**1. Обобщённая схема цифрового автомата**

1.1. Способы описания цифровых автоматов

Отличительной особенностью последовательностных логических схем от комбинационных является наличие в их составе элементов памяти:

# Комбинационная

cхема

## ЭП

## ЭП

Х1

Х2

Хn

Z1

Z2

Zm

{Z}

{X}

{Y}

{e}

Y1

Yk

e1

ek

Z1

Zm

(1 рода, Мили)

(2 рода, Мура)

**…..**

**…..**

**…..**

**…..**

**…..**

В комбинационных логических схемах выходные сигналы **{Z}** определяются только комбинацией входных сигналов **{Х}.** Отличительной особенностью цифровых автоматов является наличие в их составе элементов памяти (ЭП). Каждый ЭП способен сохранять и выдавать длительное время двоичную информацию **Yi = 0** или **Yi = 1**.

Часто такие схемы называют цифровыми автоматами или просто автоматами.

**Совокупность состояний всех элементов памяти {Y} называется ВНУТРЕННИМ СОСТОЯНИЕМ АВТОМАТА.**

Состояния ЭП изменяются сигналами, формируемыми комбинационной частью логической схемы и воздействующими на входы ЭП **{e}**. Причём последующие состояния ЭП определяются их текущим состоянием **{Y}t** и поступившей комбинацией входных сигналов **{X}t**. В свою очередь, текущее состояние ЭП также определяется поступившей комбинацией входных сигналов и состоянием ЭП, которое было до поступления входных сигналов. Следовательно, внутреннее состояние автомата определяется целой последовательностью комбинаций входных сигналов.

Поэтому этот класс логических схем называется последовательностными. Значения выходных сигналов **{Z}** определяются с помощью комбинационной части схемы автомата по текущему внутреннему состоянию **{Y}** и входным сигналам **{Х}**.

Коротко всё это можно сформулировать так:

**Последовательностной логической схемой (или автоматом) называется дискретный преобразователь информации, способный под воздействием последовательности входных сигналов принимать различные внутренние состояния и выдавать выходные сигналы, соответствующие этой последовательности.**

**Входные и выходные сигналы, а также внутренние состояния автомата кодируются определённым набором символов (букв). Такой набор символов называется АЛФАВИТОМ.**

Для описания цифрового автомата существует 3 алфавита:

- входной алфавит: **Хn,** **... , Х2, Х1**;

- выходной алфавит: **Zm,** **... , Z2, Z1**;

- алфавит внутренних состояний: **Yk,** **... , Y2, Y1**.

**Конкретная комбинация символов алфавита, характеризующих внутреннее состояние или действующие на входах (выходах) сигналы называется СЛОВОМ.**

Пример входного слова: **Х5Х4Х3Х2Х1.**

В автоматах существует определённая логическая связь между входными и выходными словами и словами внутренних состояний.

**Логическая связь между входными словами, внутренними состояниями и выходными словами описывается с помощью системы булевых функций, которая называется АЛФАВИТНЫМ ОПЕРАТОРОМ.**

Полный набор алфавитных операторов определяет логику работы автомата.

**Автомат, у которого операторы определены не для всех слов, называется ЧАСТИЧНЫМ АВТОМАТОМ** (в теории комбинационных логических схем существует аналогичное понятие – недоопределённые булевы функции).

Существуют эквивалентные автоматы, которые работают одинаково, несмотря на возможные отличия в построении внутренних схем.

Всю временную последовательность работы автомата делят на такты. Границы между тактами определяются моментами изменения входного слова **{Х}** (в частности, входным сигналом синхронизации) или моментами изменения внутреннего состояния **{Y}**.

В зависимости от способа получения выходного слова различают автоматы 1 и 2 рода.

**В автомате 1 рода** (автомат МИЛИ) значения**{Z}t = f({Х}t,{Y}t)**, т.е. в нём выходное слово **{Z}t** в такте **t** определяется и состояниями ЭП в такте **t**: **{Y}t** и входным словом **{Х}t** в этом такте. Состояния ЭП в этом автомате изменяются **после** выдачи выходного слова (например, триггер ТТ структуры).

Иными словами, в автоматах 1 рода при воздействии входных сигналов **{Х}t** сначала вырабатываются выходные сигналы **{Z}t**, а затем ЭП устанавливаются в новые состояния **{Y}t+1**.

**В автомате 2 рода** входное слово воздействует на ЭП и только после установки в новое состояние ЭП в такте **t** выдаётся выходное слово.

**{Z}t = f({Х}t,{Y}t+1)**

Например, триггер Т-структуры.

**Автомат называется правильным, если выходные сигналы формируются только на основе внутренних состояний и не зависят явно от входных сигналов. Правильный автомат 2 рода иногда называют автоматом Мура.**

Для него: **{Z}t = f{Y}t+1** (на рисунке показано пунктиром).

Наиболее распространённые способы задания КА – табличный и графический (посредством графов).

1.2. Элементарные автоматы

**Элементарный автомат** (ЭА) – автомат типа Мура, имеющий два различимых состояния, один или несколько входов, при подаче сигналов на которые автомат способен переходить из одного состояния в другое.

ЭА, как и всякий КА, может быть описан таблицей переходов и выходов.

Обозначим Q(t) и Q(t+1) состояния ЭА в моменты времени t и (t+1). Тогда полная система переходов может быть представлена таблицей:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Q(t) | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Q(t+1) | 0 | 1 | 0 | 1 |

Всего четыре перехода. Если какой-либо из них отсутствует, то система становится неполной.

Для построения КА необходимо:

- иметь достаточное количество ЭА для запоминания всех состояний КА;

- формировать нужные сигналы возбуждения на входах ЭА для обеспечения требуемых переходов;

- формировать нужные выходные сигналы для обеспечения функций выхода.

Две последние функции могут быть реализованы на комбинационных схемах.

Структура КА

## Блок

## возбуждения

## элементарного

## автомата (БВЭА)

## Блок

## элементарного

## автомата (БЭА)

## Блок

## формирования

## выходных

## сигналов (БФВС)

X(t)

Y(t)

Наличие данных трёх блоков обеспечивает функциональную полноту.

Рассмотрим вначале одновходовые ЭА.

Полагая сигнал на входе ЭА и значение исходного состояния ЭА за аргументы, можно записать четыре функции (четыре – так как только в этих случаях реализуется полная система переходов).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| q(t) | Q(t) | Q1(t+1) | Q2(t+1) | Q3(t+1) | Q4(t+1) |
| 0  0  1  1 | 0  1  0  1 | 0  0  1  1 | 0  1  1  0 | 1  0  0  1 | 1  1  0  0 |

Первый автомат (Q1(t+1)) реализует задержку входного сигнала (q(t)) на один такт. Соответствующий ЭА именуется D-триггером.

Второй автомат (Q2(t+1)) – Т-триггер.

При построении конечных автоматов также может использоваться RS-триггер (двухвходовой автомат).

Таблица будет иметь следующий вид:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| q0(t) (R) | q1(t) (S) | Q(t) | Q(t+1) для RS для JK |
| 0  0  0  0  1  1  1  1 | 0  0  1  1  0  0  1  1 | 0  1  0  1  0  1  0  1 | 0 0 0  1 1 1  1 1 1  1 1 1  0 0 0  0 0 0  **–** 1 1  **–** 1 0 |

«**–**» – запрещённое состояние.

Если предположить, что две последние комбинации не являются запрещёнными, и при подаче q0(t) = q1(t) = 1 элементарный автомат меняет своё состояние на противоположное, то такой триггер – JK-триггер.

Каждому типу ЭА и каждому типу перехода в полной системе переходов соответствуют свои **обязательные значения функций возбуждения**:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Переходы  Q(t) → Q(t+1) | D | T | RS | | JK | |
| qD | qT | qR | qS | qJ | qK |
| 0 → 0  0 → 1  1 → 0  1 → 1 | 0  1  0  1 | 0  1  1  0 | **–**  0  1  0 | 0  1  0  **–** | 0  1  **–**  **–** | **–**  **–**  1  0 |

Выбор количества ЭА (триггеров) при построении заданного КА определяется формулой:

**n = ]log2N[**

где **N** – число состояний КА.

**]...[** означает ближайшее большее целое число.

**2. Графическое задание цифрового автомата**

Последовательные состояния автомата изображаются в виде диаграммы переходов – ориентированного графа.

Вершины графа (кружки) обозначают внутренние состояния автомата **{Y}**. Цифры в кружках обозначают номер внутреннего состояния.

Стрелками (рёбрами) обозначаются все возможные переходы. На рёбрах отмечаются: при каком входном слове **{Х}** совершается переход (в числителе) и какое выходное слово **{Z}** при этом выдаётся (в знаменателе).

(Например, в числителе – отсутствие (0) или наличие (1) входного сигнала).

Пример графического способа задания автомата

X1/Z1 Z2

0/0 0

0/0 1

1/0 0

1/0 1

1/1 1

1/1 0

0/1 0

0/1 1

Входной сигнал: **X** (один).

Выходной: **Z1,** **Z2** (два выхода).

Внутренние состояния: **4** (два ЭП).

Из приведённого графа следует:

1). а) При входном сигнале **X1 = 0** внутреннее состояние автомата не изменяется (ЭП не изм. своего сост. – стрелка замыкается на кружке).

б) При **X1 = 1** автомат переходит в последующее состояние.

2). а) При внутреннем состоянии **0**:

При входном сигнале **X1 = 0** автомат выдаст: **Z1 = 0, Z2 = 0**, но не перейдёт в другое внутреннее состояние (т.е. ЭП не изм. своего сост.)

При входном сигнале **X1 = 1** автомат также выдаст **Z1 = 0, Z2 = 0**, но перейдёт во внутреннее состояние **1**.

б) При внутреннем состоянии **1**:

При входном сигнале **X1 = 0** автомат выдаст: **Z1 = 0, Z2 = 1**, но не перейдёт в другое внутреннее состояние (т.е. ЭП не изм. своего сост.)

При входном сигнале **X1 = 1** автомат также выдаст **Z1 = 0, Z2 = 1**, но перейдёт во внутреннее состояние **2**. И так далее.

**3. Ознакомительный вариант для подготовки к контрольной работе №2**

Пусть задан автомат Мура следующими таблицами переходов и выхода:

Табл. 1 (переходов) Табл. 2 (выхода)

rt+1 = (at, rt) yt = (rt)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | rt | | | |  | rt | 0 | 1 | 2 | 3 | |
| at=(x2,x1)t | 0 | 1 | 2 | 3 |  | bt=(y2,y1)t | 00 | 01 | 10 | 11 | |
| 0 0 | 0 | 3 | 1 | 2 |  |  |  |  |  |  |
| 0 1 | H | H | H | H |  |  |  |  |  |  |
| 1 0 | H | 0 | 3 | 1 |  |  |  |  |  |  |
| 1 1 | 3 | 2 | 0 | 3 |  |  |  |  |  |  |

Выполнить структурный синтез конечного автомата:

1. Самостоятельно составить граф переходов.
2. Осуществить кодирование внутренних состояний автомата и составить таблицу возбуждения памяти автомата для заданного типа триггеров.
3. Осуществить минимизацию логических функций возбуждения триггеров с помощью карт Карно.
4. Составить принципиальную схему конечного автомата.

Для реализации памяти использовать JK-триггеры, синхронизируемые перепадом потенциала.

Решение:

1. Два выходных сигнала → использование двух JK-триггеров.

2. Граф переходов синтезируемого автомата (по табл. 1):

10

00

00

11

00

10

10

11

11

00

11

Рис. 1. Граф переходов синтезируемого автомата

Входной алфавит состоит из четырех абстрактных состояний входа, которые уже закодированы двумя входными сигналами x2 и x1. Выходной алфавит из четырех состояний выхода также закодирован двумя выходными сигналами y2 и y1.

3. Кодирование внутренних состояний автомата.

Табл. 3. Кодирование внутренних состояний автомата

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ri | 0 | 1 | 2 | 3 |
| (Q2, Q1) | (0, 0) | (0, 1) | (1, 0) | (1, 1) |

4. В исходной таблице переходов (табл. 1) состояния заменяются их кодами и получается **закодированная таблица переходов** синтезируемого КА:

(Q2,Q1)t+1 = ((Q2,Q1)t, (x2,x1)t).

Табл. 4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| (x2 x1)t | (Q2, Q1)t | | | |
| 0 0 | 0 1 | 1 0 | 1 1 |
| 0 0  0 1  1 0  1 1 | 0 0  Н  Н  1 1 | 1 1  Н  0 0  1 0 | 0 1  Н  1 1  0 0 | 1 0  Н  0 1  1 1 |

5. На основании закодированной таблицы переходов КА (табл. 4), функций управления JK-триггеров (табл. 5) и табл. 3 составляется таблица функций возбуждения памяти (табл. 6).

**Обязательные значения функций возбуждения**:

Табл. 5

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Переходы  Q(t) → Q(t+1) | D | T | RS | | JK | |
| qD | qT | qR | qS | qJ | qK |
| 0 → 0  0 → 1  1 → 0  1 → 1 | 0  1  0  1 | 0  1  1  0 | **–**  0  1  0 | 0  1  0  **–** | 0  1  **–**  **–** | **–**  **–**  1  0 |

Таблица функций возбуждения триггеров (Табл. 6)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| (x2,x1)t | (Q2,Q1)t | (Q2,Q1)t+1 | J2 | K2 | J1 | K1 | Коммент. |
| 00 | 00 | 10 | 1 | H | 0 | H | 0 сост. **→** 0 сост. |
| 00 | 01 | 10 | 1 | H | H | 1 | 1 сост. **→** 3 сост. |
| 00 | 10 | 10 | H | 0 | 0 | Н | 2 сост. **→** 1 сост. |
| 00 | 11 | 01 | Н | 1 | Н | 0 | 3 сост. **→** 2 сост. |
| 01 | 00 | 01 | 0 | Н | 1 | Н | 0 сост. **→** H |
| 01 | 01 | Н | Н | Н | Н | Н | 1 сост. **→** H |
| 01 | 10 | 01 | Н | 1 | 1 | Н | 2 сост. **→** Н |
| 01 | 11 | Н | Н | Н | Н | Н | 3 сост. **→** H |
| 10 | 00 |  |  |  |  |  | 0 сост. **→** Н |
| 10 | 01 | Н | Н | H | H | Н | 1 сост. **→** 0 сост. |
| 10 | 10 |  |  |  |  |  | 2 сост. **→** 3 сост. |
| 10 | 11 |  |  |  |  |  | 3 сост. **→** 1 сост. |
| 11 | 00 | 11 | 1 | Н | 1 | Н | 0 сост. **→** 3 сост. |
| 11 | 01 | 11 | 1 | Н | Н | 0 | 1 сост. **→** 2 сост. |
| 11 | 10 | Н | H | Н | Н | Н | 2 сост. **→** 0 сост. |
| 11 | 11 | 00 | Н | 1 | Н | 1 | 3 сост. **→** 3 сост. |

J1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| x2x1 | Q2Q1 | | | |
| 00 | 01 | 11 | 10 |
| 00 | 0 | Н | Н | 0 |
| 01 | 1 | Н | Н | 1 |
| 11 | 1 | Н | Н | Н |
| 10 | Н | Н | Н | Н |

K1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| x2x1 | Q2Q1 | | | |
| 00 | 01 | 11 | 10 |
| 00 | Н | 1 | Н | 0 |
| 01 | Н | Н | Н | Н |
| 11 | Н | 0 | 1 | Н |
| 10 | Н | Н | Н | Н |

J2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| x2x1 | Q2Q1 | | | |
| 00 | 01 | 11 | 10 |
| 00 | 1 | 1 | Н | Н |
| 01 | 0 | Н | Н | Н |
| 11 | 1 | 1 | Н | Н |
| 10 | Н | Н | Н | Н |

K2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| x2x1 | Q2Q1 | | | |
| 00 | 01 | 11 | 10 |
| 00 | Н | Н | 1 | 0 |
| 01 | Н | Н | Н | 1 |
| 11 | 1 | 1 | Н | Н |
| 10 | Н | Н | Н | Н |

|  |  |
| --- | --- |
| Q2Q1 | y2y1 |
| 00 | 10 |
| 01 | 10 |
| 11 | 01 |
| 10 | 01 |

В верхних четырёх строках табл. 6 отражено состояние обоих JK-триггеров при состоянии входных сигналов (x2,x1)t = 00 и всех четырёх возможных состояниях триггеров.

Поскольку первый переход, согласно табл. 1 и табл. 4, соответствует:

**0 состояние → 0 состояние**, то, согласно табл. 3, (Q2,Q1)t = 00,  
а (Q2,Q1)t+1 = 00.

Воспользовавшись табл. 5, можно определить (по переходам 0 → 0 и  
0 → 0), что в данном случае J2 = 0, K2 = Н; J1 = 0, K1 = Н.

Второй переход (при (x2,x1)t = 00), согласно табл. 1 и табл. 4, соответствует: **1 состояние → 3 состояние**, поэтому, согласно табл. 3, (Q2,Q1)t = 01,  
а (Q2,Q1)t+1 = 11. В этом случае J2 = 1, K2 = Н; J1 = Н, K1 = 0.

Третий переход (при (x2,x1)t = 00), согласно табл. 1 и табл. 4, соответствует: **2 состояние → 1 состояние**, поэтому, согласно табл. 3, (Q2,Q1)t = 10,  
а (Q2,Q1)t+1 = 01. В этом случае J2 = Н, K2 = 1; J1 = 1, K1 = Н.

Четвёртый переход (при (x2,x1)t = 00): **3 состояние → 2 состояние**, поэтому (Q2,Q1)t = 11, (Q2,Q1)t+1 = 10. В этом случае J2 = Н, K2 = 0; J1 = Н, K1 = 1.

В следующих четырёх строках табл. 6 отражено состояние обоих JK-триггеров при состоянии входных сигналов (x2,x1)t = 01 и всех четырёх возможных состояниях триггеров. Состояния JK-входов определяются аналогично. И так до конца таблицы.

6. Минимизация функций управления JK-триггеров.

Карты Карно заполняются по столбцам (x2,x1)t и (Q2,Q1)t.

Карта Карно для **J2**:

*Q*2

*Q*1

*X*1

*X*2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 0 | **1** | **Н** | **Н** |
| **Н** | **Н** | **Н** | **Н** |
| **1** | **1** | **Н** | **Н** |
| **Н** | 0 | **Н** | **Н** |

**

Карта Карно для **K2**:

*Q*2

*Q*1

*X*1

*X*2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Н** | **Н** | **1** | 0 |
| **Н** | **Н** | **Н** | **Н** |
| **Н** | **Н** | **1** | 0 |
| **Н** | **Н** | 0 | **1** |

**

Карта Карно для **J1**:

*Q*2

*Q*1

*X*1

*X*2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 0 | **Н** | **Н** | **1** |
| **Н** | **Н** | **Н** | **Н** |
| 1 | **Н** | **Н** | 0 |
| **Н** | **Н** | **Н** | **1** |

**

Карта Карно для **K1**:

*Q*2

*Q*1

*X*1

*X*2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Н** | **0** | **1** | **Н** |
| **Н** | **Н** | **Н** | **Н** |
| **Н** | **1** | **0** | **Н** |
| **Н** | **1** | **0** | **Н** |

**

7. Синтез схемы по минимизированным функциям.

**

**

**

**

Схема

X1

X2

*Т*1

*Q*1

*C*1

y1

*Т*2

*Q*2

*C*2

y2

ТИ

JK-триггер T-триггер

**

*J*1 *Q*1

*C*1

*K*1 **

**

*Т*1 *Q*1

*C*1 **