

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

# ЭЛЕКТРОНИКА

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



Могилев 2021

УДК 621.313  
ББК 32.85  
Э 45

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «17» мая 2021 г.,  
протокол № 8

Составители: канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов;  
ст. преподаватель И. В. Курлович;  
канд. техн. наук, доц. А. А. Афанасьев

Рецензент ст. преподаватель Ю. С. Романович

Методические рекомендации предназначены для студентов очной формы  
обучения направления подготовки 09.03.04 «Программная инженерия» для  
выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электроника».

Учебно-методическое издание

## ЭЛЕКТРОНИКА

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Корректор	Т. А. Рыжикова
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 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2021

## Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Изучение лабораторного оборудования и программного обеспечения для моделирования работы электронных устройств, сбора и обработки данных.....	4
2 Лабораторная работа № 2. Исследование работы выпрямительного диода и стабилитрона.....	7
3 Лабораторная работа № 3. Исследование характеристик биполярных и полевых транзисторов. ....	11
4 Лабораторная работа № 4. Исследование работы однофазных неуправляемых выпрямителей.....	16
5 Лабораторная работа № 5. Исследование схем на основе операционных усилителей.....	20
6 Лабораторная работа № 6. Исследование работы генератора гармонических колебаний и мультивибратора. ....	24
7 Лабораторная работа № 7. Исследование работы логических элементов и триггеров. ....	27
8 Лабораторная работа № 8. Исследование работы регистров, счетчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов. ....	33
9 Лабораторная работа № 9. Моделирование и исследование работы цифрового прибора на микроконтроллере с аналоговым датчиком. ....	39
Список литературы .....	42

# 1 Лабораторная работа № 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 Порядок выполнения работы

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.

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 1.1 (мультиметр).

Таблица 1.1 – 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	–	–				

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

4 По заданию преподавателя собрать схему в «окне разработок», подключить виртуальные приборы (рисунок 1.1).

Выполнение задания:

– 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 генератор XFG1, осциллограф XSC1, амперметры и вольтметры U1-U4);

– соединить между собой компоненты, получив электрическую схему.

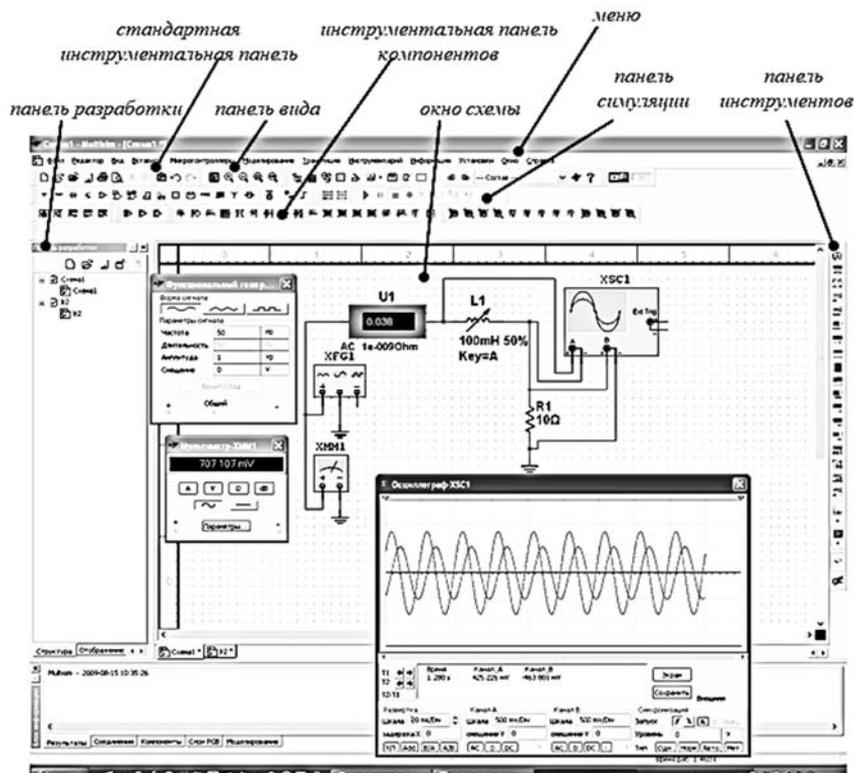


Рисунок 1.1 – Интерфейс среды Multisim

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.

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

Разработать виртуальный прибор для исследования параметров сигналов в среде LabVIEW (рисунок 1.2). Блок-диаграмма виртуального прибора содержит следующие блоки: «DAQAssistant» – обеспечивает сбор данных с устройства NI USB-6009; «AmplitudeandLevelMeasurements» – для определения действующего значения и постоянной составляющей напряжения; «ToneMeasurements» – для определения амплитуды и частоты сигнала.

С помощью генератора ЛЗ1 и блока управления БУ К32 сформировать сигналы, указанные в п. 2. Исследовать полученные сигналы с помощью виртуального прибора. Заполнить таблицу (виртуальный прибор). Сравнить измеренные значения с показаниями мультиметра К 32.

#### 6 Сделать выводы по результатам работы.

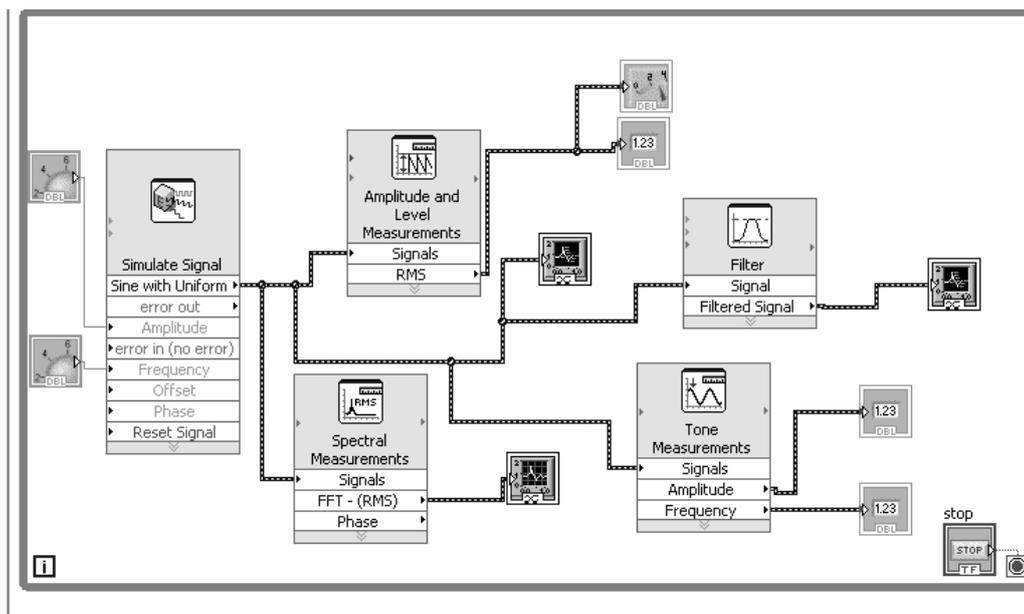
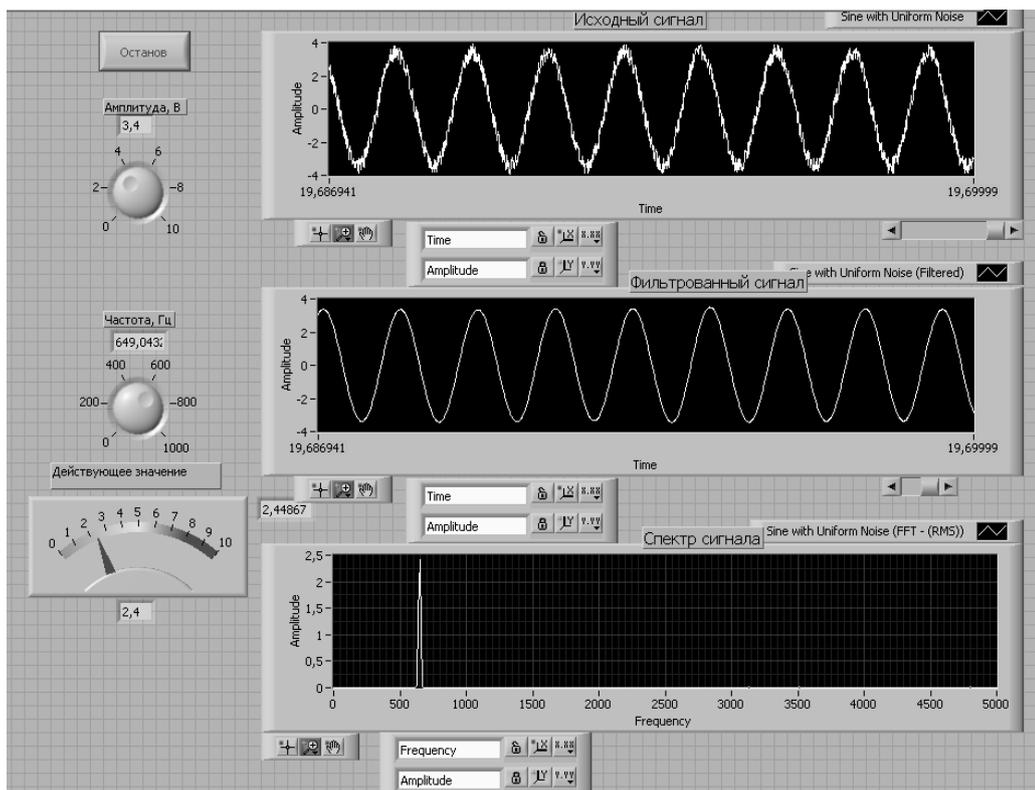


Рисунок 1.2 – Лицевая панель виртуального прибора и его диаграмма в среде LabVIEW

## 1.2 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.

## Контрольные вопросы

1 Опишите 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.

2 Опишите инструментальные панели среды Multisim.

3 Приведите порядок создания виртуального прибора в среде LabVIEW.

## 2 Лабораторная работа № 2. Исследование работы выпрямительного диода и стабилитрона

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

### 2.1 Порядок выполнения работы

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

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

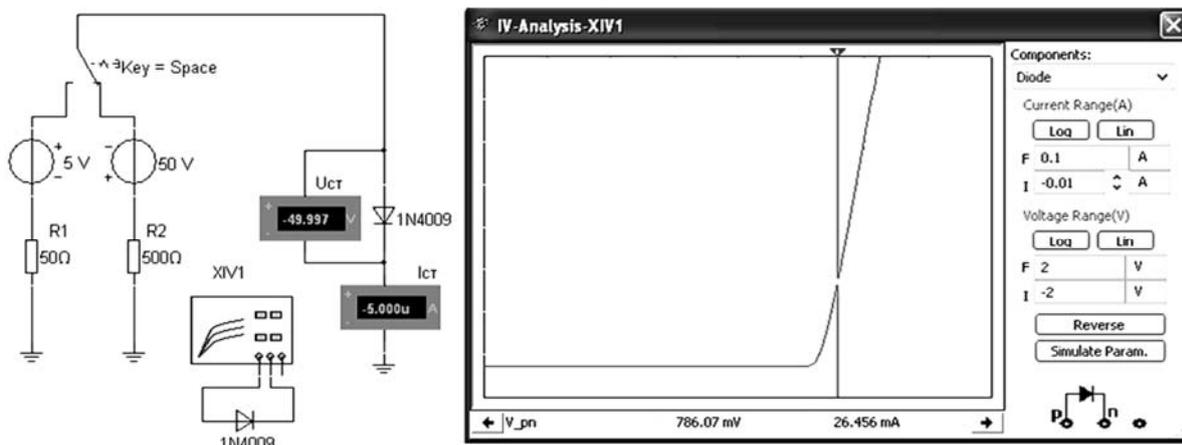


Рисунок 2.1 – Схема для снятия ВАХ в среде Multisim

Диод выбирается из библиотеки элементов согласно заданию и подключается к источнику постоянного напряжения. Для снятия обратной ветви ВАХ с помощью ключа меняется полярность источника ЭДС.

ВАХ можно получить с помощью характериографа XIV1.

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 подаётся от генератора ГН1 блока управления К32 или источника НУ3002-D2. Прямое падение напряжения на

диоде  $U_{np}$  поступает на дифференциальный канал  $A11$ , а напряжение на ограничивающем резисторе  $R_1$  – на дифференциальный канал  $A12$  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». Выход формируется с помощью блоков «Build XY Graph» и «XY Graph» (см. рисунок 2.3) и отображается в виде, представленном на рисунке 2.2.

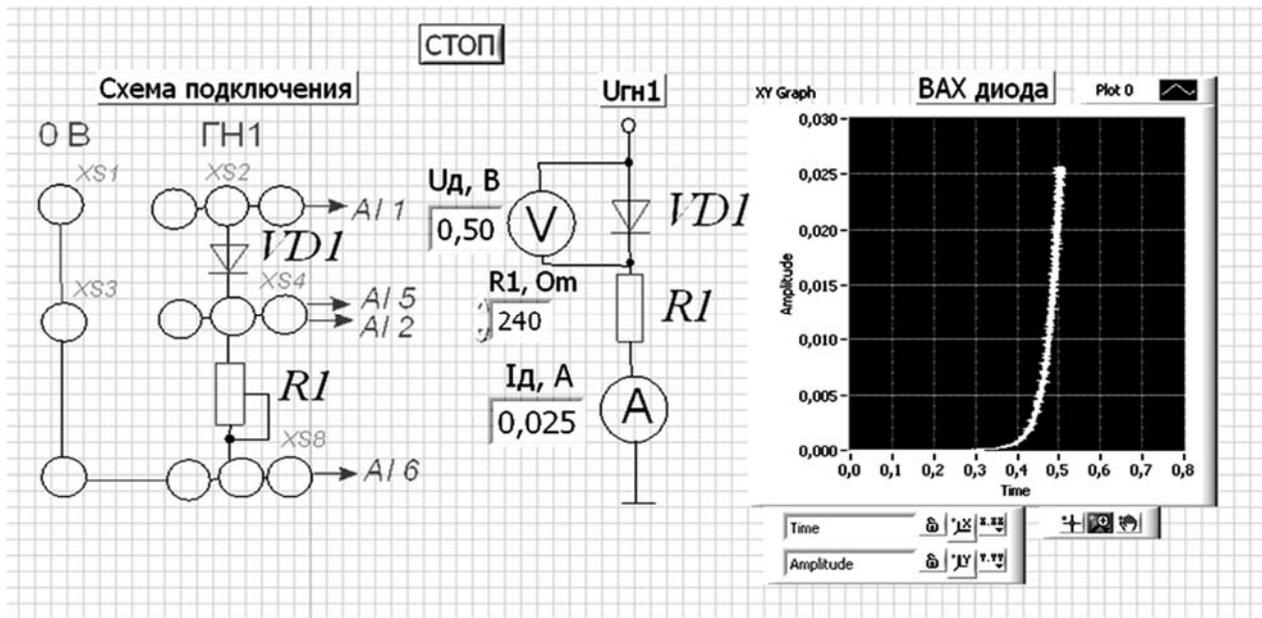


Рисунок 2.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования выпрямительного диода в среде LabVIEW

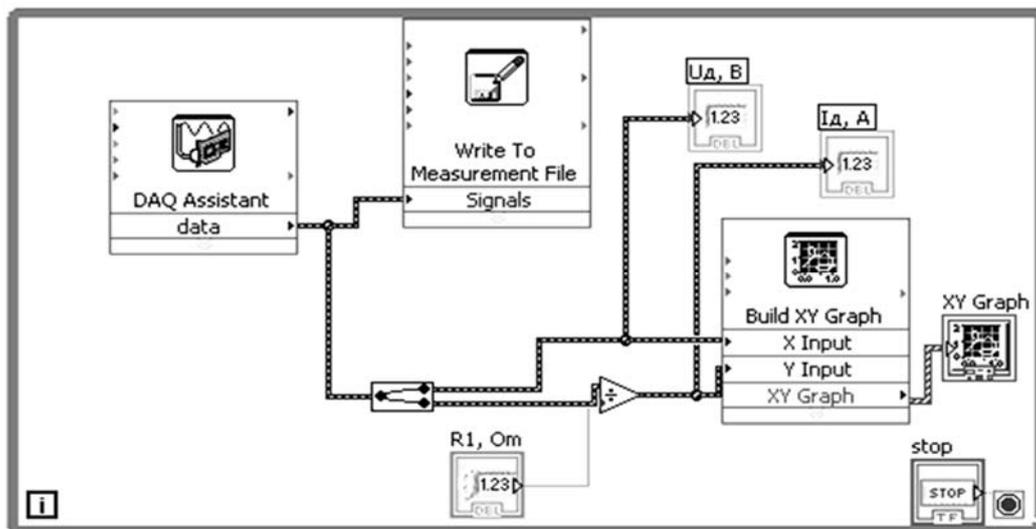


Рисунок 2.3 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для экспериментального снятия характеристик

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.

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	$U_{ст \text{ ном}}$ , В	$U_{ст \text{ min}}$ , В	$U_{ст \text{ max}}$ , В	$I_{ст \text{ min}}$ , мА	$I_{ст \text{ max}}$ , мА	$I_{ст \text{ ср}}$ , мА	$R_{диф}$ , Ом
Паспортные данные							
Моделирование							
Эксперимент							

Таблица 2.3 – Параметры параметрического стабилизатора

$E_{min}, В$	$E_{max}, В$	$E_{cp}, В$	$R_H, Ом$	$I_H, mA$	$U_{cm}, В$	$I_{cm}, mA$	$R_0, Ом$

6 Получить вольт-амперную характеристику стабилитрона в программе Multisim с помощью характериографа XIV1 (рисунок 2.4). Стабилитрон выбирается из библиотеки элементов согласно заданию.

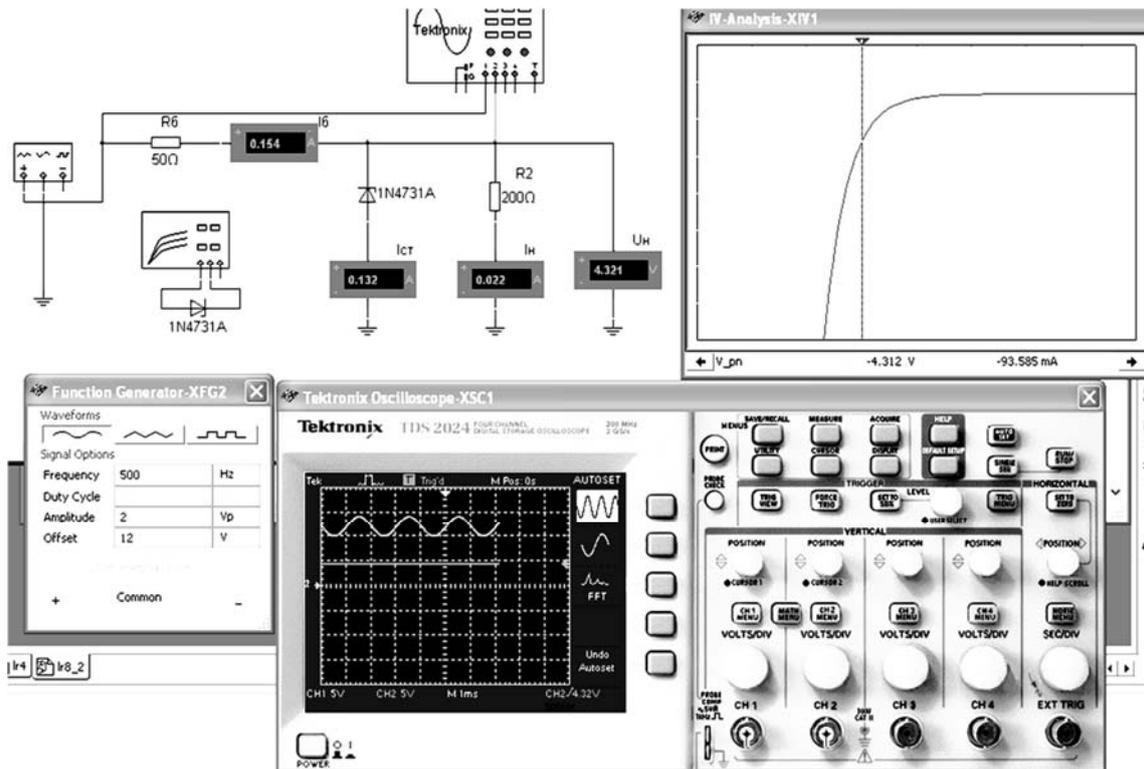


Рисунок 2.4 – Схема для снятия ВАХ стабилитрона и исследования параметрического стабилизатора напряжения в среде Multisim

7 Для экспериментального получения ВАХ стабилитрона на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 2.2 (вместо диода подключить стабилитрон, подавать на вход отрицательное напряжение  $U_{ZH1}$ ).

8 По полученным ВАХ стабилитрона определить  $U_{cm}$ ,  $I_{cm}$ , дифференциальное сопротивление стабилитрона на участке стабилизации  $R_{diff}$ . Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты со справочными данными. Заполнить таблицы 2.2 и 2.3.

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

10 Сделать выводы по результатам работы.



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 характеристикографа XIV1.

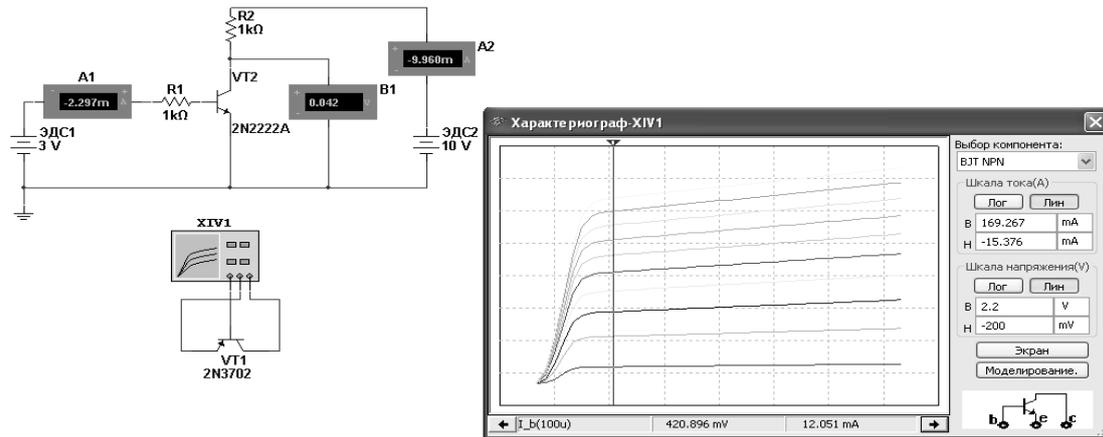


Рисунок 3.1 – Схема для снятия входных и выходных ВАХ биполярного транзистора в среде Multisim

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

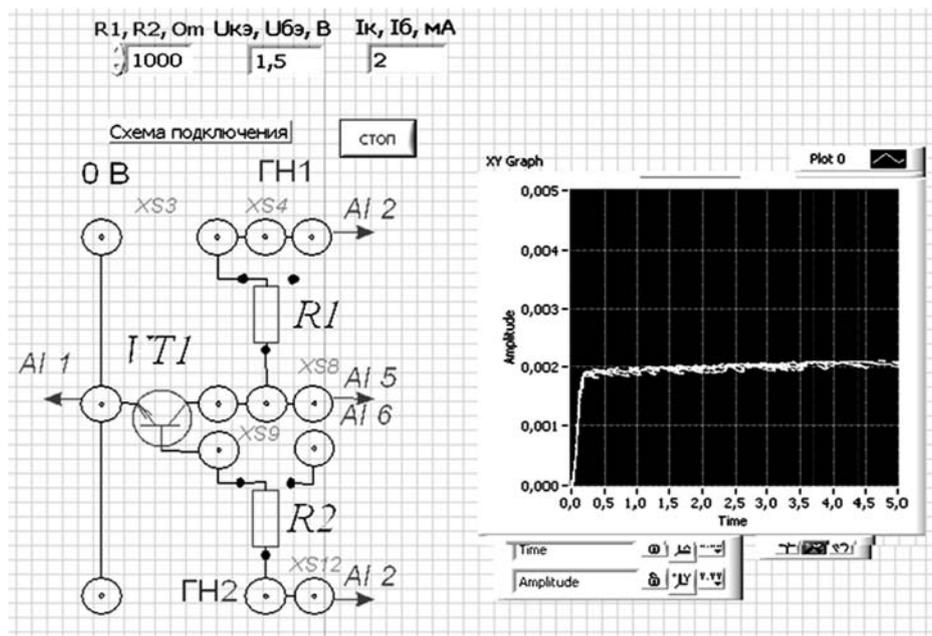


Рисунок 3.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования параметров биполярного транзистора в среде LabVIEW

Постоянное напряжение на вход схемы подаётся от генератора ГН1 блока управления К32 или источника НУ3002-D2 и снимается каналом А12 устройства сбора данных NI USB-6009. Напряжение  $U_{кэ}$  поступает на канал А11. 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 А12 устройства сбора данных NI USB-6009 подключить к генератору ГН2 (гнездо XS12), канал А16 – к гнезду XS8, изменить в формуле для закона Ома  $R_1$  на  $R_2$  (снимаем ток базы), канал А11 подключить к гнезду XS3.

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

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	Результат вычислений			
	$h_{11э}$ , Ом	$h_{12э}$	$h_{21э}$	$h_{22э}$ , См
Моделирование				
Эксперимент				

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  $I_c < 0,5I_{c\max}$ . Заполнить таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Исходные данные

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

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.

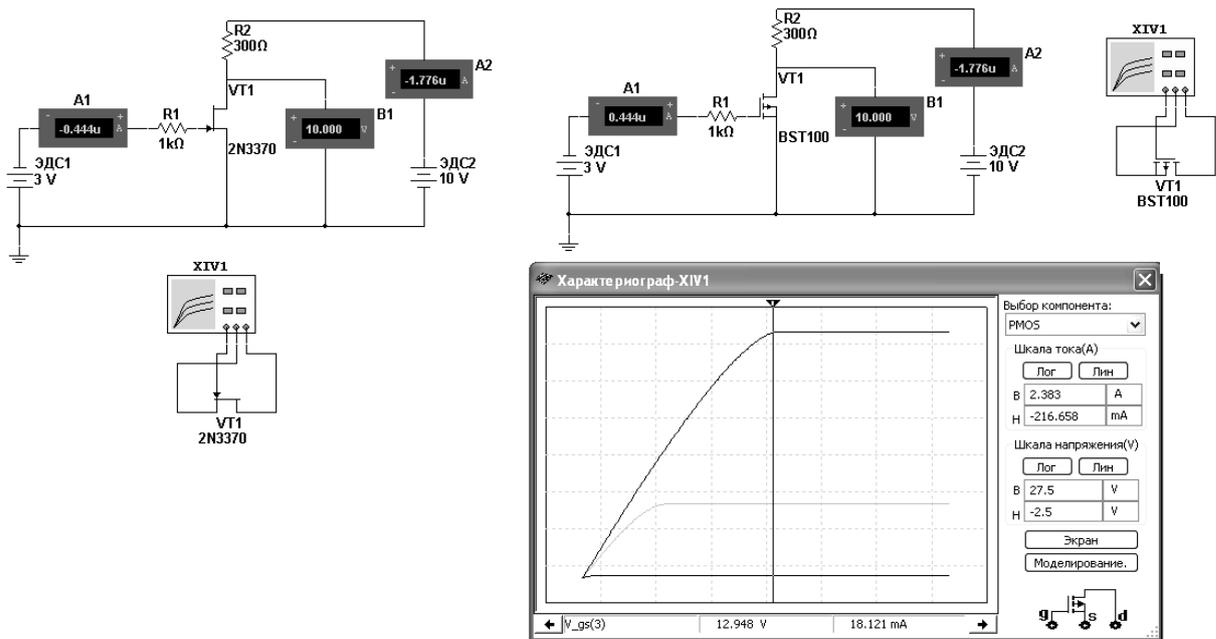


Рисунок 3.3 – Схемы для снятия стоко-затворной и выходных ВАХ полевых транзисторов с управляющим  $p-n$ -переходом и изолированным затвором в среде Multisim

Транзистор выбирается из библиотеки элементов согласно заданию. На затвор подается напряжение от источника ЭДС-1, который задает ток затвора  $I_z$ , измеряемый амперметром A1. Напряжение сток-исток задается источником ЭДС-2, ток в цепи стока измеряется амперметром A2, напряжение – вольтметром B1. Выходную ВАХ можно получить с помощью характерографа.

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

Постоянное напряжение на вход схемы подается от генератора ГН1 блока управления К32 и снимается каналом A12 устройства сбора данных NI USB-6009. Напряжение сток-исток  $U_{cu}$  поступает на канал A11. Для определения тока стока  $I_c$  необходимо применить закон Ома:

$$I_{\kappa} = \frac{U_{R_2}}{R_2}.$$

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  $U_{cu}$ , сравнить их с полученными при моделировании.

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

9 Сделать выводы по результатам работы.

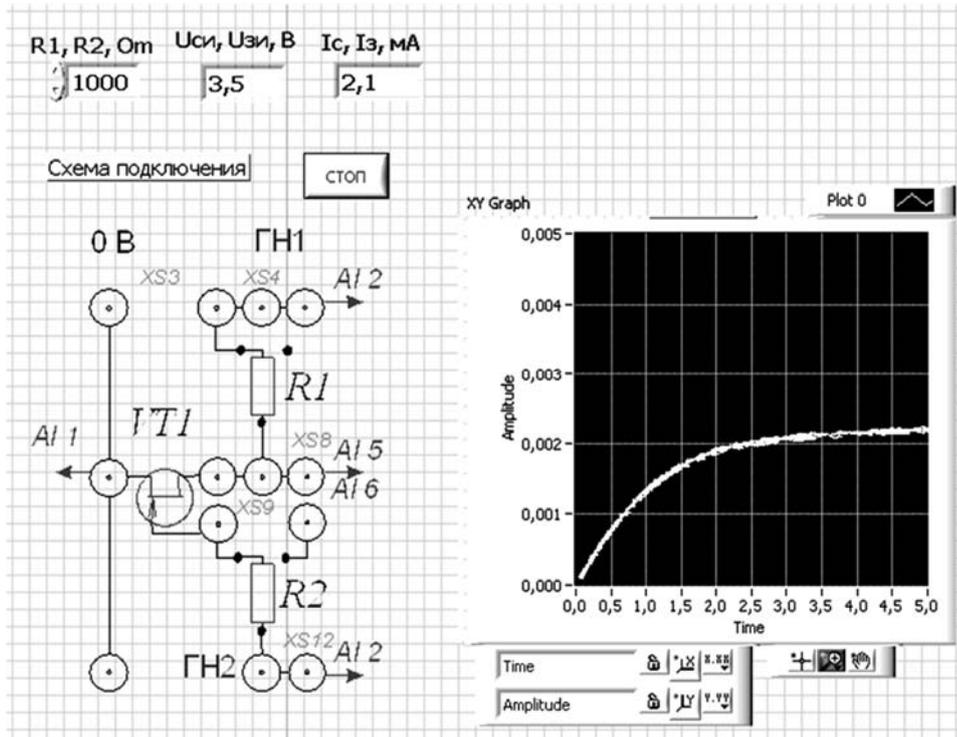


Рисунок 3.4 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования параметров полевого транзистора в среде LabVIEW

Таблица 3.4 – Параметры полевого транзистора

Способ исследования	Результат вычислений		
	$S_i, \text{мА/В}$	$R_i, \text{кОм}$	$\mu_i$
Моделирование			
Эксперимент			

### 3.2 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?

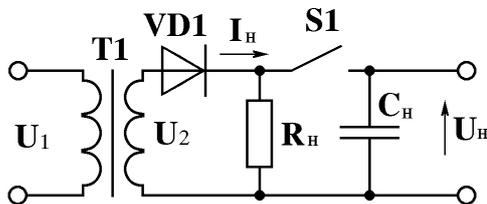
## 4 Лабораторная работа № 4. Исследование работы однофазных неуправляемых выпрямителей

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

### 4.1 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Рассчитать параметры выпрямителей однофазного однополупериодного, двухполупериодного мостового (рисунки 4.1 и 4.2), обеспечив заданные преподавателем параметры нагрузки. Заполнить таблицу 4.1.

a)



б)

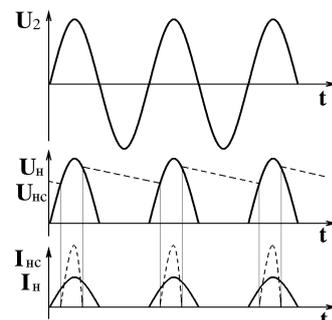
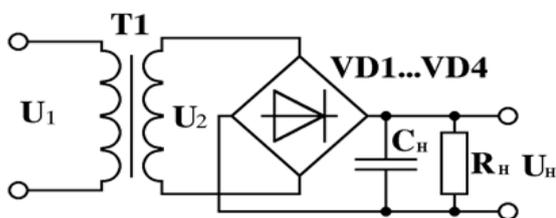


Рисунок 4.1 – Схема и временные диаграммы однофазного однополупериодного выпрямителя

a)



б)

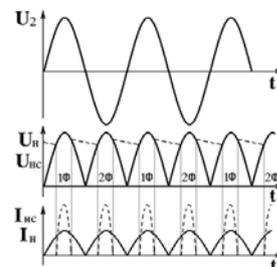


Рисунок 4.2 – Схема и временные диаграммы двухполупериодного мостового выпрямителя

Сравнительные показатели схем выпрямления приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.1 – Исходные данные и результаты расчёта схемы выпрямителей

Схема выпрямления	Заданные параметры				
	$U_1$ , В	$f$ , Гц	$U_H$ , В	$R_H$ , Ом	$k_H$
Однополупериодная					
Двухполупериодная мостовая					

Продолжение таблицы 4.1

Схема выпрямления	Рассчитанные параметры							
	$U_2$ , В	$k_{TP}$	$I_2$ , А	$S_{TP}$ , ВА	$I_D$ , А	$U_{OBR \max}$ , В	$C_{\Phi}$ , мкФ	$k_{CG}$
Однополупериодная								
Двухполупериодная мостовая								

Таблица 4.2 – Сравнительные показатели схем выпрямления

Тип схемы	$m$	$U_2/U_H$	$I_2/I_H$	$k_{ПД}$	$S_{TP}/P_H$	$I_D/I_H$	$U_{OBR \max}/U_H$
Однополупериодная	1	2,22	1,57	1,57	3,1	1	3,14
Мостовая однофазная	2	1,11	1,11	0,667	1,23	0,5	1,57

Здесь  $m$  – число – пульс выпрямленного напряжения за период;

$U_2, I_2$  – действующее значение напряжения и тока вторичной обмотки;

$U_H, I_H$  – средневыврямленное значение напряжения и тока в нагрузке;

$S_{TP}$  – полная мощность трансформатора;

$I_D$  – расчётный прямой ток диода;

$U_{OBR \max}$  – расчётное максимально допустимое обратное напряжение

диода;

$P_H$  – требуемая мощность нагрузки,

$$P_H = U_H I_H.$$

Коэффициент пульсаций по первой гармонике с амплитудой  $U_{m1}$

$$k_{ПД} = U_{m1} / U_H.$$

Коэффициент сглаживания пульсаций  $k_{CG}$

$$k_{CG} = k_{ПД} / k_H.$$

Для емкостного фильтра:

– при однополупериодной схеме выпрямления  $C \geq 2 / (K_n \omega R_H)$ ;

– при двухполупериодной схеме выпрямления  $C \geq 1 / (K_n \omega R_H)$ .

2 По результатам моделирования и эксперимента заполнить таблицу 4.3.

3 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы выпрямителей в программе Multisim, построив их модели согласно

рисункам 4.3 и 4.4. Напряжения и токи в схемах отображаются с помощью виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа XSC1.

Таблица 4.3 – Параметры схем выпрямления

Схема выпрямления	Результат измерений						Результат вычислений
		$U_1$ , В	$U_2$ , В	$I_2$ , мА	$U_H$ , В	$I_H$ , мА	$k_H$
Однофазная однополупериодная	Моделирование						
	Эксперимент						
Двухполупериодная мостовая	Моделирование						
	Эксперимент						

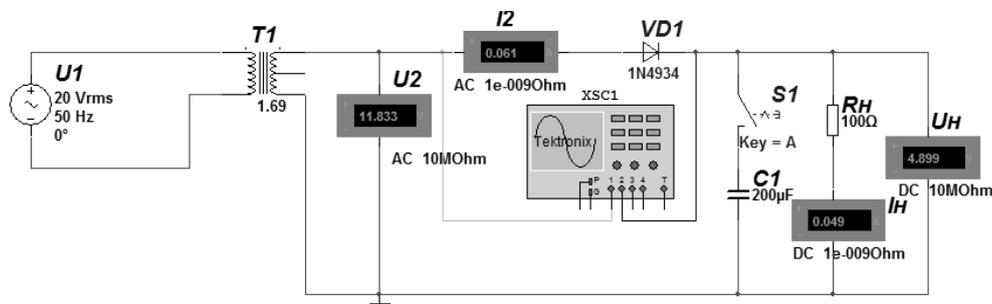


Рисунок 4.3 – Схема однофазного однополупериодного выпрямителя в среде Multisim

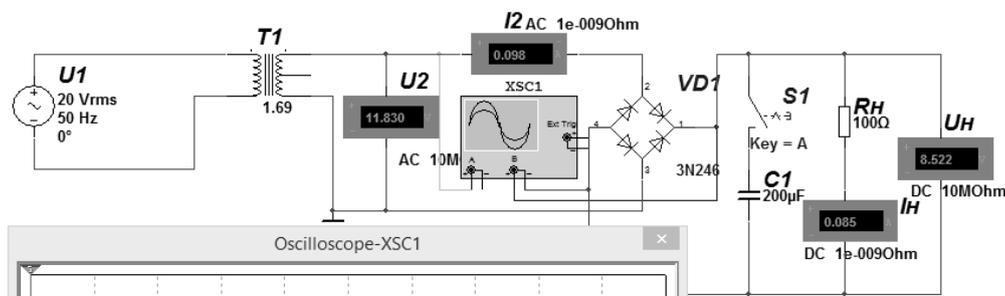


Рисунок 4.4 – Схема однофазного двухполупериодного мостового выпрямителя в среде Multisim

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

5 Измерить значение тока нагрузки  $I_H$ , действующего значения тока вторичной обмотки трансформатора  $I_2$ . Определить коэффициент пульсаций нагрузки с фильтром  $k_H$ . Для определения амплитуды первой гармоники выпрямленного напряжения  $U_{m1}$  воспользоваться анализатором спектра XSA1.

Результаты занести в таблицу 4.3 (моделирование).

6 Для экспериментального исследования однофазного однополупериодного выпрямителя на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 4.5. Синусоидальное напряжение  $U_2$  подается от генератора сигналов Г6-46.

7 Для экспериментального исследования двухполупериодного выпрямителя на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 4.6.

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

9 Сделать выводы по результатам работы.

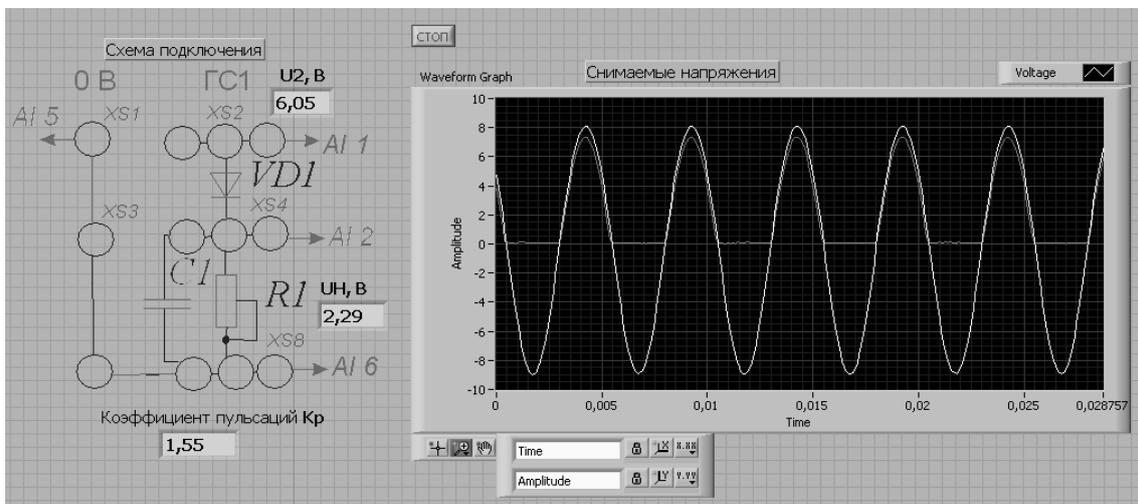


Рисунок 4.5 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования однополупериодного выпрямителя в среде LabVIEW

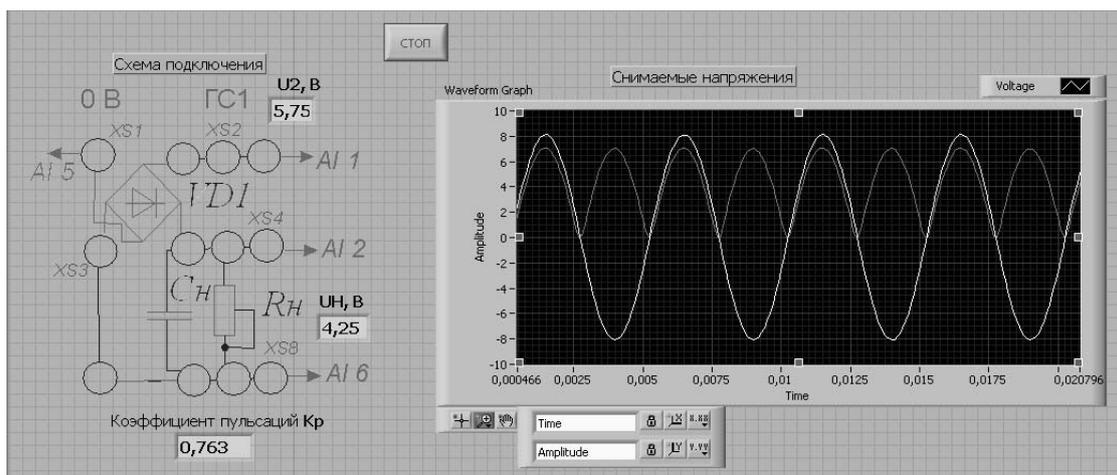


Рисунок 4.6 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования двухполупериодного мостового выпрямителя в среде LabVIEW

## 4.2 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, задание к работе, схемы для моделирования работы выпрямителей в среде Multisim, блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно, осциллограммы напряжений на вторичной обмотке трансформатора и нагрузке, основные параметры выпрямителей в виде таблицы, выводы по работе.

### Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип работы схем однофазных неуправляемых выпрямителей.
- 2 Опишите порядок расчёта схем однофазных неуправляемых выпрямителей.
- 3 Приведите диаграммы входного и выходного напряжения для однофазных неуправляемых выпрямителей.

## 5 Лабораторная работа № 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

На основе операционных усилителей строят усилительные схемы, а также устройства для выполнения различных математических операций (рисунок 5.1): *инвертирующий усилитель* (а); *неинвертирующий усилитель* (в); *операционный повторитель* (д), выходной сигнал которого почти равен входному; *интегратор* (б), выходной сигнал которого пропорционален интегралу по времени от его входного сигнала; *дифференциатор* (г), выходной сигнал которого пропорционален производной от его входного сигнала; *сумматор* (е), выходное напряжение которого равно инвертированной сумме входных напряжений, и др.

1 На основании заданного преподавателем типа операционного усилителя, используя справочник, заполнить таблицу 5.1.

2 По заданным параметрам заполнить таблицу 5.2 и произвести расчет устройств (рисунок 5.1 а, б, е). Резисторы выбрать из ряда E24.

3 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы устройств, представленных на рисунке 5.2 в программе Multisim. 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 «АС». Результаты моделирования для неинвертирующего усилителя занести в таблицу 5.3 (моделирование).

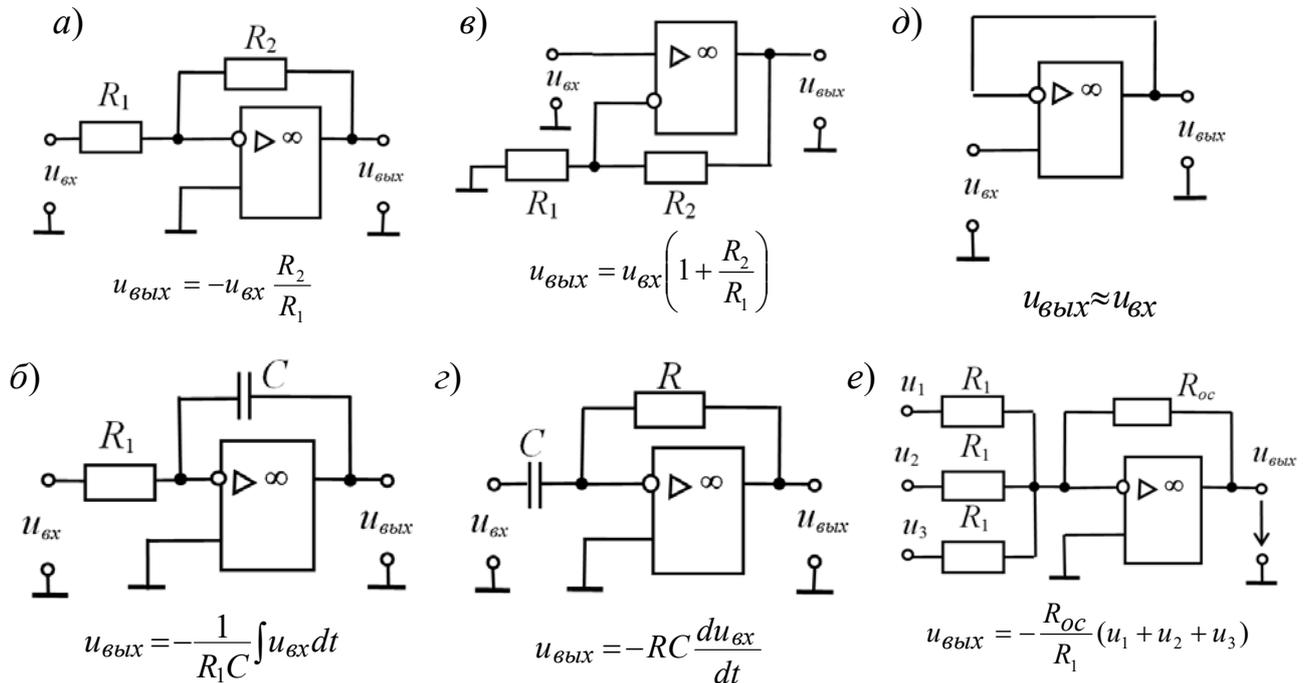


Рисунок 5.1 – Устройства на базе операционных усилителей

Таблица 5.1 – Параметры ОУ

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

Таблица 5.2 – Исходные данные

Тип ОУ	Заданные параметры (рисунок 5.1, а)		Заданные параметры (рисунок 5.1, в)		Заданные параметры (рисунок 5.1, е)			
	$u_{\text{вх}}$ , В	$u_{\text{вых}}$ , В	$u_{\text{вх}}$ , В	$u_{\text{вых}}$ , В	$u_1$ , В	$u_2$ , В	$u_3$ , В	$u_{\text{вых}}$ , В
Рассчитанные параметры								
(рисунок 5.1, а)		(рисунок 5.1, в)		(рисунок 5.1, е)				
$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом			

Получить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) неинвертирующего усилителя, изменяя частоту входного сигнала или воспользовавшись плоттером Боде (Bode Plotter ХВР1). 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 напряже-

ние 1 В с частотой 1 кГц. Напряжение на выходе пронаблюдать с помощью осциллографа.

Таблица 5.3 – Параметры усилительного каскада

Тип данных	Параметры		
	$u_{вх}, В$	$u_{вых}, В$	$K_u$
Задано			
Моделирование			
Эксперимент			

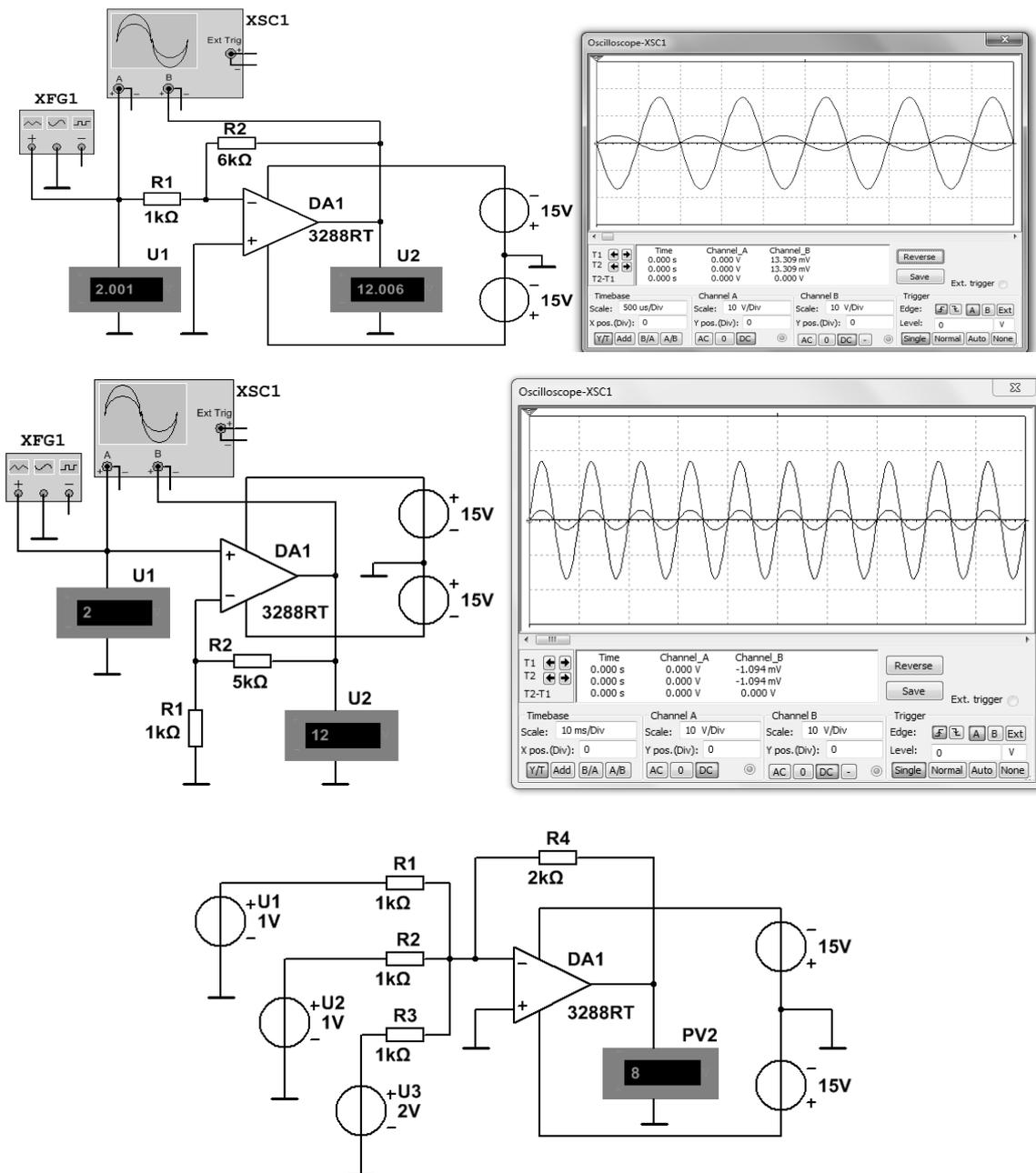


Рисунок 5.2 – Схемы инвертирующего усилителя (вверху), неинвертирующего усилителя (в центре) и сумматора (внизу) в среде Multisim

4 Экспериментально исследовать неинвертирующий усилитель на базе заданного преподавателем ОУ. Для этого на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 5.3. На вход схемы подавать синусоидальное напряжение от генератора  $U_{ГС1}$ . Блок-диаграмма виртуального прибора для снятия характеристик в среде LabVIEW приведена на рисунке 5.4.

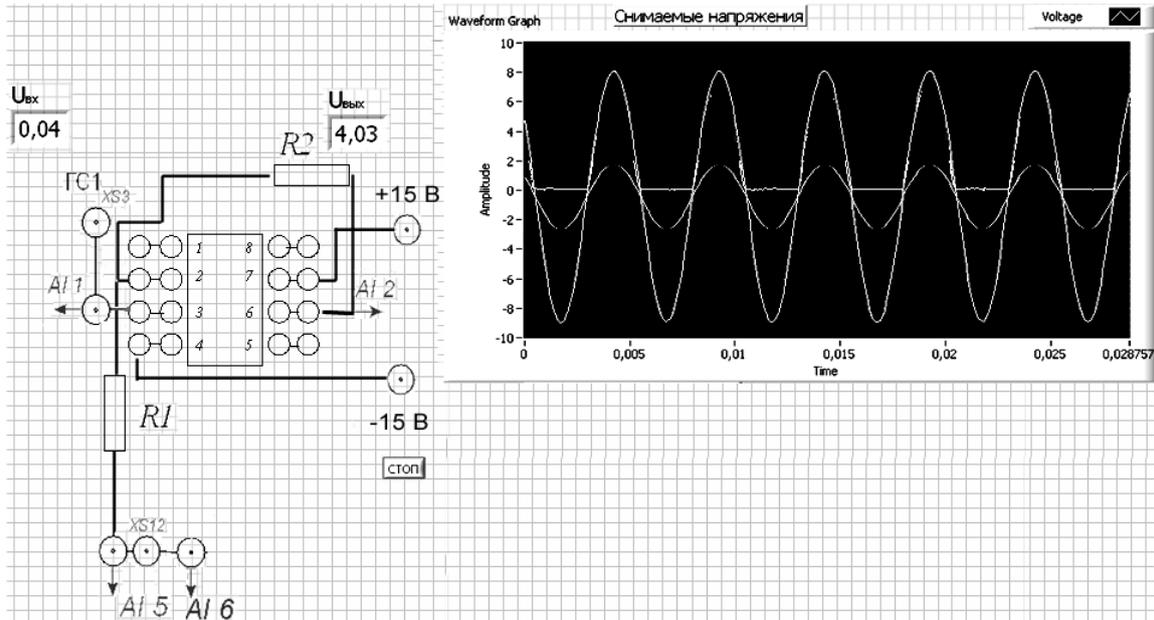


Рисунок 5.3 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования неинвертирующего усилителя на базе ОУ в среде LabVIEW

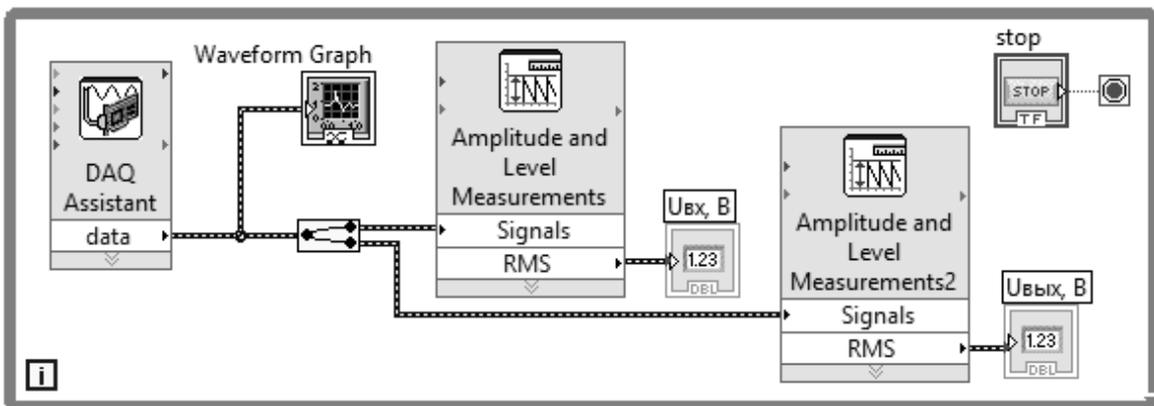


Рисунок 5.4 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для экспериментального исследования неинвертирующего усилителя на базе ОУ

5 Определить основные параметры усилительного каскада. Результаты занести в таблицу 5.3 (эксперимент). Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

6 Сделать выводы по результатам работы.

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

### Контрольные вопросы

- 1 Изобразите схему инвертирующего усилителя на базе ОУ.
- 2 Изобразите схему интегрирующего устройства на базе ОУ.
- 3 Изобразите схему инвертирующего сумматора на базе ОУ.

## 6 Лабораторная работа № 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

1 На основании заданного преподавателем значения частоты  $f$  необходимо рассчитать сопротивление  $R$  и ёмкость  $C$  фазоинвертора для RC-генератора с фазосдвигающими цепочками (рисунок 6.1), сопротивление  $R$  и ёмкость  $C$  генератора с мостом Вина (рисунок 6.2), ёмкость  $C$  и сопротивление  $R_0$  мультивибратора (рисунок 6.3). Выбрать стандартные значения сопротивлений из ряда E24, заполнить таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Исходные данные и результаты расчёта

$f$ , кГц	RC-генератор с фазосдвигающими цепочками		RC-генератор с мостом Вина		Мультивибратор	
	$R$ , Ом	$C$ , мкФ	$R$ , Ом	$C$ , мкФ	$R_0$ , Ом	$C$ , мкФ

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 практических занятий.

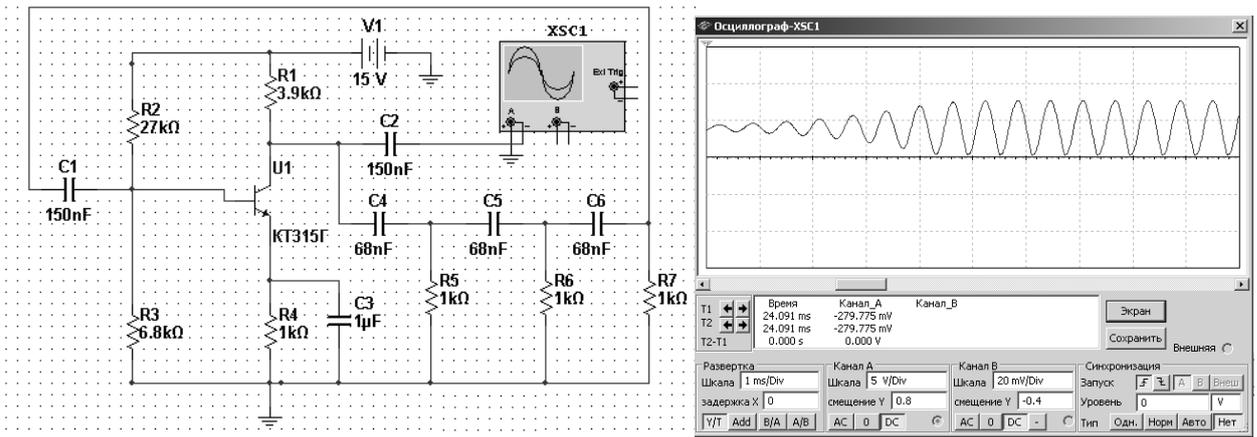


Рисунок 6.1 – RC-генератор

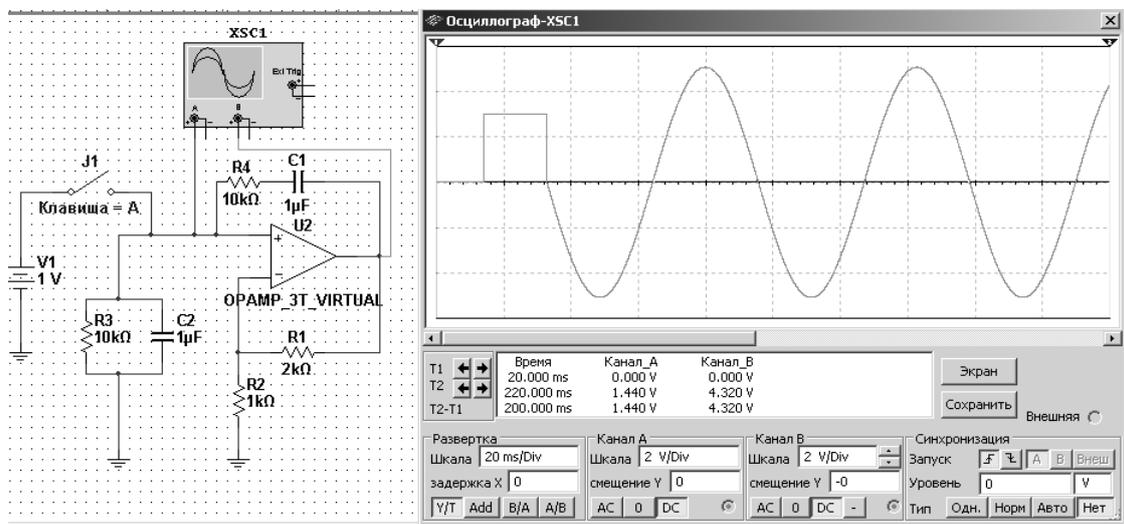


Рисунок 6.2 – Генератор с мостом Вина в обратной связи

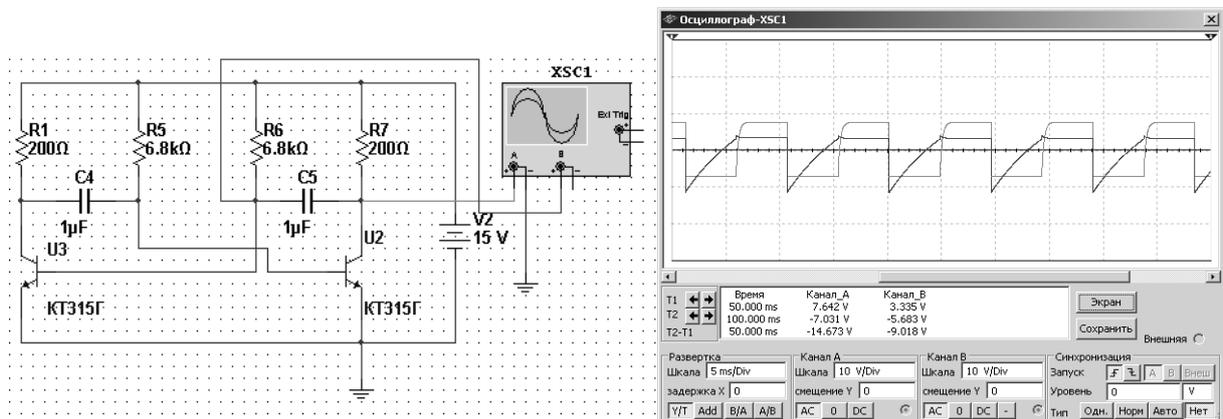


Рисунок 6.3 – Симметричный мультивибратор

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	$t\phi$ , мс
Моделирование									
Эксперимент	–	–	–				–	–	–

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

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.

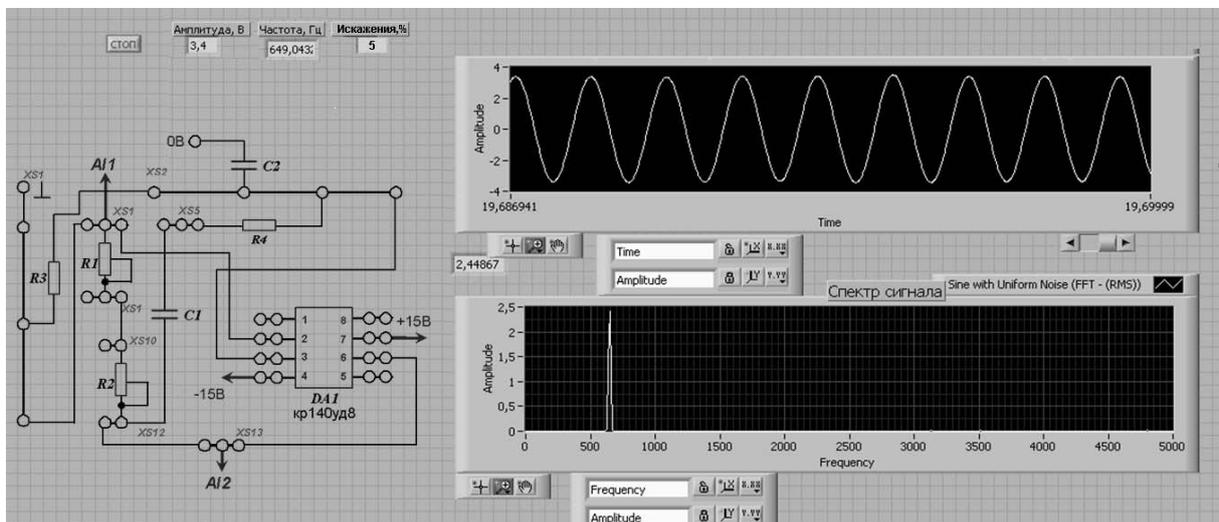


Рисунок 6.4 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования генератора с мостом Вина в среде LabVIEW

Напряжение питания операционного усилителя (+15В, -15В) на схему подается с блока управления К32 или источника НУ 3002-D2. Выходной сигнал генератора снимается каналом  $A1/1$  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.

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

4 Сделать выводы по результатам работы.

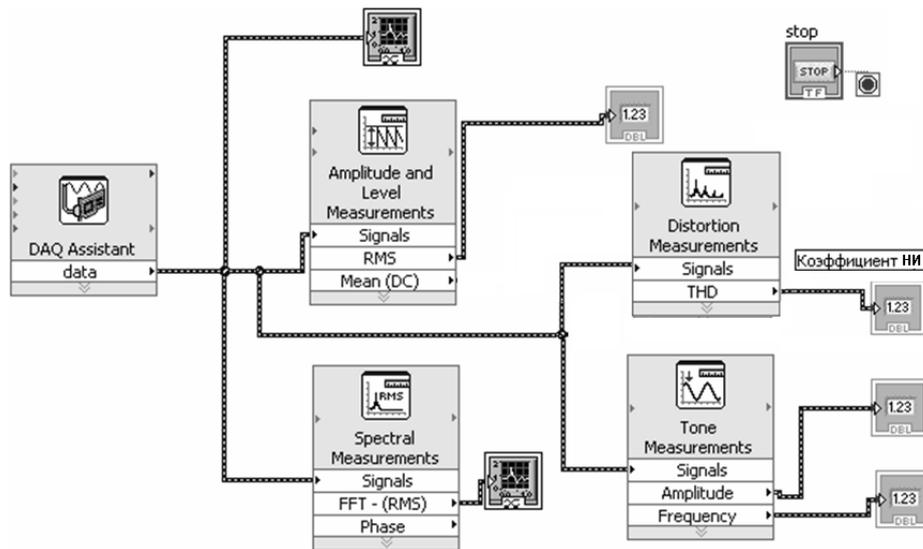


Рисунок 6.5 – Блок-диаграмма для исследования в среде генератора с мостом Вина в среде LabVIEW

## 6.2 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, осциллограммы выходных напряжений, основные параметры генераторов (см. таблицы 6.1 и 6.2), выводы по работе.

### Контрольные вопросы

- 1 Изобразите схему и приведите порядок расчёта RC-генератора с фазосдвигающими цепями.
- 2 Изобразите схему и приведите порядок расчёта RC-генератора с мостом Вина.
- 3 Изобразите схему и приведите порядок расчёта мультивибратора.

## 7 Лабораторная работа № 7. Исследование работы логических элементов и триггеров

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

### 7.1 Порядок выполнения работы

- 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.

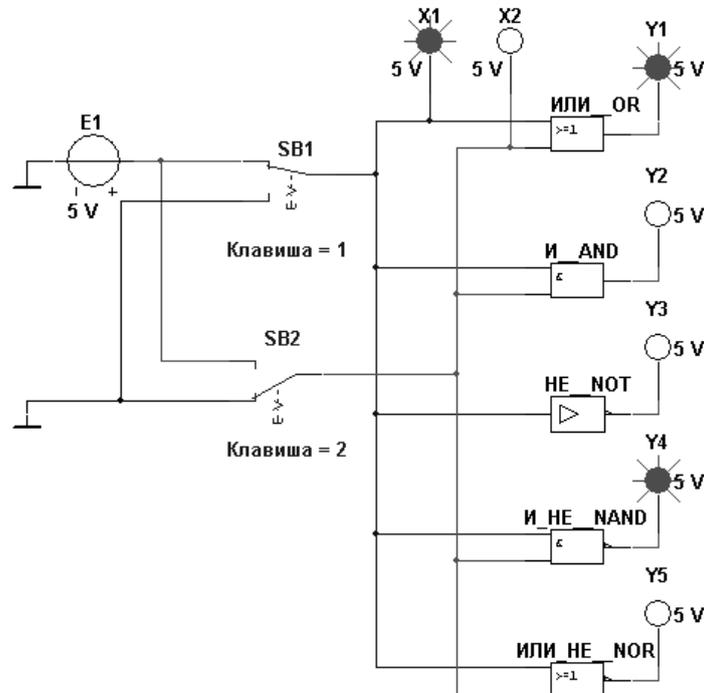


Рисунок 7.1 – Схема для исследования основных и базовых логических элементов

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	

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.

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

Питание микросхемы осуществляется от источника НУ3002-D2 или выхода +5 В устройства сбора данных NI USB-6009. Сигналы входных переменных  $X$  формируются цифровыми выходами P0.0..P0.2 устройст-

ва 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.

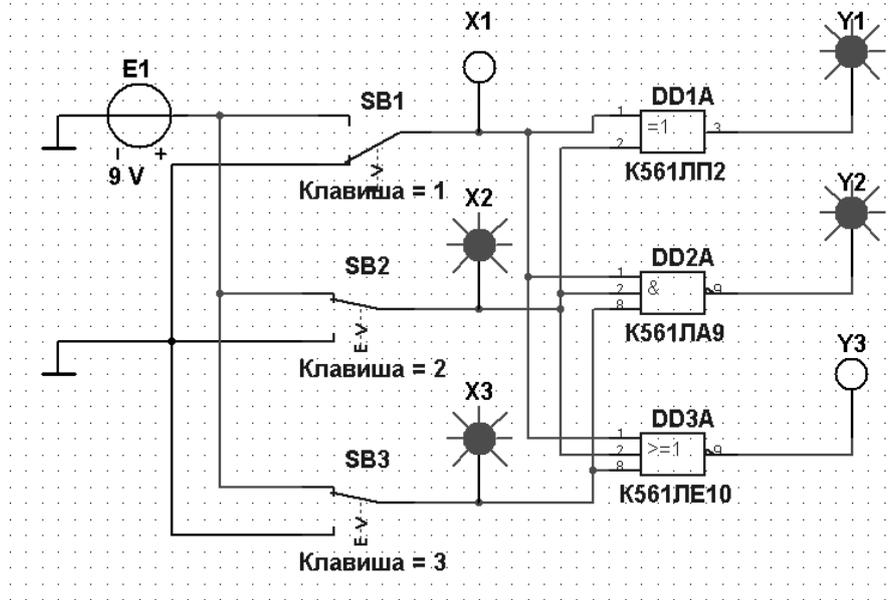


Рисунок 7.2 – Схема для исследования логических элементов серии К561

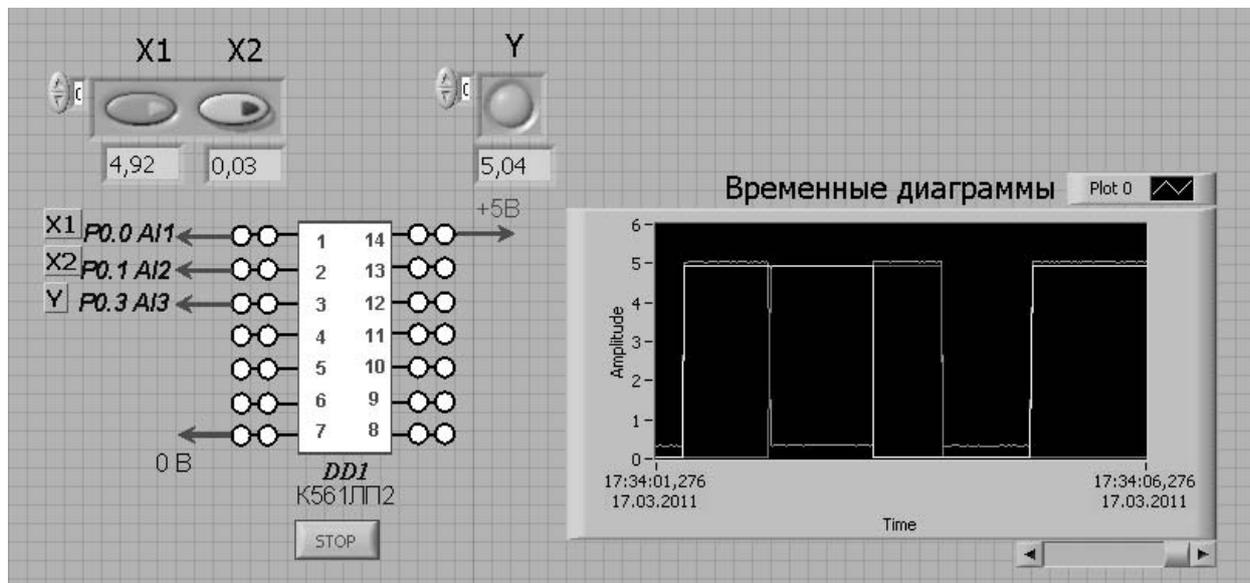


Рисунок 7.3 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования логических элементов в среде LabVIEW

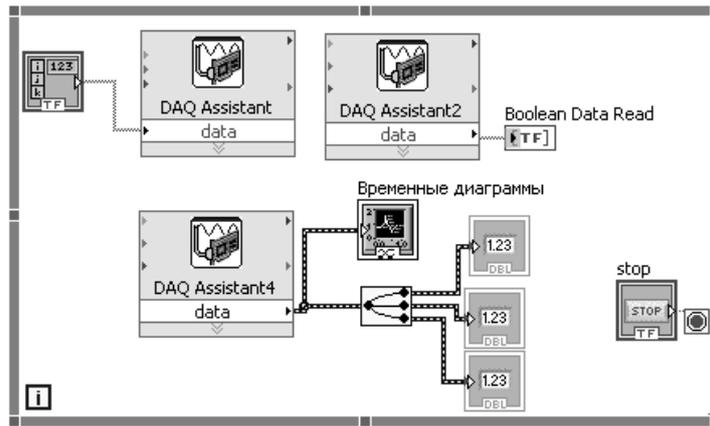


Рисунок 7.4 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для исследования логических элементов

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

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

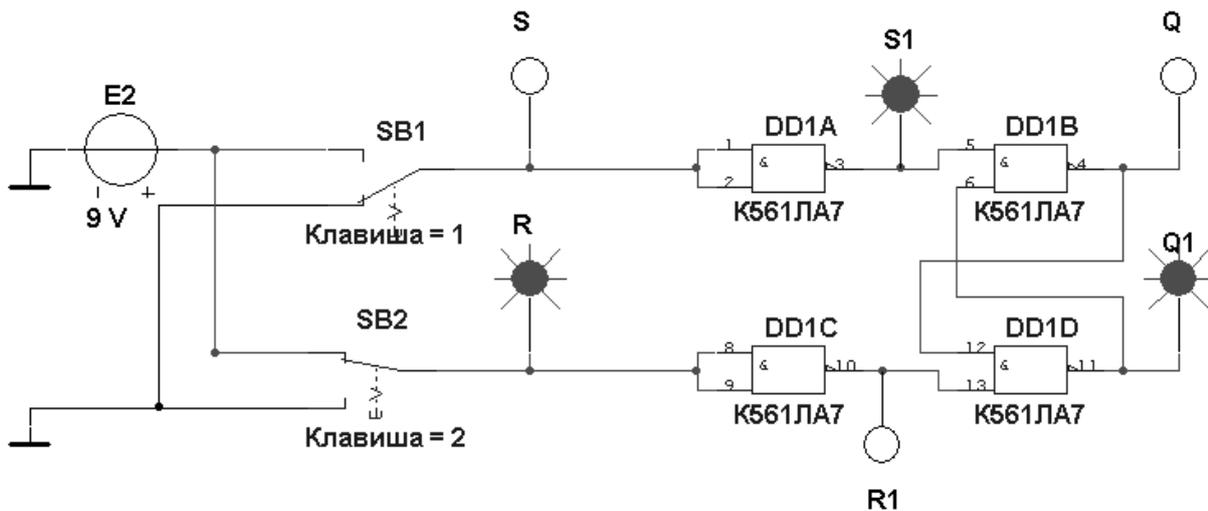


Рисунок 7.5 – Схема RS-триггера на логических элементах серии K561

Воспользовавшись порядком засвечивания пробников и задавая коды (00, 01, 10) состояния ключей SB1 и SB2 (входных сигналов), составить таблицу истинности RS-триггера.

5 В программе Multisim собрать схему испытания триггеров JK и D (рисунок 7.6) по заданию преподавателя. В схему включены генератор XWG1 (частота  $f_z = 500$  кГц) и логический анализатор XLA1.

На 1CLR - и 1PR -входы триггеров 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  $E_1$ .

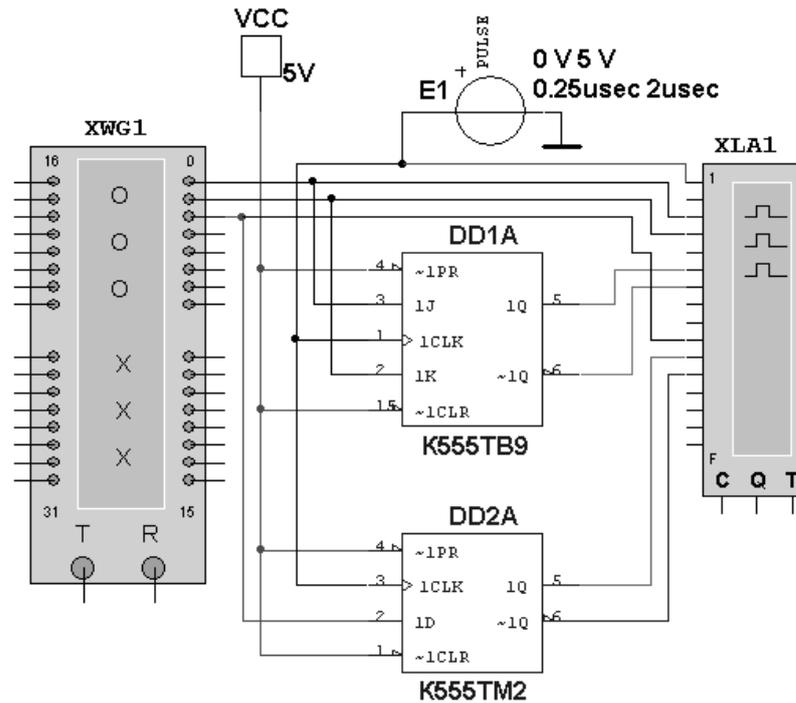


Рисунок 7.6 – Схема для исследования *JK*- и *D*-триггеров

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 трёхразрядные кодовые комбинации (рисунок 7.7): 010, 100, 111, 001, 100, 010.

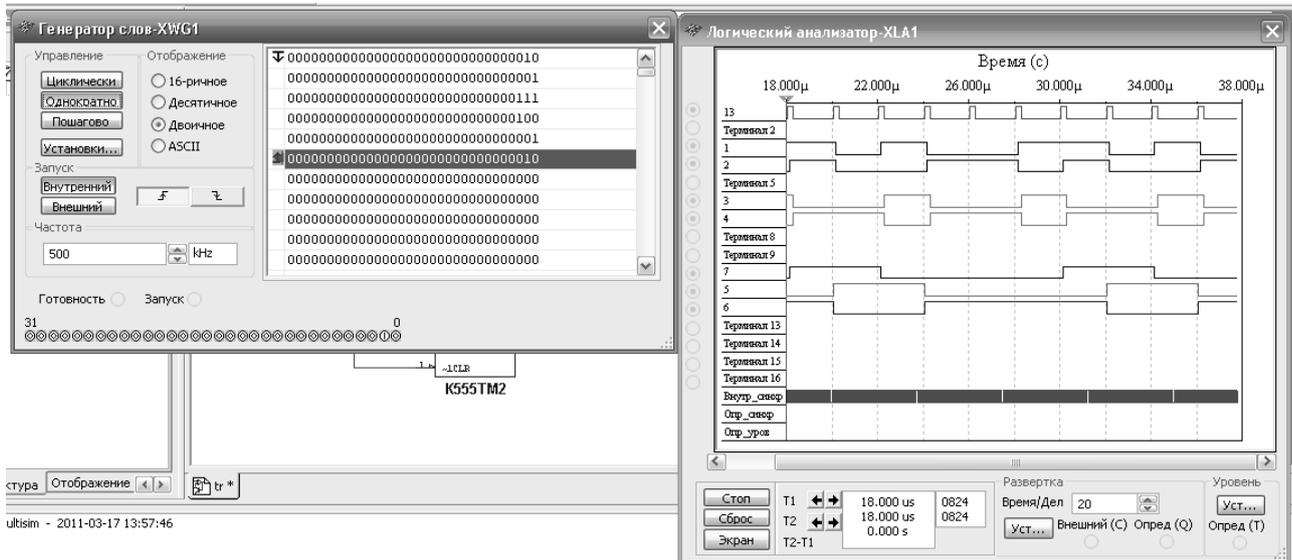


Рисунок 7.7 – Цифровые комбинации и временные диаграммы триггеров

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

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



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

7 Сделать выводы по результатам работы.

## 7.2 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 транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ)?
- 2 Какова величина напряжения питания элемента эмиттерно-связанной логики (ЭСЛ)?
- 3 Какая характерная особенность ТТЛ?
- 4 Что является основой базового логического элемента ЭСЛ?
- 5 Чему равно напряжение логической единицы?
- 6 Чему равно напряжение логического нуля?

## 8 Лабораторная работа № 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

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.

Универсальный 4-разрядный регистр сдвига 74НС194N\_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 (А, В, С, D), параллельные выходы (QA, QB, QC, QD), последовательные входы (SR, SL), цепь прямой очистки регистра по входу  $\overline{CLR}$  и управляющие входы (S0 и S1) – входы задания режима:

- S0 = 1, S1 = 1 – запись данных в регистр по входам А, В, С, 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).

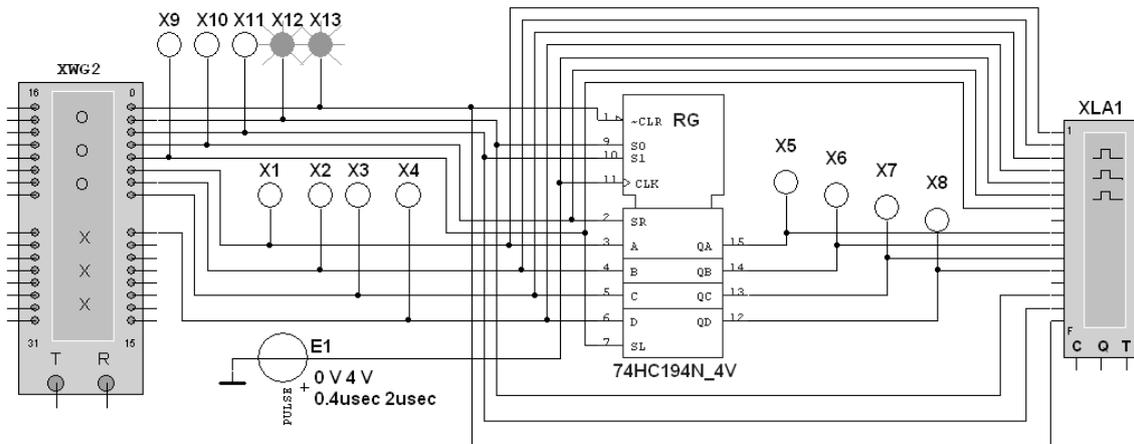


Рисунок 8.1 – Схема для моделирования работы универсального регистра сдвига

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.

Таблица 8.1 – Правила функционирования регистра 74HC194\_4V

		Вход								Выход			
Сброс	Старт	Режим		Последовательный вход		Параллельный вход							
$\overline{CLR}$	$\overline{CLX}$	S0	S1	SR	SL	A	B	C	D	QA	QB	QC	QD
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0
1	0	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

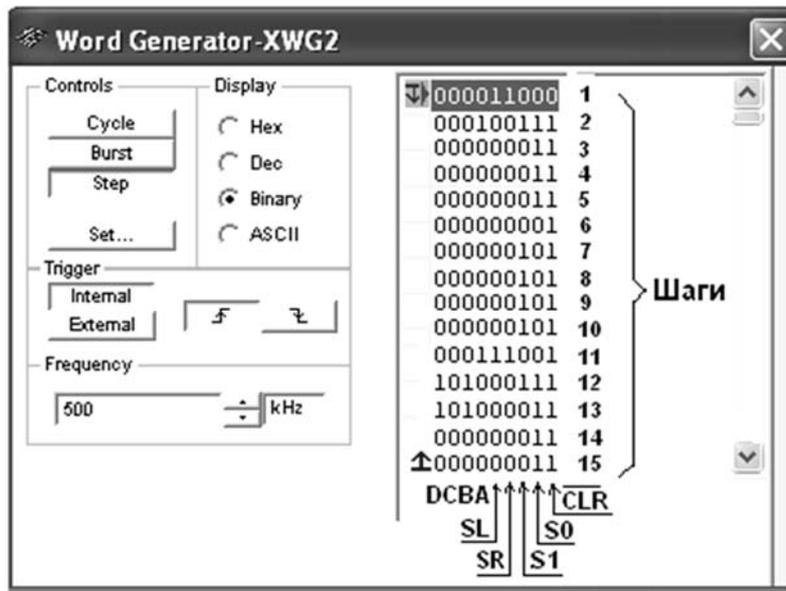


Рисунок 8.2 – Программа функционирования генератора слова XWG1

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

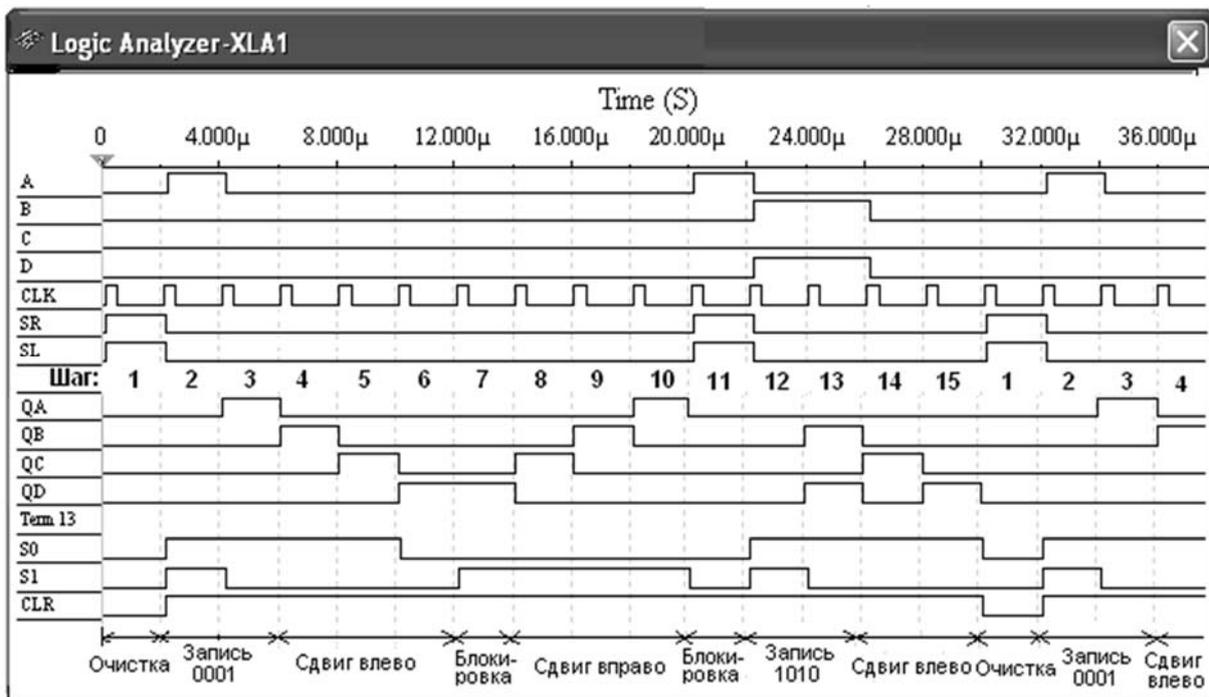


Рисунок 8.3 – Временные диаграммы работы универсального регистра сдвига

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.

В схему включен синхронный двоичный 4-разрядный счётчик 74НС161, к входу  $\overline{CLK}$  которого подключен источник тактовых импульсов E1, а к выходам QA, QB, QC и QD – шестнадцатеричный 7-сегментный индикатор

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

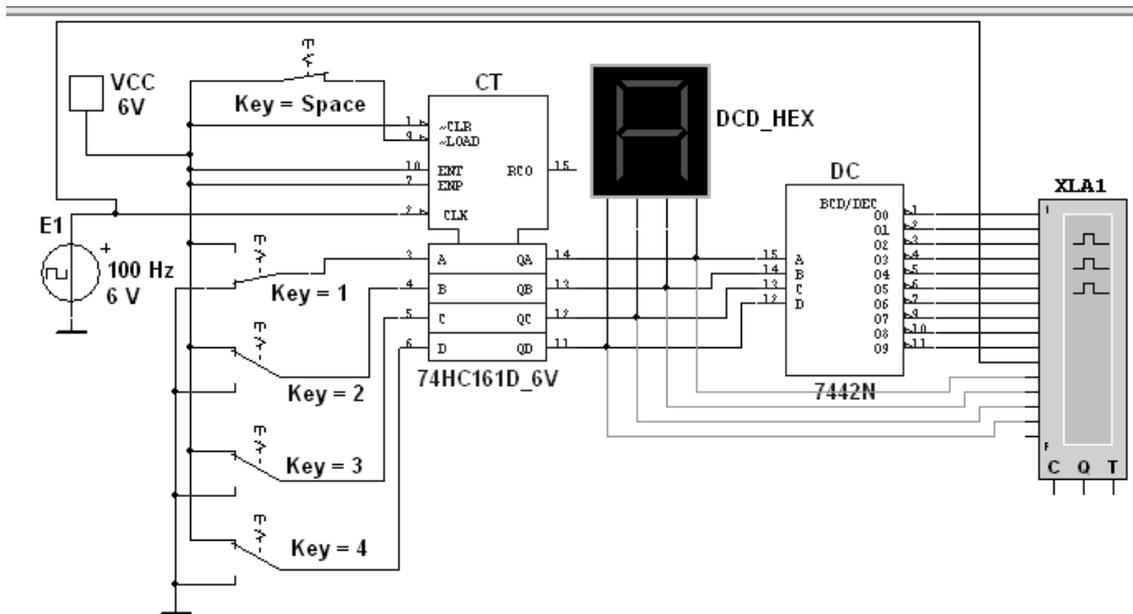


Рисунок 8.4 – Схема для моделирования работы синхронного двоичного счётчика

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  $\overline{\text{CLK}}$  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 0), номер которого соответствует коду входного числа: от 0000 до 1001 ( $9_{10}$ ).

При *разомкнутом* ключе Space сформированное с помощью переключателей на входе счётчика 4-разрядное двоичное число высвечивается на индикаторе в десятичном коде, а на экране анализатора на одном из выходов, соответствующем входному коду счётчика, формируется логический 0.

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

Разомкнуть ключ Space. Установить в диалоговом окне анализатора XLA1 напряжение  $V = 5$  В, частоту таймера  $f_a = 2$  кГц, число импульсов, приходящихся 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 7-сегментного индикатора и дешифратора при данных значениях кода.

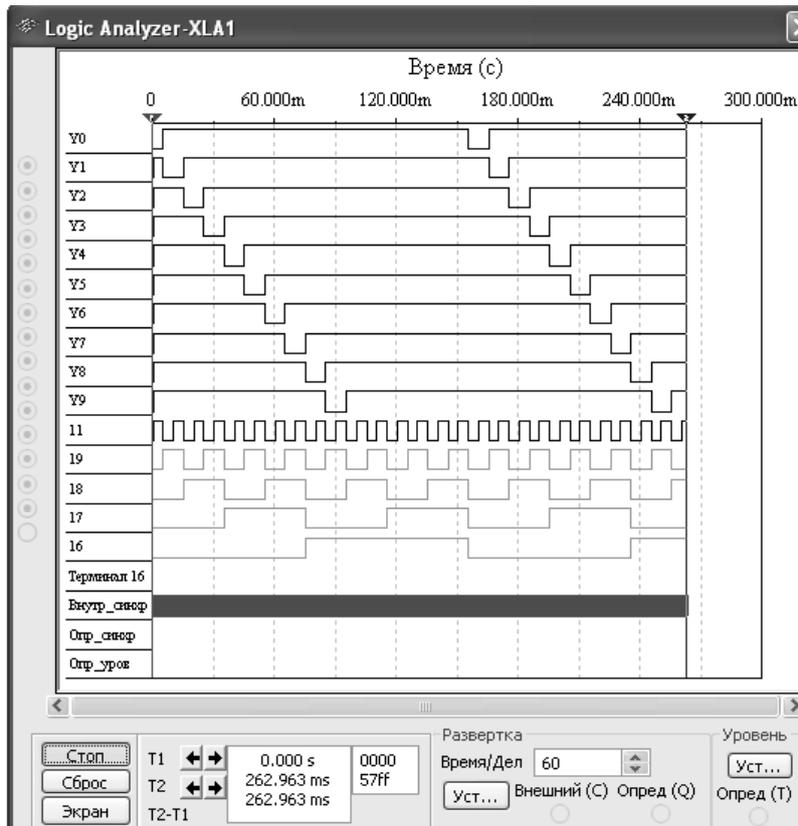


Рисунок 8.5 – Временные диаграммы работы счётчика и дешифратора

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

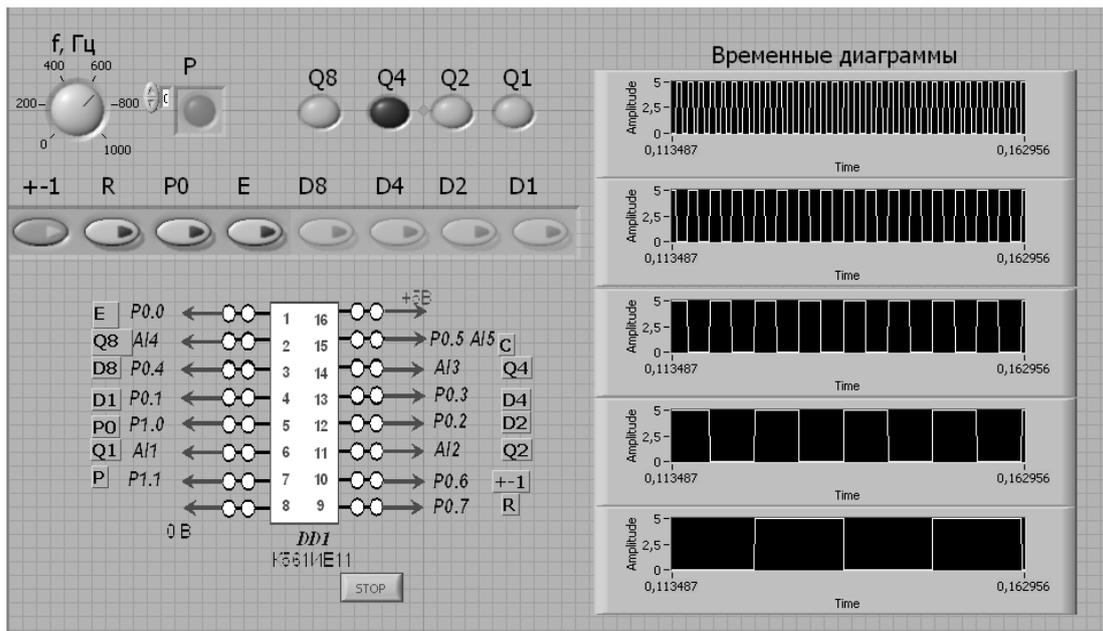


Рисунок 8.6 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования счётчика в среде LabVIEW

Питание микросхемы осуществляется от источника HY3002-D2 или выхода +5 В устройства сбора данных NI USB-6009. Сигналы входов счётчика  $R$  (сброс),  $\pm 1$  (направление счёта),  $P_0$  (вход переноса),  $E$  (разрешение установки),  $D1...D8$  (параллельные входы) и выхода  $P$  (перенос) формируются цифровыми выходами  $P0$  и  $P1$  устройства NI USB-6009. Приём счётных импульсов и выходных сигналов  $Q2...Q8$  осуществляется каналами аналогового ввода  $AI1...AI5$ , что реализовано блоками DAQ Assistant блок-диаграммы виртуального прибора (рисунок 8.7). Счётные импульсы  $S$  формируются блоком Simulate Signal блок-диаграммы и передаются на выход  $P0.5$  устройства сбора данных. Состояние выходов счётчика отображается в виде временных диаграмм и индикаторами  $Q1, Q2, Q4, Q8$ .

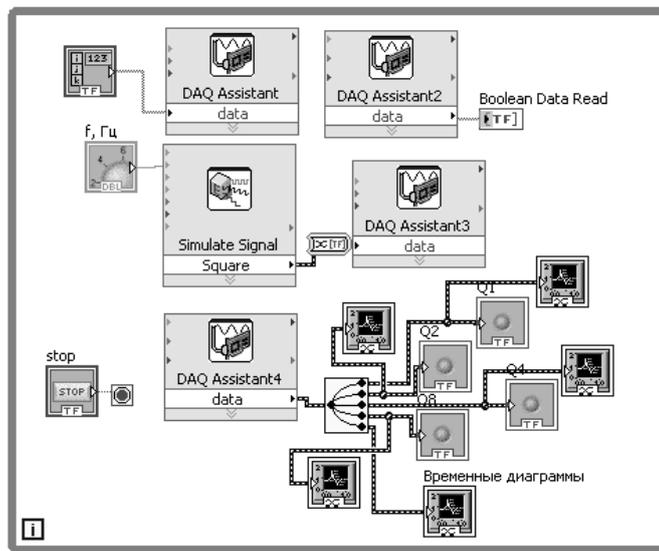


Рисунок 8.7 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для исследования счётчика

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

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

5 Сделать выводы по результатам работы.

## 8.2 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  $Q_1 \div Q_4$  шифратора цифр в код 8–4–2–1, если управляющим сигналом является «0».

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?

## **9 Лабораторная работа № 9. Моделирование и исследование работы цифрового прибора на микроконтроллере с аналоговым датчиком**

***Цель работы:*** исследовать работу цифрового прибора на микроконтроллере с аналоговым датчиком.

### ***9.1 Порядок выполнения работы***

1 Присоединить три провода, припаянные к потенциометру, к плате Arduino, как показано на рисунке 9.1, в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 9.2.

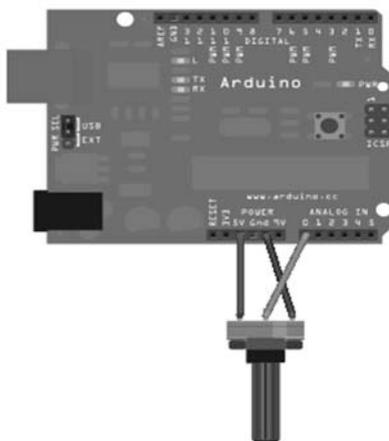


Рисунок 9.1 – Внешний вид подключения потенциометра к плате Arduino

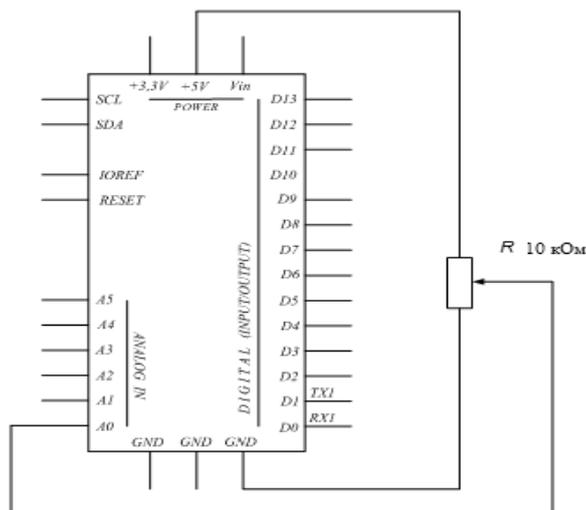


Рисунок 9.2 – Схема подключения потенциометра к контроллеру Arduino

Один из крайних выводов потенциометра соединить с землей (GND) Arduino, второй крайний вывод потенциометра соединить с выводом 5V Arduino, третьим соединить аналоговый вход A0 и средний вывод потенциометра.

При вращении вала потенциометра можно изменять сопротивление по обе стороны от центрального вывода. Это приводит к изменению напряжения на центральном выводе. Когда напряжение между центральным выводом и выводом, подключенным к 5В, близится к нулю, напряжение на центральном выводе приближается к 5 В. Если повернуть ручку в другую сторону, то сопротивления поменяются местами и напряжение на центральном контакте приблизится к 0 В. Это напряжение является аналоговым сигналом, который следует подавать на аналоговый вход Arduino.

Arduino имеет встроенный 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который считывает значения напряжения и преобразовывает их в числа от 0 до 1023.

Если ручка потенциометра повернута до упора в одну сторону, то на вход АЦП подается 0 В и результат преобразования равен 0. Если ручка потенциометра повернута до упора в другую сторону, то на вход АЦП подается 5 В и результат преобразования равен 1023. В промежуточных положениях ручки потенциометра АЦП возвращает число между 0 и 1023, которое пропорционально напряжению на его среднем выводе.

2 Подключить плату Arduino к ПК через USB-порт.

3 Записать программу ReadAnalogVoltage в память контроллера Arduino, переслав её из ПК. В данной программе в функции установки надо начать последовательную передачу между Arduino и ПК со скоростью 9600 бит данных в секунду командой

**Serial.begin(9600);**

Далее в основном цикле программы следует создать переменную для хранения значения напряжения (которая может изменяться от 0 до 1023, лучше всего подойдет тип `int`), которое приходит с потенциометра.

```
int sensorValue = analogRead(A0);
```

Эта информация отразится на мониторе в виде десятичных (DEC) значений. Можно сделать это, используя команду `Serial.println()`, с помощью следующей строки кода:

```
Serial.println(sensorValue, DEC)
```

Открыв Serial Monitor в среде ArduinoM, можно увидеть поток цифр от нуля до 1023, соответствующих положению ручки потенциометра. Если повернуть ручку, эти показания изменятся почти мгновенно.

*Полный текст программы:*

```
/*
  AnalogReadSerial
  Считывает аналоговые значения с вывода 0, выводит значения на
  МОНИТОР.
  */
// установки:
void setup()
{
  // инициализируем последовательную передачу данных со скоростью
  9600 бит в секунду:
  Serial.begin(9600);

}
// основной цикл:
void loop()
{
  // читаем значение на аналоговом входе 0:
  int sensorValue = analogRead(A0);
  // выводим на монитор считанное значение:
  Serial.println(sensorValue);
  delay(1);      // задержка в промежутке между считываниями для
  стабильности:
}

```

4 Вращая ручку потенциометра, следует наблюдать на экране дисплея ПК поток цифр от 0 до 1023, соответствующих положению ручки потенциометра.

## 9.2 Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать название работы, цель работы, схему подключения потенциометра к Arduino, выводы по результатам экспериментальных исследований.

### Контрольные вопросы

- 1 Какова разрядность встроенного в контроллер Arduino АЦП?
- 2 В каком диапазоне изменяется напряжение на выходе потенциометра?
- 3 В каком диапазоне формируется результат преобразования на выходе АЦП?
- 4 На какую величину должно измениться напряжение на входе АЦП, чтобы результат преобразования на выходе АЦП изменился на единицу младшего разряда?

## Список литературы

- 1 Введение в Multisim [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://of.bsu.ru/e-book/mikroprochess/Manual\\_multisim\\_rus.pdf](http://of.bsu.ru/e-book/mikroprochess/Manual_multisim_rus.pdf). – Дата доступа: 02.10.2018.
- 2 **Марченко, А. Л.** Лабораторный практикум по электротехнике и электронике в среде MULTISIM + CD : учебное пособие / А. Л. Марченко, С. В. Освальд. – Москва: ДМК Пресс, 2010. – 448 с.
- 3 **Суранов, А. Я.** LabVIEW 8.20. Справочник по функциям / А. Я. Сурганов. – Москва: ДМК Пресс, 2007. – 536 с.
- 4 **Браммер, Ю. А.** Импульсные и цифровые устройства: учебник / Ю. А. Браммер, И. Н. Пащук. – 7-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высшая школа, 2003. – 351 с.
- 5 **Алехин, В. А.** Электроника: теория и практика. Моделирование в среде TINA-8: учебное пособие / В. А. Алехин. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2017. – 308 с.: ил.
- 6 **Иванов, В. Н.** Электроника и микропроцессорная техника: учебник / В. Н. Иванов. – Москва: Академия, 2016. – 288 с.
- 7 **Марченко, А. Л.** Основы электроники: учебное пособие для вузов / А. Л. Марченко. – Москва: ДМК Пресс, 2008. – 296 с.
- 8 **Лачин, В. И.** Электроника: учебное пособие / В. И. Лачин, Н. С. Савелов. – 7-е изд., перераб. и доп. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 703 с.
- 9 **Москатов, Е. А.** Справочник по полупроводниковым приборам / Е. А. Москатов. – Москва: Радио, 2005. – 208 с.
- 10 **Бладыко, Ю. В.** Электроника. Практикум: учебное пособие / Ю. В. Бладыко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016. – 190 с. : ил.