

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ВИРТУАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Методические указания к лабораторным работам и  
самостоятельной работе для студентов магистратуры

2018

Авторы и составители: В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа

**Теория и практика виртуальных измерений:** Методические указания для проведения лабораторных работ и к самостоятельной работе студентов магистратуры.

Томск, 2018. – 31 с.

## Оглавление

Введение .....	4
Лабораторная работа 1. Принципы формирования виртуальных приборов на примере «Мультиметра» .....	7
Лабораторная работа 2. Исследование периодических сигналов с помощью функционального генератора и двухканального осциллографа.....	16
Лабораторная работа 3. Исследование АЧХ и ФХЧ с помощью построителя частотных характеристик .....	22
Лабораторная работа 4. Исследование спектрального состава периодического сигнала сложной формы .....	26
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	31

## Введение

**Система виртуальных инструментов и приборов (СВИП)** предназначена для формирования виртуальных инструментов и приборов и исследования с их помощью реальных технических объектов и (или) их виртуальных аналогов. Исходя из назначения, основными функциями СВИП являются:

1) отображение и функционирование визуальных инструментов, представляющих собой органы управления прибором и средства обработки результатов измерений и моделирования;

2) формирование виртуальных измерительных приборов и стендов, позволяющих обрабатывать и визуализировать данные измерений реальных технических объектов и результатов моделирования их виртуальных аналогов, а также управлять параметрами исследуемого объекта и формировать алгоритмы проведения экспериментов;

3) обработка и визуализация результирующей информации [30], принятой с реальных технических объектов через контроллер ЛАРМ [25] и (или) с моделей измерительных компонентов схемного слоя редактора;

4) программное обеспечение средств связи с аппаратной частью технических объектов.

В состав СВИП, структурная схема которой представлена на рис. В1, входят:

1) *редактор виртуальных инструментов и приборов*, представляющий собой трехслойную экранную форму, на слоях которой реализуется многослойный способ представления и обработки результатов экспериментов;

2) *библиотека визуальных и логических компонентов* (БВЛК), содержащая визуальные компоненты, из которых формируется лицевая модель прибора или стенда, и логические компоненты, алгоритмы, связанные с обработкой результирующей информации;

3) *драйвер автоматизированного лабораторного рабочего места* [25], представляющий собой компонент БВЛК, устанавливающий связь с исследуемым физическим объектом и осуществляющий передачу данных между ним и остальными компонентами виртуального измерительного прибора или стенда;

4) *механизм передачи сообщений*, который устанавливает связь между выходными и входными узлами компонентов логического слоя редактора и организует механизм передачи сообщений, посредством которых производится обмен данными между компонентами;

5) *имитационное ядро*, обеспечивающее работу алгоритмов виртуальных инструментов и приборов, представленных алгоритмическими компонентными цепями на логическом слое редактора ВИП.

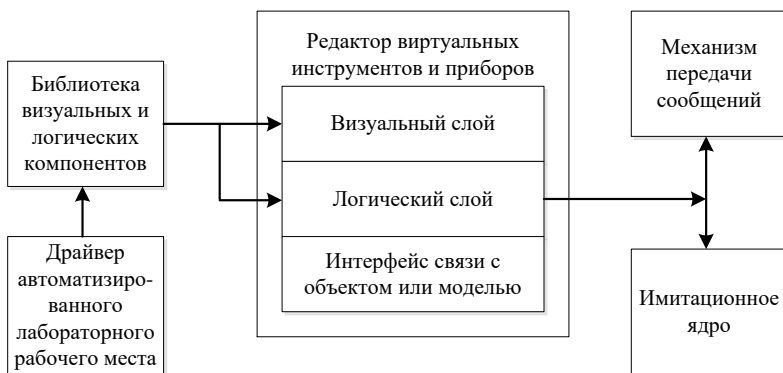


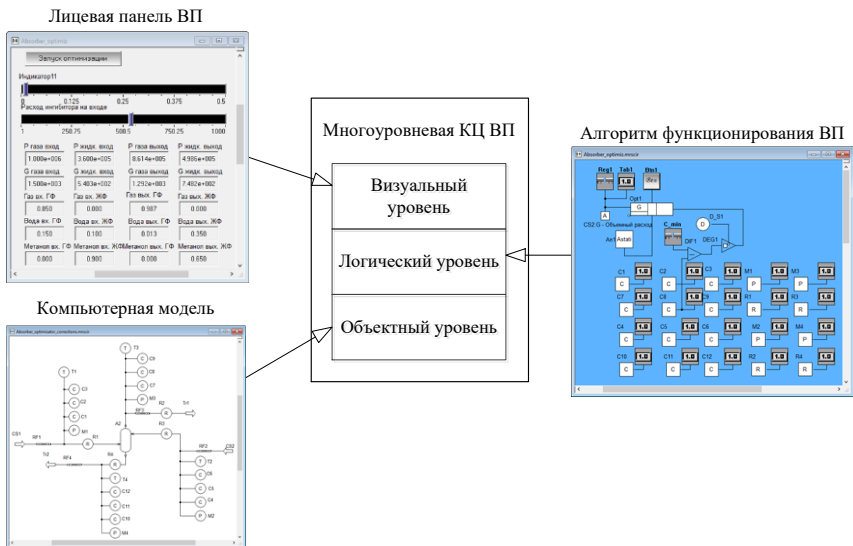
Рис. В1. Структурная схема системы виртуальных инструментов и приборов

Виртуальный прибор формируется из виртуальных инструментов, каждый из которых представляет собой неделимую часть и осуществляет некоторую функцию виртуального прибора. К ним относятся алгоритмические компоненты множества (2.67), реализующие алгоритмы работы ВП, а также визуальные компоненты множества (2.68), из которых формируется лицевая панель прибора.

Для построения виртуальных приборов может быть применена структура многоуровневой КЦ СТУС. В этом случае она имеет вид, представленный на рисунке В2, а каждый её уровень содержит:

- Визуальный уровень многоуровневой КЦ ВП содержит его лицевую панель, состоящую из визуальных компонентов отображения данных в понятном пользователю виде и органов интерактивного управления параметрами и характеристиками прибора.

- На ее логическом уровне располагается сценарий функционирования прибора, представляющий собой одну или несколько визуально не взаимосвязанных между собой алгоритмических компонентных подцепей (2.63).



**Рис. В2. Многоуровневое представление виртуального прибора**

– Объектный уровень представляет собой интерфейс взаимодействия ВП с исследуемой КЦ или реальной ХТС.

Представленная на рисунке В2 структура может быть обособлена в конкретный виртуальный прибор, представляющий собой макрокомпонент, сформированный на основе метода подцепей. Используемые для создания его лицевой панели компоненты визуального уровня используются также для разработки панелей визуализации и интерактивного управления

## Лабораторная работа 1. Принципы формирования виртуальных приборов на примере «Мультиметра»

### 1. Цель работы

Разработка виртуального прибора «Мультиметр» для измерения и анализа значений переменных и параметров (тока, напряжения, сопротивления и мощности) в электрической цепи постоянного тока.

### 2. Указания к выполнению работы

Любой виртуальный прибор генераторного или измерительного типа, предназначенный для проведения реального (натурного) эксперимента или максимального приближения виртуального (вычислительного) эксперимента к натурному, в формате многоуровневых компонентных цепей (МКЦ) формально можно представить в виде совокупности трех подцепей

$$C^{ВП} = C_o^{ВП} \cup C_L^{ВП} \cup C_V^{ВП}, \quad (1.1)$$

где  $C_o^{ВП}$  – компонентная цепь объектного уровня ВП, на котором формируется интерфейс его подключения к исследуемому реальному объекту и (или) его КМ;  $C_L^{ВП}$  – алгоритмическая КЦ виртуального прибора, включающая алгоритмы его функционирования;  $C_V^{ВП} = K_V^{ВП}$  – совокупность визуальных компонентов, составляющих лицевую панель виртуального прибора.

Из представленных совокупностей компонентов может быть сформирован любой прибор генераторного или измерительного типа, предназначенный для исследования технических объектов и (или) их компьютерных моделей, представленных подцепями объектного уровня МКЦ в формате языка моделирования технических и технологических систем. Разработка прибора осуществляется по стандартному алгоритму.

При формировании виртуального прибора в алгоритмической КЦ, описывающей алгоритмы функционирования ВП, происходит обмен информацией различных типовых технических и технологических системданных. У визуальных компонентов может быть множество атрибутов. Для изменения их значений не целесообразно выносить соответствующие узлы к изображению компонента на логическом уровне многоуровневой КЦ ВП.

Для варьирования значения некоторого атрибута визуального компонента множества  $K_V^{ВП}$ , используется компонент-атрибут, представленный на рисунке

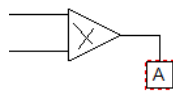


а)

Стрелочный регулятор



б)



Максимальное значение шкалы регулятора

в)

Рисунок 1.1 – Возможность изменения атрибута компонента

- а) отображение компонента на визуальном слое;
- б) отображение компонента на логическом слое;
- в) атрибутный компонент визуального компонента на логическом слое

На рисунке 1.1 показан пример изменения максимального значения (смотри рисунок 1.1, в) компонента «Стрелочник», представленный на рисунках 1.1, а и б. При получении сообщения, тип данных которого совпадает с типом данных атрибута «Максимальное значение шкалы регулятора», производится изменение значения соответствующего атрибута компонента «Стрелочник».

**Последовательность действий пользователя при формировании виртуального прибора.** Виртуальный прибор генераторного или измерительного типа формируется пользователем из визуальных компонентов, составляющих лицевую панель прибора, а также из логических компонентов, реализующих сценарии его функционирования на логическом уровне его КЦ. Помимо этого, для проведения виртуальных экспериментов формируется подцепь его сопряжения с исследуемой КЦ ХТС на объектном уровне. При исследовании реального объекта в сценарии функционирования прибора добавляются компоненты сопряжения с аппаратно-программными комплексами, например, функционирующими на базе языка управления механизмами X-Robot.

Последовательность действий пользователя по формированию виртуального прибора, представленная на рисунке 1.2, состоит из следующих этапов:

На этапе 1 *Составления технического задания на прибор* выявляются задачи, на решение которых направлен формируемый ВП, а также производится выявление его параметров, подлежащих варьированию с помощью компонентов-регуляторов на лицевой панели прибора, их интервалов варьирования и единиц измерения.





Рисунок 1.2 – Последовательность действий пользователя по формированию виртуального прибора

На этапе 2 на основании сформированного технического задания на прибор производится **Формирование лицевой панели прибора**. Оно заключается в выборе необходимых визуальных компонентов и их параметров. На данном этапе производится задание геометрических размеров компонентов на визуальном уровне, шрифтов отображения числовой и строковой информации, а также взаимное расположение визуальных компонентов, составляющих лицевую панель прибора.

На этапе 3 после того, как сформирована лицевая панель виртуального прибора, ее визуальные компоненты будут иметь свои отображения на логическом уровне многоуровневой КЦ ВП. Путем добавления на этот уровень необходимых логических компонентов и их соединения в соот-

ветствующие алгоритмические подцепи, осуществляющих преобразование входных данных в выходные, производится **формирование сценариев работы прибора**.

**Формирование интерфейсных связей прибора с реальным объектом или его моделью** производится путем оформления данного прибора в макрокомпонент. Для этого применяется специальный компонент «Интерфейс», представленный на рисунке 1.3.

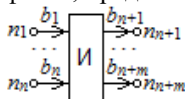


Рисунок 1.3 – Компонент «Интерфейс» для создания виртуальных приборов в виде макрокомпонентов

Его задачами являются формирование необходимых связей прибора с другими компонентами, а также задание параметров для создания лицевой панели прибора в виде отдельного окна. Любая компонентная цепь, включающая в себя компонент «Интерфейс», может быть сохранена в библиотеку моделей компонентов как макрокомпонент ВП. В этом случае он будет обладать специальным интерфейсным окном, содержащем в себе лицевую панель прибора, а также в виде многоуровневой подцепи входит в МКЦ исследуемой СТЭС.

### 3. Содержание работы

- 3.1 Составление технического задания на виртуальный прибор
- 3.2 Формирование лицевой панели прибора
- 3.3 Формирование сценариев работы прибора
- 3.4 Формирование интерфейсных связей прибора с исследуемой моделью
- 3.5 Тестирование виртуального прибора

### 4. Порядок выполнения работы

#### 4.1 Составление технического задания на прибор «Мультиметр».

*Мультиметр* – это виртуальный измерительный прибор, предназначенный для измерения текущих (для постоянного тока) и действующих (для переменного тока) значений напряжения и тока, активного сопротивления и активной мощности. Создаваемый прибор должен обладать следующими характеристиками: диапазон измерения напряжения – 1 мкВ – 1 МВ; диапазон измерения тока от 1 мкА до 1 МА; диапазон измерения активного сопротивления от 1 пОм до 1 ТОм; диапазон измерения активной мощности от 1 пВт до 1 ТВт.

**4.2 Формирование лицевой панели прибора.** Лицевая панель ВП «Мультиметр», представленная на рисунке 1.4, включает следующие элементы:

– *Цифровое табло «Значение»*, выводящее необходимое измеряемое или рассчитываемое на основе измерений значение;

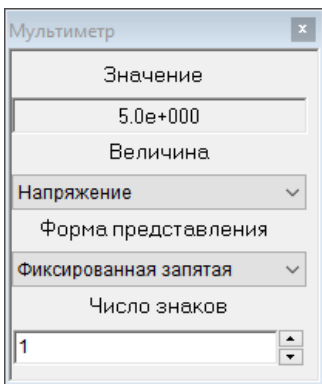


Рисунок 1.4 – Лицевая панель виртуального прибора «Мультиметр»

– *Комбинированный список «Величина»*, позволяющий выбрать необходимую для измерения и визуализации характеристику исследуемого участка электрической цепи. К таким величинам относятся: напряжение, ток, сопротивление, мощность.

– *Комбинированный список «Форма представления»*, позволяющий выбрать форму представления вещественного числа: с фиксированной запятой или с плавающей запятой;

– *цифровое число со спином «Число знаков»*, позволяет изменять количество знаков после запятой в визуализируемом значении.

**4.3 Формирование сценариев работы прибора** осуществляется с применением компонентов языка моделирования алгоритмических конструкций и измерительных компонентов языка моделирования ХТС,

осуществляющих первичные измерения текущих значений напряжения и тока.

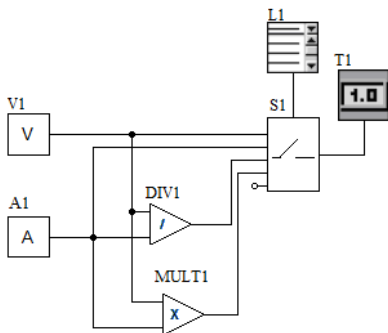


Рисунок 1.5 – Алгоритмическая компонентная цепь функционирования ВП «Мультиметр»

В представленной на рисунке 8.5 алгоритмической КЦ функционирования ВП «Мультиметр» используются следующие компоненты:

– *Вольтметр V1 и амперметр A1* используются для измерения напряжения  $U1$  и тока ветви  $I1$  соответственно ветви, в которую включен виртуальный прибор

«Мультиметр» для исследования ее характеристик;

– *Деление DIV1* применяется для определения сопротивления

$$R1 = \frac{U1}{I1} \quad (1.2)$$

исследуемой ветви электрической цепи, с которую включен ВП;

– Умножение *MULT1* позволяет вычислить мощность, потребляемую исследуемой с помощью ВП «Мультиметр» ветвью

$$P1 = U1 \cdot I1 ; \quad (1.3)$$

– С помощью *комбинированного списка L1* пользователем выбирается измеряемая характеристика обозначенной ветви электрической цепи. Каждой характеристике соответствует определенный порядковый номер: 0 – напряжение; 1- ток; 2 – сопротивление; 3 – мощность;

– *Алгоритмический ключ S1* осуществляет передачу на свой единственный выход значения, пришедшего на информационный вход, номер которого был передан последним комбинированным списком *L1*;

– *Цифровое табло T1* предназначено для визуализации полученного значения на лицевой панели виртуального прибора.



**T1: формат числа**

Рисунок 1.6 – Установка формата числа

Для настройки параметров цифрового табло *T1*, предназначенного для вывода результата на лицевую панель прибора, используются:

– *комбинированный список L2*, позволяющий выбрать одну из форм представления вещественного числа: 0 – фиксированная запятая, 1 – плавающая запятая. Его выход

подключен к компоненту-атрибуту *T1:формат числа*. Соответствующая алгоритмическая КЦ приведена на рисунке 1.6.

– *цифровое табло со спином T2* предназначено для установки количества знаков после запятой в визуализируемом результате.

Установка соответствующего значения в качестве атрибута цифрового табло *T1* производится с помощью алгоритмической КЦ, представленной на рисунке 1.7.



**T1: Количество знаков после запятой**

Рисунок 1.7 – Установка количества знаков после запятой

**4.4 Формирование интерфейсных связей с исследуемой моделью** осуществляется на объектном уровне многоуровневой КЦ ВП. Её компонентная подцепь объектного уровня, полученная в результате установки связей измерительных компонентов – вольтметра V1 и амперметра A1 с компонентом Интерфейс, представленном на рисунке 1.3, приведена на рисунке 1.8.

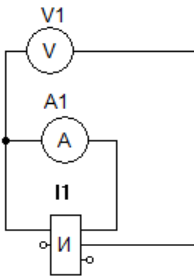


Рисунок 1.8 –  
Компонентная цепь объектно-  
го уровня ВП «Мультиметр»

**4.5 Для тестирования прибора** сформирована КЦ электрической цепи постоянного тока, представленная на рисунке 1.9. С помощью виртуального прибора «Мультиметр» измерению подлежат все характеристики сопротивления R2. Результаты измерения представлены на рисунках 1.10,а-г.

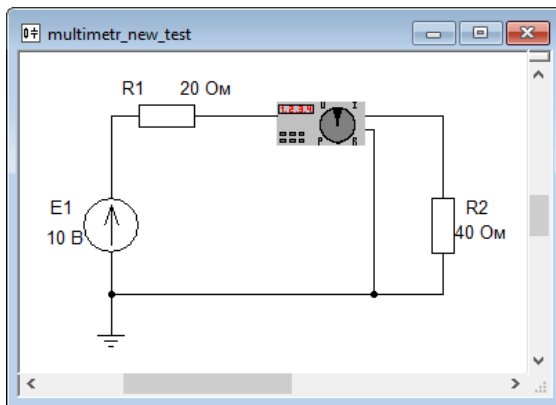
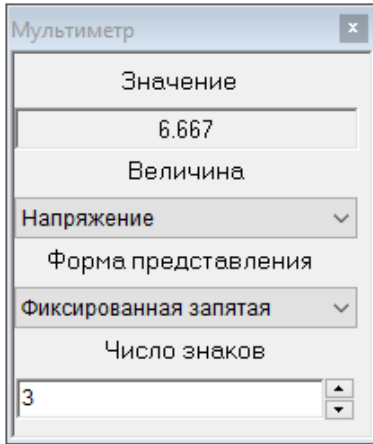
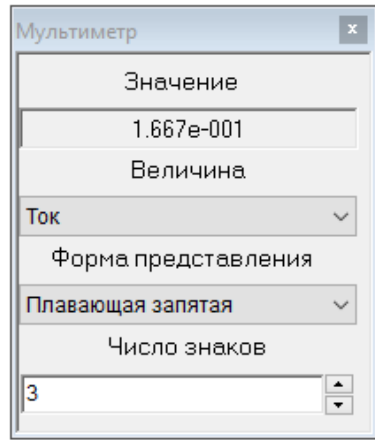


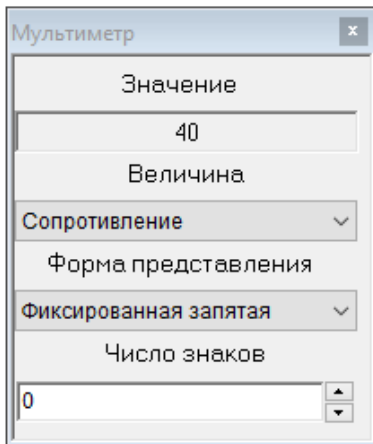
Рисунок 1.9 – Компьютерная модель электрической цепи для тестирования виртуального прибора «Мультиметр»



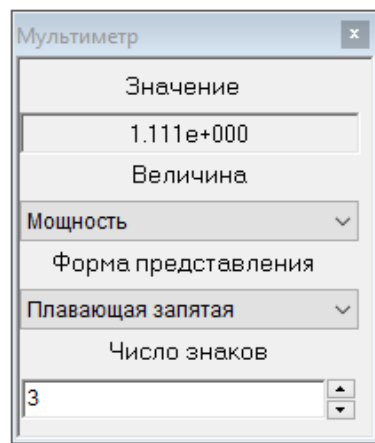
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.10 – Тестирование виртуального прибора «Мультиметр»

- а) в режиме измерения напряжения;
- б) в режиме измерения тока;
- в) в режиме измерения сопротивления;
- г) в режиме измерения мощности

Исследовать характеристики делителя напряжения, представленного на рисунке 1.9 и заполнить таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Исследование делителя напряжения с помощью виртуального прибора «Мультиметр»

Сопротивление $R$ , Ом	Напряжение $U$ , В	Ток $I$ , А	Мощность $P$ , Вт
10			
20			
30			
40			
50			

### **5. Содержание отчета**

- 5.1 Схема виртуального стенда для проведения эксперимента
- 5.2 Скриншоты каждого слоя многоуровневой компьютерной модели прибора
- 5.3 Выходные данные исследования построенного прибора, представленные в виде таблицы 1.1.

### **Литература**

1. СВИП – система виртуальных инструментов и приборов / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, В.В. Ганджа, Ю.И. Мальцев. – Т.: В-Спектр, 2014. – 216 с.
2. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В. Компьютерное моделирование химико-технологических систем. – Изд-во ТГУ, 2017. – 352 с.

## Лабораторная работа 2. Исследование периодических сигналов с помощью функционального генератора и двухканального осциллографа

### 1. Цель работы

Определение характеристик стационарных периодических сигналов с помощью функционального генератора и двухканального осциллографа.

### 2. Указания к выполнению работы

**Функциональный генератор** – генератор, с помощью которого может задаваться сигнал трех форм:

- синусоида;
- трапеция;
- треугольник.

Лицевая панель функционального генератора представлена на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Лицевая панель функционального генератора

Управление параметрами функционального генератора осуществляется следующими органами управления:



–   – выбор формы сигнала (по умолчанию устанавливается синусоида);

–    – установка амплитуды выходного сигнала. С помощью комбинированного списка устанавливается единица измерения амплитуды, которая может быть задана в микровольтах (мкВ), милливольтмах (мВ), вольтах (В), киловольтах (кВ), мегавольтах (МВ);

–    – устанавливается частота сигнала, которая может быть задана в герцах (Гц), килогерцах (кГц), мегагерцах (МГц) или в радианах в секунду (рад/с). Единица измерения частоты задается с помощью комбинированного списка;

–   – устанавливается коэффициент заполнения в процентах от периода сигнала: для прямоугольного сигнала это отношение длительности импульса к периоду – величина, обратная скважности; для треугольных сигналов – соотношение между длительностями переднего и заднего фронтов;

–   – установка смещения (постоянной составляющей) выходного сигнала.

**Двухканальный осциллограф** – прибор для визуализации формы двух напряжений или токов. Двухканальный осциллограф имеет лицевую панель, представленную на рис. 8.19.

Осциллограф позволяет просматривать оба графика в одном временном масштабе. Для этого задается развертка с помощью органов управления

. С помощью цифрового табло со спином численно задается значение времени развертки, а с помощью комбинированного списка задается единица измерения развертки, которая может быть выражена в секундах (с), миллисекундах (мс) или микросекундах (мкс).

Для каждого из сигналов задаются его усиление и смещение.

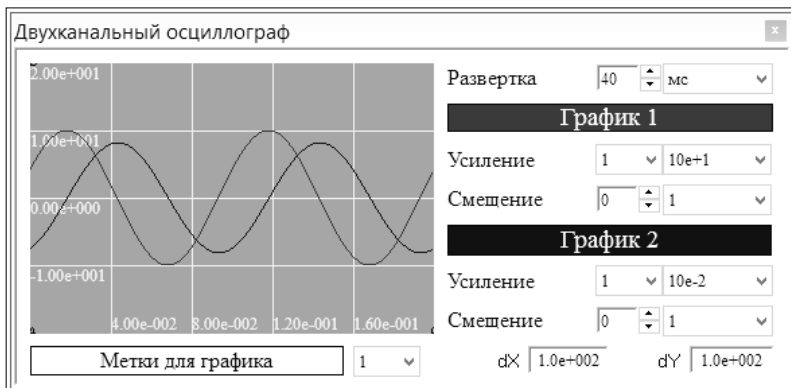


Рис. 2.2. Лицевая панель двухканального осциллографа

Усиление сигнала задается с помощью органов управления 

Усиление	1	▼	10e+1	▼
----------	---	---	-------	---

. С помощью первого комбинированного списка задается мантисса усиления, которая может принимать значение 1, 2, или 5. С помощью второго списка задается порядок усиления сигнала, который может варьироваться от  $10^{-6}$  до  $10^6$ .

Смещение сигнала относительно нуля задается с помощью органов управления 

Смещение	0	▼	1	▼
----------	---	---	---	---

. С помощью цифрового табло со спином задается мантисса смещения сигнала, которая может изменяться от  $-10$  до  $10$ , а с помощью комбинированного списка задается порядок усиления смещения, который меняется от  $10^{-6}$  до  $10^6$ .

Выбор сигнала, по которому устанавливаются метки по оси ординат, устанавливается органом управления 

Метки для графика	1	▼
-------------------	---	---

. График с номером 1 отображается в окне осциллографа красным цветом. Второй график отображается зеленым цветом.

### 3. Содержание отчета

**3.1 Сформированная компонентная цепь для исследования временных характеристик**

**3.2 Настройки генератора и осциллографа для исследования характеристика**

**3.3 Временные характеристики тока и напряжения**

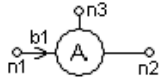
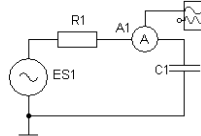
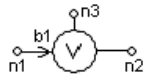
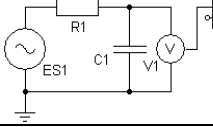
**3.4 Таблица результатов**

**3.5 Выводы по работе**

#### 4. Порядок выполнения работы

**4.1 Формирование компонентной цепи для исследования временных характеристик.** Исследование временных характеристик электрических цепей выполняется с помощью двухканального осциллографа, который может визуализировать диаграммы напряжения и тока, измеряемые вольтметром и амперметром, которые имеют свои отображения на объектном и логическом уровне многоуровневой компонентной цепи. Измерительные компоненты, предназначенные для снятия и передачи двухканальному осциллографу временных характеристик напряжения и тока, представлены в таблице 2.1

Таблица 2.1

Измерительные компоненты			
Название	Обозначение	Математическая модель	Принцип включения
Амперметр		$V_{n3} = V_{b1}$	
Вольтметр		$V_{n3} = V_{n1} - V_{n2}$	

Для исследования временных характеристик тока и напряжения необходимо сформировать модель электрической цепи, представленную на рисунке 2.3.

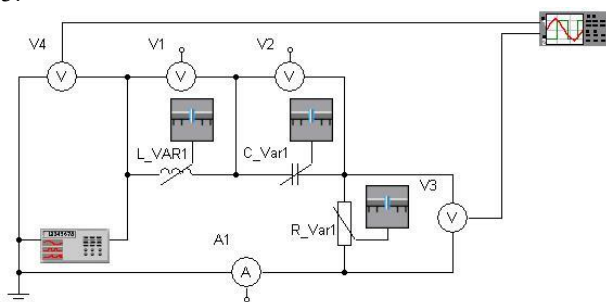


Рис. 2.3. Компьютерная модель электрической цепи для исследования временных характеристик

Подключая один выход двухканального осциллографа последовательно к информационному выходу вольтметра, которых измеряет напря-

жения на элементах электрической цепи, а другой – к информационному выходу амперметра, можно определять амплитуды соответствующих токов и напряжений, а также период и разность фаз между сигналами.

#### 4.2 Определение характеристик осциллограмм сигналов

Для определения **амплитуды сигнала** необходимо воспользоваться горизонтальными визирными линиями, которые расположены сверху и внизу левого края экрана осциллограммы. Для получения значения амплитуды необходимо нижнюю визирную линию передвинуть на нулевой уровень, а верхний – на уровень максимального значения соответствующего сигнала. В цифровом табло  $dY \overline{1.0e-002}$  в этом случае будет находиться значение амплитуды исследуемого сигнала.

Определение **периода сигнала** необходимо воспользоваться вертикальными визирными линиями, которых расположены слева и справа нижнего края экрана осциллограммы. Путем изменения значения развертки осциллографа желательнее добиться устойчивой не двигающейся картинки на экране осциллографа. При этом левую визирную линию необходимо установить в начало соответствующего периода, а правую – в его конец. В цифровом табло  $dX \overline{1.0e-002}$ .

Для определения **разности фаз** между двумя сигналами (например, для напряжения на каком-либо элементе электрической цепи и протекающим через него током) необходимо установить левую визирную линию в максимум одного сигнала (который будет опорный), а правую – в максимум второго сигнала (фазу которого относительно опорного необходимо определить). В цифровом табло  $dY \overline{1.0e-002}$  необходимо зафиксировать разницу времен наступления максимума. На её основе разность фаз между сигналами рассчитывается по формуле

$$\Delta\varphi = \frac{360 \cdot \Delta t \cdot \omega}{2 \cdot \pi}$$

где  $\omega$  – частота сигнала, выраженная в радианах в секунду.

Подключив первый вход осциллографа к вольтметру, измеряющему напряжение на функциональном генераторе, а второй его вход - поперечно к различным измерительным приборам, и изменяя частоту функционального генератора при его постоянной амплитуде, заполнить таблицу 2.1.

Таблица 2.1

## Исследование временных характеристик

Частота генератора Гц	Напряжение на сопротивлении		Напряжение на индуктивности		Напряжение на ёмкости		Ток в цепи	
	ам-плитуда	фаза	ам-плитуда	фаза	ам-плитуда	Фаза	ам-плитуда	фаза
50								
100								
200								
500								
1000								

### 5. *Содержание отчёта*

- 5.1 Схема компьютерной модели для проведения эксперимента по исследованию временных характеристик электрических цепей
- 5.2 Скриншоты осциллограф токов и напряжения на каждом элементе электрической цепи
- 5.3 Заполненная таблица экспериментальных данных 2.1.
- 5.4 Выводы по работе

### Лабораторная работа 3. Исследование АЧХ и ФХЧ с помощью построителя частотных характеристик

#### 1. Цель работы

Исследование частотных характеристик линейных электрических цепей с помощью виртуального измерительного прибора

#### 2. Указания к выполнению работы

Построитель частотных характеристик (рис. 3.1) предназначен для построения основных частотных характеристик, к которым относятся амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики. Частотные характеристики могут быть построены как для напряжения, так и для тока, в заданной точке схемы. Выбор между током и напряжением производится с

помощью органа управления 

Измеряемая величина
Ток

.

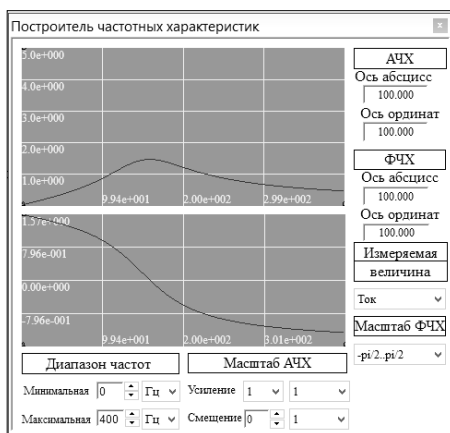


Рис. 3.1. Лицевая панель построителя частотных характеристик

Прибор имеет три узла для включения в схему (рис. 3.1). Диапазон частот, в котором производится построение частотных характеристик, производится путем задания минимальной и максимальной частот этого диапазона. Минимальная частота задается с помощью органов управления

Минимальная	0	Гц
-------------	---	----

.

Максимальная частота задается с помощью органов

управления    . С помощью цифрового табло со спином задается численное значение частоты, которое может изменяться от 1 до 1000. С помощью комбинированного списка задается единица измерения частоты, которая может соответствовать герцам (Гц), килогерцам (кГц) или мегагерцам (МГц).

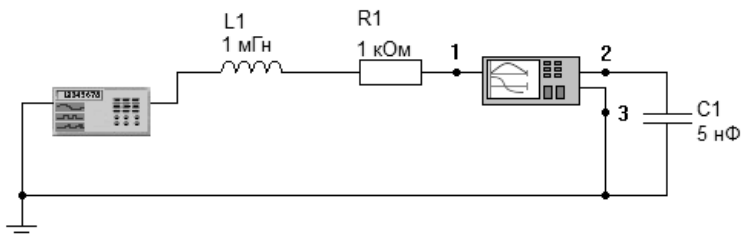


Рис. 3.2. Схема включения построителя частотных характеристик

Управление амплитудно-частотной характеристикой производится с помощью усиления сигнала и его смещения относительно начала координат. Усиление сигнала указывает размер одной ячейки по оси ординат и задается с помощью органов управления   . С помощью первого комбинированного списка задается мантисса усиления сигнала, которая может соответствовать 1, 2 или 5. С помощью второго задается порядок усиления сигнала, который изменяется от  $10^{-6}$  до  $10^6$ .

С помощью органов управления    задается смещение сигнала относительно оси ординат. С помощью цифрового табло со спином задается мантисса смещения, которая может изменяться от  $-10$  до  $10$ . С помощью комбинированного списка задается порядок смещения сигнала, который может варьироваться от  $10^{-6}$  до  $10^6$ .

Управление масштабом фазочастотной характеристики производится с помощью органа управления  . Он предоставляет возможность построить ФЧХ в двух масштабах:  $[-\pi; \pi]$  и  $\left[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right]$ .

### 3. Содержание отчета

**3.1 Сформированная компонентная цепь для исследования частотных характеристик**

**3.2 Настройки генератора и построителя частотных характеристик**

**3.3 Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики**

**3.4 Таблицы результатов исследования частотных характеристик**

**3.5 Выводы по работе**

#### **4. Порядок выполнения работы**

Сформируйте схему, представленную на рисунке 3.2. Путем изменения значений емкости  $C1$  и сопротивления  $R1$  заполните таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Экспериментальные данные исследования частотных характеристик

Емкость $C1$ мкФ	Сопротивление $R1$ кОм	Частота резонанса	$U_{max}$	Полоса пропускания
5	1			
	3			
	5			
10	1			
	3			
	5			
15	1			
	3			
	5			
20	1			
	3			
	5			

По результатам заполнения таблицы сделайте вывод о зависимости показателей от параметров электрической цепи.

#### **5. Содержание отчёта**

5.1. Схема компьютерной модели для проведения эксперимента по исследованию частотных характеристик электрических цепей

5.2. Скриншоты построителя частотных характеристик при различных значениях сопротивления и емкости

5.3. Заполненная таблица экспериментальных данных исследования частотных характеристик.



#### 5.4. Выводы о зависимости частотных характеристик от значений элементов электрической цепи

## Лабораторная работа 4. Исследование спектрального состава периодического сигнала сложной формы

### 1. Цель работы

Формирование периодического несинусоидального сигнала сложной формы с помощью генератора сигнала произвольного вида и исследование его спектрального состава с помощью спектроанализатора.

### 2. Указания к выполнению работы

**Генератор сигнала произвольного вида** предназначен для формирования импульса, основанного на ломаной линии, состоящей из пяти точек. Для каждой из точек задается значение сигнала в данной точке и значение времени, в которое должно быть данное значение на выходе генератора. Полученная кривая повторяется периодически. Панель управления параметрами генератора представлена на рис. 4.1.

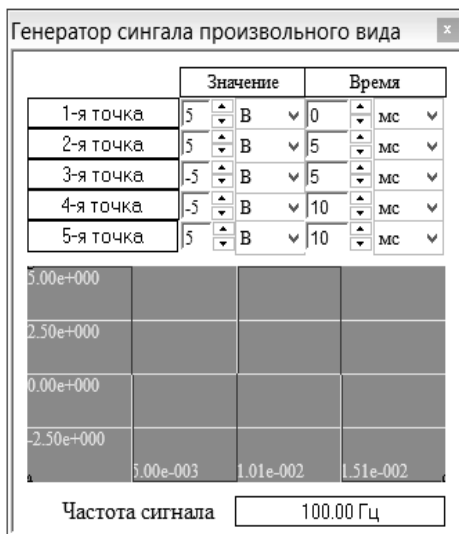


Рис. 4.1. Лицевая панель генератора сигнала произвольного вида

Для каждой из пяти точек периода сигнала задаются следующие параметры:

Значение  
 В

– значение сигнала в точке. Оно может быть задано в микровольтах (мкВ), милливольтах (мВ), вольтах (В), киловольтах (кВ) и мегавольтах (МВ);

Время  
 мс

– значение времени, в которое наступает заданное значение напряжения. Время может быть задано в микросекундах (мкс), миллисекундах (мс) или в секундах (с).

**Спектроанализатор** позволяет разложить проходящий через него гармонический сигнал в ряд Фурье (рис. 4.2).

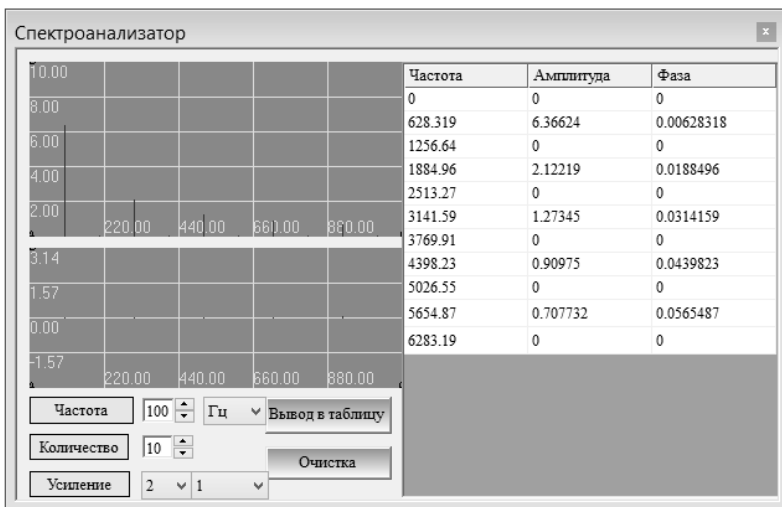


Рис. 4.2. Лицевая панель спектроанализатора

Фундаментальная частота, относительно которой прибор производит разложение измеряемого сигнала в ряд Фурье, задается органами управления

Число первых рассчитываемых гармоник задается с помощью органа управления

Усиление сигнала, соответствующее размеру одной клетки по оси ординат, задается с помощью органа управления

Для получения результатов спектрального анализа в табличном виде необходимо нажать на кнопку **Вывод в таблицу**. Кнопкой **Очистка** производится очистка таблицы. Схема включения спектроанализатора в цепь приведена на рис. 4.3.

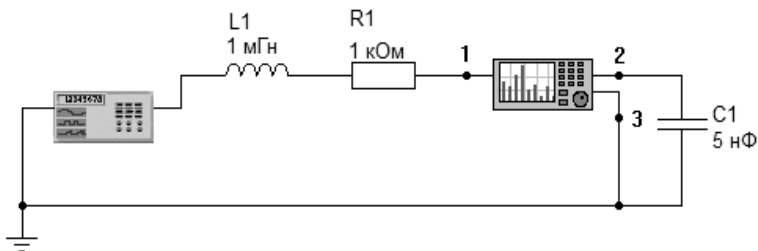


Рис. 4.3. Схема включения спектроанализатора в цепь

### 3. Содержание отчёта

- 3.1. Сформированная компонентная цепь для исследования спектрального состава периодического сигнала сложной формы
- 3.2. Лицевые панели генератора сигнала произвольного вида и спектроанализатора
- 3.3. Таблица амплитуд и фаз сигнала сложной формы
- 3.4. Выводы по работе

### 4. Порядок выполнения работы

1. Сформировать схему, представленную на рисунке 4.4.

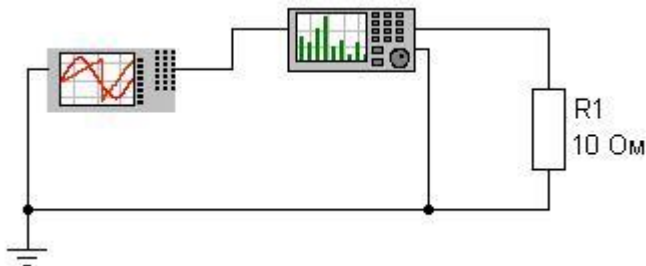


Рис. 4.4. Схема для разложения исходного сигнала в ряд Фурье

2. На панели генератора сигнала произвольного вида сформировать сигнал, соответствующий варианту и заданный в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Форма исходных исследуемых сигналов

Номер варианта	Форма сигнала
1	
2	
3	
4	

3. С помощью спектроанализатора разложить сигнал в ряд Фурье для заданной частоты до 10 гармоники включительно. В качестве фундаментальной частоты спектроанализатора задать частоту сигнала, полученную в генераторе. Заполнить таблицу 4.2.

Таблица 4.2

Таблица экспериментальных данных

Номер гармоники	Амплитуда	Фаза
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

## 5. *Содержание отчёта*

- 5.1. Схема компьютерной модели для проведения эксперимента по исследованию спектрального состава сигнала сложной формы
- 5.2. Скриншоты генератора сигнала сложной формы и спектроанализатора
- 5.3. Заполненная таблица экспериментальных данных исследования спектрального состава сигнала

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Ганджа В.В., Мальцев Ю.И. СВИП – система виртуальных инструментов и приборов. – Томск: В-Спектр, 2014. – 216 с.
2. Дмитриев В.М. МАРС – среда моделирования сложных технических устройств и систем / В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, Т.Н. Зайченко, Т.В. Ганджа. – Томск: В-Спектр, 2011. – 281 с.
3. Дмитриев В.М. Автоматизация моделирования промышленных роботов // В.М. Дмитриев, Л.А. Арайс, А.В. Шутенков. – М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.
4. Дмитриев В.М. Автоматизированные лабораторные комплексы в учебном процессе / В.М. Дмитриев, А.Н. Кураколов, Ю.И. Мальцев, Т.Ю. Коротина. – Томск: В-Спектр, 2007. – 182 с.