

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
Кафедра электротехники и электроэнергетики

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

*Методические указания к лабораторным работам*

Составитель  
В.А. ШАХНИН

Владимир 2011

УДК 621.317.7:004.312

ББК 31.221+32.85

И74

Рецензент

Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор  
кафедры приборостроения и информационно-измерительных  
технологий Владимирского государственного университета  
*Л. М. Самсонов*

Печатается по решению редакционного совета  
Владимирского государственного университета

**Информационно-измерительная** техника и электроника : ме-  
И74 тод. указания к лаб. работам / Владим. гос. ун-т ; сост. В. А. Шах-  
нин. – Владимир : Изд-во Владим. гос ун-та, 2011. – 44 с.

Изложены методические указания по экспериментальному исследова-  
нию, расчётам и оформлению результатов испытаний электронных элементов и  
устройств с помощью виртуальных средств измерений.

Предназначены для студентов III курса всех форм обучения бакалавриата по  
направлению 140200 – электроэнергетика и электротехника (профиль подготовки  
«Электроснабжение»).

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соот-  
ветствии с ФГОС 3-го поколения.

Ил. 28. Табл: 10. Библиогр.: 7 назв.

УДК 621.317.7:004.312

ББК 31.221+32.85

## ПРЕДИСЛОВИЕ

«Информационно-измерительная техника и электроника» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла подготовки бакалавров по профилю «Электроснабжение». Она логически, содержательно и методически связана с рядом теоретических дисциплин и практик предшествующего периода обучения. К числу дисциплин профессионального цикла, наиболее тесно связанных с ней, относятся «Теоретические основы электротехники» и «Метрология».

Цель лабораторного практикума, для проведения которого составлены настоящие методические указания, заключается в формировании у студентов способностей применять компьютерные средства информационно-измерительной и электронной техники при решении задач профессиональной деятельности бакалавров по профилю «Электроснабжение». Результат достижения названной цели – приобретение новых профессиональных компетенций, к наиболее важным из которых относятся следующие:

- *способность* использовать современные информационные технологии для обеспечения устойчивой работы электроэнергетических систем;
- выбирать и реализовывать эффективные режимы работы информационно-измерительных и электронных устройств электроэнергетики по заданным методикам;
- применять виртуальные (компьютерные) средства измерений для определения значений электрических величин на объектах электроэнергетики;
- составлять и оформлять оперативную документацию, предусмотренную правилами эксплуатации средств информационно-измерительной техники и энергетической электроники;
- *готовность* осуществлять оперативные изменения схем и основных параметров средств информационно-измерительной техники и электроники в соответствии с требованиями нормативных документов;

- участвовать в монтаже, наладке, ремонте и профилактике средств информационно-измерительной техники и электроники на объектах электроэнергетики;
- профессионально грамотно обосновывать принятые технические решения.

Лабораторные работы выполняются на компьютерных стендах, изготовленных ООО «Учебная техника» ([www.electrolab.ru](http://www.electrolab.ru)).

Три первые лабораторные работы посвящены изучению виртуальных измерительных приборов и приобретению навыков измерения электрических величин с их помощью. Тематика других лабораторных работ – применение виртуальных средств измерений для исследования наиболее распространённых устройств энергетической электроники: однофазных и трёхфазных выпрямителей, усилительных каскадов на биполярных и полевых транзисторах, операционных усилителей и устройств на их основе. Таким образом, лабораторный практикум охватывает основные разделы курса «Информационно-измерительная техника и электроника», соответствует государственному образовательному стандарту и рабочей программе по названной дисциплине.

Отчёты о выполнении лабораторных работ оформляются каждым студентом индивидуально. Содержание отчётов должно достаточно полно отражать результаты выполнения рабочего задания настоящих методических указаний. Форма отчёта должна соответствовать требованиям стандарта ВлГУ, причём графическая часть выполняется в строгом соответствии с ГОСТ 2.702-75. ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.

## Лабораторная работа № 1

### ***ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННЫХ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНЫХ АМПЕРМЕТРОВ И ВОЛЬТМЕТРОВ***

**Цель работы:** приобретение навыков применения виртуальных вольтметров и амперметров для определения амплитудных, действующих и средних значений, а также коэффициентов амплитуды, формы и искажений переменных напряжений и токов.

#### **1.1. Предмет и средства исследования**

Предмет исследования – токи и напряжения в электрической цепи, в качестве источника питания которой используется блок генераторов электрических сигналов лабораторного стенда.

Средствами исследования служат виртуальные вольтметры и амперметры на основе персонального компьютера лабораторного стенда.

#### ***Блок генераторов электрических сигналов***

Панель блока генераторов показана на рис. 1.1. В состав блока входят регулируемые и нерегулируемые источники (генераторы) постоянного напряжения, однофазный и трёхфазный источники синусоидальных напряжений частотой 50 Гц и генератор напряжений специальной формы частотой 0,2...20 кГц.

Все генераторы включаются и выключаются общим выключателем «СЕТЬ» и защищены от внутренних коротких замыканий плавким предохранителем с номинальным током 2 А. На панели блока указаны номинальные напряжение и ток каждого источника напряжения, а также диапазоны изменения регулируемых выходных величин. Все источники напряжений гальванически изолированы друг от друга и от корпуса блока и защищены от перегрузок и внешних коротких замыканий самовосстанавливающимися предохранителями с но-

минальным током 0,2 А. О срабатывании предохранителя свидетельствует индикатор «I >».

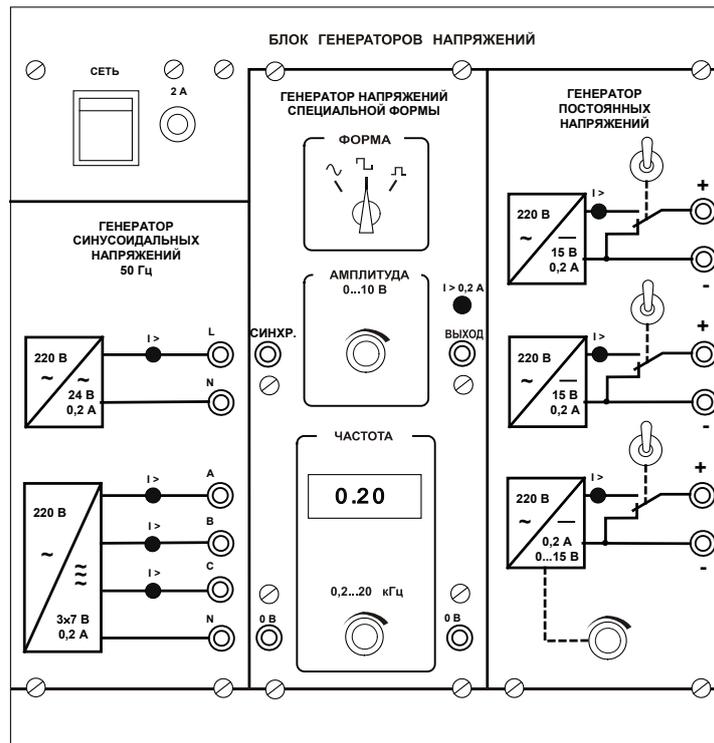


Рис. 1.1. Панель блока генераторов

Генератор синусоидальных напряжений содержит однофазный источник напряжения 24 В (вторичная обмотка питающего трансформатора 220/24 В) и трёхфазный стабилизированный по амплитуде выходного напряжения преобразователь однофазного напряжения в трёхфазное. Выходное сопротивление трёхфазного источника в рабочем диапазоне токов близко к нулю.

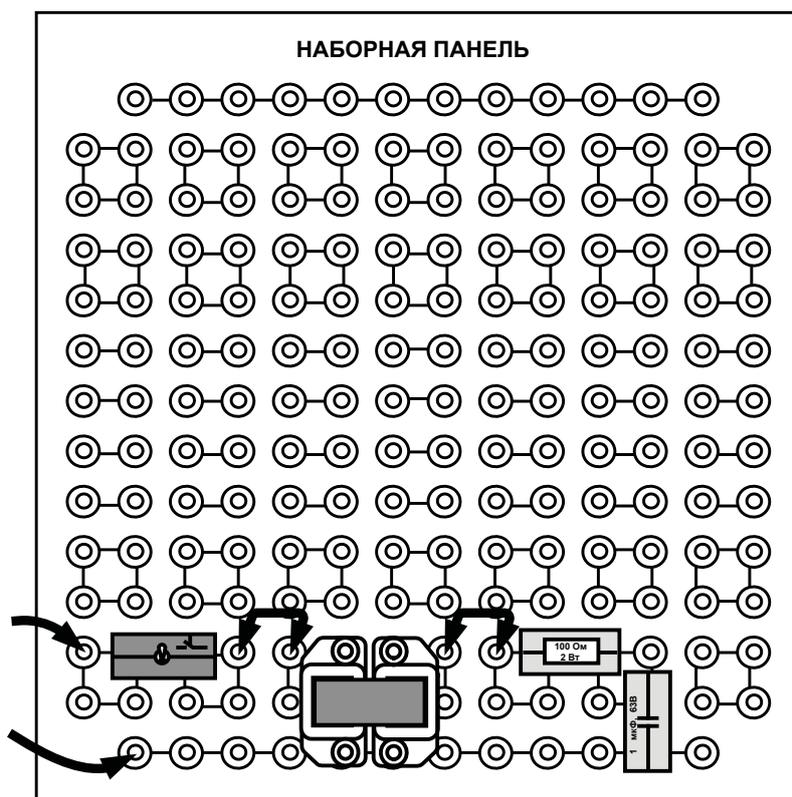
Генератор напряжений специальной формы вырабатывает на выходе синусоидальный, прямоугольный двухполярный или прямоугольный однополярный сигнал в зависимости от положения переключателя «ФОРМА». В состав генератора входит цифровой частотомер. Выходное сопротивление генератора в рабочем диапазоне токов также близко к нулю. Между гнездами «СИНХР» и «0 В» генератора при любом положении переключателя «ФОРМА» вырабатываются однополярные прямоугольные импульсы амплитудой 5 В, которые можно использовать для внешней синхронизации осциллографа. Частота сигнала регулируется десятиоборотным потенциометром «ЧАСТОТА» и не зависит как от формы и амплитуды сигнала, так и от тока нагрузки.

Генератор постоянных напряжений содержит три источника стабилизированного напряжения 15 В, гальванически изолированных друг

от друга. Выходное напряжение одного из этих источников регулируется от 0 до 15 В десятиоборотным потенциометром. Выходные сопротивления этих источников также близки к нулю и все они допускают режим работы с обратным током (режим потребления энергии). Для получения постоянных напряжений больше 15 В они могут соединяться последовательно. Для исключения источников из собранной схемы цепи используются переключатели (тумблеры).

### ***Наборная панель***

Наборная панель (рис. 1.2) служит для сборки электрических цепей, токи и напряжения в которых предполагается измерять при выполнении лабораторной работы. Некоторые гнезда панели соединены между собой так, как это показано на ней линиями. С учётом этого часть соединений выполняется автоматически при установке миниблоков в гнезда панели. Остальные соединения выполняются соединительными проводами и перемычками. Например, на фрагменте цепи, показанной на рис. 1.2, напряжение с генератора подаётся проводами через выключатель к одной из обмоток трансформатора. К другой обмотке подключены резистор и конденсатор, соединённые последовательно.



*Рис. 1.2. Наборная панель стенда*

Наличие компьютера в составе лабораторного стенда позволяет проводить необходимые измерения с использованием виртуальных из-

мерительных приборов. Для измерения токов в ветвях цепи удаляется одна из перемычек и вместо неё в образовавшийся разрыв включается виртуальный амперметр. Для измерения напряжений на элементах цепи параллельно рассматриваемому элементу включается виртуальный вольтметр. Виртуальные приборы присоединяются с помощью специального блока, называемого коннектором.

### Коннектор

Коннектор обеспечивает ввод токов и напряжений с наборной панели в компьютер на плату PCI-6023(24) для измерений с помощью специализированной программы. Он содержит делители напряжений, шунты, блоки гальванической развязки измеряемых сигналов, разъем для вывода из компьютера сигналов управления электронным ключом и разъем для подключения плоского кабеля связи коннектора с компьютером. Общий вид передней панели коннектора показан на рис. 1.3.

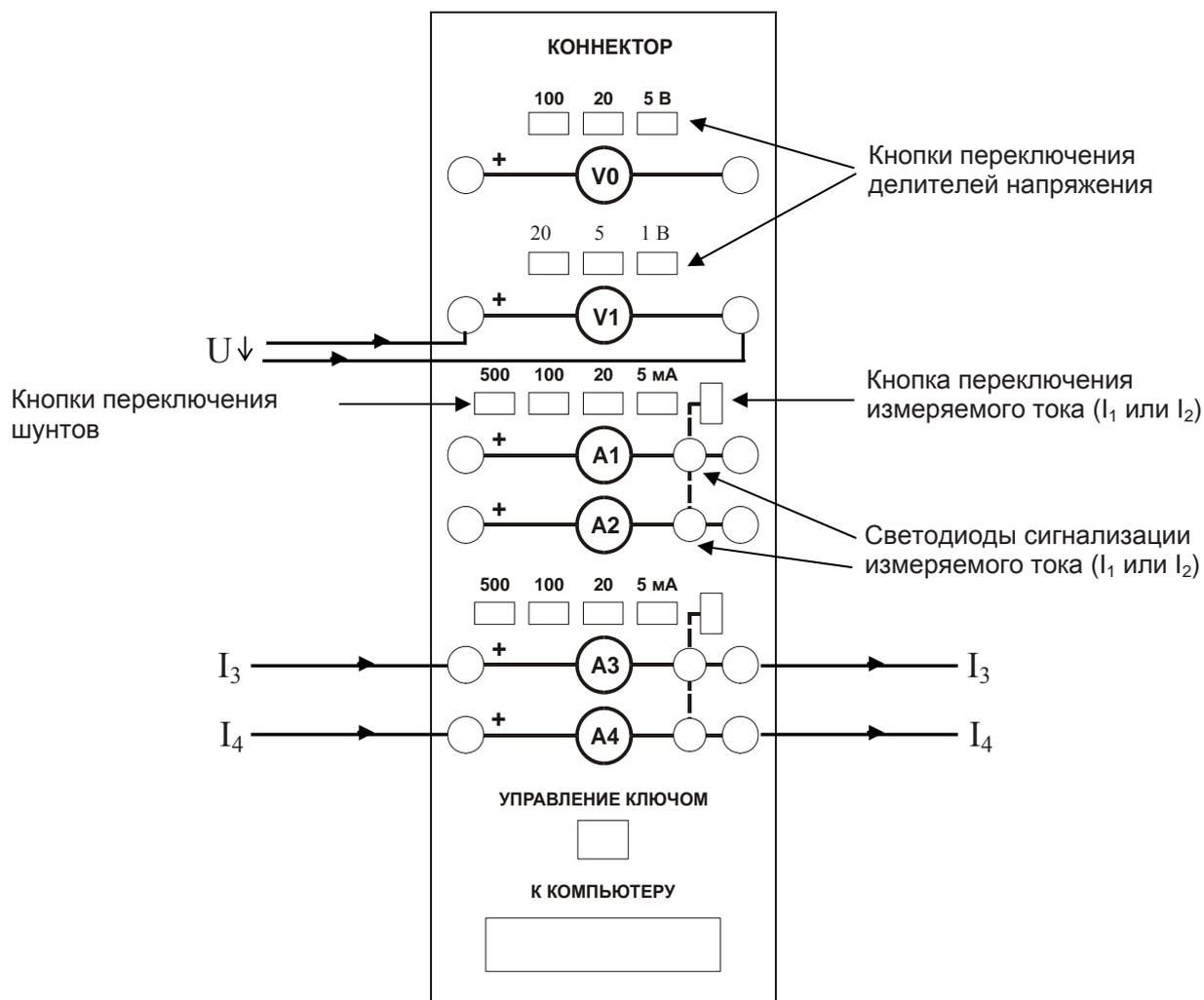


Рис. 1.3. Передняя панель коннектора

Изображенные на лицевой панели измерительные приборы V0, V1, A1...A4 включаются в цепь как обычные вольтметры и амперметры. Коннектор имеет два канала для ввода напряжений в компьютер и два канала для ввода токов. Однако в цепь можно включить четыре амперметра и кнопками переключения измеряемого тока выбирать вводимое в компьютер значение  $I_1$  или  $I_2$ ,  $I_3$  или  $I_4$ . О выбранном токе сигнализирует светодиод на лицевой панели коннектора и надпись на виртуальном амперметре на экране дисплея.

Кнопки переключения делителей напряжения и шунтов предназначены для выбора пределов измерения, как в обычных измерительных приборах.

## 1.2. Рабочее задание

1. В электрической цепи, принципиальная схема которой представлена на рис. 1.4, с помощью виртуальных измерительных приборов определить амплитудные, действующие и средние значения токов и напряжений при различных законах изменения входного напряжения во времени.

2. Вычислить значения коэффициентов амплитуды, формы и искажений токов и напряжений при различных законах изменения входного напряжения во времени.

3. Сравнить значения названных коэффициентов, полученные экспериментально, с их теоретическими значениями и объяснить причины расхождений.

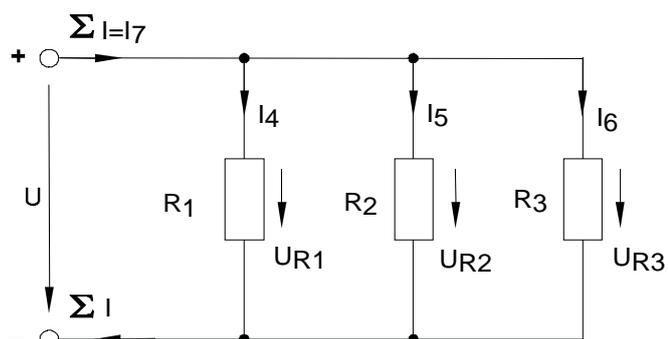


Рис. 1.4. Принципиальная схема цепи

## 1.3. Экспериментальные исследования

### *Проведение измерений виртуальными амперметрами и вольтметрами*

При работе с виртуальными приборами придерживайтесь следующего порядка.

- Включите виртуальные приборы двойным щелчком левой кнопки мыши на ярлыке «ВП ТОЭ». В результате откроется блок «Приборы 1» (рис. 1.5), в котором содержатся вольтметры и амперметры.

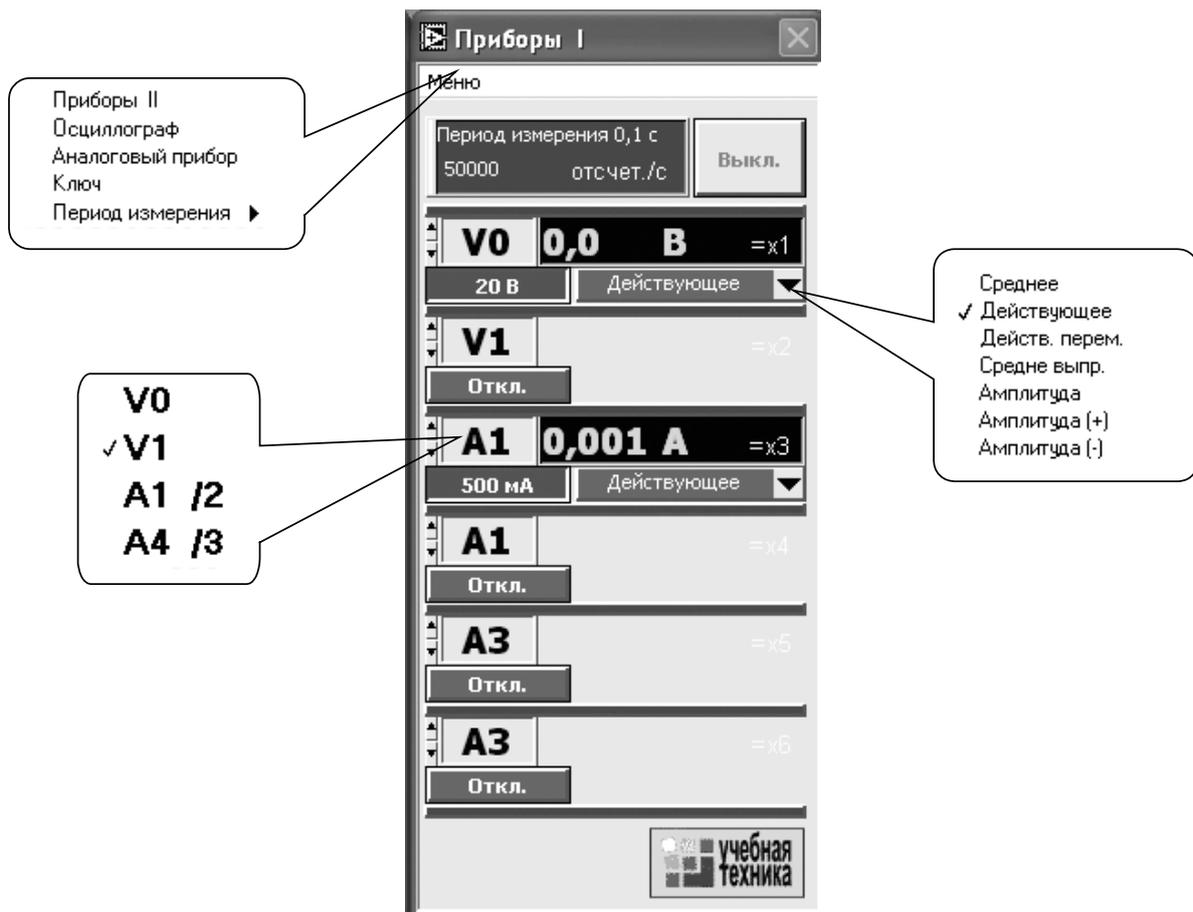


Рис. 1.5. Блок «Приборы 1» на экране компьютера

- Активизируйте нужные виртуальные приборы, щелкнув в соответствующих окнах на кнопках «Откл.». Для отключения прибора щелкните в окне предела измерения. Чем больше каналов задействовано в виртуальных измерениях тока и напряжения, тем ниже частота сканирования и меньше значений вводится в компьютер за период измерения. Период измерения, в течение которого производится ввод данных в компьютер, по умолчанию равен 0,1 с. Его можно изменить, открыв меню, как показано на рис. 1.5 и выбрав мышью строку «Период измерения».

При выполнении измерений переменных напряжений и токов необходимо обращать внимание на число отсчётов в секунду, которое указано в верхней части панели «Приборы 1». Необходимо, чтобы число отсчётов, приходящихся на один период измеряемого сигнала (не путать с периодом измерения!), было не менее десяти. При меньшем числе отсчётов резко возрастает погрешность измерений.

- Выберите род измеряемой величины, щелкнув в окне «Действующее» и выбрав из открывшегося списка нужное значение. (Для цепи

постоянного тока это, скорее всего, «Среднее»). В этом окне пункт «Действ. перем.» означает действующее значение сигнала, из которого исключена постоянная составляющая.

- Выберите пределы измерения амперметров и вольтметров, нажав соответствующие кнопки на коннекторе (см. рис. 1.3). Выбранные пределы отображаются автоматически в соответствующих окнах виртуальных приборов. Если амплитуда измеряемого сигнала превышает допустимый для данного канала уровень, то окно с показанием виртуального прибора начинает мигать красным цветом, а в верхней части панели включается надпись «Перегрузка! Перейдите на больший предел».

- При снижении амплитуды измеряемой величины ниже значения следующего (более низкого) предела измерения включается надпись «Перейдите на меньший предел». Через некоторое время она гаснет самостоятельно, но окно данного виртуального прибора продолжает мигать, предупреждая о том, что данное измерение желательно сделать точнее.

- Чтобы закрыть окно виртуальных приборов, необходимо щелкнуть по клавише «Выкл.».

В ряде случаев, например для наблюдения динамики изменения измеряемой величины, аналоговые приборы удобнее цифровых. Наиболее удобен стрелочный прибор. Поэтому в комплексе «ВП ТОЭ» имеется псевдоаналоговый стрелочный прибор, который может дублировать показания любого из рассмотренных выше цифровых приборов (рис. 1.6). Панель этого прибора открывается щелчком мыши на стро-

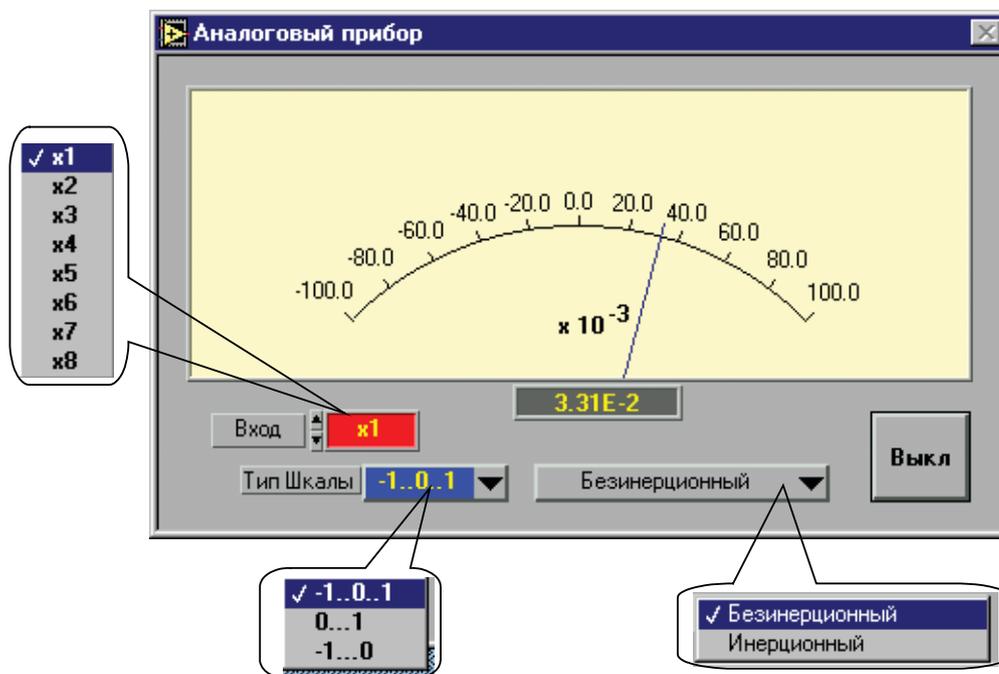


Рис. 1.6. Псевдоаналоговый прибор лабораторного стенда

ке «Аналоговый прибор» в меню блока «Приборы 1» и подключается к любому из восьми приборов  $x1 \dots x8$ . На нем имеется также окно выбора типа шкалы и клавиша «Инерционный – Безинерционный», с помощью которой можно замедлить или ускорить движение стрелки. Шкала прибора перенастраивается автоматически при выходе стрелки за ее пределы. Показание стрелки дублируется в цифровом виде в специальном окне прибора.

### **Порядок проведения эксперимента**

- Соберите цепь согласно схеме опыта (рис. 1.7), включив в нее виртуальные приборы, через соответствующие гнезда на передней панели коннектора (см. рис. 1.3).

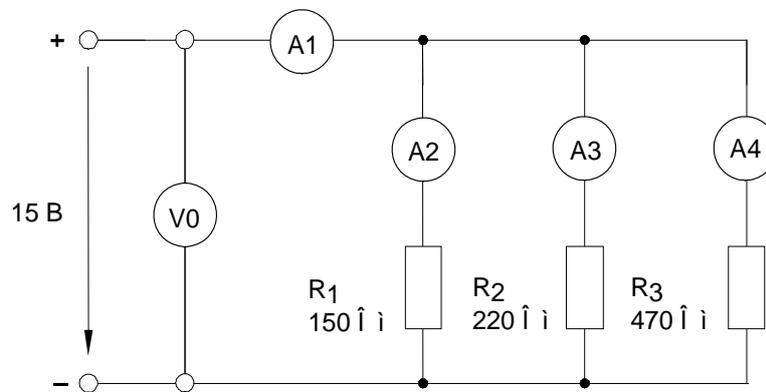


Рис. 1.7. Схема включения виртуальных приборов

- Для проведения измерений воспользуйтесь специализированным набором виртуальных приборов. Для этого приведите компьютер в рабочее состояние и откройте программу «ВП ТОЭ». Два прибора V0 и A1 (или A2) включатся автоматически. Включите амперметр A3 (или A4), щелкнув мышью на кнопке «Откл». Установите кнопками коннектора пределы измерения. Выберите из меню виртуальных приборов род измеряемой величины, щелкнув мышью на окошке «Действующее» и выбрав из выпадающего меню «Среднее», при необходимости измените пределы измерения.

- Поочерёдно подключая к цепи имеющиеся на стенде различные генераторы (см. рис. 1.1), определить амплитудные, действующие и средние значения напряжений и токов при следующих законах изменения во времени входного напряжения:

- синусоидальном с частотой 50 Гц (подаётся с гнезд «А» и «N» трёхфазного источника);

- периодическом несинусоидальном с частотой 50 Гц (подаётся с гнёзд «L» и «N» однофазного источника);
- синусоидальном с частотами 400 Гц, 1 кГц, 5 кГц (подаётся с гнёзд «ВЫХОД» и «0 В» генератора напряжений специальной формы);
- прямоугольном без постоянной составляющей с частотами 400 Гц, 1 кГц, 5 кГц (подаётся с гнёзд «ВЫХОД» и «0 В» генератора напряжений специальной формы);
- прямоугольном с постоянной составляющей с частотами 400 Гц, 1 кГц, 5 кГц (подаётся с гнёзд «ВЫХОД» и «0 В» генератора напряжений специальной формы).
- Определить действующие значения первых гармоник несинусоидальных напряжений и токов в исследуемой цепи, применяя для этого избирательные электрические фильтры стенда.
- Используя результаты измерений, вычислить экспериментальные значения коэффициентов амплитуды (отношение амплитуды к действующему значению); коэффициентов формы (отношение действующего значения к среднему за полпериода) и коэффициентов искажений (отношение действующего значения периодической величины к действующему значению её первой гармоники) для токов и напряжений исследуемой цепи.
- Сравнить значения названных коэффициентов, полученные экспериментально, с их теоретическими значениями и объяснить причины расхождений.

#### **1.4. Контрольные вопросы**

1. Что означает термин «виртуальные измерительные приборы»?
2. Какие погрешности измерений с помощью виртуальных приборов наиболее существенны?
3. Какое значение периодических электрических величин называется амплитудным?
4. Каков физический смысл действующего значения силы тока?
5. Как определяется коэффициент амплитуды периодической электрической величины?
6. Как определяется коэффициент формы периодической электрической величины?
7. Как определяется коэффициент искажений периодической электрической величины?

8. Каковы теоретические значения коэффициентов амплитуды и формы для синусоидальных электрических величин?

9. Чем объясняется несовпадение теоретических значений коэффициентов амплитуды и формы со значениями, полученными при выполнении лабораторной работы?

10. Каковы наиболее существенные погрешности измерения коэффициента искажений?

## **Лабораторная работа № 2** **ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ, МОЩНОСТЕЙ И УГЛОВ** **СДВИГА ФАЗ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

**Цель работы:** приобретение навыков применения виртуальных омметров, ваттметров и фазометров для измерения электрических величин в линейных цепях синусоидального тока.

### **2.1. Предмет и средства исследования**

Предмет исследования – линейные электрические цепи синусоидального тока, содержащие активные, индуктивные и ёмкостные элементы.

В качестве средств исследования применяются виртуальные омметры, ваттметры и фазометры на основе персонального компьютера лабораторного стенда.

### **2.2. Рабочее задание**

1. В электрической цепи, принципиальная схема которой представлена на рис. 2.1, с помощью виртуальных приборов провести измерения сопротивлений элементов, активной и реактивной мощности цепи, а также углов фазовых сдвигов между входным напряжением и токами в ветвях на частотах 0,5;

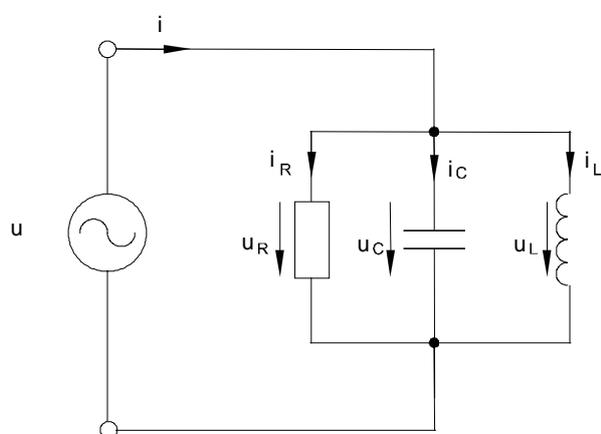


Рис.2.1. Принципиальная схема цепи

1,0 и 1,8 кГц.

2. С помощью виртуального фазометра, изменяя частоту входного синусоидального напряжения, установить в цепи режим резонанса токов. Измерить актив-

ную и реактивную мощности цепи, углы фазовых сдвигов между входным напряжением и общим током, а также между токами через ёмкостный и индуктивный элементы.

3. Повторить предыдущий опыт, используя для фиксации резонансного режима не фазометр, а виртуальные амперметры.

4. Сравнить результаты экспериментов пп. 2 и 3, объяснить причины их расхождения и сделать вывод о том, какую из методик целесообразно применять для настройки цепи в резонансный режим.

### **2.3. Экспериментальные исследования** ***Проведение измерений виртуальными омметрами, ваттметрами и фазометрами***

При работе с виртуальными приборами придерживайтесь следующего порядка.

- Включите виртуальные приборы двойным щелчком левой кнопки мыши на ярлыке «ВП ТОЭ».

- Выберите из меню блока «Приборы 1» позицию «Приборы 2» для «включения» виртуальных ваттметров, омметров и фазометра. При этом откроется блок (рис. 2.2) с двумя приборами, которые имеют режимы вычисления активных, реактивных и полных сопротивлений и мощностей, а также режим определения углов сдвига фаз по мгновенным значениям токов и напряжений, введенным в компьютер через коннектор. Для выбора режима работы виртуальных приборов следует использовать меню в окнах под цифровыми табло.

- Выберите в соответствующих меню две величины, через которые определяется искомая величина. Например, если на входе цепи включен вольтметр  $V_0$  и амперметр  $A_4$ , то для измерения входных мощностей ( $P$ ,  $Q$ ,  $S$ ), входных сопротивлений ( $R$ ,  $X$ ,  $Z$ ), а также угла сдвига фаз между напряжением и током ( $\phi = \psi_U - \psi_I$ ) необходимо в верхнем окне прибора выбрать  $V_0$ , а в нижнем  $A_4$ . Для измерения угла сдвига фаз между токами  $I_1$  и  $I_4$  ( $\phi = \psi_1 - \psi_4$ ) в верхнем окне должно быть  $A_1$ , а в нижнем  $A_4$  (но не наоборот, иначе будет  $\psi_4 - \phi_1$ ).

В нижней части блока расположен калькулятор, который производит вычисления по формуле, вводимой самим пользователем. Аргументами этой формулы могут быть 4 из 8 величин  $x_1 \dots x_8$  (не более!), измеряемых приборами первого и второго блоков. Обозначения  $x_1 \dots x_8$  имеются на рис. 1.5 и 2.2. Например, если измеряются две активные мощ-

ности – в верхнем окне мощность источника, а в нижнем – нагрузки, то калькулятор можно запрограммировать на определение КПД. Для

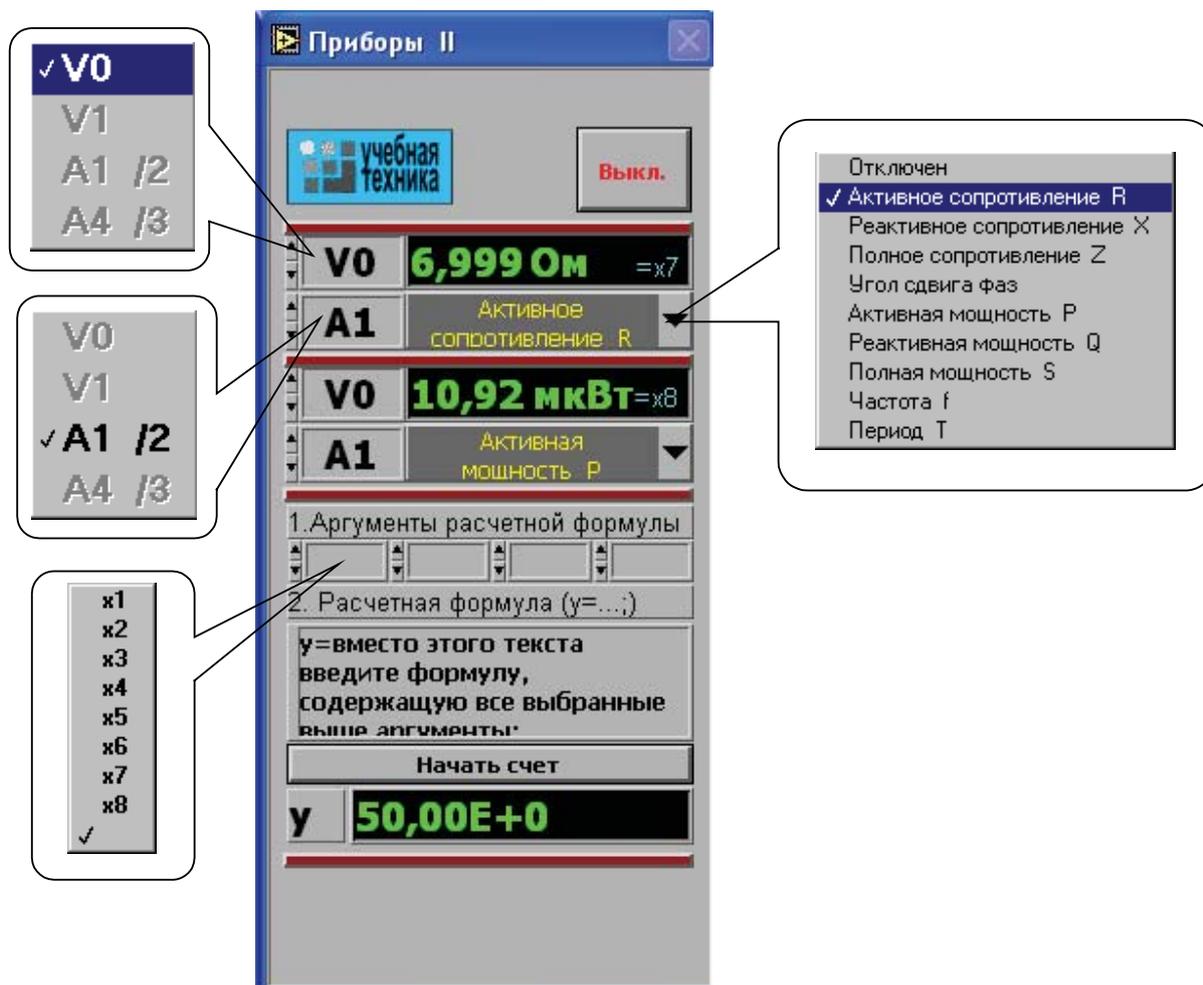


Рис. 2.2. Блок «Приборы 2» на экране компьютера

этого нужно ввести аргументы  $x_7$  и  $x_8$ , напечатать формулу  $y = x_8/x_7$  и щелкнуть на клавише «Начать счет». В случае синтаксической ошибки во ведённой формуле окно формулы начинает мигать и счёт не производится.

### Порядок проведения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме опыта, представленной на рис. 2.3, включив в нее вместо измерительных приборов соответствующие гнезда коннектора и установив индуктивный элемент  $L=40$  мГн.
- Переведите генератор напряжений специальной формы с помощью трехпозиционного переключателя на его панели в режим регулируемого источника синусоидального напряжения. Подсоедините выход генератора (гнезда «ВЫХОД» и «0 В») к цепи опыта и уста-

новите требуемые значения амплитуды и частоты выходного напряжения генератора.

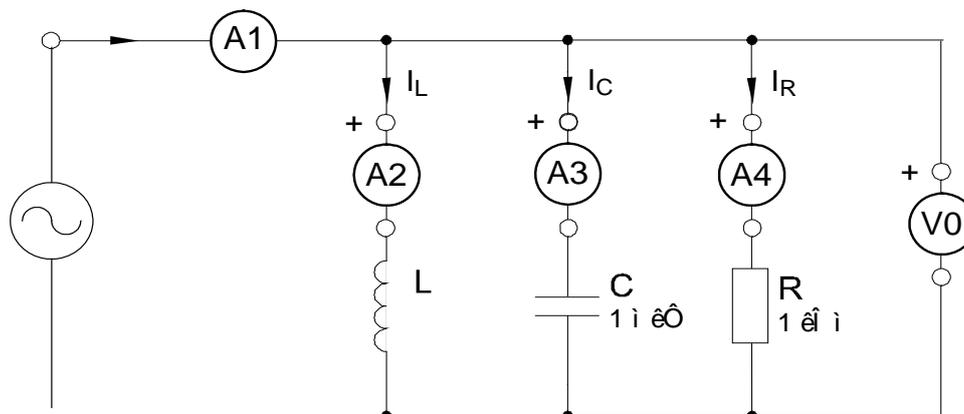


Рис. 2.3. Схема подключения виртуальных приборов

- Приведите персональный компьютер в рабочее состояние. Запустите программу «ВП ТОЭ», откройте меню и выберите из него пункт «Приборы 2».

- Сделайте необходимые «подключения» виртуальных приборов к коннектору, установите род измеряемых величин и пределы измерения основного блока приборов: V0 – действующее – 20 В; A1/A2 – действующее – 100 мА; A3/A4 – действующее – 100 мА.

- Увеличьте напряжение источника до 5 В и убедитесь, что пределы измерений всех приборов установлены верно. При необходимости скорректируйте их.

- В блоке «Приборы 2» выберите из меню необходимые режимы работы виртуальных приборов и произведите измерения в соответствии с рабочим заданием (см. п. 2.2), результаты запишите в соответствующие таблицы.

## 2.4. Контрольные вопросы

1. Какой вид измерений реализуется виртуальными приборами лабораторного стенда при определении значений электрических сопротивлений и мощностей?

2. К какой группе средств измерений относятся виртуальные приборы лабораторного стенда?

3. Какова методика определения погрешностей косвенных измерений?

4. Каким должно быть соотношение между периодом сигнала, па-

раметры которого измеряются виртуальным цифровым прибором, и периодом дискретизации этого сигнала?

5. Как влияет несинусоидальность одной или обеих электрических величин, между которыми измеряется угол фазового сдвига, на результат измерения виртуальным фазометром лабораторного стенда?

6. Как влияет несинусоидальность тока или напряжения в цепи, где производятся измерения мощности, на результат измерения с помощью виртуального ваттметра лабораторного стенда?

7. Влияет ли несинусоидальность входного напряжения в цепи на результат измерения её сопротивления с помощью виртуального омметра лабораторного стенда?

### **Лабораторная работа № 3**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНОГО ОСЦИЛЛОГРАФА**

**Цель работы:** приобретение навыков применения виртуальных осциллографов для наблюдения, регистрации и определения значений параметров переменных токов и напряжений в электрических цепях.

### **3.1. Предмет и средство исследования**

Предмет исследования – токи и напряжения в электрической цепи, в качестве источника питания которой используется генератор сигналов специальной формы.

Средство исследования – виртуальный осциллограф на основе персонального компьютера лабораторного стенда.

#### ***Активизация виртуального осциллографа***

- Подайте на вход коннектора (см. рис. 1.3) исследуемые сигналы.
- Включите виртуальные приборы двойным щелчком левой кнопки мыши на ярлыке «ВП ТОЭ». В результате откроется блок «Приборы 1» (рис. 1.5), в котором содержатся вольтметры и амперметры.
- Для наблюдения на экране осциллографа напряжений активизируйте виртуальные вольтметры, подключённые между точками цепи, где эти напряжения действуют. Для наблюдения токов активизируйте амперметры, включённые в ветви, в которых эти токи протекают. Вир-

туальный осциллограф позволяет наблюдать временные диаграммы сигналов, подаваемых на вход коннектора (двух напряжений и двух токов) в режиме «Развертка», или зависимость одного входного сигнала от любого другого в режиме «XY».

- Выберите в меню этого блока строку «Осциллограф». После этого на дисплее появится изображение передней панели и экрана виртуального осциллографа.

### *Органы управления виртуального осциллографа*

Осциллограф имеет пять входных блоков вертикального отклонения луча, блок развёртки, или горизонтального отклонения луча, блок сглаживающих фильтров, а также блоки цветности луча и фона. На рис. 3.1. представлена передняя панель виртуального осциллографа с экраном и основными органами управления.

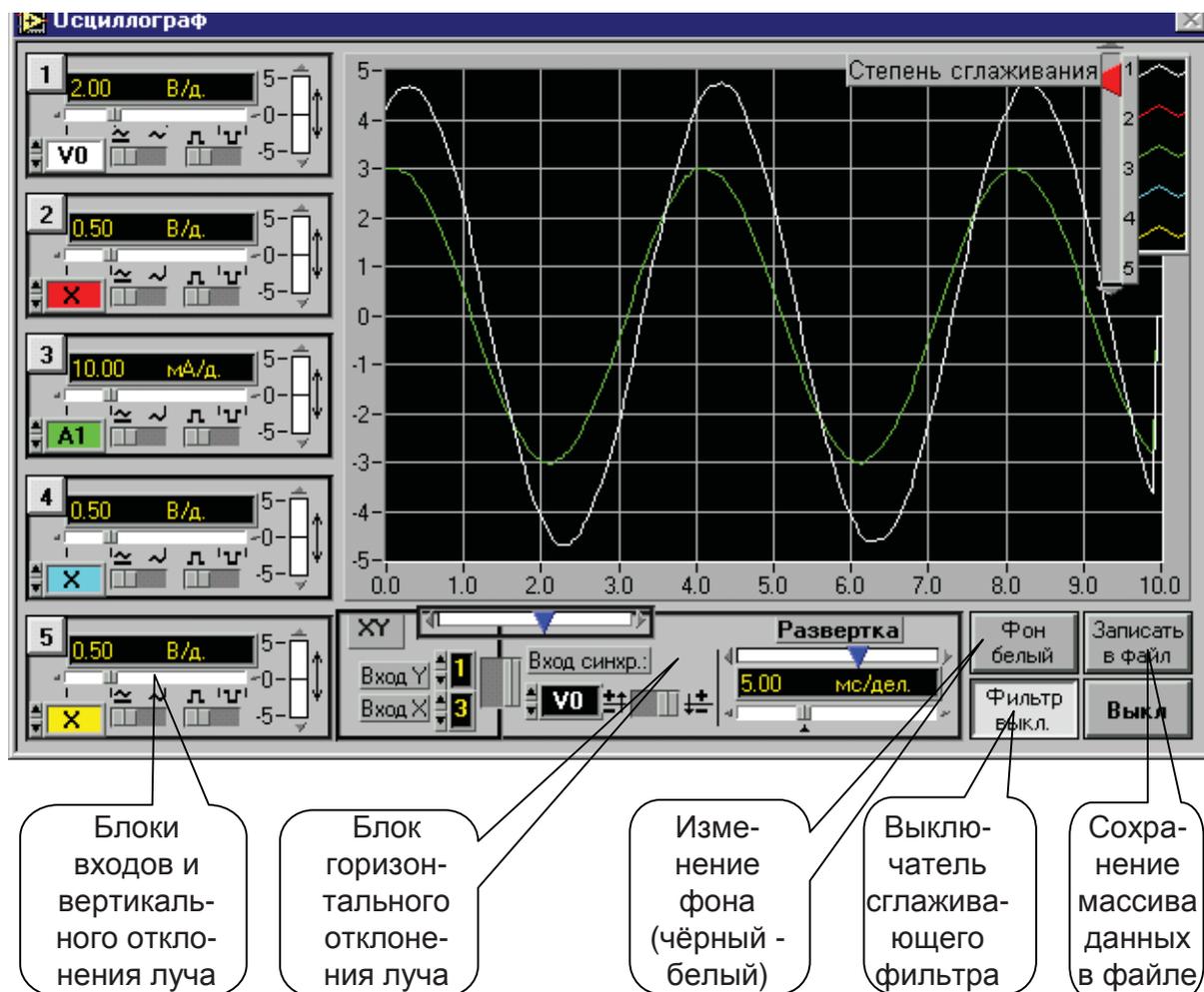


Рис. 3.1. Передняя панель виртуального осциллографа

На рис. 3.2. показан один из входных блоков осциллографа с органами управления вертикальным перемещением луча.

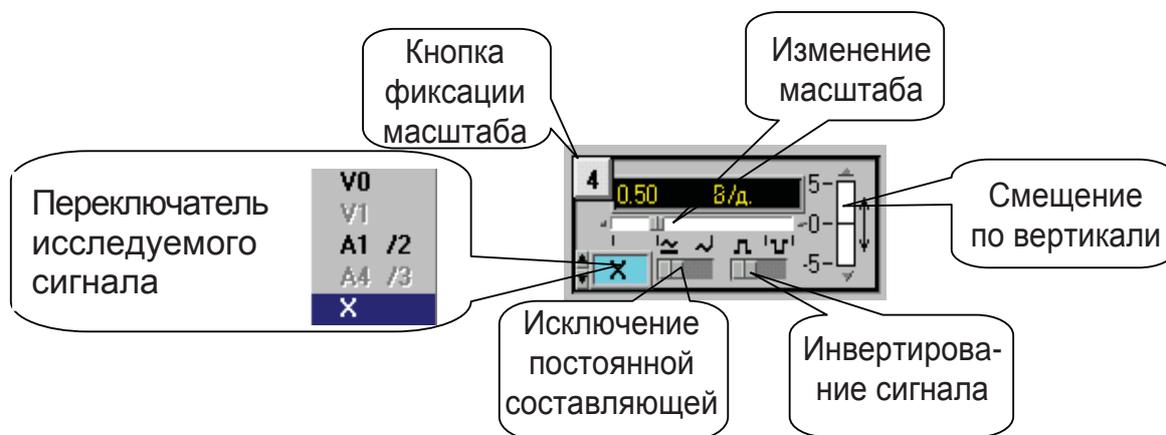


Рис. 3.2. Входной блок осциллографа

На любой из пяти входных блоков осциллографа можно подать сигнал с любого входа коннектора. При этом в окне входа осциллографа появляется соответствующее обозначение входа коннектора (виртуального прибора) и появляется луч на экране, цвет которого соответствует цвету фона переключателя исследуемого сигнала. Масштаб изображения по вертикали устанавливается автоматически и изменяется ступенчато при изменении амплитуды сигнала, но его можно зафиксировать, нажав на кнопку фиксации масштаба (см. рис. 3.2). После этого он меняться не будет. Предусмотрено и ручное плавное изменение масштаба внутри ступени.

Органы управления горизонтальным перемещением луча показаны на рис. 3.3. В правом верхнем углу осциллографа имеется движок управления степенью сглаживания фильтра (появляется только при его включении), а также меню изменения характеристик графика: непрерывный, ступенчатый, гистограмма, точечный, размер и форма точек, толщина линий и т.п. Меню открывается при щелчке на любом из изображенных там пяти лучей. Кнопка «Записать в файл» (см. рис. 3.1) позволяет записать в файл таблицу мгновенных значений всех подключенных сигналов за один период измерения. Затем их можно прочитать и обработать в программах MathCAD, Excel, Origin и др.

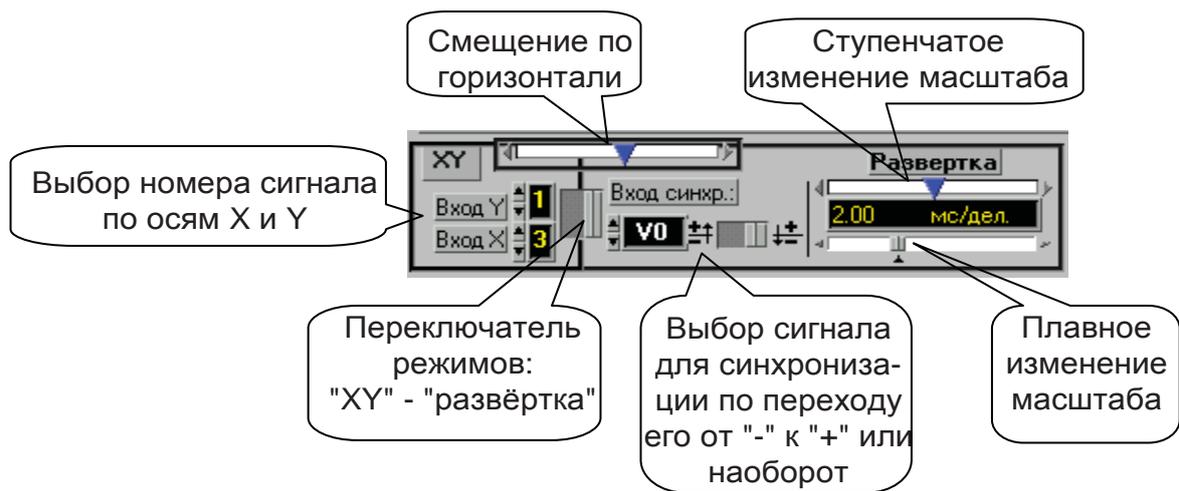


Рис. 3.3. Органы управления горизонтальным перемещением луча

После щелчка на этой кнопке появляется окно диалога (рис. 3.4), в котором можно выбрать диск, папку и имя файла, в который Вы хотите записать данные. Выбрав имя файла, нажмите клавишу «Сохранить».

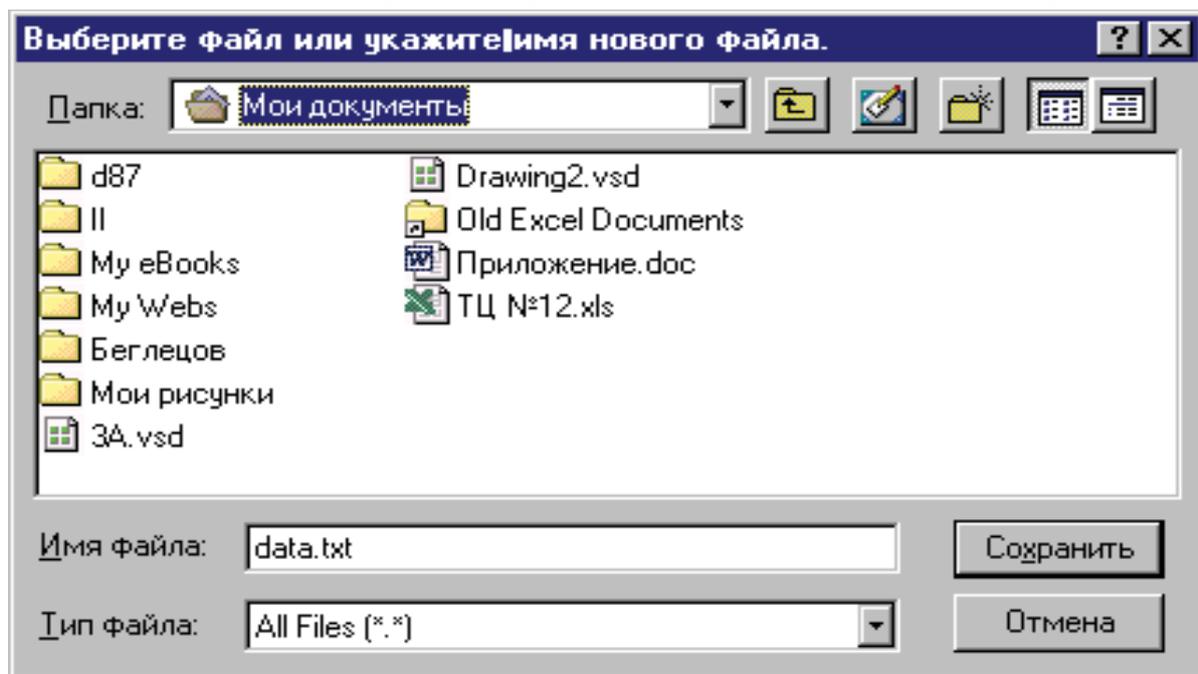


Рис. 3.4. Окно для записи данных в файл

### 3.2. Рабочее задание

1. Для электрической цепи, принципиальная схема которой представлена на рис. 3.5, определить временную зависимость тока при подаче на вход симметричного двухполярного напряжения прямоугольной формы.

2. По результатам расчёта построить график временной зависимости тока.

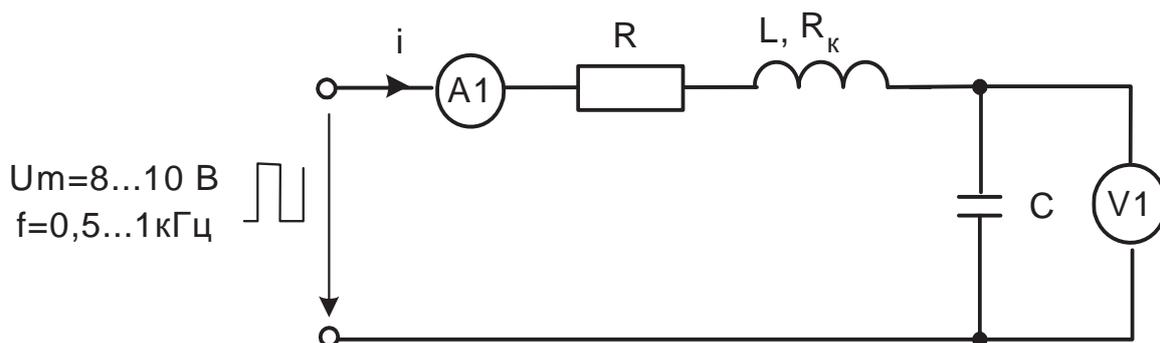


Рис. 3.5. Принципиальная схема электрической цепи

3. Рассчитать действующие значения тока и напряжения на конденсаторе.
3. Рассчитать активную мощность цепи.
4. Провести сравнительный анализ результатов расчёта и результатов экспериментальных исследований, полученных путём осциллографирования и непосредственных измерений.

### 3.3. Экспериментальные исследования и расчёты

#### *Расчёт цепи при несинусоидальном приложенном напряжении*

Из курса теоретических основ электротехники (ТОЭ) известно, что несинусоидальное периодическое входное напряжение цепи (в нашем случае симметричное двухполярное напряжение прямоугольной формы) можно разложить в ряд Фурье

$$u(t) = U_0 + \sum U_{km} \sin(k\omega t + \psi_k),$$

$$\text{где } U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(\omega t) d\omega t; \quad B_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u(\omega t) \sin(k\omega t) d\omega t;$$

$$C_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u(\omega t) \cos(k\omega t) d\omega t;$$

$$U_{km} = \sqrt{B_k^2 + C_k^2}; \quad \phi_k = \arctg(C_k / B_k).$$

С учётом этого для выполнения рабочего задания расчёт цепи целесообразно провести с использованием принципа наложения в следующей последовательности:

- рассчитать цепь при постоянном приложенном напряжении  $U_0$ ;
- рассчитать цепь (обычно комплексным методом) при синусоидальном приложенном напряжении с амплитудой  $U_{1m}$  и частотой  $\omega(k=1)$ ;
- повторить расчёт при  $k = 2, 3, 4, \dots$ , учитывая, что индуктивные сопротивления увеличиваются с ростом частоты ( $X_L = k\omega L$ ), а ёмкостные уменьшаются ( $X_C = 1/\omega C$ );
- определить временную зависимость тока, просуммировав его постоянную и синусоидальные составляющие;
- вычислить действующие значения тока и напряжения на конденсаторе, а также активную мощность цепи по следующим формулам:

$$U = \sqrt{U_0^2 + \sum U_{km}^2}; \quad I = \sqrt{I_0^2 + \sum I_{km}^2}; \quad P = U_0 I_0 + \sum U_k I_k \cos \varphi_k;$$

где  $U_k, I_k$  – действующие значения синусоидальных составляющих.

Для определения временной зависимости тока в цепи использовать MathCAD-программу, а график зависимости вывести на экран виртуального осциллографа. Результаты расчёта действующих значений токов и напряжений, а также активной мощности занести в табл. 3.1.

Все расчёты провести для одного из следующих вариантов значений параметров элементов цепи и приложенного напряжения:  $L = 10$  мГн ( $R_K = 17$  Ом);  $L = 40$  мГн ( $R_K = 70$  Ом);  $L = 100$  мГн, ( $R_K = 170$  Ом);  $C = 0,22, 0,47$  или  $1,0$  мкФ;  $R = 47, 100, 150$ , или  $220$  Ом;  $U_m = 8 \dots 10$  В;  $f = 0,5 \dots 1$  кГц.

### ***Осциллографирование и измерение электрических величин с помощью виртуальных приборов***

- Соберите цепь (рис. 3.5) с принятыми в расчёте значениями параметров элементов и включите виртуальный осциллограф для наблюдения графика изменения тока.
- Подключите к цепи генератор сигналов специальной формы в режиме генерирования двухполярных прямоугольных импульсов, предварительно установив принятые в расчёте значения их частоты и амплитуды.
- С помощью органов управления виртуального осциллографа отрегулируйте изображение на экране, сделав его удобным для наблюде-

ния (рис. 3.6), и запишите осциллограмму в файл для составления отчёта по лабораторной работе.

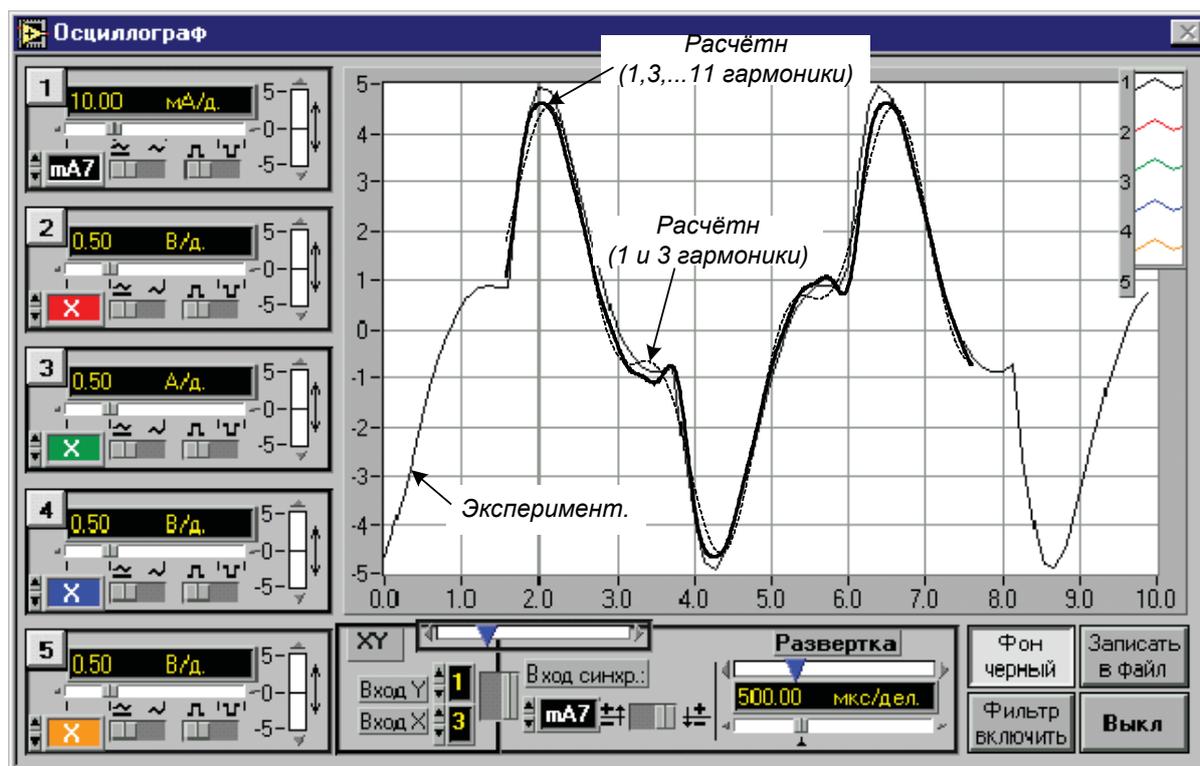


Рис. 3.6. Изображение на экране виртуального осциллографа

- Подключите виртуальные приборы и определите действующие значения тока и напряжения на конденсаторе, результаты измерений занесите в табл. 3.1.
- Переключите вольтметр на вход цепи, включите виртуальный измеритель активной мощности и занесите его показание также в таблицу.
- Сравните результаты расчёта и эксперимента и сделайте выводы о причинах их расхождений.

Таблица 3.1

Значение	$I$ , мА	$U_C$ , В	$P$ , мВт
Расчётное			
Экспериментальное			

### 3.4. Контрольные вопросы

1. Как отрегулировать размер изображения на экране виртуального осциллографа по вертикали?

2. Что подразумевается под термином «развёртка» виртуального осциллографа?
3. Какова роль фильтра виртуального осциллографа?
4. Какой формы фигура появится на экране виртуального осциллографа при подаче на вход X синусоидального входного напряжения линейной электрической цепи, а на вход Y – тока в ней?
5. Что означает термин «синхронизация» виртуального осциллографа?
6. Как измерить угол фазового сдвига тока в цепи относительно напряжения на её входе?
7. Как исключить постоянную составляющую сигнала из его изображения на экране виртуального осциллографа?

#### Лабораторная работа № 4

### ***ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ И ТРЁХФАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ***

**Цель работы:** приобретение навыков сборки электронных схем выпрямителей и экспериментальное изучение их свойств с использованием средств компьютерной техники.

#### **4.1. Предмет и средства исследования**

Предмет исследования – однофазный мостовой и трёхфазные нулевой и мостовой полупроводниковые выпрямители, а также сглаживающие фильтры к ним.

В качестве средств исследования применяются генераторы напряжений и виртуальные измерительные **приборы** лабораторного стенда.

#### **4.2. Рабочее задание**

1. Зарегистрировать и проанализировать осциллограммы выходных напряжений исследуемых выпрямителей при отсутствии сглаживающих фильтров.

2. Экспериментально определить отношения средневых выпрямленных значений выходных напряжений к действующим значениям входных напряжений ( $U_d / U_{BX}$ ) исследуемых выпрямителей без сглаживающих фильтров.

3. Экспериментально определить значения коэффициентов пульсаций  $k_{\text{пульс}}$  выходных напряжений исследуемых выпрямителей без сглаживающих фильтров.

4. Сравнить экспериментальные значения отношений  $(U_d / U_{\text{ВХ}})$  и  $k_{\text{пульс}}$  с теоретическими, объяснить причины расхождений.

5. Исследовать влияние ёмкости конденсатора сглаживающих фильтров на форму выходных напряжений, а также на значения отношения  $U_d / U_{\text{ВХ}}$  и коэффициента пульсаций  $k_{\text{пульс}}$ .

6. На основе результатов эксперимента провести сравнительный анализ исследованных выпрямителей.

### 4.3. Экспериментальные исследования

#### *Однофазный мостовой двухполупериодный выпрямитель*

При исследовании целесообразно придерживаться следующего порядка.

- Соберите цепь, принципиальная схема которой изображена на рис. 4.1 без сглаживающего фильтра (С). На схеме V0 и V1 – входные гнезда коннектора; А и N – выходные гнезда трёхфазного источника синусоидального напряжения частотой 50 Гц. При сборке схемы обратите внимание на полярность электролитического конденсатора.

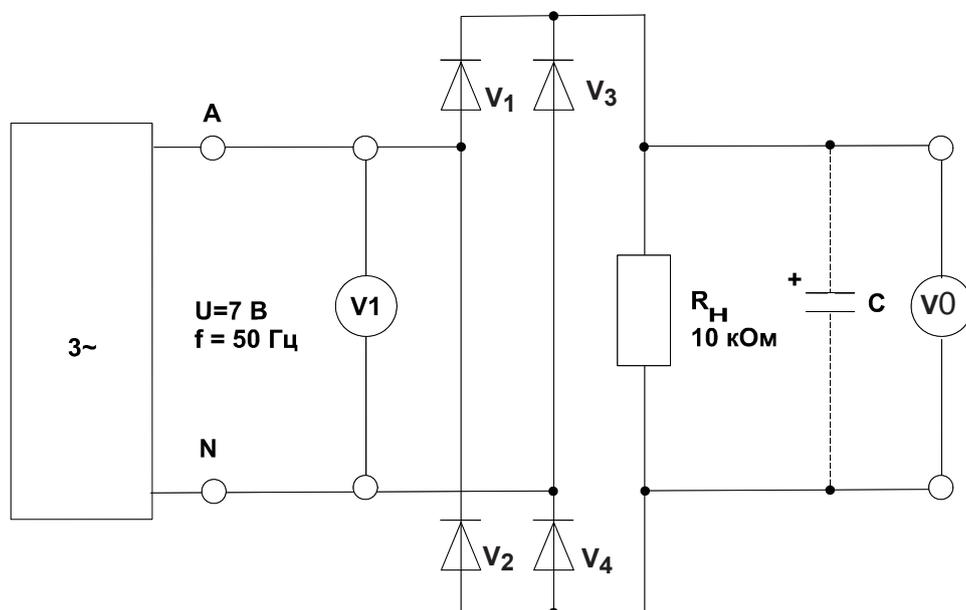


Рис. 4.1. Принципиальная схема цепи с мостовым однофазным выпрямителем

- Включите виртуальные приборы V0 и V1 и осциллограф.
- Установите значение развертки осциллографа 5 мс/дел и с помо-

щью регулировок добейтесь, чтобы осциллограммы на экране были удобны для наблюдения.

- Запишите в файл осциллограммы входного и выходного напряжений для включения в отчёт по лабораторной работе.

- Проведите измерения и запишите в табл. 4.1 действующие значения входного напряжения  $U_{ВХ}$ , средневывпрямленное значение выходного напряжения  $U_d$ , амплитуду пульсаций  $\Delta U_{\text{пульс}}$  и отношение частот выходного и входного напряжений (пульсность)  $m = f_{\text{ВЫХ}} / f_{\text{ВХ}}$ .

- Рассчитайте и запишите в табл. 4.1 значения отношения  $U_d / U_{ВХ}$  и коэффициента пульсаций  $k_{\text{пульс}}$ .

- Подключите на выход выпрямителя ёмкостный фильтр и повторите опыты при следующих значениях ёмкости конденсатора: 1; 10 и 100 мкФ. Результаты измерений занесите в табл. 4.1.

Таблица 4.1

$C, \text{мкФ}$	0	1	10	100
$U_d, \text{В}$				
$\Delta U_{\text{пульс}}, \text{В}$				
$m$				
$U_d / U_{\text{ВХ}}$				
$k_{\text{пульс}}$				

### Трёхфазный нулевой выпрямитель

- Соберите цепь, принципиальная схема которой изображена на рис. 4.2 без сглаживающего фильтра (C). На схеме V0 и V1 – входные гнезда коннектора: А, В, С и N – выходные гнезда трёхфазного источника синусоидального напряжения частотой 50 Гц. При сборке схемы обратите внимание на полярность электролитического конденсатора.

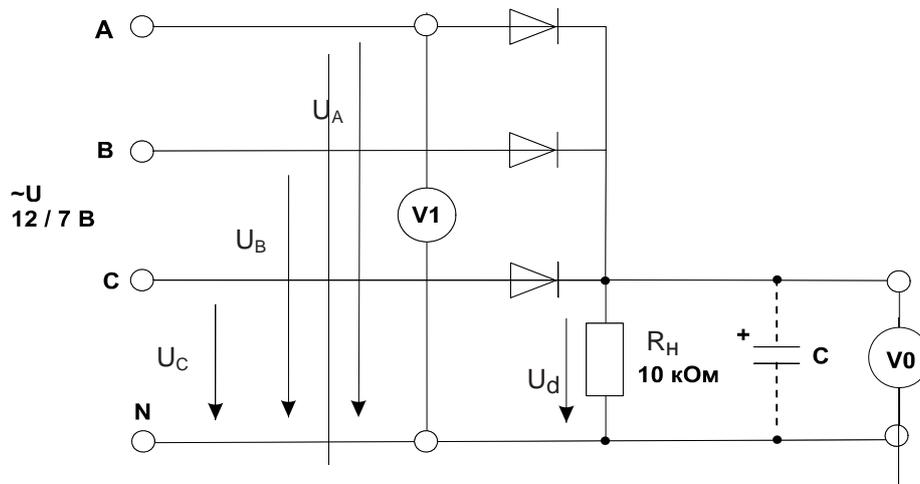


Рис. 4.2. Принципиальная схема цепи с нулевым трёхфазным выпрямителем

- Для собранной цепи при сопротивлении нагрузки  $R_H = 10 \text{ кОм}$  повторите опыты пункта «Однофазный мостовой двухполупериодный выпрямитель» и занесите результаты измерений и расчётов в табл. 4.2.

- Установите в качестве фильтра конденсатор ёмкостью  $100 \text{ мкФ}$  и повторите измерения при сопротивлении нагрузки  $1 \text{ кОм}$ . Результаты измерений и расчётов занесите в табл. 4.2.

Таблица 4.2

$C, \text{ мкФ}$	0	1	10	100	100
				$R=10 \text{ кОм}$	$R=1 \text{ кОм}$
$U_d, \text{ В}$					
$\Delta U_{\text{пульс}}, \text{ В}$					
$m$					
$U_d / U_{\text{ВХ}}$					
$k_{\text{пульс}}$					

### Трёхфазный мостовой выпрямитель

- Соберите цепь, принципиальная схема которой изображена на рис. 4.3, без сглаживающего фильтра (C). На этом рисунке приняты те же обозначения, что и на предыдущем. При сборке схемы обратите внимание на полярность электролитического конденсатора.

- Повторите опыты, выполненные с нулевым трёхфазным выпрямителем в соответствии с пунктом «Трёхфазный нулевой выпрямитель». Результаты измерений и расчётов занесите в таблицу, аналогичную табл. 4.2.

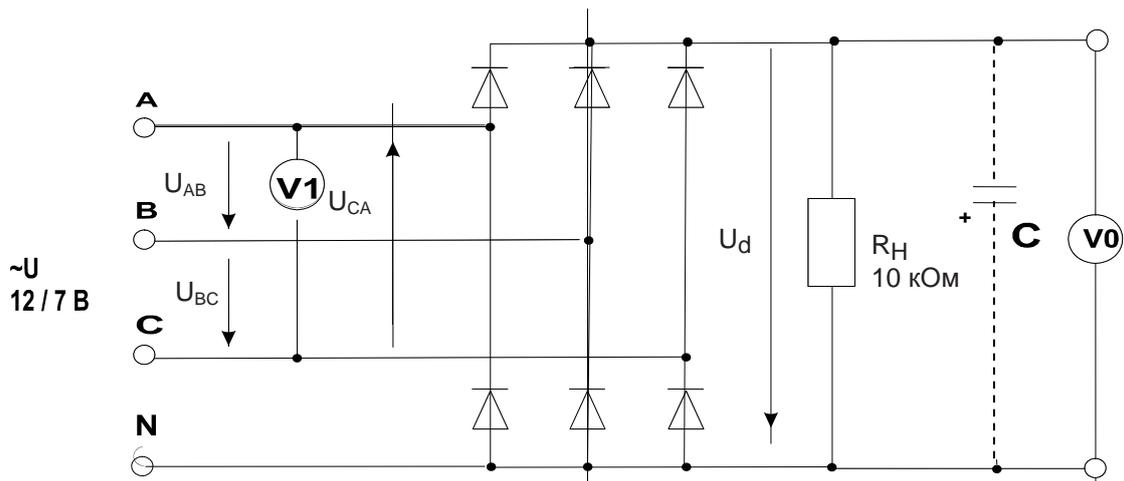


Рис. 4.3. Принципиальная схема цепи с мостовым трёхфазным выпрямителем

### 4.4. Контрольные вопросы

1. Почему максимальное значение выпрямленного напряжения не совпадает с амплитудой входного напряжения?

2. Каково максимальное обратное напряжение на диоде в схеме однофазного мостового выпрямителя без фильтра?
3. Какое действие оказывает сглаживающий конденсатор на амплитуду пульсаций выходного напряжения выпрямителя напряжения?
4. Какова частота пульсаций выходного напряжения трехфазного нулевого выпрямителя?
5. Каковы теоретические значения отношений средневыхпрямленных значений выходных напряжений к действующим значениям входных напряжений ( $U_d / U_{ВХ}$ ) исследованных выпрямителей без сглаживающих фильтров?
6. Во сколько раз частота пульсаций выходного напряжения нулевого трёхфазного выпрямителя выше, чем у мостового однофазного?
7. Как изменяется коэффициент пульсаций при увеличении нагрузки выпрямителя с ёмкостным фильтром?

## **Лабораторная работа № 5**

### ***ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ НА БИПОЛЯРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ***

**Цель работы:** приобретение навыков сборки и наладки электронных усилителей на биполярных и полевых транзисторах и экспериментальное изучение их свойств с использованием средств компьютерной техники.

#### **5.1. Предмет и средства исследования**

Предмет исследования – усилительные каскады с общим эмиттером и общим истоком, а также эмиттерный и истоковый повторители.

В качестве средств исследования применяются генераторы напряжений и виртуальные измерительные приборы лабораторного стенда.

#### **5.2. Рабочее задание**

1. С помощью виртуального осциллографа зарегистрируйте и проанализируйте осциллограммы входных и выходных напряжений исследуемых усилительных каскадов.

2. С помощью виртуальных приборов определите коэффициенты усиления по напряжению исследуемых усилительных каскадов ( $K_U$ ), а также их входные ( $R_{ВХ}$ ) и выходные ( $R_{ВЫХ}$ ) сопротивления.

3. На основе результатов экспериментов проведите сравнительный анализ исследуемых усилительных каскадов.

### 5.3. Экспериментальные исследования Усилительный каскад с общим эмиттером

При исследовании целесообразно придерживаться следующего порядка:

- На наборной панели лабораторного стенда соберите усилительный каскад, принципиальная схема которого представлена на рис. 5.1.
- Подключите ко входу каскада через делитель на резисторах 1 кОм и 100 Ом генератор напряжений специальной формы в режиме генерирования синусоидального напряжения.
- Установите частоту синусоидального напряжения  $f = 1$  кГц, а действующее значение напряжения 2 В. В этом случае из-за наличия делителя на вход каскада будет подаваться напряжение  $U_{ВХ} = 0,2$  В.

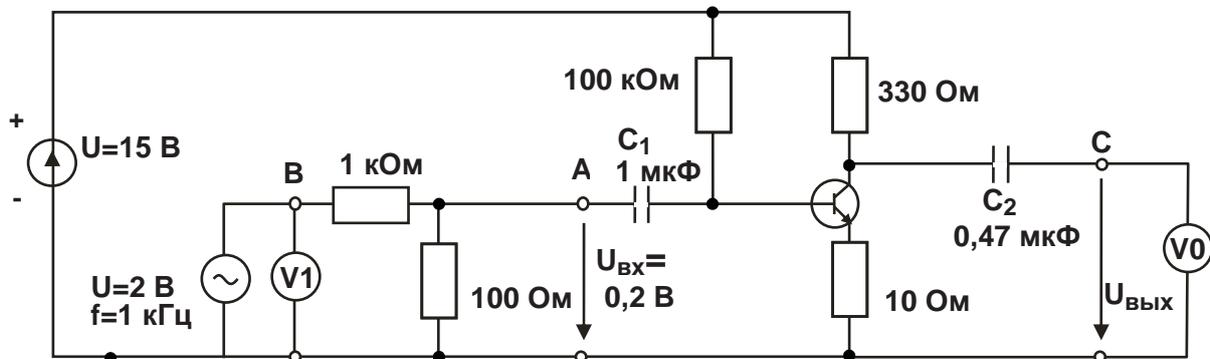


Рис. 5.1. Принципиальная схема каскада с общим эмиттером

- Подключите первый и второй входные блоки виртуального осциллографа соответственно на вход и выход усилительного каскада. Отрегулируйте осциллограф для получения удобных для наблюдения осциллограмм входного и выходного напряжений.
- Проанализируйте осциллограммы и запишите их в файл для оформления отчета по лабораторной работе.
- Измерьте входное и выходное напряжения, определите угол фазового сдвига этих напряжений  $\varphi$  и вычислите коэффициент усиления по напряжению, используя следующее соотношение:

$$K_U = U_{ВЫХ} / U_{ВХ}.$$

Результаты этих и последующих измерений и вычислений занесите в левую часть табл. 5.1.

- Определите входное сопротивление усилителя  $R_{ВХ}$ . Для этого включите последовательно во входную цепь усилителя резистор  $R_{ДОБ} = 1$  кОм. Это вызовет снижение действующего значения выходного напряжения

$U_{\text{ВЫХ}}$  усилителя со значения  $U_1$  до значения  $U_2$ . В этом случае входное сопротивление  $R_{\text{ВХ}}$  можно рассчитать следующим образом

$$R_{\text{ВХ}} = R_{\text{ДОБ}} / (U_1 \propto U_2 - 1).$$

• Определите выходное сопротивление усилителя  $R_{\text{ВЫХ}}$ . Для этого подключите нагрузочный резистор  $R_{\text{Н}} = 1 \text{ кОм}$  к выходу усилителя (точка С). Это также вызовет снижение действующего значения выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  усилителя со значения  $U_1$  до значения  $U_2$ . Выходное сопротивление можно вычислить, используя соотношение

$$R_{\text{ВЫХ}} = R_{\text{Н}} / (U_1 \propto U_2 - 1).$$

Таблица 5.1

Электрические параметры	Схема каскада	
	С общим эмиттером	Эмиттерный повторитель
$U_{\text{ВХ}}$	0,2 В, 1кГц	0,3 В, 1кГц
$U_{\text{ВЫХ}}$		
$K_U$		
$j$		
$R_{\text{ВХ}}$		
$R_{\text{ВЫХ}}$		

### *Эмиттерный повторитель (каскад с общим коллектором)*

• На наборной панели лабораторного стенда соберите усилительный каскад, принципиальная схема которого представлена на рис. 5.2. Конденсатор  $C_3$  в схеме служит для подавления высокочастотных помех.

• Проведите опыты в той же последовательности, что и в пункте «Усилительный каскад с общим эмиттером». При определении входного и выходного сопротивлений каскада подключайте резисторы  $R_{\text{ДОБ}} = 10 \text{ кОм}$  и  $R_{\text{Н}} = 100 \text{ Ом}$ .

• Результаты измерений и расчётов занесите в правую часть табл. 5.1.

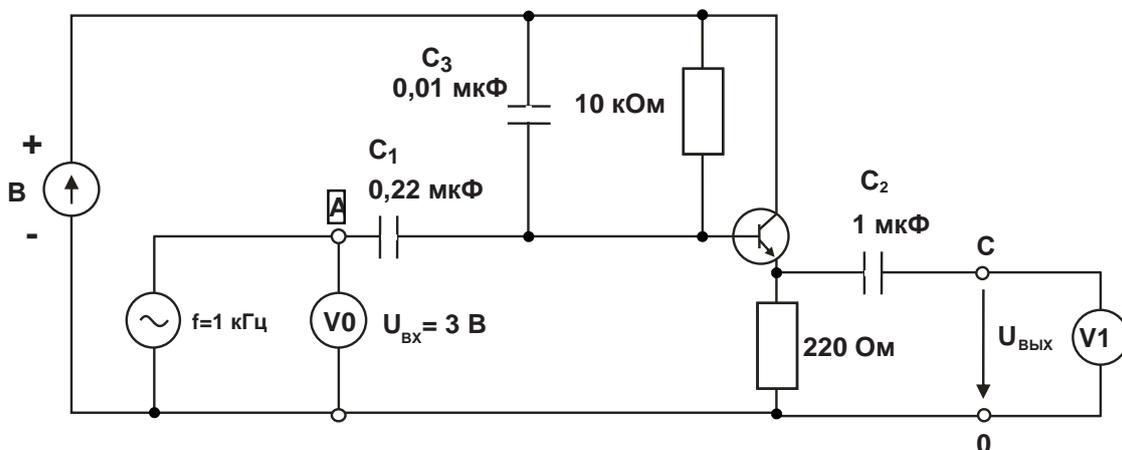


Рис. 5.2. Принципиальная схема эмиттерного повторителя

### Усилительный каскад с общим истоком

• На наборной панели лабораторного стенда соберите усилительный каскад, принципиальная схема которого представлена на рис.5.3. При этом обратите внимание на полярность подключения электролитического конденсатора  $C_3$ , который служит для исключения отрицательной обратной связи по переменному напряжению.

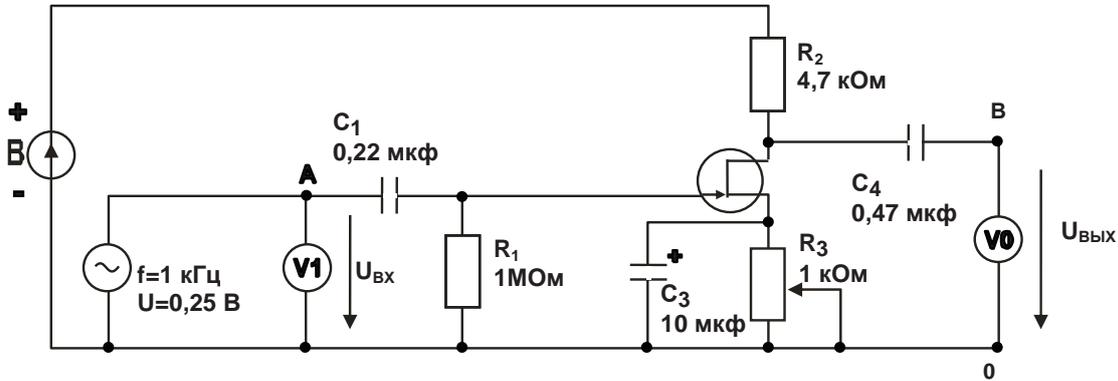


Рис. 5.3. Принципиальная схема каскада с общим истоком

- Установите частоту входного синусоидального напряжения 1 кГц и действующее значение 200...300 мВ.
- Используя потенциометр  $R_3$ , настройте каскад так, чтобы форма напряжения на выходе усилителя была наиболее близка к синусоидальной.
- Проведите опыты в той же последовательности, что и в пункте «Усилительный каскад с общим эмиттером». При определении входного и выходного сопротивлений каскада подключайте резисторы  $R_{доб} = 10 \text{ кОм}$  и  $R_H = 10 \text{ кОм}$ .
- Результаты измерений и расчётов занесите в левую часть табл. 5.2.

Таблица 5.2

Электрические параметры	Схема каскада	
	С общим истоком	Истоковый повторитель
$U_{вх}$	0,25 В, 1кГц	2 В, 1кГц
$U_{вых}$		
$K_U$		
$\varphi$		
$R_{вх}$		
$R_{вых}$		

### Истоковый повторитель (каскад с общим стоком)

• На наборной панели лабораторного стенда соберите усилительный каскад, принципиальная схема которого представлена на рис. 5.4.

- Установите частоту входного синусоидального напряжения 1 кГц и действующее значение 2...3 В.
- Используя потенциометр  $R_1$ , настройте каскад так, чтобы форма напряжения на выходе усилителя была наиболее близка к синусоидальной.
- Проведите опыты в той же последовательности, что и в пункте «Усилительный каскад с общим эмиттером». При определении входного и выходного сопротивлений каскада подключайте резисторы  $R_{\text{доб}} = 47 \text{ кОм}$  и  $R_{\text{н}} = 10 \text{ кОм}$ .
- Результаты измерений и расчётов занесите в правую часть табл. 5.2.

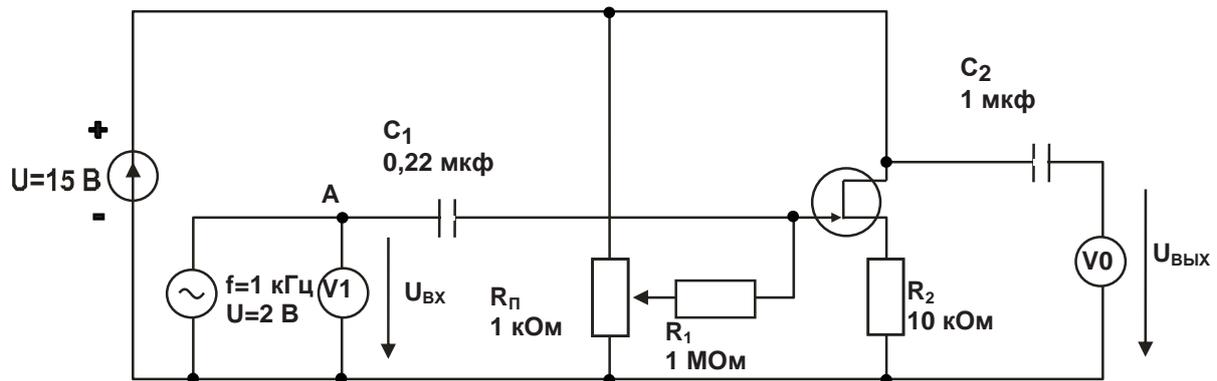


Рис. 5.4. Принципиальная схема истокового повторителя

#### 5.4. Контрольные вопросы

1. Какие из исследованных каскадов являются инверторами?
2. Почему в качестве первых каскадов многокаскадных усилителей используются эмиттерные или истоковые повторители?
3. Какое влияние оказывает сопротивление резистора в цепи коллектора каскада с общим эмиттером на коэффициент усиления по напряжению?
4. Какие преимущества и недостатки у усилительных каскадов на полевых транзисторах по сравнению с каскадами на биполярных транзисторах?
5. К каким последствиям приводит неправильный выбор начального положения рабочей точки усилительного каскада?
6. Какой из резисторов в схеме каскада с общим эмиттером (см. рис. 5.1) обеспечивает правильное начальное положение рабочей точки каскада?
7. Каково назначение конденсаторов  $C_1$  и  $C_4$  в схеме каскада с общим истоком (см. рис. 5.3)?

## Лабораторная работа № 6

### ***ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ***

**Цель работы:** приобретение навыков сборки и наладки электронных устройств на основе операционных усилителей; экспериментальное изучение их свойств с использованием средств компьютерной техники.

#### **6.1. Предмет и средства исследования**

Предмет исследования – инвертирующий и неинвертирующий усилители, сумматор, вычитающее устройство, а также интегратор и дифференцирующее устройство на базе операционного усилителя.

В качестве средств исследования применяются генераторы напряжений и виртуальные измерительные приборы лабораторного стенда.

#### **6.2. Рабочее задание**

1. С помощью виртуального осциллографа зарегистрируйте и проанализируйте осциллограммы входных и выходных напряжений исследуемых устройств на основе операционных усилителей.

2. В статическом режиме определите коэффициенты усиления по напряжению исследуемых усилителей ( $K_U$ ), исследуйте зависимости выходного напряжения от входного, а также влияние сопротивления нагрузки на параметры усилителей.

3. Исследуйте динамические характеристики устройств на основе операционных усилителей.

#### **6.3. Экспериментальные исследования устройств в статическом режиме**

##### ***Инвертирующий усилитель***

Инвертирующий усилитель представляет собой устройство, которое преобразует постоянное входное напряжение в выходное постоянное напряжение другого уровня и противоположной полярности. Под действием на входе синусоидального напряжения на выходе формируется синусоидальное напряжение другой амплитуды, сдвинутое по фазе относительно входного на  $180^\circ$ .

При исследовании целесообразно придерживаться следующего порядка:

- На наборной панели лабораторного стенда соберите инвертирующий усилитель и подключите к нему источники питания и входного напряжения в соответствии с принципиальной схемой на рис. 6.1. В качестве нагрузки подключите резистор  $R_H = 1 \text{ кОм}$ .

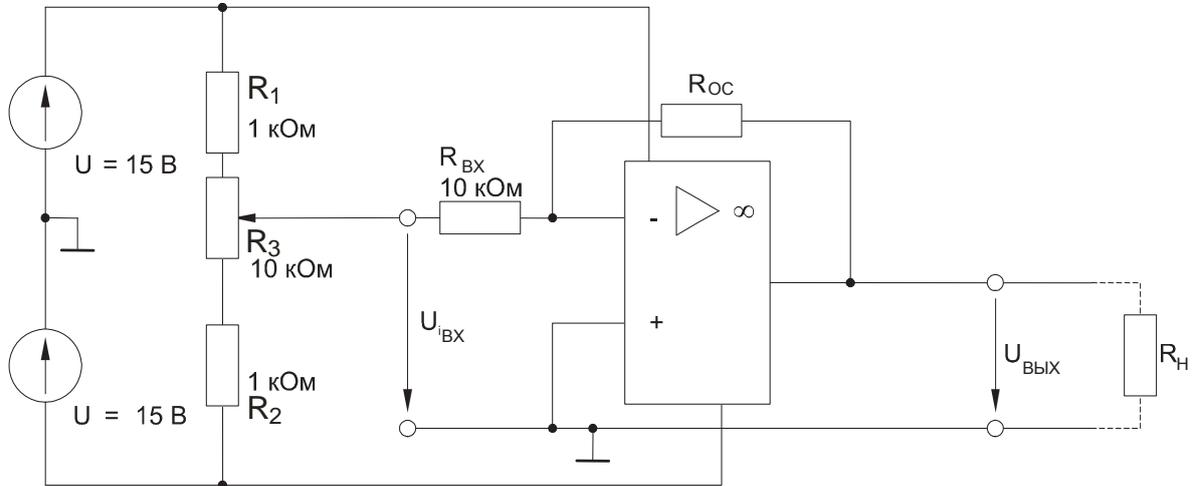


Рис. 6.1. Принципиальная схема для исследования инвертирующего усилителя

- С помощью виртуальных вольтметров измерьте выходное напряжение  $U_{\text{ВЫХ}}$  при различных сопротивлениях отрицательной обратной связи  $R_{\text{ОС}}$  и входных напряжениях  $U_{\text{ВХ}}$  в соответствии с табл. 6.1.

Таблица 6.1

$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
$U_{\text{ВЫХ}}$ при $R_{\text{ОС}} = 10 \text{ кОм}$											
$U_{\text{ВЫХ}}$ при $R_{\text{ОС}} = 22 \text{ кОм}$											
$U_{\text{ВЫХ}}$ при $R_{\text{ОС}} = 47 \text{ кОм}$											

- Занесите результаты измерений в табл. 6.1 и постройте графики зависимостей выходного напряжения от входного при различных сопротивлениях отрицательной обратной связи.

- Для изучения влияния сопротивления нагрузки установите входное напряжение  $U_{\text{ВХ}} = -5 \text{ В}$ , а  $R_{\text{ОС}} = R_{\text{ВХ}} = 10 \text{ кОм}$ . Подсоедините к выходу усилителя поочередно различные сопротивления нагрузки в соответствии с табл. 6.2 и измерьте выходные напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$ .

- Занесите результаты измерений в табл. 6.2 и постройте график зависимости выходного напряжения от сопротивления нагрузки  $R_H$ .

Таблица 6.2

$R_H, \text{ Ом}$	1000	680	470	330	220	100	47
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{ В}$							

### Неинвертирующий усилитель

В отличие от вышерассмотренного полярность и фаза входного и выходного напряжений неинвертирующего усилителя совпадают.

- На наборной панели лабораторного стенда соберите неинвертирующий усилитель и подключите к нему источники питания и входного напряжения в соответствии с принципиальной схемой на рис. 6.2.

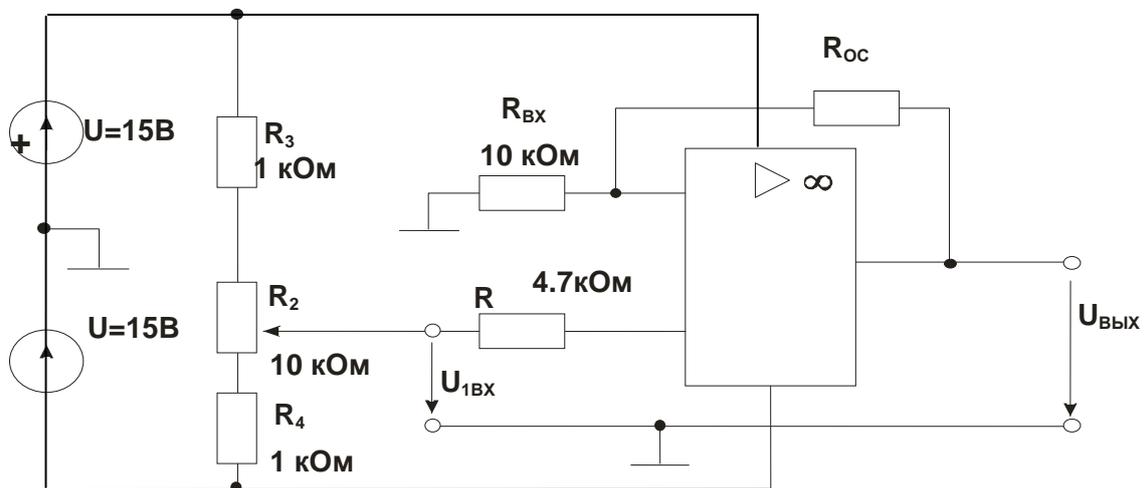


Рис. 6.2. Принципиальная схема для исследования неинвертирующего усилителя

- Повторите опыты пункта «Инвертирующий усилитель», занесите их результаты в таблицы и постройте соответствующие графики.

### Сумматор на операционном усилителе

Это устройство складывает входные напряжения в аналоговой форме, учитывая их знаки.

- На наборной панели лабораторного стенда соберите сумматор и подключите к нему источники питания и входных напряжений в соответствии с принципиальной схемой на рис. 6.3.

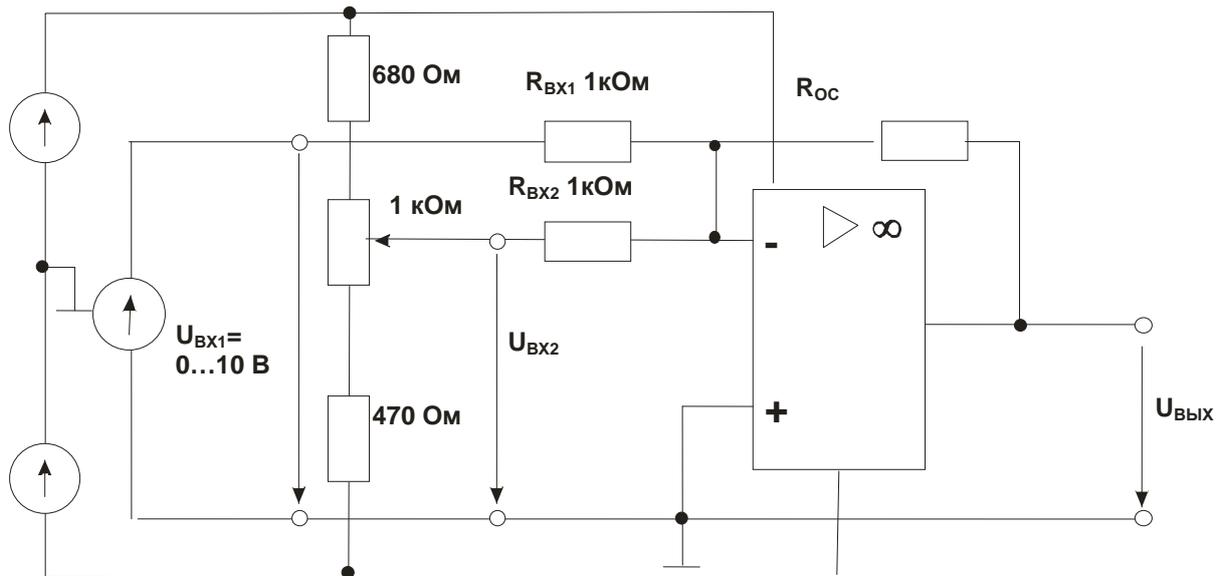


Рис. 6.3. Принципиальная схема для исследования сумматора

- Установите значение входного напряжения  $U_{\text{ВХ2}} = +2\text{В}$  и изменяйте входное напряжение  $U_{\text{ВХ1}}$  согласно табл. 6.3, измеряя при этом выходное напряжение  $U_{\text{ВЫХ}}$ . Повторите измерения для входного напряжения  $U_{\text{ВХ2}} = -2\text{В}$ .
- Результаты измерений занесите в табл. 6.3 и постройте график зависимости выходного напряжения от входного.

Таблица 6.3

$U_{\text{ВХ1}}, \text{В}$	0	2	4	6	8	10
$U_{\text{ВХ1}}, \text{В}$ при $U_{\text{ВХ2}} = 2\text{В}$						
$U_{\text{ВХ1}}, \text{В}$ при $U_{\text{ВХ2}} = -2\text{В}$						

### ***Дифференциальный усилитель (устройство вычитания)***

Дифференциальный усилитель представляет собой элемент вычитания с усилением.

- На наборной панели лабораторного стенда соберите дифференциальный усилитель и подключите к нему источники питания и входных напряжений в соответствии с принципиальной схемой на рис. 6.4.

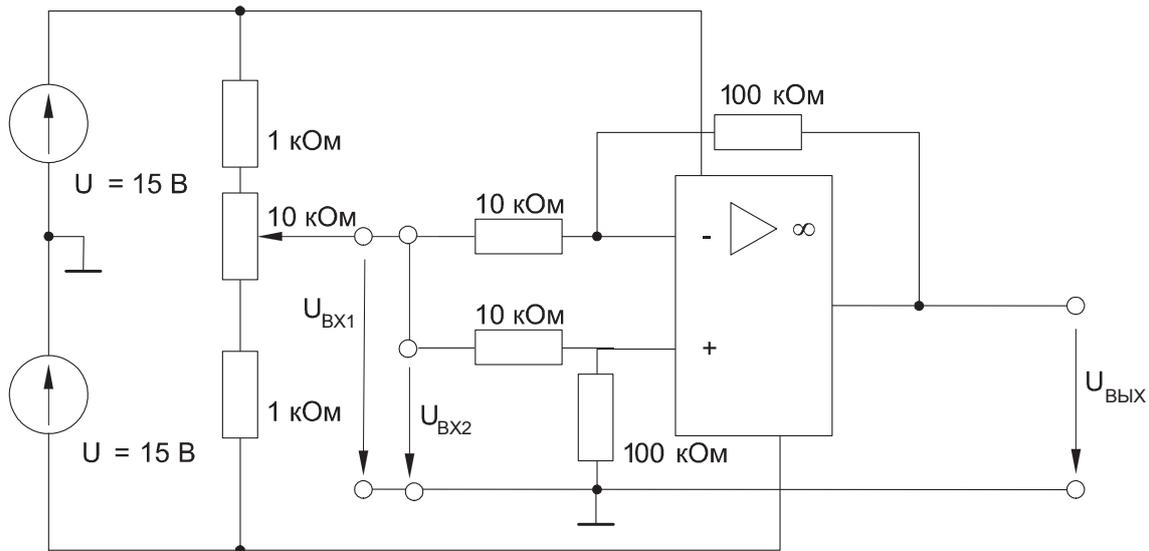


Рис. 6.4. Принципиальная схема для исследования дифференциального усилителя

- С помощью потенциометра установите значения разности входного и выходного напряжений ( $U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}}$ ) согласно табл. 6.4 и измерьте соответствующие значения выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$ .

Таблица 6.4

$U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}}, \text{ В}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{ В}$											

- Занесите результаты измерений в табл. 6.4 и постройте график зависимости выходного напряжения от разности ( $U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}}$ ).

#### 6.4. Экспериментальные исследования устройств в динамическом режиме

##### *Широкополосный инвертирующий усилитель*

- На наборной панели лабораторного стенда соберите широкополосный инвертирующий усилитель и подключите к нему источники питания и входного напряжения в соответствии с принципиальной схемой на рис. 6.5. В качестве источника входного напряжения используйте генератор сигналов специальной формы в режиме генерирования синусоидального напряжения.

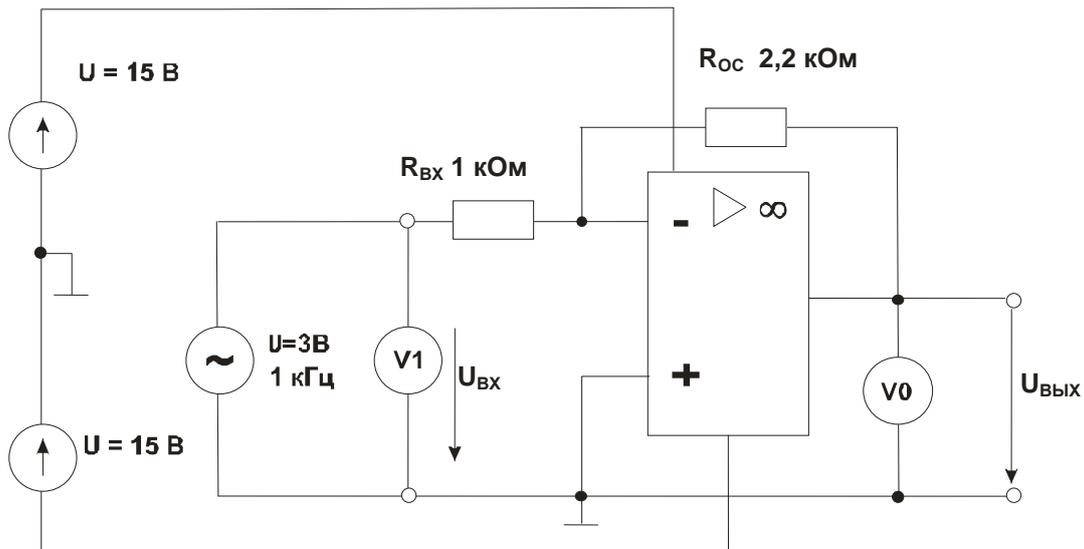


Рис. 6.5. Принципиальная схема для исследования инвертирующего усилителя в динамическом режиме

- Установите частоту напряжения на выходе генератора, т.е. входного напряжения усилителя, 1 кГц, а действующее значение  $U_{ВХ} = 3$  В.
- Для измерения напряжений включите виртуальные приборы, выберите род измеряемых величин «Действ. перем.» и выведите эти величины на виртуальный осциллограф. Запишите осциллограммы в файл для оформления отчёта.
- Изменяя частоту от 0,2 до 4 кГц в соответствии с табл. 6.5, занесите в неё значения выходного напряжения и коэффициента усиления по напряжению на каждой из частот.
- По результатам эксперимента постройте график частотной зависимости коэффициента усиления по напряжению  $K_U$ .

Таблица 6.5

$U_{ВХ} = 1$ В во всех опытах								
$f$ , кГц	Усилитель							
	широкополосный $R_{ВХ} = 1$ кОм $R_{ОС} = 2,2$ кОм		интегрирующий $R_{ВХ} = 1$ кОм $C_{ОС} = 1$ мкФ $R_{ОС} = 100$ кОм		дифференцирующий $R_{ВХ} = 10$ Ом $C_{ВХ} = 0,1$ мкФ $R_{ОС} = 1$ кОм		средних частот $R_{ВХ} = 220$ кОм $C_{ВХ} = 0,47$ мкФ $C_{ОС} = 0,1$ мкФ $R_{ОС} = 1$ кОм	
	$U_{ВЫХ}$ , В	$K_U$	$U_{ВЫХ}$ , В	$K_U$	$U_{ВЫХ}$ , В	$K_U$	$U_{ВЫХ}$ , В	$K_U$
0,2								
0,5								
1,0								

$U_{\text{ВХ}} = 1 \text{ В}$ во всех опытах								
$f$ , кГц	Усилитель							
	широкополосный		интегрирующий		дифференцирующий		средних частот	
	$R_{\text{ВХ}} = 1 \text{ кОм}$ $R_{\text{ОС}} = 2,2 \text{ кОм}$		$R_{\text{ВХ}} = 1 \text{ кОм}$ $C_{\text{ОС}} = 1 \text{ мкФ}$ $R_{\text{ОС}} = 100 \text{ кОм}$		$R_{\text{ВХ}} = 10 \text{ Ом}$ $C_{\text{ВХ}} = 0,1 \text{ мкФ}$ $R_{\text{ОС}} = 1 \text{ кОм}$		$R_{\text{ВХ}} = 220 \text{ кОм}$ $C_{\text{ВХ}} = 0,47 \text{ мкФ}$ $C_{\text{ОС}} = 0,1 \text{ мкФ}$ $R_{\text{ОС}} = 1 \text{ кОм}$	
	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{ В}$	$K_U$	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{ В}$	$K_U$	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{ В}$	$K_U$	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{ В}$	$K_U$
1,5								
2,0								
2,5								
3,0								
3,5								
4,0								

### ***Интегрирующий усилитель***

- Внесите следующие изменения в схему рис. 6.5: замените резистор  $R_{\text{ОС}}$  на конденсатор  $C_{\text{ОС}} = 1 \text{ мкФ}$ , параллельно конденсатору включите резистор сопротивлением  $100 \text{ кОм}$ .
- Повторите опыт пункта «Широкополосный инвертирующий усилитель».

### ***Дифференцирующий усилитель***

- Внесите следующие изменения в схему рис. 6.5: замените резистор  $R_{\text{ВХ}}$  на цепь, состоящую из последовательно соединённых конденсатора  $C_{\text{ВХ}} = 0,1 \text{ мкФ}$  и резистора сопротивлением  $10 \text{ Ом}$ ; в цепи обратной связи замените резистор  $2,2 \text{ кОм}$  на резистор  $1 \text{ кОм}$ .
- Повторите опыт пункта «Широкополосный инвертирующий усилитель».

### ***Усилитель средних частот***

- Внесите следующие изменения в схему рис. 6.5: замените резистор  $R_{\text{ВХ}}$  на цепь, состоящую из последовательно соединённых конденсатора  $C_{\text{ВХ}} = 0,47 \text{ мкФ}$  и резистора сопротивлением  $220 \text{ Ом}$ ; в обратной связи замените резистор  $2,2 \text{ кОм}$  на цепь, состоящую из

параллельно соединённых конденсатора  $C_{BX} = 0,1$  мкФ и резистора сопротивлением 1 кОм.

- Повторите опыт пункта «Широкополосный инвертирующий усилитель».

### 6.5. Контрольные вопросы

1. Назовите отличительные особенности операционного усилителя?
2. Каковы значения основных параметров современных микросхем операционных усилителей?
3. По каким формулам рассчитываются значения коэффициентов усиления по напряжению инвертирующего и неинвертирующего усилителей?
4. Какие причины приводят к расхождению экспериментальных и расчётных значений коэффициентов усиления по напряжению инвертирующего и неинвертирующего усилителей?
5. Каковы значения углов фазовых сдвигов между входными и выходными напряжениями идеальных инвертирующих и неинвертирующих усилителей, а также интеграторов и дифференцирующих устройств?
6. Почему значения углов фазовых сдвигов между входными и выходными напряжениями идеальных устройств отличаются от результатов измерений этих величин на реальных устройствах лабораторного стенда?
7. Чем объясняется зависимость модулей коэффициентов усиления и углов фазовых сдвигов исследованных устройств от частоты?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Покровский, А. Д.* Электрические измерения / А. Д. Покровский, М. М. Юрин. – М. : Изд-во МЭИ, 2009. – 397 с. – ISBN 977-5-9984-4027-2.
2. *Беглецов, Н.Н.* Электронные приборы и устройства. Руководство по выполнению базовых экспериментов / Н. Н. Беглецов, Ю. П. Галишников, П. Н. Сенигов. – Челябинск : Учебная техника, 2006. – 128 с. – ISBN 984-5-784-3353-2.
3. Энергетическая электроника : справ. пособие / под ред. В. А. Лабунцова. – М. : Энергоатомиздат, 2006. – 441 с. – ISBN 978-5-3641-0531-1.
4. *Орнатский, В.П.* Виртуальные средства измерений / В. П. Орнатский, П. П. Орнатский. – М. : Энергоатомиздат, 2004. – 390 с. – ISBN 678-5-463-8451-1.
5. Теоретические основы электротехники : учеб. для вузов. Т 1. / К. С. Демирчан [и др.]. – СПб : Питер, 2004. – 403 с. – ISBN 738-5-281-6253-1.
6. Обработка результатов измерений : метод. указания по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника» / Владим. гос. ун-т; сост. В. А. Шахнин, В. А. Фирсов. – Владимир, 2001. – 28 с.
7. ГОСТ 2.705-75. ЕСКД. Правила выполнения электрических схем. – М. : Госстандарт, 1975. – 21 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННЫХ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНЫХ АМПЕРМЕТРОВ И ВОЛЬТМЕТРОВ.....	5
Лабораторная работа № 2. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ, МОЩНОСТЕЙ И УГЛОВ СДВИГА ФАЗ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ .....	14
Лабораторная работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНОГО ОСЦИЛЛОГРАФА.....	18
Лабораторная работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ И ТРЁХФАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ.....	25
Лабораторная работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ НА БИПОЛЯРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ .....	29
Лабораторная работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ .....	34
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	42

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА  
Методические указания к лабораторным работам

Составитель  
ШАХНИН Вадим Анатольевич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор С. А. Сбитнев

Подписано в печать 14.06.11.  
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 2,55. Тираж 100 экз.  
Заказ  
Издательство  
Владимирского государственного университета.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.