

Лабораторная работа №12

Моделирование работы комбинационных цифровых устройств

1. Цель работы

Освоить порядок моделирования простейших комбинационных цифровых устройств (КЦУ) с помощью программы Multisim 11.0.2.

2. Общие сведения

Системы моделирования радиоэлектронных устройств (РЭУ) позволяют резко уменьшить объем экспериментальных исследований, для проведения которых требуется приобретение дорогостоящих измерительных приборов, радиодеталей, трудоёмкая сборка и длительная настройка макетов.

Применение программ моделирования РЭУ позволяет всесторонне исследовать разрабатываемые устройства в различных режимах работы (например, в предельно допустимых режимах), что сложно выполнить экспериментальными методами. Результаты макетирования дают ограниченный объем информации о характеристиках разрабатываемой аппаратуры. Экспериментальные исследования отражают характеристики лишь конкретных единичных макетов. Они не позволяют оценить влияние статистического разброса параметров полупроводниковых и других элементов РЭУ, и поэтому трудно делать обобщающие выводы по результатам макетирования. Экспериментально сложно определить, какие последствия вызовет наихудшее сочетание параметров радиоэлементов, и что произойдет при отказе отдельных радиоэлементов. Опытным путём не просто исследовать влияние дестабилизирующих факторов, например, внешней температуры. Перечисленные проблемы, возникающие при экспериментальных исследованиях, легко преодолеваются путём моделирования работы РЭУ.

Моделирование широко используется при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

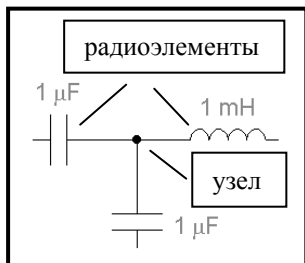
Программы моделирования могут с успехом использоваться и в учебном процессе. Изучение радиоэлектронных устройств можно проводить при выполнении лабораторных работ по многим техническим дисциплинам. Это избавляет от необходимости делать значительные затраты на приобретение оборудования для лабораторных работ, исключает отказы оборудования из-за ошибочной коммутации, позволяет исследовать многие режимы работы устройств, которые недопустимы на реальных макетах.

Детальное исследование радиоэлектронных устройств на ЭВМ на уровне **принципиальных** схем можно провести с помощью множества специальных программ: PSpice (Design Center, DesignLab), OrCAD, TangoPRO, Electronics Workbench, Multisim, MicroCAP, CircuitMaker, Aplac, SIMULINK, LabView [1- 4] и др.

Одной из первых удачных программ моделирования РЭУ была программа схемотехнического моделирования SPICE (**S**imulation **P**rogram with **I**ntegrated **C**ircuit **E**mphasis), разработанная в начале 70-х годов XX столетия в Калифорнийском университете для больших ЭВМ, а в конце 80-х годов эта программа была адаптирована (приспособлена) для ПЭВМ и получила название PSpice. Эта программа оказала сильное влияние на последующие подобные разработки.

В системе **PSpice** использован таблично-топологический метод описания схемы: выделяются узлы и указывается, какие элементы установлены между этими узлами. Затем программа автоматически составляет алгебраические и дифференциальные уравнения, которые описывают работу моделируемого устройства.

Узлами называются участки электрической схемы, в которых соединяются два или более радиоэлемента.



Радиоэлементы – изделия микроэлектроники, выполняющие операции усиления, генерирования, детектирования, фильтрации и другие преобразования электрических сигналов. Радиоэлементы бывают **пассивными** (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и др.) и **активными** (транзисторы, диоды, операционные усилители, логические элементы и др.).

Компоненты – это все элементы, из которых состоит электрическая схема.

Электрическая схема – это документ, составленный в виде условных графических обозначений радиоэлементов и их взаимных связей.

Модель — материальный объект либо образ, которые упрощённо отображают самые существенные свойства объекта исследования. Под образом понимаются: формула, изображение, словесное описание, схема, граф, чертёж, план, карта, блок-схема алгоритма, ноты и т.п.

Ввод схем в систему моделирования первоначально был неудобен. Исследуемая схема описывалась с помощью специального языка программирования. Последние версии программы PSpice позволяют синтезировать схему из готовых графических элементов. Для этого системы комплектуются библиотеками стандартных элементов. Заметим, что разработку математических

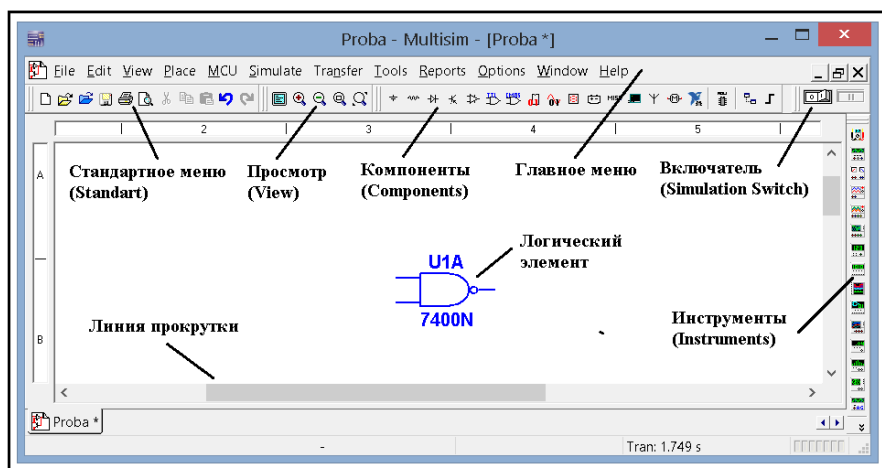
моделей радиоэлементов и измерительных приборов ведут фирмы-производители, которые в наибольшей степени заинтересованы в широком распространении своей продукции.

На базе программы PSpice были разработаны многие программы, например, Design Center и DesignLab.

Наиболее легка в освоении программа **Electronics Workbench** (фирма Interactive Image Technologies). Она построена интуитивно понятно, и работа с этой программой напоминает экспериментальную деятельность радиоинженера. В программе имеются виртуальные приборы (вольтметры, амперметры, генераторы, осциллограф, измеритель амплитудно-частотной характеристики и т. п.).

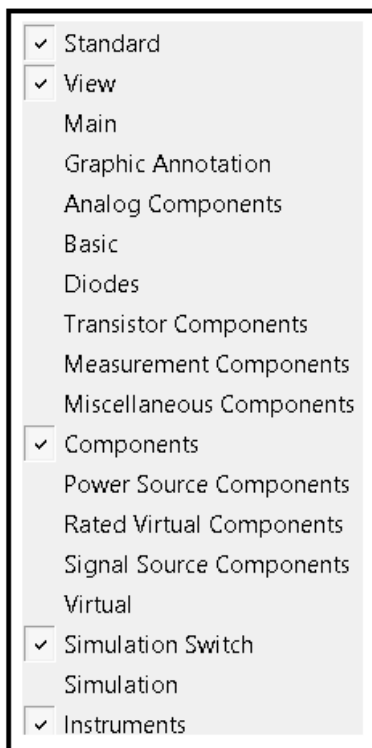
Усовершенствование программ семейства Electronics Workbench привело к созданию системы моделирования РЭУ Multisim.

Пользовательский интерфейс Multisim показан на рисунке.



Главное меню даёт доступ ко всем опциям программы. Одновременное нажатие двух клавиш (аккорд): Alt и клавиши с подчёркнутой буквой открывает список доступных опций. Например, аккорд клавиш Alt+F открывает меню File. С помощью опции Save as... (Сохранить как...) можно сохранить созданный документ, скажем, с именем Proba.ms11.

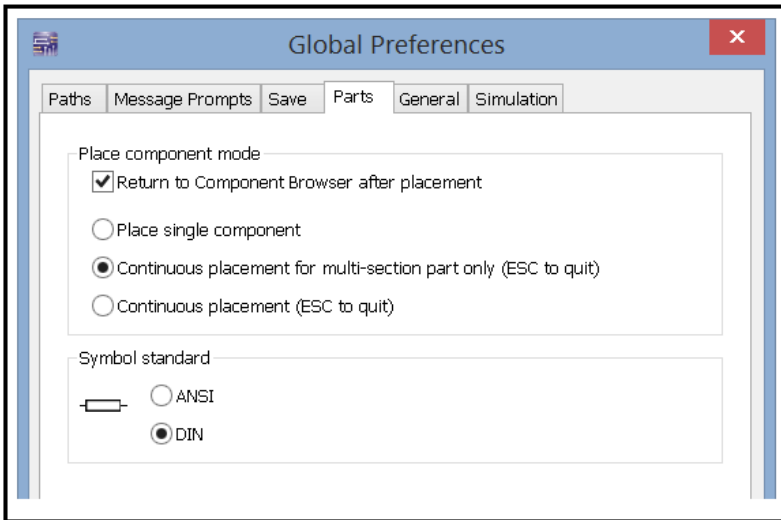
Настройка пользовательского интерфейса происходит путём вызова контекстного меню и выбора нужных панелей. Каждый пользователь может настроить интерфейс под свои потребности (можно выбрать нужные панели и определить их местоположение). На рисунке показаны выбранные панели для показанного пользовательского интерфейса.



Программа Multisim позволяет выбрать стандарт, в соответствии с которым изображаются радиоэлементы. Можно выбрать американский стандарт ANSI, либо немецкий стандарт DIN. Изображения отечественных радиоэлементов в большей части совпадают с обозначениями по стандарту DIN.

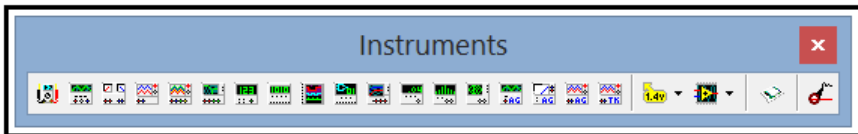
Для выбора предпочтительного стандарта нужно последовательно выполнить команды: **Options** → **Global Preferences** → **Parts**.

Вид диалогового окна для выбора стандарта показан на рисунке.



В Multisim есть интерактивные элементы, с помощью которых можно управлять работой моделируемого устройства. К интерактивным элементам относятся переключатели, потенциометры.

Виртуальные приборы – это компоненты, которые эмулируют реальные измерительные приборы. Виртуальные приборы размещены на панели Instruments.



Перечислим имеющиеся виртуальные приборы.

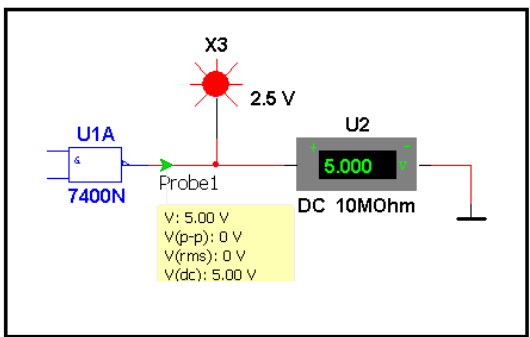
Mustimeter (мультиметр – это многофункциональный прибор, предназначенный для измерения напряжения, тока, сопротивления и уровня), Function Generator (генератор сигналов, который позволяет формировать колебания синусоидальной, прямоугольной и треугольной формы), Wattmeter (измеритель мощности), Oscilloscope (двухканальный осциллограф), 4 Channel Oscilloscope (четырёхканальный осциллограф), IV-Analysis (измеритель вольт-амперных характеристик), Bode plotter (измеритель амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик), Frequency Counter (частотомер), Word Generator (формирователь 32-х разрядных двоичных чисел), Logic Analyzer (анализатор цифровых сигналов), Logic Converter (логический конвер-

тер), Distortion Analyzer (измеритель искажений), Spectrum Analyzer (анализатор спектра), Network Analyzer (сетевой анализатор).

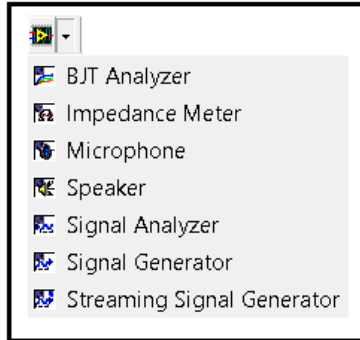
Моделирование в среде Multisim достаточно точно воспроизводит реальную работу радиоинженеров. Некоторые инструменты являются адекватными моделями промышленных измерительных приборов. К таким моделям относятся: Agilent Function Generator- XFG1 (генератор сигналов), Agilent Multimeter –XMM1(многофункциональный измеритель), Agilent Oscilloscope – XSC1 (осциллограф), Tektronix Oscilloscope– XSC1 (осциллограф).



Measurement Probe (измерительный пробник) позволяет оперативно определить электрические параметры (напряжение, ток, частоту) в любой точке имитируемой схемы. Следующий рисунок иллюстрирует, как пробник заменяет вольтметр и светодиод.



Программа Multisim совместима с программой LabView, поэтому в среде Multisim можно использовать инструменты LabView Instruments. Следующий рисунок содержит перечень этих устройств.



Перечисленные инструменты могут быть использованы по одному экземпляру в каждой схеме. Однако, в Multisim есть приборы-индикаторы (вольтметры, амперметры), которые можно устанавливать без ограничений по их числу.

Для улучшения восприятия схем различные цепи в Multisim можно окрашивать в разные цвета. При этом временные диаграммы на экране двухлучевого осциллографа и многоканального логического анализатора окрашиваются в те же цвета, что и проводники.

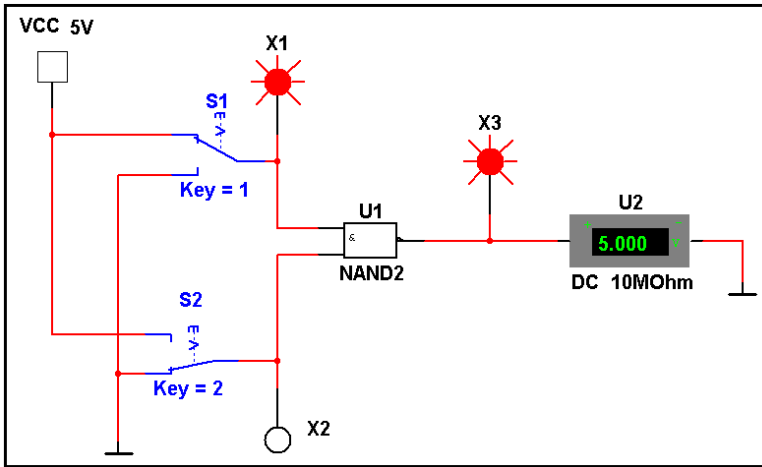
При составлении схемы хотя бы один узел должен быть обязательно «заземлён» с помощью элемента с таким условным графическим обозначением:



3. Задания на выполнение лабораторной работы

3.1. Задание 1. Исследование логических элементов

Собрать схему, показанную на рисунке. С помощью подобной схемы исследовать шесть логических элементов (И, ИЛИ, Исключающее ИЛИ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, Исключающее ИЛИ-НЕ).



Результаты исследования шести логических элементов занести в отчёт в виде таблицы, форма которой показана ниже.

		И		ИЛИ		И-НЕ		ИЛИ-НЕ		Искл. ИЛИ		Искл. ИЛИ-НЕ	
x_2	x_1	y	V, В	y	V, В	y	V, В	y	V, В	y	V, В	y	V, В
0	0												
0	1												
1	0												
1	1												

В колонки с обозначением «у» проставляются логические сигналы, а в колонки «V, В» - показания вольтметра.

3.2. Задание 2. Исследование комбинационных цифровых устройств

Составить схему в соответствии с логическим выражением (табл. 2). Произвести исследование схемы. Составленную схему поместить в отчёт.

Таблица 2

Вар.	Логическое выражение	Вар.	Логическое выражение
1	$(\bar{x}_3 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_1) \vee (\bar{x}_3 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_1)$	9	$(x_3 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_1) \oplus (x_3 \vee \bar{x}_2)$
2	$(\bar{x}_3 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_1) \vee (\bar{x}_3 \cdot \bar{x}_1)$	10	$(x_3 \vee x_2 \vee \bar{x}_1) \cdot (x_3 \oplus \bar{x}_2)$
3	$(\bar{x}_3 \cdot x_1) \vee (\bar{x}_3 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_1)$	11	$(x_3 \oplus x_2 \oplus \bar{x}_1) \cdot (x_3 \oplus \bar{x}_2)$
4	$(\bar{x}_3 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_1) \oplus (\bar{x}_3 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_1)$	12	$(x_3 \oplus x_2 \oplus \bar{x}_1) \vee (x_3 \oplus \bar{x}_2)$
5	$(\bar{x}_3 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_1) \oplus (\bar{x}_3 \cdot \bar{x}_1)$	13	$(x_3 \vee \bar{x}_1) \cdot (x_3 \vee \bar{x}_2)$
6	$(\bar{x}_3 \cdot x_1) \oplus (\bar{x}_3 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_1)$	14	$(x_3 \vee x_1) \cdot (x_3 \vee \bar{x}_2)$
7	$(x_3 \vee x_2 \vee \bar{x}_1) \cdot (x_3 \vee \bar{x}_2)$	15	$(x_2 \cdot \bar{x}_1) \oplus (x_3 \vee \bar{x}_2)$
8	$(x_3 \vee x_2 \vee \bar{x}_1) \oplus (x_3 \vee \bar{x}_2)$	16	$(\bar{x}_3 \cdot x_2) \oplus (\bar{x}_3 \cdot \bar{x}_1)$

Исследование КЦУ заключается в определении выходных сигналов при указанных значениях входных сигналов. Результаты исследования комбинационных цифровых устройств (расчёт с помощью логического выражения и моделирование собранной схемы в Multisim) занести в табл. 3.

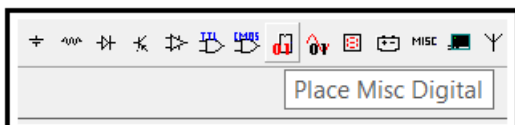
Таблица 3

Порядковый номер комбинации	Входные сигналы			Выходной сигнал Y	
	x_3	x_2	x_1	Расчёт	Моделирование
1	0	0	0		
2	0	0	1		
3	0	1	0		
4	0	1	1		
5	1	0	0		
6	1	0	1		
7	1	1	0		
8	1	1	1		

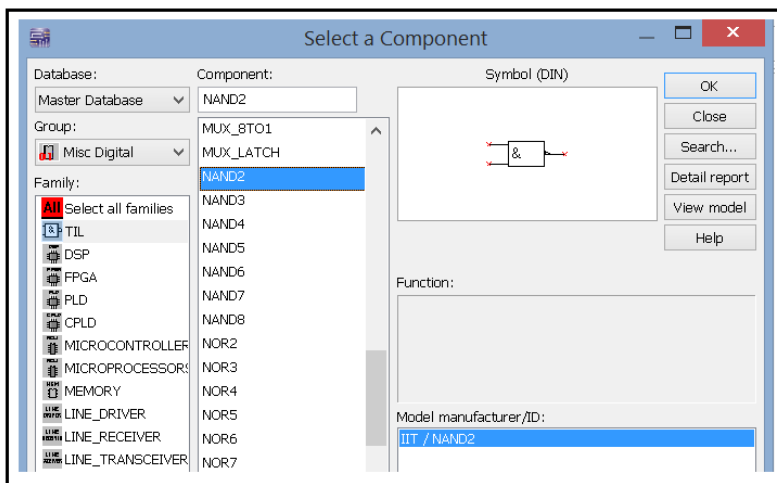
4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Методические указания к заданию 3.1

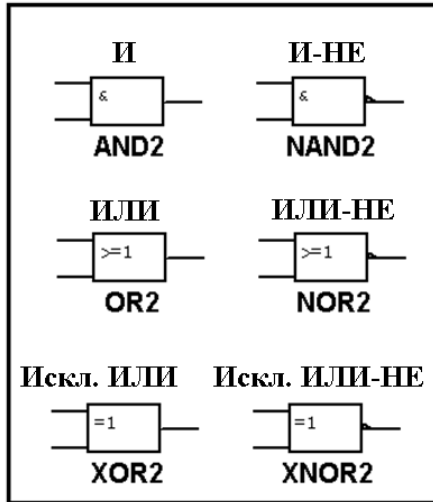
Для установки требуемого логического элемента нужно на панели **Components** выбрать группу элементов ТТЛ-логики (Place Misc Digital – Размещение различных цифровых элементов).



В диалоговом окне следует выбрать нужный компонент, например, двухвходовый логический элемент И-НЕ (NAND2).



Условные графические обозначения исследуемых логических элементов показаны на следующем рисунке. Обозначения логических элементов в американском и отечественном стандартах приведены в Приложении 1.

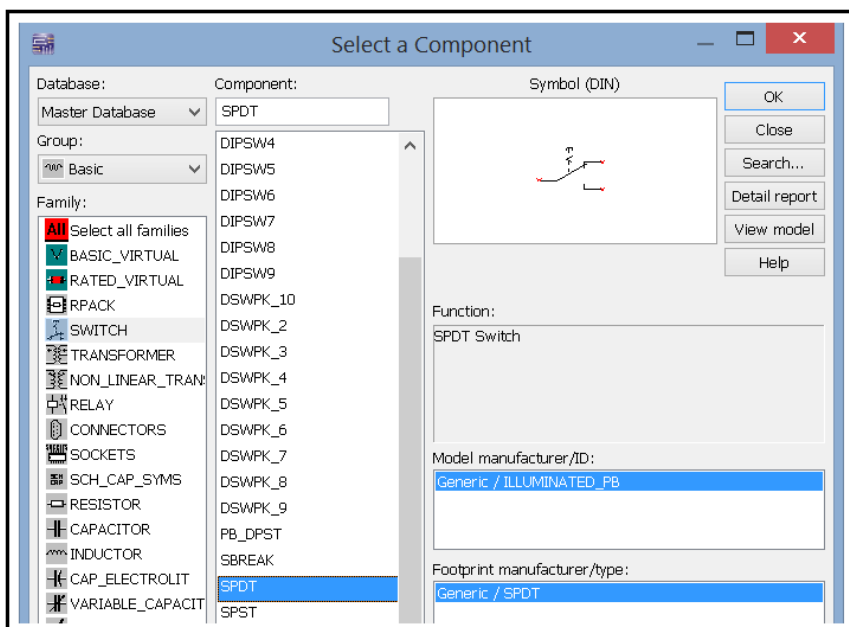


Заменить отдельный компонент схемы можно с помощью контекстного меню. Для этого используется команда **Replace Components...** (Заменить компоненты). Эту опцию удобно использовать в данной работе для поочередного подключения шести логических элементов к одной и той же измерительной схеме.

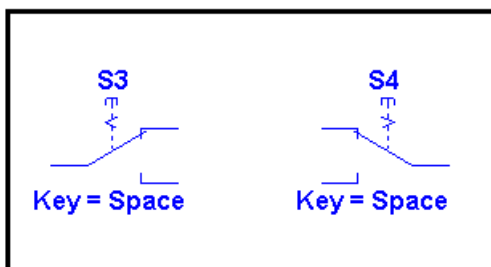
Для установки в схему переключателя нужно на панели **Components** выбрать группу основных элементов (Place Basic – Размещение основных элементов).



Затем в семействе **SWITCH** выбрать переключатель **SPOT**.



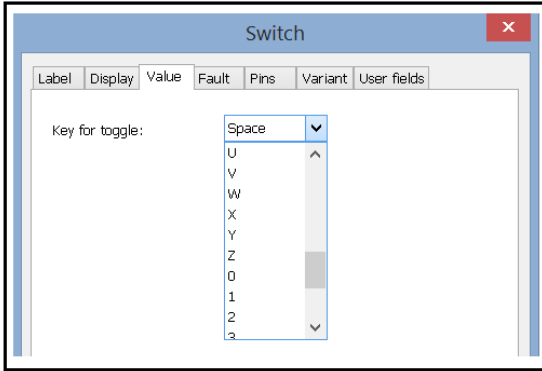
Поворот ключа в горизонтальной плоскости производится с помощью контекстного меню. Для этого выбирается опция **Flip Horizontal**.



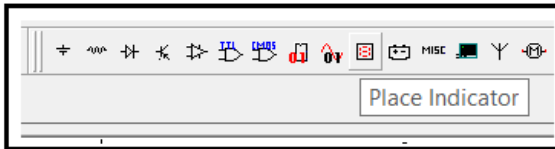
Надпись **Key=Space** означает, что по умолчанию переключатель будет управляться клавишей пробела. Нажатие пробела приведёт к замыканию верхних контактов, а при повторном нажатии - к размыканию. Управлять переключателем можно, в принципе, любой клавишей. Для этого достаточно проделать такие манипуляции.

Вызвать контекстное меню, где активизировать опцию **Properties**

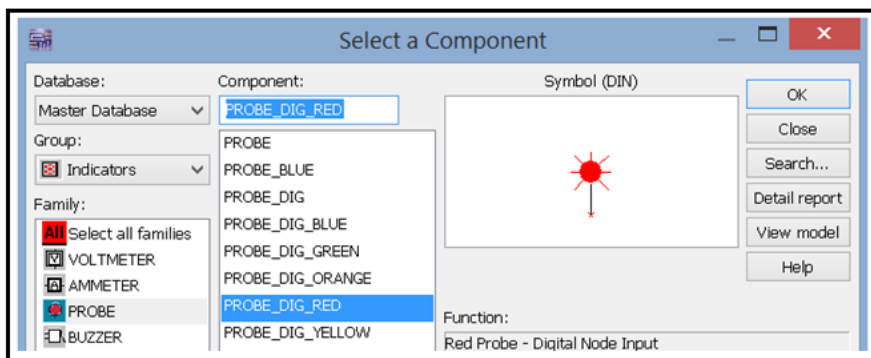
(Свойства), на вкладке **Value** (Значения) появится список, в котором нужно выбрать подходящий символ, например, 1. Теперь управление переключателем будет осуществляться клавишей 1.



Установка в схему светодиодов осуществляется с помощью панели **Components**, где выбирается группа индикаторов (Place Indicator – Размещение индикаторов).

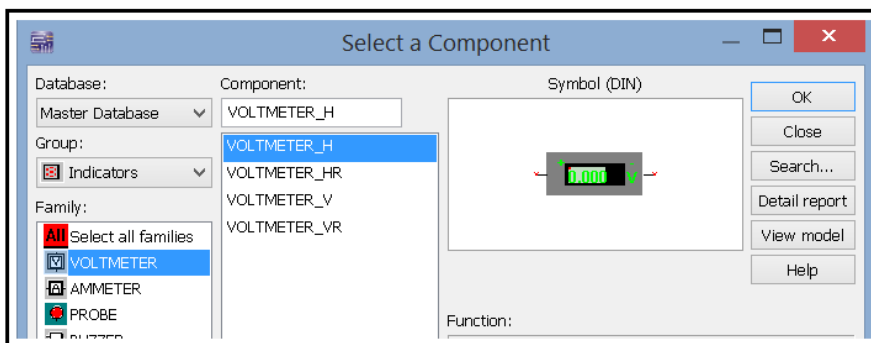


Затем, в семействе **PROBE** нужно выбрать светодиод подходящего цвета.



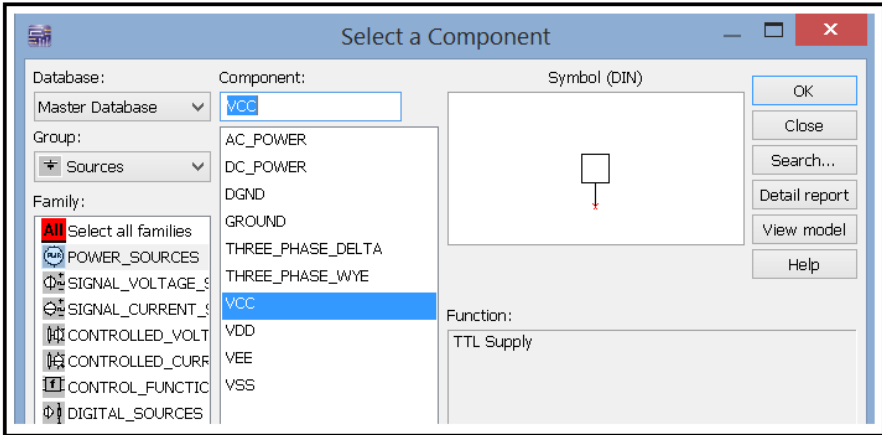
В Multisim элементы можно поворачивать не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальной. Это делается с помощью контекстного меню (опция **Flip Vertical**). Один из трёх светодиодов (X2) перед монтажом в заданной схеме целесообразно повернуть на 180 градусов.

Извлечение вольтметра-индикатора из базы данных происходит в такой последовательности: панель **Components** → группа **Indicators** → семейство **VOLTMETER**.

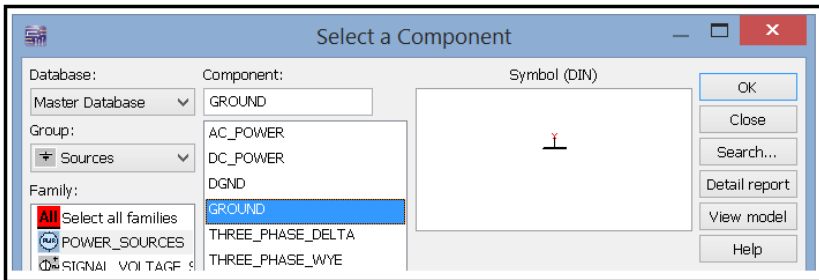


Для формирования сигналов логической единицы и логического нуля в схеме должен быть источник напряжения 5 В и заземление, с помощью которого формируется низкий уровень напряжения.

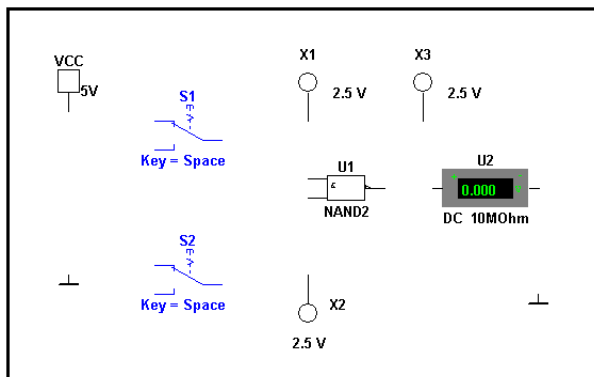
Источник напряжения находится в базе данных (группа Sources, семейство POWER_SOURCES, компонент VCC).



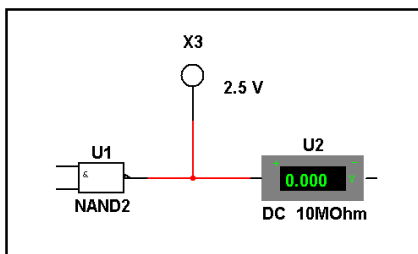
Элемент заземления находится в группе Sources, семейство POWER_SOURCES, компонент Ground.



Подготовленные к монтажу схемы элементы необходимо соединить проводниками.



Чтобы соединить два радиоэлемента между собой подбирает подвести курсор к внешнему выводу одного радиоэлемента и при появлении точки сделать щелчок левой кнопкой мыши. Далее надлежит подвести курсор к внешнему выводу другого радиоэлемента и при появлении точки сделать ещё один щелчок.



Проводник можно подсоединять не только к внешнему выводу радиоэлемента, но и к середине другого проводника. Например, так как это сделано на рисунке слева.

Если нужно удалить лишний проводник, то щелчком левой кнопкой мыши следует выделить этот проводник, а затем нажать клавишу **Delete**. Удаление происходит и при щелчке по кнопке ножницы (**Cut**) или использовании аккорда клавиш **Ctrl+X**.

Чтобы запустить процесс моделирования "собранного" устройства следует нажать кнопку, расположенную в правом верхнем углу рабочего окна программы. Естественно, что указанные действия производятся с помощью манипулятора "мышь". Только после нажатия этой кнопки будут получены результаты моделирования исследуемого устройства.



4.2. Методические указания к заданию 3.2

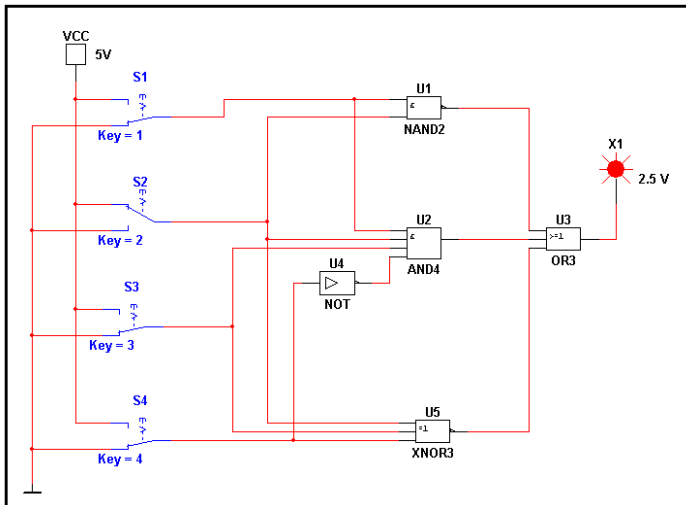
Рассмотрим пример составления схемы КЦУ по заданному выраже-

нию. Пусть дано логическое выражение:

$$y = (\overline{x_2 \cdot x_1}) \vee (\overline{x_4} \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot x_1) \vee (\overline{x_4 \oplus x_3 \oplus x_2}) .$$

Для реализации КЦУ потребуется трёхходовый элемент ИЛИ, двухходовая схема И-НЕ, четырёхходовая схема И, трёхходовый элемент Исключающее ИЛИ-НЕ и один инвертор.

Для определения выходного сигнала потребуется светодиод. Схема, составленная в соответствии с выражением, показана на рисунке.



5. Требования к отчёту

Отчёт подготавливается в электронном виде. Он должен содержать постановку задачи, скриншоты, которые показывают порядок решения задачи, таблицу истинности шести логических элементов, схемы, таблицу исследования КЦУ, необходимые комментарии и анализ полученных результатов.















6. Контрольные вопросы

- 6.1. Как настраивается пользовательский интерфейс Multisim?
- 6.2. Перечислите измерительные приборы, имеющиеся в Multisim
- 6.3. Составьте таблицу истинности логического элемента И.
- 6.4. Составьте таблицу истинности логического элемента ИЛИ-НЕ.
- 6.5. Составьте таблицу истинности логического элемента Исключающее ИЛИ.
- 6.6. Составьте таблицу истинности логического элемента И-НЕ.
- 6.7. Запишите аксиомы алгебры логики
- 6.8. Запишите тождества алгебры логики
- 6.9. Запишите законы алгебры логики
- 6.10. Приведите отечественные и американские условные графические обозначения логических элементов.
- 6.11. Перечислите программы, которые могут использоваться для моделирования радиоэлектронных устройств
- 6.12. Как в программе Multisim повернуть элемент вокруг вертикальной оси?
- 6.13. Как на основании логической функции построить комбинационное цифровое устройство?
- 6.14. Что такое модель?
- 6.15. Дайте определение комбинационного цифрового устройства.

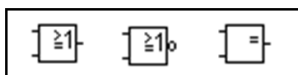
7. Список литературы

1. Алексеев А.П. Информатика 2015 [Текст]: учеб. пособие/ Алексеев А.П. – М: СОЛОН-Пресс, 2015. – 400 с. ISBN 978-5-91359-158-6
2. Алексеев А.П. Система моделирования CircuitMaker//PC WEEK/RE, 2000, с.28.
3. Карлашук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и её применение. –М.: Солон-Р, 1999. - 506 с.
4. Загидуллин Р.Ш. Multisim, LabVIEW и Signal Express. Практика автоматизированного проектирования электронных устройств. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 366 с.

Приложение 1.

Элемент	Отечественное обозначение	Американский стандарт
И (конъюнктор)		
И-НЕ (элемент Шеффера)		
ИЛИ (дизъюнктор)		
ИЛИ-НЕ (элемента Пирса)		
Исключающее ИЛИ		
Исключающее ИЛИ-НЕ		
Инвертор		

Изображение элементов в Multisim не полностью совпадает с изображением элементов, которое используется в отечественном стандарте. Так элементы ИЛИ, ИЛИ-НЕ и Исключающее ИЛИ-НЕ выглядят в Multisim следующим образом (соответственно):



Напомним, что операция ИЛИ обозначается символом \vee , Исключающее ИЛИ - символом \oplus . Операция И обозначается точкой, которая при записи может быть опущена. Инверсия обозначается чертой над выражением.