МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

“ЛЭТИ” им. В.И. Ульянова (Ленина)»

(СПбГЭТУ “ЛЭТИ”)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ОТКРЫТЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра вычислительной техники**

**ТЕОРИЯ АВТОМАТОВ**

**Пояснительная записка к курсовому проекту на тему:**

**«Синтез конечного автомата»**

**Вариант №11**

**Выполнил студент гр.4891:** Положенский А. А.

**Преподаватель:** Дудкин В.С.

Выполнено “\_\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Санкт-Петербург

2017

**Содержание**

[1. Задание на курсовую работу 3](#_Toc484393249)

[2. Абстрактный синтез автомата 4](#_Toc484393250)

[2.1. Граф автомата Мура 4](#_Toc484393251)

[2.2. Проверка автомата Мура 4](#_Toc484393252)

[2.3. Переход к автомату Мили 5](#_Toc484393253)

[2.4. Учет взаимодействия управляющего и операционного автоматов 8](#_Toc484393254)

[2.5. Минимизация частичного автомата Мили 9](#_Toc484393255)

[2.6. Проверка минимального автомата Мили 11](#_Toc484393256)

[3. Структурный синтез автомата 13](#_Toc484393257)

[3.1. Произвольное кодирование состояний автомата 13](#_Toc484393258)

[3.1.1. Кодированная таблица переходов и выходов (ТПВ) 13](#_Toc484393259)

[3.1.2. Таблица функций возбуждения и выходов 15](#_Toc484393260)

[3.1.3. Совместная минимизация функций возбуждения и выходов 15](#_Toc484393261)

[3.1.4. Проверка результата минимизации 20](#_Toc484393262)

[3.1.5. Оценка сложности комбинационной схемы для I варианта кодирования 20](#_Toc484393263)

[3.2. Кодирование состояний автомата, направленное на упрощение КС 22](#_Toc484393264)

[3.2.1. Кодированная таблица переходов и выходов 22](#_Toc484393265)

[3.2.2. Таблица функций возбуждения и выходов 24](#_Toc484393266)

[3.2.3. Совместная минимизация функций возбуждения и выходов 24](#_Toc484393267)

[3.2.4. Проверка результата минимизации 29](#_Toc484393268)

[3.2.5. Проверка сложности комбинационной схемы для 2 варианта кодирования 29](#_Toc484393269)

[3.3. Выбор варианта системы булевых функций для реализации 30](#_Toc484393270)

[3.4. Синтез синхронизируемого двухступенчатого триггера 30](#_Toc484393271)

[3.5. Функциональная схема и временная диаграмма двухступенчатого триггера 33](#_Toc484393272)

1. Задание на курсовую работу

Пусть функционирование управляющего автомата задано графической схемой алгоритма (ГСА) микропрограммы, представленной на рис.1.



Рисунок 1 – Графическая схема алгоритма микропрограммы

Влияние микроопераций на значения логических условий задано в табл.1.1.

Таблица 1.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  | Z | Z | Z |
|  | Z |  | Z |
|  |  |  | Z |
|  | Z |  |  |
|  | 1 | Z | 0 |

Тип элемента памяти и ограничения на систему логических элементов сведены в табл.1.2.

Таблица 1.2

|  |  |
| --- | --- |
| Элемент памяти | D-триггер |
| Логические элементы | «И–НЕ» (элемент Шеффера) |
| Число входов | 3 |
| Максимальная нагрузка | 4 |
| Ограничение на ПЗУ | Входов , выходов |
| Ограничение на ПЛМ | Входов , выходов , число шин |

1. Абстрактный синтез автомата
   1. Граф автомата Мура

Граф полностью определенного автомата Мура, реализующего исходную ГСА, представлен на рис 2.1



Рисунок 2.1 – Граф автомата Мура

* 1. Проверка автомата Мура

Таблица переходов и выходов построенного автомата Мура представлена в табл.2.1.

Таблица 2.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | | | | | | | |
| 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 | 1 | 0 | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 | 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 | 0 | 0 | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 | 1 | 0 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 | 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 | 1 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 | 0 | 0 | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

* 1. Переход к автомату Мили

В результате переноса для каждого состояния выходных сигналов, которыми отмечены эти состояния, на входящие дуги получается граф Мили, представленный на рис.2.2. Таблица переходов и выходов приведена в табл.2.2.



Рисунок 2.2 – Граф автомата Мили

Таблица 2.2 – Таблица переходов и выходов автомата Мили

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Минимизируем данный автомат Мили с помощью т.н. треугольной матрицы (рис.2.3).



Рисунок 2.3 – Треугольная матрица

По пустым клеткам в данной матрице видно какие состояния эквивалентны друг другу. В рассматриваемом автомате Мили эквивалентны состояния , для них выполняются оба условия эквивалентности. После объединения этих эквивалентных состояний получается граф автомата Мили, изображенный на рис.2.4.



Рисунок 2.4 – Упрощенный граф автомата Мили

Этому графу соответствует таблица переходов и выходов полностью определенного автомата Мили (табл.2.3).

Таблица 2.3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

* 1. Учет взаимодействия управляющего и операционного автоматов

Из задания известно, что перед началом работы автомата на его входы подается набор значений логических условий , т.е. .

Из табл.1.1 следует, что после выполнения микроопераций значения логических условий меняются следующим образом:

Схема просмотренных путей в графе автомата Мили приведена на рис.2.5.



Рисунок 2.5 – Просмотр путей в графе автомата Мили

Окончательно сформированные множества входных наборов компактно представляются следующими троичными векторами:

Исключая в исходной таблице полностью определенного автомата Мили переходы по отсутствующим входным наборам, получаем таблицу частичного автомата Мили. (табл.2.4).

Таблица 2.4 – Таблица частичного автомата Мили

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

* 1. Минимизация частичного автомата Мили

Полученная таблица переходов и выходов частичного автомата определяет структурный автомат с абстрактными состояниями. Он отличается от абстрактного тем, что у него уже закодированы символы входного и выходного алфавитов. Произвольно декодируя входной и выходной алфавиты (табл.2.5, 2.6), была получена таблица переходов и выходов абстрактного автомата (табл.2.7).

Таблица 2.5 – Кодировка входного алфавита

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 0 | 0 | 0 |  |
| 0 | 0 | 1 |  |
| 0 | 1 | 1 |  |
| 0 | 1 | 0 |  |
| 1 | 1 | 0 |  |
| 1 | 1 | 1 |  |
| 1 | 0 | 1 |  |
| 1 | 0 | 0 |  |

Таблица 2.6 – Кодировка выходного алфавита

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|
| 1 | 0 | 0 | 0 |  |
| 0 | 1 | 0 | 1 |  |
| 0 | 0 | 1 | 0 |  |
| 0 | 0 | 0 | 1 |  |
| 0 | 1 | 0 | 0 |  |
| 0 | 0 | 1 | 0 |  |
| 0 | 1 | 1 | 0 |  |
| 0 | 0 | 0 | 1 |  |

Таблица 2.7 – Таблица переходов и выходов абстрактного автомата

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Построим треугольную матрицу состояний (рис.2.4)



Рисунок 2.5 – Треугольная матрица

По матрице видно, что совместимых состояний нет, т.к. для каждой из пар состояний не выполняется первое условие совместимости.

* 1. Проверка минимального автомата Мили

Для данного автомата требуется две входные последовательности, которые приведены в табл.2.8, вместе с соответствующими выходными последовательностями. Подавая входную тестовую последовательность на входы структурного автомата, заданного табл.2.8, определяем выходную последовательность. Результат прокрутки полученного структурного автомата приведен в табл.2.9. Сравнивая ее с тестовой выходной последовательностью (табл.2.8), убеждаемся в правильности результата абстрактного этапа синтеза.

Таблица 2.8

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |  | | | |
|  | | | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 |  | | | |
|  | | | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |  | | | |
|  | | | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |
|  | | | 1 | 0 | 0 | 0 |

Таблица 2.8 (Продолжение)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0 | 0 | 1 |  | | | |
|  | | | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |  | | | |
|  | | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |  | | | |
|  | | | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |  | | | |
|  | | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |  | | | |
|  | | | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 |  | | | |
|  | | | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |  | | | |
|  | | | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |  | | | |
|  | | | 1 | 0 | 0 | 0 |

Таблица 2.9

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  | 1 1 0 |  | 0 1 0 1 |
|  | 1 0 0 |  | 0 0 1 0 |
|  | 0 0 0 |  | 0 0 0 1 |
|  | 0 1 0 |  | 1 0 0 0 |
|  | 0 0 1 |  | 0 0 0 1 |
|  | 1 1 1 |  | 1 0 0 0 |
|  | 1 0 0 |  | 0 0 1 0 |
|  | 0 0 0 |  | 1 0 0 0 |
|  | 0 0 0 |  | 0 1 0 0 |
|  | 0 0 1 |  | 0 1 1 0 |
|  | 1 0 1 |  | 0 0 0 1 |
|  | 1 1 1 |  | 1 0 0 0 |

1. Структурный синтез автомата
   1. Произвольное кодирование состояний автомата
      1. Кодированная таблица переходов и выходов (ТПВ)

Функционирование триггера типа D описывается диаграммой переходов, представленной на рис.3.1.

|  |  |
| --- | --- |
| → | D |
| 0 → 0 | 0 |
| 0 → 1 | 1 |
| 1 → 0 | 0 |
| 1 → 1 | 1 |
| Рисунок 3.1 | |

В рассматриваемом автомате для кодирования 6 состояний потребуется код минимальной длины 3. Иначе говоря, для построения памяти автомата потребуются, как минимум, три триггера. Назначим произвольным образом коды состояний (табл.3.1).

Таблица 3.1 – Коды состояний автомата

|  |  |
| --- | --- |
| Состояния | Коды |
|  |
|  | 0 0 0 |
|  | 0 0 1 |
|  | 0 1 1 |
|  | 0 1 0 |
|  | 1 1 0 |
|  | 1 1 1 |

После определения числа элементов памяти структурная схема автомата приобретает вид, указанный на рис.3.2.



Рисунок 3.2 – Структурная схема автомата

Кодированная ТПВ (табл.3.2) построена на основании табл.2.4 и табл.3.1.

Таблица 3.2 – Кодированная ТПВ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 001 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 011 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 010 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 110 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 111 |  |  |  |  |  |  |  |  |

* + 1. Таблица функций возбуждения и выходов

Таблица функций возбуждения и выходов (табл.3.3) строится на основании кодированной ТПВ (табл.3.2) и диаграммы переходов D-триггера (рис.3.1).

Таблица 3.3 – Таблица функций возбуждения и выходов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 001 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 011 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 010 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 110 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 111 |  |  |  |  |  |  |  |  |

Так как D – триггер всегда повторяет сигнал на входе, таблицы 3.2 и 3.3 выглядят одинаково.

* + 1. Совместная минимизация функций возбуждения и выходов

Минимизацию удобно проводить с помощью карт Карно (табл.3.4 – 3.10), построенных на основании таблицы функций возбуждения и выходов (табл.3.3). Под каждой картой Карно указана соответствующая ей ДНФ.

Таблица 3.4 – Карта Карно входа

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 001 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | – | – |
| 010 | 1 | 1 | 1 | – | – | 0 | 0 | 0 |
| 110 | 0 | 0 | – | – | – | – | 0 | 0 |
| 111 | 0 | 0 | – | – | – | – | 0 | 0 |
| 101 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Таблица 3.5 – Карта Карно входа

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 001 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | – | – |
| 010 | 1 | 1 | 1 | – | – | 1 | 1 | 1 |
| 110 | 1 | 0 | – | – | – | – | 0 | 1 |
| 111 | 1 | 1 | – | – | – | – | 1 | 1 |
| 101 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Таблица 3.6 – Карта Карно входа

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | – | – |
| 010 | 1 | 1 | 1 | – | – | 1 | 1 | 0 |
| 110 | 1 | 1 | – | – | – | – | 1 | 1 |
| 111 | 0 | 1 | – | – | – | – | 1 | 0 |
| 101 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Таблица 3.7 – Карта Карно выхода

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 011 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | – | – |
| 010 | 0 | 0 | 0 | – | – | 0 | 0 | 0 |
| 110 | 0 | 0 | – | – | – | – | 0 | 0 |
| 111 | 0 | 0 | – | – | – | – | 0 | 0 |
| 101 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Таблица 3.8 – Карта Карно выхода

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | – | – |
| 010 | 1 | 1 | 1 | – | – | 0 | 0 | 1 |
| 110 | 0 | 1 | – | – | – | – | 1 | 0 |
| 111 | 1 | 0 | – | – | – | – | 0 | 1 |
| 101 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Таблица 3.9 – Карта Карно выхода

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 001 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | – | – |
| 010 | 1 | 1 | 1 | – | – | 0 | 0 | 0 |
| 110 | 0 | 0 | – | – | – | – | 0 | 0 |
| 111 | 0 | 0 | – | – | – | – | 0 | 0 |
| 101 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Таблица 3.10 – Карта Карно выхода

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | – | – |
| 010 | 0 | 0 | 0 | – | – | 1 | 1 | 0 |
| 110 | 1 | 1 | – | – | – | – | 1 | 1 |
| 111 | 0 | 1 | – | – | – | – | 1 | 0 |
| 101 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Для наглядности все карты Карно с указанными покрытиями представлены на рис.3.3.



Рисунок 3.3 – Карты Карно

Результат совместной минимизации функций возбуждения и выходов сводится в обобщенную таблицу системы булевых функций (табл.3.11).

Таблица 3.11 – Обобщенная таблица системы булевых функций

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ранг |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | 1 Z 1 Z Z Z |  | 1 |  |  |  |  |  |
| 2 | 1 Z Z Z Z 1 |  |  | 1 |  |  |  | 1 |
| 2 | 1 Z 0 Z Z Z |  |  | 1 |  |  |  | 1 |
| 2 | 1 Z Z Z Z 0 |  | 1 |  |  |  |  |  |
| 2 | Z 0 1 Z Z Z | 1 | 1 |  |  |  | 1 |  |
| 2 | Z 0 Z Z 0 Z |  | 1 |  |  |  |  |  |
| 2 | Z Z 0 Z 1 Z |  |  | 1 |  |  |  |  |
| 2 | Z Z 0 Z Z 1 |  |  | 1 |  |  |  |  |
| 3 | 1 Z 1 Z Z 0 |  |  |  |  | 1 |  |  |
| 3 | 1 Z 0 Z Z 1 |  |  |  |  | 1 |  |  |
| 3 | Z 1 0 0 Z Z |  |  | 1 |  |  |  |  |
| 3 | 0 1 1 Z Z Z |  |  |  | 1 |  |  |  |
| 3 | 0 1 0 Z Z Z |  | 1 |  |  |  |  |  |
| 3 | Z 0 Z 1 0 Z |  |  |  |  |  | 1 |  |
| 3 | Z 0 0 1 Z Z |  |  | 1 |  |  |  |  |
| 3 | Z 0 0 Z 1 Z |  |  |  |  | 1 |  | 1 |
| 3 | Z Z 0 1 1 Z |  |  |  |  |  |  | 1 |
| 4 | Z 1 0 1 Z 1 |  |  |  |  |  |  | 1 |
| 4 | Z 1 0 0 Z 1 |  |  |  |  | 1 |  |  |
| 4 | 0 1 0 0 Z Z | 1 |  |  |  |  | 1 |  |
| 4 | 0 1 0 Z Z 0 |  |  |  |  | 1 |  |  |
| 4 | Z 0 0 0 Z 1 |  |  |  |  |  |  | 1 |
| 4 | Z 0 0 0 Z 0 |  |  |  |  | 1 |  |  |

* + 1. Проверка результата минимизации

Проверка результатов совместной минимизации функций возбуждения и выходов для произвольного кодирования состояний иллюстрируется табл.3.12.

Таблица 3.12

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| , |  |  | , |  |
| 0 0 0, | 1 1 0 | 0 0 1 | 0 0 1, | 0 1 0 1 |
| 0 0 1, | 1 0 0 | 1 1 0 | 1 1 0, | 0 0 1 0 |
| 1 1 0, | 0 0 0 | 0 1 1 | 0 1 1, | 0 0 0 1 |
| 0 1 1, | 0 1 0 | 0 0 0 | 0 0 0, | 1 0 0 0 |
| 0 0 0, | 0 0 1 | 0 1 1 | 0 1 1, | 0 0 0 1 |
| 0 1 1, | 1 1 1 | 0 0 0 | 0 0 0, | 1 0 0 0 |
| 0 0 0, | 1 0 0 | 0 1 1 | 0 1 1, | 0 0 1 0 |
| 0 1 1, | 0 0 0 | 0 0 0 | 0 0 0, | 1 0 0 0 |
| 0 0 0, | 0 0 0 | 0 1 0 | 0 1 0, | 0 1 0 0 |
| 0 1 0, | 0 0 1 | 1 1 1 | 1 1 1, | 0 1 1 0 |
| 1 1 1, | 1 0 1 | 0 1 1 | 0 1 1, | 0 0 0 1 |
| 0 1 1, | 1 1 1 | 0 0 0 | 0 0 0, | 1 0 0 0 |

Проверку выполняем на тестовых последовательностях (табл.2.9) автомата Мили, обрабатывая их в соответствии с табл.3.11. Например, из исходного состояния , при входном наборе согласно табл.3.11 получим и , т.е. в момент (t + 1) триггер изменит состояние на 001 и будет выдана команда на микрооперации и . Поэтому в момент (t + 1) будем иметь , обозначенное согласно табл.3.1 как , и измененный микрооперациями и набор .

Сравнивая состояния и микрооперации в табл.3.12 с состояниями и микрооперациями в табл.2.9, видим, что в обеих таблицах они совпадают друг с другом. Следовательно, минимизация выполнена верно.

* + 1. Оценка сложности комбинационной схемы для I варианта кодирования

Приближенная оценка может быть проведена по обобщенной таблице системы булевых функций (табл.3.11). На данном этапе синтеза автомата согласно рекомендациям, оценим сложность системы булевых функций общим числом входов логических элементов в двухъярусной комбинационной схеме, построенной в базисе И, ИЛИ при отсутствии ограничений на число входов логических элементов.

Число входов элементов 1 яруса комбинационной схемы равно сумме рангов простых импликант, превышающих единицу. Число входов элементов первого яруса составляет 67.

Число входов элементов второго яруса равно сумме единиц в столбцах таблицы, содержащих более одной единицы. Число входов элементов 2 яруса составляет 28.

Таким образом, приближенная оценка сложности, не учитывающая ограничение на число входов, равна 67 + 28 = 95.

Для точной оценки сложности комбинационной схемы переведем полученную минимальную систему булевых функций в заданный универсальный базис с учетом ограничений на число входов логических элементов (n = 3).

В результате преобразований с учетом выделения общих частей и ограничений на число входов ЛЭ получается следующая система булевых функций:

Точная оценка сложности в этом случае равна 92.

* 1. Кодирование состояний автомата, направленное на упрощение КС
     1. Кодированная таблица переходов и выходов

Кодирование состояний автомата, направленное на упрощение комбинационной схемы выполним способом, использующим понятие «соседства» состояний. Для выявления пар состояний, являющихся соседями I и II рода используем инверсную таблицу переходов (табл.3.2.1).

Таблица 3.2.1 – Инверсная таблица переходов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | | | |  |
| 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
|  |  |  |  |  |  | – | – |  |
| – |  |  |  |  |  |  | – |  |
|  |  | – | – | – |  |  |  |  |
|  | – | – | – | – | – | – |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | – | – | – | – | – |  |

Соседи I рода:

Соседи II рода:

В первую очередь соседними кодами кодируются соседи I рода, но для них кодов не хватает, поэтому в первую очередь будем кодировать состояния, которые являются соседями II рода. Назначение кодов приведено на рис.3.2.1.

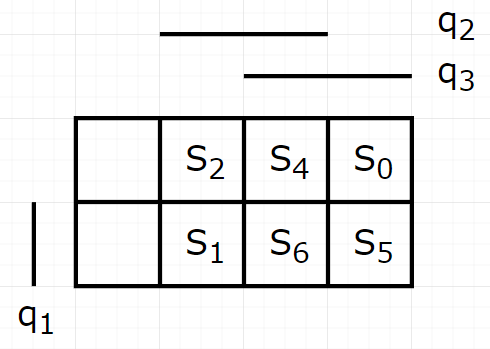


Рисунок 3.2.1 – Назначение кодов состояниям

Соответствующая таблица кодировки (табл.3.2.2).

Таблица 3.2.2 – Коды состояний автомата

|  |  |
| --- | --- |
| Состояния | Коды |
|  |
|  | 0 0 1 |
|  | 1 1 0 |
|  | 0 1 0 |
|  | 0 1 1 |
|  | 1 0 1 |
|  | 1 1 1 |

Кодированная ТПВ (табл.3.2.3) построена на основании табл.2.4 и табл.3.2.2

Таблица 3.2.3 – Кодированная ТПВ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 001 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 011 |  |  |  | – | – |  |  |  |
| 010 |  |  |  |  |  |  | – | – |
| 110 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 111 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 101 |  |  |  |  |  |  |  |  |

* + 1. Таблица функций возбуждения и выходов

Таблица функций возбуждения и выходов (табл.3.2.4) строится на основании кодированной ТПВ (табл.3.2.3) и диаграммы переходов D-триггера (рис.3.1).

Таблица 3.2.4 – Таблица функций возбуждения и выходов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 001 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 011 |  |  |  | – | – |  |  |  |
| 010 |  |  |  |  |  |  | – | – |
| 110 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 111 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 101 |  |  |  |  |  |  |  |  |

Так как D – триггер всегда повторяет сигнал на входе, таблицы 3.2.3 и 3.2.4 выглядят одинаково.

* + 1. Совместная минимизация функций возбуждения и выходов

Минимизацию удобно проводить с помощью карт Карно (табл.3.2.5 – 3.10), построенных на основании таблицы функций возбуждения и выходов (табл.3.2.4). Под каждой картой Карно указана соответствующая ей ДНФ.

Таблица 3.2.5 – Карта Карно входа

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 001 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 011 | 1 | 1 | 1 | – | – | 0 | 0 | 0 |
| 010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | – | – |
| 110 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 111 | 0 | 0 | – | – | – | – | 0 | 0 |
| 101 | 0 | 1 | – | – | – | – | 1 | 0 |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Таблица 3.2.6 – Карта Карно входа

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 001 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 011 | 1 | 1 | 1 | – | – | 1 | 1 | 1 |
| 010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | – | – |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 111 | 1 | 1 | – | – | – | – | 1 | 1 |
| 101 | 1 | 1 | – | – | – | – | 1 | 1 |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Таблица 3.2.7 – Карта Карно входа

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 001 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 011 | 1 | 1 | 1 | – | – | 0 | 0 | 1 |
| 010 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | – | – |
| 110 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 111 | 1 | 0 | – | – | – | – | 0 | 1 |
| 101 | 0 | 0 | – | – | – | – | 0 | 0 |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Таблица 3.2.8 – Карта Карно выхода

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 011 | 0 | 0 | 0 | – | – | 0 | 0 | 0 |
| 010 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | – | – |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 111 | 0 | 0 | – | – | – | – | 0 | 0 |
| 101 | 0 | 0 | – | – | – | – | 0 | 0 |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Таблица 3.2.9 – Карта Карно выхода

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 001 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 011 | 1 | 1 | 1 | – | – | 0 | 0 | 1 |
| 010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | – | – |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 111 | 1 | 0 | – | – | – | – | 0 | 1 |
| 101 | 0 | 1 | – | – | – | – | 1 | 0 |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Таблица 3.2.10 – Карта Карно выхода

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 011 | 1 | 1 | 1 | – | – | 0 | 0 | 0 |
| 010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | – | – |
| 110 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 111 | 0 | 0 | – | – | – | – | 0 | 0 |
| 101 | 0 | 0 | – | – | – | – | 0 | 0 |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Таблица 3.2.11 – Карта Карно выхода

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | | |
| q1q2q3 | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
| 000 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 001 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 011 | 0 | 0 | 0 | – | – | 1 | 1 | 0 |
| 010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | – | – |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 111 | 0 | 1 | – | – | – | – | 1 | 0 |
| 101 | 1 | 1 | – | – | – | – | 1 | 1 |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Для наглядности все карты Карно с указанными покрытиями представлены на рис.3.2.2

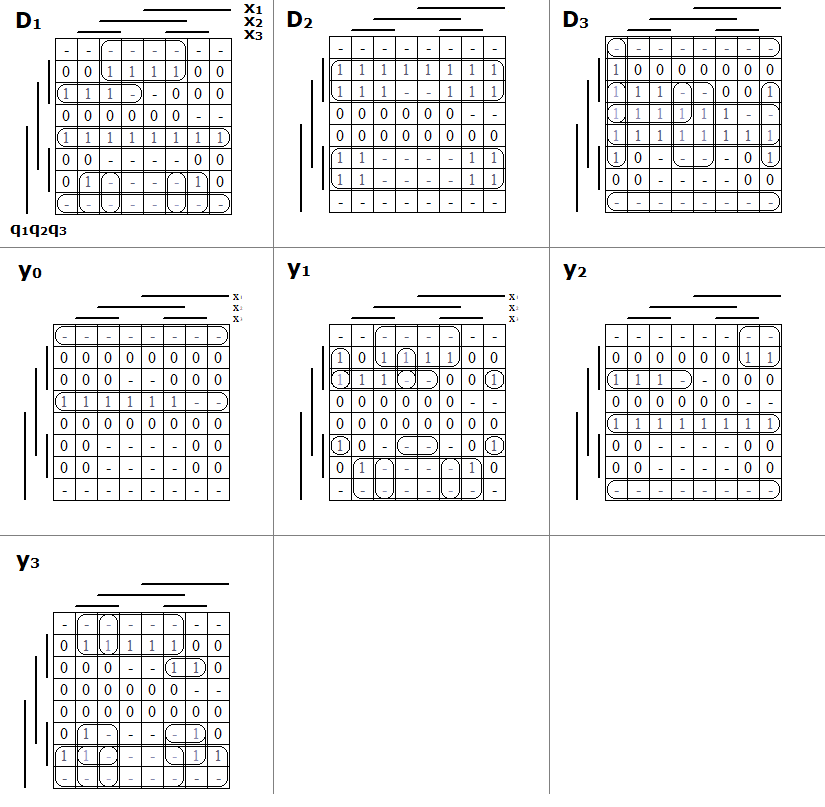


Рисунок 3.2.2 – Карты Карно

Результат совместной минимизации функций возбуждения и выходов сводится в обобщенную таблицу системы булевых функций (табл.3.2.12).

Таблица 3.2.12 – Обобщенная таблица системы булевых функций

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Ранг** | **45** | **4** | **0** | **4** | **0** | **5** | **3** | **5** |
| 0 | Z Z 1 Z Z Z |  | 1 |  |  |  |  |  |
| 0 | Z Z 0 Z Z Z |  |  | 1 |  |  |  |  |
| 2 | 1 0 Z Z Z Z |  |  |  |  |  |  | 1 |
| 2 | 1 Z 0 Z Z Z | 1 |  |  |  |  | 1 |  |
| 2 | Z 1 Z Z Z 0 |  |  | 1 |  |  |  |  |
| 2 | 0 Z 0 Z Z Z |  |  |  | 1 |  |  |  |
| 2 | Z 0 Z Z 1 Z | 1 |  |  |  | 1 |  | 1 |
| 3 | 1 Z 1 Z Z 1 |  |  |  |  |  |  | 1 |
| 3 | 1 0 Z Z Z 1 | 1 |  |  |  | 1 |  |  |
| 3 | Z 1 1 Z Z 0 |  |  |  |  | 1 |  |  |
| 3 | 0 1 Z 0 Z Z |  |  | 1 |  |  |  |  |
| 3 | Z 0 Z 0 Z 1 |  |  |  |  |  |  | 1 |
| 4 | Z 1 1 1 Z 1 |  |  |  |  |  |  | 1 |
| 4 | 0 1 1 0 Z Z | 1 |  |  |  | 1 | 1 |  |
| 4 | 0 Z 1 0 Z 0 |  |  |  |  | 1 |  |  |
| 4 | 0 0 Z 1 0 Z |  |  |  |  |  | 1 |  |
| 4 | 0 Z Z 0 0 0 |  |  | 1 |  |  |  |  |

* + 1. Проверка результата минимизации

Проверка результатов совместной минимизации функций возбуждения и выходов для второго варианта кодирования состояний иллюстрируется табл.3.2.13.

Таблица 3.2.13

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| , |  |  | , |  |
| 0 0 1, | 1 1 0 | 1 1 0 | 1 1 0, | 0 1 0 1 |
| 1 1 0, | 1 0 0 | 1 0 1 | 1 0 1, | 0 0 1 0 |
| 1 0 1, | 0 0 0 | 0 1 0 | 0 1 0, | 0 0 0 1 |
| 0 1 0, | 0 1 0 | 0 0 1 | 0 0 1, | 1 0 0 0 |
| 0 0 1, | 0 0 1 | 0 1 0 | 0 1 0, | 0 0 0 1 |
| 0 1 0, | 1 1 1 | 0 0 1 | 0 0 1, | 1 0 0 0 |
| 0 0 1, | 1 0 0 | 0 1 0 | 0 1 0, | 0 0 1 0 |
| 0 1 0, | 0 0 0 | 0 0 1 | 0 0 1, | 1 0 0 0 |
| 0 0 1, | 0 0 0 | 0 1 1 | 0 1 1, | 0 1 0 0 |
| 0 1 1, | 0 0 1 | 1 1 1 | 1 1 1, | 0 1 1 0 |
| 1 1 1, | 1 0 1 | 0 1 0 | 0 1 0, | 0 0 0 1 |
| 0 1 0, | 1 1 1 | 0 0 1 | 0 0 1, | 1 0 0 0 |

Проверку выполняем на тестовых последовательностях (табл.2.9) автомата Мили, обрабатывая их в соответствии с табл.3.2.12.

Сравнивая состояния и микрооперации в табл.3.2.13 с состояниями и микрооперациями в табл.2.9, видим, что в обеих таблицах они совпадают друг с другом. Следовательно, минимизация выполнена верно.

* + 1. Проверка сложности комбинационной схемы для 2 варианта кодирования

Приближенная оценка сложности комбинационной схемы для 2 варианта кодирования равна: . Точную оценку сложности для данного варианта проводить не требуется, так как вторая схема имеет гораздо меньшую сложность, чем первый вариант схемы.

* 1. Выбор варианта системы булевых функций для реализации

Выбор варианта системы булевых функций производится сравнением оценок сложности комбинационной схемы.

Сложность комбинационных схем для двух вариантов кодирования:

I вариант: 92

II вариант: 66

Выбираем II вариант комбинационной схемы.

* 1. Синтез синхронизируемого двухступенчатого триггера

Устойчивая работа автомата может быть обеспечена за счет использования двухступенчатых триггеров. Входная ступень служит для запоминания нового состояния триггера, в то время, когда выходная ступень, определяющая выходные сигналы триггера, сохраняет старое состояние. Это позволяет задержать момент изменения выходного сигнала триггера до тех пор, пока во входной ступени не будет сформировано новое состояние. Величина задержки определяется длительностью сигнала синхронизации C.

Рассматривая двухступенчатый триггер типа D как автомат Мура без выходного преобразователя, его функционирование можно задать графом переходов на рис.3.4.1.

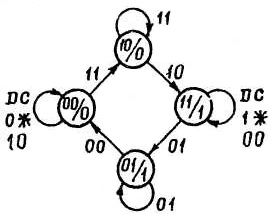


Рисунок 3.4.1 – Модель двухступенчатого D – триггера

Состояния автомата определяются переменными и , соответствующими состояниям входной и выходной ступеням триггера. Состояния с кодами и являются основными. Переход в состояние 00 вызывает изменение выходного сигнала из 1 в 0, переход в состояние 11 – из 0 в 1, т.е. выходной сигнал автомата совпадает со значением переменной . Эффект задержки обеспечивается дополнительными состояниями с кодами 10 и 01. Переход автомата из основных состояний в дополнительные определяется входными сигналами при C = 1, из дополнительных в основные – при С = 0.

При синтезе этого автомата в качестве элементов памяти используем асинхронный RS – триггер с дополнительным установочным входом. Схема из элементов И-НЕ, условное обозначение и временная диаграмма асинхронного RS – триггера приведены на рис.3.4.2.

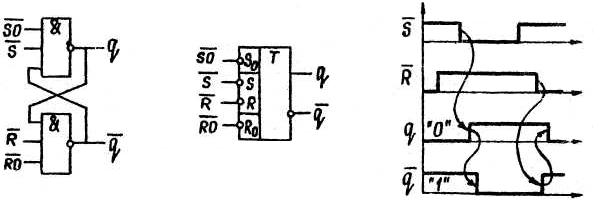


Рисунок 3.4.2 – Асинхронный RS – триггер

Дополнительные установочные входы и используются только перед началом работы автомата для приведения его в начальное состояние.

Синтез двухступенчатого триггера произведем по аналогии с синтезом автомата в целом.

Составим кодированную таблицу переходов синхронного двухступенчатого D–триггера (табл.3.4.1).

Таблица 3.4.1 – Кодированная таблица переходов двухступенчатого D-триггера

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | |
|  | 0 0 | 0 1 | 1 1 | 1 0 |
| 0 0 |  |  |  |  |
| 0 1 |  |  | – | – |
| 1 1 |  |  |  |  |
| 1 0 | – | – |  |  |

Определим функции возбуждения элементов памяти, используя диаграмму переходов RS-триггера (рис.3.4.4).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 0 → 0 | \* 0 |
| 0 → 1 | 0 1 |
| 1 → 0 | 1 0 |
| 1 → 1 | 0 \* |
| Рисунок 3.4.4 | |

Таблица 3.4.2 – Таблица функций возбуждения

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | |
| 00 | 01 | 11 | 10 |
| 00 |  |  |  |  |
| 01 |  |  | – | – |
| 11 |  |  |  |  |
| 10 | – | – |  |  |

Значение в ячейке соответствует набору функций возбуждения .

Выполним минимизацию системы функций возбуждения с помощью карт Карно (рис.3.4.5), построенных на основании таблицы функций возбуждения (табл.3.4.2).

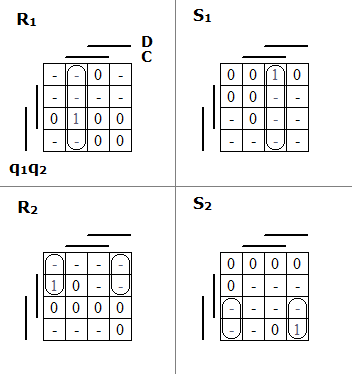


Рисунок 3.4.5 – Карты Карно

Получаем следующую систему функций возбуждения:

Так как базовый триггер имеет инверсные входы, то при переходе в базис И-НЕ необходимо реализовать инверсные функции возбуждения:

* 1. Функциональная схема и временная диаграмма двухступенчатого триггера

Функциональная схема синтезированного двухступенчатого триггера приведены на рис.3.5.1.

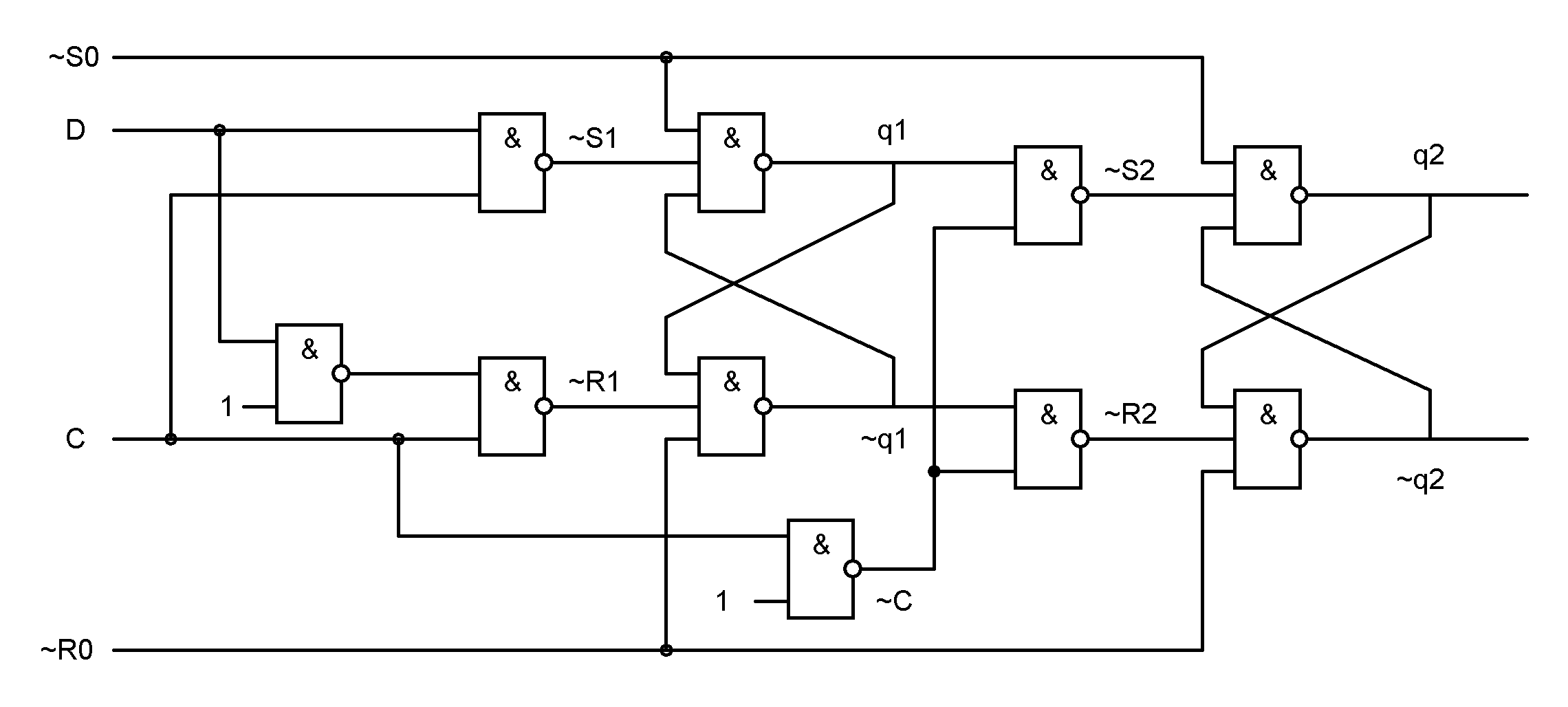


Рисунок 3.5.1 – Функциональная схема двухступенчатого триггера

Временная диаграмма работы двухступенчатого D-триггера представлена на рис.3.5.2.

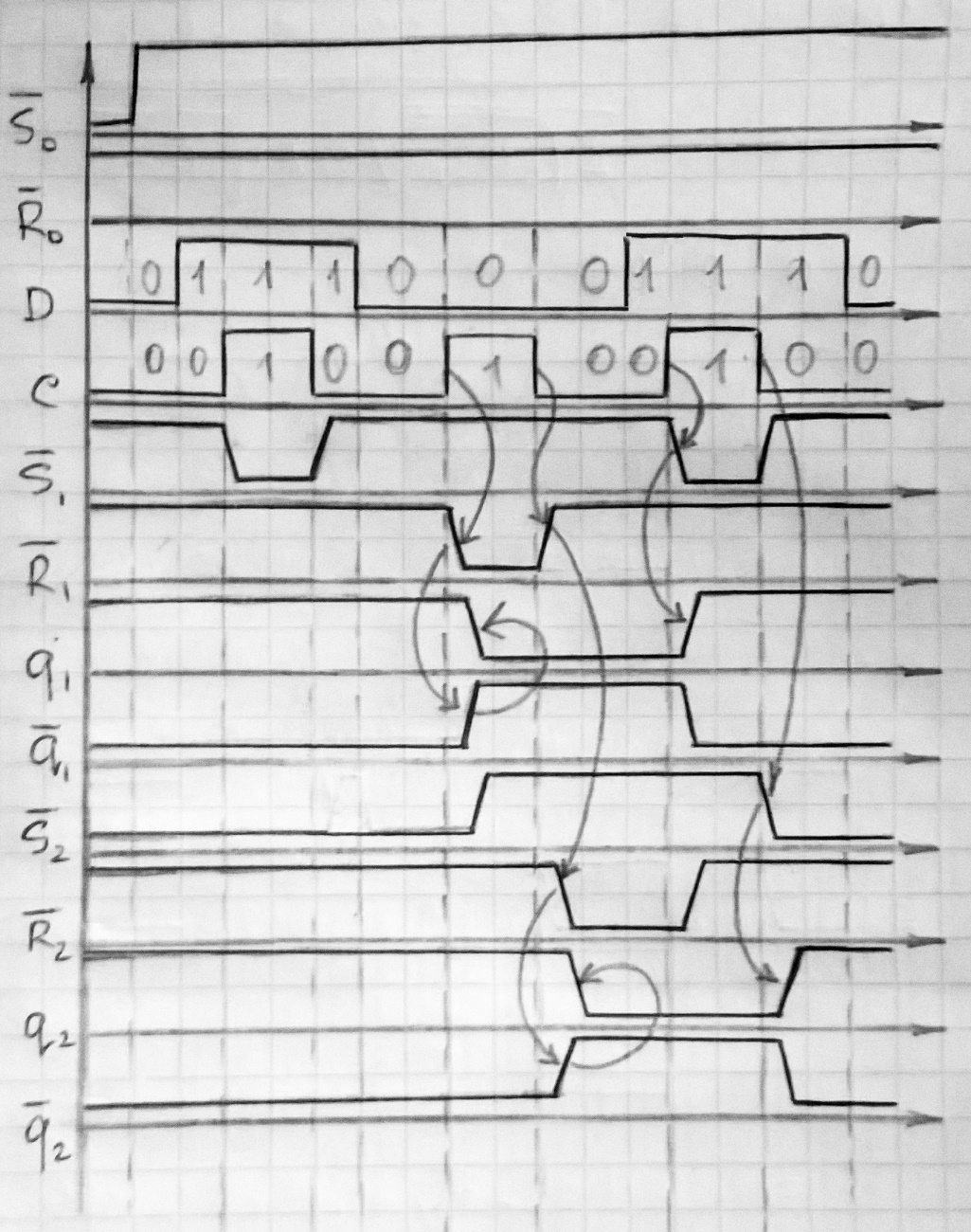


Рисунок 3.5.2 – Временная диаграмма работы двухступенчатого D-триггера

Сравнив значения на временной диаграмме с соответствующими значениями на графе двухступенчатого синхронного D-триггера, убеждаемся в правильности построения функциональной схемы триггера.

* 1. Функциональная схема автомата

При построении функциональной схемы автомата учтем, что количество входов у логических элементов И-НЕ должно быть три. Перейдем в заданный базис 3-И-НЕ.

Для перехода к данному базису выполним операцию двойного отрицания над ДНФ функций возбуждения и ДНФ выходов и применим законы алгебры логики для того, чтобы каждый элемент И-НЕ содержал 3 входа.

Полученные функции требуют реализации элементов 4И-НЕ и 5И-НЕ, эта реализация показана на рис.3.6.1. Каждый элемент требует для своей реализации пяти элементов 3И-НЕ. Задержка сигнала на этих элементах составляет 3τ, где τ – задержка сигнала элементом 3И-НЕ.

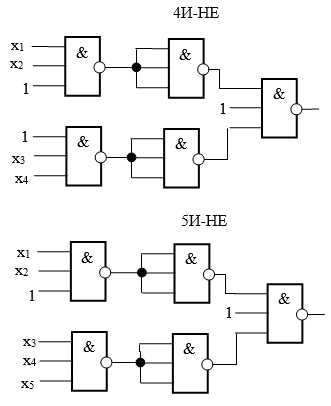


Рисунок 3.6.1 – Элементы 4И-НЕ и 5И-НЕ на базе элемента 3И-НЕ

Реализация ДНФ функций возбуждения и ДНФ выходов представлена на рис.3.6.2 – рис.3.6.8.

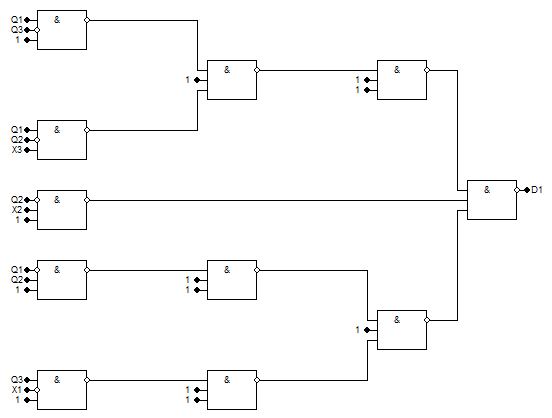


Рисунок 3.6.2 – Функция возбуждения

Функциональная схема автомата строится с использованием условного обозначения двухступенчатого триггера (рис.3.6.2).

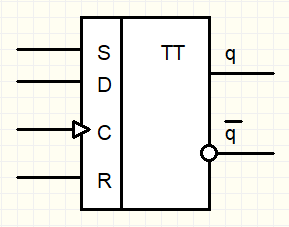


Рисунок 3.6.2 – Условное обозначение двухступенчатого D-триггера