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](#_Toc484578928)

[2. Абстрактный синтез автомата 4](#_Toc484578929)

[2.1. Граф автомата Мура 4](#_Toc484578930)

[2.2. Проверка автомата Мура 4](#_Toc484578931)

[2.3. Переход к автомату Мили 5](#_Toc484578932)

[2.4. Учет взаимодействия управляющего и операционного автоматов 8](#_Toc484578933)

[2.5. Минимизация частичного автомата Мили 9](#_Toc484578934)

[2.6. Проверка минимального автомата Мили 11](#_Toc484578935)

[3. Структурный синтез автомата 13](#_Toc484578936)

[3.1. Произвольное кодирование состояний автомата 13](#_Toc484578937)

[3.1.1. Кодированная таблица переходов и выходов (ТПВ) 13](#_Toc484578938)

[3.1.2. Таблица функций возбуждения и выходов 15](#_Toc484578939)

[3.1.3. Совместная минимизация функций возбуждения и выходов 15](#_Toc484578940)

[3.1.4. Проверка результата минимизации 20](#_Toc484578941)

[3.1.5. Оценка сложности комбинационной схемы для I варианта кодирования 20](#_Toc484578942)

[3.2. Кодирование состояний автомата, направленное на упрощение КС 22](#_Toc484578943)

[3.2.1. Кодированная таблица переходов и выходов 22](#_Toc484578944)

[3.2.2. Таблица функций возбуждения и выходов 24](#_Toc484578945)

[3.2.3. Совместная минимизация функций возбуждения и выходов 24](#_Toc484578946)

[3.2.4. Проверка результата минимизации 29](#_Toc484578947)

[3.2.5. Проверка сложности комбинационной схемы для 2 варианта кодирования 29](#_Toc484578948)

[3.3. Выбор варианта системы булевых функций для реализации 30](#_Toc484578949)

[3.4. Синтез синхронизируемого двухступенчатого триггера 30](#_Toc484578950)

[3.5. Функциональная схема и временная диаграмма двухступенчатого триггера 33](#_Toc484578951)

[3.6. Функциональная схема автомата 35](#_Toc484578952)

[3.7. Расчет параметров сигнала синхронизации 42](#_Toc484578953)

[3.8. Временная диаграмма автомата 43](#_Toc484578954)

[3.9. Функциональные схемы автоматов на ПЛМ и ПЗУ 45](#_Toc484578955)

[3.9.1. Реализация схемы автомата на ПЗУ 45](#_Toc484578956)

[3.9.2. Реализация схемы автомата на ПЛМ 48](#_Toc484578957)

[3.10. Сравнительная оценка вариантов реализации автомата 50](#_Toc484578958)

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.

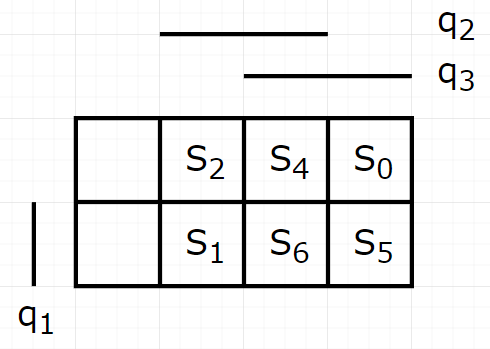


Рисунок 3.2.1 – Назначение кодов состояниям

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

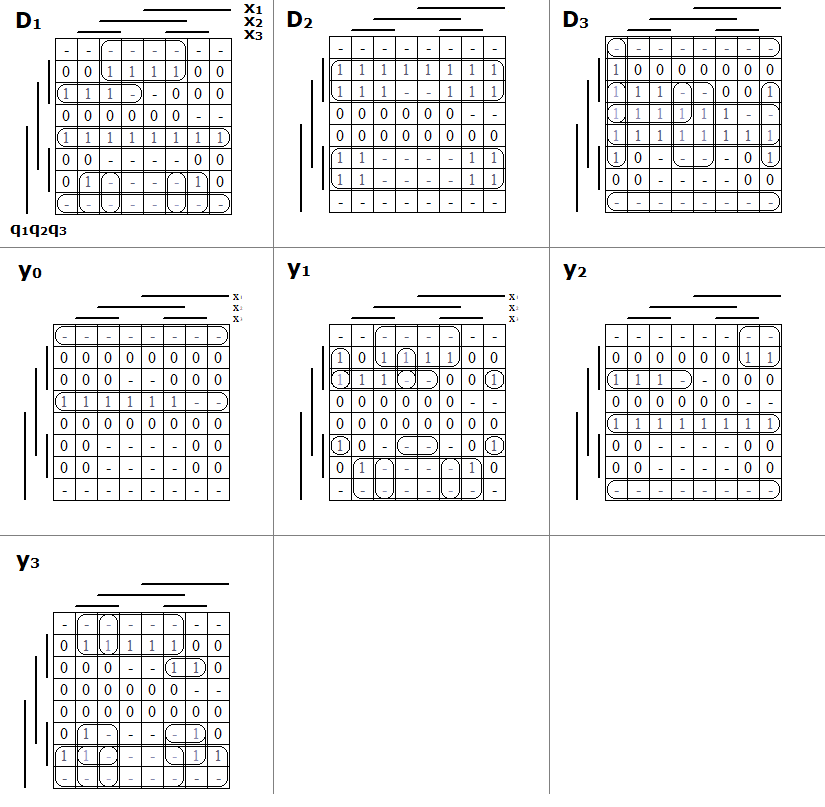


Рисунок 3.2.2 – Карты Карно

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.

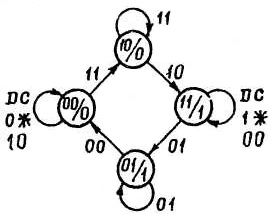


Рисунок 3.4.1 – Модель двухступенчатого D – триггера

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.

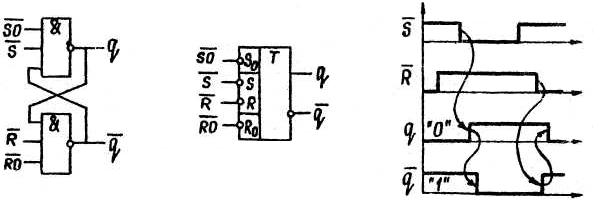


Рисунок 3.4.2 – Асинхронный RS – триггер

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).

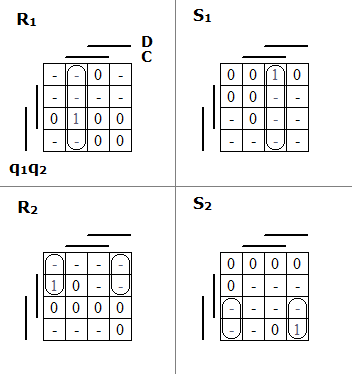


Рисунок 3.4.5 – Карты Карно

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.

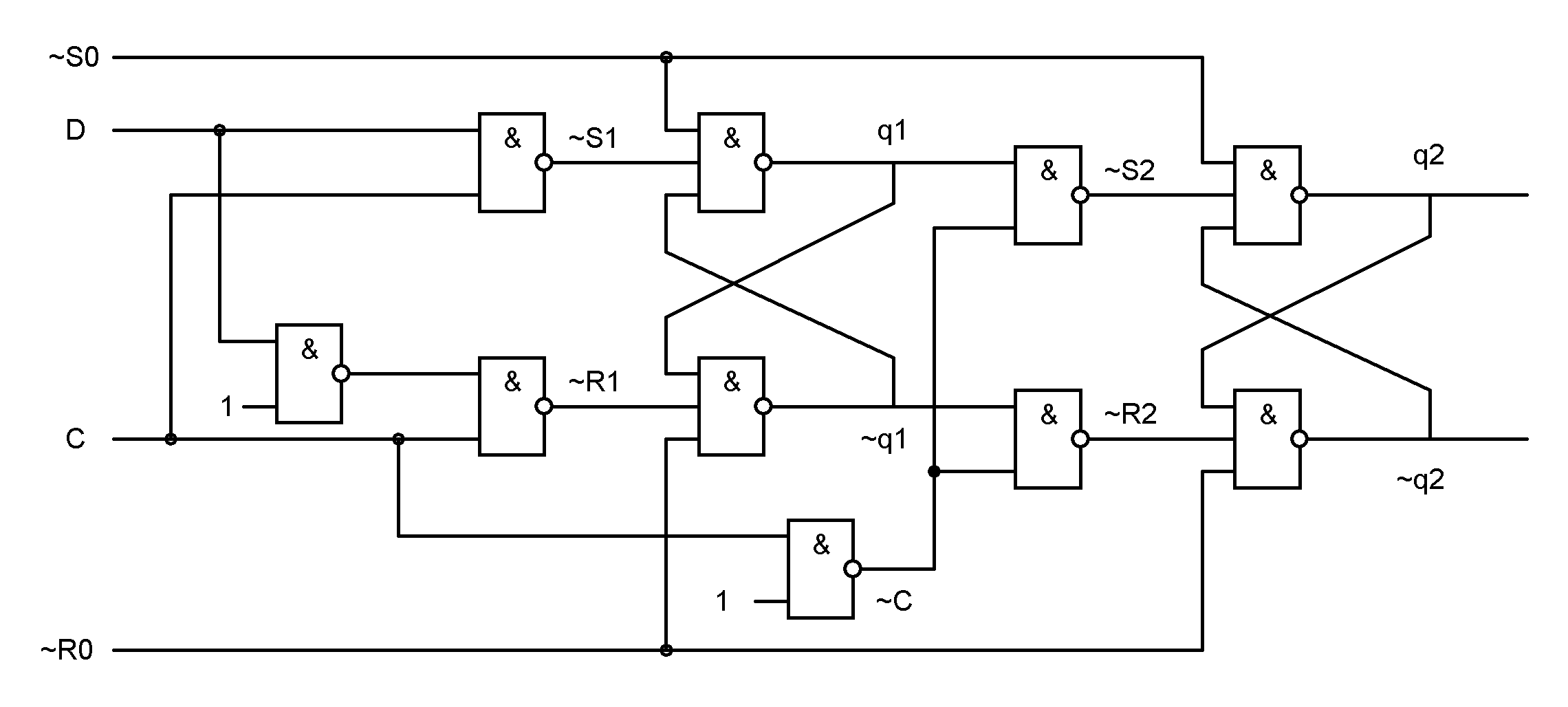


Рисунок 3.5.1 – Функциональная схема двухступенчатого триггера

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

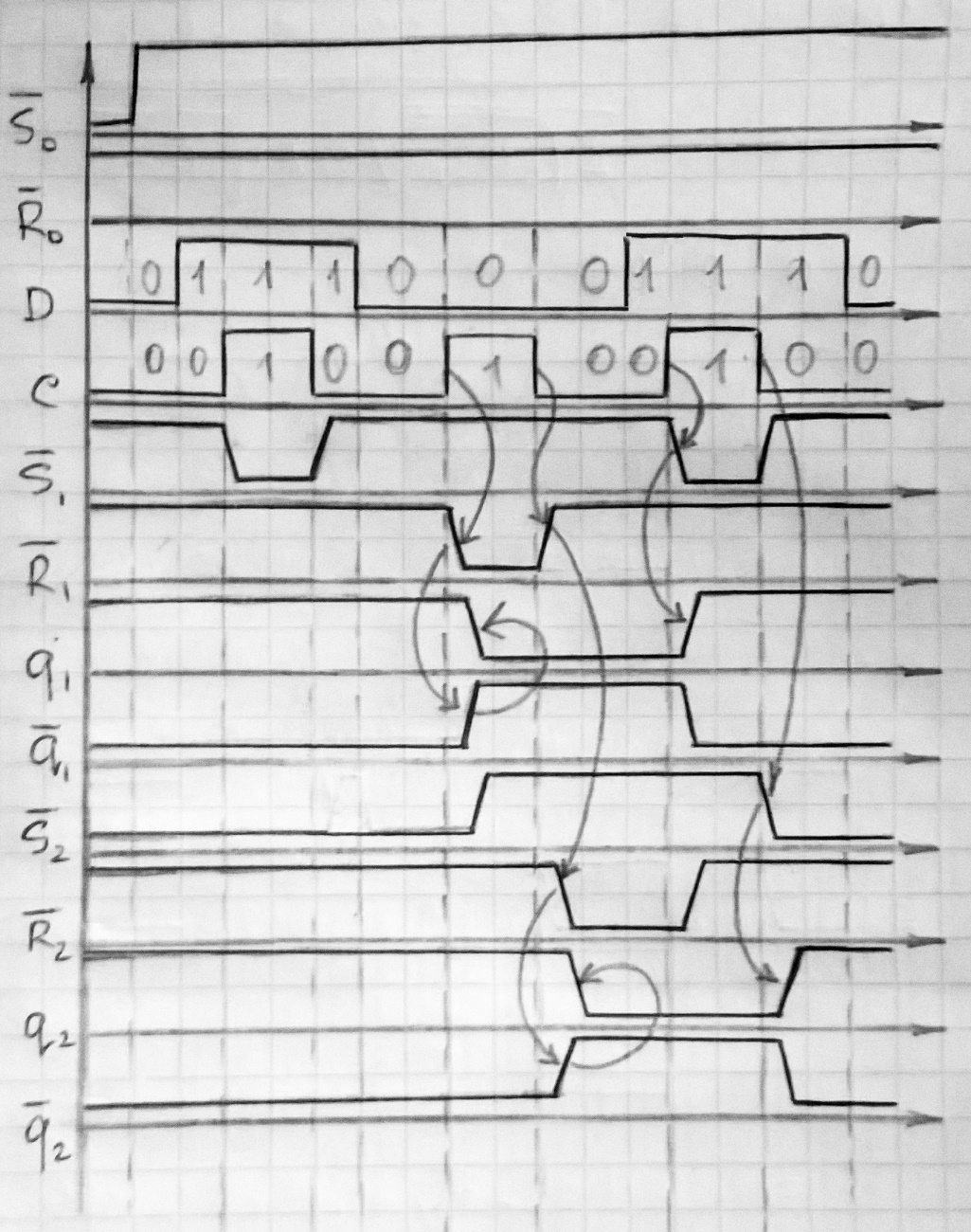


Рисунок 3.5.2 – Временная диаграмма работы двухступенчатого D-триггера

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.

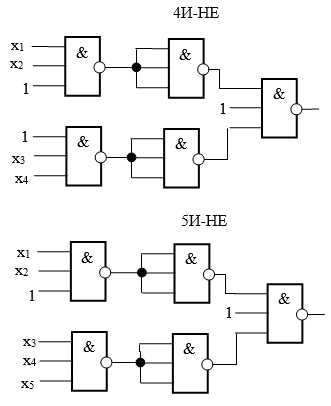


Рисунок 3.6.1 – Элементы 4И-НЕ и 5И-НЕ на базе элемента 3И-НЕ

Реализация ДНФ функций возбуждения и ДНФ выходов представлена на рис.3.6.2 – рис.3.6.7.

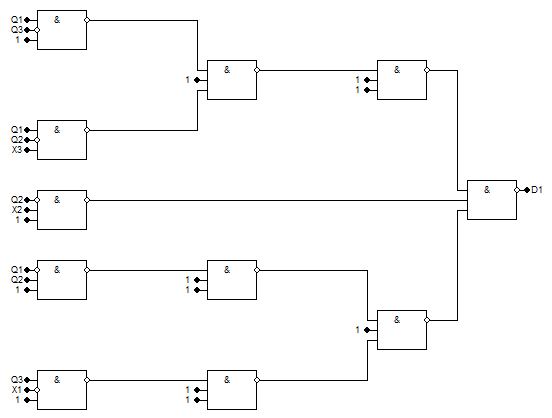


Рисунок 3.6.2 – Реализация функции возбуждения

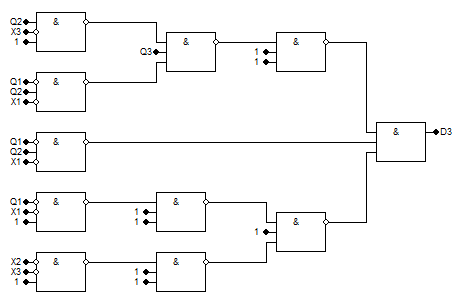


Рисунок 3.6.3 – Реализация функции возбуждения

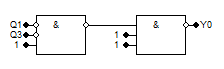


Рисунок 3.6.4 – Реализация функции выхода

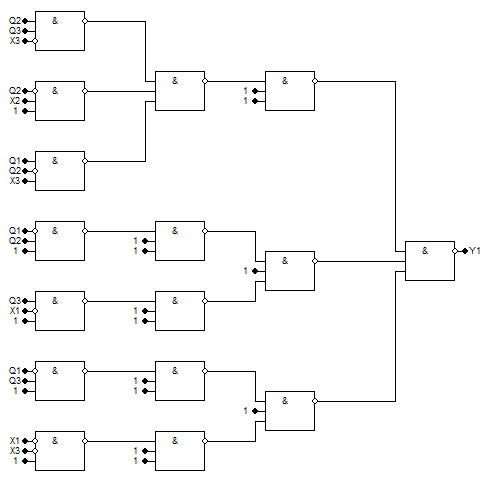


Рисунок 3.6.5 – Реализация функции выхода

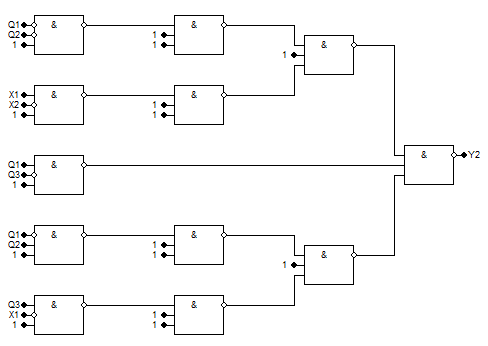


Рисунок 3.6.6 – Реализация функции выхода

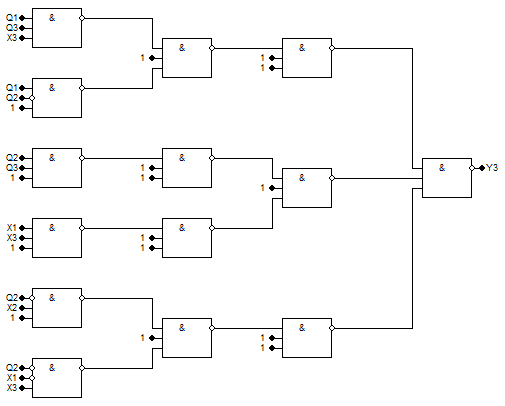


Рисунок 3.6.7 – Реализация функции выхода

Функциональная схема автомата строится с использованием условного обозначения двухступенчатого триггера (рис.3.6.8).

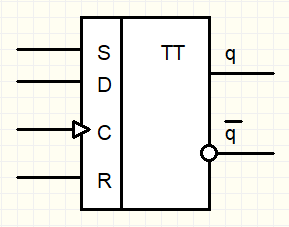


Рисунок 3.6.8 – Условное обозначение двухступенчатого D-триггера

На функциональной схеме триггеры и элементы 4И-НЕ и 5И-НЕ изображены в виде условных графических обозначений без детализации, чтобы не загромождать схему, при этом в расчете параметров сигнала синхронизации задержку на 4И-НЕ и 5И-НЕ примем равной .

Для организации взаимодействия автомата с другими автоматами необходима схема пуска автомата. Эта схема обеспечивает:

* пуск автомата по внешнему сигналу при условии, что автомат находится в состоянии ;
* останов автомата по завершении микропрограммы (по сигналу );
* формирование признака готовности автомата к пуску.

Функциональная схема автомата и схемы пуска приведены на рис.3.6.10.

Функционирование схемы пуска иллюстрируется временной диаграммой на рис.3.6.9.

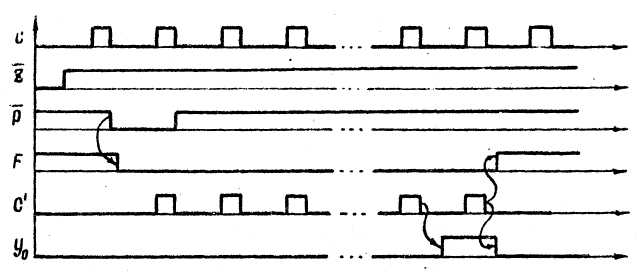


Рисунок 3.6.9 – Временная диаграмма схемы пуска автомата

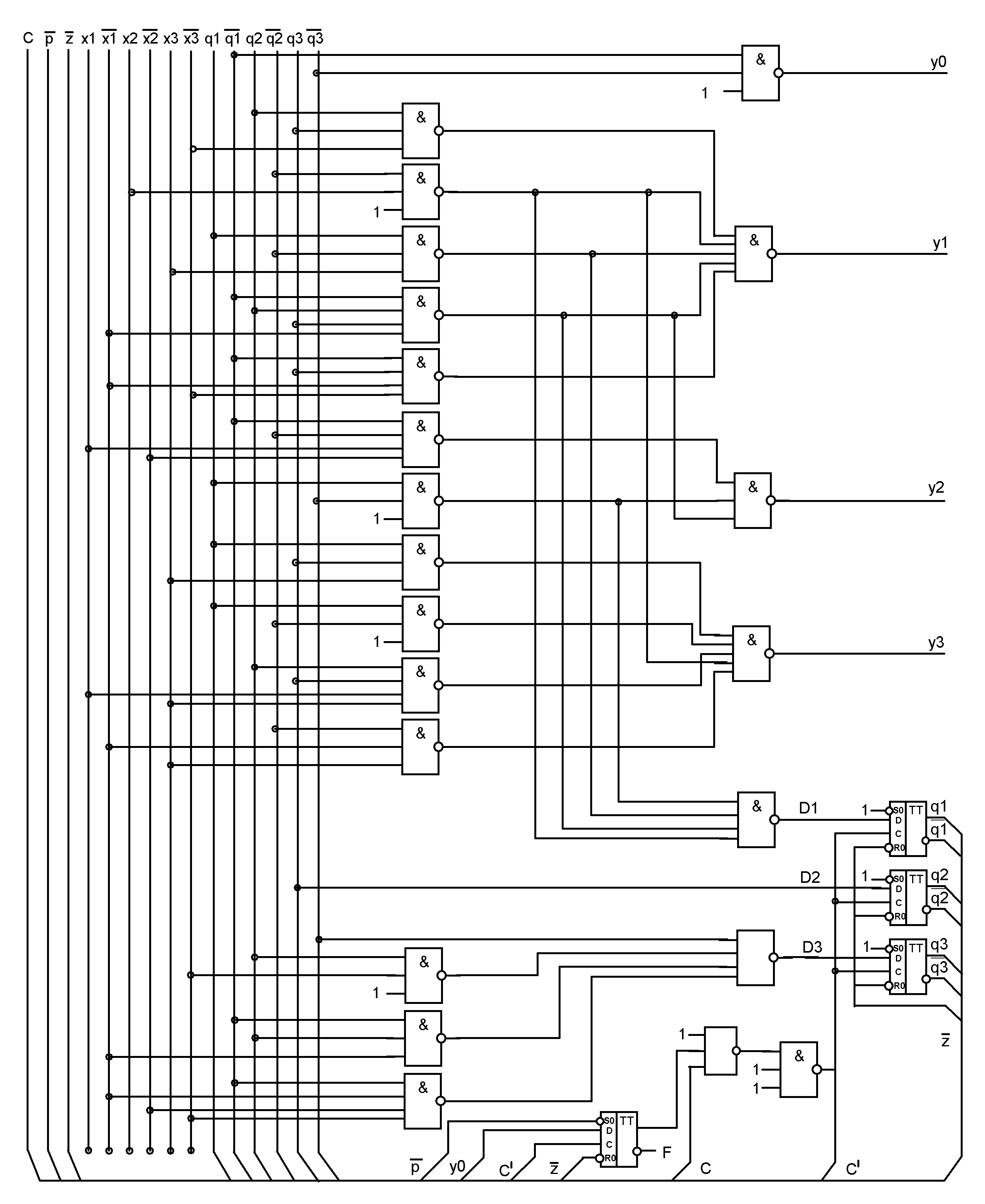


Рисунок 3.6.10 – Функциональная схема автомата

Скорректируем функциональную схему с учетом нагрузочной способности логических элементов (коэффициента разветвления), которая равна 4 по условиям задания. Таким образом можно подключать не более 4-х входов на 1 выход, иначе возникнет перегрузка по выходу. По функциональной схеме (рис.3.6.10) определим нагрузку по шине . Результат сведен в таблицу 3.6.1.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сигнал |  |  |  |  |  |  |
| Число входов | 4 | 6 | 5 | 5 | 6 | 3 |

Таким образом сигналы , , , нуждаются в усилении. Выполним усилители, осуществляющие двойную инверсию на трех элементах 3И-НЕ (рис.3.6.11), в условном обозначении усилителя указан коэффициент разветвления по выходу.

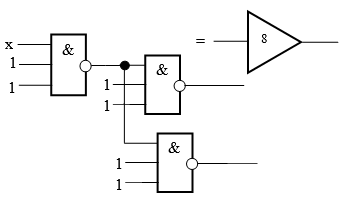


Рисунок 3.6.11 – Усилитель на элементах 3И-НЕ

Задержка в усилителе равна . Функциональная схема с усилителями показана на рис.3.6.12.

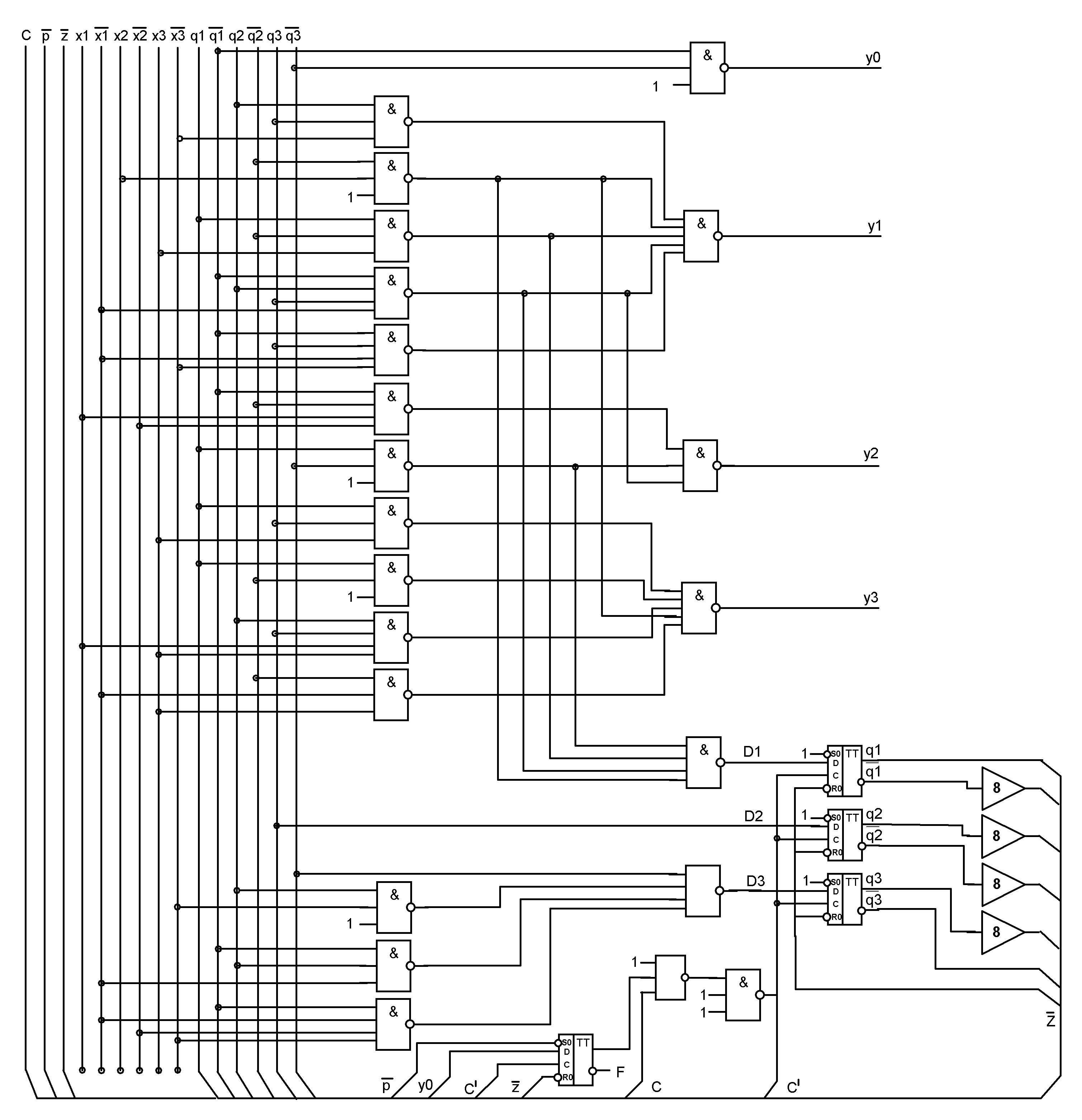


Рисунок 3.6.12 – Функциональная схема автомата с учетом нагрузочной способности логических элементов

* 1. Расчет параметров сигнала синхронизации

Определим самые длинные пути сигнала по схеме на рис.3.6.12.

Вход вход : 4И-НЕ + 4И-НЕ, задержка –

Выход вход : усилитель + 4И-НЕ + 4И-НЕ, задержка –

В данном автомате максимальная длина цепочки во входной ступени триггера равна 6 элементам, а величина задержки на этой цепочке равна . Отсюда следует, что длительность сигнала должна быть не менее . Цепочка максимальной длины в выходной ступени триггера состоит из 9 элементов, включая инвертор сигнала и вносит задержку . Так как переключение элементов в выходной ступени триггера и в комбинационной схеме происходит в интервале (при С = 0), то длительность должна быть не менее .

Отсюда период синхронизации .

* 1. Временная диаграмма автомата

Временная диаграмма представлена на рис.3.8. Диаграмма соответствует тестовой последовательности, использованной на предыдущих этапах для проверки синтезируемого автомата.

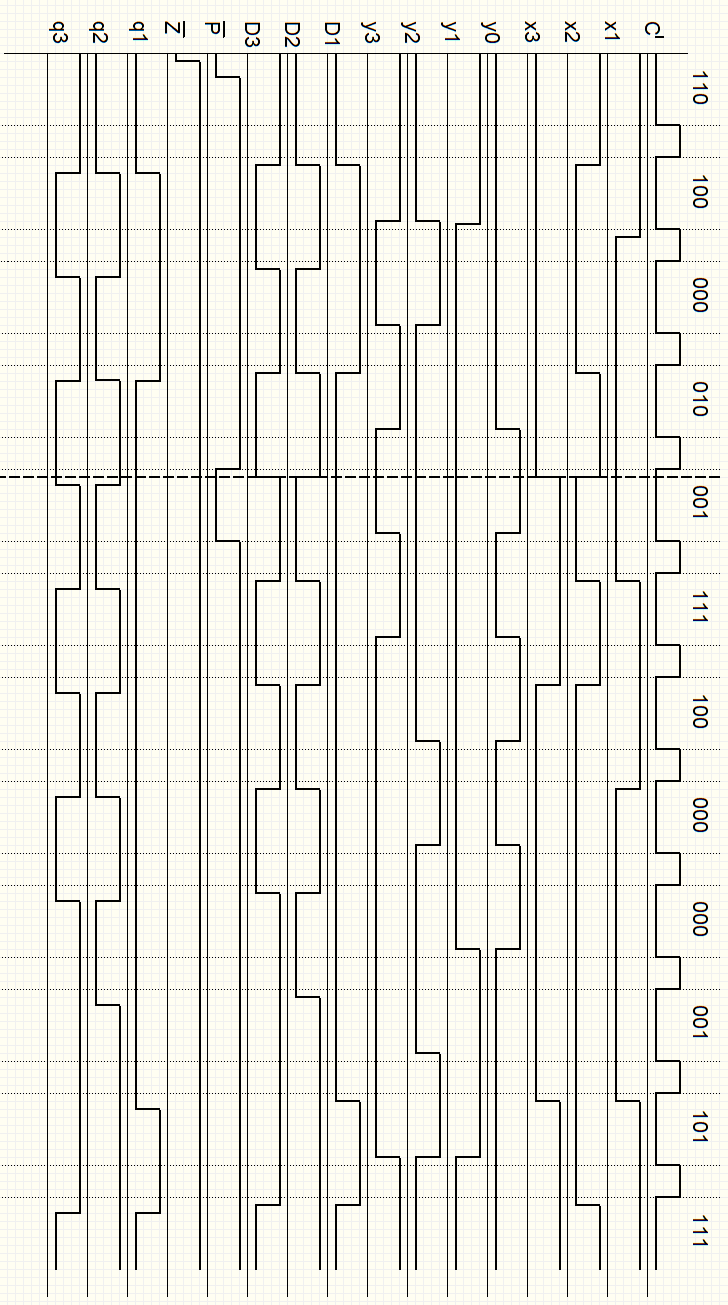


Рисунок 3.8 – Временная диаграмма работы автомата

* 1. Функциональные схемы автоматов на ПЛМ и ПЗУ
     1. Реализация схемы автомата на ПЗУ

По условию ПЗУ имеют входов и выхода. Число входов ПЗУ совпадает с числом логических переменных . Число выходов меньше числа логических функций Следовательно, необходимы две микросхемы ПЗУ. В одну зашиваем информацию о состояниях D-входов , в другую – информацию о выходах . Установим соответствие логических переменных и адресных шин:

↔

и соответствие логических функций и шин данных:

ПЗУ D-входов – ↔ ( – свободен)

ПЗУ выходов – ↔

Таблицы прошивки входов и выходов представлены ниже (табл.3.9.1 – 3.9.2).

Таблица 3.9.1 – Таблица прошивки ПЗУ D-входов

| А5А4А3А2А1А0 | D2 | D1 | D0 |
| --- | --- | --- | --- |
| 000000 | 1 | 1 | 1 |
| 000001 | 1 | 1 | 1 |
| 000011 | 1 | 1 | 1 |
| 000010 | 1 | 1 | 1 |
| 000110 | 1 | 1 | 1 |
| 000111 | 1 | 1 | 1 |
| 000101 | 1 | 1 | 1 |
| 000100 | 1 | 1 | 1 |
| 001000 | 0 | 1 | 1 |
| 001001 | 0 | 1 | 0 |
| 001011 | 1 | 1 | 0 |
| 001010 | 1 | 1 | 0 |
| 001110 | 1 | 1 | 0 |
| 001111 | 1 | 1 | 0 |
| 001101 | 0 | 1 | 0 |
| 001100 | 0 | 1 | 0 |
| 011000 | 1 | 1 | 1 |
| 011001 | 1 | 1 | 1 |
| 011011 | 1 | 1 | 1 |
| 011010 | 1 | 1 | 1 |
| 011110 | 1 | 1 | 1 |
| 011111 | 0 | 1 | 0 |
| 011101 | 0 | 1 | 0 |
| 011100 | 0 | 1 | 1 |
| 010000 | 0 | 0 | 1 |
| 010001 | 0 | 0 | 1 |
| 010011 | 0 | 0 | 1 |
| 010010 | 0 | 0 | 1 |
| 010110 | 0 | 0 | 1 |
| 010111 | 0 | 0 | 1 |
| 010101 | 0 | 0 | 1 |
| 010100 | 0 | 0 | 1 |
| 110000 | 1 | 0 | 1 |
| 110001 | 1 | 0 | 1 |
| 110011 | 1 | 0 | 1 |
| 110010 | 1 | 0 | 1 |
| 110110 | 1 | 0 | 1 |
| 110111 | 1 | 0 | 1 |
| 110101 | 1 | 0 | 1 |
| 110100 | 1 | 0 | 1 |
| 111000 | 1 | 0 | 1 |
| 111001 | 1 | 0 | 0 |
| 111011 | 1 | 0 | 1 |
| 111010 | 1 | 0 | 1 |
| 111110 | 1 | 0 | 1 |
| 111111 | 1 | 0 | 1 |
| 111101 | 1 | 0 | 0 |
| 111100 | 1 | 0 | 1 |
| 101000 | 0 | 1 | 0 |
| 101001 | 1 | 1 | 0 |
| 101011 | 1 | 1 | 0 |
| 101010 | 1 | 1 | 0 |
| 101110 | 1 | 1 | 0 |
| 101111 | 1 | 1 | 0 |
| 101101 | 1 | 1 | 0 |
| 101100 | 0 | 1 | 0 |
| 100000 | 1 | 1 | 1 |
| 100001 | 1 | 1 | 1 |
| 100011 | 1 | 1 | 1 |
| 100010 | 1 | 1 | 1 |
| 100110 | 1 | 1 | 1 |
| 100111 | 1 | 1 | 1 |
| 100101 | 1 | 1 | 1 |
| 100100 | 1 | 1 | 1 |

Таблица 3.9.2 – Таблица прошивки ПЗУ выходов

| А5А4А3А2А1А0 | D3 | D2 | D1 | D0 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 000000 | 0 | 1 | 1 |  |
| 000001 | 0 | 0 | 1 |  |
| 000011 | 0 | 1 | 1 |  |
| 000010 | 0 | 1 | 1 |  |
| 000110 | 0 | 1 | 1 |  |
| 000111 | 0 | 1 | 1 |  |
| 000101 | 0 | 0 | 1 |  |
| 000100 | 0 | 0 | 1 |  |
| 001000 | 0 | 1 | 0 |  |
| 001001 | 0 | 1 | 0 |  |
| 001011 | 0 | 1 | 0 |  |
| 001010 | 0 | 1 | 0 |  |
| 001110 | 0 | 1 | 0 |  |
| 001111 | 0 | 0 | 0 |  |
| 001101 | 0 | 0 | 1 |  |
| 001100 | 0 | 1 | 1 |  |
| 011000 | 1 | 0 | 1 |  |
| 011001 | 1 | 0 | 1 |  |
| 011011 | 1 | 0 | 1 |  |
| 011010 | 1 | 0 | 1 |  |
| 011110 | 1 | 0 | 1 |  |
| 011111 | 1 | 0 | 0 |  |
| 011101 | 1 | 0 | 0 |  |
| 011100 | 1 | 0 | 0 |  |
| 010000 | 0 | 0 | 0 |  |
| 010001 | 0 | 0 | 0 |  |
| 010011 | 0 | 0 | 0 |  |
| 010010 | 0 | 0 | 0 |  |
| 010110 | 0 | 0 | 0 |  |
| 010111 | 0 | 0 | 0 |  |
| 010101 | 0 | 0 | 0 |  |
| 010100 | 0 | 0 | 0 |  |
| 110000 | 0 | 0 | 1 |  |
| 110001 | 0 | 0 | 1 |  |
| 110011 | 0 | 0 | 1 |  |
| 110010 | 0 | 0 | 1 |  |
| 110110 | 0 | 0 | 1 |  |
| 110111 | 0 | 0 | 1 |  |
| 110101 | 0 | 0 | 1 |  |
| 110100 | 0 | 0 | 1 |  |
| 111000 | 0 | 1 | 0 |  |
| 111001 | 0 | 0 | 0 |  |
| 111011 | 0 | 1 | 1 |  |
| 111010 | 0 | 1 | 1 |  |
| 111110 | 0 | 1 | 1 |  |
| 111111 | 0 | 1 | 1 |  |
| 111101 | 0 | 0 | 0 |  |
| 111100 | 0 | 1 | 0 |  |
| 101000 | 0 | 0 | 0 |  |
| 101001 | 0 | 1 | 0 |  |
| 101011 | 0 | 1 | 1 |  |
| 101010 | 0 | 1 | 1 |  |
| 101110 | 0 | 1 | 1 |  |
| 101111 | 0 | 1 | 1 |  |
| 101101 | 0 | 1 | 0 |  |
| 101100 | 0 | 0 | 0 |  |
| 100000 | 1 | 1 | 1 |  |
| 100001 | 1 | 1 | 1 |  |
| 100011 | 1 | 1 | 1 |  |
| 100010 | 1 | 1 | 1 |  |
| 100110 | 1 | 1 | 1 |  |
| 100111 | 1 | 1 | 1 |  |
| 100101 | 1 | 1 | 1 |  |
| 100100 | 1 | 1 | 1 |  |

Функциональная схема автомата на ПЗУ представлена на рис.3.9.1.

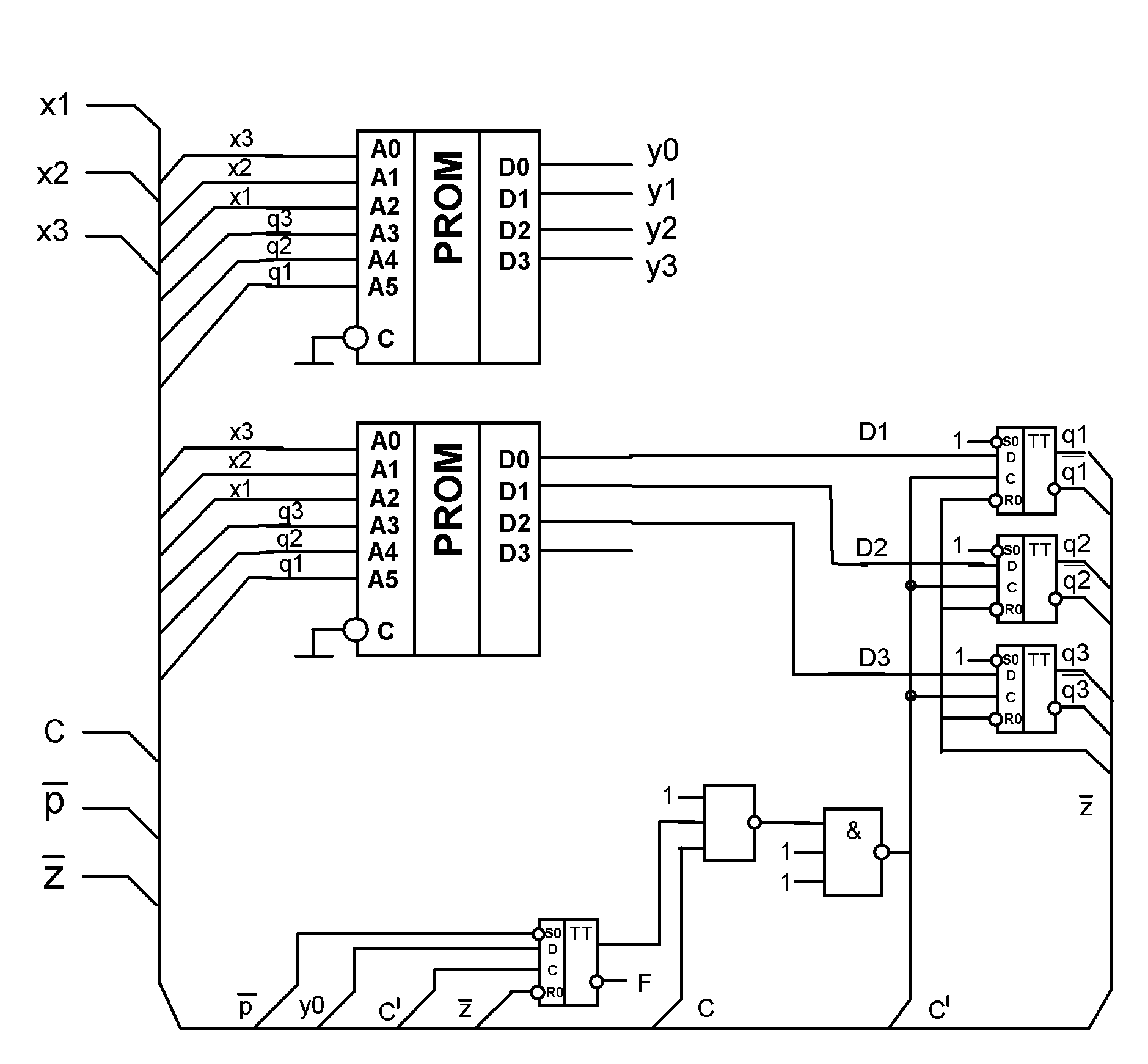


Рисунок 3.9.1 – Функциональная схема автомата на ПЗУ

Схема на ПЗУ обладает значительно лучшим быстродействием:

максимальная величина задержки и на входной, и на выходной цепочках триггера равна 2τ – задержке, вносимой ПЗУ.

* + 1. Реализация схемы автомата на ПЛМ

По условию ПЛМ имеют n = 6 входов, t = 8 внутренних шин и m = 4 выхода. Число входов ПЛМ совпадает с числом логических переменных q1q2q3x1x2х3. Число выходов меньше числа логических функций D1D2D3у0у1у2у3. Следовательно, необходимы минимум две микросхемы ПЛМ. Однако по табл. 3.2.12, видим, что необходимо реализовать 17 операций ИЛИ, а одна ПЛМ может реализовать только 8 (по числу внутренних шин). Поэтому потребуются три ПЛМ. Распределение выходных функций может быть произвольным, желательно только собирать в одну матрицу функции, имеющие общие конъюнкции («1» в одной строке табл.3.2.12). Поэтому запрограммируем 1-ю матрицу для выходов у1у2 и входа D2 (занято 8 внутренних шин), 2-ю матрицу для выходов y0y3 (занято 6 внутренних шин), 3-ю матрицу для входов D1D3 (занято 5 внутренних шин). Таблицы прошивки представлены ниже (табл.3.9.3 – 3.9.5).

Таблица 3.9.3 – Таблица прошивки ПЛМ выходов и входа

| Х0Х1Х2Х3Х4Х5 | D0 | D1 | D2 |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| Z Z 1 Z Z Z |  |  | 1 |
| 1 Z 0 Z Z Z |  | 1 |  |
| Z 0 Z Z 1 Z | 1 |  |  |
| 1 0 Z Z Z 1 | 1 |  |  |
| Z 1 1 Z Z 0 | 1 |  |  |
| 0 1 1 0 Z Z | 1 | 1 |  |
| 0 Z 1 0 Z 0 | 1 |  |  |
| 0 0 Z 1 0 Z |  |  | 1 |

Таблица 3.9.4 – Таблица прошивки ПЛМ выходов

| Х0Х1Х2Х3Х4Х5 | D0 | D1 |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 1 0 Z Z Z Z |  | 1 |
| 0 Z 0 Z Z Z | 1 |  |
| Z 0 Z Z 1 Z |  | 1 |
| 1 Z 1 Z Z 1 |  | 1 |
| Z 0 Z 0 Z 1 |  | 1 |
| Z 1 1 1 Z 1 |  | 1 |

Таблица 3.9.4 – Таблица прошивки ПЛМ входов

| Х0Х1Х2Х3Х4Х5 | D0 | D1 |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| Z Z 0 Z Z Z |  | 1 |
| 1 Z 0 Z Z Z | 1 |  |
| Z 1 Z Z Z 0 |  | 1 |
| Z 0 Z Z 1 Z | 1 |  |
| 1 0 Z Z Z 1 | 1 |  |
| 0 1 Z 0 Z Z |  | 1 |
| 0 1 1 0 Z Z | 1 |  |
| 0 Z Z 0 0 0 |  | 1 |

Функциональная схема автомата на ПЛМ проиллюстрирована на рис.3.9.2

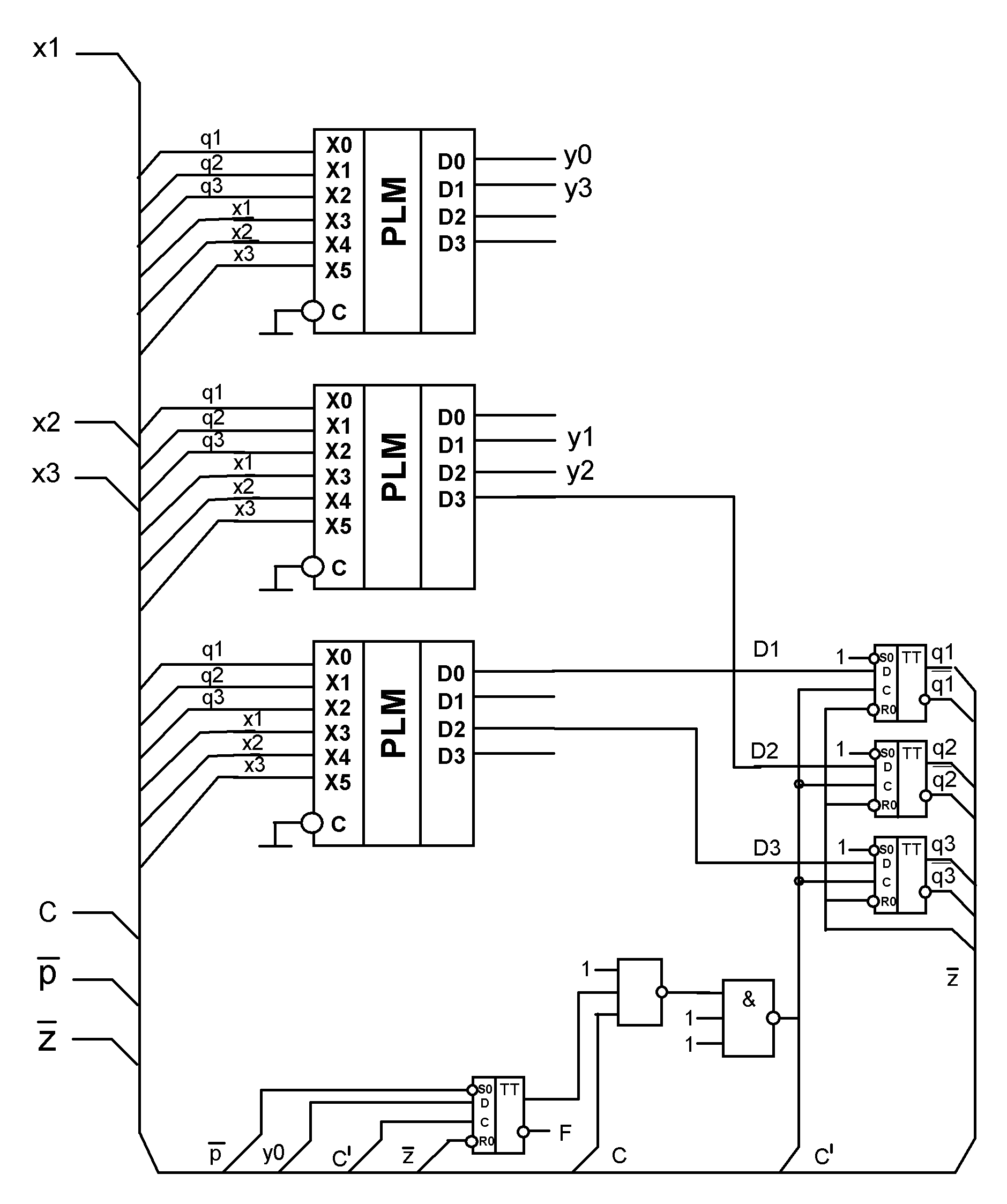


Рисунок 3.9.2 – Функциональная схема автомата на ПЛМ

Схема на ПЛМ обладает таким же быстродействием, как и схема на ПЗУ: максимальная величина задержки и на входной, и на выходной цепочках триггера равна 2τ – задержке, вносимой ПЛМ.

* 1. Сравнительная оценка вариантов реализации автомата

Сравнивая функциональные схемы, приходим к выводу о предпочтительности реализации данного автомата на ПЗУ, т.к. в этом случае схема обладает максимальным быстродействием при минимальном числа корпусов микросхем.