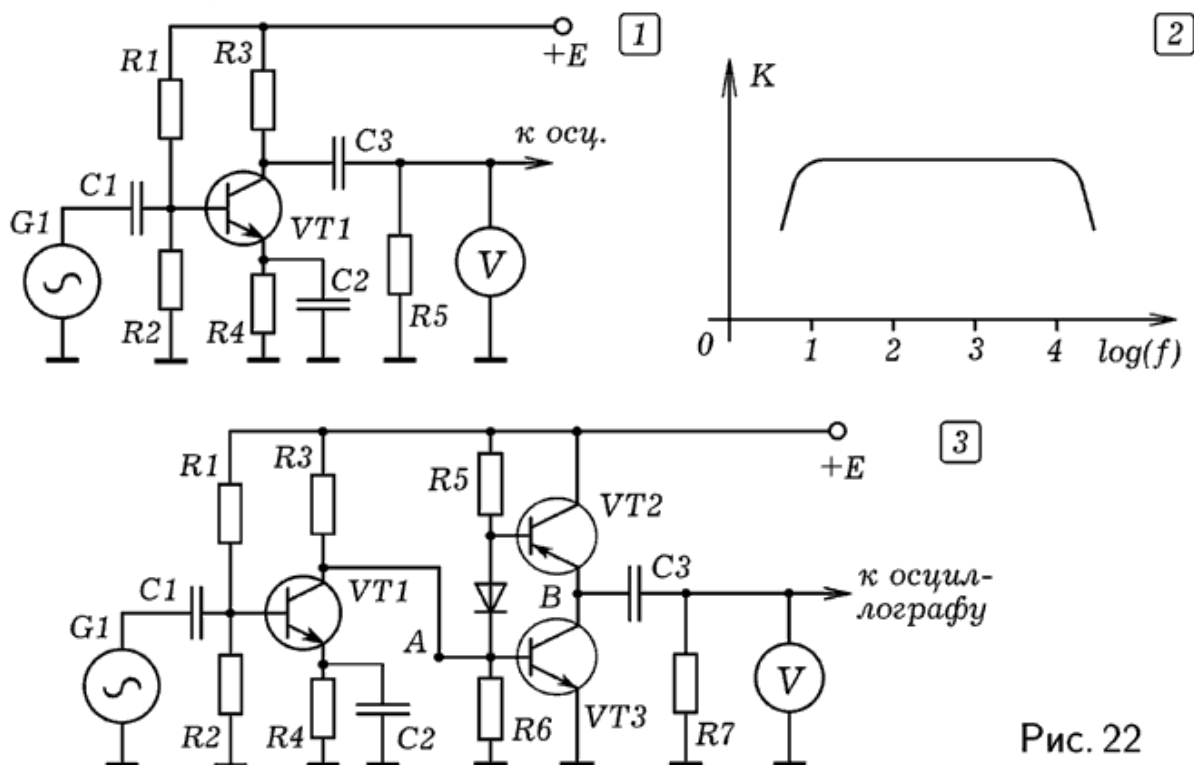


Рис. 22

**ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ**

1. Соберите установку, состоящую из однотактного усилителя, блока питания на 10 – 15 В, генератора звуковой частоты, осциллографа и вольтметра.

2. Вместе с преподавателем включите приборы. На вход усилителя подайте сигнал с генератора. Добейтесь появления на экране

осциллографа, подключенного к выходу усилителя, синусоиды.

3. С помощью осциллографа измерьте амплитуду входного  $U_{m1}$  и выходного  $U_{m2}$  сигналов, найдите коэффициент усиления на данной частоте:  $K = U_{m2}/U_{m1}$ .

4. Снимите частотную характеристику усилителя. Для этого измерьте коэффициент усиления на частотах 200, 400, 600, 800,  $10^3$ ,  $10^4$ ,  $2 \cdot 10^4$ ,  $3 \cdot 10^4$ ,  $4 \cdot 10^4$ ,  $5 \cdot 10^4$ ,  $10^5$ ,  $2 \cdot 10^5$  Гц. Заполните табл. 22.1.

5. Постройте график этой зависимости, откладывая частоту в логарифмическом масштабе. Определите полосу пропускания.

Таблица 22.1

$N$	1	2	3	4	...				
$f$ , Гц	200	400	600	800	...	...	$5 \cdot 10^4$	$10^5$	$2 \cdot 10^5$
$\log(f)$									
$U_{ВХ}$ , В									
$U_{ВЫХ}$ , В									
$K(f)$									

6. Исследуйте зависимость выходного напряжения от входного  $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$  на фиксированной частоте  $f = 1$  кГц. Результаты измерения входного и выходного напряжений запишите в табл. 22.2. Постройте амплитудную характеристику усилителя.

Таблица 22.2

$N$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{ВХ}$ , В	0	0,03	0,05	0,07	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30
$U_{ВЫХ}$ , В									

7. Соберите установку, состоящую из двухтактного усилителя, блока питания на 10 – 15 В, генератора звуковой частоты, осциллографа и вольтметра. Приготовьте таблицы, аналогичные табл. 22.1 и 22.2.

8. Снимите частотную характеристику усилителя. Для этого измерьте коэффициент усиления на различных частотах, заполните таблицу. Постройте график этой зависимости, откладывая частоту в логарифмическом масштабе. Определите полосу пропускания.

9. Исследуйте зависимость выходного напряжения от входного  $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$  на фиксированной частоте  $f = 1$  кГц. Результаты измерения входного и выходного напряжений запишите в таблицу. Постройте амплитудную характеристику усилителя.

10. В выводе охарактеризуйте и объясните получившиеся характеристики для одноконтурного и двухтактного усилителей.

## = Исследование 23 =

# СИММЕТРИЧНЫЙ МУЛЬТИВИБРАТОР

### ТЕОРИЯ

Автогенератор электрических колебаний преобразует энергию источника постоянного тока в энергию переменного тока требуемой формы. Он состоит из усилителя и цепи положительной обратной связи, через которую часть выходного сигнала подается на вход. Генерация происходит на частотах, для которых выполняются условия баланса фаз и баланса амплитуд.

Симметричный мультивибратор (рис. 23.1) представляет собой двухкаскадный усилитель, выход которого соединен с входом. Каждый транзистор поворачивает фазу на  $\pi$ , поэтому суммарный сдвиг фаз, который приобретает сигнал при прохождении через усилитель и цепь обратной связи, равен  $2\pi$ . Выполняется баланс фаз, сигнал с выхода поступает на вход в фазе с входным сигналом и усиливает его. В режиме самовозбуждения транзисторы поочередно переходят из открытого состояния в закрытое, на выходе получается последовательность прямоугольных импульсов.

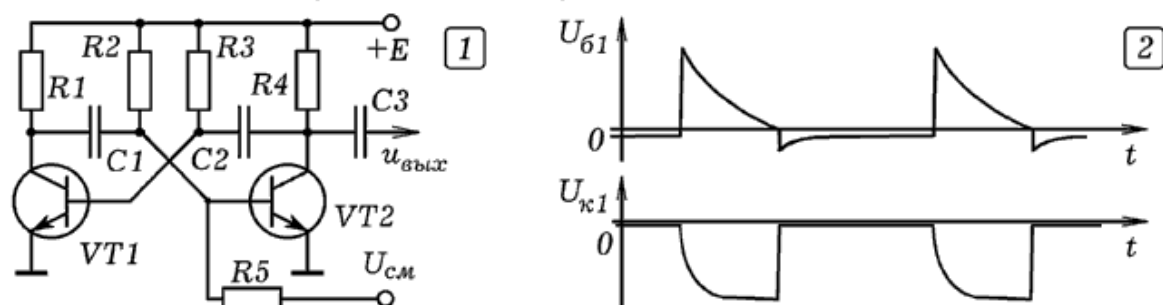


Рис. 23

В схеме (рис. 23.1) используются транзисторы обратной проводимости (типа  $n - p - n$ ), которые открываются при подача на базу положительного потенциала относительно эмиттера. Пусть при включении транзистор VT1 открывается, левая пластина конденсатора C1 соединяется с общим проводом, он начинает заряжаться через R2. Потенциал базы транзистора VT2 растет, через некоторое время VT2 открывается и правая пластина C2 соединяется с общим. В результате потенциал базы VT1 падает, он закрывается. Конденсатор C2 начинает заряжаться, потенциал базы VT1 растет. Через некоторое время открывается VT1, что приводит к закрыванию VT2 и т.д. В результате мультивибратор генерирует прямоугольные импульсы (рис. 23.2). Чем меньше емкость конденсаторов C1, C2 и сопротивление резисторов R2, R3, тем быстрее заряжаются конденсаторы и выше частота вырабатываемых импульсов. Они имеют

длительность  $\tau_1 = R_2 C_1$ , интервал времени между ними  $\tau_2 = R_3 C_2$ .

При подаче на базу транзистора VT2 положительного (отрицательного) потенциала VT2 будет все время оставаться открытым (закрытым), генерация импульсов прекратится. Конденсатор C3 пропускает только переменную составляющую сигнала.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Соберите схему мультивибратора. К выходу подключите осциллограф, подайте напряжение питания 10 – 15 В.

2. Получите осциллограммы напряжения на базах и коллекторах транзисторов относительно общего. Зарисуйте их в тетради.

3. Пользуясь калиброванной разверткой осциллографа, измерьте параметры генерируемых импульсов: период  $T$ , длительность  $t_{И}$ , промежуток времени между импульсами  $t_{П}$ . Результаты измерений, а также значения  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_2$  и  $R_3$  запишите в табл. 23.1.

Таблица 23.1

$N$	$C_1$	$C_2$	$R_2$	$R_3$	$t_{И}$	$t_{П}$	$T$	$\tau_1$	$\tau_2$
1									
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6									

4. Повторите измерения при других значениях  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_2$  и  $R_3$ . Результаты запишите в табл. 23.1.

5. Вычислите время заряда конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ :  $\tau_1 = R_2 C_1$  и  $\tau_2 = R_3 C_2$ . Запишите  $\tau_1$  и  $\tau_2$  в табл. 23.1.

6. В выводе сравните результаты измерений  $t_{И}$  и  $t_{П}$  с результатами вычислений  $\tau_1$  и  $\tau_2$ . Как зависят длительность генерируемых импульсов и интервал времени между ними от параметров мультивибратора ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_2$  и  $R_3$ )?

## = Исследование 24 = НЕСИММЕТРИЧНЫЙ МУЛЬТИВИБРАТОР

### ТЕОРИЯ

Мультивибратор — это генератор электрических импульсов, представляющий собой двухкаскадный усилитель, охваченный положительной обратной связью. Несимметричный мультивибратор (рис. 24.1) состоит из усилительного каскада на двух транзисторах, выход которого (коллектор транзистора VT2) соединен с входом (база транзистора VT1) через конденсатор C1. В качестве нагрузки используется динамик. Транзистор VT1 прямой проводимости

( $p - n - p$ -типа), открывается при подаче на базу отрицательно-го относительно эмиттера потенциала. Транзистор VT2 обратной проводимости ( $n - p - n$ -типа), открывается при подаче на базу положительного относительно эмиттера потенциала.

При включении конденсатор C1 заряжается через динамик, резисторы R1 и R2 (непрерывная линия), потенциал базы уменьшается. Когда на базе VT1 возникает отрицательный потенциал, транзистор VT1 открывается, сопротивление коллектор-эмиттер падает. База транзистора VT2 оказывается соединенной с положительным полюсом источника, транзистор VT2 также открывается, ток коллектора растет. В результате через динамик течет ток, конденсатор C1 разряжается через резисторы R1, R2 и транзистор VT2 (пунктир). Потенциал базы VT1 возрастает, транзистор VT1 закрывается, вызывая закрывание транзистора VT2. После этого конденсатор C1 снова заряжается, затем разряжается и т.д. Частота генерируемых импульсов обратно пропорциональна времени заряда конденсатора  $\tau = (R_1 + R_2) \cdot C_1$ . С ростом напряжения питания конденсатор заряжается быстрее, частота генерируемых импульсов растет. При увеличении сопротивления переменного резистора R1 или емкости конденсатора C1 частота колебаний уменьшается.

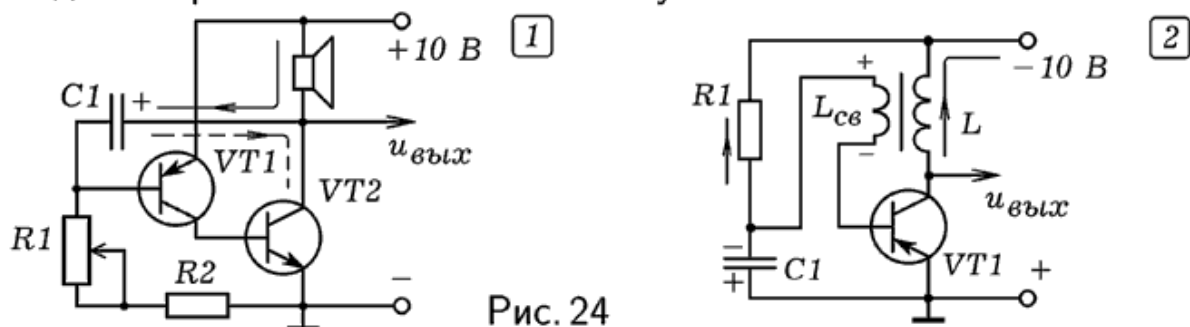


Рис. 24

Блокинг-генератор — это релаксационный генератор с сильной трансформаторной обратной связью (рис. 24.2), вырабатывающий последовательность кратковременных импульсов, разделенных достаточно большим промежутком времени. При включении конденсатор C1 начинает заряжаться через резистор R1, на базе появляется отрицательный потенциал. Транзистор VT1 открывается, через катушку L начинает течь ток. В результате в катушке связи  $L_{св}$  возникает напряжение и при правильном ее включении потенциал базы VT1 становится еще отрицательнее. Транзистор открывается еще сильнее. Это продолжается до тех пор, пока он полностью не откроется. Конденсатор C1 разряжается через резистор R1 и открытый транзистор. Так как коллекторный ток перестает изменяться (транзистор достиг насыщения), то напряжение на катушке связи становится равным нулю и транзистор закрывается. Конденсатор C1 снова начинает заряжаться, потенциал базы уменьшается и т.д.

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Спаяйте мультивибратор. Вместе с преподавателем включите схему, динамик должен издавать частые щелчки.
2. Изменяя сопротивление  $R_2$ , емкость конденсатора  $C_1$  и напряжение питания  $E$ , исследуйте зависимость частоты генерируемых импульсов от этих величин.
3. Используя осциллограф, получите осциллограммы напряжения на динамике и на конденсаторе. Зарисуйте их в тетради.
4. В выводе объясните, как и почему зависит частота импульсов от параметров мультивибратора.

## = Исследование 25 = МОДУЛЯЦИЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

### ТЕОРИЯ

Низкочастотные (звуковые) колебания плохо излучаются и не могут передаваться с помощью электромагнитных волн на большие расстояния. Для передачи сигнала используются радиоволны — электромагнитные волны с частотой  $10^5 - 10^{12}$  Гц. В радиопередатчике колебания высокой частоты модулируются низкочастотным (звуковым) сигналом.

Модуляция — это наложение сигнала, несущего информацию, на колебания высокой частоты. В результате амплитудной модуляции происходит изменение амплитуды несущих колебаний высокой частоты в соответствии с низкочастотным сигналом, который переносит информацию. Модулятором может быть генератор высокочастотных колебаний, напряжение питания которого зависит от низкочастотного сигнала. Для этого последовательно с источником включают вторичную обмотку трансформатора, на первичную обмотку которого подается низкочастотный сигнал (рис. 25.1). Напряжение питания генератора складывается из постоянной и переменной составляющих и при его увеличении амплитуда колебаний на выходе растет, а при уменьшении — уменьшается. Амплитудно-модулированный сигнал представляет собой высокочастотные колебания, амплитуда которых изменяется в такт с изменениями модулирующего низкочастотного напряжения (рис. 25.2). Принципиальная схема амплитудного модулятора изображена на рис. 25.3.

Процесс, обратный модуляции, в результате которого из модулированного сигнала выделяется сигнал, несущий информацию, называется детектированием, или демодуляцией. Детектирование осуществляется в радиоприемнике. Простейший амплитудный детектор состоит из полупроводникового диода и параллельно соединенных



резистора и конденсатора (рис. 25.4). Диод пропускает ток только от анода к катоду и как бы обрезает отрицательную половину амплитудно-модулированного сигнала. Конденсатор выполняет роль фильтра, шунтируя резистор по переменной составляющей высокой частоты. Переменный ток идет через конденсатор, а через резистор течет медленно изменяющийся ток. На нем возникает напряжение, форма которого повторяет модулирующий низкочастотный сигнал.

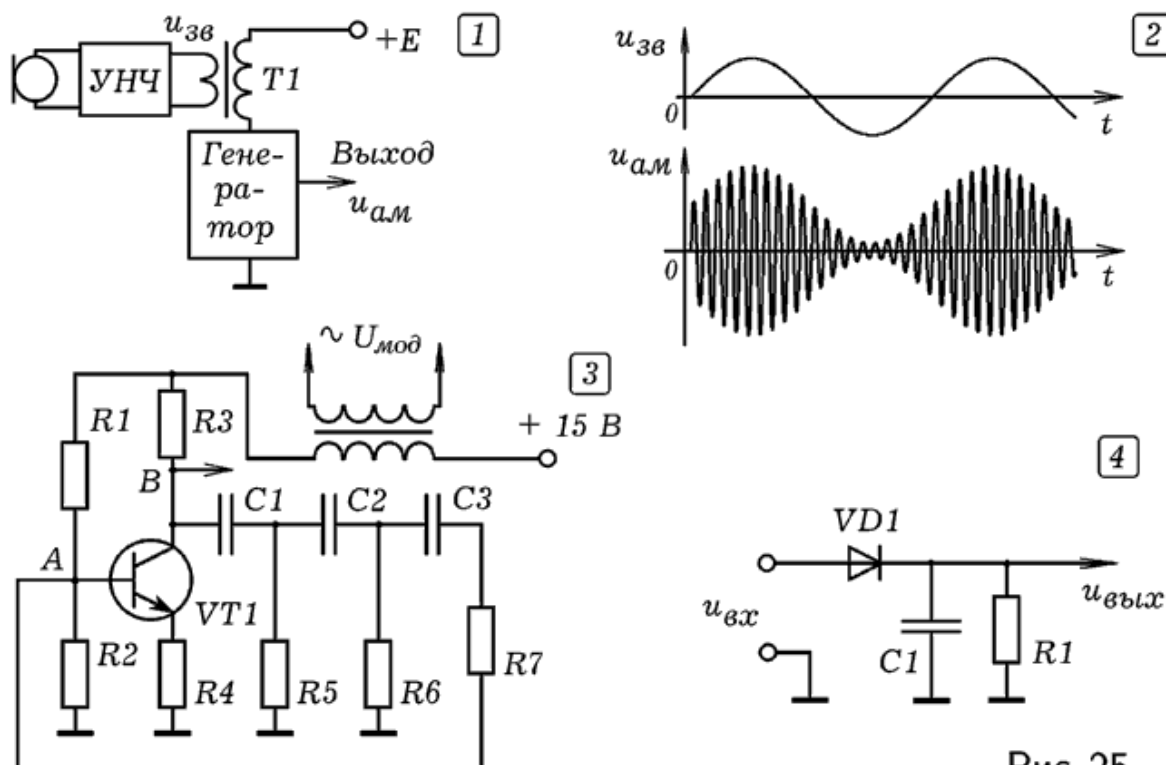


Рис. 25

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. К выходу модулятора подсоедините осциллограф и включите питание (рис. 25.3). На экране должна получиться осциллограмма высокочастотных колебаний, вырабатываемых генератором.

2. От звукового генератора подайте на первичную обмотку трансформатора низкочастотные колебания (100 Гц). Пронаблюдайте результат амплитудной модуляции: амплитуда колебаний на выходе модулятора изменяется в такт с низкочастотным сигналом.

3. Измените частоту и амплитуду модулирующего сигнала. Пронаблюдайте изменения сигнала на выходе модулятора. Зарисуйте осциллограммы при различной глубине модуляции. Вычислите глубину модуляции по формуле

$$M = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}} \times 100\%.$$

Если  $U_{min} = 0$ , то глубина модуляции 100%.

4. К выходу модулятора подключите детектор (рис. 25.4), осциллограф подсоедините к выходу детектора. Изменяя амплитуду и частоту модулирующего сигнала со звукового генератора, наблюдайте и зарисуйте осциллограммы на выходе детектора.

5. В выводе опишите наблюдаемые осциллограммы и объясните работу амплитудного модулятора и детектора.

## = Исследование 26 = ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

### ТЕОРИЯ

Операционный усилитель (ОУ) — усилитель постоянного тока с высоким коэффициентом передачи постоянного напряжения и большим выходным сопротивлением. Интегральные ОУ имеют коэффициент усиления по напряжению от 500 до 50000, входные токи  $10 - 10^{-3}$  мкА. ОУ имеет два входа (инвертирующий и неинвертирующий) и один выход, на котором получается усиленная разность входных сигналов:  $U_{\text{ВЫХ}} = K(U_{\text{НЕИНВ}} - U_{\text{ИНВ}})$ . При подаче на инвертирующий вход переменного напряжения на выходе получают усиленные колебания той же частоты, сдвинутые по фазе на  $\pi$ .

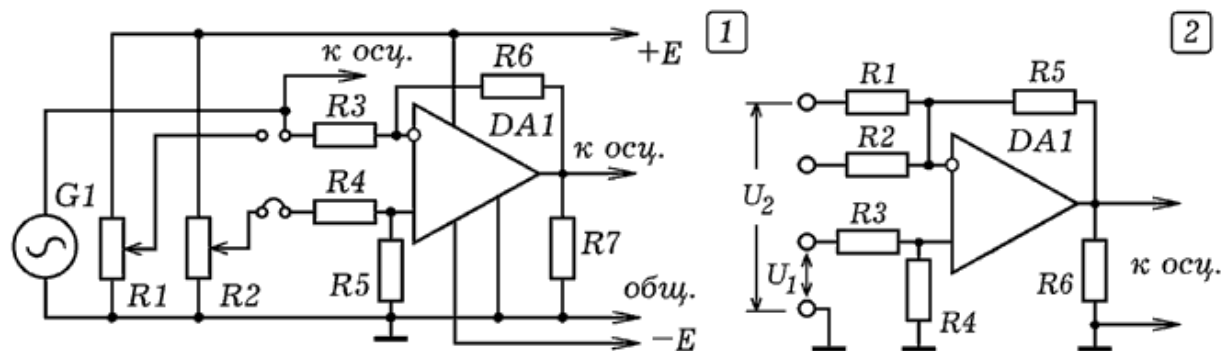


Рис. 26

Чтобы из ОУ получить усилитель, необходимо на инвертирующий вход подать усиливаемый сигнал, а второй вход соединить с общим проводом (рис. 26.1). Резистор  $R_6$  соединяет выход ОУ с его инвертирующим входом и образует цепь отрицательной обратной связи. Коэффициент усиления ОУ равен  $K = R_6/R_3$ . Схема включения ОУ как дифференциального усилителя приведена на рис. 26.2. На его выходе получается усиленная разность входных сигналов.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Нарисуйте схему включения операционного усилителя (рис. 26.1). Подключите ОУ к источнику питания.

2. Инвертирующий вход ОУ соедините с выходом генератора и входом А двухлучевого осциллографа. Вход В осциллографа под-

ключите к выходу ОУ. Подавая на вход ОУ переменное напряжение на частотах 20, 200, 2000 Гц, измерьте коэффициент усиления  $K = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}}$ .

3. Повторите измерения коэффициента усиления для неинвертирующего входа.

4. Соберите схему из двух переменных резисторов (реостатов) для подачи постоянного напряжения на инвертирующий и неинвертирующий входы ОУ (рис. 26.1).

5. Подайте на инвертирующий вход 0 В, а на неинвертирующий вход 0,1 В. Измерьте выходное напряжение. Посмотрите, как оно изменяется при увеличении входного.

6. Подайте на неинвертирующий вход 0 В, а на инвертирующий вход 0,1 В и повторите измерения. Посмотрите, как выходное напряжение изменяется при увеличении входного.

7. Изучите работу дифференциального усилителя, для этого одновременно подайте напряжения  $U_{\text{ВХ,1}}$  и  $U_{\text{ВХ,2}}$  на неинвертирующий и инвертирующий входы (рис. 26.2). Убедитесь, что на выходе усиленная разность входных напряжений  $U_{\text{ВЫХ}} = K(U_{\text{ВХ,1}} - U_{\text{ВХ,2}})$ .

8. Изучите работу сумматора (рис. 26.2), для этого на два его входа, которое соединены с инвертирующим входом ОУ, подайте постоянные напряжения  $U_{\text{ВХ,1}}$  и  $U_{\text{ВХ,2}}$ . Выходное напряжение равно усиленной сумме  $U_{\text{ВЫХ}} = -K(U_{\text{ВХ,1}} + U_{\text{ВХ,2}})$ .

9. В выводе опишите результаты опытов и объясните их.

## = Исследование 27 = ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И, ИЛИ, НЕ

### ТЕОРИЯ

Логические элементы реализуют основные логические функции "И", "ИЛИ", "НЕ". Микросхема К155ЛА3 содержит четыре логических элемента "2И-НЕ" (рис. 27.1). Выводы микросхемы пронумерованы так: смотрим на микросхему сверху, если ключ расположен слева, то левый нижний вывод — 1, рядом — 2, ..., правый нижний — 7, правый верхний — 8, рядом — 9, ..., левый верхний вывод — 14. Питание: на 14 вывод подают + 5 В, 7 вывод соединяют с общим.

Для изучения элемента 2И-НЕ используется схема на рис. 27.2. Когда на выходе элемента лог.1, светодиод VD1 горит. Если замкнуть ключи S1 и S3 (S2 и S4 разомкнуты), то на оба входа логического элемента будет подано напряжение высокого уровня (лог. 1), светодиод гореть не будет (лог. 0). Если замкнуть ключи S2 и S4 (S1 и S3 разомкнуты), то на оба входа будет подан лог. 0, светодиод загорит (лог. 1). В случае, когда вход элемента ни с чем не соеди-

нен, он находится в Z-состоянии, что соответствует лог. 1. На базе элементов 2И-НЕ можно создать инвертор (элемент НЕ) (рис. 27.3), элемент И (рис. 27.5), RS-триггер (рис. 27.6), генератор прямоугольных импульсов (рис. 27.7).

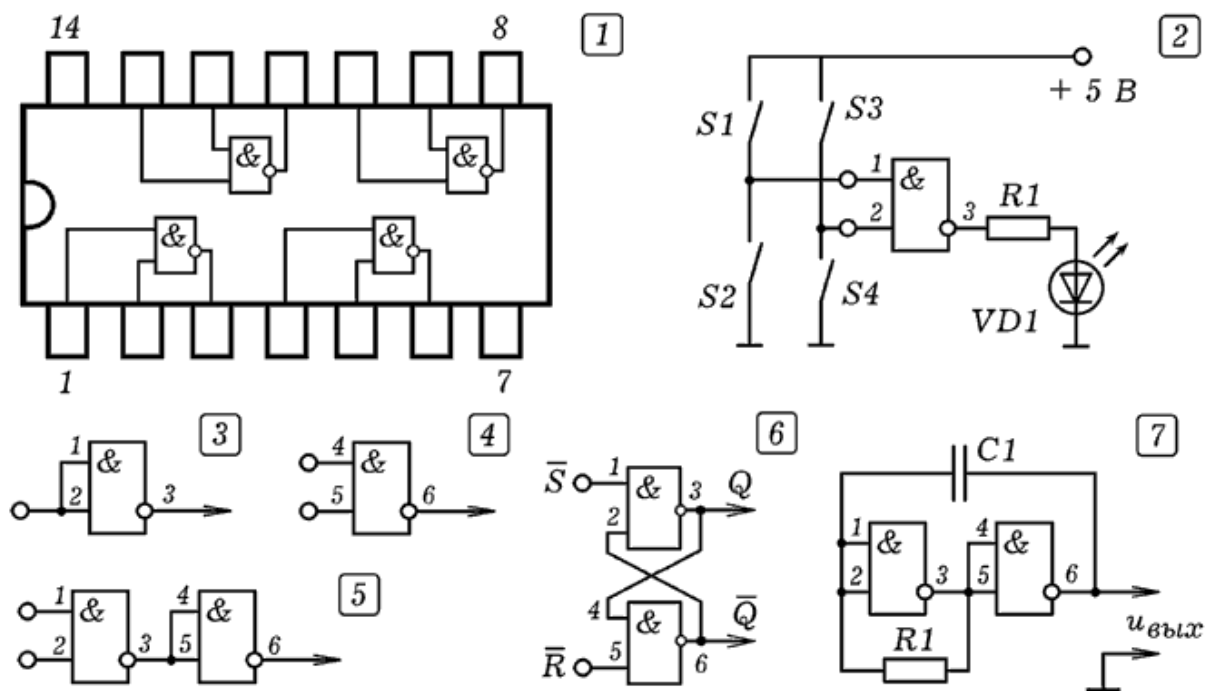


Рис. 27

Триггер — схема, находящаяся в двух устойчивых состояниях, способная формировать два значения выходного сигнала и скачкообразно изменять эти значения под действием входного сигнала. Асинхронный RS-триггер состоит из двух элементов 2И-НЕ, соединенных симметрично (рис. 27.6). Он имеет два входа: S — set (установить), R — reset (переустановить). При  $\bar{S} = 1, \bar{R} = 1$  реализуется режим хранения информации, если  $\bar{S} = 0, \bar{R} = 1$  — запись лог. 1 ( $Q = 1$ ), если  $\bar{S} = 1, \bar{R} = 0$  — запись лог. 0 ( $Q = 0$ ). Состояние  $\bar{S} = 0, \bar{R} = 0$  не используется. Выход  $\bar{Q}$  является инвертирующим по отношению к выходу Q.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Исследуйте работу логического элемента "НЕ" (рис. 27.3). Соедините входы 1 и 2, а между выходом 3 и общим подключите светодиод с резистором (как на рис. 27.2). Подайте на вход лог. 1, то есть напряжение высокого уровня + 5 В ( $x = 1$ ). Если светодиод горит, то на выходе 3 лог. 1 ( $y = 1$ ). Если светодиод не горит, то на выходе 3 лог. 0 ( $y = 0$ ). Подайте на вход лог. 0 (напряжение низкого уровня), соединив его с общим. Горит ли светодиод? Что это значит? Заполните таблицу истинности (табл. 27.1).

2. Изучите работу логического элемента "2И-НЕ" (рис. 27.2). Между выходом 3 и общим подключите светодиод с резистором. На вход 1 подайте лог. 1 ( $x_1 = 1$ ), на вход 2 — лог. 0 ( $x_2 = 0$ ). Каково состояние выхода 3 ( $y$ )? Подавая различные напряжения на входы логического элемента, заполните таблицу истинности (табл. 27.2).

Таблица 27.1

Элемент "НЕ"	
$x$	$y$
0	
1	

Таблица 27.2

Элемент "2И-НЕ"		
$x_1$	$x_2$	$y$
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	

Таблица 27.3

Элемент "2И"		
$x_1$	$x_2$	$y$
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	

Таблица 27.4

RS-триггер			
$Q^t$	$R$	$S$	$Q^{t+1}$
	0	0	
	1	0	
	0	1	
	1	1	

3. Изучите работу логического элемента "2И". Если к выходу элемента "И-НЕ" подключить элемент "НЕ", то получится логический элемент "И" (рис. 27.5). Заполните таблицу истинности (табл. 27.3).

4. Исследуйте работу RS-триггера. Соберите схему, изображенную на рис. 27.6. Подавая на входы  $\bar{R}$  и  $\bar{S}$  лог. 0 и лог. 1, с помощью светодиода определите состояние выхода  $Q^{t+1}$  при различных исходных состояниях  $Q^t$  (всего 8 опытов) и заполните таблицу истинности (табл. 27.4). Убедитесь в том, что триггер запоминает информацию.

5. Изучите работу цифрового генератора. Соберите схему, изображенную на рис. 27.7, к выходу подключите осциллограф и наблюдайте генерируемые импульсы. Изменяя сопротивление резистора и емкость конденсатора, изучите зависимость частоты импульсов от сопротивления  $R_1$  и емкости  $C_1$  на качественном уровне.

6. С помощью осциллографа измерьте период генерируемых импульсов  $T$ , найдите их частоту  $f = 1/T$ . Сравните  $T$  с временем заряда конденсатора  $\tau = R_1 C_1$ .

7. В выводе сопоставьте получившиеся таблицы истинности с ожидаемыми (представленными в учебнике). Охарактеризуйте и объясните зависимость частоты генератора от сопротивления резистора и емкости конденсатора.

## = Исследование 28 = ПОДКЛЮЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ К ПЭВМ

### ТЕОРИЯ

Персональный компьютер — многофункциональный прибор, который может служить измерителем или регистратором различных сигналов. Для этого к параллельному LPT-порту, предназначенно-

го для принтера, следует подсоединить соответствующий датчик. LPT-порт, состоит из 25 выводов: 1 вывод — стробирующий, то есть передающий сигнал, синхронизирующий передачу информации, 2–9 выводы — 8 разрядная шина, используемая для передачи 1 байта от ПЭВМ к внешнему устройству, выводы 10–17 — шина передачи данных о состоянии принтера (подтверждение приема данных, сигнал "занят", конец бумаги, перевод строки, ошибка, готовность к работе и т.д.). Выводы 18–25 образуют общую шину заземления (корпус ПЭВМ).

Считывание 1 байта информации от внешнего устройства производится через 10–17 выводы LPT-порта, при этом передаваемое восьмиразрядное двоичное число записывается в ячейку ОЗУ с адресом  $379_{16} = 889_{10}$ . Чтобы переслать 1 байт информации от ПЭВМ к внешнему устройству необходимо записать требуемое восьмиразрядное двоичное число в ячейку ОЗУ с адресом  $378_{16} = 888_{10}$ . При этом на выводах 2–9 появится соответствующая комбинация лог. 0 и 1.

Для написания программ, представленных ниже, используются среды Borland Pascal 7.0 и MS-DOS QBasic 1.0. В языке QBasic считывание числа из ячейки ОЗУ  $379_{16} = 889_{10}$  осуществляется с помощью команды  $x = INP(\&H379)$  или  $x = INP(889)$ . Для записи числа в порт используется оператор  $OUT \&H378, 123$  или  $OUT 888, 63$ . В языке Pascal им соответствуют операторы:  $Port[888] := 212; Port[\$378] := 12;$  — запись чисел 212 и 12 в ячейку ОЗУ с адресом  $888_{10}$ ;  $x := Port[889];$  или  $x := Port[\$379];$  — считывание числа из ячейки  $889_{10}$  и его присвоение переменной  $x$ .

Для изучения магнито-контактного датчика подключим геркон 2 к параллельному порту LPT (выводы 11 и 25) и поднесем магнит 1 (рис. 28.1). Вдали от магнита геркон незамкнут, на всех выводах порта логическая 1, поэтому в ячейке памяти с адресом  $379_{16}$  находится число 11111111(255). При поднесении магнита соответствующий вывод LPT порта замыкается на общий, на нем появляется логический 0. В ячейку памяти  $379_{16}$  помещается число 01111111(127), которое может быть считано командой  $x = INP(\&H379)$ .

Оптодатчик состоит из инфракрасного светодиода 1, напротив которого установлен фотодиод 3, подключенный к ПЭВМ через схему сопряжения 4 (рис. 28.2). При пересечении оптодатчика флажком 2 на выходе схемы резко меняется напряжение: логическая 1 сменяется логическим 0 или наоборот. Зная время пересечения светового пучка или время между двумя последовательными пересечениями, можно определить скорость тела. Питание датчика осуществляется от 3 и 25 выводов порта LPT. Для этого по адресу  $378_{16}$  записывают число 255, что приводит к появлению лог. 1 на 2–9 выводах.

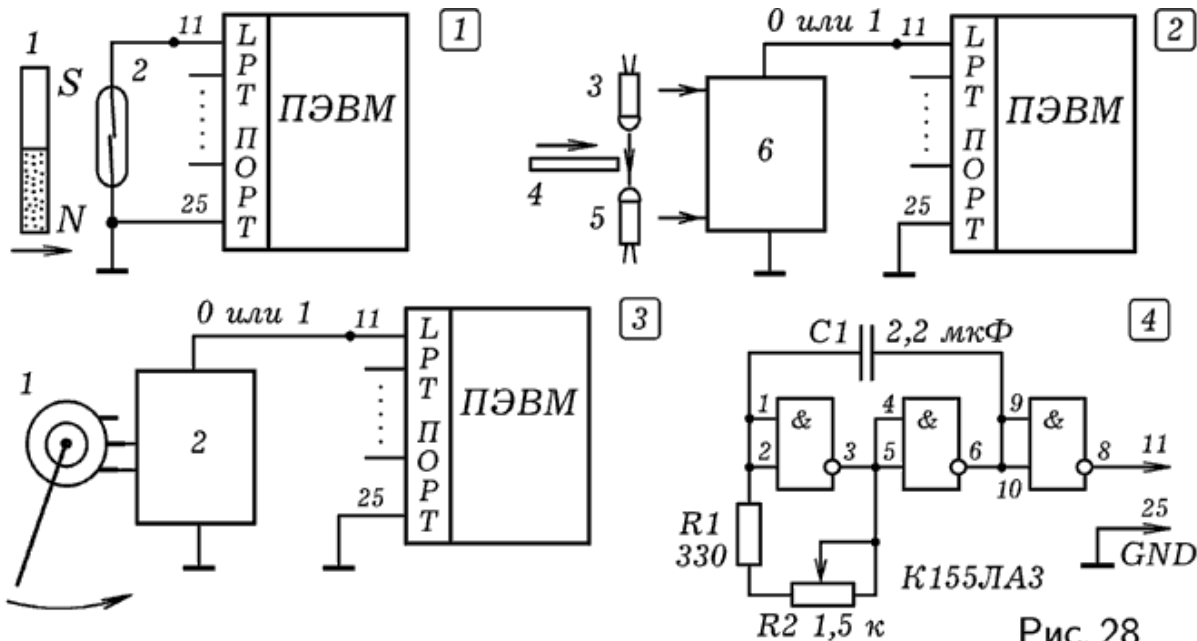


Рис. 28

Генераторный датчик координаты состоит из генератора прямоугольных импульсов 2, частота которых зависит от сопротивления переменного резистора 1, являющегося, например, датчиком координаты (рис. 28.3). Сигнал с генератора подается в ПЭВМ. Генератор собран на микросхеме К155ЛА3 (рис. 28.4), и запитан от параллельного LPT-порта. Чем меньше сопротивление резистора, тем быстрее происходит заряд или разряд конденсатора, соответственно выше частота импульсов. ПЭВМ в течение заданного промежутка времени  $\Delta t$  (например, 1 с) считает количество поступивших импульсов, и определяет их частоту. Результаты подсчета импульсов могут выводиться на экран в графическом виде, в числовом формате, либо записываться в файл.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Протестируйте магнито-контактный датчик. К LPT-порту подключите геркон (рис. 28.1) и запустите программу:

```
WHILE INKEY$ = "": PRINT INP(&H379); : WEND
```

Что произойдет, если к геркону поднести магнит? Наберите программу Пр-28.1 и повторите опыт. Пока геркон замкнут,  $x$  не равно 127, программа возвращается в цикл 1, печатая на экране "1". Когда геркон разомкнут,  $x$  равно 127, программа возвращается в цикл 2, печатая на экране "0". При нажатии на пробел — выход из программы.

```
CLS : x = INP(&H379)                                     'Пр-28.1
WHILE INKEY$ = ""                                       'QBASIC
WHILE x <> 127: x = INP(&H379): PRINT "1"; : WEND       'цикл 1
WHILE x = 127: x = INP(&H379): PRINT "0"; : WEND       'цикл 2
WEND : END
```

2. Измерьте время замыкания геркона. Для этого наберите программу Пр-28.2 и запустите ее. Сначала ПЭВМ находится в режиме ожидания (цикл 1), на экране – сообщение "ОЖИДАНИЕ". При поднесении магнита ПЭВМ выходит из цикла 1, переменной  $T_0$  присваивается текущее время, программа начинает вращаться в цикле 2, печатая на экране сообщение "ГЕРКОН ЗАМКНУТ". Удалите магнит, – переменной  $T$  присваивается время размыкания геркона. После этого вычисляется время замыкания  $T - T_0$ , результат выводится на экран. Измерьте время замыкания геркона с помощью секундомера и компьютера, сравните результаты.

```
CLS : x = INP(&H379)                                'Пр-28.2
WHILE x = 127:                                     'QBASIC
x = INP(&H379): PRINT "ОЖИДАНИЕ"                   'цикл 1
WEND : T0 = TIMER
WHILE x <> 127:
x = INP(&H379): PRINT "ГЕРКОН ЗАМКНУТ"            'цикл 2
WEND: T = TIMER: PRINT "ВРЕМЯ ", T - T0
END
```

3. Для измерения времени между последовательными замыканиями геркона наберите программу Пр-28.3 и запустите ее. К геркону поднесите магнит, удалите его и через время 5 – 20 с, отсчитанное по секундомеру, снова поднесите. На экране компьютера появится время между последовательными замыканиями.

```
CLS : x = INP(&H379)                                'Пр-28.3
WHILE x = 127                                       'QBASIC
x = INP(&H379): PRINT "НЕЗАМКНУТ": WEND           'цикл 1
t0 = TIMER
WHILE x <> 127
x = INP(&H379): PRINT "ЗАМКНУТ": WEND             'цикл 2
WHILE x = 127
x = INP(&H379): PRINT "НЕЗАМКНУТ": WEND           'цикл 3
t = TIMER: PRINT "ВРЕМЯ ", t - t0
END
```

4. Протестируйте оптодатчик. Подключите к LPT-порту оптодатчик (рис. 28.2), наберите программу Пр-28.4 и запустите ее. Программа содержит основной цикл, в который вложены циклы 1 и 2. Если в порт LPT поступает число  $1111111_2 = 255$ , то программа вращается в цикле 1 и на экране печатается "1". Если в порт LPT поступает число  $0111111_2 = 127$ , то программа вращается в цикле 2, на экран выводится "0". Освещая и затемняя фотодиод, убедитесь в том, что программа работает описанным выше образом.



```

OUT &H378, 255                                'Пр-28.4
WHILE INKEY$ = "" : x = INP(&H379)            'QBASIC
WHILE x <> 127:                                'цикл 1
x = INP(&H379): PRINT "1";
WEND : t0 = TIMER
WHILE x = 127:                                'цикл 2
x = INP(&H379): PRINT "0";
WEND: t = TIMER: PRINT t - t0
WEND: END

```

5. Измерьте время перекрытия светового пучка. Загрузите программу Пр-28.4, прокомментируйте операторы PRINT "0" И PRINT "1". Когда при перекрытии светового пучка программа выйдет из цикла 1, переменной  $T_0$  будет присвоено текущее время ПЭВМ. Пока фотодиод затемнен, программа вращается в цикле 2. При освещении фотодиода программа выходит из цикла 2 и теперь переменной  $T$  присваивается текущее время ПЭВМ. Разность  $T - T_0$  выводится на экран ПЭВМ, после чего все повторяется снова до нажатия на пробел. Измерьте время затемнения фотодиода с помощью секундомера и сравните его с результатом, выдаваемым ПЭВМ.

6. Измерьте время между двумя пересечениями светового пучка. Напишите программу, которая ждет первого затемнения оптодатчика, после чего присваивает переменной  $T_0$  текущее время по системным часам ПЭВМ, затем ждет второго пересечения оптодатчика и соответствующее время присваивает переменной  $T$ . Разность  $T - T_0$  должна выводиться на экран. Запустите программу, измерьте время между последовательными пересечениями оптодатчика с помощью секундомера и ПЭВМ, сравните результаты.

7. К ПЭВМ подключите генераторный датчик координаты (рис. 28.3). Наберите программу Пр-28.5 и запустите ее. Программа вращается в основном цикле; в него вложен цикл 1, подсчитывающий число поступающих в LPT-порт импульсов за время  $dt$ . Поворачивая подвижный контакт резистора, получите график зависимости его координаты от времени. Повторите предыдущий опыт, задав другое время счета  $dt$  и масштаб  $M$ . Измените программу так, чтобы она через заданное время  $dt$  выводила координату в числовом виде.

```

SCREEN 2                                        'Пр-28.5
LINE (10,180)-(640,180): LINE (10,0)-(10,480) 'QBASIC
OUT (888), 255: M = .2
WHILE INKEY$ = ""
n = 0: dt = 1: t0 = TIMER: t = t0 +.01
WHILE t - t0 < dt

```

```

x = INP(889): 'PRINT " x= ", x;
IF (y = 127) AND (x <> 127) THEN n = n + 1
y = x: t = TIMER
WEND: n = M * (n - 80): tt = tt + dt
LINE (10+tt*5, 180-n/dt)-(10+(tt-dt)*5, 180-nn/dt)
nn = n: 'PRINT "КООРДИНАТА", n / dt;
WEND: END

```

8. В выводе опишите и объясните результаты опытов.

## = Исследование 29 = УПРАВЛЕНИЕ ВНЕШНИМ УСТРОЙСТВОМ С ПОМОЩЬЮ ПЭВМ

### ТЕОРИЯ

С помощью ПЭВМ можно управлять внешними устройствами. Для этого удобно задействовать параллельный порт LPT, который позволяет выдавать восьмиразрядное двоичное слово. Чтобы вывести требуемую совокупность лог. 0 и лог. 1 необходимо записать в ячейку памяти с адресом  $378_{16} = 888_{10}$  соответствующее число. При этом используется команда  $OUT \{адрес\}, \{число\}$ . Например, команда  $OUT \&H378, 15$  записывает в ячейку ОЗУ  $378_{16}$  число  $00001111_2$ . На выводах 2, 3, 4, 5 LPT-порта появится лог. 1, а на остальных — лог. 0.

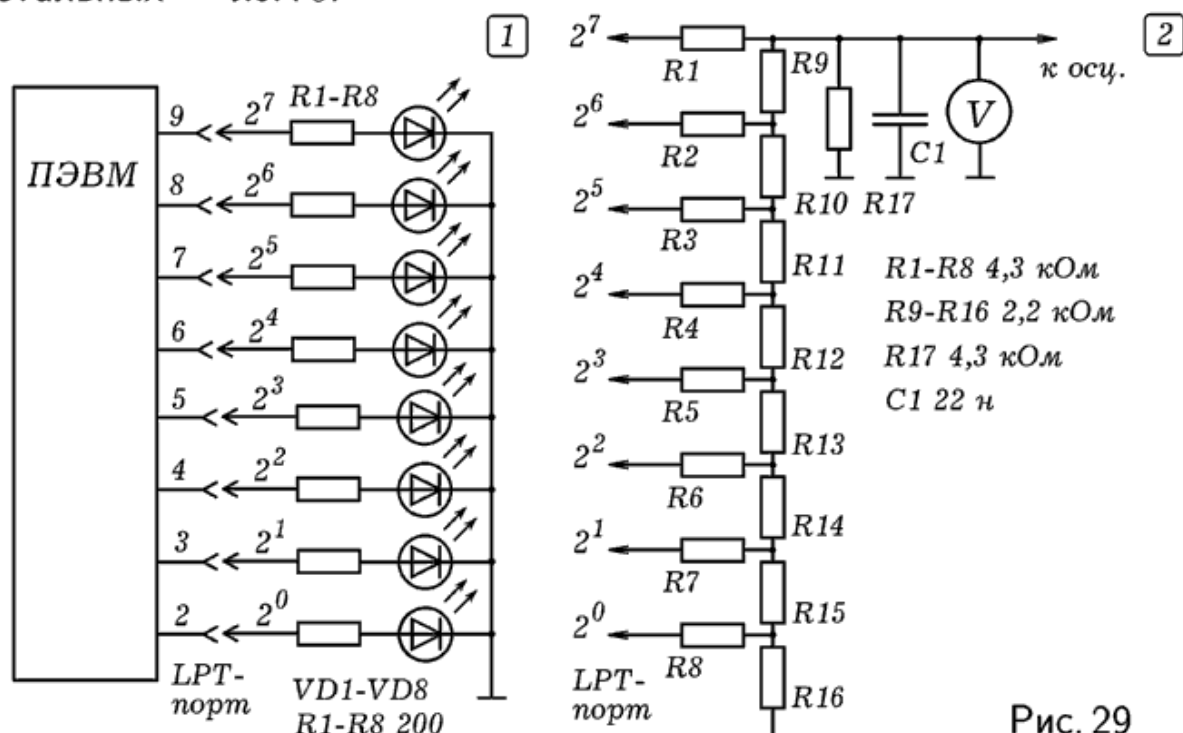


Рис. 29

Для того чтобы визуализировать состояние параллельного порта ПЭВМ, к нему следует подключить матрицу из 8 светодиодов

(рис. 29.1). В случае записи в ячейку ОЗУ  $378_{16}$  числа  $1_{10} = 00000001_2$  будет гореть первый светодиод, если записать число  $64_{10} = 01000000_2$ , загорит седьмой светодиод. Если записать число  $15_{10} = 00001111_2$ , загорят первые четыре светодиода и т.д.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Запустите среду программирования QBasic. Введите программу Пр-29.1 и изучите ее работу. При ее запуске сначала загорается первый светодиод, затем он гаснет, — загорается второй светодиод и т.д. Время свечения пропорционально числу оборотов цикла в подпрограмме.

```
WHILE INKEY$ = ""                                     'Пр-29.1
x = 0 : OUT &H378, x: GOSUB 10                          'QBasic
x = 1 : OUT &H378, x: GOSUB 10
x = 2 : OUT &H378, x: GOSUB 10
x = 4 : OUT &H378, x: GOSUB 10
x = 8 : OUT &H378, x: GOSUB 10
x = 16: OUT &H378, x: GOSUB 10
x = 32: OUT &H378, x: GOSUB 10
x = 64: OUT &H378, x: GOSUB 10
x =128: OUT &H378, x: GOSUB 10
WEND
'===== подпрограмма =====
10 FOR i = 1 TO 200: PRINT x: NEXT: RETURN
```

2. Напишите программу, вызывающую свечение а) пятого и восьмого светодиодов; б) всех светодиодов кроме третьего; в) восьмого, седьмого и шестого светодиодов; г) всех четных светодиодов; д) всех нечетных светодиодов.

3. На основе Пр-29.1 напишите программу, работающую так: а) загорается первый светодиод, затем гаснет и одновременно с этим загорается второй светодиод, и т.д. (слева на право); б) загорается восьмой светодиод, затем гаснет и одновременно загорается седьмой светодиод, и т.д. (справа на лево); в) загорается первый и второй светодиоды; гаснет первый, загорается третий; гаснет второй, загорается четвертый; гаснет третий, загорается пятый и т.д.

4. Напишите программу, которая вызывает периодическое загорание четных светодиодов, их гашение с одновременным загоранием нечетных светодиодов и т.д.

5. Напишите программу, которая вызывает загорание четвертого и пятого светодиодов, затем третьего и шестого, и т.д.

6. Повторите опыты изменяя время свечения светодиодов и частоту их мигания.

7. В выводе опишите и объясните наблюдаемые явления.

## = Исследование 30 =

# ЦИФРО–АНАЛОГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

### ТЕОРИЯ

Компьютер может быть использован в качестве генератора сигналов заданной формы. Для этого к его параллельному LPT–порту следует подключить цифро–аналоговый преобразователь (ЦАП). Простейший ЦАП может быть собран из резисторов (рис. 29.2). Если в ячейку памяти  $378_{16} = 888_{10}$  записать число  $x$  от 0 до 255, то на восьми выводах LPT–порта, соединенных с входами ЦАП, появляется комбинация лог. 0 и 1, соответствующая числу  $x$  в двоичном коде. Для этого в языке QBasic используется команда  $OUT \{адрес\}, \{число\}$  (например,  $OUT\&H378, 25$ ), а в языке Pascal —  $port[ \{адрес\} ] := \{число\}$  (например,  $port[888] := 134$ ).

Схема цифро–аналогового преобразователя (рис. 29.2) такова, что вклад лог. 1, поданной на вход  $k + 1$  разряда, в 2 раза больше, чем вклад лог. 1, поданной на вход  $k$ -го разряда. В результате напряжение на выходе ЦАП прямо пропорционально величине  $x$ , то есть равно:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_0}{3} \sum_{i=1}^8 \frac{a_i}{2^{8-i}} = \frac{U_0}{3} \left( \frac{a_8}{1} + \frac{a_7}{2} + \frac{a_6}{4} + \dots + \frac{a_2}{2^6} + \frac{a_1}{2^7} \right).$$

В этом можно убедиться с помощью вольтметра или осциллографа. Для сглаживания ступенек, получающихся на выходе ЦАП, параллельно резистору R17 подключают конденсатор C1.

Чтобы получить на выходе ЦАП прямоугольные импульсы максимальной амплитуды, в параллельный порт следует через равные промежутки времени записывать следующие числа: 0, 0, 0, 0, 255, 255, 255, 255, 0, 0, 0, 0, 255, 255, 255, 255 . . . . Для получения пилообразного напряжения величина  $x$  должна в цикле равномерно увеличиваться от 0 до 255, затем обращаться в 0, после чего снова увеличиваться от 0 до 255 и т.д. Аналогичным образом формируются синусоидальные колебания и другие сигналы заданной формы. ЦАП используется в цифровых видеокамерах, MP3–плеерах и т.д.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Изучите работу ЦАП с помощью вольтметра. Загрузите среду программирования QBasic, наберите программу Пр–30.1. Подключите ЦАП к LPT–порту ПЭВМ, а к выходу ЦАП подсоедините вольтметр и запустите программу. На выходе ЦАП последовательно появляются различные напряжения, соответствующие 0, 127, 255, 0, 127, 255 и т.д. Измените частоту импульсов.

```

WHILE INKEY$ = ""                                'Пр-30.1
OUT &H378, 255                                    'QBASIC
FOR i = 1 TO 500: PRINT "255": NEXT
OUT &H378, 127
FOR i = 1 TO 500: PRINT "127": NEXT
OUT &H378, 0 : FOR i = 1 TO 500: PRINT "0": NEXT
WEND

```

2. Напишите программу, генерирующую прямоугольные импульсы с периодом 0,1 — 1 с (Пр-30.2). Подключите к выходу ЦАП осциллограф, запустите программу. Зарисуйте осциллограмму импульсов.

```

WHILE INKEY$ = ""                                'Пр-30.2
OUT &H378, 255                                    'QBASIC
FOR i = 1 TO 100: PRINT "255": NEXT
OUT &H378, 0
FOR i = 1 TO 200: PRINT "0": NEXT
WEND

```

3. На основе Пр-30.2 напишите программу, вырабатывающую пилообразные импульсы. Она должна содержать цикл, в котором в ячейку ОЗУ с адресом  $378_{16} = 888_{10}$  последовательно записывается 0, 1, 2, 3, ..., 255, затем снова 0, 1, 2, ... (см. программу Пр-30.3).

4. Измените программу так, чтобы частота и амплитуда импульсов увеличилась или уменьшилась в 2 — 3 раза. Пронаблюдайте осциллограмму. С помощью осциллографа убедитесь в том, что формируемый сигнал является дискретным, то есть состоит из маленьких ступенек, которые могут быть сглажены конденсатором С1.

5. Запустите среду программирования Borland Pascal 7.0. Наберите программу Пр-30.3, генерирующую пилообразные импульсы. Запустите программу и получите осциллограмму импульсов. Измените амплитуду импульсов и частоту.

```

uses crt, dos; var i: integer;                    'Пр-30.3
BEGIN                                             'PASCAL
Repeat
  For i:=1 to 255 do
    begin
      port[888]:=i; write(i, ' '); delay(10);
    end;
until KeyPressed;
END.

```

6. Наберите программу Пр-30.4, позволяющую получить на выходе ЦАП синусоидальные колебания. Получите их осциллограмму.

Научитесь изменять их частоту и амплитуду.

```
uses crt, dos;
var i: integer;
BEGIN
Repeat
  i:=i+1; port[888]:=round(127+127*sin(i/100));
until KeyPressed;
END.
```

'Пр-30.4

'PASCAL

7. Имеется сообщение  $s = '101...11'$ . Напишите программу (Пр-30.5), генерирующую амплитудно-модулированный сигнал: единице соответствуют колебания с амплитудой  $A_1$ , а нулю — колебания с амплитудой  $A_2$ .

```
uses crt, dos;
var i: integer; x,s: string; A,k: integer;
BEGIN clrscr;
s:='101010101011001101101010011101010101001010101110011';
For i:=1 to length(s) do
```

'Пр-30.5

'PASCAL

```
  begin
    x:=copy(s,i,1);
    If x='1' then A:=127 else A:=30;
    writeln(x); k:=0;
    repeat inc(k);
      port[888]:=round(127+A*sin(k/10));
    until (k>1000)or(keypressed);
```

```
  end;
```

```
END.
```

8. Допустим, имеется сообщение  $s = '101...11'$ . Напишите программу (Пр-30.6), генерирующую частотно-модулированный сигнал: единице соответствуют колебания с частотой  $\omega_1$ , а нулю — колебания с частотой  $\omega_2$ .

```
uses crt, dos;
var i: integer; x,s: string;
    W,k: integer;
begin clrscr;
s:='101011110101010110101010011101010101001010101110011';
For i:=1 to length(s) do
```

'Пр-30.6

'PASCAL

```
  begin
    x:=copy(s,i,1);
    If x='1' then W:=1 else W:=2;
    writeln(x); k:=0;
    repeat inc(k);
```

```
port [888] := round(127+127*sin(W*k/30));  
until (k>10000) or (keypressed);  
end;  
end.
```

9. Получите импульсы следующей формы: в течение времени  $\Delta t$  напряжение равно 0, затем оно возрастает пропорционально времени  $t$  до  $U_0$ , после чего убывает по экспоненциальному закону  $u(t) = U_0 e^{-\alpha t}$ . Зарисуйте осциллограмму.

8. В выводе проанализируйте результаты экспериментов.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гершензон, Е. М. Радиотехника [Текст]: Учеб. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов / Е. М. Гершензон, Г. Д. Полянина, Н. В. Соина. — М.: Просвещение, 1986. — 319 с.

2. Гусев, В. Г. Электроника и микропроцессорная техника [Текст]: Учеб. для вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. — М.: Высш. шк., 2006. — 799 с.

3. Данилов, И. А. Общая электротехника с основами электроники [Текст]: Учеб. пособие для студ. неэлектротехн. спец. средних спец. учеб. заведений / И. А. Данилов, П. М. Иванов. — М.: Высш. шк., 2005. — 752 с.

4. Евдокимов, Ф. Е. Общая электротехника [Текст]: Учеб. для учащ. неэлектротехн. спец. техникумов / Ф. Е. Евдокимов. — М.: Высш.шк., 2004. — 367 с.

5. Касаткин, А. С. Электротехника [Текст] / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. — М.: Высшая школа, 2003. — 544 с.

6. Кацман, М. М. Руководство к лабораторным работам по электрическим машинам и электроприводу [Текст] / М. М. Кацман. — М.: Высшая школа, 2000. — 215 с.

7. Майер, Р. В. Как стать компьютерным гением или книга о информационных системах и технологиях [Текст] / Р. В. Майер. — Глазов: ГГПИ, 2008. — 204 с. (<http://maier-rv.glazov.net>)

8. Цейтлин, Л. С. Руководство к лабораторным работам по теоретическим основам электротехники [Текст]: Учеб. пособие для электротехн. спец. техникумов / Л. С. Цейтлин. — М.: Высш. шк., 1985. — 256 с.

9. Электроника: Энциклопедический словарь [Текст] / Гл. ред. В. Г. Колесников. — М.: Сов. энциклопедия, 1991. — 688 с.

# СОДЕРЖАНИЕ

III Предисловие	03
III Почувствуй себя исследователем!	05
01. Делитель напряжения	09
02. Сложные цепи постоянного тока	10
03. Диагностика "черных ящиков"	12
04. Измерение емкости конденсатора	13
05. Последовательное соединение R, L, C-элементов	15
06. Резонанс напряжений	17
07. Резонанс токов	20
08. Индукционный счетчик	21
09. Переходные процессы в RC-цепи	23
10. Однофазный трансформатор	25
11. Нелинейная цепь переменного тока	27
12. Трехфазная цепь: соединение звездой	29
13. Трехфазная цепь: соединение треугольником	31
14. Машины постоянного и переменного тока	33
15. Схема управления асинхронным двигателем	36
16. Однофазный выпрямитель	37
17. Трехфазный выпрямитель	39
18. Коэффициент передачи фильтра	41
19. Полупроводниковый диод	43
20. Биполярный транзистор	44
21. Генератор линейно-импульсного напряжения	47
22. Однотактный и двухтактный усилители звуковой частоты	49
23. Симметричный мультивибратор	52
24. Несимметричный мультивибратор	53
25. Модуляция и детектирование	55
26. Операционный усилитель	57
27. Логические элементы И, ИЛИ, НЕ	58
28. Подключение датчиков к ПЭВМ	60
29. Управление внешним устройством с помощью ПЭВМ	65
30. Цифро-аналоговый преобразователь	67
III Литература	70



---

---

Учебное издание

**Майер Роберт Валерьевич  
Кощев Георгий Викторович**

**УЧЕБНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ**

Технический редактор Пермякова М. В.

Верстка, создание оригинал-макета — Майер Р.В.

Подписано в печать 18.06.10. Напечатано на ризографе.  
Формат 60 x 84 1/16. Усл. печ.л. 4,19. Учетн.-изд.л. 4,7.

Тираж 200 экз. Заказ N 53-2010.

Глазовский инженерно-экономический институт  
(филиал ИжГТУ).

427622, Удмуртия, г. Глазов, ул. Кирова, 36.

---

---

Эффективным методом формирования творческих способностей учащихся, повышения интереса к овладению знаниями является исследовательский метод обучения. Его применение позволяет организовать поиск знаний, овладеть методами научного познания, повысить мотивацию к обучению. Учебное пособие посвящено важной проблеме развития исследовательских умений учащихся и студентов на лабораторных занятиях по электротехнике и электронике.

Учебное пособие содержит описание 30 лабораторных работ исследовательского типа по различным разделам дисциплины "Электротехника и электроника". Представленные исследовательские задания более десяти лет использовались авторами на лабораторных занятиях по электротехнике и электронике в Глазовском инженерно-экономическом институте (филиале ИжГТУ). Использование этого пособия позволит повысить мотивацию, потребность в решении нестандартных задач, сформировать полноценные, хорошо осознанные знания и умения, способствует развитию творческого мышления.