

Конечные автоматы

Определение и обобщенная структура конечного автомата

Конечный автомат – это цифровое устройство (в общем случае, модель дискретного устройства), которое в каждый момент времени может находиться в одном из своих состояний, количество состояний конечно. Конечный автомат описывается следующими сущностями:

- конечное множество возможных состояний автомата;
- входной алфавит – множество возможных входных сигналов;
- выходной алфавит – множество возможных выходных сигналов;
- функция переходов – в каждый момент времени определяет следующее состояние автомата;
- функция выходов – в каждый момент времени определяет значения выходных сигналов.

С течением времени конечный автомат отслеживает значения входных сигналов, переходит из одного состояния в другое и генерирует определенную последовательность сигналов на своем выходе. Основное назначение конечных автоматов – выполнение определенных последовательностей операций: в сложных цифровых системах обычно необходимо выполнять ту или иную последовательность действий в зависимости от входных воздействий в текущий и предыдущие моменты времени и предыдущих состояний. С помощью конечных автоматов можно выполнять и более простые операции: например, обнаружение определенной последовательности символов на входе устройства.

По виду функции выходов конечные автоматы делятся на три типа: Мили, Мура и составные. В конечном автомате Мура выходные сигналы зависят только от текущего состояния, тогда как в конечном автомате Мили – от текущего состояния и входных сигналов. В общем случае конечный автомат может иметь выходы обоих типов: зависящие только от текущего состояния устройства и зависящие от текущего состояния и входных сигналов. Для любого автомата Мура существует эквивалентный ему автомат Мили и наоборот. Любой автомат Мура путём добавления ряда внутренних состояний может быть преобразован в автомат Мили.

Обобщенная структура синхронного конечного автомата представлена на рис. 1. Модуль выбора следующего состояния устройства и регистр хранения текущего состояния определяют порядок переключения автомата между внутренними состояниями (т.е. описывают связи между состояниями). Модули генерирования выходных сигналов отвечают за формирование сигналов на выходе автомата в зависимости от текущего состояния и (в случае выходов Мили) текущих входных сигналов.

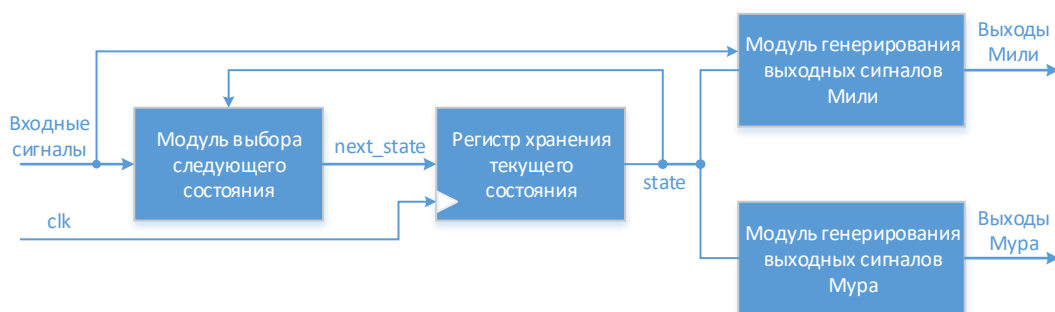


Рисунок 1. Обобщенная структура синхронного конечного автомата

Описание цифровых устройств в виде конечных автоматов может выполняться с помощью диаграммы состояний, таблиц переходов и состояний или алгоритмически.

Описание конечного автомата с помощью диаграммы состояний, таблиц переходов и выходов

Диаграмма состояний представляет из себя граф, узлами которого являются возможные состояния устройства. Узлы соединяются ветвями-переходами, для каждого перехода указываются причины перехода (определенная комбинация входных сигналов) и значения выходных сигналов.

На рис. 2 представлена структура сверточного кодера (7,5) и диаграмма состояний, описывающая его работу. Также приведены таблицы переходов и выходов. Около каждой ветви указаны значение входного сигнала, из-за которого произошел переход, и значения выходных сигналов, которые будут сгенерированы при этом переходе. Например, около ветви из состояния “00” в состояние “10” есть следующая подпись: 1/11. Она означает, что данный переход происходит из-за того, что на вход кодера пришла единица (информационная), при этом на выходе кодера будет сгенерировано две единицы (кодовые символы).

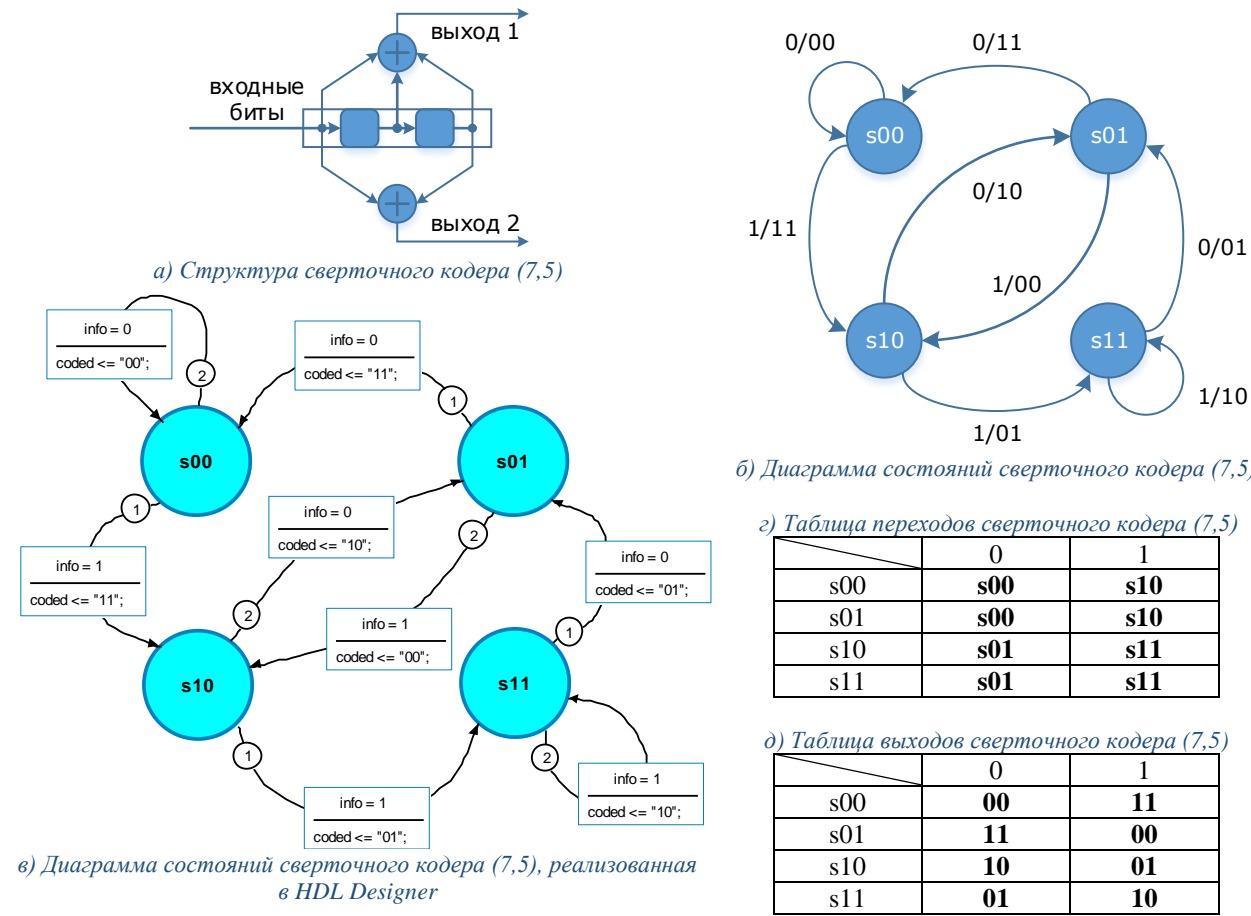


Рисунок 2. Структура (а), диаграмма состояний (б-в), таблица переходов (г) и таблица выходов (д) сверточного кодера (7,5)

На рис. 2 также приведена диаграмма состояний сверточного кодера (7,5), реализованная в среде HDL Designer. Цифрами в кружках на ветвях диаграммы показан приоритет переходов (т.е. какой из переходов будет в операторе if-elsif-else располагаться ближе к if).

При табличном описании конечного автомата (т.е., любого последовательностного устройства) задают таблицы переходов и состояний. В таблице переходов строки соответствуют текущим состояниям устройства, а столбцы – входным сигналам. Число строк равно числу состояний устройства. В каждой ячейке таблицы указывается состояние, в которое должно перейти устройство в следующий момент времени. В таблице выходов задается соответствие между

выходными сигналами и внутренними состояниями и (необязательно) входными сигналами. Обратим внимание, что рассмотренный пример конечного автомата, является автоматом Мили: значения кодовых символов на выходе кодера зависят не только от текущего состояния регистра сдвига, но и от значения входного бита.

Алгоритмическое описание конечного автомата

Описание конечных автоматов с большим числом состояний с помощью диаграммы состояний или таблиц выходов и переходов неудобно: теряются наглядность и простота представления цифрового устройства. В этих случаях используют алгоритмическое описание

При алгоритмическом описании¹ конечный автомат представляется графически в виде набора стандартных блоков и связей между ними. Для описания используют следующие стандартные блоки: состояние, (множественный) выбор и условный выход (рис. 3).

Блок состояния обозначается прямоугольником, имеет один вход и один выход, имя состояния размещается слева от блока. Внутри блока перечисляются безусловные выходные сигналы автомата (выходы Мура), соответствующие этому состоянию.

Блок условного ветвления обозначается ромбом, имеет один вход и два выхода. Внутри блока указываются логические выражения или входы автомата, которые подлежат проверке. Если результат проверки 1 (“истина”), то используется выход 1, а если 0 (“ложь”) – то выход 2.

Блок условных выходов обозначается овалом или прямоугольником со скругленными углами, имеет один вход и один выход. Внутри блока перечисляются условные выходные сигналы автомата (выходы Мили).

Необходимо различать входы и выходы типовых блоков алгоритмического конечного автомата и входы и выходы самого автомата. Выходы автомата формируются либо в блоках состояний, либо в блоках условных выходов.

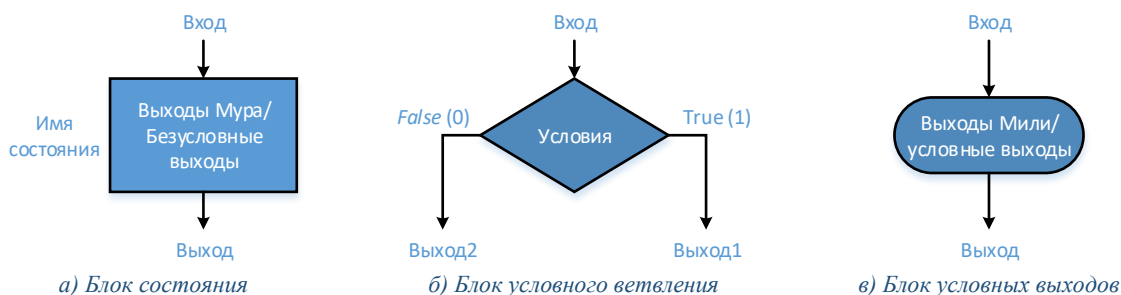


Рисунок 3. Блоки для алгоритмического описания конечных автоматов

Важно понимать, что алгоритмическое описание – это всего лишь один из способов описания автомата, а не какое-то специфическое устройство. Один и тот же автомат может быть описан с помощью диаграммы состояний, таблиц выходов и переходов или алгоритмической диаграммы. В качестве примера на рис. 4 показан пример описания части конечного автомата с помощью диаграммы состояний и алгоритмических блоков.

¹ Иногда говорят просто “алгоритмический конечный автомат” (algorithmic state machine, ASM).

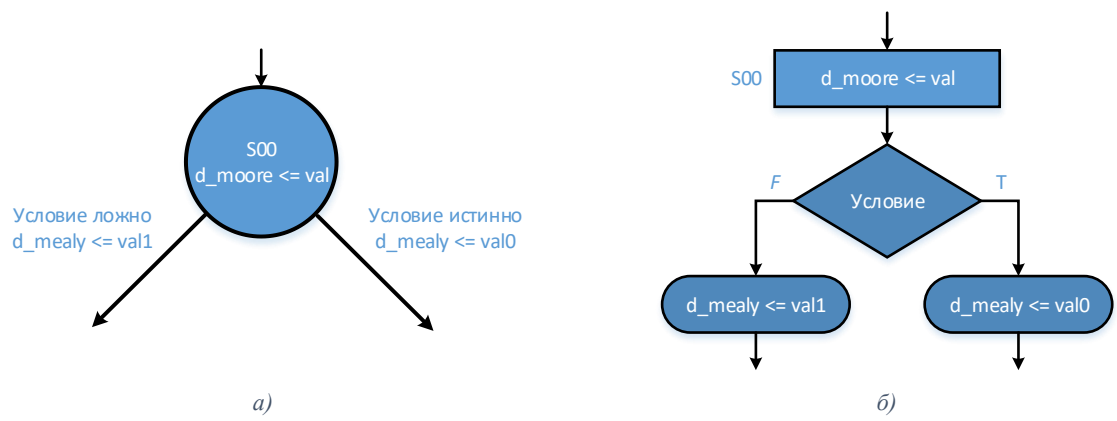


Рисунок 4. Описание конечного автомата с помощью диаграммы состояний а) и алгоритмическое б)