

2.4 Моделирование проекта

2.4.1 Основные положения

Моделирование (Simulation) позволяет убедиться в правильности функционирования разработанного проекта. Анализируется результат работы проекта в соответствии с заданными входными воздействиями.

Исходными данными для моделирования являются внешние воздействия, заданные в виде некоторого входного вектора (набора входных параметров). Подсистема моделирования (Simulator) среды Quartus II, в соответствие с алгоритмом проекта, синтезирует выходные сигналы в ответ на входные.

Модель достаточно точно отображает работу схемы, которая будет реализована непосредственно в микросхеме ПЛИС. Симулятор учитывает особенности реальной работы проекта в ПЛИС: особенности данной микросхемы, задержки распространения сигнала и т. п. Поэтому не стоит удивляться, когда значение сигнала на выходе меняется через какой-то определённый промежуток времени после изменения входного сигнала.

Обычно, в типовых задачах разработчик задает наборы входных векторов и анализирует полученные в результате моделирования выходные сигналы.

В зависимости от поставленной цели подсистема моделирования позволяет выполнить:

- функциональное моделирование проекта (Functional Simulation) при котором проверяется правильность описания и логического функционирования проекта;
- моделирование с учетом временных параметров реальной ПЛИС (Timing Simulation), позволяющее проверить не только правильность логического функционирования проекта, но и его работу с учетом реальных параметров выбранной ПЛИС в самых жестких условиях эксплуатации.

2.4.2 Создание вектора входных воздействий

Файлы вектора входных воздействий в системе Quartus II задаются в графической форме (в виде временных диаграмм) с использованием редактора временных диаграмм (Waveform Editor). Файлы имеют расширение *.vwf (Vector Waveform File).

Создание файла *.vwf.

Рассмотрим создание файла (*.vwf), содержащего временные диаграммы. В меню File выбираем команду New и в открывшемся диалоговом окне в группе Verification/Debugging Files выделяем строку Vector Waveform Files (файл вектора временных диаграмм) и нажимаем кнопку OK. После чего откроется пустое окно редактора временных диаграмм с именем по умолчанию Waveform1.vwf. Редактор временных диаграмм представлен на рисунке 2.35. Созданный файл необходимо сохранить, используя команду Save As меню File. Программа автоматически предложит сохранить файл с именем, совпадающим с именем файла верхнего уровня проекта, присвоив ему расширение .vwf. Для завершения процесса создания файла необходимо нажать кнопку Save. При этом необходимо обратить внимание на наличие флажка около надписи Add file to current project (добавить файл к текущему проекту). Если флажок поставлен, то система автоматически включит созданный файл в текущий проект.

Для удобства, на область временных диаграмм нанесена временная сетка, предназначенная для визуальной привязки сигналов к конкретным временным интервалам. Используя команду Grid Size меню Edit можно изменить шаг временной сетки. Используя команду End Time меню Edit можно изменить время окончания моделирования, т.е. изменить время всего процесса моделирования.

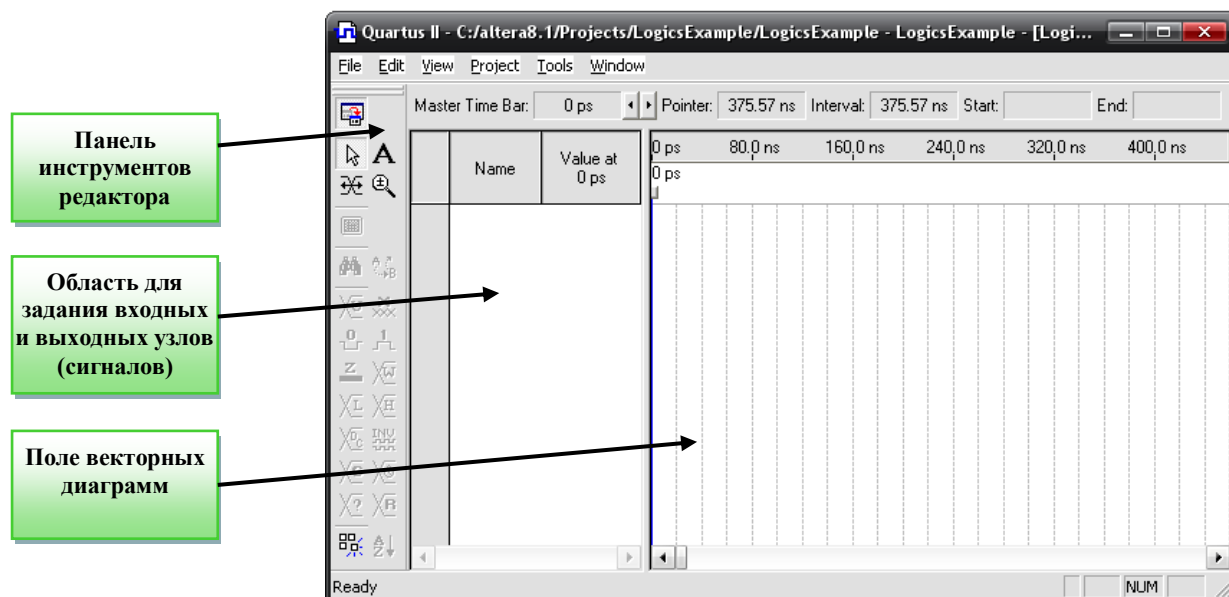


Рисунок 2.35 — Редактор временных диаграмм среды Quartus II

Добавление входных, выходных и промежуточных сигналов.

Далее в созданный файл необходимо ввести входные и выходные сигналы, присутствующие в проекте. Для этого в меню Edit выбираем строку Insert Node or Bus (вставить узел или шину), или же делаем двойной щелчок по области входных и выходных. В результате появляется диалоговое окно, представленное на рисунке 2.36.

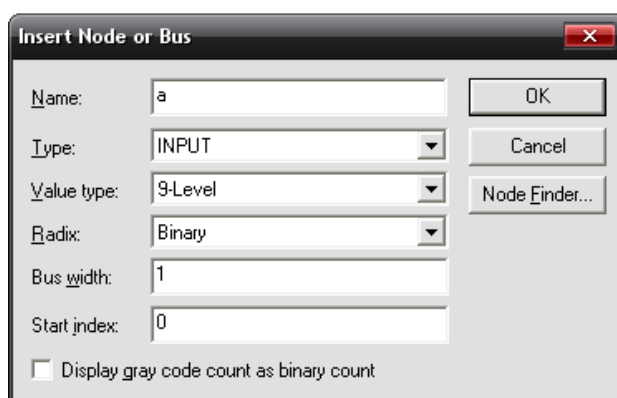


Рисунок 2.36 — Диалоговое окно Insert Node or Bus

В поле Name вписываем имя первого сигнала (например, сигнал порта a). В

следующих полях вписываем параметры сигнала. В поле Type для входных сигналов указываем тип INPUT, для выходных тип OUTPUT, для двунаправленных тип BIDIR. В поле Value type (тип значения) указываем 9-Level. Этот тип определяет набор значений, которые может принимать проводник, всего 9 значений:

'U' — Uninitialized	(не инициализирован)
'X' — Forcing unknown	(сильное неизвестное состояние)
'0' — Forcing zero	(сильный ноль)
'1' — Forcing one	(сильная единица)
'Z' — Z-state	(z-состояние, оно же третье состояние)
'W' — Weak unknown	(слабое неизвестное состояние)
'L' — Weak zero	(слабый ноль)
'H' — Weak one	(слабая единица)
'-' — Don't care	(не имеет значения)

В языке описания аппаратуры VHDL, которому посвящен следующий раздел данного методического пособия, для представления состояния проводников имеется специальный тип данных `std_logic` (переменная которого может принимать 9 вышеперечисленных значений).

В поле Radix указываем основание системы счисления. В нашем случае указываем binary (двоичная). В поле Bus width (ширина шины) ставим единицу т.к. у нас нет шин и проводники одиночные. В поле Start index оставляем ноль. Нажимаем ОК, и в области входных и выходных сигналов появится имя нашего первого сигнала. Но чтобы не вводить каждый сигнал отдельно можно воспользоваться системой поиска узлов (портов) Node Finder. Нажимаем кнопку Node Finder окна Insert Node or Bus. Смотрите рисунок 2.36. Открывается окно системы поиска узлов проекта, позволяющее ввести в файл временных диаграмм узлы текущего проекта. Окно Node Finder представлено на рисунке 2.37. Нажимаем кнопку List, после чего в поле Node Found отобразятся все узлы проекта. Перемещаем в поле Selected Nodes те узлы, которые необходимы для выполнения моделирования. В нашем примере необходимы все, поэтому нажимаем кнопочку с двойной правой стрелочкой, а затем кнопочку OK. Появляется окно Insert Node or Bus, в котором тоже необходимо

нажать кнопку ОК. Система Node Finder позволяет вести поиск узлов по критериям, используя специальные фильтры. Использование Node Finder делает работу в среде удобной, тем более, когда проект включает в себя сотни узлов. Мы неоднократно будем использовать его и в других редакторах САПР Quartus II.

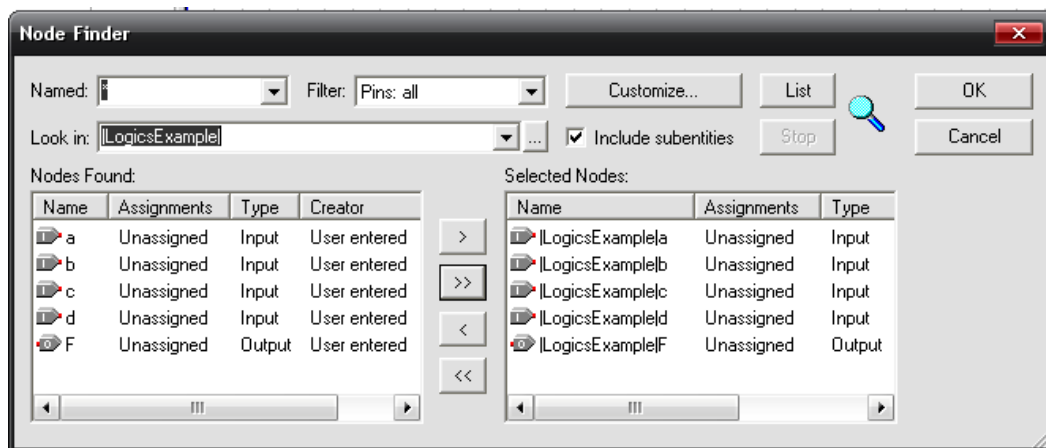


Рисунок 2.37 — Диалоговое окно Node Finder

После этого в поле временных диаграмм редактора появляются оси для всех вышеуказанных сигналов. Осям временных диаграмм входных сигналов задаём требуемые значения. Оси временных диаграмм выходных сигналов имеют неизвестное на данный момент состояние, и поэтому им по умолчанию присвоено значение X (forcing unknown). Редактор векторных диаграмм с узлами и осями векторных диаграмм представлен на рисунке 2.38.

Работа с временными маркерами

На временных диаграммах присутствует вертикальная линия временного маркера, который изображен в виде сплошной цветной линии (главная маркерная линия). Положение этого маркера можно изменять, используя курсор. Значение сигналов, соответствующее текущему положению курсора, отображается в соответствующем столбце рядом с именем узла. Столбец называется Value at XX, где XX — время, соответствующее текущему положению маркерной линии. Если на временных диаграммах необходимо отметить некоторые базовые моменты времени, это можно сделать, используя команду Insert Time Bar (вести временную метку) из

меню Edit. Откроется окно Insert Time Bar показанное на рисунке 2.39.

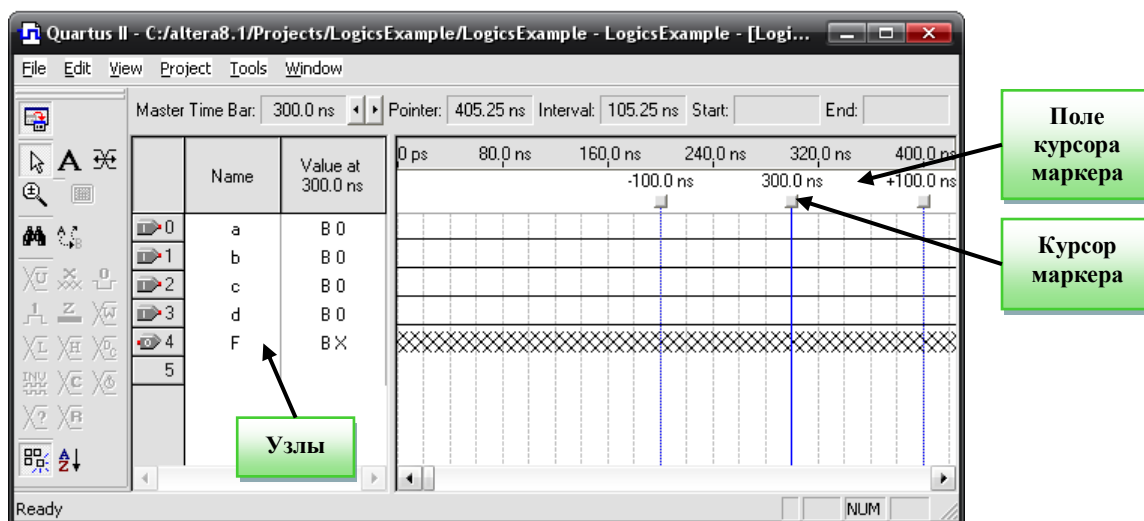


Рисунок 2.38 — Редактор временных диаграмм среды с загруженными узлами

В данном окне необходимо выбрать время, соответствующее базовому моменту времени и единицу его измерения. После нажатия кнопки ОК пунктирная линия (дополнительная маркерная линия), соответствующая введенному времени, появится на временных диаграммах. Эту линию также можно установить, кликнув двойным щелчком по белому полю расположенному над диаграммами (полю курсора маркера).

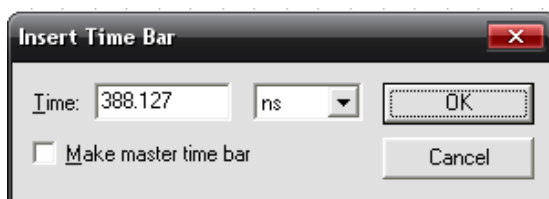


Рисунок 2.39 — Диалоговое окно Insert Time Bar

Теперь при перемещении главной маркерной линии над ней будет отображаться текущее время моделирования, а над линиями базовых моментов времени (дополнительными маркерными линиями), их расстояние (длительность временного интервала) от главной маркерной линии.

При необходимости, любую из введенных линий базовых моментов времени, можно преобразовать в главную маркерную линию. Для этого необходимо правой

кнопкой мыши нажать на курсор маркера расположенного в верхней части линии маркера. Появится выпадающий список, представленный на рисунке 2.40.

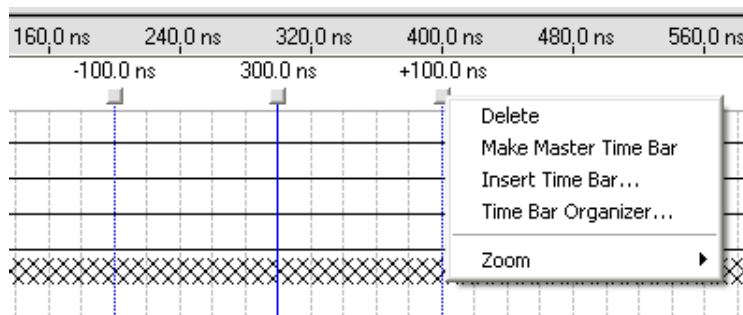


Рисунок 2.40 — Выпадающее окно работы с маркером

Из списка можно выполнить следующие команды:

- ✓ Delete — удалить линию времени,
- ✓ Make Master Time Bar — использовать данную линию как главную маркерную,
- ✓ Insert Time Bar — ввести дополнительную маркерную линию (линию базовых моментов времени),
- ✓ Time Bar Organizer — вызвать окно органайзера временных линий, позволяющее переназначить основные параметры линий времени.
- ✓ Zoom — выполнить масштабирование временных диаграмм.

Рассмотренная методика позволяет ввести в файл временных диаграмм любое количество используемых при моделировании проекта входных и выходных сигналов.

Редактирование временных диаграмм входных сигналов

Следует сразу отметить, что редактированию могут быть подвержены только входные сигналы, присутствующие в текущем проекте. Необходимый для моделирования вектор входных воздействий, вводится путем задания для выбранных временных интервалов логических уровней, соответствующих значениям входной переменной в заданном узле проекта. Для этого необходимо выполнить следующую последовательность действий. Если необходимо задать одно

и то же значение логического сигнала на всем интервале моделирования, необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши на требуемом узле, области узлов. В этом случае будет выделена вся ось сигнала. Если необходимо задать значение логического сигнала на определенном интервале моделирования, в области диаграмм курсор необходимо установить на ось требуемого сигнала в точке начала задания логического уровня (сигнала) и, удерживая левую кнопку мыши, переместить курсор в конец требуемого временного интервала. В этой точке кнопку мыши следует отпустить. В результате будет выделен только требуемый временной интервал. После выделения нужной области сигнала в левой части главного окна системы Quartus II появляется набор инструментов для введения входных воздействий, причем, каждый вариант входного воздействия обозначен соответствующей пиктограммой. Панель инструментов графического редактора и расшифровка каждой пиктограммы показаны на рисунке 2.41. Например, если мы хотим ввести тактовый сигнал, то выделяем соответствующий узел и нажимаем пиктограмму панели инструментов Overwrite Clock (сигнал тактирования). Появится диалоговое окно, которое представлено на рисунке 2.42.

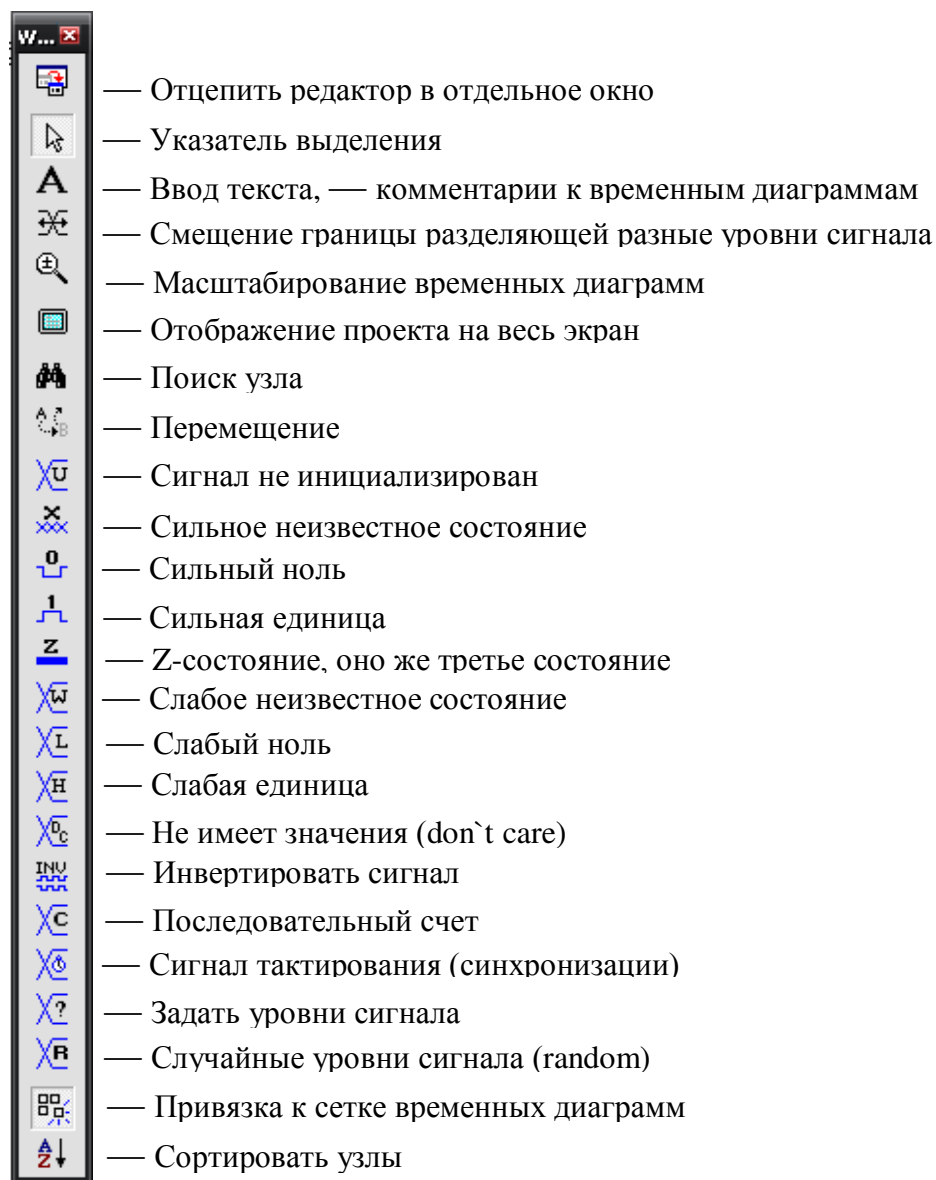


Рисунок 2.41 — Панель инструментов редактора временных диаграмм

В области Time Range в полях Start Time и End Time указывается время начала и окончания сигнала тактирования. По умолчанию временной интервал действия сигнала тактирования определен на всём диапазоне моделирования. Чуть ниже в области Base waveform on в поле Period задаем период сигнала тактирования, в поле Offset — смещение (начальную фазу), в поле Duty Cycle — заполнение цикла «единицей» в процентном соотношении. Ввод сигнала тактирования завершается нажатием кнопки ОК. Аналогичным образом вводятся все необходимые для моделирования входные сигналы. После того как все входные сигналы заданы

необходимо сохранить файл временных диаграмм.

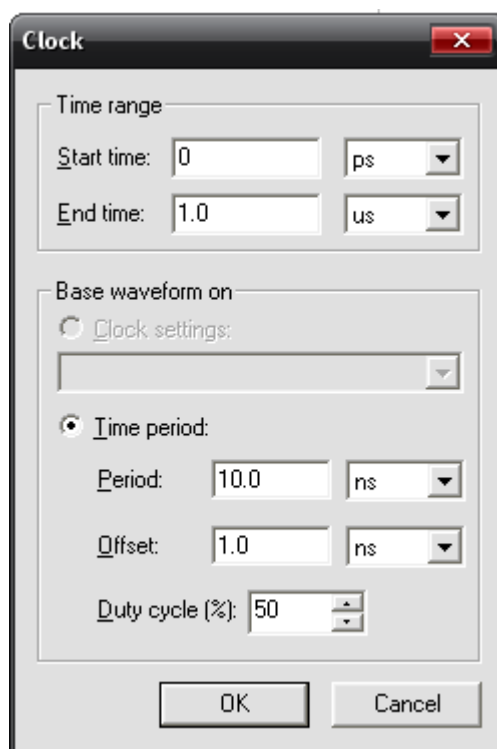


Рисунок 2.42 — Окно настройки сигнала тактирования Clock

2.4.3 Определение параметров моделирования

Система Quartus II позволяет выполнить моделирование, как всего проекта, так и его любой составной части. Типовые параметры по умолчанию задаются системой моделирования автоматически при создании нового проекта. При необходимости, эти параметры можно отредактировать. Для этого в системе Quartus II имеется специальный инструмент — Simulator Tool, вызываемый из меню Tools главной командной строки системы. Окно Simulator Tool представлено на рисунке 2.43.

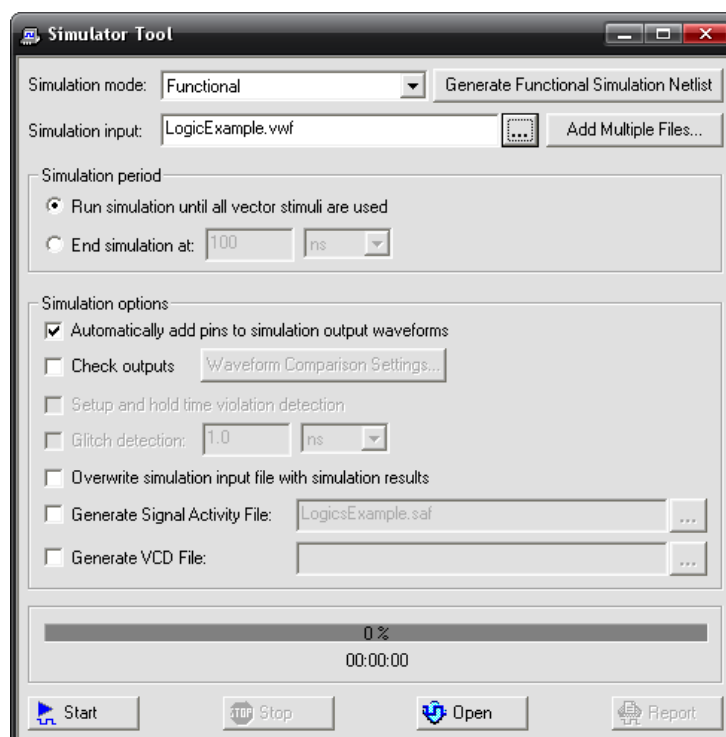


Рисунок 2.43 — Окно настройки симулятора Simulator Tool

В поле Simulation Mode необходимо выбрать тип моделирования проекта — функциональное (Functional) или учитывающее временные параметры выбранного типа ПЛИС (Timing). При указании Timing будет выполнено моделирование с учетом особенностей микросхемы и приближенных реальных временных задержек, которые будут существовать уже в микросхеме.

Если выполняется функциональное моделирование, то перед запуском системы моделирования необходимо создать список соединений проекта. Для этого в окне Simulation Tools необходимо нажать кнопку Generate Functional Simulations Netlist (создать файл со списком соединений для функционального моделирования). После его создания запускаем систему на моделирование. Если выполняется моделирование с учетом временных параметров выбранной ПЛИС, создание файла со списком соединений не требуется и сразу запускается система моделирования.

В следующем поле с названием Simulation Input необходимо ввести имя файла вектора входных воздействий (*.vwf), который мы уже создали. По умолчанию, это

имя файла верхнего уровня проекта. При необходимости, имя требуемого файла можно найти, используя кнопку в правой части окна имени. Область Simulation Period позволяет задать моделирование либо на всем заданном интервале Run simulation until all vector stimuli are used, либо задать время окончания моделирования не совпадающее с временем, определенным в файле временных диаграмм End simulation at. В последнем случае задаются значение времени окончания моделирования и единица его измерения.

Раздел Simulation options позволяет определить следующие опции.

Automatically add pins to simulation output waveform — режим автоматического добавления к временным диаграммам выходных выводов проекта,

Check outputs — режим проверки выходов.

Overwrite simulations input file with simulations results — режим перезаписи исходного файла моделирования с учетом результатов его выполнения. Если этот режим не задан, то файл входных воздействий сохраняется неизменным.

Generate signal activity file — режим генерации файла активных сигналов. В этом случае создается файл с расширением *.saf (Signal Activity File). Это текстовый файл в формате ASCII, содержащий информацию о частоте переключения и данные о статической вероятности для проекта. Этот файл используется при анализе энергетических характеристик проекта модулем PowerPlay Power Analyzer системы.

2.4.4 Запуск на моделирование и отчет о моделировании

Запустить процесс моделирования проекта можно несколькими способами:

- ✓ В окне Simulation Tool нажать кнопку Start.
- ✓ В меню Processing (обработка) вызвать команду Start Simulation (запуск моделирования).
- ✓ Нажать кнопку с соответствующей пиктограммой на панели инструментов главного окна среды Quartus II.

После запуска начинается процесс моделирования, который, в случае успешного выполнения, заканчивается появлением окна, показанного на рисунке 2.44.



Рисунок 2.44 — Сообщение об успешном моделировании проекта

При этом в главном окне Quartus II появляется отчет о моделировании — Simulation Report, правой части которого приведены временные диаграммы, описывающие работу проекта при заданных входных воздействиях. Если для запуска на моделирование использовалась кнопка Start окна Simulation Tool, то после моделирования для вывода отчёта моделирования необходимо будет нажать кнопку Report этого же окна.

Пример отчета о функциональном моделировании (Functional) представлен на рисунке 2.45. Пример отчета о моделировании, учитывающем временные параметры, представлен на рисунке 2.46. Предлагается сравнить временные диаграммы этих рисунков и объяснить их. На временных диаграммах рисунка 2.46, наблюдаются некоторые всплески длительностью меньше 1 нс. Предлагается объяснить их возникновение при моделировании.

Если посмотреть временные диаграммы, то видно, что наш проект в виде простой логической схемы функционирует правильно, — в соответствии с таблицей истинности нашего логического устройства.

Во время моделирования, так же как и при компиляции, работает процессор сообщений, формируя информационные сообщения, предупреждения и сообщения об ошибках.

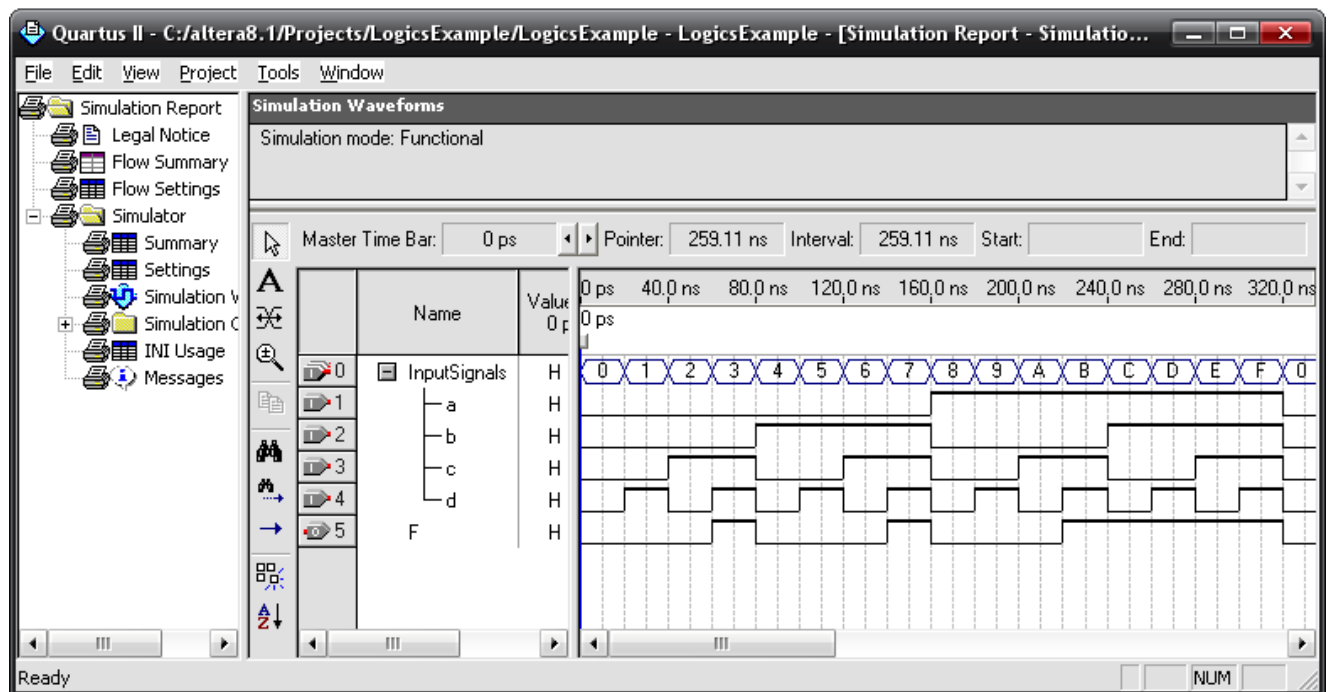


Рисунок 2.45 — Отчет о функциональном моделировании (Functional)

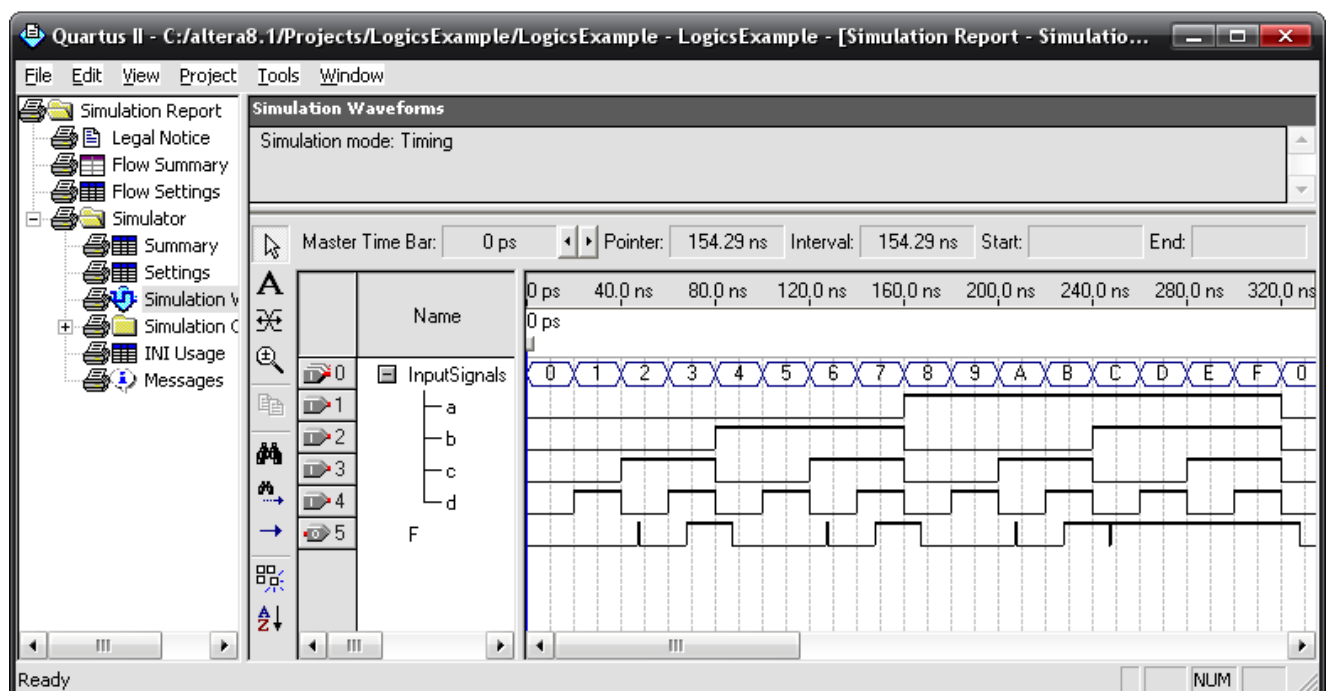


Рисунок 2.46 — Отчет о моделировании, учитывающем временные параметры (Timing)

Если в поле названий сигналов нажать правую кнопку мыши, появится окно, представленное на рисунке 2.47, позволяющее выполнять элементы редактирования.

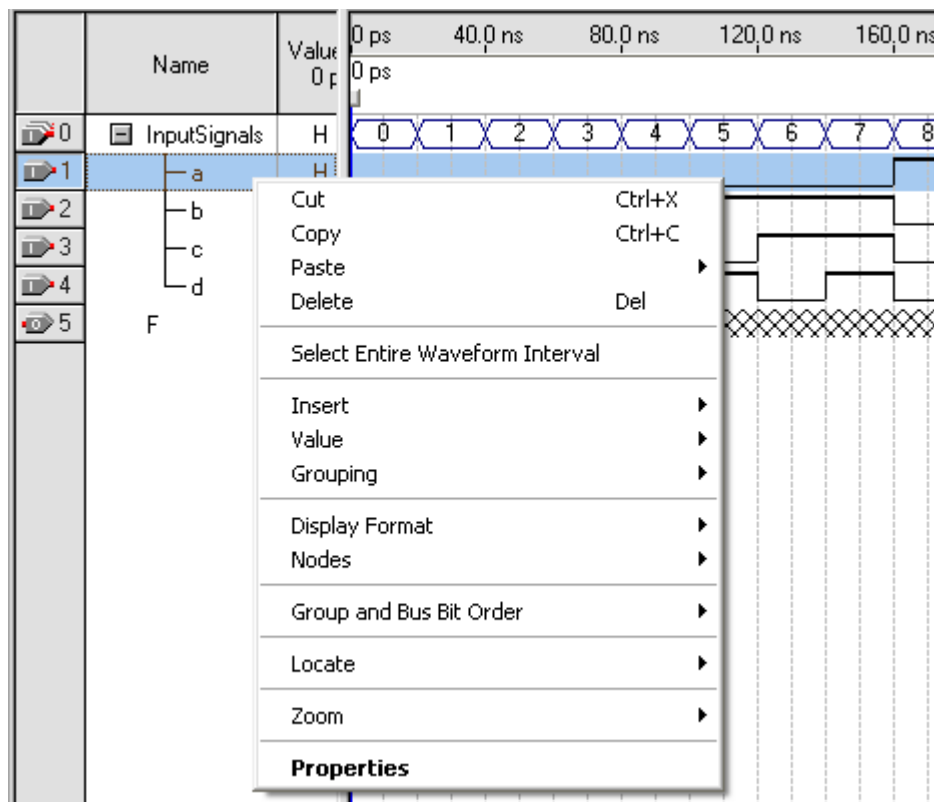


Рисунок 2.47 — Выпадающее окно редактирования сигналов

Доступны операции копирования, удаления создания, групп сигналов и т. д. В нашем примере была создана группа сигналов, названная InputSignals которая включает в себя сигналы a, b, c, d.

После того как правильность функционирования устройства проверена, можно приступить к настройке параметров устройства.