Введение

Целью данных методических указаний является практическое изучение принципов построения и функционирования логических элементов, устройств комбинационного и последовательностного типов и готовых интегральных микросхем малой и средней степени интеграции с использованием программы **Electonics WorkBench (EWB)**.

Разработка любого электронного устройства сопровождается физическим или математическим моделированием. Физическое моделирование связано с большими материальными затратами, поскольку требует изготовление макетов и трудоёмкое исследование, Часто физическое моделирование ИХ невозможно из-за чрезвычайной сложности устройства, например, при разработки больших и сверхбольших интегральных микросхем. В этом случае прибегают к математическому моделированию использованием c средств И вычислительной техники.

EWB позволяет строить и анализировать любые электронные схемы, включающие в свой состав любые цифровые устройства от самых простых до сложных.

Особенностью программы является наличие контрольно-измерительных приборов, по внешнему виду и характеристикам приближенных к их промышленным аналогам.

Программа легко осваивается и достаточно удобна в работе.

1 Система моделирования Elektronics Workbench

История создания программы Elektronics Workbench (EWB) начинается с 1989 г. Ранние версии программы состояли из двух независимых частей. С помощью одной половины программы можно было моделировать аналоговые устройства, с помощью другой - цифровые. Такое "раздвоенное" состояние создавало определенные неудобства, особенно при моделировании смешанных аналого-цифровых устройств. В 1996г. в версии 4.1 эти части были объединены и через полгода выпущена пятая версия программы. Она дополнена средствами анализа примерно в объеме программы Micro-Cap V, переработана и несколько расширена библиотека компонентов. Средства анализа цепей выполнены в типичном для всей программы ключей - минимум усилий со стороны пользователя. Дальнейшим развитием EWB является программа EWB Layout, предназначенная для разработки печатных плат. Программа EWB обладает преемственностью снизу вверх, т.е. все схемы созданные в версиях 3.0 и 4.1, могут быть промоделированы в версии 5.0. Следует отметить, что EWB позволяет также моделировать устройства, для которых задание на моделирование подготовлено в текстовом формате SPICE, обеспечивая совместимость с программами Micro-Cap и Pspice.

Программа EWB 4.1 рассчитана для работы в среде Windows 3.хх или 95/98 и занимает около 5 Мбайт дисковой памяти, EWB 5.0 - в среде Windows 95/98 и NT 3.51, требуемый объем дисковой памяти - около 16 Мбайт. Для размещения временных файлов требуется дополнительно 10-20 Мбайт свободного пространства.

1.1 Система меню

1.1.1 Меню File

Меню File предназначено для загрузки и записи файлов, получение твердой копии выбранных для печати составных частей схемы, а также для импорта/экспорта файлов в форматах других систем моделирования и программ разработки печатных плат.

Первые четыре команды этого меню: New (Ctrl+N), Open (Ctrl+O), Save (Ctrl+S), Save As... - типичные для Windows команды работы с файлами и по этому пояснения не требуют. Для этих команд в пятой версии имеются иконки со стандартным изображением. Остальные команды имеют следующее назначение:

- Revent to Savent... стирание всех изменений, внесенных в текущем сеансе редактирования, и восстановление схемы в первоначальном виде;
 - Print... (Ctrl+P) выбор данных для вывода на принтер;
 - Print Setup... настройка принтера;
 - Exit (Alt+F4) выход из программы;
 - Install... установка дополнительных программ.

1.1.2 Меню Edit

Меню Edit позволяет выполнять команды редактирования схем и копирование экрана.

Назначение команд:

- Cut (Ctrl+X) стирание (вырезание) выделенной части схемы с сохранением ее в буфере обмена (Clipboard). Выделенные компоненты окрашиваются в красный цвет;
 - Copy (Ctrl+C) копирование выделенной части схемы в буфер обмена;
- Paste (Ctrl+V) вставка содержимого буфера обмена на рабочее поле программы;
 - Delete (Del) стирание выделенной части схемы;
 - Select All (Ctrl+A) выделение всей схемы;
- Copybits (Ctrl+I) команда превращения курсора мыши в крестик, которым по правилу прямоугольника можно выделить нужную часть экрана, после отпускания левой кнопки мыши выделенная часть копируется в буфер обмена, после чего его содержимое может быть импортировано в любое приложение Windows. Копирование всего экрана производится нажатием клавиши Print Screen: копирование активной в данный момент части экрана, например, диалогового окна комбинацией Alt + Print Screen. Команда очень удобна при подготовке отчетов по моделированию, например, при оформлении лабораторных работ;
 - Show Clipboard показать содержимое буфера обмена.

1.1.3 Меню Сігсиіт

Меню Circuit используется для подготовки схем, а также для задания параметров моделирования.

Назначение команд:

- Activate (Ctrl+G) запуск моделирования;
- Stop (Ctrl+T) остановка моделирования;
- Pause (F9) прерывание моделирования;
- Label... (Ctrl+L) ввод позиционного обозначения выделенного компонента (например, R1 для резистора, C5 для конденсатора и т.д.);
- Value... (Ctrl+U) изменение номинального значения параметра компонента; команда выполняется также двойным щелчком по компоненту;
- Model... (Ctrl+M) выбор модели компонента; команда выполняется также двойным щелчком по компоненту;
 - Zoom (Ctrl+Z) развертывание выделенной подсхемы;
- Rotate (Ctrl+R) вращение выделенного компонента; большинство компонентов поворачиваются против часовой стрелки на 90° при каждом выполнении команды, для измерительных приборов (амперметр, вольтметр и др.) меняются местами клеммы подключения. Команда чаще всего используется при подготовке схем. В готовой схеме пользоваться командой нецелесообразно, поскольку это чаще всего приводит к путанице в таком случае компонент нужно сначала отключить от подсоединенных цепей, а затем вращать;

- -Fault (Ctrl+F) имитация неисправности выделенного компонента путем введения:
 - 1) Leakage сопротивления утечки;
 - 2) Short короткого замыкания;
 - 3) Ореп обрыва;
 - 4) None неисправность отсутствует (включено по умолчанию);
- Subcircuit... (Ctrl+B) преобразование предварительно выделенной части схемы в подсхему. Выделенная часть схемы должна быть расположена таким образом, чтобы в выделенною область не попали не относящиеся к ней проводники и компоненты;
- Wire Color... изменение цвета предварительно выбранного проводника. Более простой способ выполнения команды двойной щелчок мышью на проводнике, после чего в меню выбирается один из шести предлагаемых цветов. Необходимость расцветки особенно важна для проводников, соединяющих контрольные точки (узлы) схемы с осциллографом или логическим анализатором в этом случае цвет проводника определяет цвет осциллограммы;
 - Preferences... (Ctrl+ E) выбор элементов оформления схемы;
- Show grid показать сетку для удобства рисования схемы (по умолчанию эта опция выключена, остальные включены). Опция активна только при включенной опции Use grid (использовать сетку);
- Show labels показать позиционные обозначения компонентов, например, C1, C2 для конденсаторов;
- Show models показать имена моделей компонентов, например, типов транзисторов;
- Show values показать номиналы компонентов, например, сопротивления резисторов.

1.1.4 Меню Window

Меню Window содержит следующие команды:

- Arrange (CTRL+W) упорядочивание информации в рабочем окне EWB путем перезаписи экрана, при этом исправляются искажения изображений компонентов и соединительных проводников;
 - Circuit вывод схемы на передний план;
- Description (CTRL+D) вывод на передний план описания схемы, если оно имеется, или окно-ярлык для его подготовки (только на английском языке).

1.1.5 Меню НеІр

Меню Help построено стандартным для Windows способом. Оно содержит краткие сведения по всем рассмотренным выше командам, библиотечным компонентам и измерительным приборам, а также сведения о самой программе. Отметим, что для получения справки по библиотечному компоненту его необходимо отметить на схеме щелчком мыши (он высветится красным цветом) и затем нажать клавишу F1.

1.1.6 Меню Analysis

Первые три команды - Activate (CTRL+G), Stop (CTRL+T), Pause (F9) - аналогичны командам меню Circuit программы EWB 4.1.

Назначение остальных команд следующее:

- Analysis Options... (CTRL+Y) набор команд для установки параметров моделирования;
- -Global настройки общего характера, задаются с помощью диалогового окна, в котором параметры имеют следующее назначение:
 - 1) ABSTOL -абсолютная ошибка расчета токов;
- 2) GMIN минимальная проводимость ветви цепи (проводимость ветви, меньшая GMIN, считается равной нулю);
- 3) PIVREL, PIVTOL относительная и абсолютная величины элемента строки матрицы узловых проводимостей (например, при расчете по методу узловых потенциалов), необходимые для его выделения в качестве ведущего элемента;
- 4) RELTOL допустимая относительная ошибка расчета напряжений и токов;
 - 5) ТЕМР температура, при которой проводится моделирование;
- 6) VNTOL допустимая ошибка расчета напряжений в режиме Transient (анализ переходных процессов);
 - 7) CHGTOL допустимая ошибка расчета зарядов;
- 8) RAMPTIME начальная точка отсчета времени при анализе переходных процессов;
- 9) CONVSTEP относительный размер шага интеграции при расчете режима по постоянному току;
- 10) CONVABSSTEP абсолютный размер шага интеграции при расчете режима по постоянному току;
- 11) CONVLIMIT включение или выключение дополнительных средств для обеспечения сходимости интеграционного процесса (например, за счет использования метода вариации напряжений источников питания);
- 12) RSHUNT допустимое сопротивление утечки для всех узлов относительно общей шины (заземления);
- DC настройка для расчета режима по постоянному току (статистический режим). Для настройки этого режима используется диалоговое окно, параметры которого имеют следующее назначение:
 - 1) ITL1 максимальное количество итераций приближенных расчетов;
- 2) GMINSTEPS размер приращения проводимости в процентах от GMIN (используется при слабой сходимости итерационного процесса);
- 3) SRCSTEPS размер приращения напряжения питания в процентах от его номинального значения при вариации напряжения питания (используется при слабой сходимости итерационного процесса).
 - Transient настройки параметров режима анализа переходных процессов:
- 1) ITL4 максимальное количество итераций за время анализа переходных процессов;
- 2) MAXORD максимальный порядок (от 2 до 6) метода интегрирования дифференциального уравнения;

- 3) TRTOL допуск на погрешность вычисления переменной;
- 4) METHOD метод приближенного интегрирования дифференциального уравнения;
 - 5) TRAPEZOIDAL метод трапеций,
 - 6) GEAR метод Гира;
- 7) АССТ разрешение на вывод статистических сообщений о процессе моделирования;
 - Device выбор параметров МОП-транзисторов:
 - 1) DEFAD площадь диффузионной области стока, M^2 ;
 - 2) DEFAS площадь диффузионной области истока, M^2 ;
 - 3) DEFL длина канала полевого транзистора, м;
 - 4) DEFW ширина канала, м;
 - 5) TNOM номинальная температура компонента;
- 6) BYPASS включение или выключение нелинейной части модели компонента;
- 7) TRYTOCOMPACT включение или выключение линейной части модели компонента.

2 Контрольно-измерительные приборы

Панель контрольно-измерительных приборов находится под полем меню рабочего окна и содержит цифровой мультиметр, функциональный генератор, двухканальный осциллограф, измеритель амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик, генератор слов (кодовый генератор), 8-канальный логический анализатор и логический преобразователь. Вид панели контрольно-измерительных приборов показан на рисунке 2.1. Общий порядок работы с приборами такой: иконка прибора курсором переносится на рабочее поле и подключается проводниками к исследуемой схеме. Для приведения прибора в рабочее (развернутое) состояние необходимо дважды щелкнуть курсором по его иконке



Рисунок 2.1 - Панель контрольно-измерительных приборов

2.1 Мультиметр

Лицевая панель мультиметра показана на рисунке 2.2. На лицевой панели мультиметра расположен дисплей для отображения результатов измерения, клеммы для подключения к схеме и кнопки управления.

Ammeter resistance – внутреннее сопротивление вольтметра.

Voltmeter resistance – входное сопротивление вольтметра.

Ohmmeter current – ток через контролируемый объект;

Decibel standard – установка эталонного напряжения при измерении ослабления или усиления в децибелах.



Рисунок 2.2 - Лицевая панель мультиметра

2.2 Функциональный генератор

Лицевая панель генератора показана на рисунке 2.3. Управление генератора осуществляется следующими органами управления:

- выбор формы выходного сигнала: синусоидальной (выбрана по умолчанию), треугольной и прямоугольной; s

- - Amplitude 10 🗦 🗸 установка амплитуды выходного сигнала;

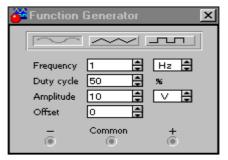


Рисунок 2.3 - Лицевая панель функционального генератора

2.3 Осциллограф

Лицевая панель осциллографа показана на рисунке 2.4. Осциллограф имеет два канала (CHANNEL) А и В с раздельной регулировкой чувствительности в диапазоне от 10 мкВ/дел (mV/Div) до 5 кВ/дел (kV/Div) и регулировкой смещения по вертикали (Y POS). Выбор режима по входу осуществляется нажатием кнопок тока (его еще называют режимом "закрытого входа"). В режиме 0 входной зажим замыкается на землю. В режиме DC (включён по умолчанию) можно проводить осциллографические измерения как постоянного так и переменного тока. Этот режим еще называют режимом "открытого входа".

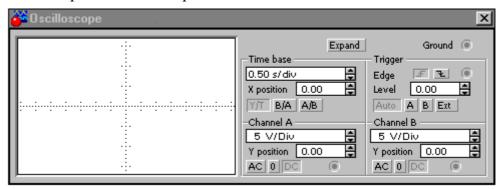


Рисунок 2.4 - Лицевая панель осциллографа

Режим развертки выбирается кнопками Y/T, B/A и A/B. В режиме Y/T (обычный режим, включен по умолчанию) реализуются следующие режимы развертки; по вертикали – напряжение сигнала, по горизонтали – время; в режиме B/A: по вертикали – сигнал канала B, по горизонтали – сигнал канала A; в режиме A/B: по вертикали – сигнал канала A, по горизонтали – сигнал канала B.

В режиме развертки Y/T длительность развертки (TIME BASE) может быть задана в диапазоне от 0,1 нс/дел до 1 с/дел с возможностью установки смещения в тех же единицах по горизонтали, т.е. по оси X.

2.4 Генератор слова

Внешний вид генератора слова в развернутом виде показан на рисунке 2.5. Генератор (его называют еще кодовым генератором) предназначен для генерации шестнадцати 8-разрядных двоичных слов, которые набираются пользователем на экране, расположенном в левой части лицевой панели. Для набора двоичных комбинаций необходимо щелкнуть мышью на соответствующем разряде и затем ввести с клавиатуры 0 или 1. Дальнейшие перемещения по полю экрана удобнее проводить не с помощью мыши, а клавишами управления курсором.

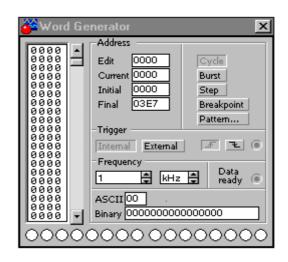


Рисунок 2.5 - Лицевая панель генератора слова

Сформированные слова выдаются на восемь расположенных в нижней части прибора выходных клемм-индикаторов:

С индикацией выходного сигнала в двоичном коде на клеммах индикаторов и в окне Binary; В пошаговом режиме (при нажатии кнопки STEP на панели), циклическом (при нажатии кнопки CYCLE на панели) или с выбранного слова до конца (при нажатии кнопки BURST) при заданной частоте посылок (установка – нажатиями кнопок в окне FREQUENCY); При внутреннем (при нажатии кнопки INTERNAL) или внешнем сигнале синхронизации (при нажатии кнопки EXTERNAL);

Запуск по переднему или заднему фронту задается используя кнопки

2.5 Логический анализатор

Внешний вид логического анализатора показан на рисунке 2.6. Анализатор предназначен для отображения на экране монитора 8-разрядных кодовых последовательностей одновременно в восьми точках схемы, а также в виде двоичных чисел на входных клеммах-индикаторах и в виде шестнадцатеричных чисел в окне HEX. При нажатии кнопки CLEAR информация на экране стирается.

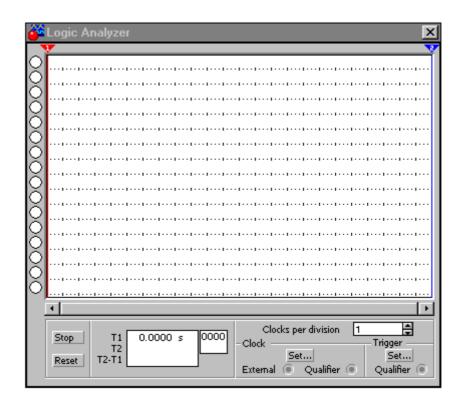


Рисунок 2.6 - Лицевая панель логического анализатора

В блоке TRIGGER расположены кнопки запуска по положительному (включена по умолчанию) или отрицательному спаду сигнала и клемма для подключения вешнего источника синхронизации, например, генератора слова (подключается после нажатия кнопки EXTERNAL). Кроме того, предусмотрен автозапуск и запуск по заданной двоичной комбинации (после нажатия кнопки PATTERN на панели прибора), устанавливаемой пользователем в появившемся окошке, путем ведения туда с клавиатуры 1, 0 или X (неопределенное состояние), предварительно щелкнув мышью на нужном разряде.

2.6 Логический преобразователь

Внешний вид логического преобразователя показан на рисунке 2.7.

На панели преобразователя показаны клеммы-индикаторы входов А, В,....., Н и одного выхода ОUТ, экран для отображения таблицы истинности исследуемой схемы, экранная строка для отображения ее булева выражения (в нижней части). В правой части панели расположены кнопки управления процессом преобразования. Возможные варианты использования преобразователя:

- а) логический анализатор n-входового устройства с одним выходом (входы исследуемого устройства подключаются к клеммам А...Н, а выход к клемме OUT). В этом случае используя кнопки управления, получим:
 - 1) таблицу истинности исследуемого устройства;
 - 2) тојт → А|В булево выражение, реализуемое устройством;
 - 3) торт втир АІВ минимизированное булево выражение;
- 4) АВ Схему устройства на логических элементах без ограничения их типа;

- 5) → NAND схему устройства только на логических элементах И-НЕ.
 - б) синтез логического устройства по таблице истинности.

Щелчком мыши по входным клеммам A,B,...H, начиная с клеммы A, активизируем мышью требуемое число входов анализатора, в результате чего на экране анализатора получим начальную таблицу истинности, в которой будут представлены все возможные комбинации входных сигналов.

Отредактируем полученную таблицу в соответствии с заданием путем записи 1,0 или X в столбце OUT в строках, которые по комбинации входных сигналов соответствуют заданным;

в) синтез логического устройства по булевому выражению.

Булево выражение заноситься в экран-строку. Используются символы A...H, при инверсии $A^*...H^*$. Нажимая кнопку $A^{|B|} \rightarrow \overline{IO|I}$, получаем таблицу истинности.

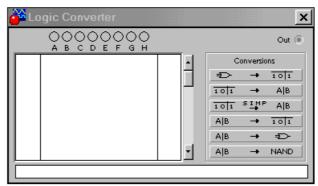


Рисунок 2.7 - Лицевая панель логического преобразователя

2. Описание лабораторных работ

2.1. Лабораторная работа № 1. Основы работы с программным обеспечением Multisim

Цель работы: ознакомиться с интерфейсом программы Multisim, научиться создавать проект и программный файл.

2.1.1. Интерфейс пользователя

2.1.1.1. Основные элементы пользовательского меню

После установки программы в компьютере ее запуск осуществляется следующим образом: $\Pi y c \kappa - B c e n p o c p a m m ments - Circuit Design Suite <math>10.0 - Multisim$.

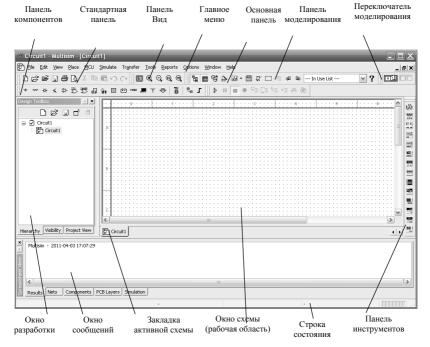


Рис. 2.1. Основные элементы пользовательского интерфейса

Открывающееся окно программы Multisim (рис. 2.1) выглядит стандартно для современного интерактивного программного про-

дукта. Основными элементами пользовательского интерфейса являются: главное меню, панель инструментов, строка состояния, полосы прокрутки и другие стандартные элементы окна программы Windows. Особенности работы с элементами меню программы Multisim 10 приводятся, например, в [5].

Для активизации окна сообщений необходимо нажать на основной панели значок **=** либо выбрать в пункте меню View-Spreadsheet View.

Главное меню программы Multisim обладает большим набором инструментов для подготовки схемы и проведения анализа.

Пункты главного меню File, Edit, View являются обычными меню с набором команд для работы с файлами и проектами, печати (File), редактирования и изменения свойств чертежа, ориентирования, удаления, выделения, перемещения элементов схем (Edit), настройки пользовательского интерфейса с возможностью изменения набора инструментальных панелей, масштабирования рабочей области (View).

Пункт меню Place:

Component... – предназначен для выбора и размещения компонентов схемы;

Wire – нанесение соединительных проводов;

Bus – построение информационных шин;

Junction – определение электрических узлов-соединителей;

Comment – определение комментария в схеме;

Connectors – введение соединителей;

Text – введение пояснительного текста;

Graphics – вставка элементарных графических элементов и графических изображений из внешнего файла;

Title Block – задание параметров штампа для схемы.

Пункт меню MCU позволяет записать программный код для работы выбранного микропроцессора и отладить программу.

Пункт меню Simulate задает типы проводимого анализа, позволяет выбрать встроенные приборы, сохранить результаты и провести их обработку. В этом меню можно изменить временной шаг моделирования при помощи пункта Interactive Simulation Settings (рис. 2.2).

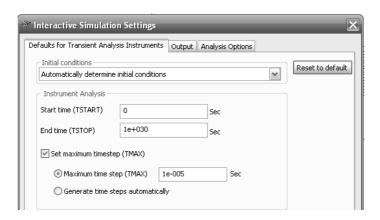


Рис. 2.2. Окно настройки временного шага моделирования

В программе по умолчанию выбрана автоматическая генерация шага моделирования (10^{-5} с). Для изменения временного шага моделирования нужно активировать строчку Maximum time step (TMAX) и указать необходимый шаг.

Пункт меню Transfer – здесь можно передать исходные данные для трассировки печатных плат в программу Ultiboard.

Меню Tools позволяет работать с базой данных компонентов программы, использовать возможности автоматизированного проектирования, мастера проектирования имеющихся типовых устройств на основе таймера 555 серии, полосовых фильтров, операционных усилителей и каскадов усиления на биполярных транзисторах, для которых можно выбрать требуемые выходные параметры.

В этом меню также можно подобрать исходные данные для многовариантного анализа исследуемой схемы, проверить схему на ошибки, редактировать имена электронных компонентов и даже реализовать дальнейшее сохранение полученной картинки в виде графического файла.

Пункм меню Reports предлагает детальный отчет о схеме: числе и типе компонентов, их параметрах, сведения об узлах схемы и многое другое. Кроме этого полученную информацию можно передать в офисные программы для дальнейшего использования.

Пункт меню Option задает условия работы по подготовке и сохранению схемы, определения внешнего вида схемы и условий ввода и размещения элементов при рисовании. Он содержит следующие

подменю: Global Preferences..., Sheet Properties... и Customize User Interface...

Подменю Global Preferences определяет режимы и условия работы программы как в процессе ввода схемы, так и при сохранении введенной схемы в виде файла. Так, на закладке Paths (рис. 2.3) дается путь до папок хранения файлов схем, файлов конфигурации и баз данных.

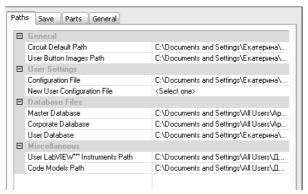


Рис. 2.3. Закладка Paths подменю Global Preferences пункта меню Option

На закладке Save (рис. 2.4) определяются режимы сохранения и размеры файла данных.

На закладке Parts (рис. 2.5) определяются действия программы при выборе и установке компонента в рабочую область схемы, выбор стандарта вида компонента, параметры автоматизации измерения результатов анализа, параметры моделирования цифровых устройств.

На закладке General (рис. 2.6) определяются действия при движении колесика мыши, задаются возможности автоматизации соединения проводников и возможности выбора выделяемых движением курсора областей.

Подменю Sheet Properties определяет внешний вид подготовленной, нарисованной схемы. На ее закладке Circuit (рис. 2.7) можно указать, какая информация будет отображаться на поле схемы возле введенного компонента.

Paths Save Parts General
✓ Create a "Security Copy"
A "security" copy contains the last saved changes to the file and it can be easily retrieved from the same location as the original file, in case it becomes corrupted or unusable.
Auto-backup When Auto-backup is enabled, a recovery file will be created at the interval you specify. If you have a power outage or system failure, your work may be retrieved from this file.
Auto-backup interval 1 🌣 minutes
Save simulation data with instruments When this option is enabled, the data displayed on the instruments will be saved in the circuit file. A warning will be shown if the size of the data from all instruments is more than the following threshold value. Maximum size 1 MB
✓ Save .txt files as plain text (not Unicode)

Рис. 2.4. Закладка Save подменю Global Preferences пункта меню Option

	lace compor								
	Return t	o Comp	onent Bro	wser after	place	ment			
	Place sin	gle com	ponent						
	O Continuo	us plac	ement for	multi-secti	on pa	rt only (E:	C to quit)		
	O Continuo	us plac	ement (ES	C to quit)					
-5	ymbol stand	lard —							
١.	_ 04	ANSI							
٦		IN							
_ P	ositive Phas	e Shift I	Direction -						
	Shift righ	nt	\ « ∠		_			ly affects th	
	Shift left		IW.	\.\.\.\.	1	"Phase" p	arameter in	AC source	5.

Рис. 2.5. Закладка Parts подменю Global Preferences пункта меню Option

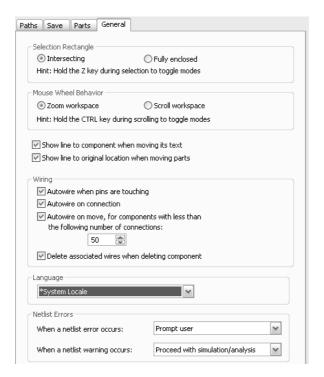


Рис. 2.6. Закладка General подменю Global Preferences пункта меню Option

Рекомендуется оставить для отображения только самую необходимую информацию: текстовые метки (Labels), позиционное обозначение (RefDes), его значение (Values). С помощью этой же закладки можно задать также цветовое решение элементов, соединительных проводов, фона схемы из стандартных наборов или же задать пользовательскую цветовую палитру (Color). Если затем нажать экранную кнопку окна ОК, то все выбранные настройки сохранятся только для текущей схемы и не будут использоваться в следующих схемах. Для сохранения настроек для следующих схем необходимо отметить флажок Save as default и уже после этого нажать ОК.

Закладка Workspace (рис. 2.8) позволяет установить видимость сетки, границы чертежа, показ границы страницы, определить размер страницы для схемы из стандартных наборов, ее ориентацию

или же определить нестандартные размеры страницы и метрику размеров.

Закладка Wiring (рис. 2.9) определяет толщину линий соединительных проводов и толщину изображения шин.

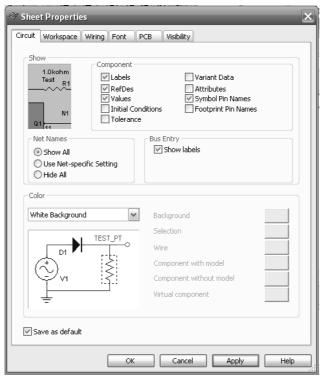


Рис. 2.7. Закладка Circuit подменю Sheet Properties пункта меню Option

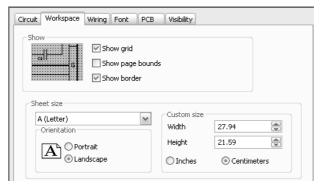


Рис. 2.8. Закладка Workspace подменю Sheet Properties пункта меню Option

Пункт меню Window – стандартный, осуществляет навигацию между внутренними окнами программы и регулирует расположение этих окон. Аналогичное можно сказать и о пункте меню Help.

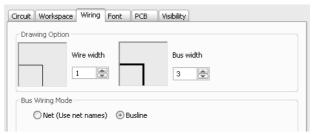


Рис. 2.9. Закладка Wiring подменю Sheet Properties пункта меню Option

2.1.1.2. Виртуальные инструменты

Программа Multisim содержит большое число виртуальных измерительных приборов (инструментов), которые можно использовать с целью проведения измерения или же исследования схемотехнических решений. Виртуальные измерительные приборы по своему действию соответствуют реальным приборам. С их помощью можно не только визуализировать информацию, но и сохранить ее в виде файла данных, который в дальнейшем можно будет использовать для обмена с другими программами, например LabVIEW.

Панель инструментов на экране может быть расположена произвольно, но, как правило, она закрепляется у границ окна. Вид панели представлен на рис. 2.10.



Рис. 2.10. Вид панели инструментов

Измерительные приборы могут иметь разный внешний вид, в зависимости от того, какую задачу ставит перед собой пользователь и где расположен сам прибор (на панели инструментов или на поле схемы), пример показан в табл. 2.1.

Таблица 2.1 Представление виртуальных приборов в Multisim

Форма представления	Описание	Внешний вид
Иконка	Представляет инструмент в пане-	. 10.
Иконка	ли инструментов Multisim's NI	(S)
Символ	Представляет инструмент в цепи	
	схемы. Для подсоединения к схе-	XMM1
	ме необходимо использовать	
	внешние выводы инструмента.	
	Для открытия приборной панели	
	необходимо дважды щелкнуть	
	ЛКМ на символе	
	инструмента	
Инструментальная	Открывается двойным щелчком	Multimeter-XMM1
панель	ЛКМ на символе инструмента.	
(панель прибора)	Позволяет пользователю взаимо-	A V Q dB
	действовать с инструментом –	~ -
	установить параметры измерения	+ Set
	Отображает результаты измерения	<u> </u>

Приборы Multisim позволяют пользователю измерять параметры моделируемой схемы, даже если он не знаком с основами языка моделирования SPICE. Если пользователь изменяет настройки прибора, тут же автоматически изменяются и параметры моделирования.

При проведении моделирования показания приборов постоянно изменяются. В одной и той же схеме может быть несколько экземпляров прибора. Атрибуты настройки прибора и соответствующие этим настройкам параметры моделирования могут быть сохранены в конфигурационном файле. Полученные при моделировании данные при использовании встроенных приборов могут быть обработаны постпроцессором и показаны в окне Grapher View. Внешний вид (размеры) инструментальной панели прибора могут быть изменены

в соответствии с требуемым разрешением экрана и способом отображения данных. Данные, полученные в результате анализа, могут быть сохранены в формате файлов ТХТ, LVM, и TDM.

NI Electronics Workbench Group имеет тесные партнерские связи с представителями ведущих фирм в области измерительной техники, таких Agilent® и Tektronix®, поэтому приборы, размещенные на панели инструментов Multisim, выглядят и работают абсолютно так же, как и реальные физическое приборы этих производителей.

Встроенные в программу Multisim приборы могут быть сгруппированы по шести категориям (табл. 2.2–2.7).

Таблица 2.2 Инструменты для анализа напряжения и токов

- F J	менты для анализа напряжения и токов	
Тип прибора	Функциональные возможности	Иконка
1	2	3
Функциональные генераторы (Function generator)	Генерирование синусоидальных, трапеце- идальных и импульсных сигналов. Уста- новка частоты, скважности, амплитуды сигнала	\$334 \$334
Мультиметр (Multimeter)	Измерение постоянного и переменного то-ка, напряжения и потерь.	
2-канальный осцил- лограф (Oscilloscope)	Измерение сигнала в двух каналах. Масштабирование Y и X осей. Смещение по Y оси. Синхронизация	**
4-канальный осциллограф (4 channel scilloscope)	Измерение сигнала в четырех каналах. Масштабирование Y и X осей. Смещение по Y оси. Синхронизация	****
Ваттметр (Wattmeter)	Измерение мощности сигнала	□ □
Измеритель BAX (IV-analysis)	Исследуются диоды, биполярные PNP и NPN-транзисторы(ВЈТ). Канальные транзисторы (PMOS), (NMOS) и полевые. КМОП структуры (CMOS)	***
Счетчики (Frequency counter)	Измеряются частота, период, фронты импульсов, АЧХ, фазовые сдвиги. Поддерживается частота измерений свыше 10 ГГц, синхронизация, развязка по постоянному току	11.4
Построитель графика Боде (Bode plotter)	Исследуются частотная характеристика, фазовые сдвиги. Поддерживается частота измерений свыше 10 ГГц	****
Измеритель частотных искажений (Distortion analyzer)	Измеряются интермодуляционные искажения, суммарный коэффициент гармонических искажений (коэффициент гармоник)	

Таблица 2.3

Логические инструменты

Тип прибора	Функциональные возможности	Иконка
Логический	Измеряются 16 каналов, история измерений.	
анализатор	Поддерживается синхронизация.	
(Logic analyzer)	Внешняя/внутренняя опорная частота	
Логический	Цифровые схемы, построенные по таблицам ис-	
конвертер	тинности и логическим выражениям. Таблицы	
(Logic converter)	истинности для цифровых схем. Логические	\mathbf{c}_{bi}
	выражения для цифровых схем. Реализуются	
	циклы, обновление шага, сброс.	
	HEX, DEC, Boolean, ASCII-коды	
Генератор слов	Реализуются HEX, DEC, Boolean, ASCII	
(Word generator)	представление данных, синхронизация,	प्रवास
	временная селекция. Режимы: циклы,	
	обновление шага, сброс	

Таблица 2.4 Приборы радиочастотного диапазона

Тип прибора	Функциональные возможности	Иконка
Анализатор спектра	Измеряются спектр, компоненты спектра	
(Spectrum analyzer)	(мощность, частота), непрерывный и дискретный спектр	****
Прибор для анализа	Построение по цифровой схеме таблицы ис-	
электрических цепей	тинности или логического выражения. Об-	
в обобщенном виде	ратное преобразование таблицы истинности	282
(Network analyzer)	или логического выражения	
	в цифровую схему	

Таблица 2.5 Инструменты, моделирующие измерительные приборы фирм-производителей измерительных устройств

Тип прибора	Функциональные возможности	Иконка
Генератор Agilent	Тип генератора 33120А.	AG 3
(Agilent function generator)	Моделирование реального прибора	AGA
Мультиметр DMM Ag-	Тип генератора 34401А.	□/# :AG
ilent (Agilent multimeter)	Моделирование реального прибора	:AG
Осциллограф Agilent	Тип осциллографа 54622D.	
(Agilent oscilloscope)	Моделирование реального прибора.	₩AG
Осциллограф Tektronix	Тип осциллографа TDS 2024.	7A.
(Tektronix oscilloscope)	Моделирование реального прибора	**

Измерительные пробники

Тип прибора	Функциональные возможности	Иконка
Пробник	Измерения тока, напряжения	1.40
	и частоты относительно земли	(1.41)
Пробник	Измерения тока, напряжения	1.40
	и частоты относительно	(5.41)
	другого пробника	
Пробник	Имитация поведения токовых	at
	измерителей (токовых клещей)	

В приложении рассматриваются основы настройки часто используемых виртуальных приборов: генератора слов, логического анализатора, функционального генератора.

Таблица 2.7 Инструменты, базирующиеся на виртуальных приборах NI LabVIEW

Имя прибора	Функциональные возможности	Иконка
Микрофон	Подключение к звуковой плате ком-	123
	пьютера. Запись звука	11.44
Динамик	Подключение к звуковой плате	
	компьютера	71.400
Анализатор сигнала	Анализ сигнала во временной области.	#770.
	Спектр мощности	10.440
Генератор сигнала	Гармонический, импульсный,	-0.770 -0.770
	пилообразный, треугольный сигналы	11.40

2.1.1.3. Организация базы данных Multisim

Элементы схемы выбираются из базы данных и размещаются на рабочем поле тремя способами:

- 1) Через Главное меню (Place Component...);
- 2) Через контекстное меню рабочей области (Place Component...);
- 3) Через панель компонентов (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Панель компонентов

Имеются следующие группы элементов:

† Группа Sources – источники энергии и сигналов

Power sources – источники питания (AC – источник питания переменного тока, DC – источник питания постоянного тока, DGND – циф-

ровая земля, GROUND – аналоговая земля, Vcc, Vdd – положительное напряжение питания, Vee, Vss – отрицательное напряжение, земля).

Аналоговое заземление используется во всех процессах моделирования за исключением моделирования цифровых устройств в реальном времени (в этом режиме, кроме задержки в логическом элементе, моделируется время фронта и время спада, выходное напряжение имеет сглаженные фронты, а сам процесс моделирования требует большего времени).

Signal voltage sources – сигнальные источники напряжения.

Signal current sources – сигнальные источники тока.

Controlled voltage sources – регулируемые источники напряжения.

Controlled current sources – регулируемые источники тока.

Control function blocks – функциональные блоки управления.

_____ Группа Basic – группа с базовыми элементами

Rpack – резистивная сборка.

Switch – переключатели (ключи, push button – кнопка, блоки с 2–10 переключателями).

Transformer – трансформатор.

Non linear transformer – нелинейный трансформатор.

Relay – реле.

Connectors – соединители, разъемы.

Sockets – сокеты.

Resistor – резисторы.

Capacitor – конденсаторы.

Inductor – катушки индуктивности.

Cap electrolit – электролитические конденсаторы.

Variable capacitor – переменные конденсаторы.

Variable inductor – переменные катушки индуктивности.

Potentiometer – потенциометры.

→ Группа Diodes – диоды

Diode – диоды.

Zener – стабилитроны (диоды Зенера).

Led – светодиоды.

FWB – диодные мосты.

Schootky diode – диоды Шоттки.

Scr — тиристоры триодные, запираемые в обратном направлении с управлением по катоду.

Diac – диоды двунаправленные.

Triac – тиристоры триодные симметричные (двунаправленные).

Varactor – варикапы (емкостные диоды).

Pin diod – pin диоды (содержат область собственной проводимости между сильнолегированными областями).

🤸 Группа Transistors – транзисторы

BJT NPN – биполярные транзисторы типа NPN.

BJT PNP – биполярные транзисторы типа PNP.

BJT ARRAY – микросборки транзисторов.

DARLINGTON NPN – транзисторы Дарлингтона NPN (составные транзисторы).

DARLINGTON PNP - транзисторы Дарлингтона PNP.

DARLINGTON ARRAY – массив транзисторов Дарлингтона.

MOS 3TDN – транзистор канальный с встроенным каналом N-типа.

MOS 3TEN – транзистор канальный с изолированным затвором обогащенного типа с N-каналом, с внутренним соединением истока и подложки (индуцированный канал).

MOS 3TEP – транзистор канальный с индуцированным каналом Р-типа.

JFET N – транзистор полевой с проводимостью типа N.

JFET P – транзистор полевой с проводимостью типа P.

POWER MOS N – мощный канальный транзистор с каналом N-типа.

POWER MOS P – мощный канальный транзистор с каналом Р-типа.

POWER MOS COM — мощный канальный транзистор (комплементарная технология).

UJT — тиристор триодный, запираемый в обратном направлении с управлением по аноду.

THERMAL MODELS – температурные модели.

🌣 Группа Analog – аналоговые компоненты

Оратр – операционные усилители.

Comporator-компараторы.

Wideband amps – широкополосные усилители.

Special function – компоненты, реализуемые специальные функции.

- труппа TTL элементы транзисторно-транзисторной логики 74-серии
- Группа СМОS комплементарная МОП-структура (комплиментарные транзисторы)

Т Группа МСИ

Микроконтроллеры – МК (805х, РІС.

Микросхемы памяти – RAM, ROM (HM-65642-883 (8k x 8), HM61116A120(2k x 8)), ПЗУ (27С128-12L(16k x 8), 27С256-15L (32К х8)), ППЗУ (27С64Q350-883)).

Группа Advanced peripherals

Усовершенствованные периферийные устройства, такие как виртуальная цифровая клавиатура (4х4, 4х5), LCD-дисплей, светофор.

Группа Misc digital – различные цифровые микросхемы DSP – устройства DSP (цифровые сигнальные процессоры).

FPGA – устройства FPGA (программируемая пользователем вентильная матрица).

PLD – программируемые логические устройства.

CPLD – комплементарные программируемые логические схемы.

Microcontrollers – микроконтроллеры.

Microprocessors – микропроцессоры.

Memory – микросхемы памяти.

Line driver – линейный формирователь.

Line receiver – линейный приемник.

Line transceiver – линейные приемопередатчики.

труппа Mixed – устройства смешанного сигнала

Analog switch – аналоговые переключатели.

Analog switch IC – интегральная схема аналогового переключателя. Timer – таймер.

ADC, DAC – АЦП (ADS8364Y, AD16), ЦАП (DAC7643 FP32). Multivibrators – мультивибраторы.

□ Группа Indicators – индикаторы

Voltmeter – вольтметры.

Ammeter – амперметры.

Probe – пробники.

Buzzer – автоматические прерыватели.

Lamp – лампы.

Hex display — дисплеи (светоиндикаторы — 15-сегментные, семисегментные, с общим катодом, с общим анодом, с десятичной точкой, без точки, дисплеи с «+» или «-», 7 сегментные дисплеи с двумя цифрами (с десятичной точкой, с общим анодом или с общим катодом). Вагдгарh — столбцовая диаграмма.

Группа Power – компоненты, относящиеся к источникам питания и связанные с ними:

Fuse – плавкие предохранители.

Voltage reference – источники опорного напряжения.

Voltage regulator – потенциометры.

Voltage suppressor – ограничительные диоды.

Power supply controller – контроллеры источников питания

Misc power – прочие источники питания.

PWM controller – широтно-импульсный модулятор.

Группа Misc – прочее

Optocoupler – оптроны.

Crystal – кварцевые резонаторы.

Vacuum tube – электронные лампы.

Boost converter – усилители-преобразователи.

Lossy transmission line – линия передачи с потерями.

Lossless line type1 – линия без потерь, тип 1.

Lossless line type1 – линия без потерь, тип 2.

Filters – фильтры.

Mosfet driver – драйвер полевого транзистора.

Net -сеть связи.

Группа RF – радиочастотные устройства

RF capacitor – радиочастотные конденсаторы.

RF inductor – радиочастотные катушки индуктивности.

RF BJT NPN – радиочастотные биполярные транзисторы типа NPN.

RF BJT PNP – радиочастотные биполярные транзисторы типа PNP.

RF MOS 3TDN – радиочастотные полевые транзисторы с встроенным каналом N-типа.

Tunnel diode – радиочастотные туннельные диоды.

Strip line – полосковые линии.

Группа Electro Mechanical – электромеханические устройства

Sensing switches – сенсорные переключатели.

Momentary switches – мгновенные переключатели.

Supplementary contacts – дополнительные контакты.

Timed contacts – синхронизированные контакты.

Coils relays – реле.

Protection devices – элементы защиты (предохранители).

Output devices – устройства вывода.

Все рассмотренные выше компоненты являются реальными (промышленными) и имеют определенные, неизменяемые значения параметров. В схеме по умолчанию они обозначаются синим цветом. В базе данных есть также и виртуальные компоненты, имеющие в своем названии приставку VIRTUAL (неявно отображаются на схеме черным цветом). Виртуальные компоненты необходимы для исследований, так как пользователь может назначить им произвольные значения параметров.

2.1.2. Создание проекта и программного файла

При открытии программы Multisim автоматически создается проект схемы под названием Circuit1. Для изменения имени схемы необходимо сохранить его через пункт меню File-Save As, желательно использовать в директории английские буквы. Для создания проекта и программного файла следует выбрать микроконтроллер для программирования. В программе Multisim программируются микроконтроллеры, расположенные в БД в группе МСU, при этом МК выбирается двумя способами:

- через пункт *меню* Place Component MCU 805x 8051;

Устанавливаем микроконтроллер на рабочей области, появляется всплывающее окно «Мастер по созданию программного файла», которое предлагает выполнить три шага для создания проекта и программного файла.

Шаг 1. Определение рабочего пространства (рис. 2.12)

В первой строке всплывающего окна указывается путь рабочего пространства для выбранного МК. Используя кнопку «Browse», можно изменить путь рабочего пространства, предложенный программой.

В следующей строке окна предлагается ввести имя рабочего пространства.



Рис. 2.12. Окно задания рабочего пространства

Шаг 2. Создание проекта для микроконтроллера (рис. 2.13)

В этом окне предлагается установить следующие настройки для будущего проекта:

- 1) тип проекта: Standard или Use External Hex File;
- 2) язык программирования: C, Assembly;
- 3) компилятор;
- 4) имя проекта.

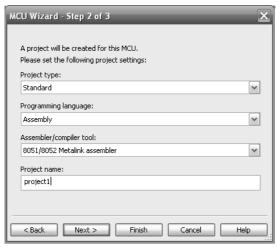


Рис. 2.13. Создание проекта для микроконтроллера

Шаг 3. Создание программного файла (рис. 2.14)

В этом окне предлагается создать либо пустой проект, то есть без программного файла, либо добавить исходный программный файл, указав его имя. Работа с Мастером заканчивается нажатием кнопки Finish.

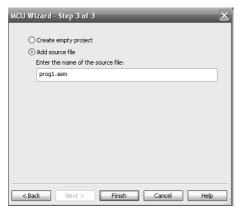


Рис. 2.14. Создание программного файла

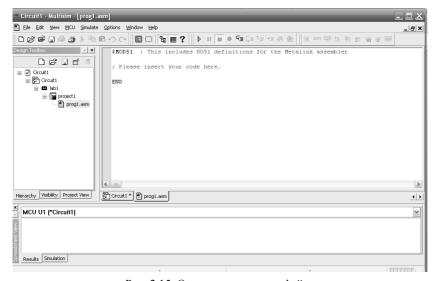


Рис. 2.15. Окно программного файла

Приложение

Настройка виртуальных приборов: генератора слов, логического генератора, функционального генератора

1. Особенности работы генератора слов

Виртуальный прибор генератор слов [10]. (Word generator, рис. П.1) используется для создания цифровых сигналов. Генератор является 32-разрядным, может представлять данные в нескольких режимах: шестнадцатеричном, десятичном, двоичном, в символах ASCII.

Генератор содержит ячейки со значениями сигнала, заполняемые во вкладке Set... или вручную.

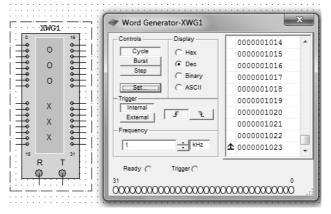


Рис. П.1. Символ и лицевая панель генератора слов

Для заполнения ячеек требуемыми значениями сигнала необходимо два раза щелкнуть ЛКМ по символу генератора слов. В открывшемся окне прибора необходимо вручную или с помощью опций меню Set... задать значения ячеек. Допустим, необходимо запрограммировать генератор слов на возрастание и убывание шестнадцатеричных чисел вручную от 0 до FF (255₁₀) при шаге 10_{16} (16_{10}). Для использования другого кода (двоичного, или десятичного) в окне настроек генератора необходимо в разделе Display установить флажок напротив требуемого кода.

Чтобы установить начальную и конечную ячейки значений (они обозначены синими стрелками вниз и вверх соответственно), необходимо щелкнуть на требуемую ячейку правой кнопкой мыши и выбрать пункт Set Initial Position (Установить начальную позицию) или Set Final Position (Установить конечную позицию, рис. П.2.). Для введения точки останова (контрольной точки) используется опция Set Break-Point, а для обозначения текущей ячейки – Set Cursor.

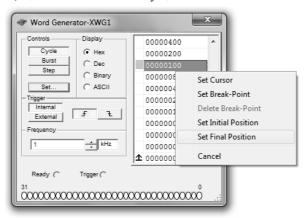


Рис. П.2. Установка конечной ячейки значений сигнала генератора

Для автоматического заполнения ячеек удобно пользоваться закладкой Settings (Настройки), вызываемой кнопкой Set... в окне настроек генератора слов (Рис. П.3).

Опции настройки Set... (Рис. П.3):

- Up Counter установить возрастающий счет в ячейках;
- Down Counter установить обратный счет в ячейках;
- Shift Right правая запись (8–4–2–1 со смещением их в следующих четырех ячейках вправо);
- Shift Left левая запись (1–2–4–8 со смещением их в следующих четырех ячейках влево);

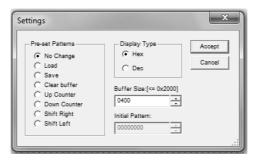


Рис. П.3. Окно закладки Settings (Настройки), содержащей различные опции настройки заполнения ячеек генератора.

- Clear buffer очистка ячеек;
- Save, Load сохранение и загрузка пользовательских настроек; В закладке Settings также можно задать требуемое количество ячеек для значений (Максимальное 8192).

Генератор слов может работать в 3 режимах, которые выбираются в разделе Controls меню настроек:

- Cycle режим повторения цикличного счета до окончания работы моделирования;
- Burst режим выполнения счета один раз;
- Step выводится содержимое только следующей ячейки.

Частота вывода значений сигнала из ячеек прибора для первого и второго режимов работы задается в разделе Frequency (рис. П.2). Рекомендуется использовать номинальное значение частоты вывода сигнала, равное $1\ \kappa\Gamma$ ц.

В разделе Trigger можно включить срабатывание триггеров по переднему или заднему фронту сигналов, а также использовать внутреннюю или внешнюю синхронизацию. На этом программирование генератора слов заканчивается.

2. Настройка логического анализатора

Логический анализатор (Logic Analyzer, рис. П.4.) необходим для анализа цифровых сигналов. Анализатор предназначен для отображения на его экране 16-разрядных кодовых последовательностей, подаваемых на вход одновременно из 16 точек схемы, а также отображения значений координат сигнала в местах расположения визиров в виде шестнадцатеричных чисел в окне, расположенном внизу экрана анализатора.

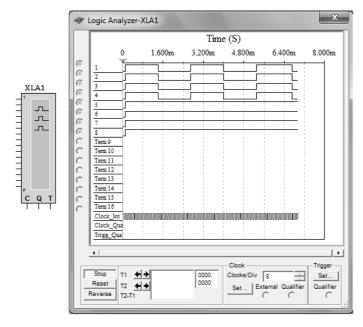


Рис. П.4. Символ и лицевая панель логического анализатора

Для настройки логического анализатора устанавливается частота дискретизации (нажимается кнопка Set... на панели настроек в разделе Clock) (рис. П.4), затем в открывшемся окне Clock Setup в разделе Clock Rate (рис. П.5.) вводится требуемая частота дискретизации. В этом же окне можно установить внешнюю либо внутреннюю синхронизацию в разделе Clock Source. При выборе внешней синхронизации к входу С необходимо подключить устройство, с которым логический анализатор будет синхронизироваться.

Для настройки триггеров необходимо воспользоваться окном Trigger Settings (Рис. П.б.), вызываемым с помощью кнопки Set... в разделе Trigger. Здесь можно установить срабатывание триггера по переднему, заднему или обоим фронтам сигналов (раздел Trigger Clock Edge, опции Positive, Negative и Both соответственно), а так же настроить шаблоны триггеров и их комбинацию (Раздел Trigger Patterns).



Рис. П.5. Окно настройки частоты дискретизации логического анализатора

Положением визирных линий логического анализатора, как и в осциллографе, можно управлять при помощи мыши или дискретно, кнопками с изображением стрелок на лавной панели логического анализатора.

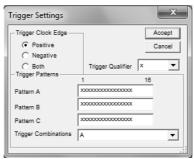


Рис. П.б. Окно настройки триггеров логического анализатора

3. Особенности работы функциональнального генератора

Прибор функциональный генератор (function generator, рис. П.7.) является источником напряжения, который может генерировать синусоидальные, пилообразные и прямоугольные импульсы. Прибор позволяет изменить форму сигнала, его частоту, амплитуду, коэффициент заполнения и постоянный сдвиг. Генератор позволяет воспроизвести сигналы с частотами от нескольких герц до аудио и радиочастотных. Он имеет три терминала-источника импульсов, общий центральный терминал определяет положение нуля.

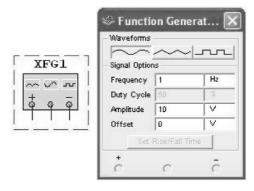


Рис. П.7. Символ и лицевая панель генератора сигналов

Настройка функционального генератора заключается в выборе следующих атрибутов: формы сигнала, его скважности, частоты и амплитуды. Для этого необходимо дважды щелкнуть мышью по символу прибора, затем в открывшемся окне настроек (рис. П.7.) выбрать форму сигнала, щелкнув на соответствующую пиктограмму в разделе Waveforms. В разделе Signal Options устанавливаются характеристики сигнала: его частота (Frequency), скважность в процентах (Duty Cycle), амплитуда в вольтах (Amplitude), смещение в вольтах (Offset).