**Синтез синхронных цифровых автоматов с использованием ПЛИС**

ПЛИС, относящиеся к зарубежному классу FPGA-микросхем являются в общем случае набором логических вентилей, из которых строится более укрупненная блочная структура, которая включает в себя:

* логические блоки, состоящие из триггера, комбинационной схемы (LUT) и мультиплексора
* матрицы межсоединений
* портов ввода-вывода (GPIO)

Как и с любой другой цифровой схеме все сигналы распространяются параллельно друг другу во времени, хотя текст программы на языке HDL (VHDL, Verilog, SystemC и т.п.) идет последовательно строка за строкой, но все эти строки выполняются параллельно. Большинство задач предусматривают ожидание наступления определенного события и переход в т, либо иное состояние в зависимости от текущего состояния и ряда условий (сигналов). Для решения таких задач используют синхронные цифровые автоматы, являющиеся отдельным классом последовательностных схем. Наиболее известными типами цифровых автоматов являются автоматы Милли и Мура:

* в автомате Мура выходы схемы являются функцией только текущего состояния
* в автомате Милли – функцией внутреннего состояния и по крайней мере одного из входов.

В общем случае цифровой автомат математически можно описать А = <A, B, C, δ, λ> [1-2], где:

множество A – множество значений на физических входах цифрового автомата

множество B – множество значений на физических выходах цифрового автомата

множество C – множество, которое представляет собой внутренне состояние автомата

δ – функции переходов автоматов.

λ – функции выходов автоматов

Автомат Милли описывается следующей системой уравнений:

c(t) = δ(a(t), c(t-1))

b(t) = λ(a(t), c(t-1))

Автомат Мура описывается следующей системой уравнений:

c(t) = δ(a(t), c(t-1))

b(t) = λ(a(t), c(t))

Автомат функционирует дискретно во времени, т.е. значения входов, выходов и внутреннее состояние изменяются в дискретные моменты времени. Примерами таких автоматов являются: триггер, регистр и т.п.

Есть два основных способа задания автомата:

1. с помощью графа
2. с помощью таблицы функций переходов и функций выходов.

Граф автомата – это ***ориентированный связанный граф***, вершины которого представляют внутреннее состояние, а ***дуги – переходы из одного состояния в другое***.

Пример задания цифрового автомата (автомата Милли) приведен на рис.1. ***Над дугами***, связывающими состояния пишутся буквы, ***входных и выходных состояний***, при этом ***выходное состояние зависит от состояния автомата в предыдущие моменты времени***. Автомат, приведенный на рис.1 можно задать с помощью таблиц переходов и выходов (ТПВ). В ТПВ строками являются внутренние состояния автомата, а столбцами – входы. ТПВ автомата, приведенного на рис.1. Трактовать значения приведенные на пересечении строк и столбцов следует следующим образом, рассмотрим выделенную оранжевым цветом ячейку автомат находится в состоянии С1, при наличии на его входах значения a2 он перейдет в состояние С2, а на выходах автомата будет значение b3.

Изображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание

Рис.1. Пример задания автомата Милли.

Таблица 1 – ТПВ автомата, приведенного на рис.1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | a1 | a2 | a3 |
| C1 | C1/b1 | C2/b3 | C3/b4 |
| C2 | - | - | C1/b1 |
| C3 | C4/b1 | C2/b4 | C2/b3 |
| C4 | C4/b2 | - | C2/b2 |

При описании с помощью графа автомата Мура над дугами записываются только входные значения, выходные остаются у вершин, пример графа автомата Мура приведен на рис.2.

Изображение выглядит как карта, текст

Автоматически созданное описание

Рис.2. Пример задания автомата Мура.

При построении ТПВ для графа Мура строят отмеченную таблицу переходов для которой выделяют дополнительный столбец справа, в котором пишут выходное состояние. Для автомата изображенного на рис.2. ТПВ приведена в табл.2.

Таблица 2 – ТПВ автомата Мура, приведенного на рис.2.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | a1 | a2 | a3 |  |
| С1 | C2 | C3 | C1 | b3 |
| С2 | - | C2 | C1 | b2 |
| С3 | C3 | - | C2 | b1 |

Таблицу ТПВ для автомата Мура следует понимать следующим образом: в какое состояние автомат переходит если он находится в определенном состоянии при наличии на входах одного из значений и при этом на выходе схему будет следующее. Для примера рассмотри выделенную оранжевым клетку таблицы 2: автомат находясь в состоянии С2 перейдет в состоянии С1 по поступлении на вход сигналов a3, при этом в состоянии C2 на его выходах значение b2.

Оба приведенных автомата являются частичными, т.е. не для всего набора входных значений (a) определены переходы в состояние, для того, чтобы автомат можно было реализовать необходимо доопределить состояние автомата, простейший вариант – оставить автомат в том же состоянии, в котором он находился, хотя это не всегда будет соответствовать логике работы устройства.

Для выполнения операций синхронно (по наступлению события) используются always-блоки. В этой работе для синтеза цифрового автомата будет использоваться описание язык описания цифровых схем Verilog [3-5] Существует несколько подходов для описание цифровых автоматов с использованием одного или двух и более always блоков [6,7]. Однако для простоты описания используем описание автомата с одним always блоком реализуем приведенные на рис.1 и 2 графы автоматов.

**Задание для самостоятельной работы**

Необходимо:

1. нарисовать граф, описывающий работу синхронного цифрового автомата
2. описать код цифрового автомата с использованием языка Verilog
3. написать тестбенч для проверки цифрового автоматов и выполнить проверку переходов

Для реализации выбрать один из следующих вариантов цифрового автомата:

1.

2.

3.

4.

5.

6.

**Список использованных источников**

1. Цифровые автоматы
2. Цифровые автоматы
3. Verilog
4. Verilog
5. Verilog
6. Подход к созданию цифровых автоматов, число always
7. Подход к созданию цифровых автоматов, число always