



**ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ**  
**ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ**  
**ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ГОРОДА МОСКВЫ**  
**«КОЛЛЕДЖ СВЯЗИ №54»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**  
**по выполнению лабораторных работ в среде схемотехнического**  
**моделирования NI Multisim 11.**

**по дисциплине «ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА»**

Пособие предназначено для обучающихся образовательных учреждений СПО по направлениям:

**10.02.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем»**

**11.02.09 «Многоканальные телекоммуникационные системы»**

**11.02.10 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение»**

**11.02.11 «Сети связи и системы коммутации»**

Разработчик:  
преподаватель специальных дисциплин  
Лопухов А.А.

## **Введение**

Настоящий комплект лабораторных работ предназначен в качестве методического пособия при проведении лабораторных работ по программе дисциплины «Вычислительная техника».

Выполнение работ производится в среде автоматизированного схемотехнического моделирования National Instruments Multisim 11.

Лабораторные занятия по дисциплине «Вычислительная техника» проводятся с целью развития углубленного понимания теоретических основ учебного курса и его включение в систему знаний студентов, формирование и становление различных уровней составляющих его профессиональной компетентности, приобретения практических навыков в решении профессиональных задач в сфере информационно-коммуникационных технологий и среде эксплуатации цифровых программно-аппаратных комплексов.

Тематика лабораторных работ соответствует рабочим программам дисциплины «Вычислительная техника»:

### **Лабораторная работа MS 1.**

Тема: Моделирование цифровых устройств в пакете Multisim 11.

### **Лабораторная работа MS 2**

Тема: Исследование работы простейших логических элементов.

### **Лабораторная работа MS 3**

Тема: Синтез функциональных схем: минимизация логических выражений.

### **Лабораторная работа MS 4**

Тема: Синтез функциональных схем: построение функциональной схемы.

### **Лабораторная работа MS 5**

Тема: Синтез логических схем с использованием логического преобразователя.

## **Требования к знаниям и умениям студентов перед началом выполнения лабораторных работ**

Перед началом выполнения лабораторных работ, предусмотренных программой по данной специальности, студент должен:

- знать типовые условно-графические обозначения электронных приборов и устройств;
- знать кодирование и представление информации в ЭВМ;
- знать и уметь пользоваться виртуальными инструментами и приборами Multisim; знать основы алгебры логики;
- знать способы и порядок минимизации логических выражений (функций);
- уметь строить функциональные схемы на основе логических выражений;
- уметь преобразовывать логические (булевы) выражения;

**В результате выполнения лабораторных работ в среде Multisim 11 обучающийся должен уметь:**

- пользоваться инструментарием Multisim и моделировать в виртуальной среде физические и информационные процессы;
- формировать логические переключательные схемы и моделировать информационные процессы в них;
- проектировать цифровые логические устройства на логических элементах;
- формировать СДНФ на основе таблиц истинности, строить логические выражения и минимизировать их с применением законов алгебры логики и карт Карно;
- реализовывать логические выражения в функциональных схемах: как в ручном, так и в автоматизированном режиме;

### **Правила выполнения лабораторных работ**

Перед началом выполнения лабораторной работы студенту предварительно необходимо:

- тщательно изучить правила безопасной работы на ПЭВМ и инструкции по охране труда при работе в лаборатории;
- ознакомиться с календарным планом выполнения лабораторных работ на предстоящий месяц;
- самостоятельно изучить краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторной работы, приведенные в методических указаниях к конкретной лабораторной работе;
- поставить перед собой конкретную цель исследования и определить последовательности действий для выполнения задания, поставленного методическими указаниями.

Основой комплекта лабораторных работ выступают типовые задания, которые должен уметь решать специалист в IT-сфере, в т.ч. в области телекоммуникаций, работая в дальнейшем в профессиональной деятельности на предприятиях и в организациях использующих информационно-коммуникационные технологии.

Лабораторные работы заключаются в выполнении студентами, под руководством преподавателя, комплекса учебных заданий в среде NI Multisim 11 – современного программного пакета для автоматизированного схемотехнического моделирования. Выполнение лабораторных работ студенты производят в рабочем пространстве Multisim 11 с составлением письменного отчета в тетрадях для лабораторно-практических работ.

**Структура методических указаний для выполнения лабораторных работ представлена в следующей последовательности:**

- Номер по порядку и название лабораторной работы.
- Цель работы.
- Краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторной работы.
- Практическое задание.
- Содержание отчета.
- Контрольные вопросы.

Контрольные вопросы содержат в себе перечень вопросов к темам лабораторных работ, по которым будет осуществляться их защита.

Лабораторные работы выполняются индивидуально. Каждый студент после выполнения работы должен представить результат отчет о проделанной работе с анализом полученных результатов и выводом по работе. Содержание отчета должно содержать:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Задания.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Выводы по работе.

Студенты, не выполнившие работу, не допускаются к выполнению следующей работы. Если студент не выполнил лабораторную работу или часть работы, то он может выполнить работу или оставшуюся часть во внеурочное время, согласованное с преподавателем.

**Оценку по лабораторной работе студент получает, с учетом срока выполнения работы, если:**

- сделан анализ проделанной работы и сформирован вывод по результатам работы;
- студент может пояснить выполнение любого этапа работы;
- отчет составлен в соответствии с требованиями к выполнению работы.

Зачет по лабораторным работам студент получает при наличии тетради с выполненными отчетами по лабораторно-практическим работам, предусмотренными учебным планом, оцененными не ниже, чем «удовлетворительно».

### **Литература**

1. Вычислительная техника: Учебное пособие для студентов СПО/Келим Ю.М. – М.: Издательский центр «Академия», 2005 – 384 с.
2. Цифровые и микропроцессорные устройства: Лабораторный практикум/С.Н. Петров, С.Л. Прищепа – М.: БГУИР, Кафедра защиты информации, 2013 – 75 с.

### **Дополнительная литература:**

1. Микропроцессорная техника: Учебник для студентов СПО/А.В. Кузин, М.А. Жаворонков – М.: Издательский центр «Академия», 2007 – 304 с.

### **Интернет- ресурсы:**

<http://digteh.ru/digital/>  
<http://www.intuit.ru/studies/courses/104/104/lecture/3029>  
[https://www.youtube.com/watch?v=1sa\\_oMOoOrY](https://www.youtube.com/watch?v=1sa_oMOoOrY)  
<http://cxem.net/comp/comp189.php>

## Лабораторная работа №1

### Моделирование цифровых устройств в пакете NI Multisim 11.

Цель работы: приобрести первоначальные навыки работы в программном пакете схемотехнического моделирования Multisim 11.

#### Пояснения к работе:

Студент при выполнении работы должен знать основы алгебры логики и условно-графические обозначения логических элементов и устройств.

#### 1. Краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения работы.

National Instruments Multisim 11 позволяет объединить процессы разработки электронных устройств и тестирования на основе технологии виртуальных приборов для учебных и производственных целей.

#### 1.1 Интерфейс Multisim 11

На рисунке 1 представлен внешний вид главного окна пакета Multisim.

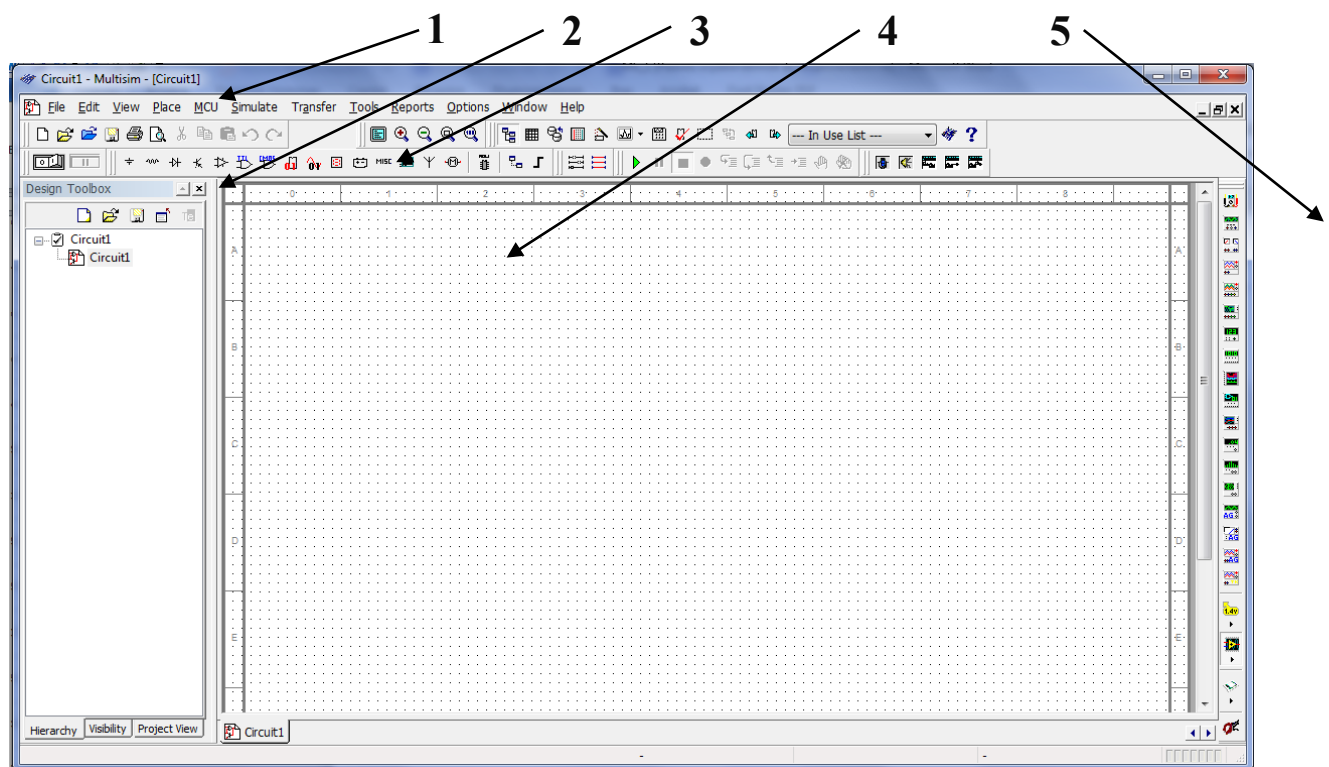


Рис. 1. Главное окно программы Multisim

- 1 – главное меню (позволяет выбирать команды для всех функций);
- 2 – панель разработки (позволяет управлять различными элементами схемы);
- 3 – панель инструментов (предназначена для быстрого доступа к элементам меню);
- 4 – рабочая область (для выполнения функциональных схем);
- 5 – приборная панель (содержит модели контрольно-измерительных приборов)

## 1.2 Компоненты

**В Multisim имеются базы данных трех уровней:**

1. Главная база данных (Master Database), откуда информацию можно только считать (здесь находятся все компоненты);
2. Пользовательская база данных (User Database) соответствует текущему пользователю компьютера;
3. Корпоративная база данных (Corporate Database) содержит компоненты, доступные пользователям по сети.

Все базы данных делятся на группы, которые, в свою очередь, делятся на семейства.

**Главная база данных состоит из следующих групп:**

1. Sources. Содержит источники напряжения и тока, заземления. Например, power sources (источники постоянного, переменного напряжения, заземление, VCC, VDD, VSS, VEE), signal voltage sources (источники импульсов напряжения), signal current sources (постоянные, переменные источники тока, источники прямоугольных импульсов).
2. Basic. Содержит основные элементы схемотехники: резисторы, индуктивные и емкостные элементы, ключи, трансформаторы, реле и т. д.
3. Diodes. Содержит различные виды диодов: фото- и светодиоды, диоды Шоттки и т. д.
4. Transistors. Содержит различные виды транзисторов: pnp-, npn-транзисторы, биполярные транзисторы, МОП-транзисторы, КМОП-транзисторы и т. д.
5. Analog. Содержит все виды усилителей: операционные, дифференциальные, инвертирующие.
6. TTL. Содержит элементы транзисторно-транзисторной логики.
7. CMOS. Содержит элементы КМОП-логики.
8. MCU Module - управляющий модуль многопунктовой связи (multipoint control unit).
9. Advanced Peripherals. Содержит подключаемые внешние устройства (дисплеи, терминалы, клавишные поля).
10. Misc Digital. Содержит различные цифровые устройства (логические вентили).
11. Mixed. Содержит комбинированные компоненты.
12. Indicators. Содержит измерительные приборы (вольтметры, амперметры, лампы, индикатор логического уровня, семисегментные индикаторы).

## 1.3 Виртуальные приборы

Панель контрольно-измерительных приборов (Instruments) размещена справа от рабочего окна программы MS. Чтобы добавить прибор на рабочее поле, необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши (ЛКМ) на пиктограмме нужного прибора, а затем - в нужном месте рабочего окна.

**Панель приборов содержит:**

- цифровой мультиметр (Multimeter);
- функциональный генератор (Function Generator);
- измеритель активной мощности (Wattmeter);
- осциллограф (Oscilloscope);
- измеритель АЧХ и ФЧХ (Bode Plotter);
- генератор слова (Word Generator);
- логический анализатор (Logic Analyzer);

- логический преобразователь (Logic Converter);
- измеритель нелинейных искажений (Distortion Analyzer);
- спектральный анализатор (Spectrum Analyzer);
- прибор для анализа электрических цепей в обобщенном виде (Network Analyzer).

**К основным контрольно-измерительным приборам для изучения цифровых устройств относятся:**



- генератор бинарного слова,
- логический пробник (индикатор логического уровня),
- логический анализатор,
- логический преобразователь,
- функциональный генератор.

### **1.3.1 Генератор бинарного слова**

Генератор кодовых слов XWG1 (Word Generator) имеет 32 выхода, пронумерованных от 0 до 31. Выходы размещены с обеих сторон прямоугольника. На каждом выходе формируется независимый от других логический сигнал, который может использоваться как входной для логических схем (рисунок 2).

По умолчанию выходы с нулевого по 15-й располагаются с левой стороны генератора, а так как сам генератор обычно размещают слева от исследуемой схемы, то для упрощения работы с инструментом можно перевернуть его по горизонтали (ПКМ → Flip horizontal).

В разделе Display задается форма представления выходного слова: двоичная (binary), десятичная (dec), шестнадцатеричная (hex) форма или кодировка ASCII. Для удобства выполнения курса лабораторных работ предпочтительной является двоичная форма представления, когда каждый разряд выходного слова соответствует отдельному выходу генератора.

Раздел Controls позволяет задать режим генерации: циклический (cycle); режим однократного выполнения цикла (burst), пошаговый режим (step). Генерация начинается с адреса ячейки, где стоит указатель начала считывания  (initial position), заканчивая указателем  (final position).

Раздел (set...) содержит шаблоны для генерации сигналов, например, шаблоны Up и Down counter (счет вверх и вниз), shift left и right (сдвиг влево и вправо).

Окно Initial Pattern содержит адрес первого кодового слова. В окне Buffer Size задается количество кодовых комбинаций. Окно Display Type задает форму представления вышеуказанных параметров, десятичную (Dec) или шестнадцатеричную (Hex).

Используя шаблон Up Counter можно задать наборы входных аргументов таблицы истинности. Например (рисунок 2), выбирая шаблон Up Counter, Initial Pattern = 0. Buffer Size = 4, формируем наборы от 00 до 11 (т. е. формируется последовательность, начиная с нулевого адреса, где каждый последующий набор больше предыдущего на 1).

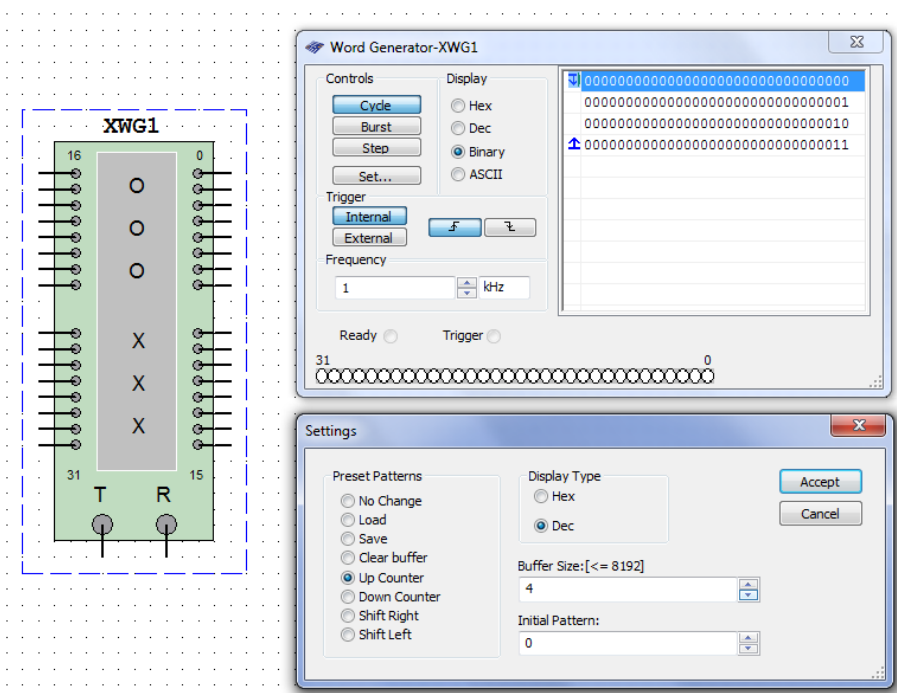


Рисунок 2. Генерация входных наборов таблицы истинности функции от двух переменных с использованием шаблона «Up counter»

### 1.3.2 Логический анализатор

Логический анализатор XLA1 предназначен для отображения на его экране до 16 кодовых последовательностей, подаваемых на вход одновременно из 16-ти точек схемы, а также значений координат сигнала в местах расположения визиров в виде шестнадцатиричных чисел в окне расположенного внизу экрана анализатора (рис. 3).

Анализатор имеет 16 входов данных (Term 1 – Term 16) и 3 дополнительных входа (C, Q, T). В окне инструмента XLA1, открывающегося после двойного щелчка ЛКМ на его условном изображении, могут отобразиться 16 логических сигналов, если ко всем входам подвести сигналы с узловых точек (выходов) анализируемой цифровой схемы.

На экране инструмента XLA1 размещены две визирные линии: красная 1 и синяя 2. С их помощью можно измерять значения входных кодированных слов и их координаты по времени, а также временной сдвиг между визирными линиями.

Такие параметры сигнала, как время и номер временного интервала (участок ограниченный пунктирными линиями), можно увидеть в окошке T1, T2 и T1 -T2.

Установка Clocks/div (импульсы/деление) задает количество импульсов генератора на один временной отсчет (фактически позволяет менять масштаб изображения по оси времени). Например, если задана частота генератора 16 кГц, то для того, чтобы одно деление дисплея соответствовало 1 мс, нужно выбрать 16 импульсов/деление.

Кнопка Stop позволяет остановить прибор. Reset служит для перезапуска прибора (сброса всех сохраненных данных). Кнопка Reverse позволяет инвертировать цвета рабочей области анализатора (например, заменяет выставленный по умолчанию черный фон на белый).



Настройка генератора Clock Setup (рис. 2) позволяет выставить тип используемого генератора (внешний или внутренний), частоту внутреннего генератора и уровень срабатывания. Остальные настройки актуальны только при использовании описателя синхроимпульсов.

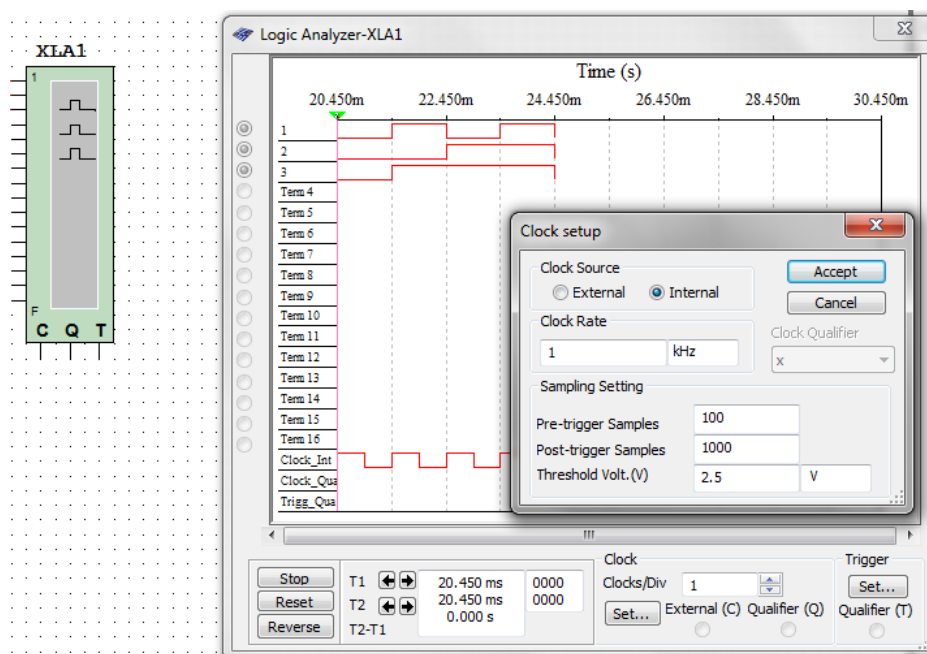


Рис. 3 - Логический анализатор

Настройка триггера Trigger Setup (рисунок 3) позволяет установить дополнительные условия запуска анализатора (переключение по чтению заданного слова или комбинации слов, по положительному или отрицательному фронту, по обоим фронтам тактового сигнала). По умолчанию установлен режим переключения по положительному фронту сигнала (positive).

### 1.3.3 Логический преобразователь

Логический преобразователь XLC2 (Logic Converter) способен выполнить отдельные преобразования представления схемы или цифровых сигналов. Прибор может подключаться к схеме для получения таблиц истинности или логических выражений реализации схемы, а также при построении схемы из таблиц истинности или логических выражений (рисунок 4).

Для применения логического преобразователя необходимо:

1. Подать сигналы с необходимых узлов схемы (до восьми узлов) на входы логического конвертера.
2. Соединить выход схемы с выходным выводом логического конвертера.
3. В меню управления конвертором выбрать необходимый вариант преобразования.

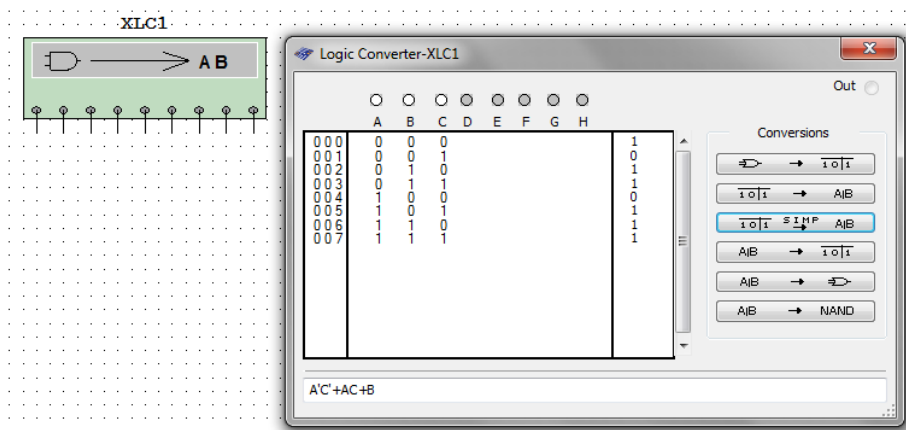


Рис. 4 - Логический преобразователь

Математическим аппаратом, позволяющим анализировать и синтезировать логические схемы, является Алгебра логики (Булева алгебра), в которой используются всего два числа - 0 и 1. Выбор двоичной системы счисления обоснован требованиями простоты технической реализации самых сложных задач с использованием всего одного базового элемента – логического элемента (информационного ключа), который имеет два состояния: включен (замкнут) или выключен (разомкнут).

На рис. 5 показаны обозначения базовых логических элементов, принятые в программе Multisim 11.

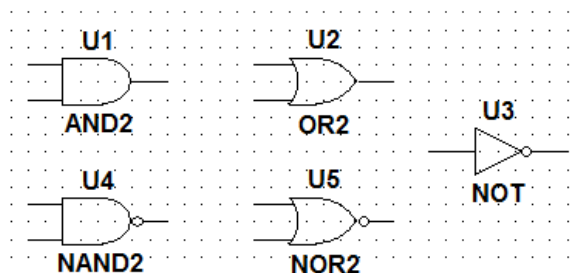


Рис. 5 - Графические обозначения логических элементов И (AND), ИЛИ (OR), инвертора (NOT), И-НЕ (NAND), ИЛИ-НЕ (NOR).

С помощью Multisim 11 можно исследовать работу основных логических элементов: OR (ИЛИ), AND (И) и NOT (НЕ), а также универсальных элементов NAND (И-НЕ, штрих Шеффера) и NOR (ИЛИ-НЕ, стрелка Пирса).

## 2. Практическое задание.

2.1. Перенесите в отчет рис.5 с графическими обозначениями логических элементов и обозначьте каждый из них.

2.2 Через меню «Пуск» Windows 7 запустите NI Multisim 11 и создайте проект, для чего выберите в меню **File**→**Save as**. Затем попробуйте с помощью компьютерной мыши выбрать из меню программы и установить на рабочем поле описанные выше виртуальные приборы и логические элементы:

- генератор бинарного слова (XWG1), логический анализатор (XLA1) и логический преобразователь (XLC1);

- логические элементы: конъюнктор «И» (AND), дизъюнктор «ИЛИ» (OR), инвертор «НЕ» (NOT), элемент Шеффера «И-НЕ» (NAND), элемент Пирса «ИЛИ-НЕ» (NOR).

Для этого необходимо выбрать соответствующую панель с базовыми элементами алгебры логики (а также комбинационными и последовательными устройствами), которая расположена по следующему пути: **Place Component>Misc Digital>Til** (рис. 6).

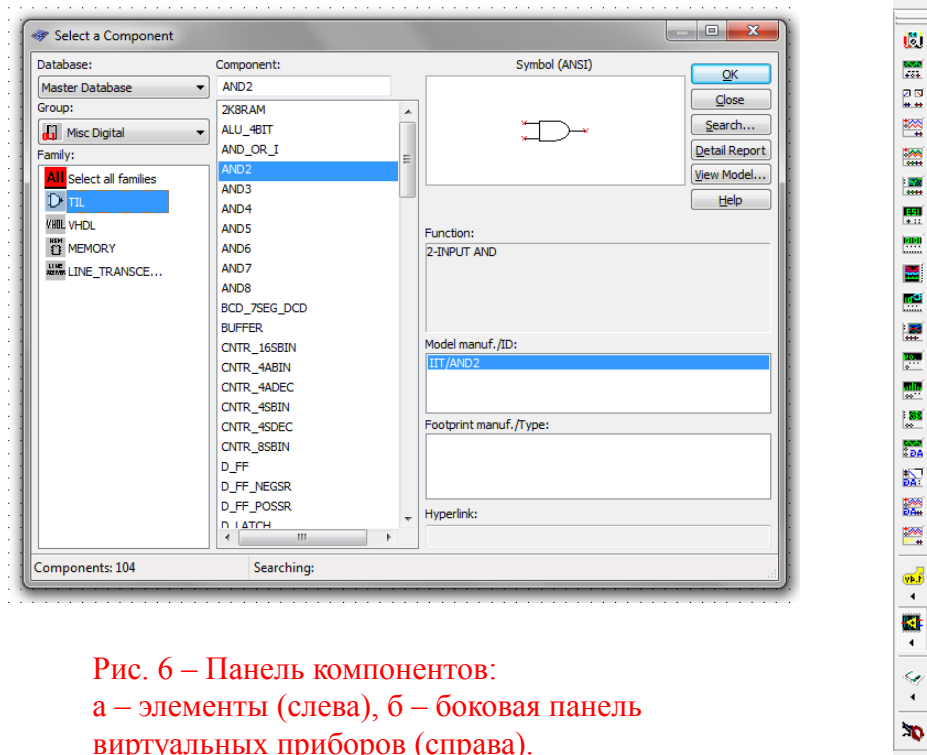


Рис. 6 – Панель компонентов:  
а – элементы (слева), б – боковая панель  
виртуальных приборов (справа).

Измерительные приборы расположены в приборной панели справа от рабочего окна или в разделе **Simulate>Instruments**.

Затем в произвольном порядке попробуйте провести подключение приборов и элементов друг к другу с помощью линий связи. Особое внимание нужно обратить на правильную установку XWG1 – его необходимо развернуть по горизонтали с помощью команды **Flip Horizontal**. Для этого нужно кликнуть правой клавишей мыши на изображение генератора и вызвать контекстное меню.

2.3. После того, как компоненты размещены на схеме, их необходимо соединить проводниками. Получившуюся произвольную схему отобразите в отчете.

Для осуществления ручной разводки удобно использовать дополнительные точки соединения (**Junction**), для чего необходимо:

1. Выбрать команду **Place>Place Junction**. В месте рабочей области, на которой остановлен курсор, появится изображение точки;
2. Передвинуть изображение точки в нужное место проводника и щелкнуть ЛКМ. На проводнике появится точка.

Щелкнуть по точке соединения, только что размещенной на проводнике. Изображение курсора изменится на крест, показывая, что программа находится в режиме разводки проводников. Перетащить курсор к выводу другого компонента и щелкнуть ЛКМ. Это фиксирует проводник на его месте.

Для повышения удобства разводки можно включить отображение сетки (**View>Show Grid**), а также использовать промежуточное фиксирование проводника при разводке, для чего необходимо при перемещении проводника щелкнуть ЛКМ в нужном месте схемы.

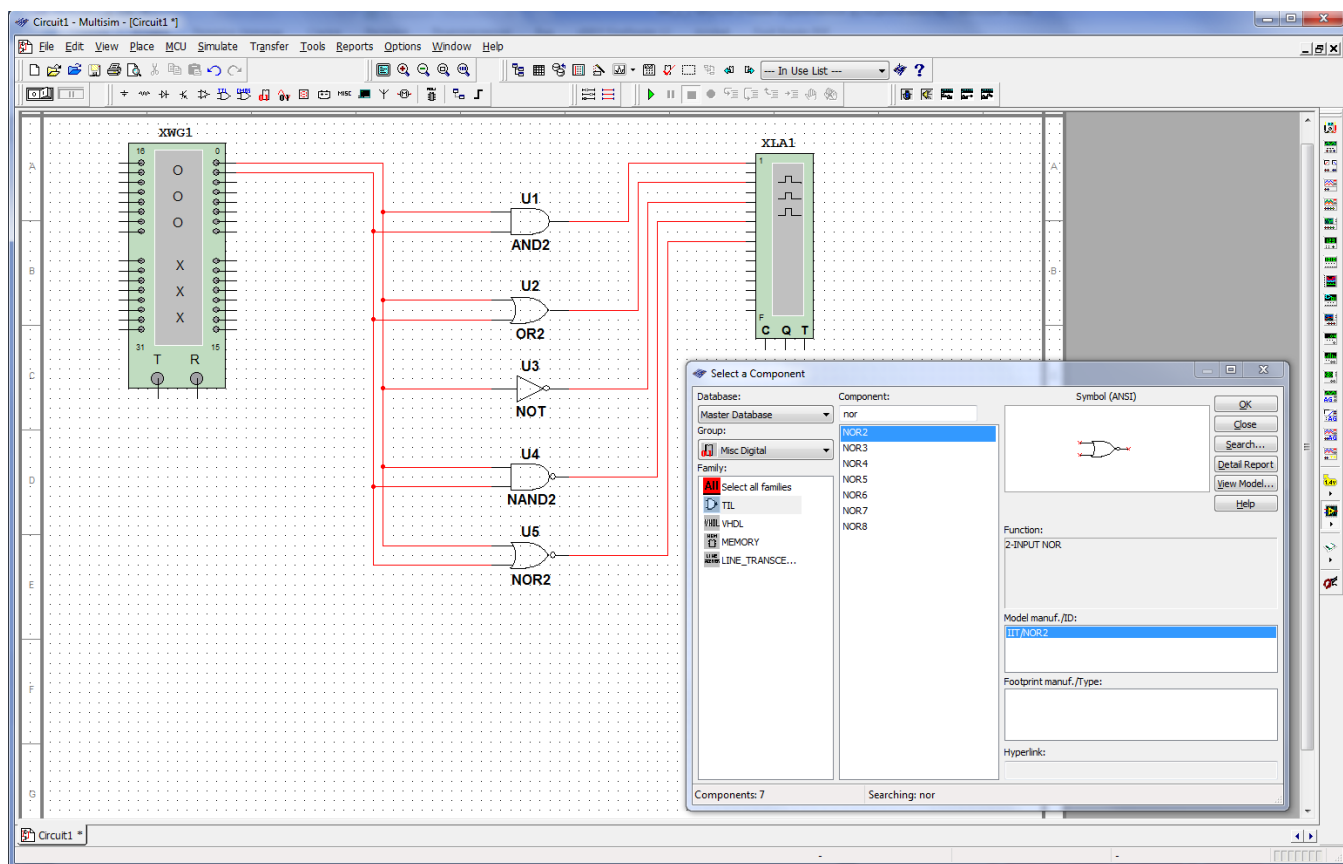


Рис. 7 – Пример построения произвольной схемы для формирования навыков в подключении элементов и компонентов рабочем пространстве Multisim 11.

### 3. Содержание отчета по лабораторной работе.

3.1 Наименование, номер, тема и цель работы.

3.2 Рисунок схем основных логических элементов с обозначениями (из рис. 5).

3.3 Произвольная схема подключений элементов (аналогично примеру из рис.

7).

3.4 Вывод по выполненной работе, содержащий сведения о полученных результатах.

### 4. Контрольные вопросы и задания.

4.1 В чем назначение генератора бинарного слова?

4.2 Для чего предназначен логический анализатор?

4.3 Для чего предназначен логический преобразователь?

4.4. Опишите логику функционирования логических элементов: какие операции они выполняют и в чем их суть?

## Лабораторная работа №2

### Исследование работы простейших логических элементов (Multisim 11).

Цель работы: исследовать работу простейших логических элементов.

#### Пояснения к работе:

Студент перед выполнением работы обязан:

- знать кодирование и представление информации в ЭВМ;
- знать основы алгебры логики и условно-графические обозначения логических элементов;
- знать и уметь пользоваться виртуальными инструментами и приборами Multisim.

#### 1. Краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения работы.

National Instruments Multisim 11 позволяет объединить процессы разработки электронных устройств и тестирования на основе технологии виртуальных приборов для учебных и производственных целей.

##### 1.1 Интерфейс Multisim

На рис. 1 представлен внешний вид главного окна пакета Multisim.

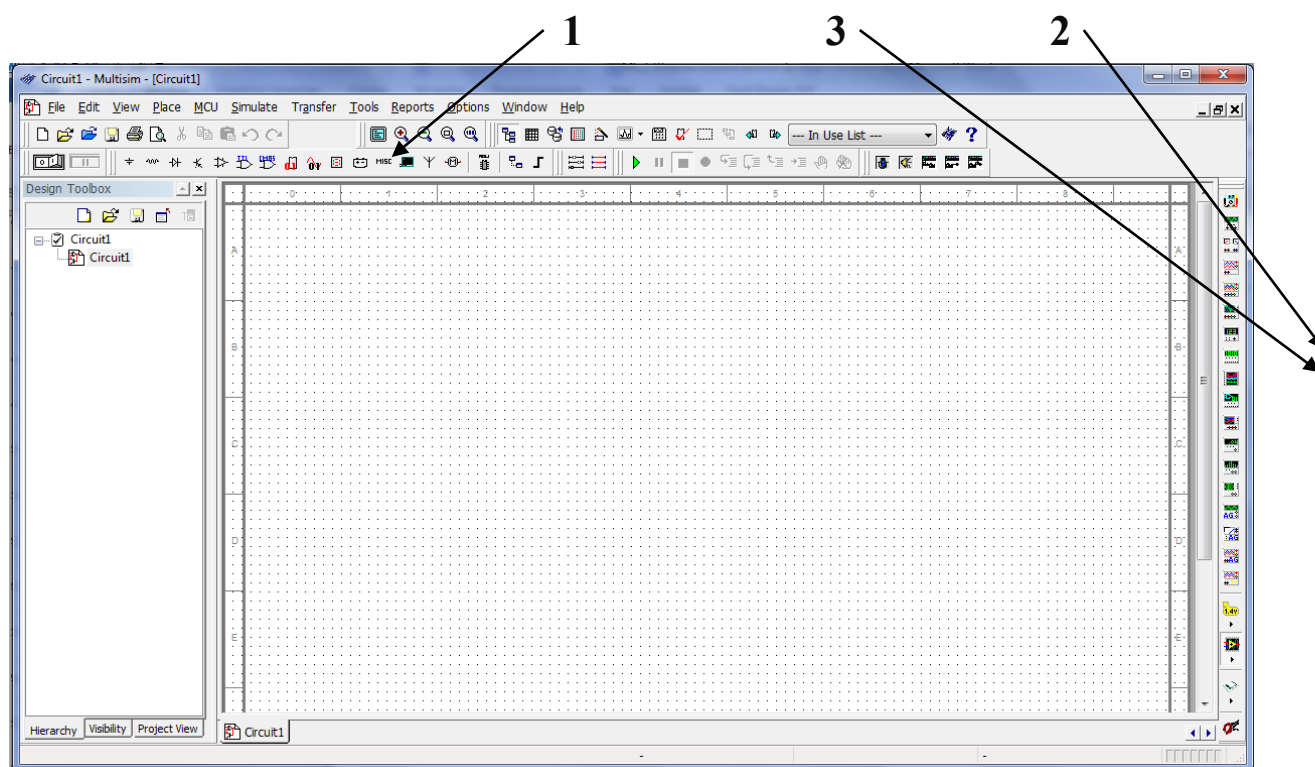


Рис. 1. Главное окно программы Multisim

- 1 – **Place Misc Digital** меню установки цифровых логических элементов (AND2, OR2, NOT, NAND2, NOR2);
- 2 – **Word Generator** меню установки генератора бинарного слова (XWG1);
- 3 – **Logic Analyzer** меню установки логического анализатора.

## 1.2 Используемые компоненты

### Генератор бинарного слова

Генератор кодовых слов XWG1 (Word Generator) имеет 32 выхода, пронумерованных от 0 до 31. Выходы размещены с обеих сторон прямоугольника. На каждом выходе формируется независимый от других логический сигнал, который может использоваться как входной для логических схем.

Используя шаблон Up Counter можно задать наборы входных аргументов таблицы истинности. Например (рис. 2), выбирая шаблон Up Counter, Initial Pattern = 0. Buffer Size = 4, формируем наборы от 00 до 11 (т. е. формируется последовательность, начиная с нулевого адреса, где каждый последующий набор больше предыдущего на 1).

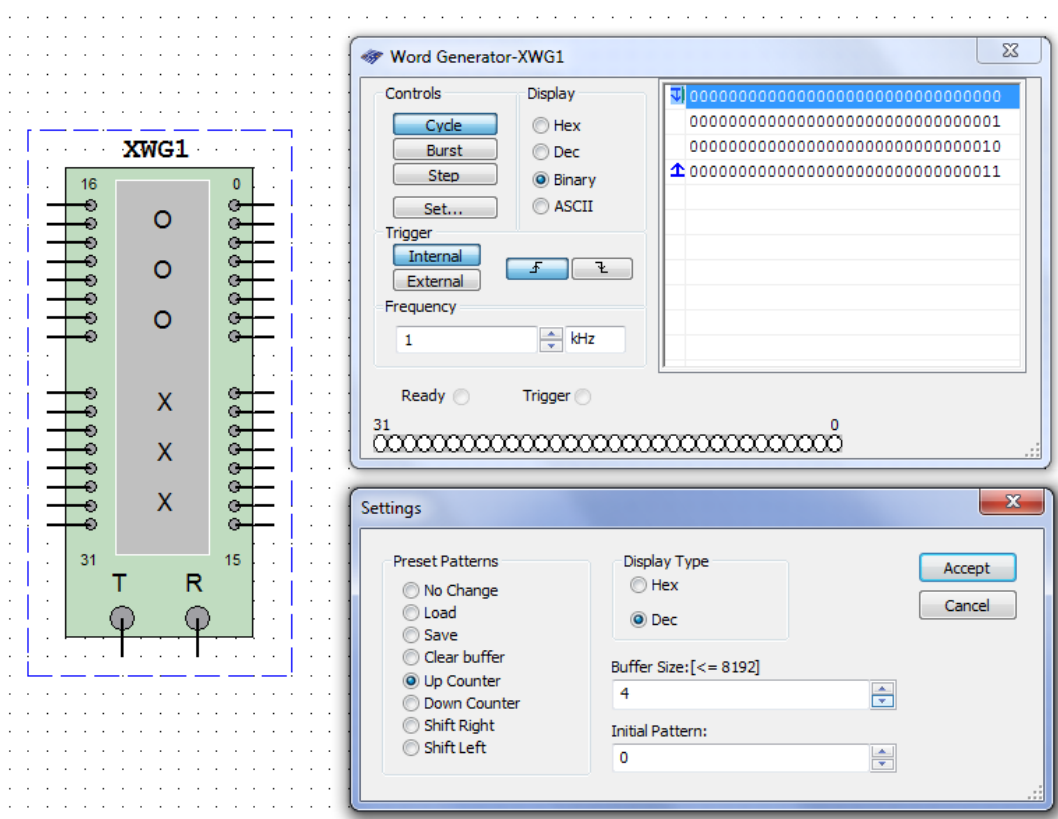


Рисунок 2. Генерация входных наборов таблицы истинности функции от двух переменных с использованием шаблона «Up counter»

### Логический анализатор

Логический анализатор XLA1 предназначен для отображения на его экране до 16 кодовых последовательностей, подаваемых на вход одновременно из 16-ти точек схемы, а также значений координат сигнала в местах расположения визиров в виде шестнадцатиричных чисел в окне расположенного внизу экрана анализатора (рис. 3).

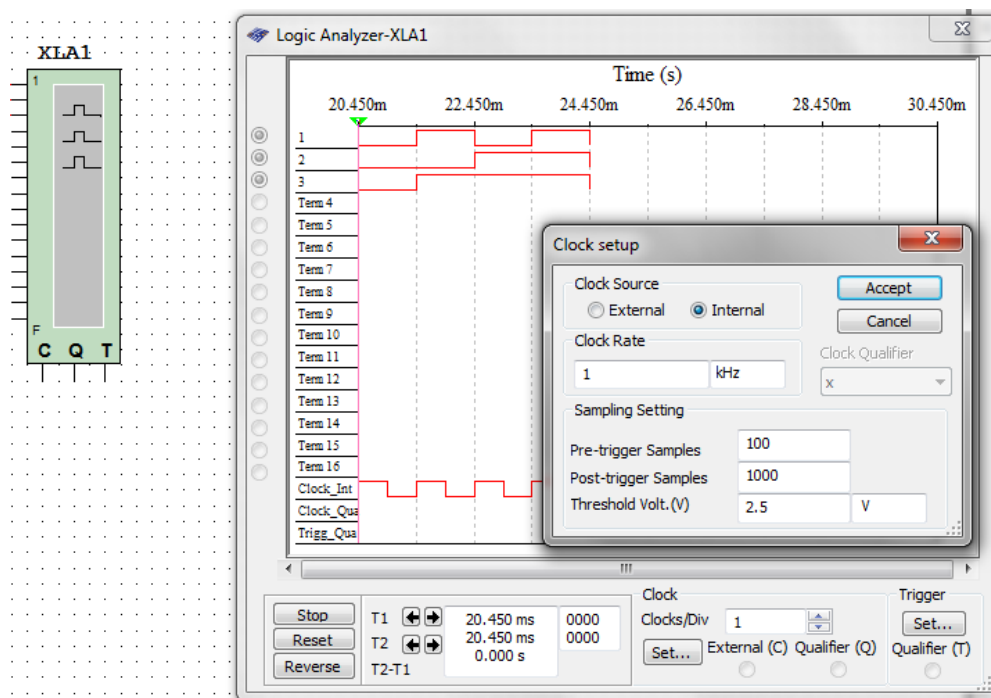


Рис. 3 - Логический анализатор

Математическим аппаратом, позволяющим анализировать и синтезировать логические схемы, является Алгебра логики (Булева алгебра), в которой используются всего два числа – 0 и 1. Выбор двоичной системы счисления обоснован требованиями простоты технической реализации самых сложных задач с использованием всего одного базового элемента – логического элемента (информационного ключа), который имеет два состояния: включен (замкнут) или выключен (разомкнут).

На рис. 4 показаны обозначения базовых логических элементов, принятые в программе Multisim.

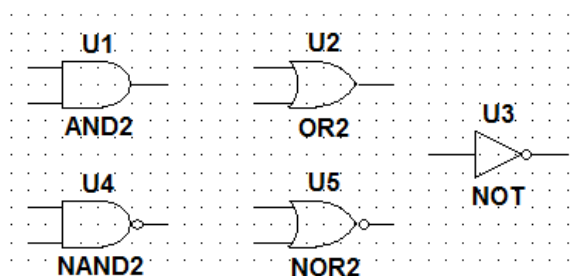


Рис. 4 - Графические обозначения логических элементов

И (AND), ИЛИ (OR), инвертора (NOT), И-НЕ (NAND), ИЛИ-НЕ (NOR).

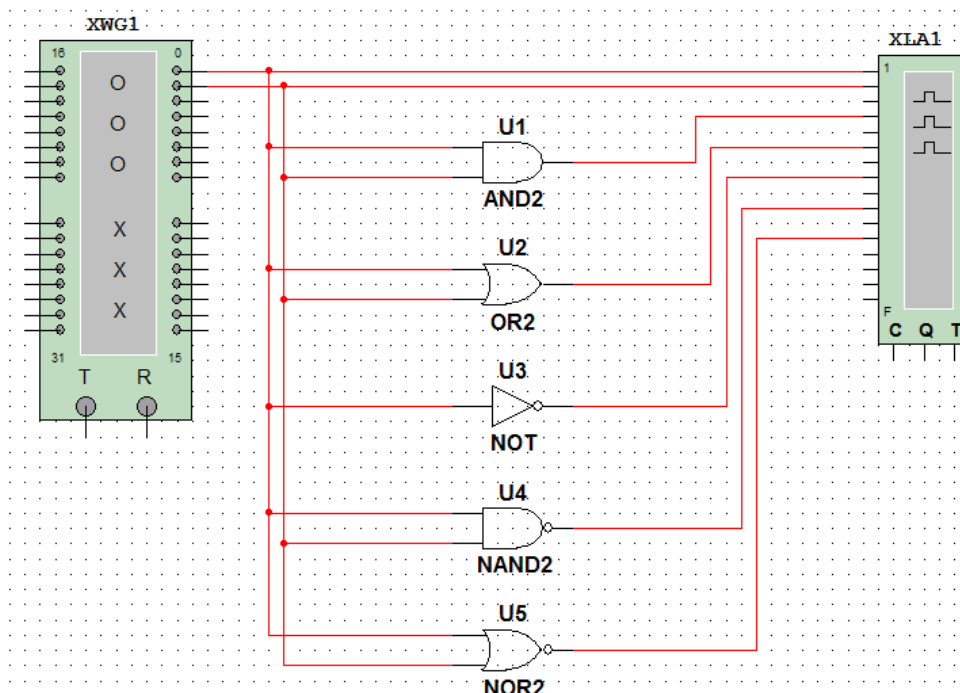
С помощью Multisim 11 можно исследовать работу основных логических элементов: OR (ИЛИ), AND (И) и NOT (НЕ), а также универсальных элементов NAND (И-НЕ, штрих Шеффера) и NOR (ИЛИ-НЕ, стрелка Пирса).

## 2. Практическое задание.

2.1 С помощью компьютерной мыши выбрать из меню программы и установить на рабочем поле генератор бинарного слова и логический анализатор, а также указанные выше логические элементы.



2.2 Собрать схему согласно рис. 5. Задать с помощью генератора слов комбинации входных сигналов для двух переменных, подать сигналы с выхода генератора на входы логических элементов, подать сигналы с выходов генератора и с выходов логических элементов на логический анализатор (предварительно установить частоту внутреннего генератора 1 кГц), занести результаты исследования



в табл. 1.

Рис. 5 – Пример функциональной схемы для исследования работы логических элементов

Табл. 1 – Результаты моделирования

КОНЬЮНКТОР «И», AND			ДИЗЬЮНКТОР «ИЛИ», OR			ИНВЕРТОР «НЕ», NOT		ШТРИХ ШЕФФЕРА «И-НЕ», NAND			СТРЕЛКА ПИРСА «ИЛИ-НЕ», NOR		
X1	X2	Y	X1	X2	Y	X1	Y	X1	X2	Y	X1	X2	Y
0	0		0	0		0		0	0		0	0	
0	1		0	1		0		0	1		0	1	
1	0		1	0		1		1	0		1	0	
1	1		1	1		1		1	1		1	1	

### 3. Содержание отчета по лабораторной работе.

3.1 Указать тему и цель работы.

3.2 Изобразить в тетради для лабораторно-практических работ собранную в рабочем поле Multisim схему.

3.3 Заполнить таблицу, полученную в результате исследования схемы.

3.3 Сделать вывод по полученным результатам.



## Лабораторная работа №3

### **Синтез функциональных схем: минимизация логических выражений.**

**Цель работы** – приобрести практические навыки в составлении и упрощении логических выражений по заданной таблице истинности.

#### **Пояснения к работе**

Студент перед выполнением работы обязан:

- знать основы алгебры логики и Законы алгебры логики;
- знать способы и порядок минимизации логических выражений (функций);

#### **1. Краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения работы.**

В лог. схеме выходной сигнал однозначно определяется входными сигналами. Такой способ обработки называется **комбинационным**, т. к. результат зависит только от комбинации входных сигналов и вырабатывается сразу при подаче входной информации. А устройства, которые функционируют на основе этого принципа называются **комбинационными устройствами (цифровыми автоматами)**.

#### **Порядок синтеза комбинационных устройств (цифровых автоматов):**

1. Словесная формулировка задачи, в которой оговаривается число входных и выходных переменных и функциональные связи между ними.
2. Составление таблицы истинности синтезируемой функции (или функций).
3. Запись функции (или функций) в виде лог. выражения (или системы лог. уравнений).
4. Минимизация функции.
5. Построение функциональной схемы из конкретных лог. элементов с использованием лог. уравнения в минимизированной форме.

#### **Лог. функции могут быть заданы в виде:**

1. Таблицы истинности (таблицы состояний).
2. Структурной формулы (лог. выражения), описывающей функциональную связь между входными и выходными переменными.
3. Временных диаграмм лог. уровней.
4. Лог. схемы, реализующей лог. функцию.

#### **Рассмотрим процесс синтеза функциональной схемы на примере.**

**Пример 1.** Пусть функция  $F(x_1x_2x_3x_4)$  принимает значение «1» на 3-м, 7-м, 10-м, 11-м, 14-м и 15-м наборах значений. Таблица истинности (список всех возможных комбинаций входных сигналов и соответствующих им выходных значений) описывает работу такого устройства (таблица 1).

**Табл. 1 - Заданная таблица истинности**

Номер набора	Входы				Выход
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	F
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	1
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	0
7	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	0
9	1	0	0	1	0
10	1	0	1	0	1
11	1	0	1	1	1
12	1	1	0	0	0
13	1	1	0	1	0
14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	1

Логическое выражение на основе табл. истинности можно получить в виде совершенной конъюнктивной нормальной формы, СДНФ.

**СДНФ представляет собой** логическую сумму элементарных логических произведений – «минтермов», каждое из которых состоит из произведения, включающего все переменные (аргумент или его отрицание) не более одного раза.

**СДНФ составляется** на основе табл. истинности по следующему правилу: для каждого набора переменных, при котором функция равна 1, записывается произведение этих переменных (минтермов), в котором с отрицанием берутся переменные, имеющие значение «0», после чего минтермы логически складываются.

**Для рассматриваемого примера СДНФ и СКНФ записываются следующим образом:**

$$\text{СДНФ } F = \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 x_4 + \bar{x}_1 x_2 x_3 x_4 + x_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4 + x_1 \bar{x}_2 x_3 x_4 + x_1 x_2 x_3 \bar{x}_4 + x_1 x_2 x_3 x_4$$

С целью оптимизации конечного цифрового устройства применяют минимизацию функций. Исходную функцию можно упростить, используя законы алгебры логики либо метод карт Карно.

Законы алгебры логики базируются на аксиомах и позволяют преобразовывать логические функции с целью упрощения.

#### **Аксиомы алгебры логики:**

$$\begin{aligned} 0 \times 0 &= 0; 0 + 0 = 0; \\ 0 \times 1 &= 0; 0 + 1 = 1; \\ 1 \times 0 &= 0; 1 + 0 = 1; \\ 1 \times 1 &= 1; 1 + 1 = 1. \end{aligned}$$

**Из вышеприведенных аксиом непосредственно следует:**

$X \times 1 = X;$	$X + 0 = X;$
$X \times 0 = 0;$	$X + 1 = 1;$
$X \times X = X;$	$X + X = X$ – закон равносильности (идемпотентности);
$X \times \bar{X} = 0;$	$X + \bar{X} = 1$ – закон исключенного третьего ;
$XY = YX;$	$X + Y = Y + X$ – коммутативный закон ;
$X(YZ) = (XY)Z;$	$X + (Y+Z) = (X+Y) + Z$ – ассоциативный закон ;
$X + YZ = (X + Y)(X + Z);$	$X(Y + Z) = XY + XZ$ – дистрибутивный закон ;
$XY + \bar{X}Y = Y;$	$(X+Y) \times (\bar{X} + Y) = Y$ – закон склеивания ;
$X(X + Y) = X;$	$X+(XY) = XY$ – закон поглощения ;
$\overline{X \times Y} = \bar{X} + \bar{Y};$	$\overline{X + Y} = \bar{X} \times \bar{Y}$ – закон де Моргана ;
$\bar{\bar{X}} = X$ – закон двойного отрицания .	

**Воспользовавшись законами склеивания, упростим рассмотренную ранее функцию:**

$$\begin{aligned} F &= \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 x_4 + \bar{x}_1 x_2 x_3 x_4 + x_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4 + x_1 \bar{x}_2 x_3 x_4 + x_1 x_2 x_3 \bar{x}_4 + x_1 x_2 x_3 x_4 = \\ &= \bar{x}_1 x_3 x_4 (\bar{x}_2 + x_2) + x_1 \bar{x}_2 x_3 (\bar{x}_4 + x_4) + x_1 x_2 x_3 (\bar{x}_4 + x_4) = \\ &= \bar{x}_1 x_3 x_4 + x_1 x_3 (\bar{x}_2 + x_2) = \bar{x}_1 x_3 x_4 + x_1 x_3. \end{aligned}$$

Альтернативным способом минимизации функции является графический способ минимизации с использованием карт Карно.

Карта Карно представляет собой вариант таблицы истинности без изменения логики функционирования схемы. Входные переменные в картах Карно представлены в виде кода Грея (соседние кодовые комбинации отличаются только одним разрядом). Верхняя и нижняя строки, а также правый и левый столбец являются соседними.

Минимизация осуществляется за счет операций неполного склеивания и поглощения.

**«Склеивание» происходит в соответствии со следующими правилами:**

- в СДНФ «склейка» клеток в контуры осуществляется по единицам;
- объединяются только прямоугольные области, в которых число клеток должно определяться как  $2^n$ , где  $n$  – целое число;
- объединяются только соседние по горизонтали или вертикали клетки (крайние клетки каждой строки и каждого столбца граничат между собой);
- для получения оптимального результата число контуров (импликат) должно быть как можно меньше, а число клеток в контуре должно быть как можно больше;
- одна клетка может входить сразу в несколько контуров.

**В целом, процесс минимизации можно описать так:**

1. Составление карты Карно.
2. Объединение клеток в контуры.
3. Исключение внутри каждого контура переменных, дополняющих друг друга.

**ВАЖНО!** Результатом минимизации могут быть эквивалентные друг другу формы логических выражений, которые могут соответствовать разным способам отображения контуров на карте Карно.

Упростим рассмотренную ранее функцию с применением карты Карно. Как видно из рисунка 1, карта Карно представляет двухмерную версию таблицы 1. Переменные  $x_1x_2$  и  $x_3x_4$  упорядочены кодом Грея. В результате объединения получаем два контура.

Рисунок 1 – Карта Карно с выделенными контурами (импликатами)

$x_1x_2 \backslash x_3x_4$	$\bar{x}_3\bar{x}_4$	$\bar{x}_3x_4$	$x_3x_4$	$x_3\bar{x}_4$
$\bar{x}_1\bar{x}_2$			1	
$\bar{x}_1x_2$			1	
$x_1x_2$			1	1
$x_1\bar{x}_2$			1	1

Контур I (красная рамка) охватывает клетки с кодами  $\bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4$  и  $\bar{x}_1x_2x_3x_4$ .  
Контур II (синяя рамка) охватывает клетки с кодами  $x_1x_2x_3x_4$ ,  $x_1\bar{x}_2x_3x_4$ ,  $x_1x_2x_3\bar{x}_4$  и  $x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4$ .

$\left. \begin{matrix} \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4 \\ \bar{x}_1x_2x_3x_4 \end{matrix} \right\}$  - используя законы равносильности и исключенного третьего объединяем:  $\bar{x}_1 + \bar{x}_1 = \bar{x}_1$ , а  $\bar{x}_2 + x_2 = 1$  – исключаем. Получаем:  $\bar{x}_1x_3x_4$

$\left. \begin{matrix} x_1x_2x_3x_4 & x_1x_2x_3\bar{x}_4 \\ x_1\bar{x}_2x_3x_4 & x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4 \end{matrix} \right\}$  - аналогично: используя законы равносильности и исключенного третьего объединяем:  $\bar{x}_1 + \bar{x}_1 = \bar{x}_1$ , а:  $\bar{x}_2 + x_2 = 1$  и  $x_3 + \bar{x}_3 = 1$  – исключаем. Получаем:  $x_1x_3$

Таким образом, получаем итоговое минимизированное выражение:

$$F = \bar{x}_1x_3x_4 (I) + x_1x_3 (II)$$

## 2. Практическое задание

1. Получить СДНФ из заданной таблицы истинности. Номер варианта определяется номером рабочего места (нумерация рабочих мест ведется от рабочего места преподавателя);

Наборы значений переменных  $x_1x_2x_3x_4$  во всех вариантах одинаковы, различаются только значения функции  $F$  для каждого набора в соответствии с номером варианта.

2. Минимизировать полученное лог. выражение с помощью законов алгебры логики - выбрать законы, позволяющие упростить логическое выражение до минимально возможной записи;

3. Минимизировать полученное лог. выражение с помощью карты Карно - расставив единицы по соответствующим клеткам карты и «склеив» их по контурам (см. пример на рисунке 1). Полученный результат минимизации с помощью карты Карно является исходными данными для выполнения следующей **Лабораторной работы MS6**;

**Таблица 2 - Заданная таблица истинности**

№ набора	Входные переменные				Номер варианта					
					1	2	3	4	5	6
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	F	F	F	F	F	F
1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1
3	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1
4	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
5	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
6	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0
7	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1
8	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1
11	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
12	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0
13	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
14	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1
15	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
16	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0

### **3. Содержание отчета**

3.1 Тема и цель работы.

3.2 Заданная таблица истинности согласно назначенному варианту.

3.3 Логическое выражение на основе СДНФ, полученное из заданной табл.

3.4 Минимизированное логическое выражение, полученное с использованием законов алгебры логики.

3.5 Минимизированное логическое выражение, полученное с использованием карты Карно.

3.6 Вывод по результатам проделанной работы.

### **4. Контрольные вопросы и задания**

4.1 Что такое таблица истинности?

4.2 Что такое СДНФ и СКНФ?

4.3 Как записать СДНФ. используя таблицу истинности устройства?

4.4 Как записать СКНФ. используя таблицу истинности устройства?

4.5 Что такое минимизация логического выражения?

4.6 Запишите основные законы алгебры логики.

## Лабораторная работа №4

### **Синтез функциональных схем: построение функциональной схемы.**

Цель работы: приобретение практических навыков реализации логических выражений в функциональных схемах в среде схемотехнического моделирования Multisim.

#### **Пояснения к работе**

Студент перед выполнением работы обязан:

- знать основы алгебры логики и Законы алгебры логики;
- знать способы минимизации логических выражений (функций);
- уметь строить функциональные схемы на основе логических выражений.

#### **1. Краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения работы.**

В комбинационной схеме выходной сигнал в любой момент времени однозначно определяется входными сигналами. Такой способ обработки называется комбинационным, т. к. результат зависит только от комбинации входных сигналов и вырабатывается сразу при подаче входной информации.

Закон функциональности комбинационной схемы определен, если задано соответствие между ее входными и выходными комбинациями, например, в виде таблицы. В этот класс входят интегральные схемы дешифраторов, шифраторов, мультиплексоров, демультиплексоров, сумматоров, компараторов и т. д.

#### **Порядок синтеза комбинационных устройств (цифровых автоматов):**

1. Словесная формулировка задачи, в которой оговаривается число входных и выходных переменных и функциональные связи между ними.
2. Составление таблицы истинности синтезируемой функции (или функций).
3. Запись функции (или функций) в виде логического выражения (или системы логических уравнений).
4. Минимизация функции.
5. Построение функциональной схемы из конкретных логических элементов с использованием логического уравнения в минимизированной форме.

**Функции алгебры логики (ФАЛ) или же переключательные функции могут быть заданы в виде:**

1. Таблицы истинности (таблицы состояний).
2. Структурной формулы (логического выражения), описывающей функциональную связь между входными и выходными переменными.
3. Временных диаграмм.
4. Схемы, отражающей иерархический уровень и базис микроэлектроники.

## Рассмотрим процесс синтеза схемы на примере.

Перед непосредственно синтезированием функциональной схемы, примем, что в предыдущей лабораторной работе вы уже:

1. Составили таблицу истинности синтезируемой функции;
2. Записали функцию в виде логического выражения;
3. Минимизировали функцию двумя способами: используя аналитический метод (законы алгебры логики) и графический метод (карта Карно).

Исходя из условия обязательного выполнения указанных выше пунктов, технически возможно построить функциональную схему из конкретных логических элементов с использованием логического уравнения в минимизированной форме.

На рисунке 1 приведен пример реализованной схемы для минимизированной функции в Булевом базисе. При необходимости можно перейти в любой необходимый базис, используя закон де Моргана.

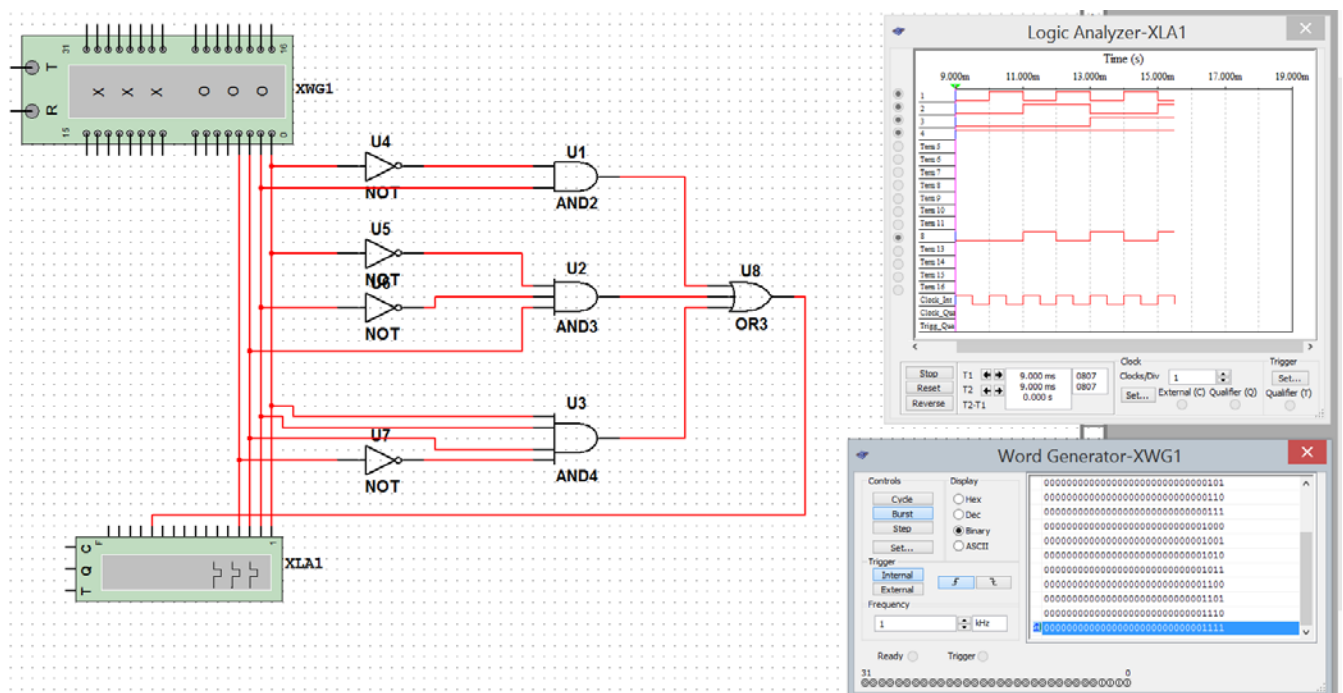


Рис. 1 Пример реализации схемы комбинационного устройства в булевом базисе.

## 2. Практическое задание

2.1. На основе полученного после минимизации с применением карты Карно логического выражения построить схему устройства в соответствующем базисе.

2.2 Получить временные диаграммы работы спроектированного комбинационного устройства.

Для этого необходимо сформировать все возможные входные кодовые комбинации с помощью Word Generator XWG1, подключить соответствующие выходы генератора к входам схемы, подать входные и выходные переменные на входы Logic Analyzer XLA1;

### **3 Содержание отчета**

3.1 Тема и цель работы.

3.2 Минимизированное логическое выражение, полученное с помощью карты Карно.

3.3 Функциональная схема и временная диаграмма работы синтезированного комбинационного устройства.

3.4 Выводы по выполненной работе.

### **4 Контрольные вопросы и задания**

4.1 Что такое таблица истинности?

4.2 Что такое СДНФ и СКНФ?

4.3 Как записать СДНФ, используя таблицу истинности устройства?

4.4 Как записать СКНФ, используя таблицу истинности устройства?

4.5 Что такое минимизация логического выражения?

4.6 Запишите основные законы алгебры логики.



## Лабораторная работа № 7

### Синтез логических схем с использованием логического преобразователя (Multisim 11).

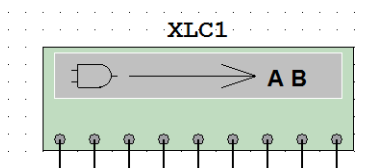
Цель работы: изучение режимов работы логического преобразователя (Logic converter).

#### **Пояснения к работе:**

Студент при выполнении работы должен знать основы алгебры логики, таблицы истинности для элементарных логических операций, уметь преобразовывать логические (булевы) выражения, иметь навыки работы в программе MULTISIM 11.

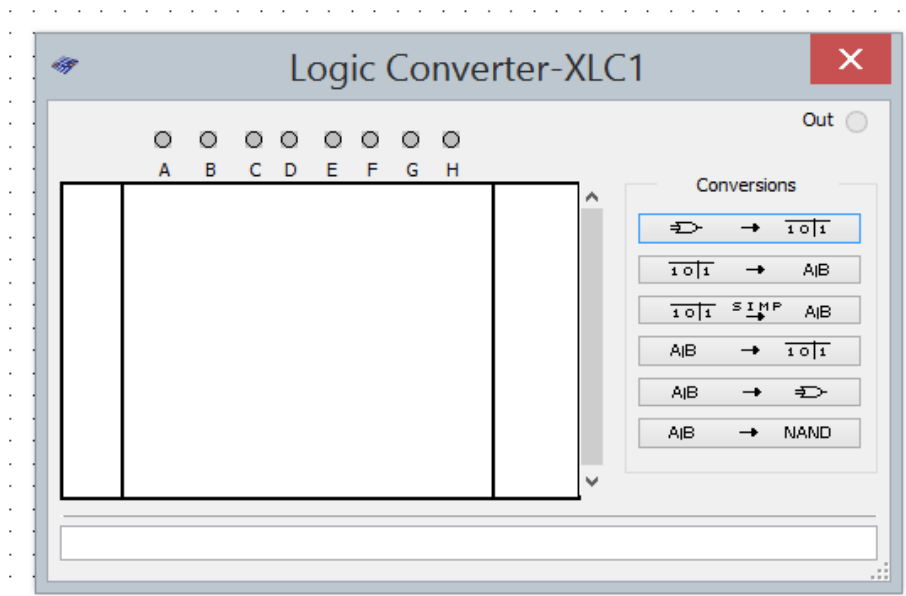
### 1. Краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения работы.

#### **Логический преобразователь (конвертер)**



**Логический преобразователь (конвертер)** – виртуальный прибор, предназначенный для выполнения различных функциональных преобразований в логической схеме.

#### **Рабочее пространство конвертера выглядит следующим образом:**



#### **С его помощью возможно осуществлять следующие операции:**



#### **1. Получение таблицы истинности по существующей схеме.**

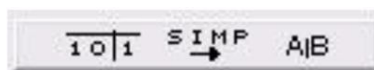
Для получения таблицы истинности схемы необходимо подключить входы (A, B,... F) логического преобразователя ко входам исследуемой схемы (не более 8 входов), выход OUT логического преобразователя соединить с выходом схемы. После нажатия кнопки в левой части экрана конвертера появится таблица истинности, описывающая функционирование исследуемой схемы.



### Ввод и преобразование таблицы истинности.

Для создания таблицы истинности необходимо в левой верхней части прибора выбрать нужное число переменных от А до Н (щелкнуть на соответствующие «окошки» над буквами). При этом рабочее пространство прибора заполнится наборами нулей и единиц, которые будут определять комбинации входных сигналов.

В правой части рабочего пространства конвертера расположен столбец выходных значений ОУТ (реакция на входные сигналы), заполненный изначально значками «х» (означают безразличные состояния). Изменяя в правой колонке значения на соответствующие варианту задания, можно описать состояние выхода для любого начального условия. После нажатия на указанную «кнопку» в нижней строке прибора появится логическая функция, построенная на основании введенной вами в конвертер таблицы истинности.



### Упрощение выражений алгебры логики (Булевой алгебры).

В случае, если таблица содержит большое число переменных, логическое выражение функции получается громоздким. Для этих целей используется указанная «кнопка». В результате применения данного инструмента функция минимизируется (упрощается).



### Ввод и преобразование логического выражения.

Для получения таблицы истинности функции, заданной логическим выражением, сделайте следующее:

1. В строку конвертера с помощью клавиатуры введите логическое выражение;
2. Нажмите указанную «кнопку».

**ВАЖНО!** При вводе выражений инверсия (отрицание) обозначается апострофом: «'» справа от обозначения символа.



### Синтез схемы по логическому выражению.

При помощи логического конвертера можно получить схему, реализующую функцию, заданную логическим выражением. Для этого в нижней строке преобразователя введите логическое выражение и нажмите указанную кнопку. После нажатия кнопки на рабочем пространстве MULTISIM появится эквивалентная логическому выражению схема.

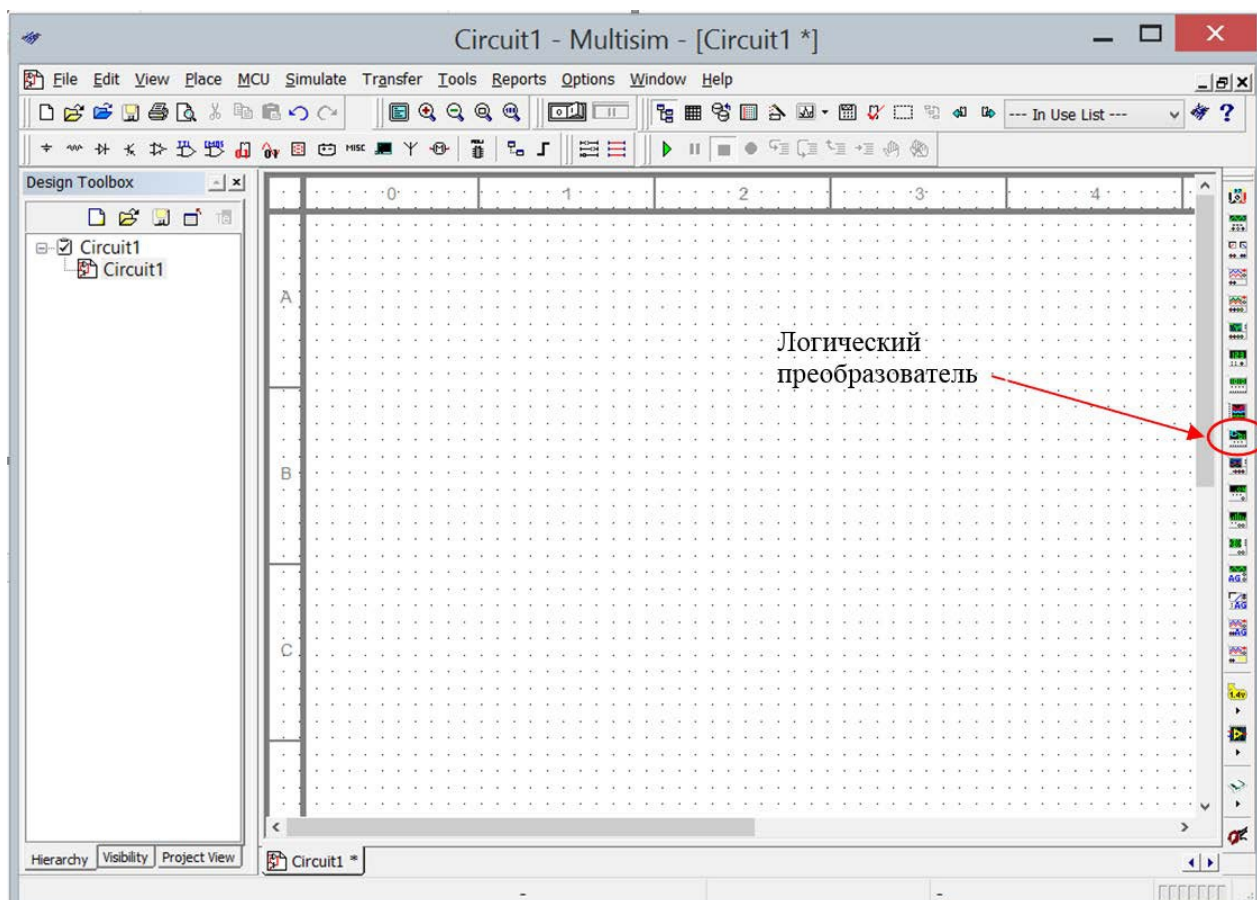


### Синтез схемы по логическому выражению в базисе И-НЕ.

Если потребуется использовать для построения схемы только элементы И-НЕ, необходимо применить кнопку. Для этого в нижней строке преобразователя введите логическое выражение и нажмите указанную кнопку. После нажатия кнопки на рабочем пространстве MULTISIM появится эквивалентная логическому выражению схема, построенная на элементах «И-НЕ».

## 2. Задание на выполнение лабораторной работы

2.1. Приступая к выполнению данной лабораторной работы необходимо запустить программу MULTISIM 11 **Пуск\National instruments\Multisim 11**



На панели инструментов справа необходимо найти и запустить логический преобразователь: «Logic converter». Затем пометить его в левый верхний угол рабочего пространства MULTISIM и открыть рабочее поле конвертера двойным щелчком мыши.

2.2. Для работы необходимо использовать исходные данные, указанные в таблице:

**ВАЖНО!** Номер варианта назначается согласно номеру рабочего места.

Таблица 2.2.

A	B	C	Номер варианта (Значение функции)									
			F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>10</sub>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0
0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0
1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

## **2.3 Выполненные Вами практические задания по каждому пункту оформляются в лабораторном отчете:**

### **Практическое задание:**

1. Выпишите из таблицы 2.2 исходные значения согласно Вашему варианту задания – номер варианта определяется по номеру рабочего места (отсчитывается от рабочего места преподавателя).
2. Введите в конвертер значения, полученные из подготовленной Вами таблицы. Для чего необходимо двойным кликом мыши открыть рабочее окно конвертера.
3. Нажатием соответствующей кнопки преобразуйте таблицу в логическое выражение.
4. Упростите полученное логическое выражение с помощью соответствующей кнопки конвертера.
5. Постройте функциональную схему из логических элементов на основании упрощенного логического выражения. Для этого Вам нужно выбрать соответствующую кнопку конвертера и «нажать» на нее.
6. Постройте функциональную схему из логических элементов используя базис «И-НЕ». Для этого Вам нужно выбрать соответствующую кнопку конвертера и «нажать» на нее.
7. Закройте «окошки» «А», «В», «С» и постройте в конвертере таблицу истинности на основании полученной функциональной схемы из логических элементов и сравните с исходным вариантом таблицы.
8. Сделайте вывод по проделанной работе.

### **3. Отчет должен содержать следующие сведения:**

1. Название лабораторной работы и её цель.
2. Таблица с исходными данными по выбранному варианту.
3. Полученное с помощью логического преобразователя логическое выражение.
4. Упрощенное с помощью логического преобразователя логическое выражение.
5. Функциональная схема, построенная на основе упрощенного логического выражения.
6. Функциональная схема, полученная в базисе «И-НЕ»
7. Вывод по проделанной работе.

### **4. Контрольные вопросы:**

1. Что означает логическое выражение?
2. Что такое таблица истинности?
3. В чем назначение логического преобразователя?
4. Что такое минимизация логического выражения и для чего она требуется?
5. Что такое логический базис? На чем он может быть основан?