

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

# ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов направления подготовки  
09.03.04 «Программная инженерия»  
дневной формы обучения*



Могилев 2018

УДК 621.38  
ББК 31.26  
О 75

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «21» июня 2018 г.,  
протокол № 12

Составители: канд. техн. наук, доц. А. Г. Старовойтов;  
ст. преподаватель И. А. Черкасова

Рецензент канд. техн. наук, доц. Б. Б. Скарыно

Методические рекомендации предназначены для выполнения лабораторных работ студентами направления подготовки 09.03.04 «Программная инженерия» дневной формы обучения.

Учебно-методическое издание

## ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Технический редактор	С. Н. Красовская
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 16 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 24.01.2014.  
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский  
университет», 2018



## Содержание

1 Изучение лабораторного оборудования и программного обеспечения для моделирования работы электронных устройств, сбора и обработки данных.....	4
2 Исследование работы выпрямительного диода и стабилитрона.....	9
3 Исследование характеристик биполярных и полевых транзисторов....	14
4 Исследование работы однофазных неуправляемых выпрямителей.....	18
5 Исследование схем на основе операционных усилителей.....	22
6 Исследование работы генератора гармонических колебаний и мультивибратора.....	27
7 Исследование работы логических элементов и триггеров.....	30
8 Исследование работы регистров, счетчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов.....	36
Список литературы.....	42



# 1 Изучение лабораторного оборудования и программного обеспечения для моделирования работы электронных устройств, сбора и обработки данных

**Цель работы:** изучение комплекта лабораторного оборудования и режимов его работы; получение навыков создания электрических схем и моделирования их работы в среде Multisim; получение навыков создания виртуальных приборов для сбора и обработки данных в среде LabVIEW.

## 1.1 Общие сведения

Мультиметр может быть использован в нескольких режимах работы: в режиме осциллографа для наблюдения исследуемого сигнала любой формы, в режиме цифрового комбинированного прибора для измерения напряжения постоянного тока, величины постоянного тока, сопротивления постоянному току или в режиме цифрового осциллографического прибора для измерения напряжения или интервала времени между двумя любыми точками сигнала любой формы.

*Устройство сбора данных (УСД) National Instruments USB-6009.* УСД NI USB-6009 присоединяется к компьютеру посредством интерфейса full-speed USB и содержит восемь каналов ввода аналоговых сигналов AI, два канала генерации аналоговых сигналов AO, 12 каналов цифрового ввода/вывода DIO и 32-разрядный счетчик.

Устройство сбора данных USB-6009 содержит один аналого-цифровой преобразователь (АЦП – ADC), который выполняет дискретизацию аналогового сигнала, т. е. переводит его в цифровой код. Устройство USB-6009 может выполнять как однократное, так и многократное аналого-цифровое преобразование большого количества выборок. *FIFO* буфер служит для хранения получаемых данных во избежание их потери во время операции аналогового ввода. Характеристики УСД приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики УСД

Особенность	NI 6009
Шина	USB
Аналоговые входы	8 SE (4 DI)
Частота оцифровки сигналов	48 кГц
Разрешение АЦП (бит)	14
Диапазон входного напряжения	От $\pm 1$ до $\pm 20$ В
Цифровые каналы ввода/вывода	12
<i>Примечание</i> – SE – в режиме с одним заземлённым концом, DI – в дифференциальном режиме	

*Источник постоянного стабилизированного напряжения NY3002-D2.* NY3002-D2 имеет два канала регулируемого напряжения 0...30 В и тока 0...2 А.



Прибор оснащён четырёхзначными ЖК-дисплеями. Выходное напряжение и ток отображаются одновременно. Обеспечивается ограничение тока и защита от короткого замыкания.

**ЭВМ.** В лабораторном практикуме используется стандартный персональный компьютер класса Pentium-IV с операционной системой Windows XP или выше с установленным программным обеспечением для моделирования работы электронных устройств Multisim 11 и для сбора и обработки данных LabVIEW 9 или выше.

*Программное обеспечение для моделирования работы электронных устройств, сбора и обработки данных.* **Multisim** – это редактор схем и приложение для их симуляции, входящее в систему разработки электрических схем, систему средств EDA (Electronics Design Automation), которые помогают в выполнении основных шагов в последовательной разработке схемы.

Multisim разработана для ввода схемы, симуляции и подготовки к следующему этапу – разводке платы.

Интерфейс Multisim (рисунок 1.1) состоит из следующих базовых элементов.

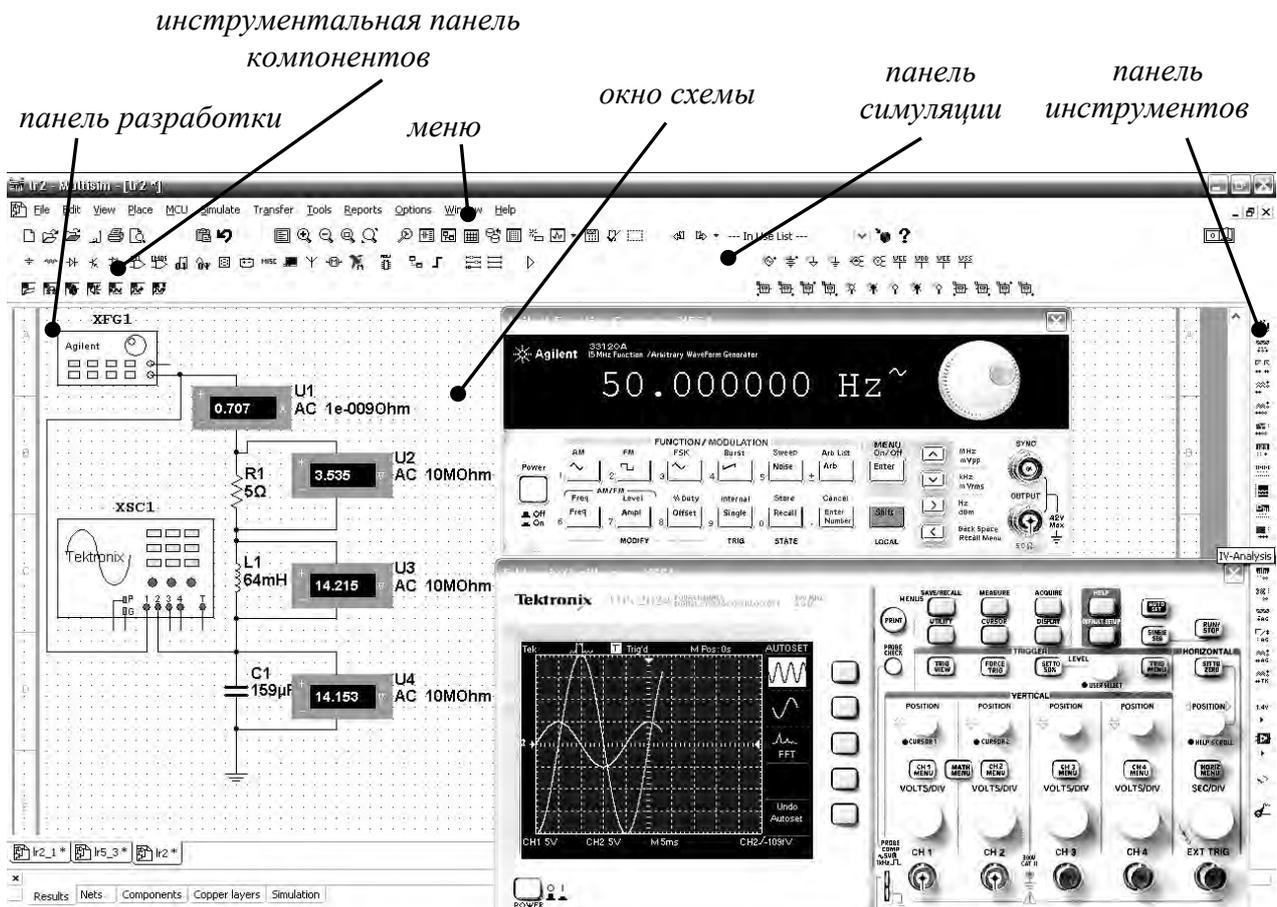


Рисунок 1.1 – Интерфейс среды Multisim

*Меню.* Содержит команды для всех функций.

*Панель симуляции* имеет кнопки для старта, останова и других функций симуляции.

*Панель инструментов* имеет кнопки для каждого инструмента.

*Инструментальная панель компонентов* имеет кнопки, которые позволяют выбрать компоненты из базы данных Multisim для размещения в схеме.

*Окно схемы* (или рабочего пространства) – место, где ведётся разработка схемы.

*Панель разработки* позволяет перемещаться по разным типам файлов проекта (схема, разводка платы, сообщения), видеть иерархию схемы и показывать или скрывать разные слои.

Компоненты – это основа любой схемы, это все элементы, из которых она состоит. Multisim оперирует двумя категориями компонентов: реальными (real) и виртуальными (virtual). У реальных компонентов, в отличие от виртуальных, есть определенное, неизменяемое значение и свое соответствие на печатной плате. Виртуальные компоненты нужны только для эмуляции, пользователь может назначить им произвольные параметры. Например, сопротивление виртуального резистора может быть произвольным, даже 3,86654 Ом.

В Multisim есть и другая классификация компонентов: аналоговые, цифровые, смешанные, анимированные, интерактивные, цифровые с мультивыбором, электромеханические и радиочастотные.

Некоторые элементы схемы Multisim могут реагировать на действия пользователя. Изменение этих элементов сразу отражается на результатах эмулирования. Компоненты управляются с помощью клавиш, указанных под каждым элементом.

В Multisim есть множество функций и средств эмуляции, недоступных в других пакетах проектирования электроники. В Multisim встроен не только эмулятор мирового уровня SPICE, но и XSPICE, предназначенный для эффективного эмулирования цифровых компонентов. Multisim предлагает тысячи моделей SPICE, в него входит средство создания моделей «Конструктор моделей» (Model Makers), который автоматически сгенерирует модель на основании данных databook.

Для задания сигналов и просмотра результатов моделирования используются виртуальные приборы – модельные компоненты Multisim, которые соответствуют реальным приборам. Например, среди виртуальных приборов в Multisim есть осциллографы, генераторы сигналов, сетевые анализаторы и плоттеры бode.

**LabVIEW** (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) представляет собой среду графического программирования, предназначенную для создания прикладного программного обеспечения информационно-измерительных систем, а также различных компьютерных систем сбора и обработки экспериментальных данных.

Созданную в среде LabVIEW прикладную программу принято называть *виртуальным прибором* (ВП).

В состав LabVIEW прикладной программы входят две основные составляющие:

- 1) лицевая панель виртуального прибора (Front Panel, рисунок 1.2);
- 2) функциональная панель или диаграмма (Diagram, рисунок 1.3).



При работе с готовыми ВП используются только лицевые панели. Диаграмма нужна исключительно для разработки ВП.

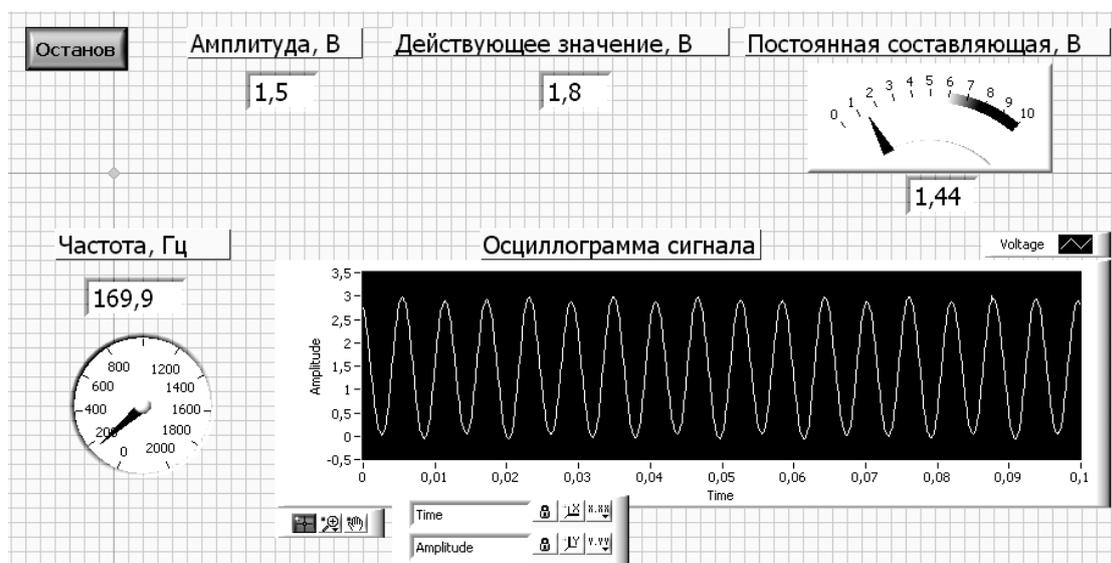


Рисунок 1.2 – Лицевая панель виртуального прибора в среде LabVIEW

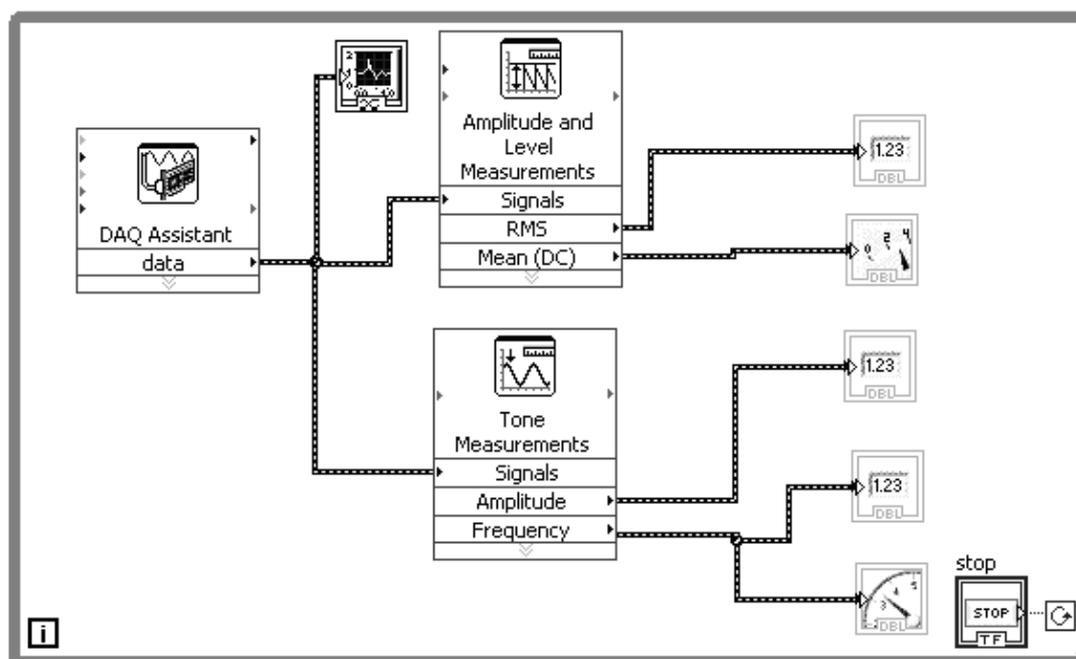


Рисунок 1.3 – Функциональная панель (диаграмма) в среде LabVIEW

Лицевая панель определяет внешний вид ВП и интерфейс взаимодействия пользователя с прибором. Она содержит различные элементы ввода и управления (выключатели, переключатели, поля ввода и т. д.) и элементы вывода (цифровые индикаторы, графические экраны и т. д.). При создании программ стремятся к тому, чтобы все эти элементы соответствовали аналогичным по назначению элементам, расположенным на лицевой панели традиционных измерительных приборов.

Программа LabVIEW может иметь как модульную, так и иерархическую структуру, а сложный ВП может содержать в своем составе более простые ВП.

Концепция LabVIEW существенно отличается от системы традиционных языков программирования. Разработчику ВП предоставляется графическая оболочка, включающая в себя весь набор инструментов, необходимых для сбора данных, их анализа и представления полученных результатов. Создаваемая в процессе программирования диаграмма напоминает привычную для инженера блок-схему. Поэтому разработчик, даже при отсутствии навыков программирования, затратит на решение своих задач в LabVIEW значительно меньше времени и усилий по сравнению с написанием программ по традиционной технологии.

## 1.2 Порядок выполнения работы

1.2.1 Изучить устройство, органы управления и режимы работы блока управления БУК 32, мультиметра К 32, генератора Л 31, устройства сбора данных NI USB-6009, источника НУ3002-D2.

1.2.2 По заданию преподавателя сформировать с помощью блока управления БУК 32 и источника НУ3002-D2 уровни постоянного напряжения  $U_1$ ,  $U_2$ . Измерить их значения мультиметром К 32.

Сформировать с помощью генератора Л 31 гармонический сигнал с максимальным напряжением  $U_m$  и частотой  $f$ . Наблюдать и измерить размах амплитуды  $A = U_m/2$  и период  $T = 1/f$  мультиметром К 32. Вычислить частоту сигнала  $f$ , действующее значение напряжения  $U$ . Заполнить таблицу 1.2 (мультиметр).

Таблица 1.2 – Результаты измерений

Тип сигнала	Прибор	$U_1$ , В	$U_2$ , В	$U_m$ , В	$U$ , В	$T$ , с	$f$ , Гц
Постоянный	Мультиметр			–	–	–	–
	Виртуальный прибор			–	–	–	–
Гармонический	Мультиметр	–	–				
	Виртуальный прибор	–	–				

1.2.3 Изучить инструментальные панели среды Multisim, возможности эмуляции. Ознакомиться с набором компонентов и виртуальных приборов.

1.2.4 По заданию преподавателя собрать схему в «окне разработок», подключить виртуальные приборы (см. рисунок 1.2).

Для чего:

– выбрать необходимые элементы из «инструментальной панели компонентов» и вынести их в «окно разработки»;

– задать свойства элементов схемы (номиналы сопротивлений, индуктивностей, емкостей и т. д.);

– из «панели инструментов» выбрать необходимые виртуальные приборы и вынести их в «окно разработки» (например, функциональный XFG1, осциллограф XSC1, амперметры и вольтметры U1...U4);

– соединить между собой компоненты, получив электрическую схему.

Запустить моделирование работы схемы, нажав соответствующую кнопку «панели симуляции». Зафиксировать показания измерительных приборов, осциллограммы напряжений в контрольных точках.

Исследовать по заданию преподавателя влияние параметров элементов схемы (частоты генерируемого напряжения) на параметры выходных сигналов (тока и напряжений на реактивных элементах для определения резонансной частоты). Используя закон Ома, произвести расчёт тока и напряжений на элементах цепи. Сравнить полученные значения с результатами моделирования.

#### 1.2.5 Изучить панели, палитры меню среды LabVIEW.

Разработать виртуальный прибор для исследования параметров сигналов в среде LabVIEW (см. рисунок 1.3). Блок-диаграмма виртуального прибора содержит следующие блоки: «DAQ Assistant» – обеспечивает сбор данных с устройства NI USB-6009, «Amplitude and Level Measurements» – для определения действующего значения и постоянной составляющей напряжения, «Tone Measurements» – для определения амплитуды и частоты сигнала.

С помощью генератора ЛЗ1 и блока управления БУ К32 сформировать сигналы, указанные в п. 1.2.2. Исследовать полученные сигналы с помощью виртуального прибора. Заполнить таблицу 1.2 (виртуальный прибор). Сравнить измеренные значения с показаниями мультиметра К 32.

#### 1.2.6 Сделать выводы по результатам работы.

### ***Содержание отчёта***

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; состав комплекта лабораторного оборудования с кратким описанием основных его блоков, органов управления и режимов работы; распечатку «окна схемы» среды Multisim, осциллограммы напряжений в контрольных точках, результаты расчёта цепи; распечатку лицевой панели и панели блок-диаграммы в среде LabVIEW, результаты измерений параметров сигналов; выводы по работе.

## **2 Исследование работы выпрямительного диода и стабилитрона**

**Цель работы:** изучение принципа функционирования, характеристик и параметров выпрямительных диодов и стабилитронов.

### ***2.1 Порядок выполнения работы***

2.1.1 Для заданных преподавателем диодов выписать из справочника их основные параметры.

2.1.2 Для построения вольт-амперной характеристики диода в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 2.1. Осуществить моделирование её работы, изменяя ЭДС источников питания.

Диод выбирается из библиотеки элементов согласно заданию и подключа-



ется к источнику постоянного напряжения. Для снятия обратной ветви ВАХ с помощью ключа меняется полярность источника ЭДС.

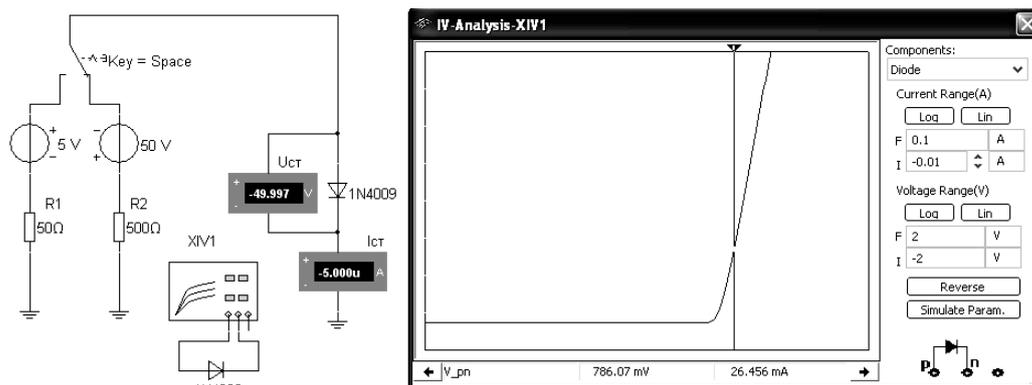


Рисунок 2.1 – Схема для снятия ВАХ в среде Multisim

ВАХ можно получить с помощью характериографа XIV1.

2.1.3 Для экспериментального получения ВАХ диода на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 2.2.

Постоянное напряжение на вход схемы подается от генератора ГН1 блока управления К32 или источника НУ3002-D2. Прямое падение напряжения на диоде  $U_{np}$  поступает на дифференциальный канал А11, а напряжение на ограничивающем резисторе  $R_1$  – на дифференциальный канал А12 устройства сбора данных NI USB-6009. Для определения тока  $I_{np}$  используется закон Ома:

$$I_{np} = \frac{U_{R_1}}{R_1} = \frac{U_{ГН1} - U_{np}}{R_1},$$

что реализовано на блок-диаграмме виртуального прибора (рисунок 2.3). Считывание напряжений осуществляется блоком «DAQ Assistant». ВАХ формируется с помощью блоков «Build XY Graph» и «XY Graph» (см. рисунок 2.3) и отображается в виде, представленном на рисунке 2.2.

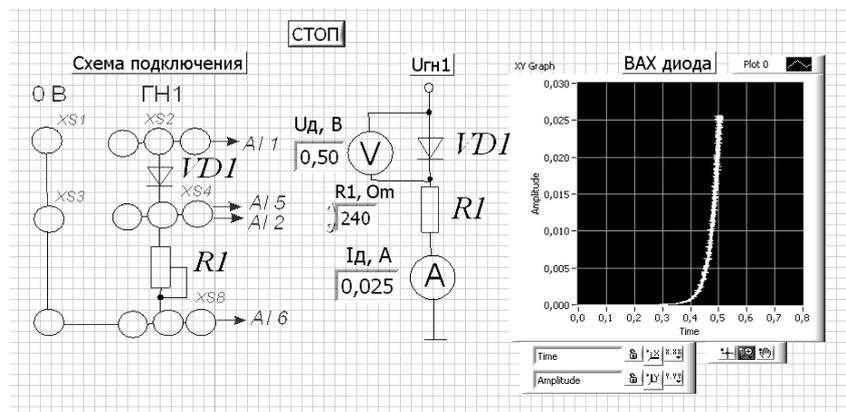


Рисунок 2.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования выпрямительного диода в среде LabVIEW

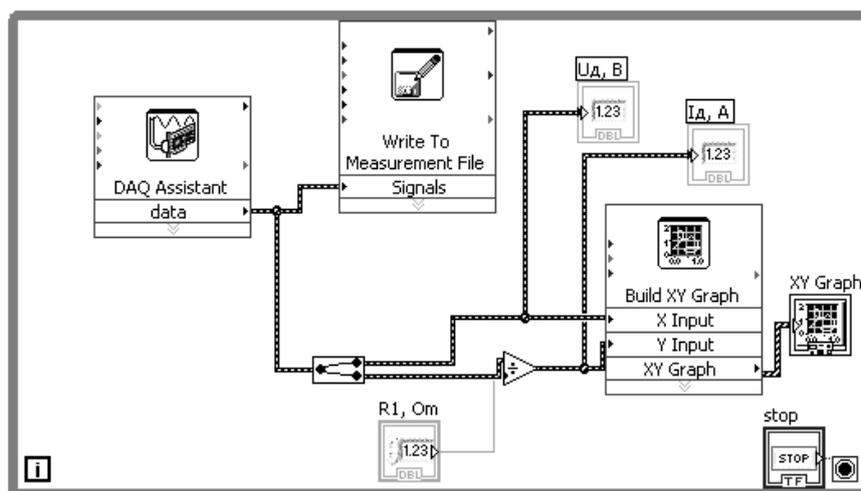


Рисунок 2.3 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для экспериментального снятия характеристик

2.1.4 По полученным ВАХ диода определить:

– прямое статическое сопротивление диода при прямом токе, равном  $0,5 I_{np \max}$ ,

$$R_{np} = \frac{U_{np}}{I_{np}};$$

– обратное статическое сопротивление диода при обратном напряжении, равном  $0,5 U_{обр \max}$ ,

$$R_{обр} = \frac{U_{обр}}{I_{обр}};$$

– прямое дифференциальное сопротивление диода

$$R_{диф} = \frac{\Delta U_{np}}{\Delta I_{np}}.$$

Результаты занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты измерений и вычислений

Способ исследования	Результат измерения						Результат вычисления		
	$U_{np}$ , В	$I_{np}$ , мА	$U_{обр}$ , В	$I_{обр}$ , мА	$\Delta U_{np}$ , В	$\Delta I_{np}$ , мА	$R_{np}$ , Ом	$R_{обр}$ , Ом	$R_{диф}$ , Ом
Моделирование									
Эксперимент									

Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты со справочными данными.

2.1.5 На основании заданного преподавателем типа стабилизатора, параметров источника входного напряжения  $E_{\min}$ ,  $E_{\max}$ , параметров нагрузки  $U_H$ ,  $R_H$  необходимо рассчитать сопротивление балластного резистора  $R_B$ . Заполнить таблицы 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2 – Параметры стабилизатора

Данные	$U_{cm \text{ ном.}}$ В	$U_{cm \text{ min.}}$ В	$U_{cm \text{ max.}}$ В	$I_{cm \text{ min.}}$ мА	$I_{cm \text{ max.}}$ мА	$I_{cm \text{ cp.}}$ мА	$R_{\text{диф.}}$ Ом
Паспортные данные							
Моделирование							
Эксперимент							

Таблица 2.3 – Параметры параметрического стабилизатора

$E_{\min}$ , В	$E_{\max}$ , В	$E_{cp}$ , В	$R_H$ , Ом	$I_H$ , мА	$U_{cm}$ , В	$I_{cm}$ , мА	$R_B$ , Ом

2.1.6 Получить вольт-амперную характеристику стабилизатора (ВАХ) в программе Multisim с помощью характериографа XIV1 (рисунок 2.4). Стабилизатор выбирается из библиотеки элементов согласно заданию.

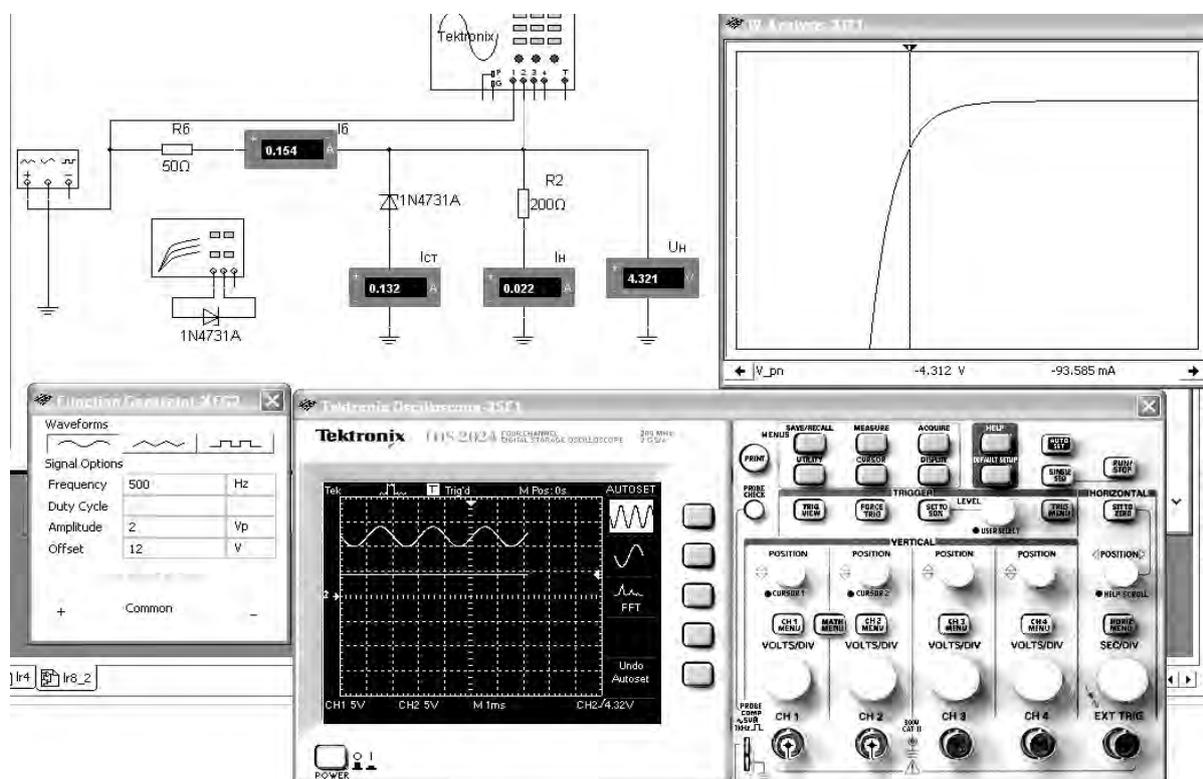


Рисунок 2.4 – Схема для снятия ВАХ стабилизатора и исследования параметрического стабилизатора напряжения в среде Multisim

2.1.7 Для экспериментального получения ВАХ стабилизатора на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 2.2 (вместо диода подключить стабилизатор, подавать на вход отрицательное напряжение  $U_{ГН1}$ ).

2.1.8 По полученным ВАХ стабилизатора определить:  $U_{ст}$ ,  $I_{ст}$ , дифференциальное сопротивление стабилизатора на участке стабилизации  $R_{диф}$ . Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты со справочными данными. Заполнить таблицы 2.2 и 2.3.

2.1.9 На основании выбранных элементов схемы параметрического стабилизатора напряжения осуществить моделирование его работы (см. рисунок 2.4). Входное напряжение формируется функциональным генератором XFG2, напряжения и токи в схеме отображаются с помощью виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа Tektronix-XSC1.

2.1.10 Сделать выводы по результатам работы.

### ***Содержание отчёта***

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы выпрямительного диода и параметрического стабилизатора напряжения в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального исследования и диалоговое окно; вольт-амперные характеристики диодов и стабилизатора, полученные в результате моделирования и экспериментально; основные параметры диода, стабилизатора, параметрического стабилизатора в виде таблиц; выводы по работе.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Что представляют собой полупроводниковые приборы?
- 2 Какие полупроводниковые материалы используются в диодах?
- 3 Где используются полупроводниковые диоды?
- 4 Объясните принцип работы  $p-n$ -перехода.
- 5 Что такое вольт-амперная характеристика?
- 6 Какие схемы выпрямителей вам известны?
- 7 В чём различие выходных характеристик различных схем выпрямителей?
- 8 По каким соотношениям необходимо рассчитывать эти схемы?
- 9 Зачем нужен стабилизатор?



### 3 Исследование характеристик биполярных и полевых транзисторов

**Цель работы:** получение входных, выходных характеристик и параметров биполярного транзистора; получение стоко-затворных, выходных характеристик и параметров полевого транзистора с управляющим  $p-n$ -переходом и изолированным затвором.

#### 3.1 Порядок выполнения работы

3.1.1 На основании заданного преподавателем типа биполярного транзистора необходимо рассчитать сопротивление ограничивающих резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  (рисунок 3.1) с учётом обеспечения тока коллектора  $I_k < 0,5 I_{k \max}$ . Заполнить таблицу 3.1.

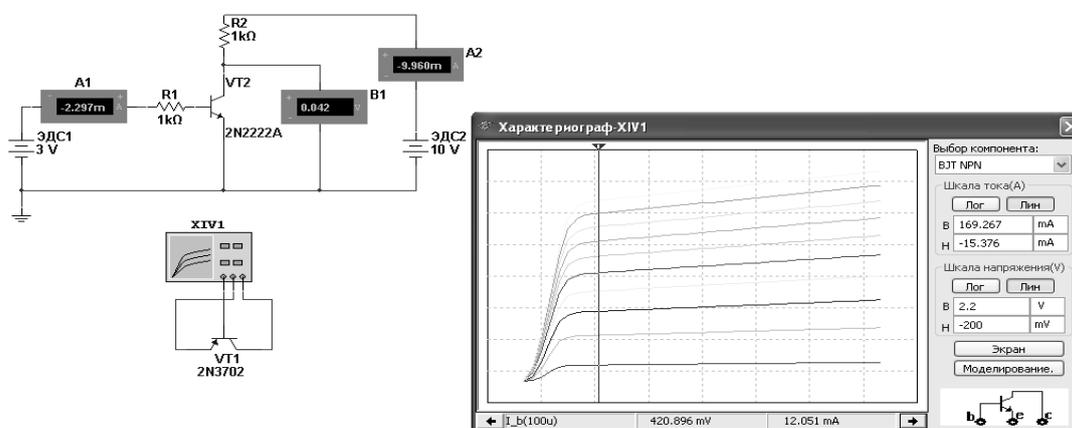


Рисунок 3.1 – Схема для снятия входных и выходных ВАХ биполярного транзистора в среде Multisim

Таблица 3.1 – Исходные данные

Тип транзистора	Параметры источников ЭДС		Параметры транзистора и ограничивающих резисторов				
	$E_1$ , В	$E_2$ , В	$I_{k \max}$ , мА	$U_{кэ \max}$ , В	$h_{21 \varepsilon}$ ( $\beta$ )	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом

3.1.2 Для построения вольт-амперных входной и выходной характеристик биполярного транзистора ( $n-p-n$ ) в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 3.1.

Транзистор выбирается из библиотеки элементов согласно заданию. На базу подается напряжение от источника ЭДС-1  $E_1$ , который задает ток базы  $I_b$ , измеряемый амперметром  $A_1$ . Напряжение эмиттер-коллектор задается источником ЭДС-2  $E_2$ , ток в цепи коллектора измеряется амперметром  $A_2$ , напряжение – вольтметром  $B_1$ . Выходную ВАХ можно получить с помощью характериографа XIV1.

3.1.3 Для экспериментального получения характеристик биполярного транзистора на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 3.2.

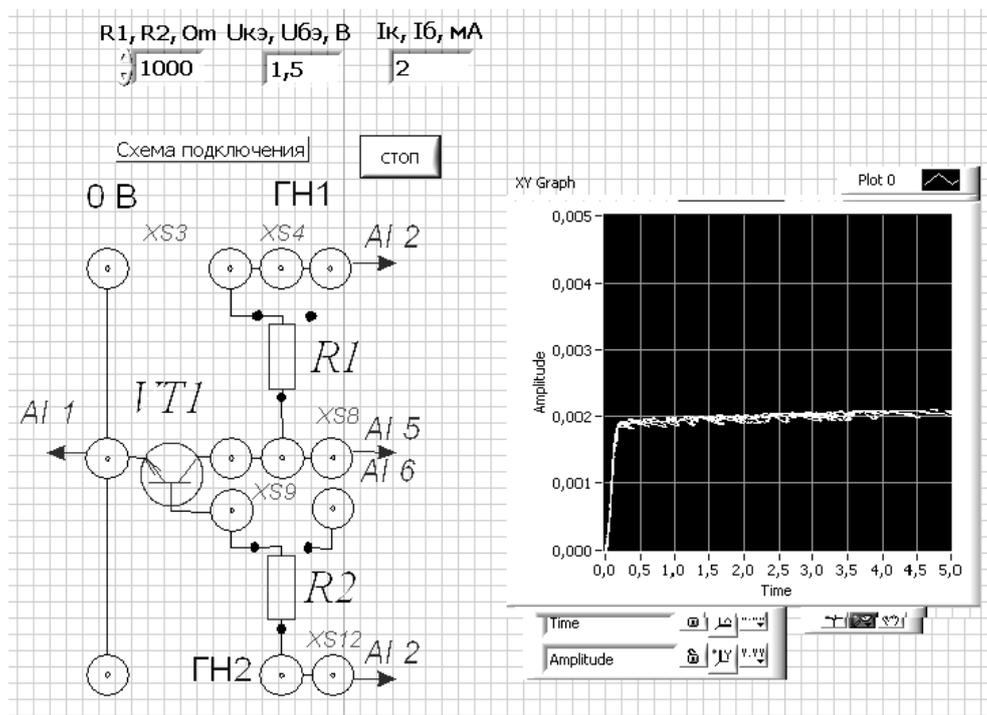


Рисунок 3.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования параметров биполярного транзистора в среде LabVIEW

Постоянное напряжение на вход схемы подаётся от генератора ГН1 блока управления К32 или источника НУ3002-D2 и снимается каналом AI2 устройства сбора данных NI USB-6009. Напряжение  $U_{кэ}$  поступает на канал AI1. Для определения тока коллектора  $I_k$  применяется закон Ома:

$$I_k = \frac{U_{R_2}}{R_2}.$$

Ток на базу транзистора поступает с генератора ГН2 или источника НУ3002-D2 через резистор  $R_3$ . ВАХ отображается в виде, представленном на рисунке 3.2.

Снять ВАХ биполярного транзистора для нескольких значений тока базы  $I_b$ , сравнить их с полученными при моделировании.

Для того чтобы снять входные характеристики (зависимость  $I_b$  от  $U_{бэ}$ ), необходимо в схеме сделать следующие изменения: каналом AI2 устройства сбора данных NI USB-6009 подключить к генератору ГН2 (гнездо XS12), канал AI6 – к гнезду XS8, изменить в формуле для закона Ома  $R_1$  на  $R_2$  (снимаем ток базы), канал AI1 подключить к гнезду XS3.

Снять входные ВАХ биполярного транзистора для нескольких значений напряжения  $U_{кэ}$ , сравнить их с полученными при моделировании.

3.1.4 Воспользовавшись графиками семейств входных и выходных ВАХ, определить  $h$ -параметры биполярного транзистора. Заполнить таблицу 3.2.

Таблица 3.2 –  $h$ -параметры биполярного транзистора

Способ исследования	Результаты вычислений			
	$h_{11Э}$ , Ом	$h_{12Э}$	$h_{21Э}$	$h_{22Э}$ , См
Моделирование				
Эксперимент				

3.1.5. На основании заданных преподавателем типов полевых транзисторов необходимо рассчитать сопротивление ограничивающих резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  (рисунок 3.3) с учётом обеспечения тока стока  $I_c < 0,5 I_{cmax}$ . Заполнить таблицу 3.3.

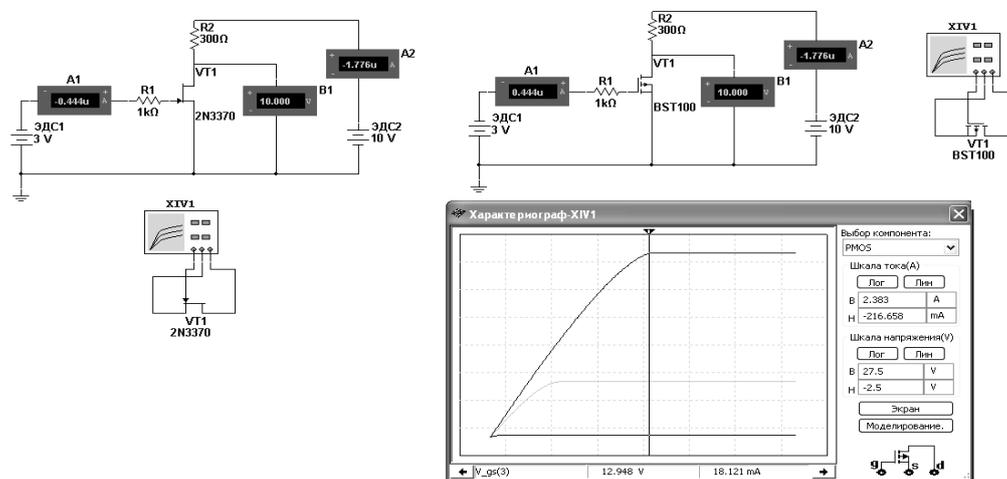


Рисунок 3.3 – Схемы для снятия стоко-затворной и выходных ВАХ полевых транзисторов с управляющим  $p$ - $n$ -переходом и изолированным затвором в среде Multisim

Таблица 3.3 – Исходные данные

Тип транзистора	Параметры источников ЭДС		Параметры транзистора и ограничивающих резисторов					
	$E_1$ , В	$E_2$ , В	$I_{cmax}$ , мА	$U_{cu max}$ , В	$U_{зи max}$ , В	$S$ , мА/В	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом

3.1.6 Для построения вольт-амперных стоко-затворной и выходной характеристик полевых транзисторов ( $n$ - $p$ - $n$ ) в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 3.3.

Транзистор выбирается из библиотеки элементов согласно заданию. На затвор подается напряжение от источника ЭДС-1, который задает ток затвора  $I_3$ , измеряемый амперметром А1. Напряжение сток-исток задается источником ЭДС-2, ток в цепи стока измеряется амперметром А2, напряжение – вольтметром В1. Выходную ВАХ можно получить с помощью характериографа.

3.1.7 Для экспериментального получения характеристик полевого транзистора на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 3.4.

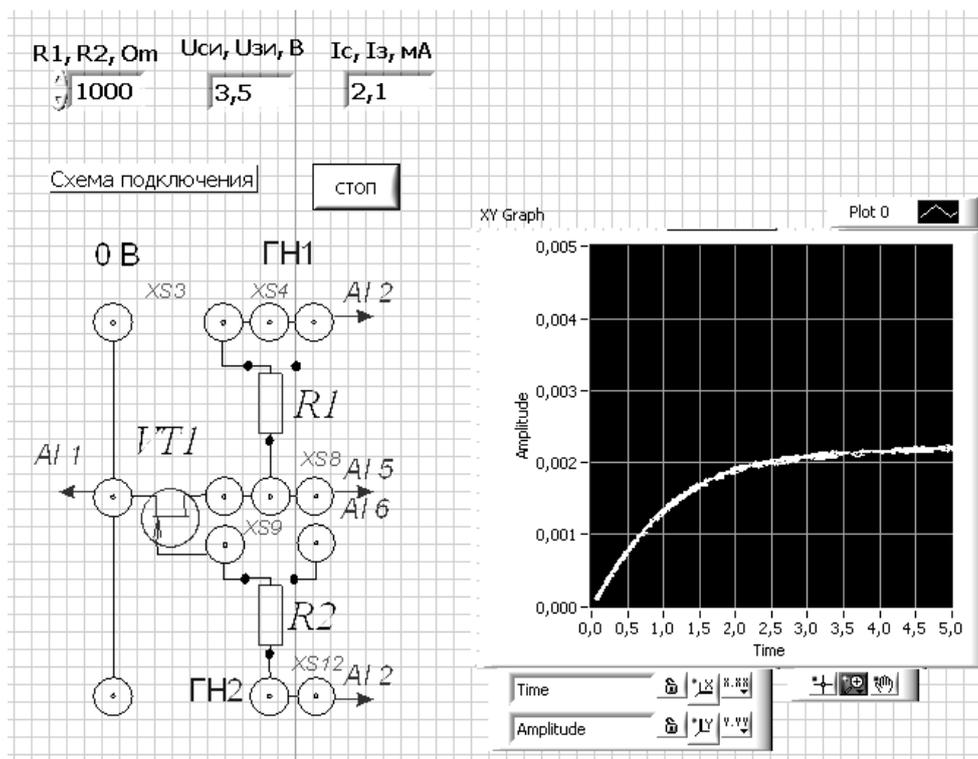


Рисунок 3.4 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования параметров полевого транзистора в среде LabVIEW

Постоянное напряжение на вход схемы подаётся от генератора ГН1 блока управления К32 и снимается каналом AI2 устройства сбора данных NI USB-6009. Напряжение сток-исток  $U_{си}$  поступает на канал AI1. Для определения тока стока  $I_c$  необходимо применить закон Ома:

$$I_c = \frac{U_{R_2}}{R_2}.$$

Ток на затвор транзистора поступает с генератора ГН2 через резистор  $R_3$ . ВАХ отображается в виде, представленном на рисунке 3.4.

Снять выходные ВАХ полевого транзистора для нескольких значений тока затвора  $I_z$ , сравнить их с полученными при моделировании.

Снять стоко-затворные ВАХ полевого транзистора для нескольких значений напряжения  $U_{си}$ , сравнить их с полученными при моделировании.

3.1.8 Определить статические параметры полевого транзистора  $S_i$ ,  $R_i$ ,  $\mu_i$  и проверить соотношение между ними. Заполнить таблицу 3.4.

3.1.9 Сделать выводы по результатам работы.

Таблица 3.4 – Параметры полевого транзистора

Способ исследования	Результат вычисления		
	$S_i$ , мА/В	$R_i$ , кОм	$\mu_i$
Моделирование			
Эксперимент			

### ***Содержание отчёта***

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы биполярных и полевых транзисторов в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального исследования и диалоговое окно; экспериментальные и полученные в результате моделирования характеристики и параметры транзисторов; выводы по работе.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Какие типы транзисторов вы знаете? В чём заключаются их принципиальные отличия?
- 2 От чего зависит ток коллектора биполярного транзистора?
- 3 Объясните суть передаточных характеристик полевых транзисторов.
- 4 Поясните принцип усиления в транзисторном каскаде.
- 5 Какое условие необходимо выполнить, чтобы перевести транзистор в режим отсечки?
- 6 Какую роль играют параллельно соединённые резистор и конденсатор в цепи эмиттера?
- 7 Какова разность фаз между входными и выходными синусоидальными сигналами в усилителе с ОЭ, ОБ, ОИ?
- 8 На чём основан принцип термостабилизации рабочей точки транзисторного каскада?

## **4 Исследование работы однофазных неуправляемых выпрямителей**

**Цель работы:** изучение принципа функционирования, методик расчёта, характеристик и параметров неуправляемых однофазных выпрямителей.

### ***4.1 Общие сведения***

Выпрямителем называется устройство преобразования переменного напряжения в постоянное. Выпрямительное устройство, помимо выпрямителя, в который входят один или несколько включенных по определенной схеме вентилях (диодов, тиристоров), содержит в себе силовой трансформатор, сглаживающий фильтр и стабилизатор. В зависимости от условий работы и требований отдельные узлы выпрямительного устройства могут отсутствовать.



## 4.2 Порядок выполнения работы

4.2.1 На основании заданных параметров питающего напряжения  $U_1$ ,  $f_1$ , нагрузки  $U_n$ ,  $R_n$  и коэффициента пульсаций на нагрузке  $k_n$  произвести расчёт параметров выпрямителей (рисунки 4.1 и 4.2), выбрать вентили. Заполнить таблицы 4.1 и 4.2.

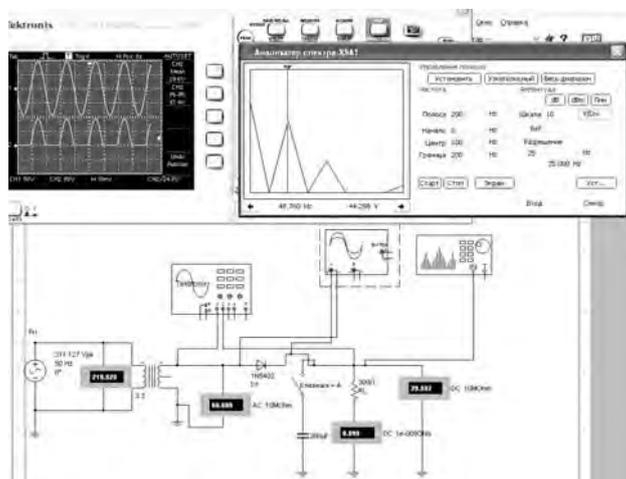


Рисунок 4.1 – Схема однофазного однополупериодного выпрямителя в среде Multisim

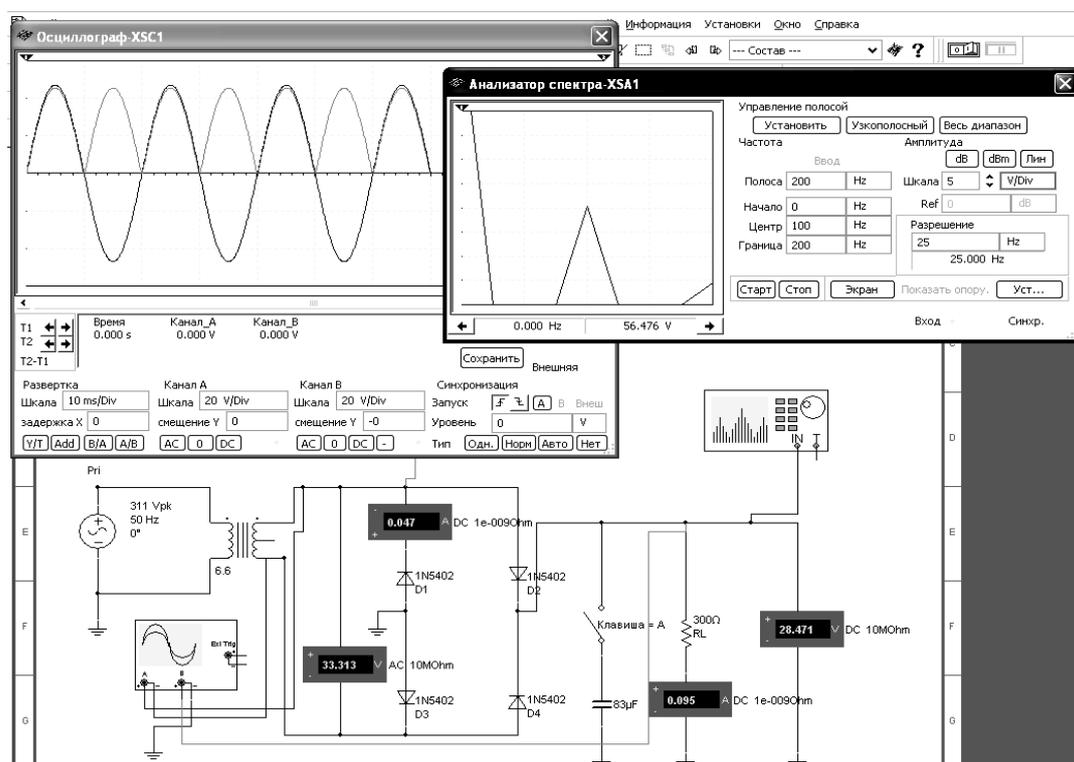


Рисунок 4.2 – Схема двухполупериодного мостового выпрямителя в среде Multisim

4.2.2 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы выпрямителей в программе Multisim, построив их модели согласно рисункам 4.1 и 4.2. Напряжения и токи в схемах отображаются с помощью виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа Tektronix-XSC1.

Таблица 4.1 – Исходные данные

Схема выпрямления	Заданные параметры				
	$U_1$ , В	$f$ , Гц	$U_n$ , В	$R_n$ , Ом	$k_n$
Однополупериодная					
Двухполупериодная мостовая					

Таблица 4.2 – Результаты вычислений

Схема выпрямления	Рассчитанные параметры								
	$U_2$ , В	$k_{mp}$	$I_2$ , А	$S_{mp}$ , ВА	$I_a$ , А	$U_{обр\ max}$ , В	Тип вентиляей	$C_\phi$ , мкФ	$k_{сг}$
Однополупериодная									
Двухполупериодная мостовая									

Снять осциллограммы напряжений на вторичной обмотке трансформатора  $U_2$  и на выходе выпрямителя  $U_n$  при работе на активную и емкостную нагрузки. Подключение сглаживающего фильтра осуществляется замыканием ключа (клавиша «А»).

Измерить значение тока нагрузки  $I_n$ , тока через диод  $I_a$  и максимального обратного напряжения на диоде  $U_{обр\ max}$ . Определить коэффициент пульсаций нагрузки с фильтром  $k_n$  и коэффициент сглаживания  $k_{сг}$ . Для определения амплитуды первой гармоники выпрямленного напряжения  $U_{m1}$  воспользоваться анализатором спектра XSA1.

Результаты занести в таблицу 4.3 (моделирование).

Таблица 4.3 – Результаты исследования

Схема выпрямления	Способ исследования	Результаты измерений					Результаты вычислений	
		$U_2$ , В	$I_n$ , мА	$U_n$ , В	$I_a$ , мА	$U_{обр\ max}$ , В	$k_u$	$k_{сг}$
Однополупериодная	Моделирование							
	Эксперимент							
Двухполупериодная мостовая	Моделирование							
	Эксперимент							

4.2.3 Для экспериментального исследования однофазного однополупериодного выпрямителя на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 4.3. На вход схемы подавать синусоидальное напряжение от генератора  $U_{ГС1}$ . Блок-диаграмма виртуального прибора для снятия характеристик приведена на рисунке 4.4. Выделение первой гармо-



ники выпрямленного напряжения  $U_{m1}$  для определения коэффициента пульсаций  $k_n$  осуществляется блоком «Distortion Measurements».

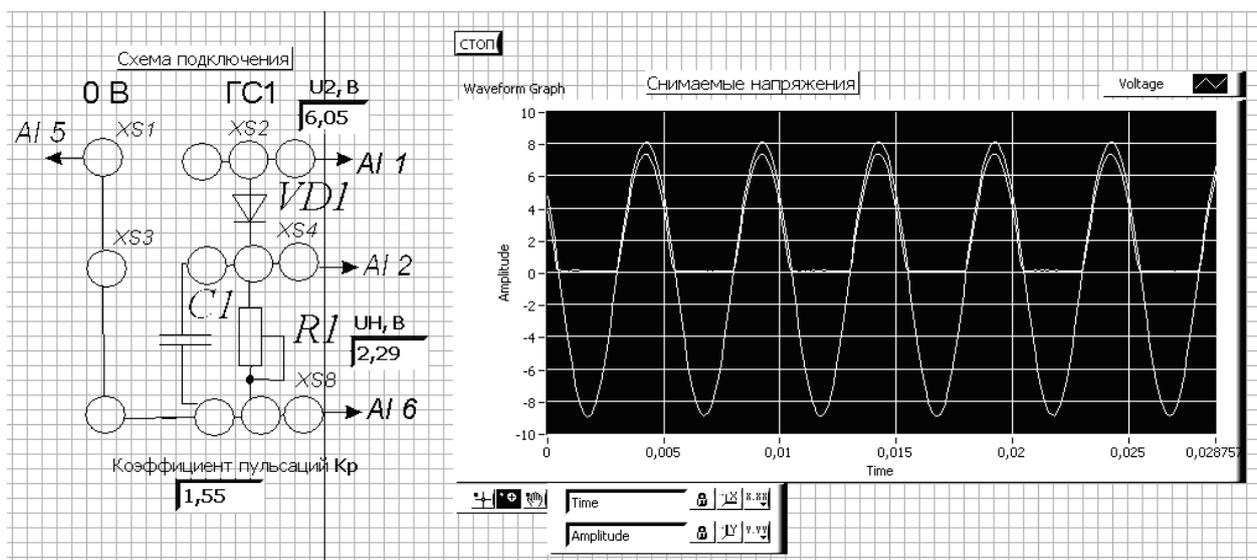


Рисунок 4.3 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования однополупериодного выпрямителя в среде LabVIEW

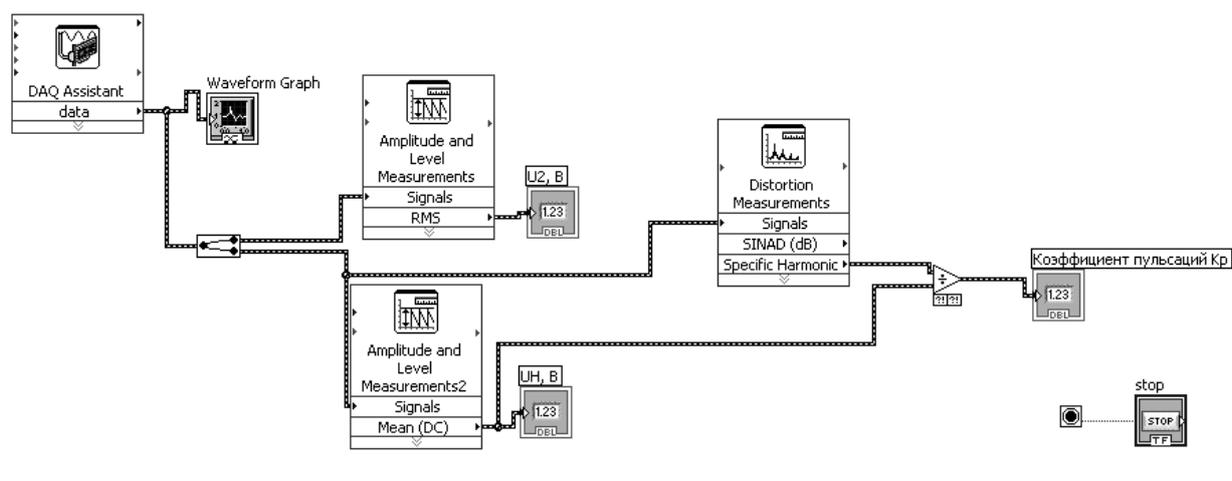


Рисунок 4.4 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для экспериментального снятия характеристик однополупериодного выпрямителя

Для экспериментального исследования двухполупериодного выпрямителя на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 4.5.

Определить основные параметры выпрямителей. Результаты занести в таблицу 4.3 (эксперимент). Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

4.2.4 Сделать выводы по результатам работы.

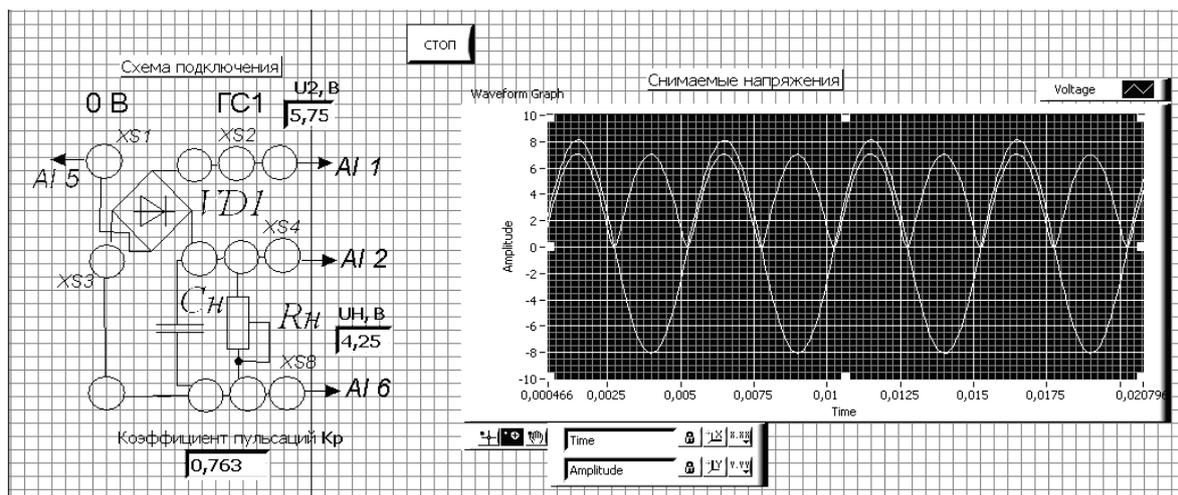


Рисунок 4.5 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования двухполупериодного мостового выпрямителя в среде LabVIEW

### Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; исходные данные; рассчитанные параметры выпрямителей, схемы для моделирования их работы в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно; осциллограммы напряжений на вторичной обмотке трансформатора и нагрузке; полученные при моделировании и в ходе эксперимента параметры выпрямителей в виде таблицы; выводы по работе.

### Контрольные вопросы

- 1 Чем вызвана необходимость создания вторичных источников питания?
- 2 Приведите основные признаки классификации ВИП.
- 3 Назовите основные выходные характеристики ВИП.
- 4 Составьте структурную схему выпрямителя источника питания и определите назначение его функциональных узлов.
- 5 Сравните основные параметры неуправляемых одно-и двухполупериодных однофазных выпрямителей. Используя графики выходных напряжений, объясните разницу в значениях параметров.

## 5 Исследование схем на основе операционных усилителей

**Цель работы:** изучение принципа работы, методик расчёта, характеристик устройств на базе операционных усилителей.

### 5.1 Порядок выполнения работы

5.1.1 На основании заданного преподавателем типа ОУ, пользуясь справочником, заполнить таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Параметры ОУ

Тип ОУ	Справочные параметры				
	$U_n$ , В	$K_U$	$f_1$ , Гц	$R_{ex}$ , Ом	$R_{вых}$ , Ом

5.1.2 По заданным параметрам заполнить таблицу 5.2. Произвести расчет устройств, представленных на рисунке 5.1, *а–в*, заполнить таблицу 5.3. Резисторы выбрать из стандартного ряда E24.

Таблица 5.2 – Исходные данные

Тип ОУ	Заданные параметры (рисунок 5.4, <i>а</i> )		Заданные параметры (рисунок 5.4, <i>б</i> )		Заданные параметры (рисунок 5.4, <i>в</i> )			
	$u_{ex}$ , В	$u_{вых}$ , В	$u_{ex}$ , В	$u_{вых}$ , В	$u_1$ , В	$u_2$ , В	$u_3$ , В	$u_{вых}$ , В

Таблица 5.3 – Рассчитанные параметры

Тип ОУ	Рассчитанные параметры					
	Рисунок 5.4, <i>а</i>		Рисунок 5.4, <i>б</i>		Рисунок 5.4, <i>в</i>	
	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом

5.1.3 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы устройств, представленных на рисунке 5.1, *а–в*, в программе Multisim, построив их модели в среде LabVIEW. Напряжения и осциллограммы в схемах отображаются с помощью виртуальных вольтметров и осциллографа. Входной сигнал формируется функциональным генератором.

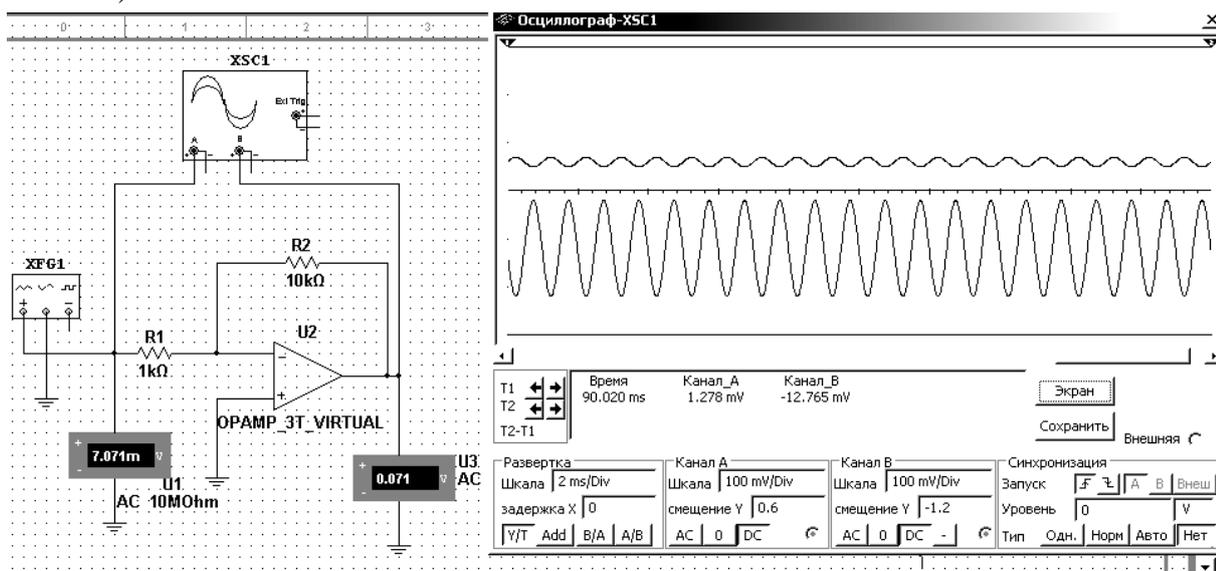
Для отображения параметров усилителя по постоянному току в свойствах измерительных приборов установить «DC», при измерении переменных сигналов установить «AC». Результаты моделирования для неинвертирующего усилителя занести в таблицу 5.4 (моделирование).

Таблица 5.4 – Основные параметры усилительного каскада

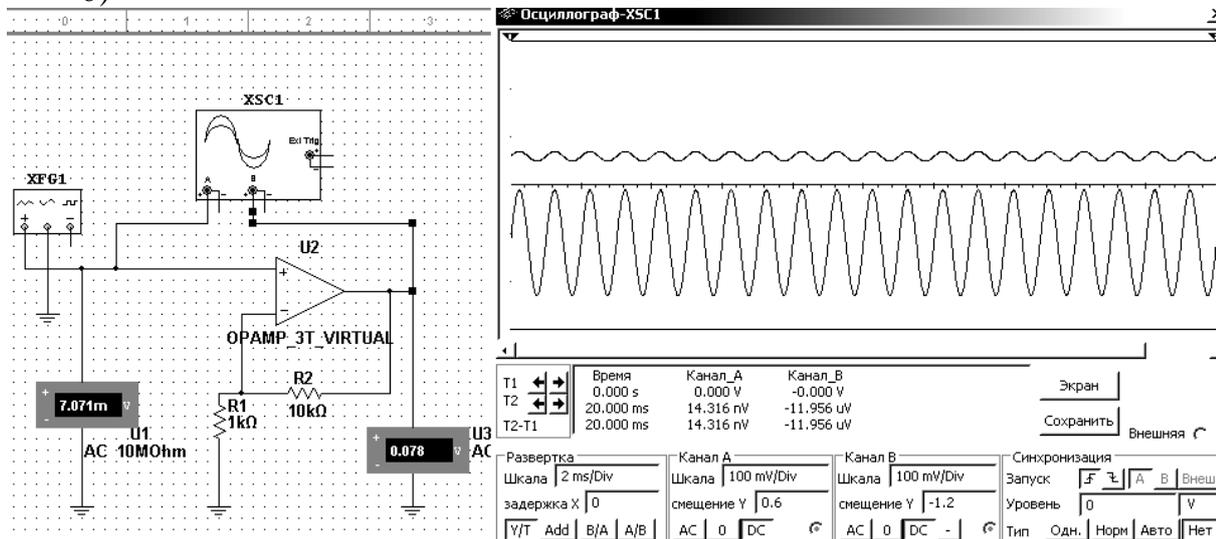
Способ исследования	Параметры		
	$u_{ex}$ , В	$u_{вых}$ , В	$K_u$
Задано			
Моделирование			
Эксперимент			



a)



б)



в)

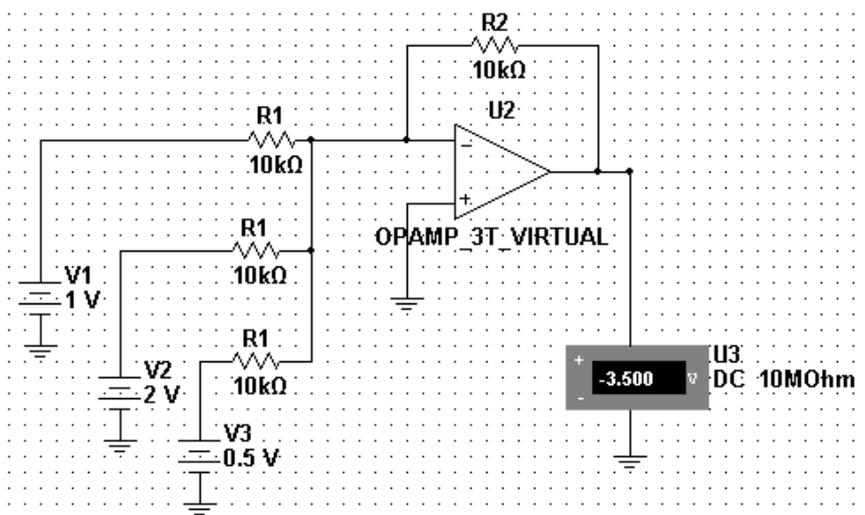


Рисунок 5.1 – Схемы инвертирующего усилителя (а), неинвертирующего усилителя (б) и сумматора (в) в среде Multisim

Снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) неинвертирующего усилителя, изменяя частоту входного сигнала или воспользовавшись плоттером Боде (Bode Plotter XBP1). Определить частоту среза  $f_p$  и частоту единичного усиления  $f_1$ .

В схеме сумматора просуммировать постоянный и переменный сигналы, подав на вход 1 вместо постоянного напряжения 1 В переменное напряжение 1 В с частотой 1 кГц. Напряжение на выходе пронаблюдать с помощью осциллографа.

5.1.4 Экспериментально исследовать неинвертирующий усилитель на базе заданного преподавателем ОУ. Для этого на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 5.2. На вход схемы подавать синусоидальное напряжение от генератора  $U_{ГС1}$ . Блок-диаграмма виртуального прибора для снятия характеристик в среде LabVIEW приведена на рисунке 5.3. Выделение действующего значения входного и выходного напряжений  $U_{вх}$ ,  $U_{вых}$  осуществляется блоком «Amplitude and Level Measurements».

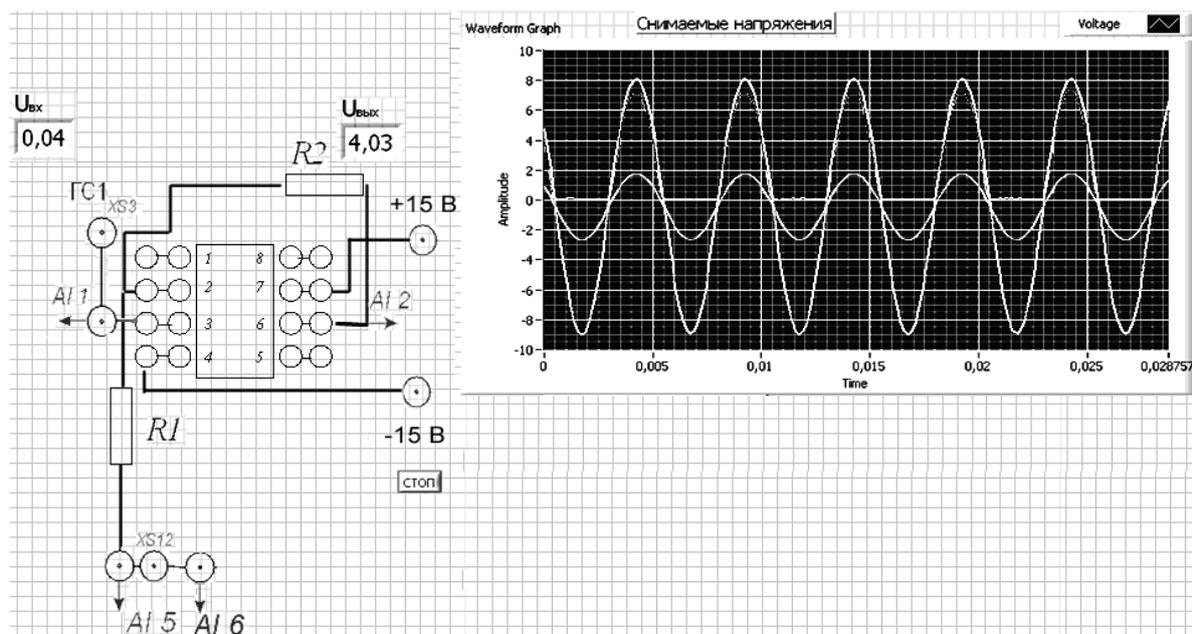


Рисунок 5.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования неинвертирующего усилителя на базе ОУ в среде LabVIEW

Определить основные параметры усилительного каскада. Результаты занести в таблицу 5.4 (эксперимент). Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

5.1.5 Сделать выводы по результатам работы.

### Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы устройств на базе операционных усилителей в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характери-

стик и диалоговое окно; осциллограммы входных и выходных напряжений, АЧХ; основные параметры неинвертирующего усилителя в виде таблицы; выводы по работе.

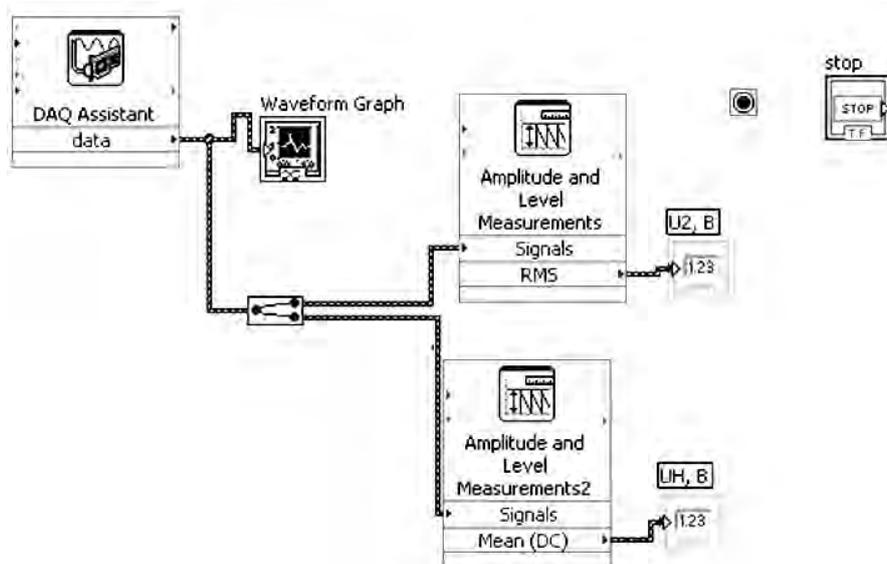


Рисунок 5.4 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для экспериментального исследования неинвертирующего усилителя на базе ОУ

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Что представляет собой операционный усилитель?
- 2 Какие внешние условия влияют на работу ОУ?
- 3 Приведите порядок величины коэффициента усиления ОУ.
- 4 Где используются ОУ?
- 5 Приведите основные характеристики ОУ.
- 6 Какие типы усилителей, использующих ОУ, вам известны?
- 7 По каким соотношениям необходимо рассчитывать эти схемы?
- 8 Какие основные ОУ вы можете назвать?
- 9 Что такое амплитудно-частотная характеристика ОУ?
- 10 Какая функция характеризует зависимость напряжения выходного сигнала от напряжения входного сигнала?
- 11 Что такое компаратор?

## 6 Исследование работы генератора гармонических колебаний и мультивибратора

**Цель работы:** изучение принципа функционирования, методик расчёта, характеристик и параметров генераторов гармонических колебаний и мультивибраторов.

### 6.1 Порядок выполнения работы

6.1.1 На основании заданного преподавателем значения частоты  $f$  необходимо рассчитать: сопротивление  $R$  и емкость  $C$  фазоинвертора для RC-генератора с фазосдвигающими цепочками (рисунок 6.1), сопротивление  $R$  и емкость  $C$  генератора с мостом Вина (рисунок 6.2), емкость  $C$  и сопротивление  $R_6$  мультивибратора (рисунок 6.3). Выбрать стандартные значения сопротивлений из ряда E24, заполнить таблицу 6.1.

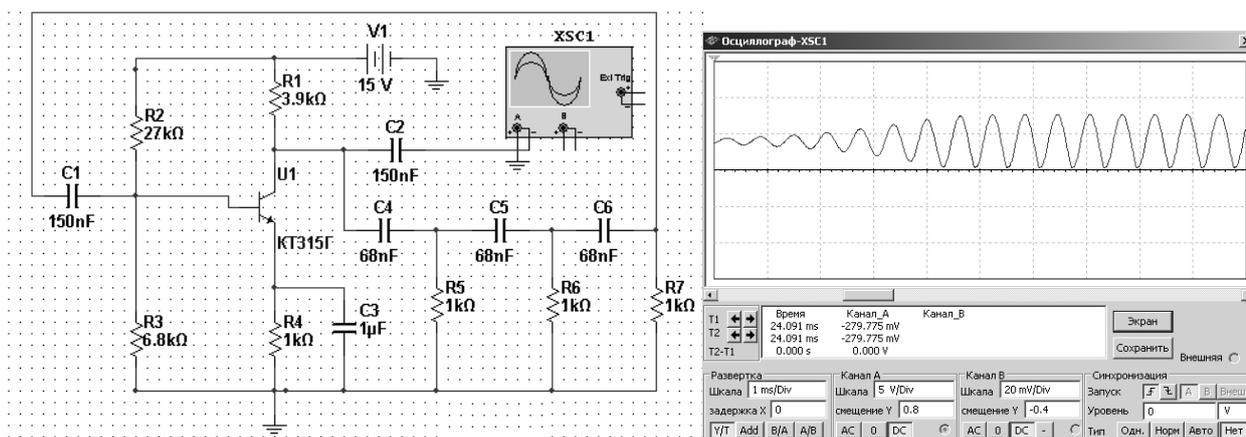


Рисунок 6.1 – RC-генератор

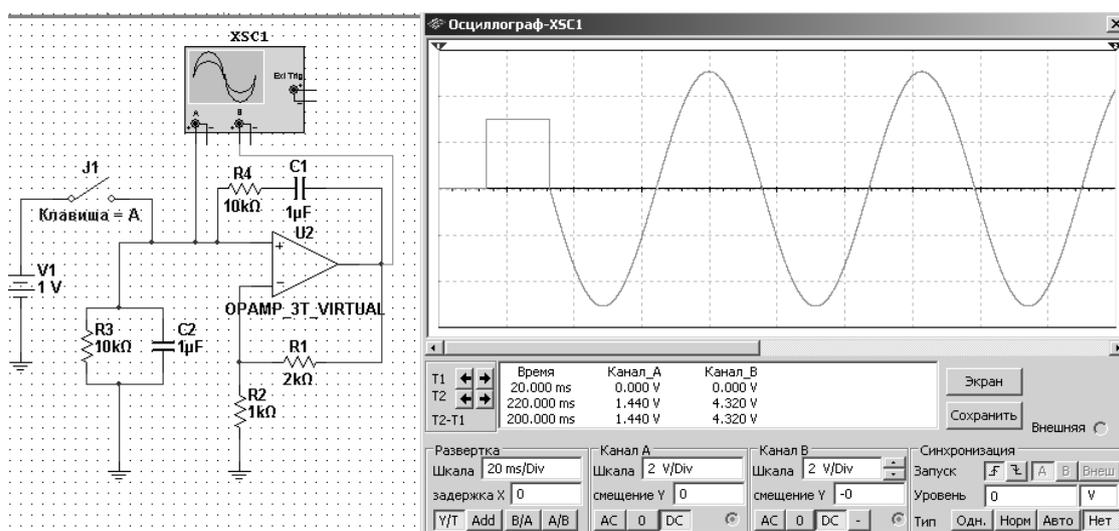


Рисунок 6.2 – Генератор с мостом Вина в обратной связи

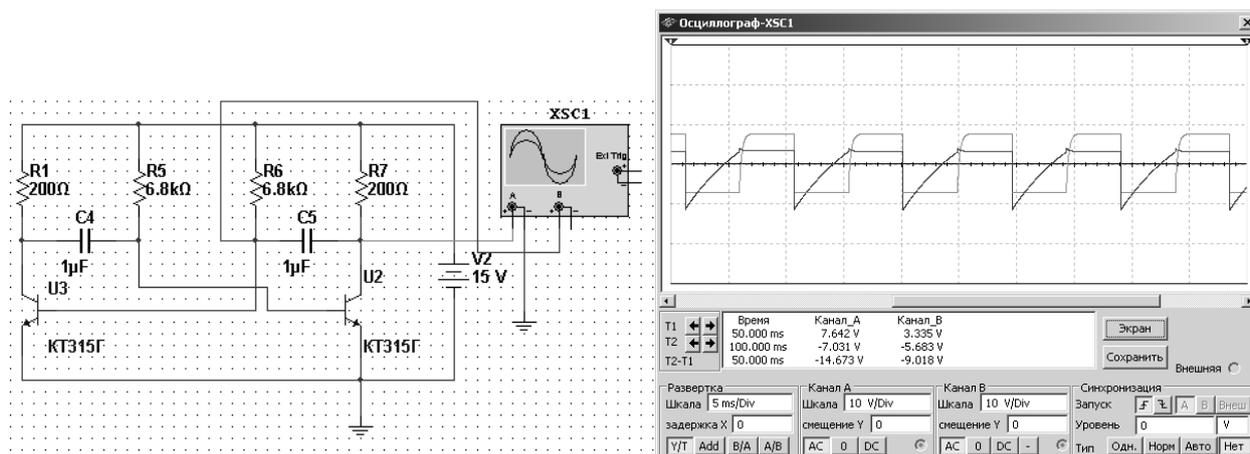


Рисунок 6.3 – Симметричный мультивибратор

Таблица 6.1 – Исходные данные и результаты расчета

$f$	RC-генератор с фазосдвигающими цепями		RC-генератор с мостом Вина		Мультивибратор	
	$R$ , Ом	$C$ , мкФ	$R$ , Ом	$C$ , мкФ	$R_{\delta}$ , Ом	$C$ , мкФ

6.1.2 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы генераторов в программе Multisim, собрав схемы, приведенные на рисунках 6.1–6.3. Номиналы элементов установить согласно таблице 6.1. Параметры усилителей взять из методических указаний для практических занятий.

Промоделировать работу генераторов, снять осциллограммы, определить частоту генерации  $f$ , действующее значение напряжения  $U$ , нелинейные искажения  $K_2$  – для генератора гармонических колебаний, амплитуду  $U_m$  и время фронта  $t_f$  импульса – для мультивибратора. Заполнить таблицу 6.2.

Таблица 6.2– Результаты моделирования и эксперимента

Способ исследования	RC-генератор с фазосдвигающими цепями			RC-генератор с мостом Вина			Мультивибратор		
	$f$ , Гц	$U$ , В	$K_2$ , %	$f$ , Гц	$U$ , В	$K_2$ , %	$f$ , Гц	$U_m$ , В	$t_f$ , мс
Моделирование									
Эксперимент	–	–	–				–	–	–

Исследовать влияние напряжения питания, значения RC-цепей на параметры выходного сигнала.

6.1.3 Для экспериментального исследования RC-генератора с мостом Вина в цепи ПОС на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 6.4.

Напряжение питания операционного усилителя (+15 В, –15 В) на схему подается с блока управления К32 или источника НУ 3002-D2. Выходной сигнал ге-

нератора снимается канал  $A/I1$  устройства сбора данных NI USB-6009. Виртуальный прибор в среде LabVIEW (рисунок 6.5) отображает частоту  $f$ , действующее значение  $U$  и коэффициент нелинейных искажений выходного сигнала.

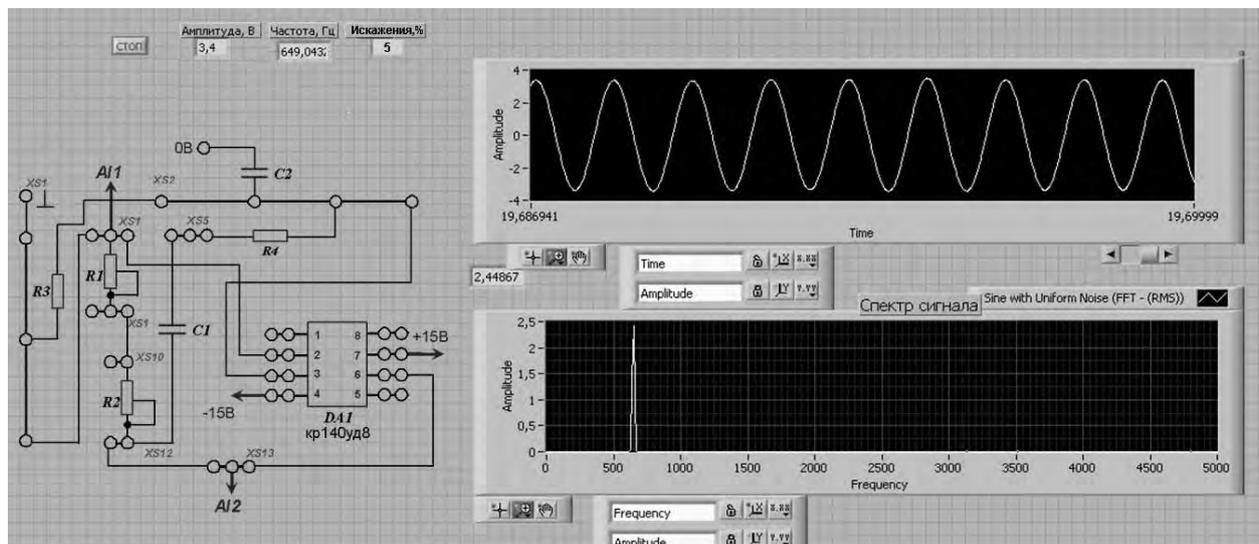


Рисунок 6.4 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования генератора с мостом Вина в среде LabVIEW

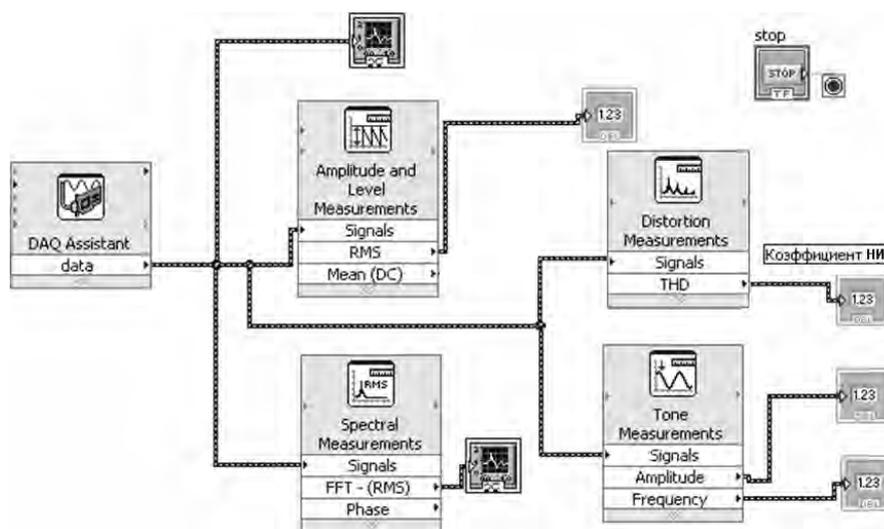


Рисунок 6.5 – Блок-диаграмма для исследования в среде генератора с мостом Вина в среде LabVIEW

Сравнить результаты расчета и моделирования с экспериментальными данными, заполнить таблицу 6.2.

6.1.4 Сделать выводы по результатам работы.

### Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы генераторов в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно; осцилло-

граммы выходных напряжений; основные параметры генераторов (см. таблицы 6.1 и 6.2); выводы по работе.

### Контрольные вопросы

- 1 Перечислите признаки классификации генераторов электрических сигналов.
- 2 Приведите деление генераторов по частоте.
- 3 Как делятся генераторы по типу частотно - избирательных цепей?
- 4 В чем заключаются отличия структурных схем генератора и избирательного усилителя?
- 5 Какую роль в схеме генератора выполняет цепь ООС?
- 6 В чем состоит отличие генератора гармонических колебаний от генератора негармонических колебаний?
- 7 Назовите основной признак трехточечных схем генераторов гармонических колебаний.
- 8 Чем отличаются схемы емкостной и индуктивной трехточки?
- 9 Обоснуйте необходимость применения *RC*-генераторов.
- 10 В чем заключается недостаток *RC*-генераторов и как он может быть устранен?

## 7 Исследование работы логических элементов и триггеров

**Цель работы:** изучение принципа функционирования и характеристик логических элементов и триггеров.

### 7.1 Порядок выполнения работы

7.1.1 В программе Multisim собрать схему для испытания основных и базовых логических элементов (рисунок 7.1) OR (ИЛИ), AND (И), NOT (НЕ), NAND (И-НЕ) и XOR (ИЛИ-НЕ), расположенных в библиотеке Misc Digital/TIL с уровнем высокого напряжения 5 В. В схему включены ключи SB1 и SB2, пробники X1, X2 и Y1...Y5 с пороговыми напряжениями 5 В. Если входной или выходной сигнал элемента равен логической единице, то включенный на выходе этого элемента пробник светится.

Результаты моделирования занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Результаты моделирования

Дизъюнктор [ИЛИ (OR)]			Конъюнктор [И (AND)]			Инвертор [НЕ (NOT)]		Штрих Шеффера [И-НЕ (NAND)]			Стрелка Пирса [ИЛИ-НЕ (NOR)]		
$x_1$	$x_2$	$y$	$x_1$	$x_2$	$y$	$x$	$y$	$x_1$	$x_2$	$y$	$x_1$	$x_2$	$y$
0	0		0	0		0		0	0		0	0	
0	1		0	1				0	1		0	1	
1	0		1	0		1		1	0		1	0	
1	1		1	1				1	1		1	1	



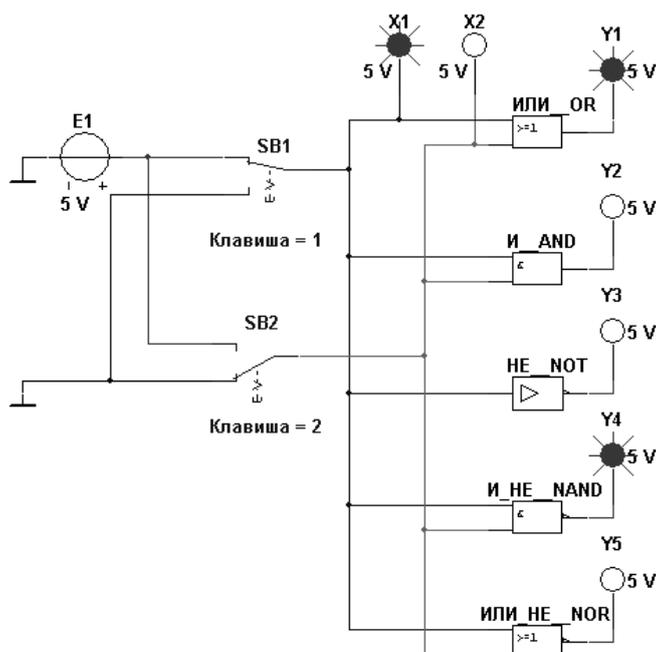


Рисунок 7.1 – Схема для исследования основных и базовых логических элементов

7.1.2 По заданию преподавателя исследовать работу трех логических элементов одной из серий интегральных микросхем (рисунок 7.2), предварительно выписав из справочника их параметры и условное обозначение. Составить таблицу истинности для данных элементов.

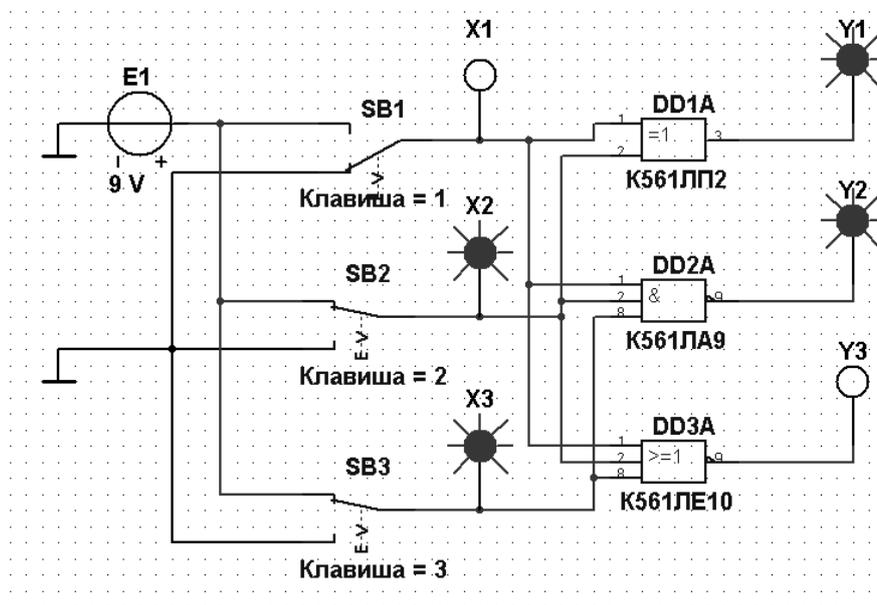


Рисунок 7.2 – Схема для исследования логических элементов серии K561

7.1.3 Для экспериментального исследования работы логического элемента, заданного преподавателем, на макетной плате собрать схему, приведенную на рисунке 7.3.

Питание микросхемы осуществляется от источника НУ3002-D2 или выхо-

да +5 В устройства сбора данных NI USB-6009. Сигналы входных переменных  $X$  формируются цифровыми выходами P0.0...P0.2 устройства NI USB-6009, приём сигнала логической функции  $Y$  осуществляется цифровым входом P1.0, что реализовано блоками DAQ Assistant блок-диаграммы виртуального прибора (рисунок 7.4). Входы и выход логического элемента подключаются к каналам аналогового ввода  $AI1...AI3$  устройства сбора данных NI USB-6009 для возможности отображения уровня сигналов.

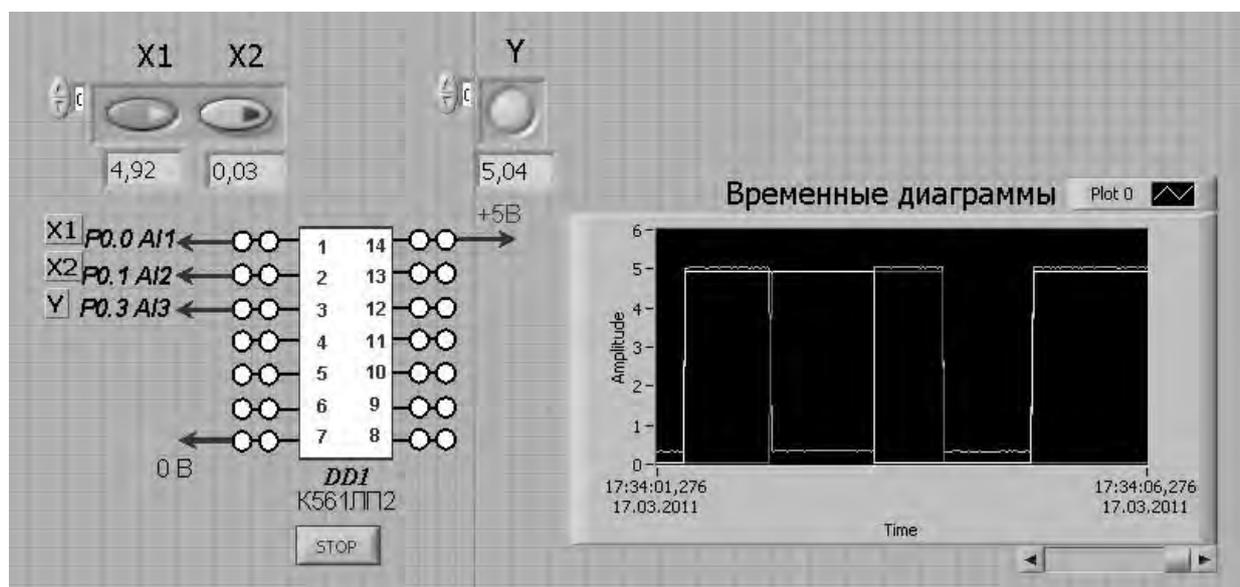


Рисунок 7.3 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования логических элементов в среде LabVIEW

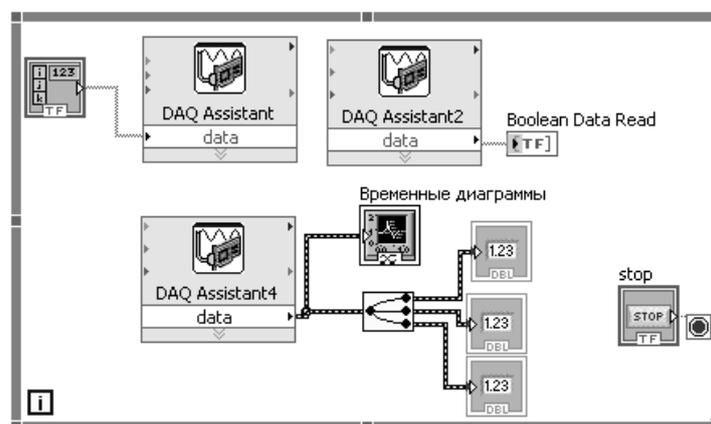


Рисунок 7.4 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для исследования логических элементов

Заполнить таблицу истинности для исследуемого элемента, сравнив с результатами моделирования. Определить уровни входного и выходного напряжений, соответствующие логической единице и нулю:  $U_{вх}^1, U_{вх}^0, U_{вых}^1, U_{вых}^0$ .

7.1.4 В программе Multisim собрать схему исследования RS-триггера на логических элементах И-НЕ заданной преподавателем серии (рисунок 7.5).

Воспользовавшись порядком засвечивания пробников и задавая коды

(00, 01, 10) состояния ключей SB1 и SB2 (входных сигналов), составить таблицу истинности RS-триггера.

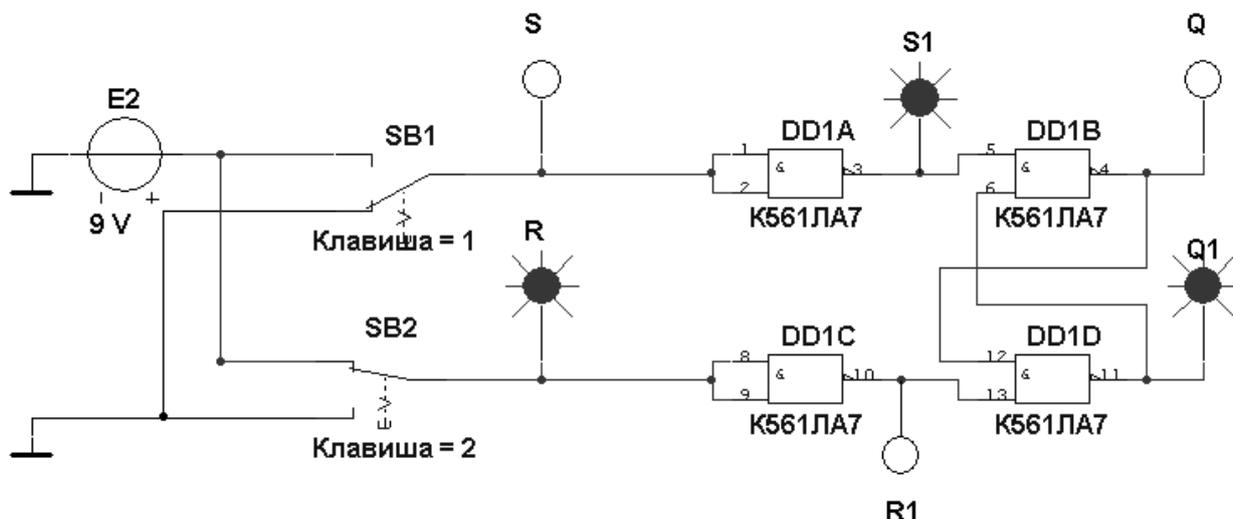


Рисунок 7.5 – Схема RS-триггера на логических элементах серии K561

7.1.5 В программе Multisim собрать схему испытания триггеров *JK* и *D* (рисунок 7.6) по заданию преподавателя. В схему включены: генератор XWG1 ( $f_2 = 500$  кГц); логический анализатор XLA1.

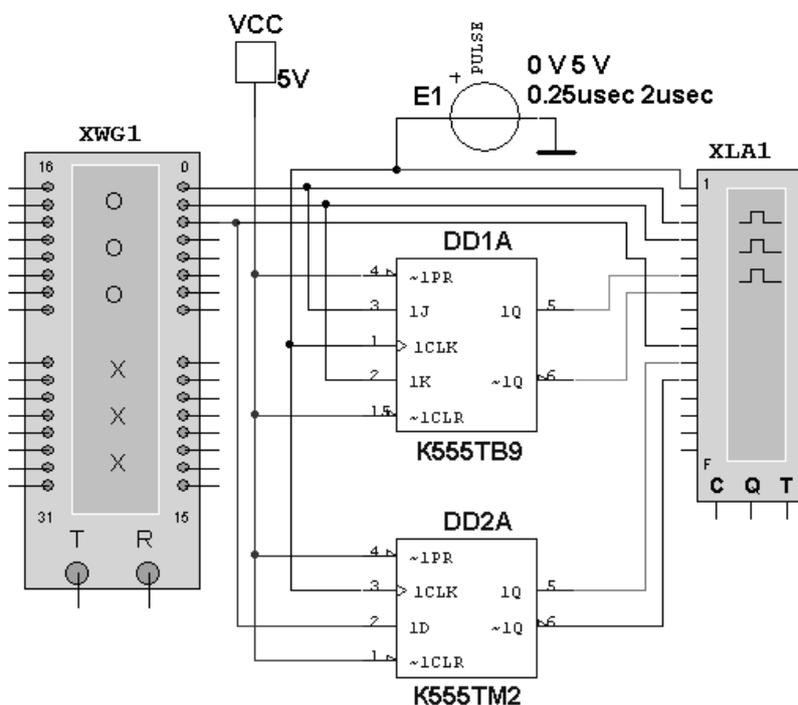


Рисунок 7.6 – Схема для исследования *JK*- и *D*-триггеров

На входы триггеров  $\overline{1CLR}$  и  $\overline{1PR}$  подаётся постоянное напряжение 5 В (имитирующее сигнал 1) источника VCC, а на 1CLK-входы триггеров и на вход 1 анализатора XLA1 поступают тактовые импульсы с амплитудой 5 В



и частотой 500 кГц, сформированные генератором  $E_1$ .

С выходов 1 и 2 генератора XWG1 сигналы подаются на управляющие входы 1J и 1K  $JK$ -триггера, с выхода 3 – на вход 1D  $D$ -триггера.

В качестве примера введём в первые шесть ячеек памяти генератора трёх-разрядные кодовые комбинации (рисунок 7.7): 010, 100, 111, 001, 100, 010.

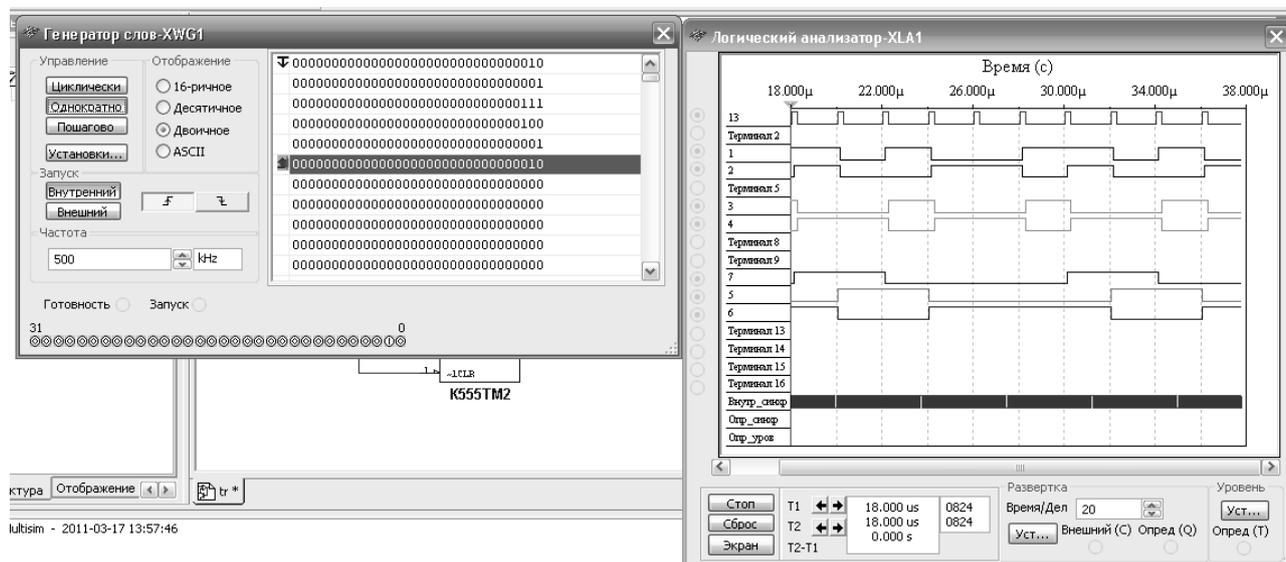


Рисунок 7.7 – Цифровые комбинации и временные диаграммы триггеров

Провести моделирование работы триггеров, по временным диаграммам составить и заполнить для них таблицы истинности.

7.1.6 Для экспериментального исследования заданного преподавателем  $D$ -триггера собрать схему, приведенную на рисунке 7.8.

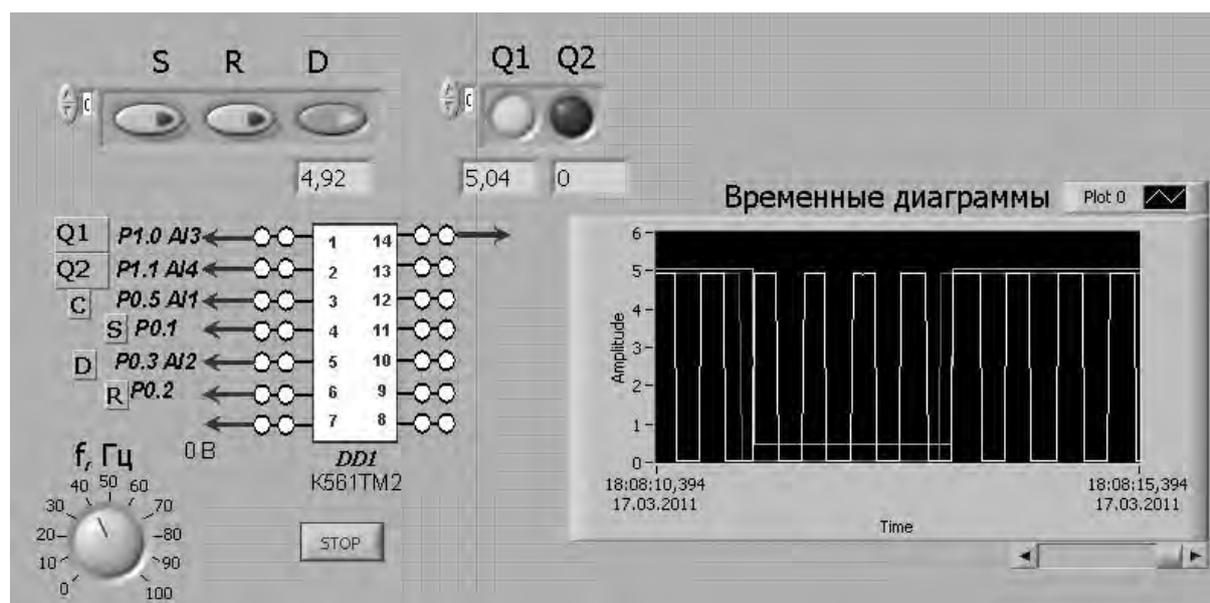


Рисунок 7.8 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования  $D$ -триггера в среде LabVIEW

Питание микросхемы осуществляется от источника HY3002-D2 или выхода +5 В устройства сбора данных NI USB-6009. Сигналы входов триггера  $S$ ,  $R$ ,  $D$  формируются цифровыми выходами P0.1...P0.3 устройства NI USB-6009, приём выходных сигналов  $Q$ ,  $\bar{Q}$  осуществляется цифровыми входами P1.0, P1.1, что реализовано блоками DAQ Assistant блок-диаграммы виртуального прибора (рисунок 7.9). Импульсы синхронизации  $C$  формируются блоком Simulate Signal блок-диаграммы и передаются на выход P0.5 устройства сбора данных. Входы и выходы триггера подключаются к каналам аналогового ввода AI1.. AI4 устройства NI USB-6009 для возможности отображения временных диаграмм.

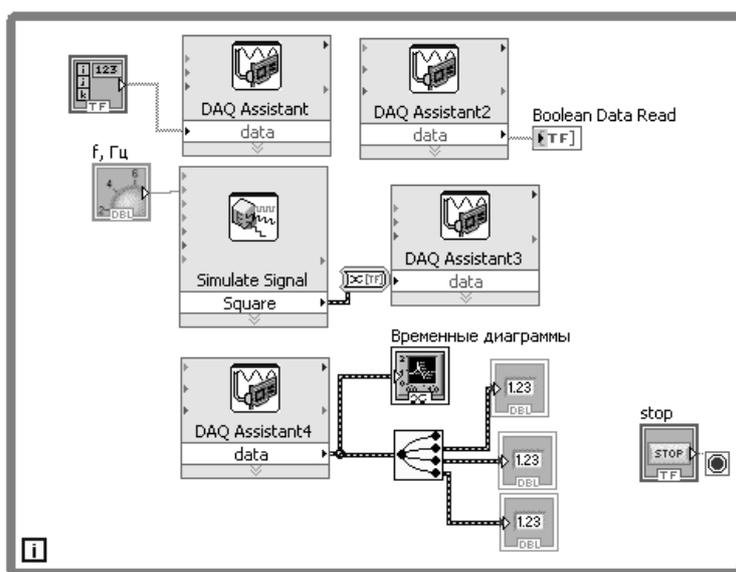


Рисунок 7.9 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для исследования триггера

По полученным временным диаграммам составить таблицу истинности триггера, сравнить с результатами моделирования.

7.1.7 Сделать выводы по результатам работы.

### **Содержание отчёта**

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы логических элементов и триггеров в среде Multisim; блок-диаграммы виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно; временные диаграммы и таблицы истинности работы логических элементов и триггеров; выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Какова величина напряжения питания элемента ТТЛ логики?
- 2 Какова величина напряжения питания элемента ЭСЛ логики?



- 3 Какая характерная особенность ТТЛ логики?
- 4 Что является основой базового логического элемента ЭСЛ?
- 5 Чему равно напряжение логической единицы?
- 6 Чему равно напряжение логического нуля?

## 8 Исследование работы регистров, счетчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов

**Цель работы:** изучение принципа функционирования, характеристик регистров, счётчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов.

### 8.1 Порядок выполнения работы

8.1.1 В программе Multisim собрать схему для испытания заданного преподавателем универсального регистра сдвига (рисунок 8.1) и установить в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы.

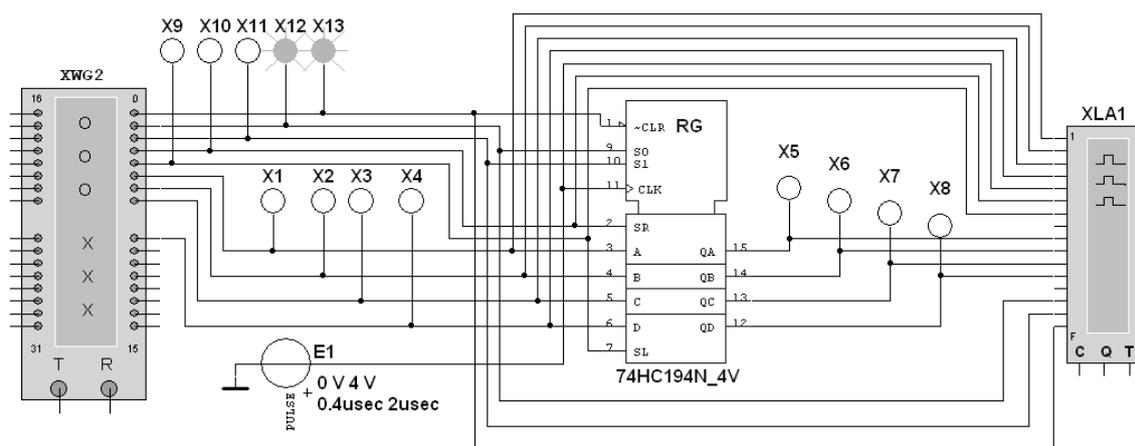


Рисунок 8.1 – Схема для моделирования работы универсального регистра сдвига

Универсальный 4-разрядный регистр сдвига 74HC194N\_4V (отечественные аналоги-микросхемы К230ИР2, КМ155ИР1, К176ИР3) способен сдвигать информацию и вправо, и влево, возможна как параллельная, так и последовательная запись данных. Регистр имеет параллельные входы (A, B, C, D), параллельные выходы (QA, QB, QC, QD), последовательные входы (SR, SL), цепь прямой очистки регистра по входу CLR и управляющие входы (S0 и S1) – входы задания режима:

- S0 = 1, S1 = 1 – запись данных в регистр по входам A, B, C, D;
- S0 = 1, S1 = 0 – сдвиг данных влево в направлении от QA к QD;
- S0 = 0, S1 = 1 – сдвиг данных вправо в направлении от QD к QA;
- S0 = 0, S1 = 0 – входы регистра недоступны (блокировка).

Составить план исследования параллельного регистра сдвига, заполнив ячейки памяти генератора слова XWG1 (рисунок 8.2) на основе правил функционирования регистра 74HC194\_4V, отражённых в таблице 8.1.

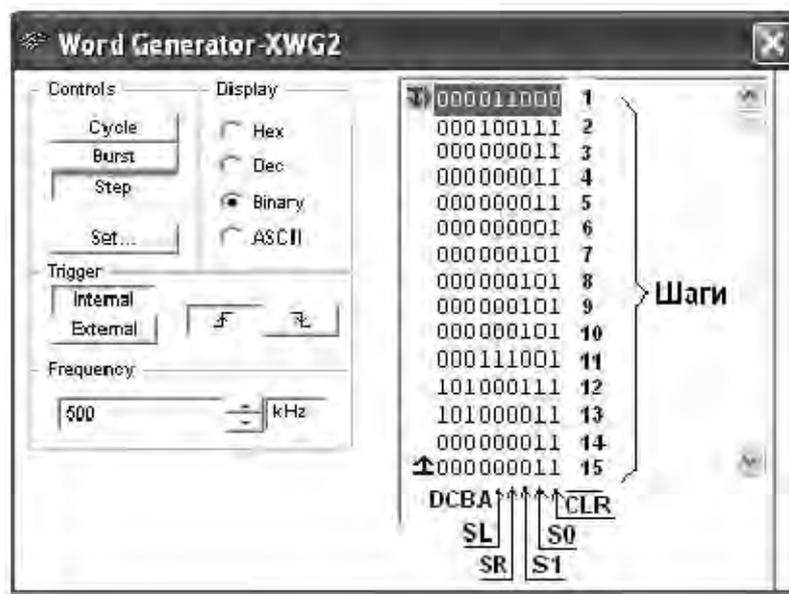


Рисунок 8.2 – Программа функционирования генератора слова XWG1

Таблица 8.1 – Правила функционирования регистра 74HC194\_4V

		Вход												
Сброс	Старт	Режим		Последовательный вход		Параллельный вход				Выход				
		CLR	CLX	S0	S1	SR	SL	A	B	C	D	QA	QB	QC
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0
1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	QA <sub>0</sub>	QB <sub>0</sub>	QC <sub>0</sub>	QD <sub>0</sub>
1	↑	1	1	x	x	A	B	C	D	A	B	C	D	
1	↑	1	0	1	x	x	x	x	x	1	QA <sub>n</sub>	QB <sub>n</sub>	QC <sub>n</sub>	
1	↑	1	0	0	x	x	x	x	x	0	QA <sub>n</sub>	QB <sub>n</sub>	QC <sub>n</sub>	
1	↑	0	1	x	1	x	x	x	x	QB <sub>n</sub>	QC <sub>n</sub>	QD <sub>n</sub>	1	
1	↑	0	1	x	0	x	x	x	x	QB <sub>n</sub>	QC <sub>n</sub>	QD <sub>n</sub>	0	
1	x	0	0	x	x	x	x	x	x	QA <sub>0</sub>	QB <sub>0</sub>	QC <sub>0</sub>	QD <sub>0</sub>	

*Примечание* – 0 – низкий уровень; 1 – высокий уровень; x – любое состояние; ↑ – положительный перепад (с низкого уровня на высокий); QA<sub>0</sub>, QB<sub>0</sub>, QC<sub>0</sub>, QD<sub>0</sub> – стационарные уровни A, B, C, D до установки указанных состояний на входах; QA<sub>n</sub>, QB<sub>n</sub>, QC<sub>n</sub>, QD<sub>n</sub> – соответственно уровни A, B, C, D перед началом прохождения фронта самого последнего тактового импульса

Снять временные диаграммы работы универсального регистра сдвига (рисунок 8.3), определить режимы его работы.

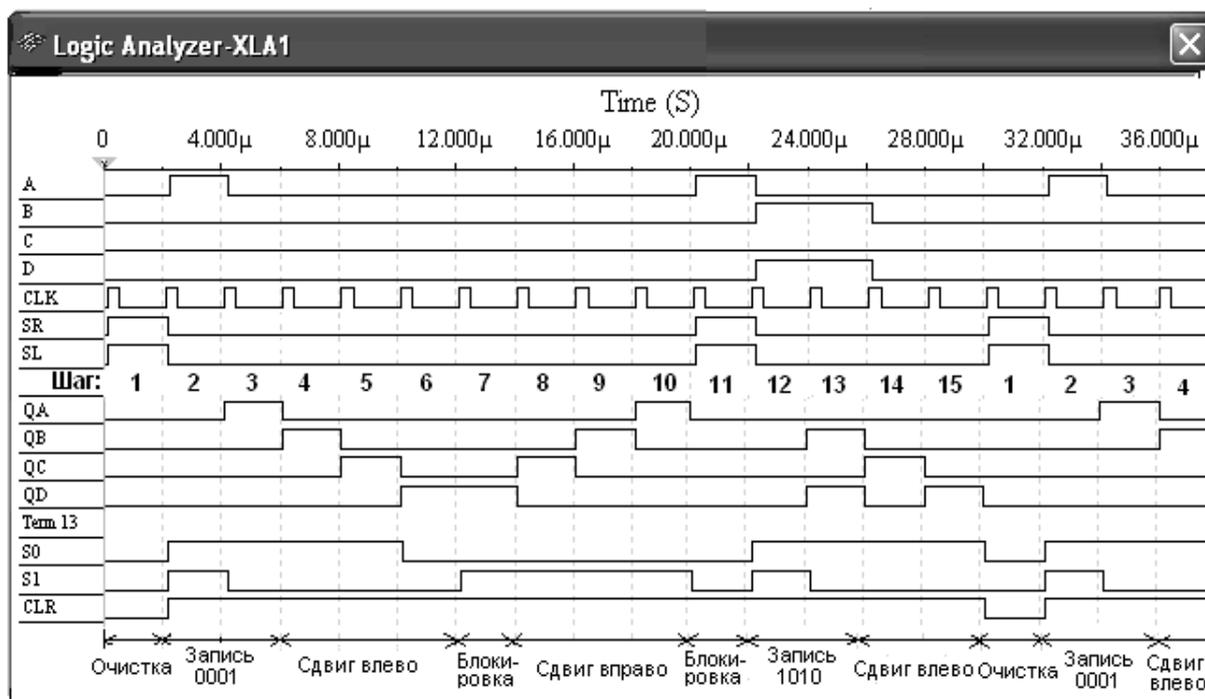


Рисунок 8.3 – Временные диаграммы работы универсального регистра сдвига

8.1.2 В программе Multisim собрать схему для испытания заданного преподавателем синхронного двоичного счётчика (рисунок 8.4) и установить в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы.

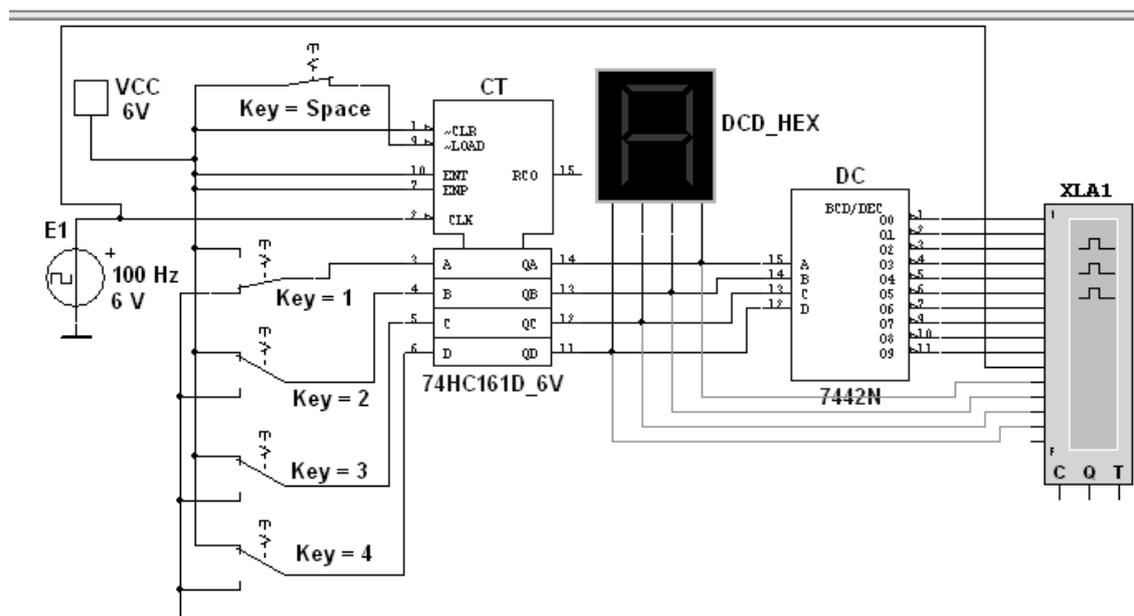


Рисунок 8.4 – Схема для моделирования работы синхронного двоичного счётчика

В схему включен синхронный двоичный 4-разрядный счётчик 74HC161, к входу  $\overline{CLK}$  которого подключен источник тактовых импульсов E1, а к выходам QA, QB, QC и QD – шестнадцатеричный семисегментный индикатор

DCD\_HEX и дешифратор DC 4x10. Выходы счётчика и дешифратора соединены с входами логического анализатора XLA1.

К входам А, В, С и D счётчика СТ подключен источник постоянного напряжения VCC, переключатели 1–4 для формирования входных двоичных кодов и ключ Space для изменения режима работы счётчика. В синхронном счётчике заданные с помощью ключей уровни сигналов подаются на входы всех триггеров, как и тактовые импульсы, которые подаются на счётные входы CLK всех разрядов счётчика.

При *замкнутом* ключе Space число поданных от генератора E1 на вход счётчика импульсов высвечивается на индикаторе DCD\_HEX в десятичном коде, от 0 до 15, после чего счётчик обнуляется и вновь начинается счёт. При этом на одном из выходов дешифратора DC формируется сигнал низкого уровня (логический ноль), номер которого соответствует коду входного числа: от 0000 до 1001 ( $9_{10}$ ).

При *разомкнутом* ключе Space сформированное с помощью переключателей на входе счётчика четырехразрядное двоичное число высвечивается на индикаторе в десятичном коде, а на экране анализатора на одном из выходов, соответствующем входному коду счётчика, формируется логический ноль.

Промоделировать работу счётчика и дешифратора, сняв временные диаграммы их работы (рисунок 8.5).

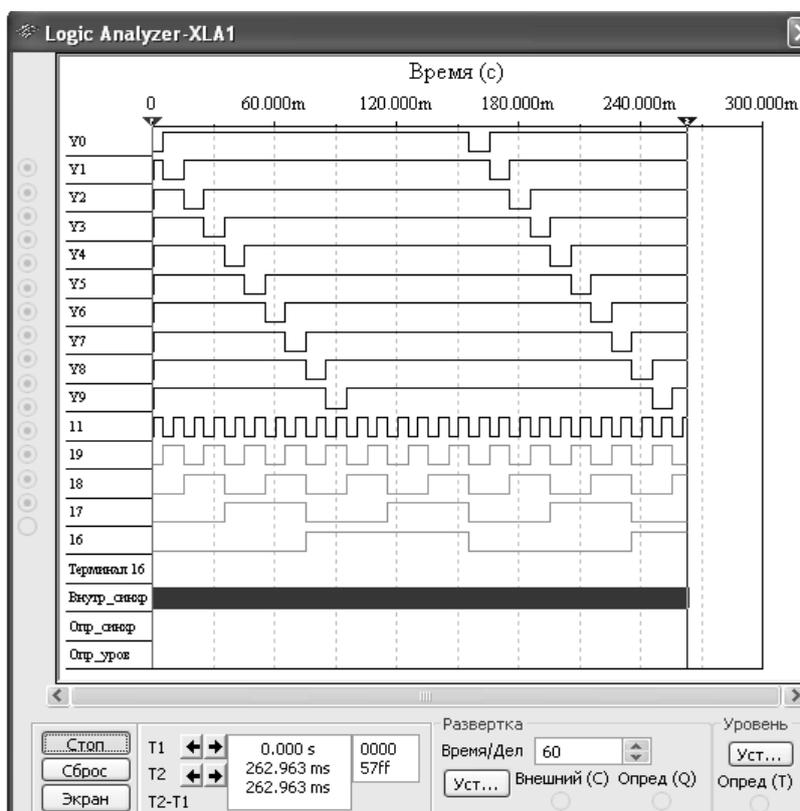


Рисунок 8.5 – Временные диаграммы работы счётчика и дешифратора

Разомкнуть ключ Space. Установить в диалоговом окне анализатора XLA1 напряжение  $V = 5$  В, частоту таймера  $f_a = 2$  кГц, число импульсов, приходящих-

ся на одно деление,  $Clocks/div = 60$  (при таком режиме лучи медленно перемещаются на экране анализатора). С помощью активных клавиш 1, 2, 3 и 4 клавиатуры сформировать произвольные (или по указанию преподавателя) двоичные входные числа (коды), например 1001, 0011, 0000, 1110, и подавать их на входы D, C, B и A счётчика. Зафиксировать показание семисегментного индикатора и дешифратора при данных значениях кода.

8.1.3 Для экспериментального исследования заданного преподавателем счётчика собрать схему, приведенную на рисунке 8.6.

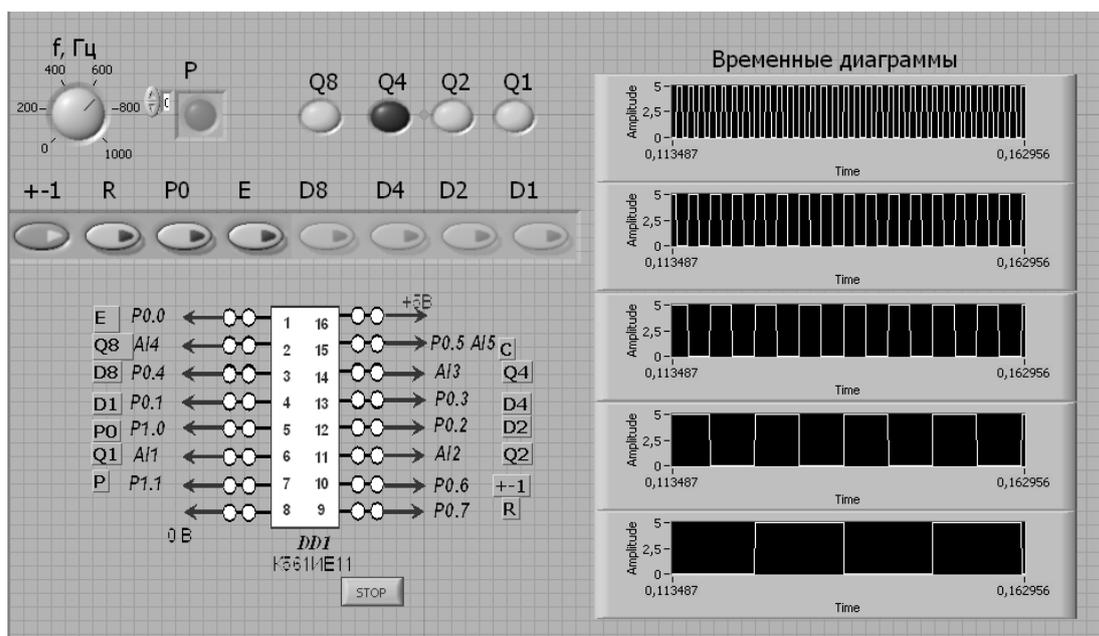


Рисунок 8.6 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования счётчика в среде LabVIEW

Питание микросхемы осуществляется от источника NY3002-D2 или выхода +5 В устройства сбора данных NI USB-6009. Сигналы входов счётчика R (сброс),  $\pm 1$  (направление счёта), P<sub>0</sub> (вход переноса), E (разрешение установки), D<sub>1</sub>...D<sub>8</sub> (параллельные входы) и выхода P (перенос) формируются цифровыми выходами P<sub>0</sub> и P<sub>1</sub> устройства NI USB-6009. Приём счётных импульсов и выходных сигналов Q<sub>2</sub>...Q<sub>8</sub> осуществляется каналами аналогового ввода A<sub>1</sub>...A<sub>15</sub>, что реализовано блоками DAQ Assistant блок-диаграммы виртуального прибора (рисунок 8.7). Счётные импульсы C формируются блоком Simulate Signal блок-диаграммы и передаются на выход P<sub>0.5</sub> устройства сбора данных. Состояние выходов счётчика отображается в виде временных диаграмм и индикаторами Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>4</sub>, Q<sub>8</sub>.

Исследовать работу счётчика в режиме сложения, вычитания, предварительной установки, сброса. Сравнить с результатами моделирования.

8.1.4 Подключить к выходам счётчика семисегментный индикатор с дешифратором. Исследовать работу данных устройств.

8.1.5 Сделать выводы по результатам работы.

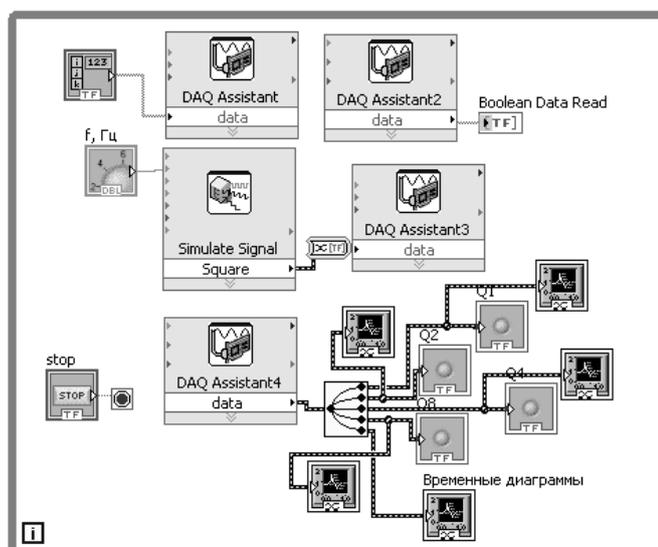


Рисунок 8.7 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для исследования счётчика

### Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы регистра, счётчика, дешифратора и семисегментного индикатора в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик счётчика и диалоговое окно; временные диаграммы работы регистра, счётчика, дешифратора; выводы по работе.

### Контрольные вопросы

- 1 Приведите определение комбинационных устройств и алгоритм их построения.
- 2 Составьте выражения для выходных булевых функций  $Q_1...Q_4$  шифратора цифр в код 8-4-2-1, если управляющим сигналом является «нуль».
- 3 Перечислите основные признаки классификации триггеров. Как разделяются триггеры по функциональному назначению?
- 4 Чем отличаются статические входы триггеров от динамических?
- 5 Можно ли управлять  $RS$ -триггером, воздействуя управляющим сигналом только на один вход?
- 6 Чем отличаются  $RS$ -триггеры на элементах ИЛИ - НЕ от  $RS$ -триггеров на элементах И - НЕ?
- 7 Приведите таблицу истинности  $RS$ -триггера. Какая из строк таблицы определяет свойства триггера как память?
- 8 В чем состоит суть синхронизации триггера и для чего она применяется?
- 9 Чем отличается  $JK$ -триггер от  $RS$ -триггера?

## Список литературы

- 1 **Марченко, А. Л.** Электротехника и электроника : учебник в 2 т. Т. 1 : Электротехника / А. Л. Марченко, Ю. Ф. Опадчий. – Москва : ИНФРА-М, 2015. – 574 с.
- 2 **Марченко, А. Л.** Электротехника и электроника : курсовые работы с методическими указаниями и примерами / А. Л. Марченко, Ю. Ф. Опадчий. – Москва : ИНФРА-М, 2015. – 126 с.
- 3 **Славинский, А. К.** Электротехника с основами электроники : учебное пособие / А. К. Славинский, И. С. Туревский. – Москва : ИНФРА-М, 2015. – 448 с.
- 4 **Миленина, С. А.** Электротехника, электроника и схемотехника : учебник и практикум / С. А. Миленина ; под ред. Н. К. Миленина. – Москва : Юрайт, 2015. – 399 с.
- 5 **Гальперин, М. В.** Электротехника и электроника : учебник / М. В. Гальперин. – Москва : ИНФРА-М, 2017. – 480 с.
- 6 **Рыбков, И. С.** Электротехника : учебное пособие / И. С. Рыбков. – Москва : ИНФРА-М, 2017. – 160 с.
- 7 **Батоврин, В. К.** LabVIEW : практикум по электронике и микропроцессорной технике : учебное пособие для вузов / В. К. Батоврин, А. С. Бессонов, В. В. Мошкин. – Москва : ДМК Пресс, 2005. – 182 с.
- 8 **Панфилов, Д. И.** Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Лаборатория на компьютере : в 2 т. / Д. И. Панфилов ; под общ. ред. Д. И. Панфилова. – Москва: МЭИ, 2004.
- 9 **Москатов, Е. А.** Справочник по полупроводниковым приборам / Е. А. Москатов. – Москва : Радио, 2005. – 208 с.
- 10 **Перельман, Б. Л.** Отечественные микросхемы и зарубежные аналоги : справочник / Б. Л. Перельман, В. В. Шевелев. – Москва : Микротех, 2000. – 375 с.

