

ГУАП

КАФЕДРА № 44

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

доц., канд. техн. наук, доц.
должность, уч. степень, звание

подпись, дата

О.О. Жаринов
инициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №6

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ СЧЁТНОГО УСТРОЙСТВА С ЗАДАНЫМ
АЛГОРИТМОМ РАБОТЫ В СРЕДЕ QUARTUS

по курсу: СХЕМОТЕХНИКА

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. №

4143

подпись, дата

Е.Д.Тегай
инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2023

Цель работы

Разработать проект модуля счетного устройства, работающего по заданному алгоритму, в среде программирования Quartus.

Вариант задания

Индивидуальный вариант задания №1 продемонстрирован на рисунках 1 – 2, где на рисунке 2 изображена таблица с необходимым значением М из лабораторной работы №3. Следует отметить, что все необходимые данные выделены для удобства жёлтым цветом.

Таблица (начало)* - Последовательность выходных кодов устройства

| № варианта | порядковый номер входного импульса счетного модуля | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--|---|---|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|------|----|------|------|-----|------|----|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | ... | M-2 | M-1 | M | M+1 | M+2 | ... | 2M-1 | 2M | 2M+1 | 2M+2 | ... | 3M-1 | 3M | 3M+1 | 3M+2 |
| 1 | 0 | 1 | 2 | ... | M-2 | M-1 | M | M+1 | M+2 | ... | 1 | 0 | 1 | 2 | ... | M-1 | M | M+1 | M+2 |
| 2 | 0 | 1 | 2 | ... | M-2 | M-1 | M | M | M | ... | M | 0 | 1 | 2 | ... | M-1 | M | M | M |
| 3 | 0 | 1 | 2 | ... | M-2 | M-1 | M | M | M | ... | M | M | M-1 | M-2 | ... | 1 | 0 | 1 | 2 |
| 4 | 0 | 1 | 2 | ... | M-2 | M-1 | 0 | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 1 | 2 | ... | M-1 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 1 | 2 | ... | M-2 | M-1 | M | M-1 | M-2 | ... | 1 | 0 | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 6 | 0 | 1 | 2 | ... | M-2 | M-1 | 0 | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | ... | M-1 | M | M-1 | M-2 | ... | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 1 | 2 | ... | M-2 | M-1 | M | M | M | ... | M | 0 | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | ... | M-1 | M | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 1 | 2 | ... | M-2 | M-1 | 0 | 1 | 2 | ... | M-1 | 0 | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 1 | 2 |

Рисунок 1 – Индивидуальный вариант

Таблица вариантов заданий

| Вар. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| M | 15 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 14 | 3 | 5 | 6 | 7 | 9 |
| Вар. | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| M | 10 | 11 | 12 | 13 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 33 | 34 | 35 | 36 |

Рисунок 2 – Индивидуальный вариант

Ход работы

Для начала изобразим наглядно полную последовательность чисел, например, из 45 тактов, так как в этом промежутке показан полный период «оборота» последовательности. Это показано в таблице 1.

Таблица 1

| № такта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Выход | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| № такта | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Выход | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Грубо говоря, необходимо реализовать зеркальную последовательность из чисел от 0 до 15. Собственно, в Quartus существует такое понятие, как

мегафункция, а lpm-счётчик в частности, является ярким и одним из самых распространённых представителей данного функционала. Работа lpm-счётчика облегчит работу над составлением схемы ещё и потому, что он может быть и счётчиком на увеличение, и счётчиком на уменьшение в одном устройстве - так называемый updown lpm-счётчик.

Он имеет множество параметров, но в целом в лабораторной работе требуется лишь 4 (и то потому, что необходимо увеличивать и уменьшать числа в поставленной задаче). На рисунке 3 изображён счётчик из разработанной схемы.

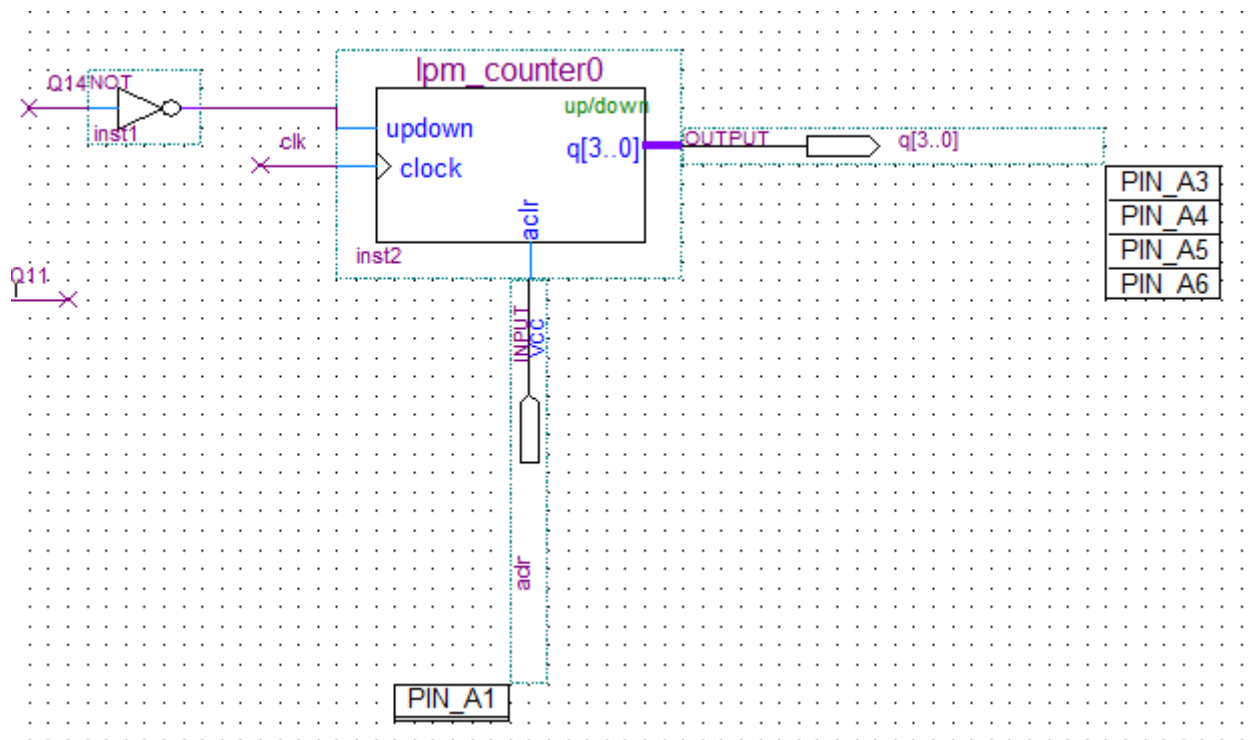


Рисунок 3 – Lpm-счётчик

Рассмотрим подробнее каждый из параметров. Updown – параметр, который отвечает за переключение с режима «увеличение» на режим «уменьшение». Clock – давно известные тактовые импульсы. Aclr – асинхронный сброс, а q[3..0] – некий массив разрядов. Он может быть сколь угодно большим, число 3 взято из тех соображений, что максимальным числом в последовательности является 15, которое в двоичной записывается как:

$$1111_2$$

И, соответственно, максимально возможное число разрядов – 4,

которому и соответствует массив [3 2 1 0]. В процессе более подробного изучения работы счётчика выяснилось, что, во-первых, в момент сброса счётчик с последнего значения снова начинает считать с нуля (касательно счётчика «на увеличение»), а во-вторых, чтобы после достижения 15 счётчик смог начать считать в обратную сторону, нужно подать 0 на параметр updown (логично, что подача 1 = увеличение).

Честно говоря, мне довольно тяжело далось прийти к какой-либо идее, которая реализовывала бы подачу на один вход такого значения, которое в зависимости от номера такта могло бы быть как и 1, так и 0, чтобы обеспечить корректное переключение счётчика. Спустя продолжительное время единственное, к чему пришли мои мысли – обращение к прошлой лабораторной работе.

В прошлой лабораторной работе использовалась табличка с начальными данными, где были известны такие параметры, как: начальная задержка, количество тактов с 1 и количество тактов с 0. Для подачи на updown нужен такое выходное значение, которое бы держалось по 16 тактов на 1 и 0 с нулевой начальной задержкой. Это обеспечит корректный переход счётчика, так как именно на 15 – 16 тактах должен осуществляться переход на обратное значение.

По аналогии с прошлой лабораторной работой была составлена довольно массивная таблица 2.

Таблица 2

| Nr | Dsi | Q0 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 | Q14 | Q15 |
|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 16 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 17 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 32 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 34 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Для визуального восприятия таблица – цветная. Необходимые для составления итогового логического выражения единицы выделены красным. Количество триггеров – 16. Итоговое выражение имеет вид:

$$\overline{Q_{14}} = Dsi$$

Это выражение и подаётся на updown счётчика.

Схема

Схема устройства состоит из двух частей. В первой – черед D-триггеров и составленное выражение для Dsi, а во второй – лишь счётчик. Соответствующие рисунки приведены ниже.

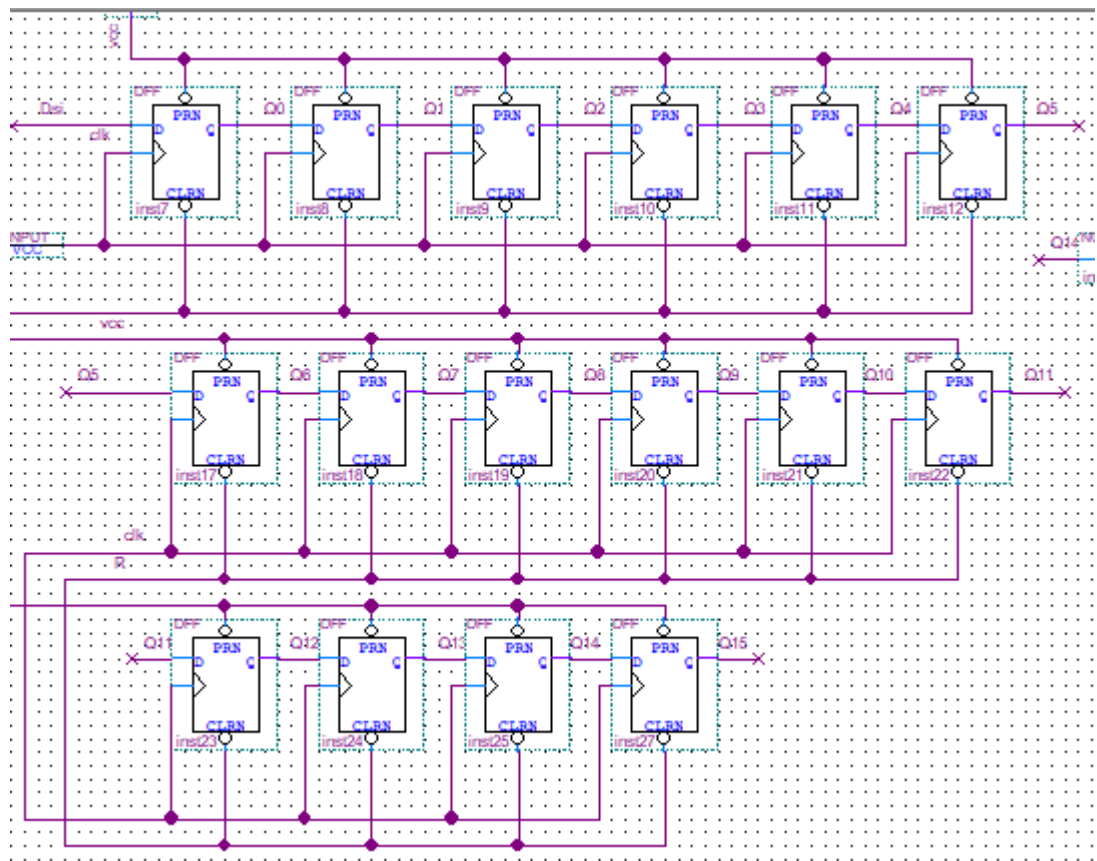


Рисунок 4 – Цепочка D – триггеров

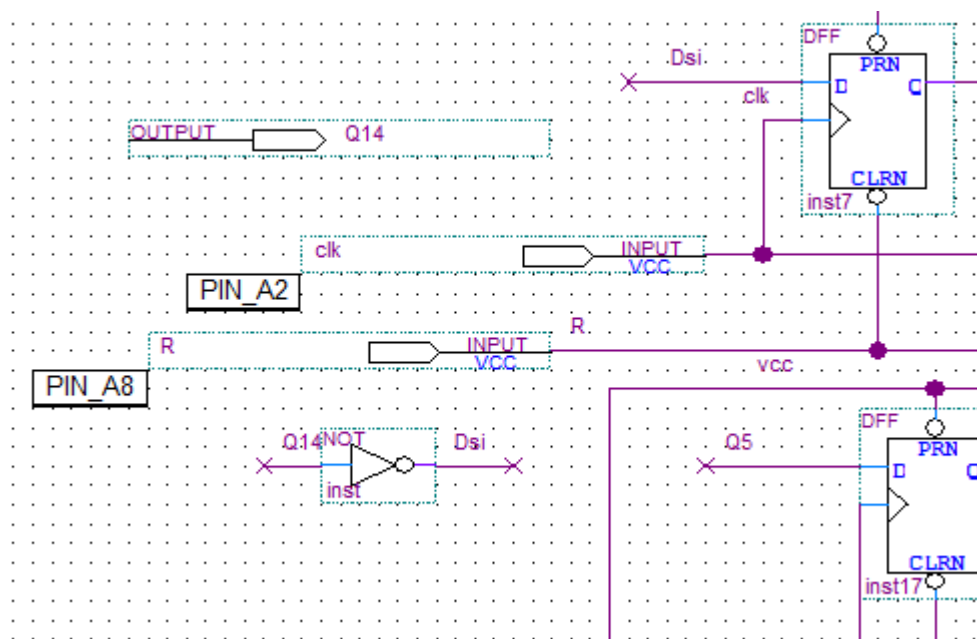


Рисунок 5 – Выражение для Dsi и входы-выходы

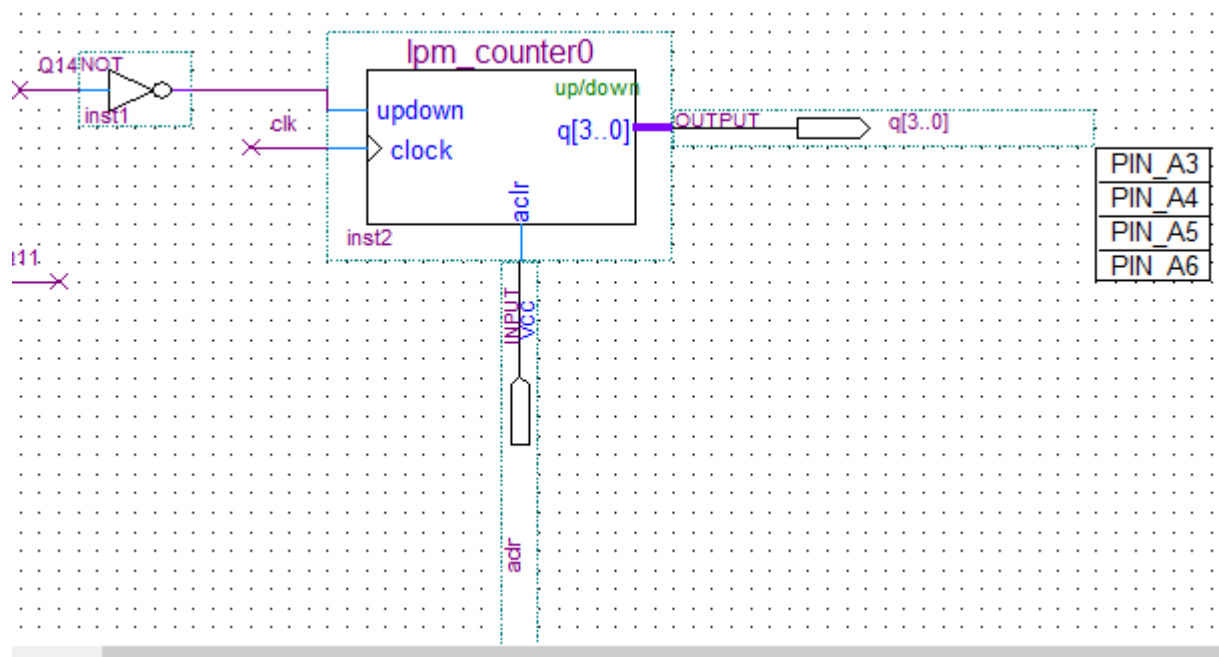


Рисунок 6 – Lpm-счётчик

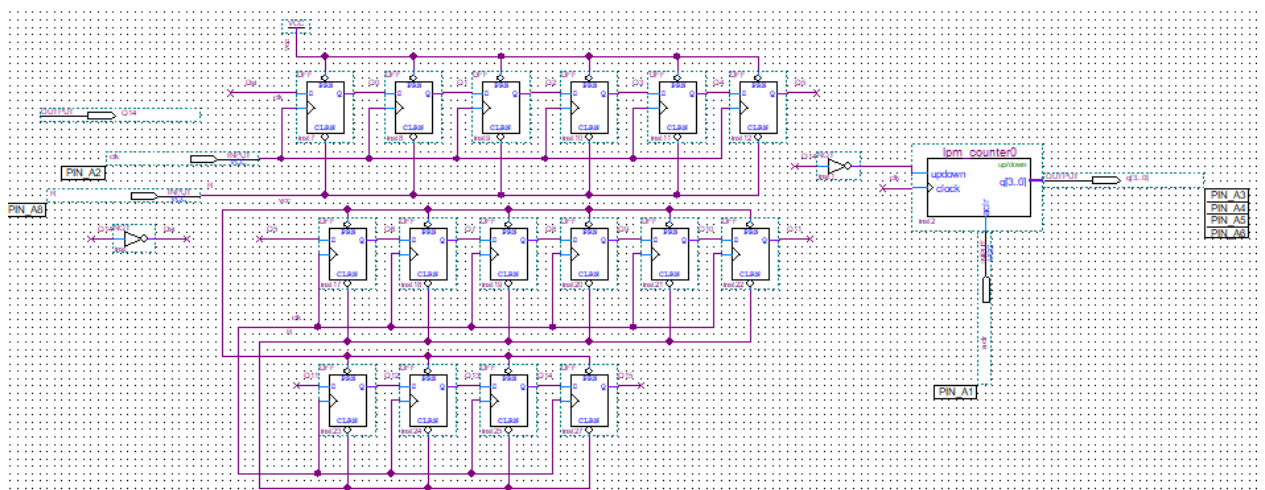


Рисунок 7 – Общая схема

Следует добавить, что входы и выходы у счётчика могут заполняться автоматически, чем и было принято воспользоваться, лишь отредактировав пару параметров относительно схемы, чтобы не было лишних входов-выходов.

Временная диаграмма

Соответствующая временная диаграмма показана на рисунках 8 – 9.

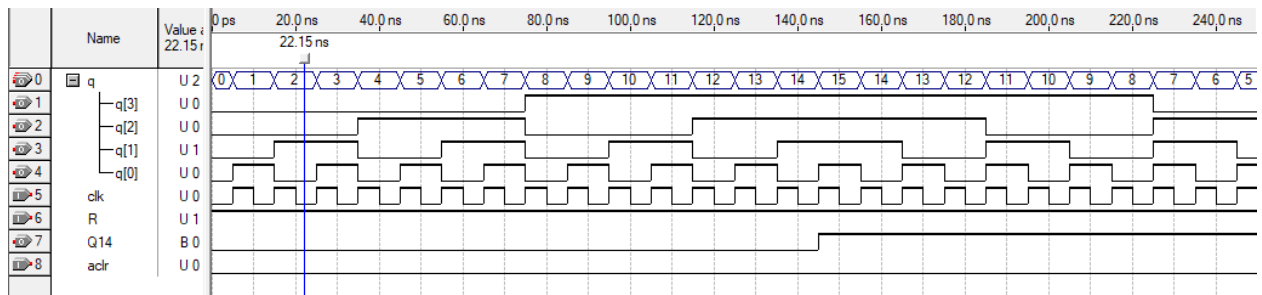


Рисунок 7 – Временная диаграмма

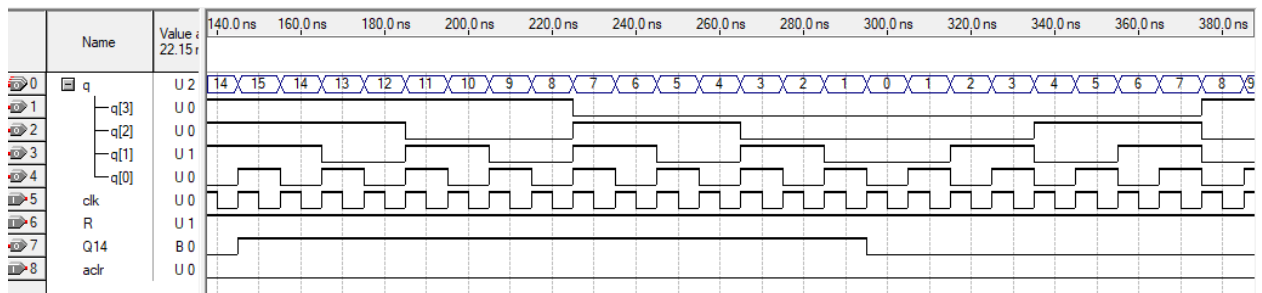


Рисунок 8 – Временная диаграмма

Вдобавок хочется подробнее показать, почему в качестве логической функции Dsi был взят именно выход Q14. Рассмотрим таблицу 2. При каждом нуле у Q14 функция Dsi принимает значение 1 КРОМЕ последнего такта. Это выделено красным на рисунке 9.

| № | Dsi | Q0 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 | Q14 | Q15 |
|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Рисунок 9 – Часть таблицы 2

На самом деле сначала я взяла Q15 в качестве выражения для Dsi, ведь в таком случае действительно без исключений все совпадает. Но по итогу получилась такая диаграмма, как на рисунке 10.

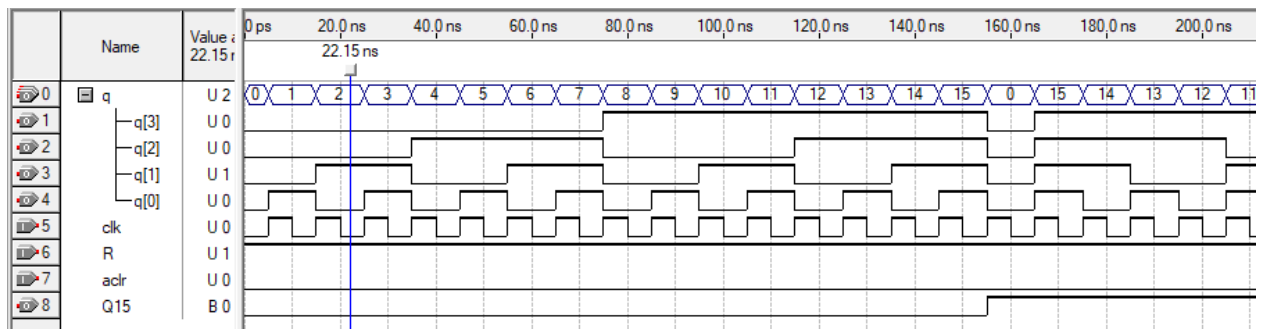


Рисунок 10 – Некорректная временная диаграмма

Как видно из диаграммы, очень не к месту возникающий 0 на переходе с увеличения на спад. Присмотревшись, можно увидеть далее, что при очередной смене с уменьшения на увеличения «лишнего» значения нет, поэтому и получается красивое чередование 1 -> 0 -> 1.

Напрашивалось сместить единичный выход у взятого ранее Q15 буквально на такт вправо, а этим «смещением» из таблицы 2 и получилось Q14. Эту ошибку я заметила визуально благодаря диаграмме, но на самом деле всё и так довольно логично: необходим был переход с 0 на 1 у логического выражения именно в момент перехода от 14 к 15, а не тактом позже, чтобы счётчик не успел сброситься в 0 и не стал скакать из крайности в крайность.

ПЛИС

Искомая ПЛИС изображена на рисунке 11.

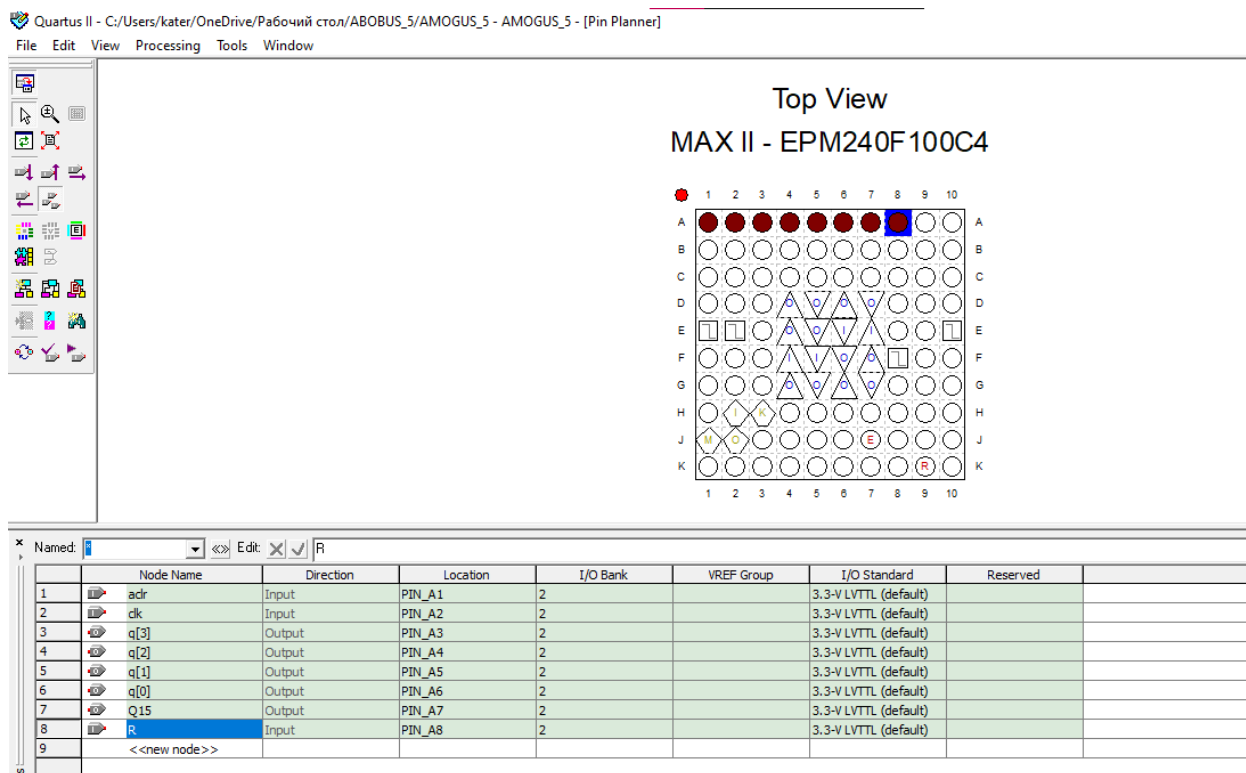


Рисунок 11 - ПЛИС

Выводы

В данной лабораторной работе был разработан проект модуля счетного устройства, работающего по заданному алгоритму, в среде программирования Quartus.

По итогу нет сомнений в том, что созданная схема довольно массивна. Возможно, она может выглядеть куда компактнее или же может состоять из большего числа различных мегафункций, дабы не загромождать проводами, триггерами и иными элементами схему, но и этот вариант имеет место быть, так как он довольно примитивен в своём содержании относительно типов элементов.

Список используемых источников

1. Проектирование встраиваемых систем на ПЛИС. / З. Наваби; перев. с англ. В.В. Соловьева. – М.: ДМК Пресс, 2016. - 464 с.
2. Проектирование цифровых устройств на ПЛИС: учеб. пособие / И.В. Ушенина. - СПб: Лань, 2022. - 408 с.
3. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Д.М. Харрис, С.Л. Харрис; пер. с англ. ImaginationTechnologies. – М.: ДМК Пресс, 2018. -

792 с.

4. Логическое проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем / В В. Соловьев, А. Климович. - М.: Горячая линия - Телеком, 2008. - 376 с. [Библиотечный шифр 681.3 С 60].

5. Проектирование на ПЛИС. Архитектура, средства и методы: Курс молодого бойца = The design warrior's guide to FPGA's: пер. с англ. / К. Максфилд. - М.: ДОДЭКА-XXI, 2007. - 408 с. [Библиотечный шифр 004.4 М 17].

6. Разработка систем цифровой обработки сигналов на базе ПЛИС / Д.С. Потехин, И.Е. Тарасов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 248 с. [Библиотечный шифр 004 П 64]