|  |  |
| --- | --- |
| Uni21b | МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  **ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ,**  **ФИЛИАЛ В Г.НИЖНЕВАРТОВСКЕ**  **КАФЕДРА «ИНФОРМАТИКА»** |



**Теория автоматов**

Методические указания

на курсовой проект для направлений

230100.62- Информатика и вычислительная техника,

231000.62 – Программная инженерия

Нижневартовск

2014

УДК

© Зверева Е.А.

Одобрено

редакционно-издательским советом филиала

(протокол № 2 от 16.10.2014)

Теория автоматов: методические задания и указания на курсовой проект для направления 230100.62- Информатика и вычислительная техника, 231000.62 – Программная инженерия / Е.А. Зверева – Нижневартовск, 2014. – 19 с.

Задания составлены в соответствии с ФГОС-3 по направлению обучения 230100.62- Информатика и вычислительная техника, 231000.62 – Программная инженерия и предназначены для формирования компетенций общекультурных и профессиональных компетенций по дисциплине «Теория автоматов»

Рецензент:

доцент кафедры Информатика, к.т.н., **Д.В. Топольский**

Утверждено на заседании кафедры

Протокол №2

«9» октября 2014 год

**ВВЕДЕНИЕ**

Тема курсового проекта «Структурные автоматы»

Цель работы – рассмотреть:

- основные понятия структурных автоматов;

- канонический метод структурного синтеза автоматов;

- теорему Глушкова о структурной полноте;

- основные этапы канонического метода структурного синтеза;

- обеспечение устойчивости функционирования цифровых автоматов;

- гонки в автоматах;

- методы устранения гонок в автоматах и др.

**1 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

1. Выполнить логическое проектирование частично определенного автомата по данным, приведенным в таблицах П1-П4 (Приложение). Для этого по соответствующему варианту:

1. составить таблицу поведения автомата и нарисовать граф;
2. найти минимальную систему булевых функций для возбуждения JK-триггеров, реализующих функции ψ;
3. определить минимальную булеву функцию для реализации функции ϕ;
4. составить логическую схему автомата, используя комбинационные автоматы и JK-триггеры.

Примечание: 1) X={x1, x2, x3, x4}, Y={0, 1}, Q={q1, q2, q3,…q12}.

**2 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

**Структурный синтез конечных автоматов**

Этап абстрактного синтеза автомата заключается получением таблиц переходов и выходов этого автомата. Целью же этапа структурного синтеза является построение схемы автомата по заданной таблице переходов и выходов. Поэтому этап структурного синтеза является логическим продолжением этого абстрактного синтеза.

Структурным синтезом занимается структурная теория автоматов. Основная цель этой теории – нахождение общих приемов построения сложных структурных схем автоматов из более простых автоматов, называемых элементарными автоматами. На практике в большинстве случаев применяют элементарные автоматы с двумя внутренними состояниями. В процессе синтеза элементарные автоматы соединяют между собой с помощью логических элементов.

Первая задача, решаемая при структурном синтезе, заключается в выборе системы элементов, из которых должны строится заданные автоматы. Для того, чтобы можно было построить схему любого конечного автомата, эта система элементов должна быть структурно полной. Теорема о структурной полноте формулируется следующим образом: Для того, чтобы система элементов была структурно полной необходимо и достаточно, чтобы она содержала какую-либо функционально полную систему логических элементов и хотя бы один элементарный автомат с двумя устойчивыми состояниями, обладающий полной системой переходов и выходов.

Полнота переходов в автомате означает, что для любой пары состояний ai и aj существует хотя бы один входной сигнал, который переводит автомат из состояния ai в состояние aj. В автомате, обладающем полной системой переходов, в каждом столбце таблицы переходов должны встречаться все состояния.

Полнота выходов автомата означает, что в каждом состоянии автомат выдает выходной сигнал, отличный от сигналов выдаваемых в других состояниях.

Требование полноты системы выходов связано с необходимостью различать внутренние состояния элементарных автоматов, т.к. в автомате, не обладающем полной системой выходов, различить состояния невозможно и, следовательно, невозможно обеспечить заданные условия функционирования схемы, построенной на его основе.

Если элементарный автомат не имеет полной системы переходов, то это значит, что отсутствует переход хотя бы одного вида. Поэтому, построить на основе такого элементарного автомата схему, в которой бы осуществлялись все возможные переходы из одного состояния в другое нельзя. Таким образом, для построения любого конечного автомата необходимо иметь элементарные автоматы, обладающие полной системой как переходов, так и выходов. Рассмотрим конкретные типы элементарных автоматов, имеющих полную систему переходов и выходов и нашедших применение в вычислительной технике.

**Минимизация**

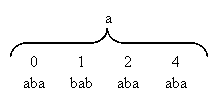
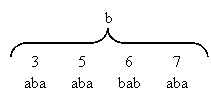
В некоторых случаях после получения отмеченной таблицы переходов автомата возможен  *этап минимизации.* Правда этот этап *не всегда приводит к уменьшению числа состояний* и часто является проверочным. Алгоритм этого этапа рассмотрим на примере.

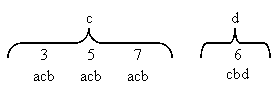
Пусть есть автомат, заданный следующей отмеченной таблицей переходов:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *yg* | *y*1 | *y*1 | *y*1 | *y*2 | *y*1 | *y*2 | *y*2 | *y*2 |
| *xj* /*ai* | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| *x*1 | 2 | 5 | 2 | 2 | 4 | 4 | 5 | 2 |
| *x*2 | 3 | 1 | 7 | 3 | 5 | 5 | 1 | 7 |
| *х*3 | 1 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 1 |

Алгоритм минимизации заключается в следующем:

1.     Все внутренние состояния разбиваются на группы по числу выходных сигналов. В нашем случае есть два выходных сигнала *y*1 и *y*2 и, следовательно, будет две группы, которые мы обозначим буквами *a* и*b*.

2.     По таблице переходов автомата определяют, к каким группам принадлежат внутренние состояния, в которые автомат переходит из данного состояния под воздействием каждой буквы входного алфавита. Эти состояния запишем в виде последовательности букв под каждым из состояний автомата. Например, из состояния 0 автомат переходит в состояния 2, 3 и 1, которые принадлежат соответственно к следующим группам *a*, *b* и *a*. Эта последовательность букв (*aba*) и записывается под состоянием 0:

3.     Проводят новое разделение внутренних состояний на группы, объединяя в каждой группе состояния, отмеченные одинаковой последовательностью букв. В нашем случае каждая из двух групп распадается на две группы, по числу различных последовательностей букв:

|  |
| --- |
|  |
|  | image019 |

4.     Пользуясь таблицей переходов автомата, вновь отмечают каждое состояние последовательностью букв. Разделение состояний на новые группы продолжают до тех пор, пока новые группы состояний появляться не будут. В нашем случае минимизация заканчивается на втором шаге, так как все состояния, входящие в группы *а* и *с*, отмечены одинаковыми последовательностями букв, а группа *b* и*d* содержат только по одному состоянию.

Все состояния, входящие в каждую из этих групп, можно заменить одним состоянием той же группы. Взяв в качестве представителей групп состояния 0, 1, 3 и 6 и обозначив их символами *a*0, *a*1, *a*2 и *a*3соответственно, получим следующую таблицу переходов с минимальным числом внутренних состояний.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *yg* | *y*1 | *y*1 | *y*2 | *y*2 |
| *xj /ai* | *a*0 | *a*1 | *a*2 | *a*3 |
| *x*1 | *a*0 | *a*2 | *a*0 | *a*2 |
| *x*2 | *a*2 | *a*1 | *a*2 | *a*1 |
| *x*3 | *a*1 | *a*3 | *a*1 | *a*3 |

 Для построения автомата Мили воспользуемся рассмотренным ранее алгоритмом, для чего в каждую клетку совмещенной таблицы переходов и выходов запишем значения выходного сигнала, которым отмечено, находящееся здесь состояние.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *xj /ai* | *a*0 | *a*1 | *a*2 | *a*3 |
| *x*1 | *a*0**/***y***1** | *a*2/*y*2 | *a*0/y1 | *a*2/*y*2 |
| *x*2 | *a*2/*y*2 | *a*1/*y*1 | *a*2/y2 | *a*1/*y*1 |
| *x*3 | *a*1/*y*1 | *a*3/*y*2 | *a*1/y1 | *a*3/*y*2 |

В полученной таблице колонки, помеченные состояниями *a*0 и *a*2, *a*1 и *a*3 идентичны, что позволяет при минимизации исключить состояния *a*2 и *a*3. В результате получаем таблицу переходов и выходов автомата Мили, имеющего два состояния *a*0и *a*1.

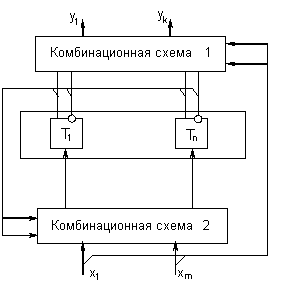
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *xj***/***ai* | *a*0 | *a*1 |
| *x*1 | *a*0/*y*1 | *a*0/*y*2 |
| *x*2 | *a*0/*y*2 | *a*1/*y*1 |
| *x*3 | *a*1/*y*1 | *a*1/*y*2 |

**Структурная схема конечного автомата**

В структурной теории автомат представляют в виде композиции двух частей: запоминающей части, состоящей из элементов памяти, и комбинационной части, состоящей из логических элементов. Комбинационная схема, строится из логических элементов, образующих функционально полную систему, а память – на элементарных автоматах, обладающих полной системой переходов и выходов.

Каждое состояние абстрактного автомата ai, i=0,n, кодируется в структурных автоматах набором состояний элементов памяти Q2, R=1,R. Поскольку в качестве элементов памяти используются обычные двоичные триггера, то каждое состояние можно закодировать двоичным числом ai=Q1Q2….Qr. Здесь Q – состояние автомата, а ai = {0, 1}/ Как и прежде Q

Общее число необходимых элементов памяти можно определить из следующего неравенства 2R > n + 1. Здесь (n+1) – число состояний. Логарифмируя неравенство получим R > ]log2 (n+1)[. Здесь ]с[ - означает, что необходимо взять ближайшее целое число, большее или равное C.



В отличии от абстрактного автомата, имеющего один входной и один выходной канала, на которые поступают сигналы во входном X={x1, x2,…..,xm} и выходном Y={y1,y2,….,yk} алфавитах, структурный автомат имеет L входных и N выходных каналов. Каждый входной xj и выходной yj сигналы абстрактного автомата могут быть закодированы двоичным набором состояний входных и выходных каналов структурного автомата.

Очевидно число каналов L и N можно определить по формулам

L ≥ ]log m[;

N ≥ ]log k[,

аналогичным формуле для определения a3 под действием сигнала xj с выдачей сигнала yg соответствует переход структурного автомата из состояния ai в состояние as под действием сигнала xj с выдачей сигнала yg соответствует переход структурного автомата из состояния () в состояние (), под действием входного сигнала () с выдачей выходного сигнала (). Для того, чтобы структурный автомата перешел из одного состояния в другое, необходимо изменить состояние элементов памяти Qr.



Изменение же состояния элементов памяти происходит под действием сигналов U=(U1,U2,…,Ur) поступающих на их входы. Эти сигналы формируются комбинационной схемой II и называются функций возбуждения элементов памяти (элементарных автоматов). На вход комбинационной схемы II, кроме входного сигнала xj, по цепи обратной связи поступают сигналы Q=(Q1, Q2, …, QR), называемые функцией обратной связи от памяти автомата к комбинационной схеме. Комбинационная схема I служит для формирования выходного сигнала yg, причем в случае автомата Мили на вход этой схемы поступает входной сигнал xj, а в случае автомата Мура – сигнал xj не поступает, т.к. yg не зависит от xj.

**Табличный метод структурного синтеза конечных автоматов**

Структурный синтез конечных автоматов заключается в выборе типов элементарных автоматов, в составлении возбуждения каждого элементарно автомата и функций кодированных выходов заданного автомата.

На этапе структурного синтеза выбираем также способ кодирования состояний и выходных сигналов заданного автомата через состояния и выходные сигналы элементарных автоматов, в результате чего составляют кодированные таблицы переходов и выходов.

Функции возбуждения элементарных автоматов и функции выходов получаются на основе кодированной таблицы переходов и выходов.

Рассмотрим примеры синтеза, которые позволяют сформулировать общий алгоритм структурного синтеза конечных автоматов.

Пусть необходимо синтезировать автомата Мили, заданный совмещенной таблицей переходов и выходов.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| xj\ai | a0 | a1 | a2 |
| x1 | a1/y1 | a1/y2 | a1/y2 |
| x2 | a2y3 | a2/y3 | a0/y1 |

В качестве элементарных автоматов будем использовать JK-триггера, а в качестве логических элементов – элементы И, ИЛИ, НЕ. Итак, имеем A={a0, a1, a2}; X={x1, x2}; Y={y1, y2, y3}. Здесь n=2, n+1=3; m=2, k=3.

1. Перейдем от абстрактного автомата к структурному, для чего определим количество элементов памяти R и число входных L и выходных N каналов.

R = ]log (n+1)[ = ] log 3[ = 2

L = ]log m[ = ] log 2[ = 1

R = ]log k[ = ] log 3[ = 2.

Таким образом, необходимо иметь два элементарных автомата Q1 и Q2 (т.к. R=2), один входной канал b1 и два выходных канала Z1 и Z2.

1. Закодируем состояния автомата, входные и выходные сигналы совокупностью двоичных сигналов.

Таблица кодирования состояний автомата.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Сост.элем.авт.  Сост.задан.абстрактн.авт. | Q1 | Q2 |
| a0 | 0 | 0 |
| a1 | 0 | 1 |
| a2 | 1 | 0 |

Таблица кодирования состояний автомата.

Таблица кодирования входных сигналов.

|  |  |
| --- | --- |
| Вх.сигн.структ.авт  Вх.сигн.задан.авт | b1 |
| X1 | 0 |
| X2 | 1 |

Таблица кодирования выходных сигналов.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вых.сигн.структ.авт  Вых.сигн.задан.авт | Z1 | Z2 |
| Y1 | 0 | 0 |
| Y2 | 0 | 1 |
| Y3 | 1 | 0 |

Поэтому автомат имеет три состояния, то комбинация состояний элементарных автоматов 11 не используется и является запрещенной (автомат в это состояние никогда не попадет). Здесь и в дальнейшем будем использовать естественное кодирование, когда наборы значений двоичных переменных расписываются в порядке возрастания их номеров. С учетом кодирования перерисуем совмещенную таблицу переходов и выходов абстрактного автомата.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Xj\ai | 00 | 01 | 10 |
| 0 | 01/00 | 01/01 | 01/01 |
| 1 | 10/10 | 10/10 | 00/00 |

В таблицах кодирования выходные каналы Z1 и Z2 называются физическими выходами автомата.

1. Пользуясь таблицами кодирования можно на основе заданных переходов и выходов построить кодированные таблицы переходов и выходов.

Кодированная таблица переходов определяет зависимость состояний Qi(t+1) элементарных автоматов в момент времени (t+1) от значения входного сигнала и внутренних состояний автоматов в предшествующий момент времени t. Т.е.

Qi(t+1) = fi[(Q1(t), Q2(t), …, Qr(t),

В кодированной таблице выходов – выходные сигналы Zl(t) определяются в зависимости от значения входных сигналов и внутренних состояний в момент времени t.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| b1(t) | Q1(t) | Q2(t) | Q1(t+1) | Q2(t+1) | Z1(t) | Z2(t) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | - | - | - | - |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | - | - | - | - |

Эти функции являются переключательными, поскольку значения функции и ее аргументов определены в один и тот же момент времени t.

1. Основная задача, решаемая в процессе структурного синтеза – построение синтеза функций возбуждения элементарных автоматов, которая определяет значения сигналов на входах элементарных автоматов, необходимые для обеспечения переходов автомата из одного состояния в другое. При построение этой таблицы используется матрица переходов выбранных элементарных автоматов, в нашем случае JK-триггеров. С помощью матрицы переходов заполняются столбцы таблицы функций возбуждения. В строках этой таблицы записываются значения Ji и Ki, обеспечивающие нужный переход.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| J | K | Q(t) | Q(t+1) |
| 0 | b1 | 0 | 0 |
| 1 | b2 | 0 | 1 |
| b3 | 1 | 1 | 0 |
| b4 | 0 | 1 | 1 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| τ1(t) | Q1(t) | Q2(t) | Q1(t+1) | Q2(t+1) | J1(t) | K1(t) | J2(t) | K2(t) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | b | 1 | b |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | b | b | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | b | 1 | 1 | b |
| 0 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | b | 0 | b |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | b | b | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | b | 1 | 0 | b |
| 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - |

Например, переход Q1(t) из 0 в 0 обеспечивается подачей на вход J сигнала 0, а значение сигнала на входе K – безразлично.

Таким образом, получим значения входных сигналов J и K элементарных автоматов, которые зависят как от значения входного сигнала так и от состояния автомата в тот же момент времени, что и Qi и B (т.е. в t).

Поскольку функции возбуждения J(t) и K(е) определенны в тот же момент времени, что и их аргументы Q1(t), Q2(t) и B1(t), то эти функции являются переключательными.

В результате мы получим систему переключательных функций Z1(t), Z2(t), J1(t), K1(t), J2(t) и K2(t) заданных в виде таблиц их истинности.

1. Следующий этап – комбинационный синтез конечных автоматов. На этом этапе по полученным переключательным функциям синтезируются комбинационные схемы. Очевидно, задача комбинационного синтеза конечных автоматов полностью совпадает с задачей синтеза логических схем, которую мы уже рассматривали. Обычно полученные переключательные функции минимизируют и представляют в булевом базисе, для каждой из которых построим диаграмму Вейча.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| J1 | 0 | 0 | b | B | J2 | 1 | B | B | 1 |
|  | 1 | 1 | b | b |  | 0 | b | b | 0 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Z1 | 0 | 0 | B | 0 |
|  | 1 | 1 | b | 0 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| K1 | B | B | B | 1 | K2 | B | 0 | B | B |
|  | B | B | b | 1 |  | b | 1 | b | B |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Z2 | 0 | 1 | B | 1 |
|  | 0 | 0 | b | 0 |

Обычно полученную систему ПФ минимизируют совместно. Однако совместная минимизация всех ПФ представляет собой достаточно трудоемкую и длительную операцию, применимую, в общем случае, при использовании машины. В результате минимизации мы получим следующую схему конечного автомата.

Функциональные схемы, получаемые в результате структурного синтеза, в дальнейшем на этапе инженерной доработки подвергаются изменениям. Эти изменения связаны с тем, что добавляются специальные цепи, необходимые для работы разработанной схемы в составе других схем ЦВМ. Например, в схеме регистра сдвига информации добавляется цепь «установка в 0». Другие изменения связаны с особенностью физического представления информации в ЦВМ, с особенностями логических элементов и с техническими особенностями логических элементов и с техническими особенностями конечных автоматов.

**СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

Учебно-методические материалы в печатном виде

*а) основная литература:*

1.\*Орлов, С.А. Теория и практика языков программирования: учебник для вузов. Стандарт третьего поколения / С.А.Орлов.- СПб.: Питер, 2014.-688 с.- ISBN 978-5-496-00032-1

2.Мальцев, И.А. Дискретная математика /И.А.Мальцев.- М.: Лань, 2011.- 304 с. - ISBN 978-5-8114-1010-1

3.Теоретические основы информатики: учебное пособие: /[В.Л.Матросов, В.А.Горелик, С.А.Жданов и др.].- М.: ИЦ «Академия», 2009.-352 с.- ISBN 978-5-7695-5324-0

*б) дополнительная литература:*

1.Карпов, Ю.Г. Теория автоматов: учебник для вузов / www/piter-press.ru

2. Асанов, М.О. Дискретная математика: графы, матроиды, алгоритмы / М.О. Асанов, В.А. Баранский, В.В. Расин.- 2-е изд., испр. и доп.- СПб.: Лань, 2010.- 308с.- ISBN 978-5-8114-1068-2.

*в) методические пособия для самостоятельной работы студента, для преподавателя:*

1. СТО ЮУрГУ 21-2008 Курсовые и выпускные квалификационные работы. Общие требования к построению, содержанию и оформлению.

*г) Периодические издания*

1.Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика.Механика.Физика»

2.Программирование

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

**Таблицы с индивидуальным заданием**

Таблица П1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вари анты | Текущее состояние при xвх=x1. | | | | | | | | | | | |
| q1 | q2 | q3 | q4 | q5 | q6 | q7 | q8 | q9 | q10 | q11 | q12 |
| 1 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;0 | q6;\* | q7;\* | q8;\* | q9;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* |
| 2 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 |
| 3 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | \*;\* | q7;\* | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 |
| 4 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q10;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 |
| 5 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | \*;0 | q2;0 | \*;0 | q1;0 |
| 6 | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | \*;0 | q2;0 | \*;0 | q4;0 | q5;\* |
| 7 | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* |
| 8 | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | \*;0 | q5;\* | \*;\* | q7;\* |
| 9 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 |
| 10 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 |
| 11 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 |
| 12 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 |
| 13 | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q3;\* | q2;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* |
| 14 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 |
| 15 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 |
| 16 | q2;0 | q3;\* | q4;\* | q5;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 |
| 17 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q4;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 |
| 18 | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* |
| 19 | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* |
| 20 | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | \*;\* | q11;\* |
| 21 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 |
| 22 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 |
| 23 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 |
| 24 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 |
| 25 | q9;1 | q10;1 | q11;1 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* |
| 26 | q10;1 | q11;1 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\*; | q9;1 |

Таблица П2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вари-анты | Текущее состояние при xвх=x2. | | | | | | | | | | | |
| q1 | q2 | q3 | q4 | q5 | q6 | q7 | q8 | q9 | q10 | q11 | q12 |
| 1 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 |
| 2 | q4;0 | q4;\* | q6;\* | q6;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 |
| 3 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 |
| 4 | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q12;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* |
| 5 | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q9;0 | q10;0 | \*;0 | q4;0 | \*;\* | q6;\* |
| 6 | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q9;0 | \*;0 | q3;0 | \*;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* |
| 7 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 |
| 8 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 |
| 9 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 |
| 10 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 |
| 11 | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* |
| 12 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 |
| 13 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q4;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 |
| 14 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q3;0 | q7;0 |
| 15 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 |
| 16 | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* |
| 17 | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q3;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* |
| 18 | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* |
| 19 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 |
| 20 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | \*;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 |
| 21 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 |
| 22 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 |
| 23 | q9;1 | q10;1 | q11;1 | q5;1 | q1;\* | q3;\* | q8;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* |
| 24 | q10;1 | q11;1 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\*; | q9;1 |
| 25 | q11;1 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* | q9;1 | q10;1 |
| 26 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* | q9;1 | q10;1 | q11;1 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Таблица П3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вари  анты | Текущее состояние при xвх=x3. | | | | | | | | | | | |
| q1 | q2 | q3 | q4 | q5 | q6 | q7 | q8 | q9 | q10 | q11 | q12 |
| 1 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | \*;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 |
| 2 | q6;\* | q6;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | \*;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* |
| 3 | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q10;0 | q11;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* |
| 4 | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | \*;0 | q2;0 | q11;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* |
| 5 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q11;0 | q4;0 | \*;\* | q6;\* | \*;\* | q8;1 |
| 6 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | \*;0 | q2;0 | \*;0 | q4;0 | q12;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 |
| 7 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 |
| 8 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 |
| 9 | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* |
| 10 | \*;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 |
| 11 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 |
| 12 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 |
| 13 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | \*;0 | \*;0 | q7;0 | q8;0 |
| 14 | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q4;0 | q6;0 | q7;0 | q3;0 | q2;\* |
| 15 | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* |
| 16 | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q1;0 | q1;\* | q1;\* | q1;\* |
| 17 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q1;1 |
| 18 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 |
| 19 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 |
| 20 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 |
| 21 | q9;1 | q10;1 | q11;1 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* |
| 22 | q10;1 | q11;1 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\*; | q9;1 |
| 23 | q11;1 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q6;\* | q7;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* | q9;1 | q10;1 |
| 24 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* | q9;1 | q10;1 | q11;1 |
| 25 | q1;\* | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* | q9;1 | q10;1 | q11;1 | q12;1 |
| 26 | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* | q9;1 | q10;1 | q11;1 | q12;1 | q1;\* |

Таблица П4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вари-  анты | Текущее состояние при xвх=x4. | | | | | | | | | | | |
| q1 | q2 | q3 | q4 | q5 | q6 | q7 | q8 | q9 | q10 | q11 | q12 |
| 1 | q7;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q10;0 | \*;0 | \*;0 | q4;0 | q5;\* | q1;\* |
| 2 | q8;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | \*;0 | q3;0 | \*;0 | q5;\* | q5;\* | q7;\* |
| 3 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | \*;0 | q12;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 |
| 4 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q1;0 | \*;0 | \*;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | q8;1 | \*;1 |
| 5 | \*;1 | \*;\* | q12;0 | q2;0 | q3;0 | q4;0 | q5;\* | q6;\* | \*;\* | q8;1 | \*;1 | \*;1 |
| 6 | \*;\* | q1;0 | q2;0 | q3;0 | \*;0 | q5;\* | q6;\* | q7;\* | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 |
| 7 | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* |
| 8 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 |
| 9 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 |
| 10 | \*;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 |
| 11 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 |
| 12 | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* |
| 13 | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | \*;0 | q7;0 | \*;0 | q9;\* | q1;\* |
| 14 | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q4;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* |
| 15 | \*;1 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | q8;0 | q4;0 | q2;0 | q4;\* | q3;\* | q2;\* | q1;1 |
| 16 | \*;1 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | \*;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 |
| 17 | \*;1 | \*;\* | q5;0 | \*;0 | \*;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q2;1 | \*;1 | \*;1 |
| 18 | \*;\* | q5;0 | q6;0 | q7;0 | q8;0 | q9;\* | q10;\* | q11;\* | q12;1 | \*;1 | \*;1 | \*;1 |
| 19 | q9;1 | q10;1 | q11;1 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* |
| 20 | q10;1 | q11;1 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\*; | q9;1 |
| 21 | q11;1 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* | q9;1 | q10;1 |
| 22 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* | q1;1 | q1;1 | q1;1 |
| 23 | q2;\* | q3;\* | q4;\* | q5;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* | q1;1 | q1;1 | q1;1 | q1;1 |
| 24 | q2;\* | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* | q9;1 | q10;1 | q11;1 | q12;1 | q1;\* |
| 25 | q3;\* | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* | q9;1 | q10;1 | q11;1 | q12;1 | q1;\* | q2;\* |
| 26 | q4;0 | \*;0 | \*;0 | \*;0 | \*;\* | q9;1 | q10;1 | q11;1 | q12;1 | q1;\* | q2;\* | q3;\* |