Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Институт компьютерных наук и технологий

Кафедра компьютерных систем и программных технологий

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

Задание на синтез генератора кодов

по дисциплине «Основы вычислительной техники»

Выполнил

студент гр. 5130901/20003

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Вагнер А.А.

(подпись)

Руководитель

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ доцент Тарасов О.М.

(подпись)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2024 г.

Санкт-Петербург   
2024

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

**ЗАДАНИЕ**

**НА ВЫПолнение курсовой работы**

студенту группы 5130901/20003 Вагнеру Артёму Александровичу

***1. Тема проекта (работы):*** Синтез двоичного 4-разрядного счётчика прямого счёта в коде **«**+6**»** с регистром, осуществляющим разомкнутый сдвиг влево, на RS- и T-триггерах.

***2. Срок сдачи законченной работы*** 8 мая

***3. Исходные данные к работе***: прямой счет в коде «+6» с регистром, разомкнутый сдвиг влево, RS- и T-триггеры.

***4. Содержание пояснительной записки***: Требования к оформлению, содержанию.

***Дата получения задания***: «  5  »   апреля    2024 г.

Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ доцент Тарасов О.М.

(подпись)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Вагнер А.А.

(подпись)

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

(дата)

Оглавление

[**Введение** 3](#_Toc165633860)

[**1.** **Цель работы** 3](#_Toc165633861)

[**2.** **Задачи работы** 3](#_Toc165633862)

[**3.** **Основные термины, определения и обозначения** 3](#_Toc165633863)

[**Ход работы** 5](#_Toc165633864)

[**1.** **Определение режимов работы КА** 5](#_Toc165633865)

[**2.** **Таблица переходов КА** 5](#_Toc165633866)

[2.1 Таблица возбуждения триггеров для режима хранения 7](#_Toc165633867)

[2.2 Таблица возбуждения триггеров для режима счётчика 7](#_Toc165633868)

[2.3 Таблица возбуждения триггеров для режима сдвига 8](#_Toc165633869)

[2.4 Таблица возбуждения триггеров для избыточного режима 8](#_Toc165633870)

[**3.** **Карты Карно для входных сигналов** 9](#_Toc165633871)

[3.1 Карты Карно для R 9](#_Toc165633872)

[3.2 Карты Карно для S 11](#_Toc165633873)

[3.3 Карты Карно для T 14](#_Toc165633874)

[**4.** **Схемы реализации КА** 17](#_Toc165633875)

[4.1 Схема устройства на RS-триггерах 18](#_Toc165633876)

[4.2 Схема устройства на T-триггерах 20](#_Toc165633877)

[**5.** **Сравнение вариантов реализации устройства** 22](#_Toc165633878)

[**Заключение** 26](#_Toc165633879)

[**Приложение** 27](#_Toc165633880)

**Введение**

Номер варианта: 4

## **Цель работы**

Синтез двоичного 4-разрядного счётчика прямого счёта в коде «+6» с регистром, осуществляющим разомкнутый сдвиг влево, на RS- и T-триггерах.

## **Задачи работы**

* Определение режимов работы КА
* Определение таблиц возбуждения для используемых режимов работы
* Создание Карт Карно для входных сигналов триггеров
* Минимизация функций возбуждения заданных типов триггеров
* Реализация схем устройства КА на различных типах триггеров
* Сравнение вариантов реализации устройства
* Выбор оптимальной реализации

## **Основные термины, определения и обозначения**

Двоичный счетчик — счетчик, имеющий модуль М=2n, где n – целое число, и естественную последовательность кодов состояний.

Регистр — последовательное или параллельное логическое устройство, используемое для хранения n-разрядных двоичных чисел и выполнения преобразований над ними.

Триггер — класс электронных устройств, обладающих способностью длительно находиться в одном из двух устойчивых состояний и чередовать их под воздействием внешних сигналов.

Разомкнутый сдвиг влево — сдвиг, при котором уходящий бит исчезает (старший), не влияя на оставшиеся биты, а на месте появившегося бита (младшего) записывается бит 0.

Конечный автомат (КА) — модель дискретного устройства, имеющего один вход, один выход и в каждый момент времени находящегося в одном состоянии из множества возможных. Является частным случаем абстрактного дискретного автомата, число возможных внутренних состояний которого конечно.

Карта Карно — графический способ представления булевых функций с целью их удобной и наглядной ручной минимизации.

Комбинационная схема (КС) — логическая схема, комбинация сигналов на выходе которой в любой момент времени однозначно определяется комбинацией сигналов на её входе.

Микросхема — электронная схема произвольной сложности, изготовленная на полупроводниковой кремниевой пластине или пленке и помещенная в неразборный корпус.

**Ход работы**

## **Определение режимов работы КА**

В соответствии с вариантом требуется реализовать три режима: прямой счёт, разомкнутый сдвиг влево и хранение. Следовательно, достаточно реализовать два входа управления, одна из комбинаций управления будет избыточной.

Таблица 1 – Таблица кодирования режимов работы

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | Режим |
| 0 | 0 | Хранение |
| 0 | 1 | Прямой счёт |
| 1 | 0 | Разомкнутый сдвиг влево |
| 1 | 1 | Избыточный |

## **Таблица переходов КА**

В ходе работы требуется реализовать четырёхразрядный счётчик, из чего следует необходимость рассчитать количество триггеров по следующей формуле.

Исходя из расчётов, требуется 4 триггера.

Таблица 2 – Таблица обязательных значений функций возбуждения

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Переходы  Q(t) → Q(t+1) | T | RS | |
| qT | qR | qS |
| 0 → 0  0 → 1  1 → 0  1 → 1 | 0  1  1  0 | **–**  0  1  0 | 0  1  0  **–** |

Таблица 3 – Сводная таблица переходов для используемых режимов работы

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Десятичные цифры |  |  | | | |
| Хранение | Прямой счёт | Разомкнутый сдвиг влево | Избыточный |
| 00 | 01 | 10 | 11 |
| - | 0000 | 0000 | - | 0000 | - |
| - | 0001 | 0001 | - | 0010 | - |
| - | 0010 | 0010 | - | 0100 | - |
| - | 0011 | 0011 | - | 0110 | - |
| - | 0100 | 0100 | - | 1000 | - |
| - | 0101 | 0101 | - | 1010 | - |
| 0 | 0110 | 0110 | 0111 | 1100 | - |
| 1 | 0111 | 0111 | 1000 | 1110 | - |
| 2 | 1000 | 1000 | 1001 | 0000 | - |
| 3 | 1001 | 1001 | 1010 | 0010 | - |
| 4 | 1010 | 1010 | 1011 | 0100 | - |
| 5 | 1011 | 1011 | 1100 | 0110 | - |
| 6 | 1100 | 1100 | 1101 | 1000 | - |
| 7 | 1101 | 1101 | 1110 | 1010 | - |
| 8 | 1110 | 1110 | 1111 | 1100 | - |
| 9 | 1111 | 1111 | 0110 | 1110 | - |

Дабы уменьшить вероятность совершить опечатку, для составления таблицы и карт Карно была оставлена и использована программа на языке Kotlin, код которой представлен в конце отчёта.

## 2.1 Таблица возбуждения триггеров для режима хранения

Таблица 4.1 - Таблица функций возбуждения триггеров для режима хранения

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| (хранение) | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | | |  | | | |  | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0000 | 0000 | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0001 | 0001 | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0010 | 0010 | - | - | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0011 | 0011 | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0100 | 0100 | - | 0 | - | - | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0101 | 0101 | - | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0110 | 0110 | - | 0 | 0 | - | 0 | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0111 | 0111 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1000 | 1000 | 0 | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1001 | 1001 | 0 | - | - | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1010 | 1010 | 0 | - | 0 | - | - | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1011 | 1011 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1100 | 1100 | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1101 | 1101 | 0 | 0 | - | 0 | - | - | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1110 | 1110 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1111 | 1111 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 |

## 2.2 Таблица возбуждения триггеров для режима счётчика

Таблица 4.2 - Таблица функций возбуждения триггеров для режима счётчика

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| (счётчик) | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | | |  | | | |  | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0001 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0010 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0011 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0100 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0101 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0110 | 0111 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0111 | 1000 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1000 | 1001 | 0 | - | - | 0 | - | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1001 | 1010 | 0 | - | 0 | 1 | - | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1010 | 1011 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | - | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1011 | 1100 | 0 | 0 | 1 | 1 | - | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1100 | 1101 | 0 | 0 | - | 0 | - | - | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1101 | 1110 | 0 | 0 | 0 | 1 | - | - | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1110 | 1111 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1111 | 0110 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | - | - | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |

## 2.3 Таблица возбуждения триггеров для режима сдвига

Таблица 4.3 - Таблица функций возбуждения триггеров для режима сдвига

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| (сдвиг) | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | | |  | | | |  | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0000 | 0000 | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0001 | 0010 | - | - | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0010 | 0100 | - | 0 | 1 | - | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0011 | 0110 | - | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | - | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0100 | 1000 | 0 | 1 | - | - | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0101 | 1010 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0110 | 1100 | 0 | 0 | 1 | - | 1 | - | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0111 | 1110 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | - | - | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1000 | 0000 | 1 | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1001 | 0010 | 1 | - | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1010 | 0100 | 1 | 0 | 1 | - | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1011 | 0110 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | - | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1100 | 1000 | 0 | 1 | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1101 | 1010 | 0 | 1 | 0 | 1 | - | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1110 | 1100 | 0 | 0 | 1 | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1111 | 1110 | 0 | 0 | 0 | 1 | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

## 2.4 Таблица возбуждения триггеров для избыточного режима

Таблица 4.3 - Таблица функций возбуждения триггеров для изб. режима

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| (избыточный) | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | | |  | | | |  | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0000 | 0000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0001 | 0010 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0010 | 0100 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0011 | 0110 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0100 | 1000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0101 | 1010 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0110 | 1100 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0111 | 1110 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1000 | 0000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1001 | 0010 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1010 | 0100 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1011 | 0110 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1100 | 1000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1101 | 1010 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1110 | 1100 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1111 | 1110 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

## **Карты Карно для входных сигналов**

## 3.1 Карты Карно для R

Q0

Q1

Q2

Q3

X0

X1

X1

Q2

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

Рис. 1.1.1 Карта Карно для

Q0

Q1

Q2

Q3

X0

X1

X1

Q2

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

Рис. 1.1.2 Карта Карно для

Q0

Q1

Q2

Q3

X0

X1

X1

Q2

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

Рис. 1.1.3 Карта Карно для

Q0

Q1

Q2

Q3

X0

X1

X1

Q2

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

Рис. 1.1.4 Карта Карно для

## 3.2 Карты Карно для S

Q0

Q1

Q2

Q3

X0

X1

X1

Q2

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

Рис. 1.2.1 Карта Карно для

Q0

Q1

Q2

Q3

X0

X1

X1

Q2

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

Рис. 1.2.2 Карта Карно для

Q0

Q1

Q2

Q3

X0

X1

X1

Q2

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

Рис. 1.2.3 Карта Карно для

Q0

Q1

Q2

Q3

X0

X1

X1

Q2

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

Рис. 1.2.4 Карта Карно для

## 3.3 Карты Карно для T

Q0

Q1

Q2

Q3

X0

X1

X1

Q2

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

Рис. 1.3.1 Карта Карно для

Q0

Q1

Q2

Q3

X0

X1

X1

Q2

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

Рис. 1.3.2 Карта Карно для

Q0

Q1

Q2

Q3

X0

X1

X1

Q2

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

Рис. 1.3.3 Карта Карно для

Q0

Q1

Q2

Q3

X0

X1

X1

Q2

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

Рис. 1.3.4 Карта Карно для

Таблица 5.1 – Итоговые выражения для входных сигналов RS-триггеров

|  |  |
| --- | --- |
| RS-триггеры | |
| R | S |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Таблица 5.2 – Итоговые выражения для входных сигналов T-триггеров

|  |
| --- |
| T-триггеры |
|  |
|  |
|  |
|  |

## **Схемы реализации КА**

Опираясь на полученные выражения, нетрудно реализовать устройство на двух видах триггеров, используя САПР Quartus Prime.

## 4.1 Схема устройства на RS-триггерах

Изображение выглядит как текст, диаграмма, План, линия

Автоматически созданное описание

Рис. 2 КС устройства на RS-триггерах

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, число, линия

Автоматически созданное описание

Рис. 3 Временная диаграмма устройства на RS-триггерах в режиме хранения

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, число, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рис. 4 Временная диаграмма устройства на RS-триггерах в режиме счёта

Изображение выглядит как снимок экрана, текст, линия, число

Автоматически созданное описание

Рис. 5 Временная диаграмма устройства на RS-триггерах в режиме сдвига

## 4.2 Схема устройства на T-триггерах

Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, шов

Автоматически созданное описание

Рис. 6 КС устройства на T-триггерах

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, число, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рис. 7 Временная диаграмма устройства на T-триггерах в режиме хранения

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, число, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рис. 8 Временная диаграмма устройства на T-триггерах в режиме счёта

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, число, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рис. 9 Временная диаграмма устройства на T-триггерах в режиме сдвига

## **Сравнение вариантов реализации устройства**

Далее следует посчитать для каждой из полученных КС количество необходимых для реализации микросхем 1533 серии.

К сожалению, среди микросхем 1533 ни одна не реализует Т-триггер, поэтому следует обратиться к JK-триггеру. Докажем, что, если подавать на входы J и K JK-триггера одинаковые сигналы, он будет повторять поведение T-триггера. Определить это нетрудно, проанализировав таблицу истинности JK-триггера и сравнив с таблицей возбуждения T-триггера. Красным цветом отмечены строки, удовлетворяющие условию равенства управляющих сигналом.

Таблица 6 – Таблица истинности JK-триггера.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **K** | **J** | **Q(t)** | **Q(t+1)** |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 |

Таблица 7 – Таблица функций возбуждения T-триггера.

|  |  |
| --- | --- |
| Переходы  Q(t) → Q(t+1) | T |
| qT |
| 0 → 0  0 → 1  1 → 0  1 → 1 | 0  1  1  0 |

Нетрудно заметить, что реализация T-триггера при помощи JK-триггера вполне возможна и требует подачи управляющего T-сигнала на J и K входы JK-триггера.

Таблица 8 – Сравнение аппаратурных затрат двух схем на микросхемах

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Микросхема | Функция | Схема на RS-триггерах | Схема на T-триггерах |
| КР1533ЛИ1 | 4х2И | 4 | 5 |
| КР1533ЛЛ1 | 4х2ИЛИ | 2 | 3 |
| КР1533ЛН1 | 6хНЕ Iвых=70мА | 1 | 1 |
| КР1533ТР2 | 4хRS-триггера инв. | 1 | - |
| КР1533ТВ15 | 2xJK-триггера | - | 2 |
| Итого: | | 8 | 11 |

Далее следует оценить максимальные глубины КС.

Для схемы на RS-триггерах максимальная глубина составляет 5 логических элементов.

Изображение выглядит как диаграмма, текст, План

Автоматически созданное описание

Рис. 10 Оценка логической глубины КС на RS-триггерах

Для схемы на T-триггерах максимальная глубина составляет 5 логических элементов.

Изображение выглядит как диаграмма, линия, текст

Автоматически созданное описание

Рис. 11 Оценка логической глубины КС на T-триггерах

Таблица 9 - Итоги сравнения двух реализаций

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Критерий оценивания | Используемый тип триггера в реализации схемы | |
| RS-триггер | T-триггер |
| Аппаратурные затраты | 8 | 12 |
| Глубина логической схемы | 5 | 5 |

По итогам сравнения реализаций устройства на RS- и T-триггерах нетрудно прийти к выводу, что реализация на RS-триггерах является более оптимальной.

Тем не менее, следует заметить, что различия в производительности станут ощутимы лишь при масштабировании устройства, например, использовании нескольких подобных устройств, подключённых последовательно.

## **Заключение**

В ходе проделанной работы было определено, что состояния триггеров можно использовать для хранения регистров счётчика, либо машины сдвига регистров, при условии, что на входы триггеров подаются правильные последовательности. Также было проведено сравнение двух реализаций: на RS-триггерах и на T-триггерах. В результате сравнения пришли к выводу, что реализация на RS-триггерах оптимальнее, хотя реализация на T-триггерах требует более креативного подхода. Реализация на RS-триггерах почти не выигрывает в производительности, но требует почти в полтора раза меньше микросхем для реализации, в связи с чем является более предпочтительной. Это неудобство можно было бы частично нивелировать, если бы была предложена микросхема 1553, реализующая 4 Т-триггера на одной плате.

## **Приложение**

val *tInit* = *mapOf*(  
 Pair('0', '0') *to* "0", Pair('0', '1') *to* "1",  
 Pair('1', '0') *to* "1", Pair('1', '1') *to* "0"  
)  
  
val *rsInitR* = *mapOf*(  
 Pair('0', '0') *to* "-", Pair('0', '1') *to* "0",  
 Pair('1', '0') *to* "1", Pair('1', '1') *to* "0"  
)  
  
val *rsInitS* = *mapOf*(  
 Pair('0', '0') *to* "0", Pair('0', '1') *to* "1",  
 Pair('1', '0') *to* "0", Pair('1', '1') *to* "-"  
)  
  
val *q* = *listOf*("0000", "0001", "0010", "0011", "0100", "0101", "0110", "0111", "1000", "1001", "1010", "1011", "1100", "1101", "1110", "1111")  
val *qInit00* = *listOf*("0000", "0001", "0010", "0011", "0100", "0101", "0110", "0111", "1000", "1001", "1010", "1011", "1100", "1101", "1110", "1111")  
val *qInit01* = *listOf*("----", "----", "----", "----", "----", "----", "0111", "1000", "1001", "1010", "1011", "1100", "1101", "1110", "1111", "0110")  
val *qInit10* = *listOf*("0000", "0010", "0100", "0110", "1000", "1010", "1100", "1110", "0000", "0010", "0100", "0110", "1000", "1010", "1100", "1110")  
val *qInit11* = *listOf*("----", "----", "----", "----", "----", "----", "----", "----", "----", "----", "----", "----", "----", "----", "----", "----")  
  
val *qInit* = *listOf*(*qInit00*, *qInit01*, *qInit10*, *qInit11*)  
val *xt* = *mutableMapOf*<String, Array<Array<String>>>()  
val *xr* = *mutableMapOf*<String, Array<Array<String>>>()  
val *xs* = *mutableMapOf*<String, Array<Array<String>>>()  
  
fun createTable() {  
 for (x in *listOf*("00", "01", "10", "11")) {  
 val nextQ = *qInit*[x.*toInt*(2)]  
 val r = Array(*q*.size) **{** Array(4) **{** "" **} }** val s = Array(*q*.size) **{** Array(4) **{** "" **} }** val t = Array(*q*.size) **{** Array(4) **{** "" **} }** for (i in *q*.*indices*) {  
 for (j in 0..3) {  
 r[i][j] = if (nextQ[i] != "----") *rsInitR*[Pair(*q*[i][j], nextQ[i][j])]!! else "-"  
 s[i][j] = if (nextQ[i] != "----") *rsInitS*[Pair(*q*[i][j], nextQ[i][j])]!! else "-"  
 t[i][j] = if (nextQ[i] != "----") *tInit*[Pair(*q*[i][j], nextQ[i][j])]!! else "-"  
 }  
 }  
 *xt*[x] = t  
 *xr*[x] = r  
 *xs*[x] = s  
  
 *println*()  
 *println*("Trigger init table for X = $x.")  
 *println*(" Q Q+1 R S T")  
 for (i in *q*.*indices*) {  
 *print*(*q*[i] + " | " + nextQ[i] + " | ")  
 r[i].*forEach* **{** *print*(**it**) **}** *print*(" | ")  
 s[i].*forEach* **{** *print*(**it**) **}** *print*(" | ")  
 t[i].*forEach* **{** *print*(**it**) **}** *print*("\n")  
 }  
 }  
}  
  
fun qToI(q: String) = q.*toInt*(2)  
  
fun createKM() {  
 // Q3 X0 X1 | Q2 Q1 Q0  
 val cList = *listOf*("000", "001", "011", "010", "110", "111", "101", "100")  
 // R  
 for (k in 3 *downTo* 0) {  
 *print*("Map for R${3-k}\n")  
 for (i in cList.*indices*) { // h  
 for (j in cList.*indices*) { // v  
 val curX = cList[j][2].toString() + cList[j][1]  
 val curQI = *qToI*(cList[j][0].toString() + cList[i].*reversed*())  
 *print*(*xr*[curX]!![curQI][k] + ' ')  
 }  
 *print*("\n")  
 }  
 *print*("\n\n")  
 }  
 // S  
 for (k in 3 *downTo* 0) {  
 *print*("Map for S${3-k}\n")  
 for (i in cList.*indices*) { // h  
 for (j in cList.*indices*) { // v  
 val curX = cList[j][2].toString() + cList[j][1]  
 val curQI = *qToI*(cList[j][0].toString() + cList[i].*reversed*())  
 *print*(*xs*[curX]!![curQI][k] + ' ')  
 }  
 *print*("\n")  
 }  
 *print*("\n\n")  
 }  
 // T  
 for (k in 3 *downTo* 0) {  
 *print*("Map for T${3-k}\n")  
 for (i in cList.*indices*) { // h  
 for (j in cList.*indices*) { // v  
 val curX = cList[j][2].toString() + cList[j][1]  
 val curQI = *qToI*(cList[j][0].toString() + cList[i].*reversed*())  
 *print*(*xt*[curX]!![curQI][k] + ' ')  
 }  
 *print*("\n")  
 }  
 *print*("\n\n")  
 }  
  
}  
  
fun main() {  
 *createTable*()  
 *println*("-------------------------------")  
 *createKM*()  
}

Листинг 1. Код программы заполнения таблиц возбуждения и карт Карно