

Проектирование конечных автоматов в приложении Stateflow системы Matlab / Simulink с последующей реализацией в базисе ПЛИС

А. Строгонов, д. т. н.¹

УДК 519.713.1 | ВАК 2.2.2

Отечественные разработчики ЭКБ сделали ставку на развитие в России архитектуры RISC-V – нового открытого стандарта системы команд и архитектуры процессоров, создав ассоциацию разработчиков на RISC-V. RISC-V является развитием архитектуры MIPS, основным функциональным блоком которой является конечный автомат для формирования сигналов управления мультиплексорами и сигналов разрешения записи в регистры тракта данных. В статье описан пример проектирования конечных автоматов в приложении Stateflow системы визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink с последующей генерацией HDL-кода.

В ассоциацию разработчиков на RISC-V вошли производитель серверов и систем хранения данных Yadro («КНС групп»), разработчик процессоров «Байкал Электроникс», разработчик ОС Astra Linux группа компаний «Астра», разработчик технологической программно-аппаратной платформы «Восток» и НИУ МИЭТ. При участии НИУ МИЭТ была создана ассоциация вузов ЭКБ, целью которой является изучение архитектуры RISC-V в России в условиях санкционного давления. Кроме того, в Сколково на базе курса MIT создана Школа синтеза цифровых схем для быстрого освоения современных подходов к проектированию цифровых ИС, в частности микропроцессорных ядер с архитектурой RISC-V, построенных на конечных автоматах. Углубленное изучение обработки потока команд с помощью управляющего автомата возможно путем его визуализации, например в системе Matlab/Simulink, с последующей генерацией HDL-кода.

Система визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink содержит встроенный генератор кода языка описания аппаратных средств HDL (Simulink HDL Coder). Simulink HDL Coder – программный продукт для генерации VHDL-кода без привязки к конкретной архитектуре ПЛИС и платформе по Simulink-моделям и граф-автоматам (Stateflow-диаграммы). Предлагается сравнить

VHDL-коды конечного автомата, извлеченные в автоматическом режиме с помощью Simulink HDL Coder и редактора состояний конечного автомата (State Machine Viewer) САПР Quartus II на примере граф-автомата, рассмотренного в работе [1], который стал эталонным примером по синтезу конечных автоматов в документациях САПР Xilinx с применением метода ONE. Поддержка метода кодирования с одним активным состоянием реализована во всех САПР ПЛИС [2–5].

Метод ONE (one-hot encoding) получил такое название потому, что в каждый конкретный момент времени активным (hot) может быть только один триггер состояния. Применение метода ONE для ПЛИС типа ППВМ (FPGA) наиболее перспективно. Метод ONE применительно к ПЛИС типа ППВМ дает возможность строить конечные автоматы, которые в общем случае требуют меньших ресурсов и отличаются более высокими скоростными показателями, чем аналогичные конечные автоматы с двоичным кодированием состояний. Повышенное быстродействие по методу ONE обеспечивается меньшим числом уровней логики между рабочими фронтами синхросигналов, чем в случае двоичного кодирования. Логические схемы при этом упрощаются, поскольку метод ONE практически не требует логики декодирования состояний. Получающийся в результате построения конечного автомата набор триггеров похож на структуру типа сдвигового регистра.

Быстродействие конечного автомата типа ONE остается постоянным с увеличением числа состояний. И напротив, быстродействие конечного автомата с высокой

¹ Воронежский государственный технический университет, профессор кафедры полупроводниковой электроники и наноэлектроники, тел. +7 910 247-14-70, andreistrogonov@mail.ru.

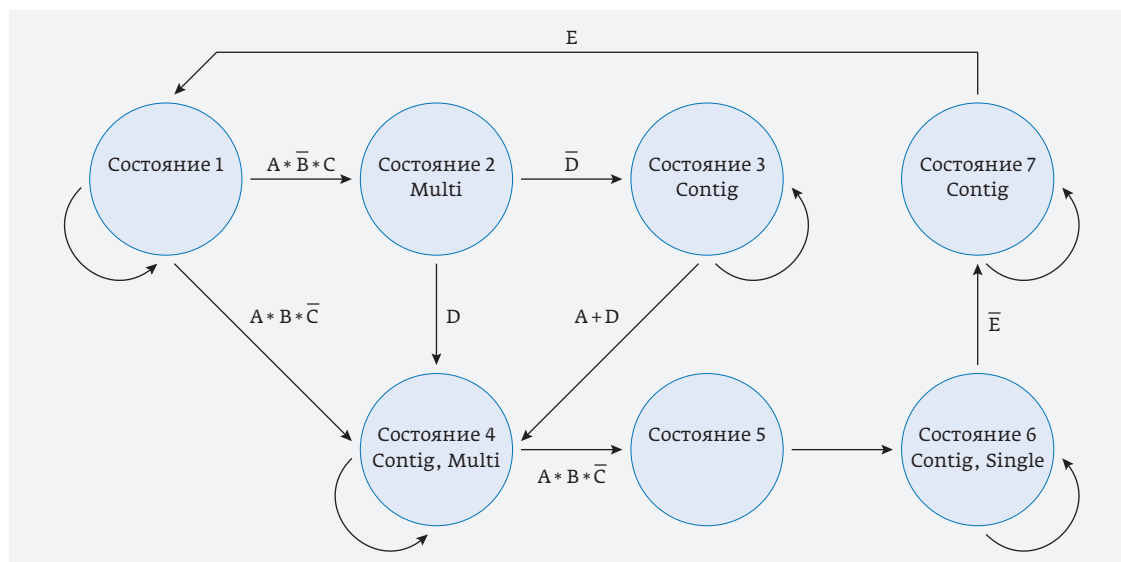


Рис. 1.
Граф-автомат
из работы [1]

степень кодирования состояний снижается с увеличением количества состояний, поскольку в этом случае для декодирования требуется большее число уровней логики с большим числом линий.

Граф-автомат на семь состояний из работы [1] показан на рис. 1. Реализуем этот автомат в приложении Stateflow системы Matlab/Simulink.

На рис. 2 показан испытательный стенд для трех автоматов: автомат Мура с использованием триггерного входа Data, на который подается синхросигнал clk (а); автомат Мура без триггерного входа (б) и автомат Мили с триггерным входом (в). Генератор сигналов создан с помощью функционального блока Signal Builder библиотеки Simulink/Sources, а автомат с помощью блока Chart приложения Stateflow.

StateFlow-диаграмма строится из отдельных объектов, таких как состояние, переход, переход по умолчанию и др. На рис. 3 демонстрируется граф-автомат Мура с триггерным входом. По переднему фронту (Rising Edge) на триггерном входе Data (событие переключения, событием называется наступление некоторого факта, инициирующего переход – изменение состояния объекта) происходит переключение между состояниями при выполнении определенных условий. На вход автомата подаются информационные сигналы

A, B, C, D, E и синхросигнал Clk, которые формируются с помощью генератора сигналов. Выходными сигналами автомата являются сигналы Multi, Contig и Single.

Переход – это линия со стрелкой, соединяющая один графический объект с другим. В большинстве случаев переход представляет скачок системы из одного режима

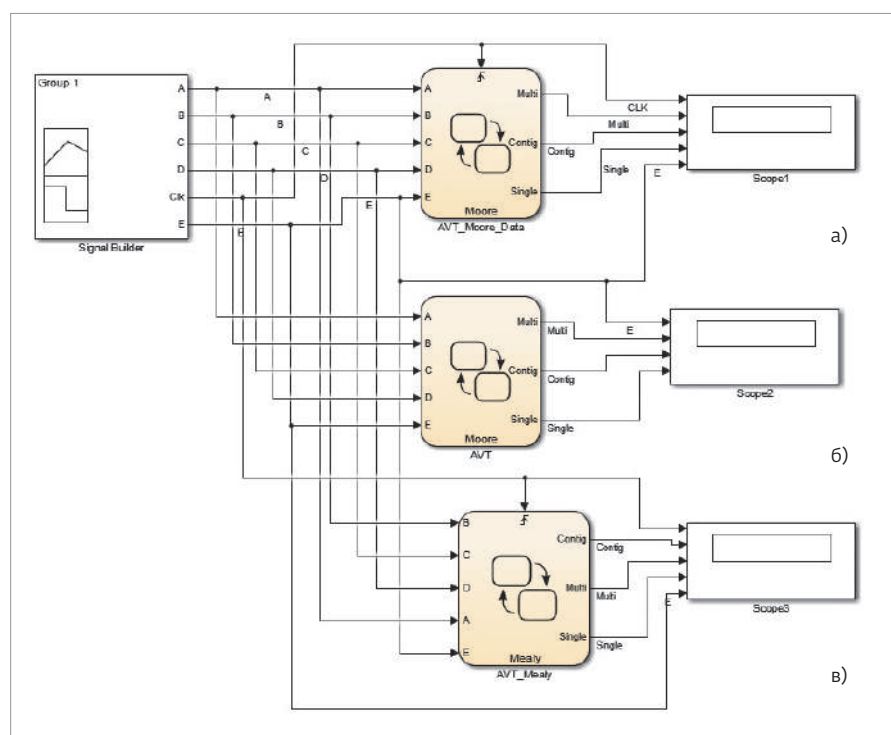


Рис. 2. Имитационная модель для трех автоматов: а – автомат Мура с триггерным входом; б – автомат Мура без триггерного входа; в – автомат Мили с триггерным входом

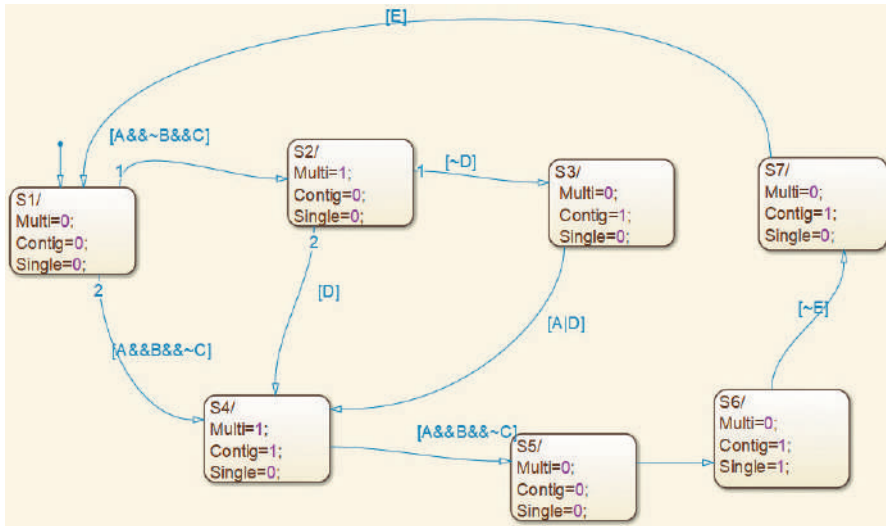


Рис. 3. Граф-автомат Мура с триггерным входом в приложении Stateflow системы Matlab/Simulink

(состояния) в другой. Переход соединяет объект-источник с объектом-адресатом. Объект-источник – место, где переход начинается, объект-адресат – место, где переход заканчивается.

Переходы между состояниями имеют события переключения, условия, действия условий и действия переходов. Состояния могут иметь действия при входе в состояние, во время активности состояния, действия при выходе из состояния и при наступлении события с именем event_name.

Условия – это булевы выражения, которые должны быть истинны для осуществления перехода. Условия заключаются в квадратные скобки ([]). Действия условий следуют за

условиями и заключаются в фигурные скобки ({}). Они выполняются тогда, когда условие становится истинным, но перед тем, как переход осуществится. Действия перехода выполняются после того, как переход стал возможен и при истинности условия, если оно определено. Действия перехода обозначаются символом (\).

Например, для автомата Мура с триггерным входом Data переход из состояния 1 (S1) в состояние 4 (S4) может быть записан так: Data[A&&B&&~C], где Data – входное событие переключения, а [A&&B&&~C] – условие переключения. В состоянии 4 (S4) автомат формирует выходные сигналы Multi=1; Contig=1; Single=0. На рис. 4 показан автомат Мили с триггерным входом. Переход из состояния 1 (S1) в состояние 4 (S4) может быть записан так:

[A&&B&&~C]{Multi=1; Contig=1; Single=0}.

На переходах графа (см. рис. 3) событие переключения Data явно не указывается. Входное событие переключения задано с помощью меню Chart/Add Inputs & Outputs/Event Input from Simulink. Это можно проверить с помощью проводника модели. Таким образом, граф-автомат на рис. 3 может быть использован и для автомата Мура без триггерного входа.

При выборе параметров расчета с помощью проводника модели (Model Explorer) необходимо указать способ моделирования (Type) и метод расчета нового состояния системы. Для параметра Type доступны два варианта моделирования систем – с фиксированным (Fixed-step) или с переменным (Variable-step) шагом.

Выберем в настройках Solver (установка параметров расчета модели) вариант с дискретным шагом Fixed-step/Discrete. Это необходимо, чтобы для автомата Мура без триггерного входа правильно отображались временные диаграммы его работы. Для двух других автоматов можно использовать способ моделирования с переменным шагом Variable-step/Ode45.

Входные сигналы, созданные с помощью генератора сигналов, и результаты имитационного моделирования показаны на рис. 5. Временные диаграммы на рис. 5б и 5г

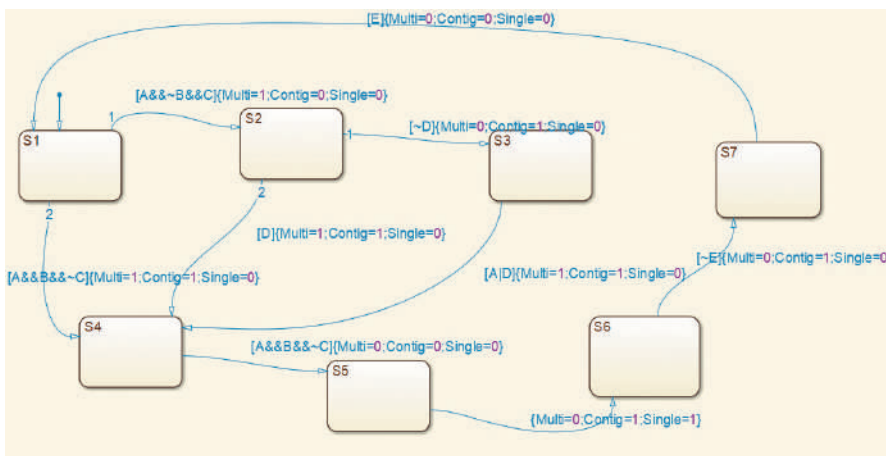


Рис. 4. Граф-автомат Мили с триггерным входом в приложении Stateflow системы Matlab/Simulink

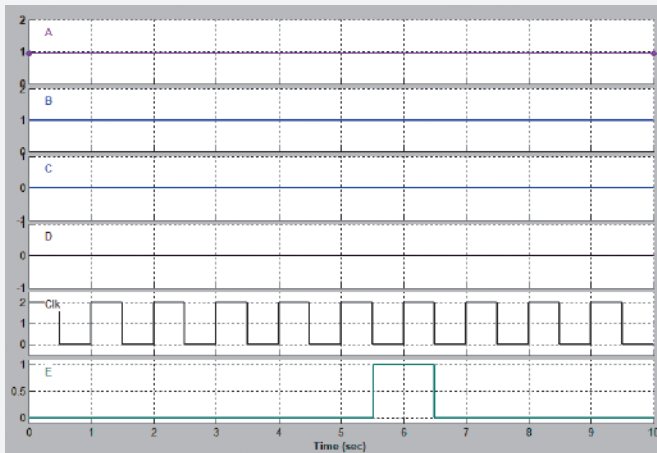
Полный комплекс услуг по внешнеэкономической деятельности

- Взаимодействие с поставщиками
- Заключение и оплата по контракту
- Таможенное оформление
- Сертификация

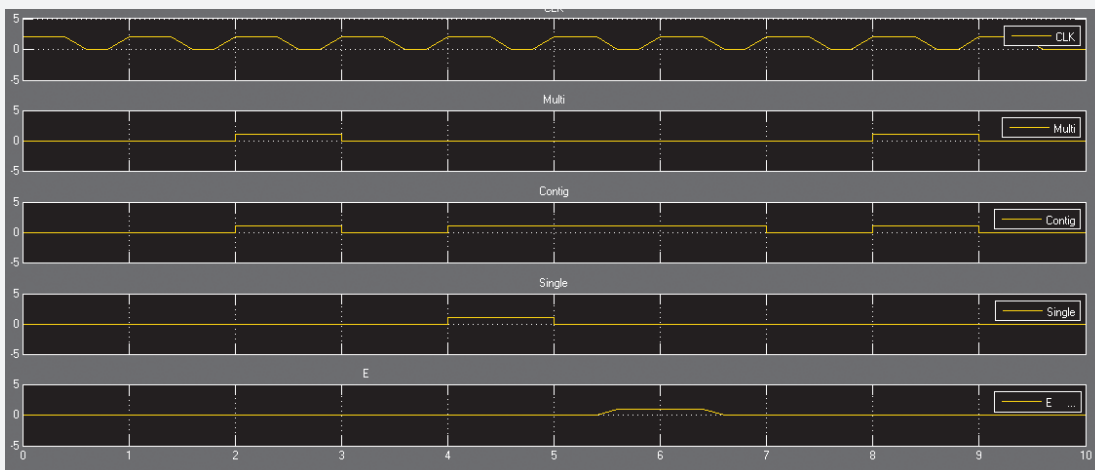


*Специализируемся на 84 и 85 ТН

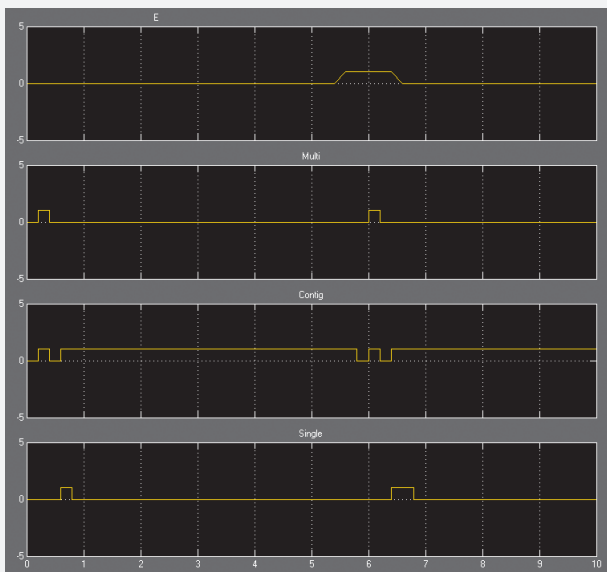




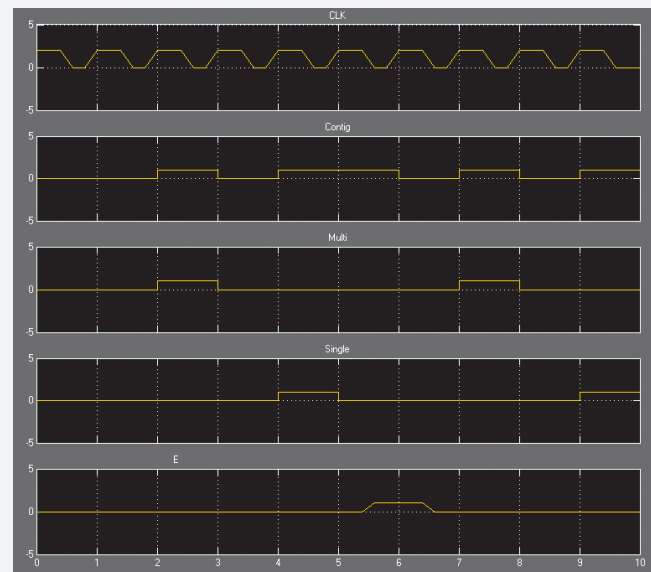
а)



б)



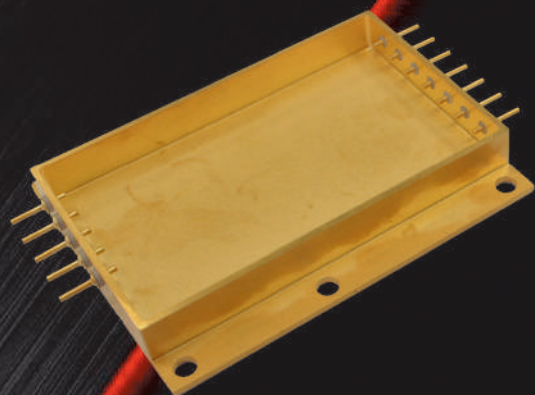
в)



г)

Рис. 5. Входные сигналы (а) и результаты моделирования: б – для автомата Мура с триггерным входом; в – для автомата Мура без триггерного входа; г – для автомата Мили с триггерным входом

МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ КОРПУСА



КОРПУСА ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С КЕРАМИЧЕСКИМИ ИЗОЛЯТОРАМИ ВЫВОДОВ И СИЛОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

СОСТАВ КОРПУСОВ:

- Корпуса состоят из основания и крышки.
- Покрытие крышки Хим.НЗ или НЗ.
- Все открытые металлизированные поверхности и металлические части основания корпуса имеют антикоррозионное золотое покрытие.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРПУСОВ

| Наименование корпуса | КОРПУС МК 12.8-1 | КОРПУС МК 12.8-2 | КОРПУС МК 12Ф.8-3 | КОРПУС МК 12.10-1 | КОРПУС МК 12Ф.10-2 | КОРПУС МК 41Ф.12-2 | КОРПУС МК 41Ф.12-3 |
|---|--|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--|--------------------|
| Количество выводов | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 12 | 12 |
| Внешний вид корпуса | | | | | | | |
| Диаметр выводов, мм | Ø 0,6 | Ø 0,8 | Ø 0,8 | Ø 1,0 | Ø 1,0 | Ø 1,0 | Ø 1,5 |
| Габаритные размеры корпуса, не более, мм | 26,6×26,6×6,5 | 37,1×28,6×7,9 | 50,7×28,6×7,9 | 53,35×28,25×9,00 | 73,75×28,25×9,00 | 68,65×56,15×9,05 | 94,95×39,95×10,85 |
| Размер монтажной площадки корпуса, не менее, мм | 24,0×17,4 | 34,3×17,2 | 34,3×17,2 | 50,5×17,0 | 50,5×17,0 | 60,3×39,4 | 73,4×36,9 |
| Масса основания корпуса, не более, г | 12,80 | 20,1 | 20,1 | 28,60 | 32,75 | 79,0 | 61,5 |
| Масса крышки, не более, г | 2,70 | 4,1 | 4,1 | 10,75 | 10,75 | 22,9 | 20,9 |
| Способ герметизации | Лазерная сварка | | | | | | |
| Особенности | Вертикальное расположение выводов относительно плоскости основания | | | | | Планарное расположением выводов относительно плоскости основания | |
| Покрытие | H23л.1,5 | | | | | | |



125480, МОСКВА,
УЛ. ПЛАНЕРНАЯ, Д. 7А

8 (495) 657-87-37

TR@TEST-EXPERT.RU

WWW.TEST-EXPERT.RU

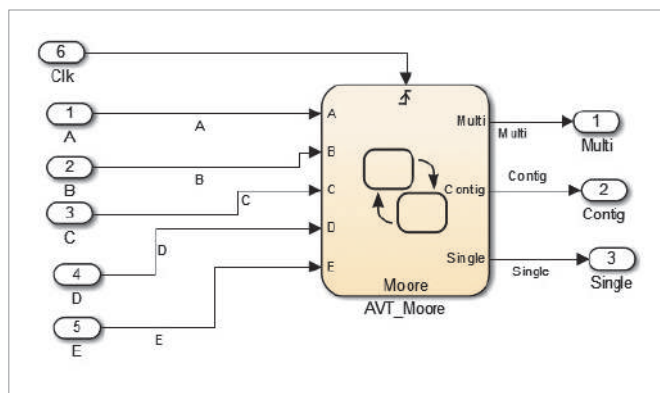


Рис. 6. Модель автомата Мура, подготовленная для извлечения VHDL-кода с триггерным входом (с входным событием переключения Data)

показывают, что добавление триггерного входа в автоматы Мура или Мили в системе Matlab/Simulink позволяет построить синхронные конечные автоматы, в которых для перехода между состояниями требуется наличие синхросигнала. А рис. 5в демонстрирует работу асинхронного конечного автомата, в котором переходы по состояниям осуществляются по изменению уровней сигналов на его входах.

Для того чтобы извлечь VHDL-код из диаграммы переходов, необходимо в свойствах диаграммы Properties (правый клик мышки) в поле Execute (Enter) Chart At Initialization поставить галочку. Удалить генератор сигналов и монитор, так как из них VHDL-код не извлекается, подготовить порты для модели и настроить генератор кода языка VHDL в меню HDL coder (рис. 6). Установить атрибуты сигналов входных портов Clk, A, B, C, D и E: Boolean, а выходных портов Inherit: auto (double).

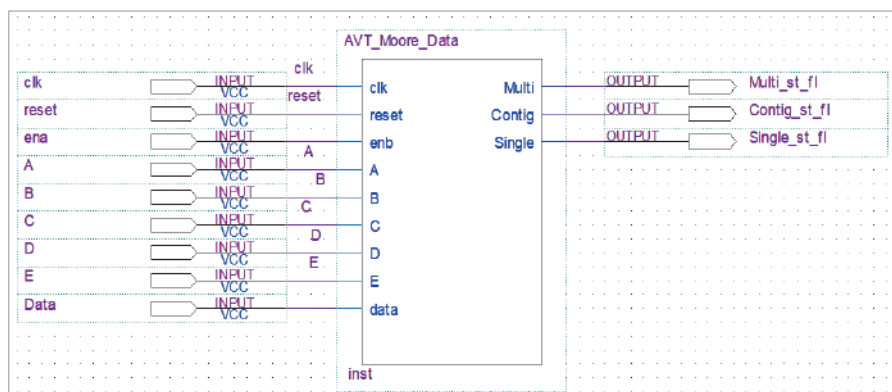


Рис. 8. Проект автомата Мура с триггерным входом Data в САПР Quartus II, сгенерированный в автоматическом режиме с помощью Simulink HDL Coder

```
LIBRARY IEEE;
USE IEEE.std_logic_1164.ALL;
USE IEEE.numeric_std.ALL;
PACKAGE mealy1_4_pkg IS
TYPE T_state_type_is_AVT_Moore_Data IS
(IN_S1, IN_S2, IN_S3, IN_S4, IN_S5, IN_S6,
IN_S7);
END mealy1_4_pkg;
```

Рис. 7. Пакет с перечисляемым типом данных, сгенерированный в автоматическом режиме

Сгенерированный в автоматическом режиме код (AVT_Moore.vhd) сразу использовать не получится из-за того, что тип double-сигналов выходных портов заменяется на тип real. Код необходимо отредактировать.

Для того чтобы на базе этого кода создать проект в САПР Quartus II, необходимо тип real заменить на тип std_logic и при этом также обеспечить замену 0.0 на „0” и 1.0 на „1”. А также добавить в проект пакет (для обозначения пакета используется имя модели автомата, например файл mealy1_4_pkg.vhd) с перечисляемым типом данных (рис. 7).

Перечисляемый тип – это такой тип данных, при котором количество всех возможных состояний конечно. Такой тип наиболее часто используется для обозначений состояний конечных автоматов. Любой перечисляемый тип имеет внутреннюю нумерацию: первый элемент всегда имеет номер 0, второй – 1 и т. д.

Анализ полученного VHDL-кода показывает, что используется как триггерный вход Data, так и отдельный вход для подачи синхросигнала clk (рис. 8). На рис. 9а показано RTL-представление автомата Мура с триггерным входом, а на рис. 9б, в и г – оптимизированная диа-

грамма переходов, условия переходов и таблица переходов. Добавление в проект триггерного входа Data приводит к появлению дополнительного сигнала enb_gated во всех условиях переходов (рис. 9в). Например, переход из S1 в S4 возможен, когда (! C).(A).(B).(enb_gated), таким образом, enb_gated является синхронным сигналом разрешения логики переходов и логики формирования триггерных выходных сигналов с мультиплексированием.

Таблица переходов демонстрирует использование метода ONE. По умолчанию в настройках САПР Quartus II в категории Analysis & Synthesis

Современные средства измерений



РАСШИРЕНИЕ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

Анализаторы спектра серии АКИП-4214



Диапазон частот

9 кГц... 13,6 ГГц

9 кГц... 26,5 ГГц

Уровень собственных шумов
-165 дБм

Плотность фазовых шумов
-105 дБм/Гц @ 1 ГГц отстройка 10 кГц

Генераторы ВЧ-сигналов серии АКИП-3211

Диапазон частот

9 кГц... 13,6 ГГц

9 кГц... 20 ГГц

Выходной уровень
-130 дБм... 25 дБм

Плотность фазовых шумов
120 дБм/Гц @ 1 ГГц отстройка 20 кГц

Модуляция AM/ FM/ PM в стандартной комплектации



111141, г. Москва, ул. Плеханова 15а; тел.: +7 (495) 777-5591; факс: +7 (495) 640-3023
196006, г. Санкт-Петербург, ул. Цветочная, д. 18, лит. В, офис 202; тел./факс: +7 (812) 677-7508
620089, г. Екатеринбург, ул. Цвиллинга, д. 58, офис 1; тел./факс: +7 (343) 317-3999; ek@prist.ru

prist.ru

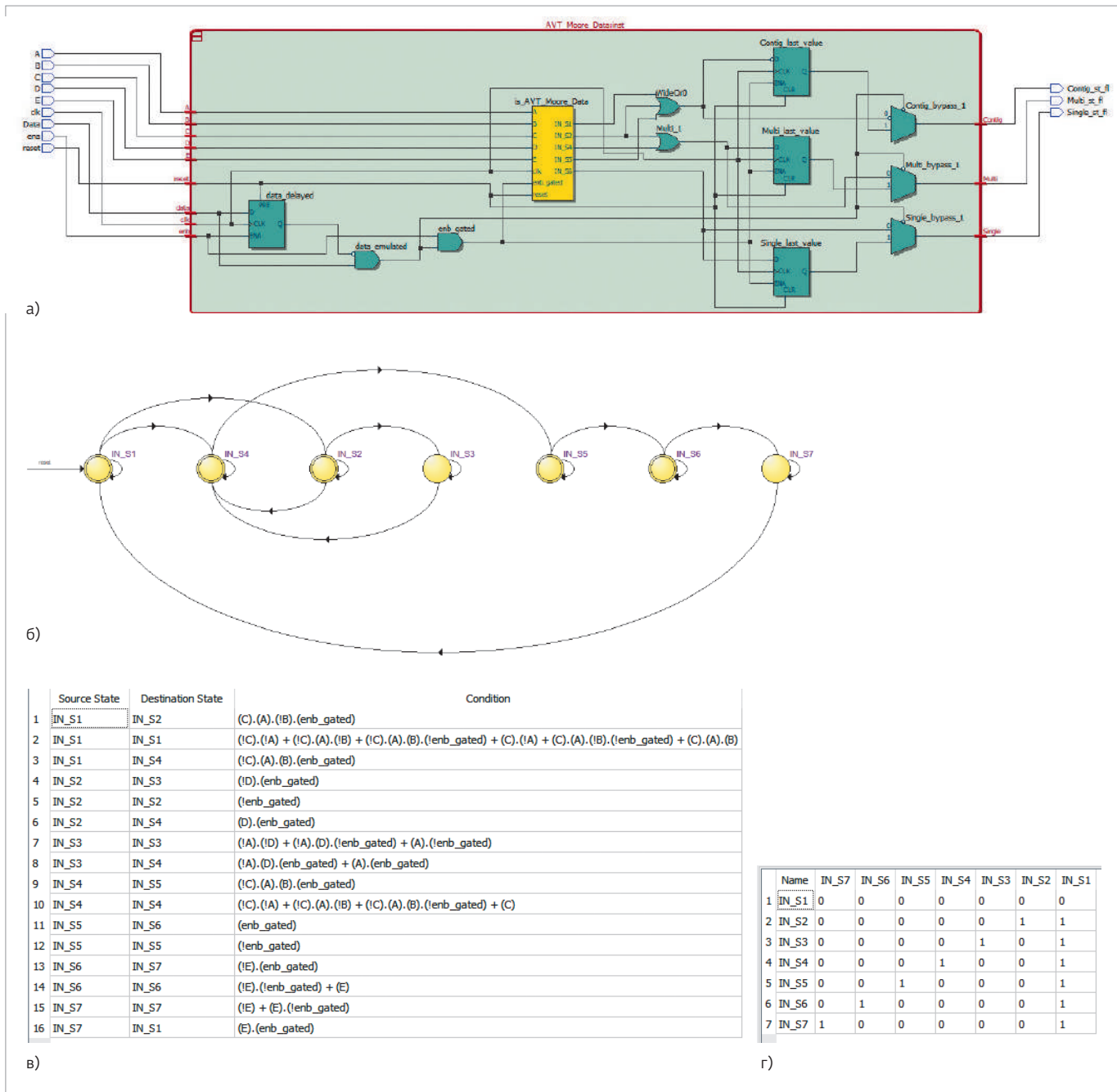


Рис. 9. Результаты синтеза конечного автомата в САПР Quartus II по VHDL-коду, сгенерированному с помощью Simulink HDL Coder: а – RTL-представление; б – оптимизированная диаграмма состояний; в – условия переходов по состояниям; г – таблица переходов, демонстрирующая использование метода ONE

Settings / More Settings в разделе State Machine Processing задан режим Auto.

На рис. 10 (переходы по состояниям 1, 2, 4, 5, 6, 7 и 1) и рис. 11 (переходы по состояниям 1, 4, 5, 6, 7 и 1) показаны временные диаграммы работы автомата Мура с триггерным входом Data. Полученные диаграммы подтверждают правильность его работы.

Рассмотрим проектирование конечного автомата с использованием редактора состояний САПР Quartus II, построенного по рис. 1. На рис. 12 показано RTL-представление двух автоматов в САПР Quartus II. Логика переходов и память состояний реализованы в блоках is_AVT_Moore_no_Event и fstate, а логика формирования выходных сигналов построена на комбинационных элементах. На



ЗАО «НПФ «Люминофор»

Уникальное российское предприятие с полувековой историей

ЗАО «НПФ «Люминофор», созданное на базе Всесоюзного НИИ Люминофоров и особо чистых веществ (ВНИИЛ), с 1964 г. специализируется на разработке и выпуске неорганических люминофоров, материалов особой чистоты и других высокотехнологичных и наукоемких продуктов для различных отраслей производства. На сегодняшний день технологии и продукция предприятия уникальны, и подавляющее большинство позиций не имеют аналогов в РФ, а ряд продуктов — аналогов в мире.

АССОРТИМЕНТ НАШЕЙ ПРОДУКЦИИ ВКЛЮЧАЕТ:

Материалы для тонкослойной оптики – пленкообразующие оптические материалы. Это высокочистые керамические материалы (оксиды, фториды и халькогениды) в виде таблеток, гранул, дисков. Применяются для вакуумного термического, электронно-лучевого или магнетронного нанесения просветляющих, защитных и других интерференционных тонкопленочных покрытий на оптические детали (линзы, призмы и т.д.) для широкого диапазона спектра – от вакуумного УФ до дальнего ИК.

Термоиндикаторные материалы обеспечивают высокоточный контроль температуры нагреваемых поверхностей. Выпускаются в виде суспензий (красок) на температуры от 30 до 1200 °С, а также в виде наклеек на температуры от 40 до 300 °С. Изменение цвета при достижении заданной температуры происходит быстро (около 100 мс) и необратимо. ТИМ используется для контроля температур в двигателестроении, авиа-, ракетной и другой технике, электроэнергетике, транспорте и ЖКХ.

Визуализаторы УФ- и ИК- излучений применяются для юстировки лазерного и светодиодного оборудования, для визуализации невидимого излучения. Выпускаются в форме керамических дисков в металлическом держателе или без него, а также в виде карточек из прочного пластика с односторонней или двухсторонней активной частью.

Люминофоры – вещества, способные излучать свет под воздействием различного рода возбуждений. Области применения – от светодиодов и визуализации всевозможных типов излучений до дизайна помещений и защищенной полиграфии.

Краски люминесцентные применяются в защитных технологиях, дизайнерских целях, светоиндикации и светоразметке.

Материалы для дефектоскопии применяются для выявления различных дефектов поверхности (непровары, трещины) и подповерхностных дефектов (типа полостей) на изделиях, изготовленных из ферромагнитных материалов.

Материалы для пьезокерамики и керамических конденсаторов применяются в производстве керамических конденсаторов, СВЧ-фильтров, подложек для СВЧ-интегральных схем, позисторов, для изготовления пьезокерамических излучателей и приемников ультразвука (сонары, системы гидролокации, ультразвуковой диагностики, в качестве датчиков давлений, деформаций, ускорений и вибраций, различных устройств поджига в газовых системах).

Прочие химические реактивы и полупродукты – на предприятии имеется обширная база технологических регламентов на производство более 40 наименований специализированных малотоннажных реактивов на основе соединений вольфрама, сурьмы, селена, теллура, редкоземельных металлов, висмута, ванадия для различных областей промышленности.

Приглашаем к долгосрочному и взаимовыгодному сотрудничеству!



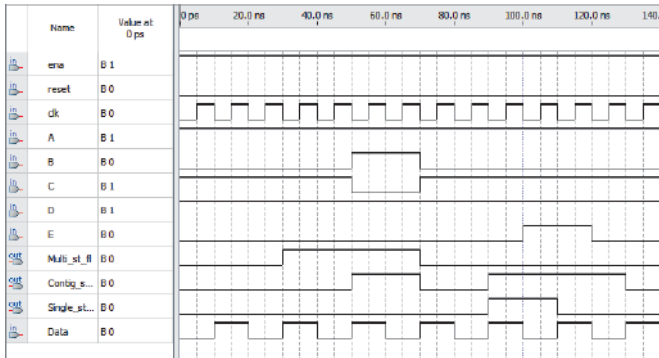


Рис. 10. Временная диаграмма конечного автомата Мура с триггерным входом Data (показаны переходы по состояниям 1, 2, 4, 5, 6, 7 и 1)

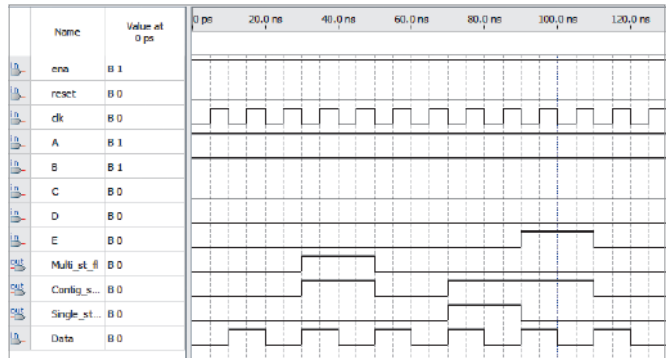


Рис. 11. Временная диаграмма конечного автомата Мура с триггерным входом Data (показаны переходы по состояниям 1, 4, 5, 6, 7 и 1)

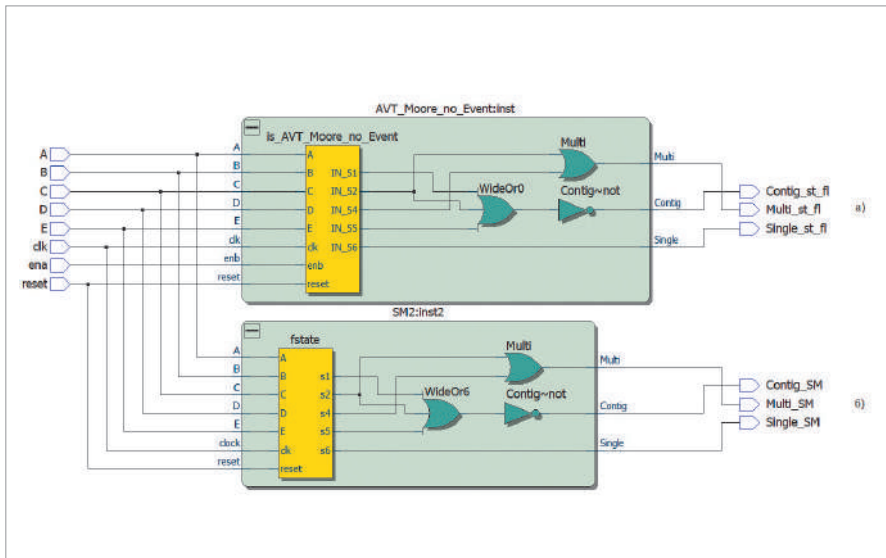


Рис. 12. RTL-представление двух автоматов в САПР Quartus II: а – автомат построен по VHDL-коду, полученному с помощью Simulink HDL Coder из автомата Мура без триггерного входа; б – автомат построен по VHDL-коду, полученному с помощью встроенного редактора состояний САПР Quartus II

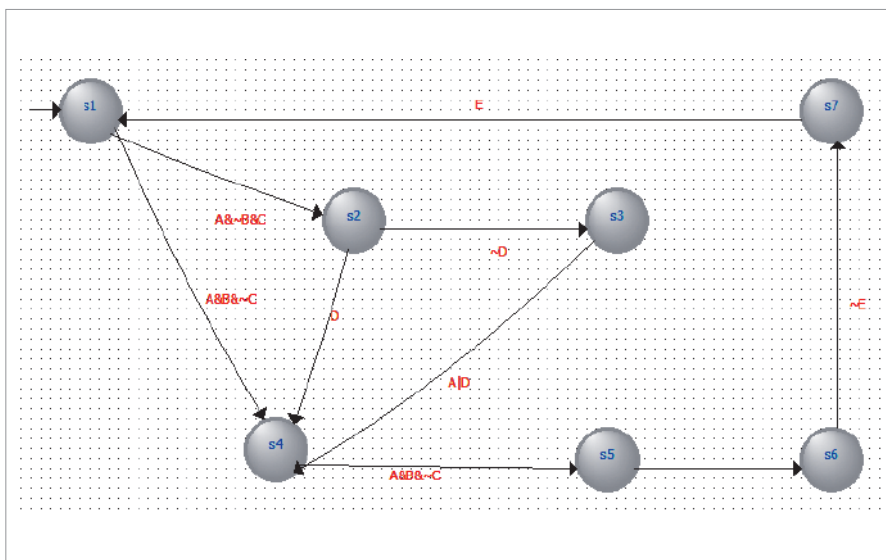


Рис. 13. Граф-автомат, разработанный с помощью редактора состояний в САПР Quartus II

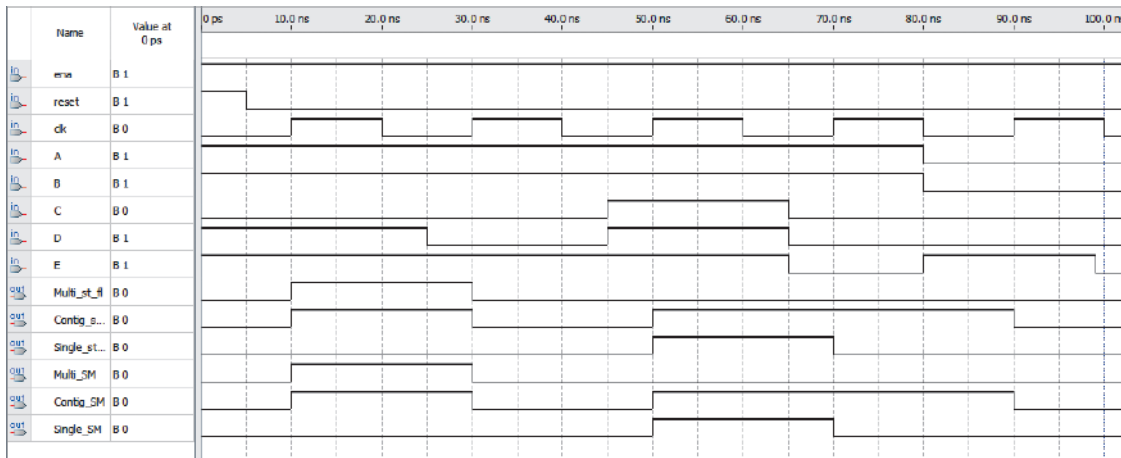


Рис. 14. Временные диаграммы работы двух автоматов (показаны переходы по состояниям 1, 4, 5, 6, 7 и 1)

рис. 12а автомат построен по VHDL-коду, полученному с помощью Simulink HDL Coder из автомата Мура без триггерного входа Data (см. рис. 26), а на рис. 12б автомат построен по VHDL-коду, полученному с помощью встроенного редактора состояний САПР Quartus II (рис. 13).

Сравнивая RTL-представления и временные диаграммы работы двух автоматов, убеждаемся, что они синтезированы и работают идентично (рис. 14), а сгенерированные VHDL-коды практически не отличаются друг от друга (рис. 15).

Реализуем по отдельности два автомата в базис ПЛИС Cyclone V 5CGXFC7C7F23C8 и оценим задействованные ресурсы. Результаты представлены в табл. 1 (метод кодирования ONE). Можно сделать вывод, что VHDL-код, сгенерированный с помощью Simulink HDL Coder из автомата Мура без триггерного входа, получается более избыточным, что сказывается на количестве задействованных логических ресурсов для реализации комбинационной логики и приводит к снижению рабочей частоты проекта.

Advantex UNO-2XM

Малошумящий синтезатор частот

100 кГц – 21 ГГц

Уровень фазового шума: -140 дБн/Гц при отстройке 10 кГц @1 ГГц

Время перестройки: < 60 мкс

Шаг перестройки: 0.0001 Гц

Мощность выходного сигнала: -10..+15 дБм, шаг 0,5 дБ

Опорный сигнал: 1-250 МГц

Выход опорной частоты: 10/100 МГц

Рабочий диапазон: -40...+60 °С

Габаритные размеры: 30,5 × 87,5 × 195,0 мм

Фазовый шум, нормированный к 1 ГГц
Phase Noise, dBc/Hz

Offset, Hz

- 1 GHz
- 2 GHz
- 3 GHz
- 5 GHz
- 7 GHz
- 10 GHz
- 13 GHz
- 15 GHz
- 17 GHz
- 20 GHz
- Spec Mask

Электронный каталог

www.advantex.ru/docs/adx_catalog_ru.pdf

Разработано и произведено в России!

www.advantex.ru

```

CASE is_AVT_Moore_no_Event IS
  WHEN IN_S1 =>
    IF ((A AND ( NOT B)) AND C) = '1' THEN
      b1 := '1';
    ELSE
      b1 := '0';
    END IF;
    IF b1 = '1' THEN
      is_AVT_Moore_no_Event_next <= IN_S2;
    ELSE
      IF ((A AND B) AND ( NOT C)) = '1'
THEN
      c1 := '1';
    ELSE
      c1 := '0';
    END IF;
    IF c1 = '1' THEN
      is_AVT_Moore_no_Event_next <=
IN_S4;
    END IF;
  END IF;

```

a)

```

CASE fstate IS
  WHEN s1 =>
    IF (((A = '1') AND (B = '1'))
AND NOT((C = '1')))) THEN
      reg_fstate <= s4;
    ELSIF (((A = '1') AND NOT((B
= '1')) AND (C = '1')))) THEN
      reg_fstate <= s2;
      -- Inserting 'else' block to
prevent latch inference
    ELSE
      reg_fstate <= s1;
    END IF;
    Multi <= '0';
    Single <= '0';
    Contig <= '0';

```

б)

Рис. 15. Фрагменты VHDL-кодов: а – сгенерированных с помощью Simulink HDL Coder из автомата Мура без триггерного входа; б – сгенерированных с помощью встроенного редактора состояний САПР Quartus II

Таблица 1. Результаты реализации в ПЛИС VHDL-кодов, сгенерированных с помощью Simulink HDL Coder из автомата Мура без триггерного входа и с помощью встроенного редактора состояний САПР Quartus II

| Проект | Число триггеров/ALUT | Максимальная тактовая частота, f_{\max} , МГц (Slow Model 1100mV 85C) |
|--|----------------------|---|
| VHDL-код получен с помощью Simulink HDL Coder из автомата Мура без триггерного входа | 7/11 | 369 |
| VHDL-код получен с помощью встроенного редактора состояний САПР Quartus II | 7/10 | 566 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приложение Stateflow системы Matlab/Simulink поддерживает разработку как синхронных, так и асинхронных конечных автоматов, а применение Simulink HDL Coder позволяет сгенерировать VHDL-код синхронного конечного автомата. В совокупности это дает возможность ускорить процесс разработки сложных конечных автоматов без сбоев для реализации их в базе ПЛИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кнапп С. К.** Accelerate FPGA macros with one-hot approach // ED, 1990, no. 17, pp. 65–71.
2. **Строгонов А. В.** Проектирование конечных автоматов по методу ONE // Компоненты и технологии. 2007. № 10. С. 124–129.
3. **Строгонов А. В., Быстрицкий А. В.** Эффективность разработки конечных автоматов в базе ПЛИС FPGA // Компоненты и технологии. 2013. № 1. С. 66–72.
4. **Строгонов А. В.** Проектирование цифровых автоматов с использованием системы Matlab/Simulink // Компоненты и технологии. 2008. № 4. С. 149–152.
5. **Строгонов А. В., Цыбин С. А., Городков П. С.** Проектирование конечных автоматов с использованием пакетов расширения Stateflow и Xilinx System Generator системы Matlab/Simulink // Компоненты и технологии. 2015. № 8. С. 120–127.

13

АПРЕЛЯ 2023

ЦВК «Экспоцентр»
Павильон 8



Конгресс

СФЕРА

XVI

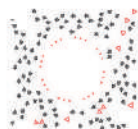
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАВИГАЦИОННЫЙ ФОРУМ
И КОНГРЕСС «СФЕРА»



+7 (495) 641 57 17



glonass-forum.ru



Автонет
Национальная
технологическая
инициатива

