

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт компьютерных наук и технологий

ВЫСШАЯ ШКОЛА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ И СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3  
«СИНТЕЗ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТНЫХ СХЕМ. СЧЕТЧИКИ.»  
по дисциплине «Архитектура вычислительных систем»

Выполнил  
студент гр.3530903/80302

<подпись>

А.П. Большакова

Руководитель  
доцент, к.т.н.

<подпись>

Н.М. Вербова

«    »                      2020 г.

Санкт-Петербург  
2020

## Цель работы.

Целью данной работы является изучение принципа синтеза последовательных схем на примере синтеза недвоичного счётчика.

## Ход работы.

### 1. Синтез недвоичного вычитающего счётчика.

По заданию работы требовалось построить недвоичный вычитающий счётчик с коэффициентом пересчёта, равным 5. Изначально было определено, на основе какого количества триггеров ( $m$ ) строится такой счётчик:

$$m \geq \lceil \log_5 K_{\text{сч}} \rceil = \lceil \log_5 5 \rceil \approx 2.32; m = 3$$

Далее было вычислено количество избыточных состояний счётчика:

$$N = 2^m - K_{\text{сч}} = 8 - 5 = 3$$

Из возможных состояний счётчика были исключены три состояния:  $\overline{Q_1} \overline{Q_2} \overline{Q_3}$ ,  $Q_1 \overline{Q_2} \overline{Q_3}$  и  $\overline{Q_1} Q_2 \overline{Q_3}$ . Было учтено, что требуемый счётчик – вычитающий, а значит номер последующего состояния должен быть на единицу меньше номера предыдущего состояния. Таким образом, порядок изменения состояний счётчика при этом оказался следующим:

$$Q_1 Q_2 Q_3; \overline{Q_1} Q_2 Q_3; Q_1 \overline{Q_2} Q_3; \overline{Q_1} \overline{Q_2} Q_3; Q_1 Q_2 \overline{Q_3}; Q_1 Q_2 Q_3 \text{ и т.д.}$$

Была составлена таблица функционирования счётчика (Таблица 1):

| № сост. | $Q_1^t$ | $Q_2^t$ | $Q_3^t$ | $Q_1^{t+1}$ | $Q_2^{t+1}$ | $Q_3^{t+1}$ |
|---------|---------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|
| 0       | 1       | 1       | 1       | 0           | 1           | 1           |
| 1       | 0       | 1       | 1       | 1           | 0           | 1           |
| 2       | 1       | 0       | 1       | 0           | 0           | 1           |
| 3       | 0       | 0       | 1       | 1           | 1           | 0           |
| 4       | 1       | 1       | 0       | 1           | 1           | 1           |

Таблица 1 – Таблица функционирования счётчика.

На основании таблицы функционирования счётчика были составлены прикладные таблицы для каждого триггера счётчика (Таблицы 2-4). Прикладные таблицы отражают переход данного триггера из предыдущего состояния в последующее. Для составления прикладных таблиц в клетки карты, соответствующие номерам предыдущих состояний автомата, вписываются 2-разрядные двоичные числа, выражающие переход триггера при изменении состояния автомата. В этих таблицах прочёркнутые клетки соответствуют исключённым состояниям счётчика.

|                               |       |       |                  |                  |
|-------------------------------|-------|-------|------------------|------------------|
| $Q_1^t \rightarrow Q_1^{t+1}$ | $Q_2$ | $Q_2$ | $\overline{Q_2}$ | $\overline{Q_2}$ |
|-------------------------------|-------|-------|------------------|------------------|

|                  |                  |       |       |                  |
|------------------|------------------|-------|-------|------------------|
|                  |                  |       |       |                  |
| $Q_3$            | 01               | 10    | 10    | 01               |
| $\overline{Q_3}$ | -                | 11    | -     | -                |
|                  | $\overline{Q_1}$ | $Q_1$ | $Q_1$ | $\overline{Q_1}$ |

Таблица 2 – Прикладная таблица для  $Q_1$ .

|                               |                  |       |                  |                  |
|-------------------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| $Q_2^t \rightarrow Q_2^{t+1}$ | $Q_2$            | $Q_2$ | $\overline{Q_2}$ | $\overline{Q_2}$ |
| $Q_3$                         | 10               | 11    | 00               | 01               |
| $\overline{Q_3}$              | -                | 11    | -                | -                |
|                               | $\overline{Q_1}$ | $Q_1$ | $Q_1$            | $\overline{Q_1}$ |

Таблица 3 – Прикладная таблица для  $Q_2$ .

|                               |                  |       |                  |                  |
|-------------------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| $Q_3^t \rightarrow Q_3^{t+1}$ | $Q_2$            | $Q_2$ | $\overline{Q_2}$ | $\overline{Q_2}$ |
| $Q_3$                         | 11               | 11    | 11               | 10               |
| $\overline{Q_3}$              | -                | 01    | -                | -                |
|                               | $\overline{Q_1}$ | $Q_1$ | $Q_1$            | $\overline{Q_1}$ |

Таблица 4 – Прикладная таблица для  $Q_3$ .

В качестве элементной базы были выбраны триггеры J-K типа K155TB1 (SN7472). J-K триггеры имеют следующую характеристическую таблицу (Таблица 5):

|                           |       |       |
|---------------------------|-------|-------|
| $Q^t \rightarrow Q^{t+1}$ | $J^t$ | $K^t$ |
| 00                        | 0     | *     |
| 01                        | 1     | *     |
| 10                        | *     | 1     |
| 11                        | *     | 0     |

Таблица 5 – Характеристическая таблица для J-K-триггера.

На основании полученных прикладных таблиц и характеристической таблицы J-K триггера были составлены карты Карно для J- и K- входов каждого триггера (Таблицы 6-11). Для этого 2-разрядные двоичные числа в прикладных таблицах были заменены соответствующими обобщёнными значениями из клеток характеристической таблицы для каждого входа триггера.

|                  |                  |       |                  |                  |
|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| $J_1$            | $Q_2$            | $Q_2$ | $\overline{Q_2}$ | $\overline{Q_2}$ |
| $Q_3$            | 1                | *     | *                | 1                |
| $\overline{Q_3}$ | -                | *     | -                | -                |
|                  | $\overline{Q_1}$ | $Q_1$ | $Q_1$            | $\overline{Q_1}$ |

Таблица 6 – Карта Карно для входа  $J_1$ .

|                  |                  |       |                  |                  |
|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| $J_2$            | $Q_2$            | $Q_2$ | $\overline{Q_2}$ | $\overline{Q_2}$ |
| $Q_3$            | *                | *     | 0                | 1                |
| $\overline{Q_3}$ | -                | *     | -                | -                |
|                  | $\overline{Q_1}$ | $Q_1$ | $Q_1$            | $\overline{Q_1}$ |

Таблица 7 – Карта Карно для входа  $J_2$ .

|                  |                  |       |                  |                  |
|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| $J_3$            | $Q_2$            | $Q_2$ | $\overline{Q_2}$ | $\overline{Q_2}$ |
| $Q_3$            | *                | *     | *                | *                |
| $\overline{Q_3}$ | -                | 1     | -                | -                |
|                  | $\overline{Q_1}$ | $Q_1$ | $Q_1$            | $\overline{Q_1}$ |

Таблица 8 – Карта Карно для входа  $J_3$ .

|                  |                  |       |                  |                  |
|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| $K_1$            | $Q_2$            | $Q_2$ | $\overline{Q_2}$ | $\overline{Q_2}$ |
| $Q_3$            | *                | 1     | 1                | *                |
| $\overline{Q_3}$ | -                | 0     | -                | -                |
|                  | $\overline{Q_1}$ | $Q_1$ | $Q_1$            | $\overline{Q_1}$ |

Таблица 9 – Карта Карно для входа  $K_1$ .

|                  |                  |       |                  |                  |
|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| $K_2$            | $Q_2$            | $Q_2$ | $\overline{Q_2}$ | $\overline{Q_2}$ |
| $Q_3$            | 1                | 0     | *                | *                |
| $\overline{Q_3}$ | -                | 0     | -                | -                |
|                  | $\overline{Q_1}$ | $Q_1$ | $Q_1$            | $\overline{Q_1}$ |

Таблица 10 – Карта Карно для входа  $K_2$ .

|       |       |       |                  |                  |
|-------|-------|-------|------------------|------------------|
| $K_3$ | $Q_2$ | $Q_2$ | $\overline{Q_2}$ | $\overline{Q_2}$ |
|-------|-------|-------|------------------|------------------|

|                  |                  |       |       |                  |
|------------------|------------------|-------|-------|------------------|
| $Q_3$            | 0                | 0     | 0     | 1                |
| $\overline{Q_3}$ | -                | *     | -     | -                |
|                  | $\overline{Q_1}$ | $Q_1$ | $Q_1$ | $\overline{Q_1}$ |

Таблица 11 – Карта Карно для входа  $K_3$ .

В результате был получен набор карт Карно, отражающих значения логических функций на всех входах каждого триггера в зависимости от состояний счётчика. Было учтено, что в прочёркнутых клетках, как и в клетках со звёздочками, функция не определена, а значит при проведении контуров (красные границы в Таблицах 6-11) в картах Карно данные клетки можно доопределить по своему усмотрению.

Из полученного набора карт Карно были составлены логические уравнения входов триггеров, которые связывают между собой входы и выходы всех триггеров счётчика:

$$J_1^t = 1; K_1^t = Q_3;$$

$$J_2^t = \overline{Q_1}; K_2^t = \overline{Q_1};$$

$$J_3^t = 1; K_3^t = \overline{Q_1} \overline{Q_2};$$

По полученным уравнениям был в Multisim построен требуемый счётчик (Рисунок 1):

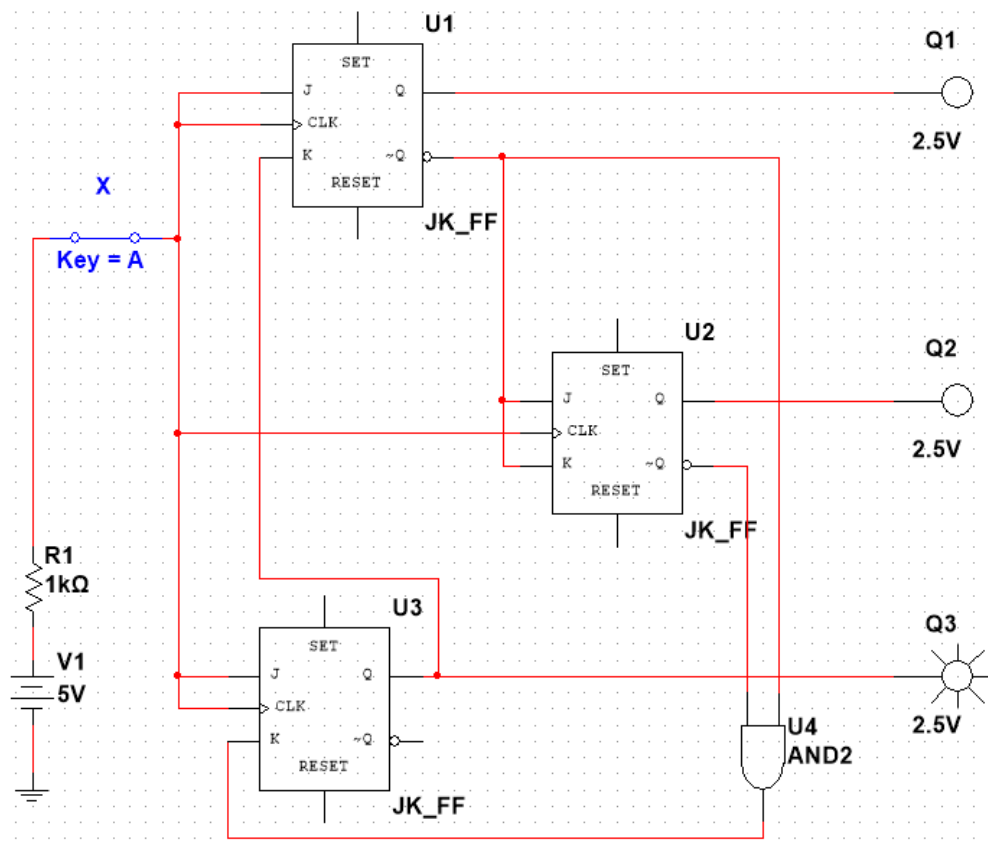


Рисунок 1 – Синтезированный не двоичный вычитающий счётчик.

## 2. Счётчик на ИС K155ИЕ6 (SN74192).

Счётчик на ИС K155ИЕ6 является синхронным, т. е. у него все триггеры переключаются одновременно от одного счётного импульса. Счётный разряд построен на основе типового J-K триггера. Направление счёта определяется тем, на какой из счётных входов («+1» или «-1») будет подан импульс с активным низким уровнем. По положительному перепаду этого импульса ( $0 \rightarrow 1$ ) выполняется счёт. В это время на другом счётном входе должен быть высокий уровень напряжения, т. е. логическая «1». Для исследования работы ИС K155ИЕ6 была предоставлена специальная схема (Рисунок 2):

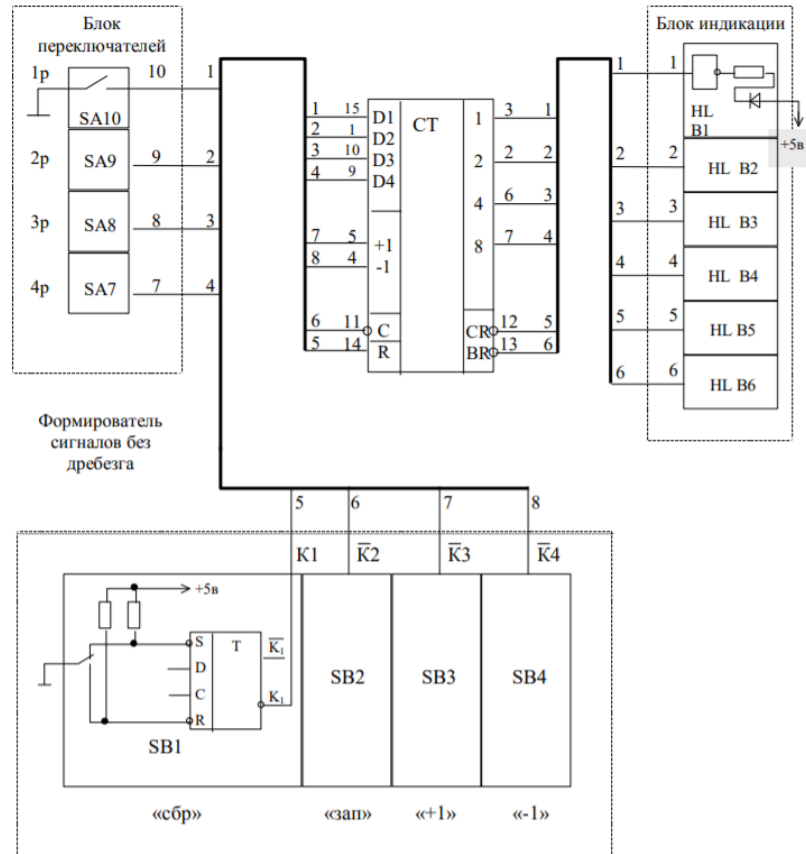
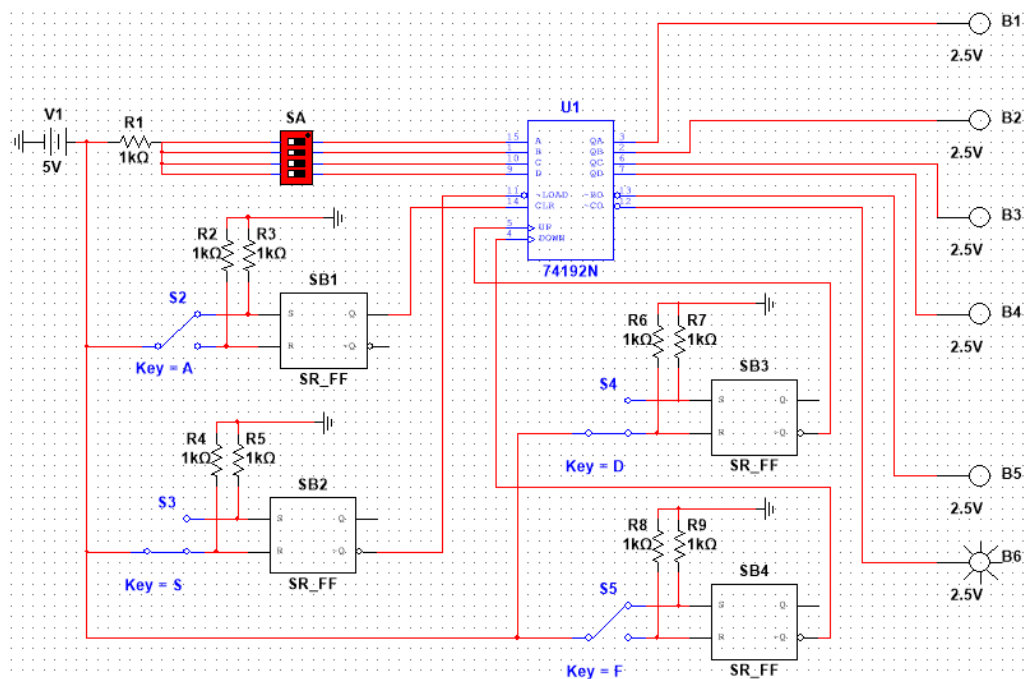


Рисунок 2 – Схема для исследования ИС K155ИЕ6.

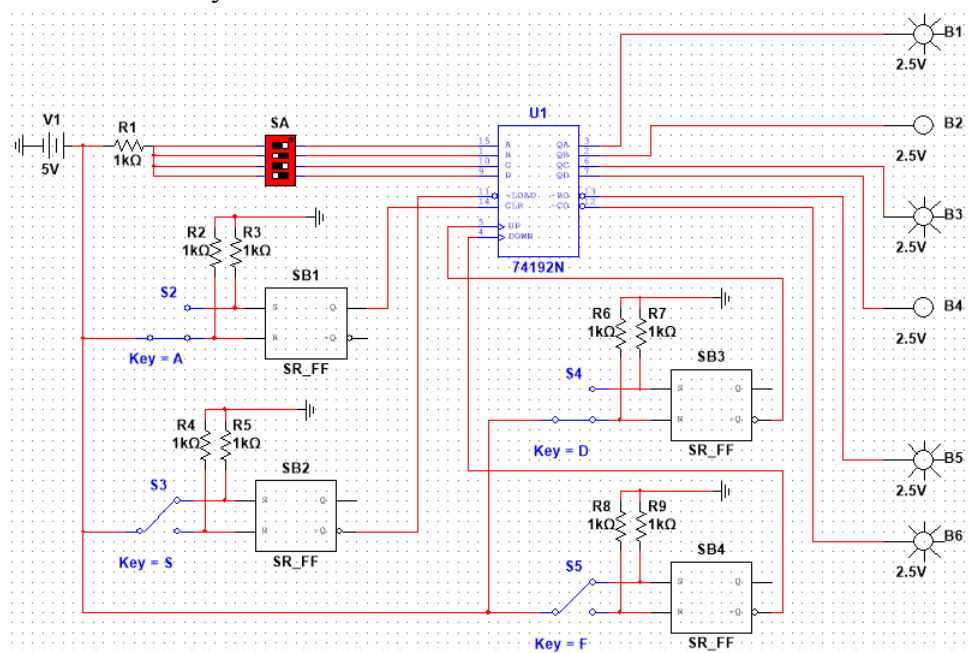
Данная схема была перенесена в Multisim для проверки её работы в различных режимах. Вместо ИС K155ИЕ6 использовался его аналог – 74192N.

Исследование работы заключалось в выполнении следующих действий:

- По R-входу счётчик был установлен в «0», выполнение операции представлено на Рисунке 3:



- по  $\bar{C}$ - и D-входам в счётчик было записано число «5», выполнение операции представлено на Рисунке 4:



- С помощью подачи на входы «+1» и «-1» счётные импульсы была проверена правильность функционирования счётчика. На Рисунке 5 представлено увеличение значения на единицу (с «5» до «6»):

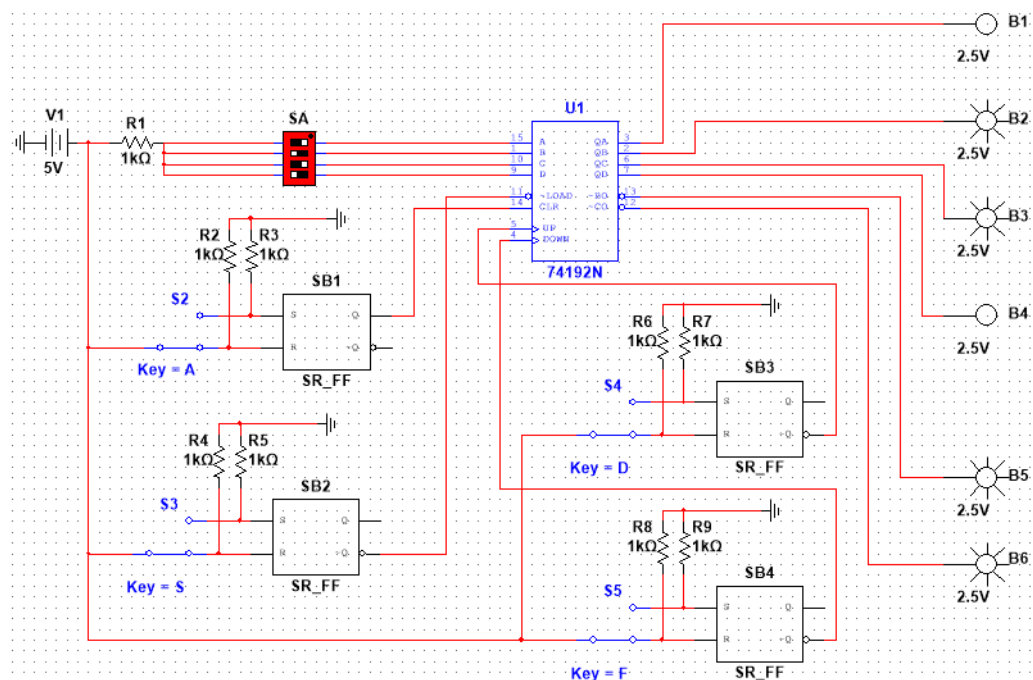


Рисунок 5 – Увеличение значения на единицу.

Далее была исследована работа счётчика при суммировании в динамике. Для этого его вход «+1» был подключен к выходу функционального генератора, а его выходы всех четырёх разрядов были подключены к входам логического анализатора (Рисунок 6). С помощью логического анализатора были получены осциллограммы сигналов на выходах счётчика в последовательности разрядов от младшего к старшему (1-2-4-8) (Рисунок 7), соответствующие ожидаемым.

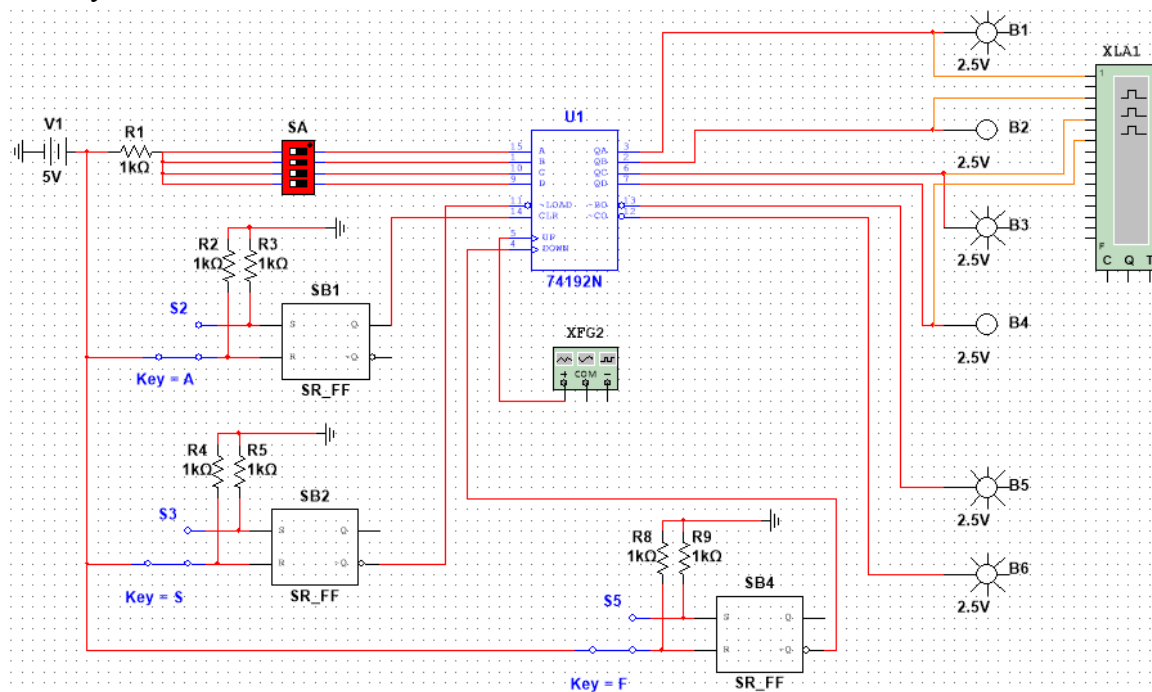


Рисунок 6 – Схема с функциональным генератором и логическим анализатором.



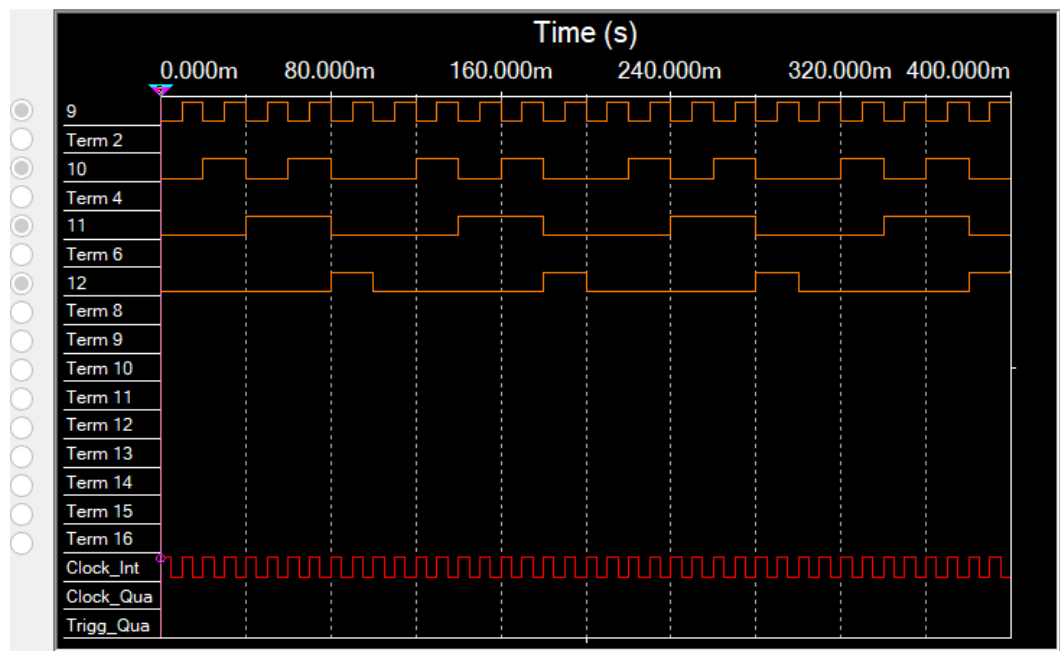


Рисунок 7 – Осциллограммы сигналов.  
Clock\_Int соответствует C, 9 – 1-му разряду, 10 – 2-му, 11 – 3-му, 12 – 4-му.

### 3. Суммирующий счётчик с $K_{сч} = 6$ .

Чтобы сконструировать на базе ИС K155ИЕ6 суммирующий счётчик с коэффициентом пересчёта равным 6 был синтезирован дешифратор, распознающий на счётчике число 6 представляемое в двоичной системе кодом «0110». Легко видеть, что на выходе такого дешифратора высокий уровень сигнала будет только на одном наборе входных сигналов. Такой схеме соответствует следующая переключательная функция:

$$Y = \overline{X_1} X_2 X_3 \overline{X_4}.$$

Видоизменение ранее собранной схемы заключалось в добавлении такого дешифратора, состоящего из элементов «И» и «НЕ», подачу на его вход выходов всех четырёх разрядов сумматора в соответствующем порядке и подключение его выхода к входу сумматора, отвечающего за обнуление. Так как к обнуляющему входу уже был подключён другой провод, был добавлен элемент «ИЛИ». В результате был получен требуемый суммирующий счётчик с  $K_{сч} = 6$  (Рисунок 8):

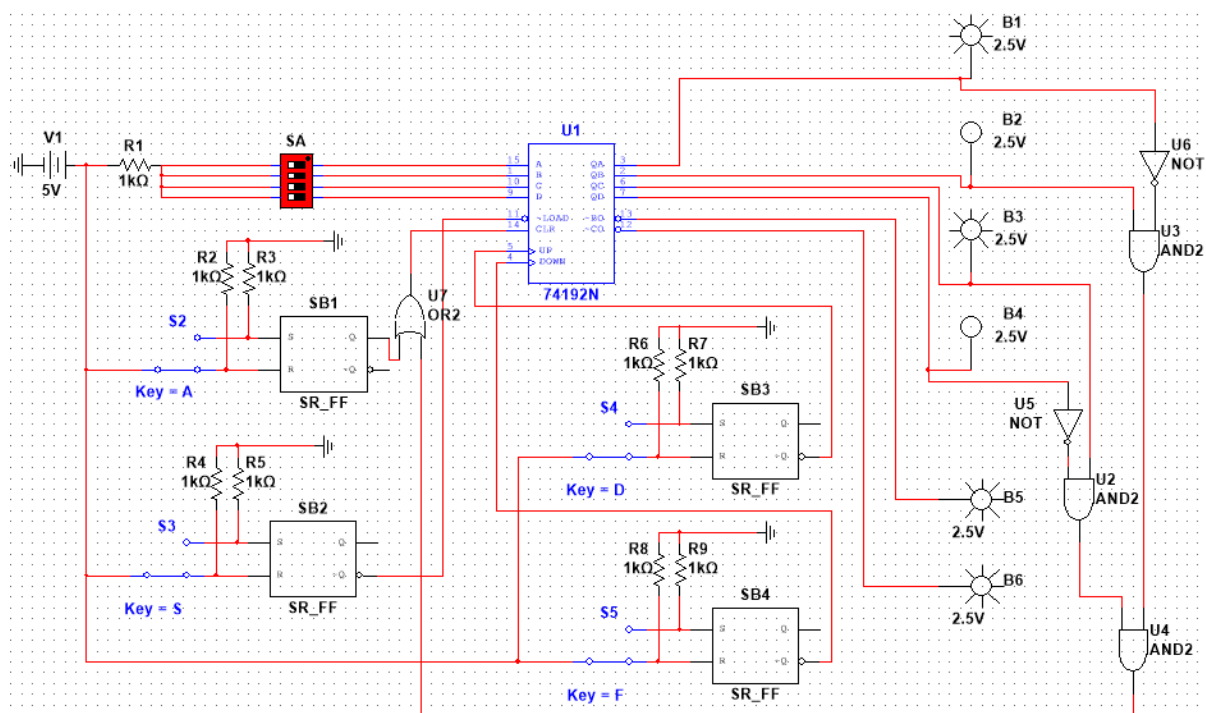


Рисунок 8. Суммирующий счётчик с  $K_{сч} = 6$ .

## Вывод.

В ходе лабораторной работы была синтезирована схема не двоичного вычитающего счётчика с коэффициентом пересчёта, равным 5, затем внесённая в Multisim. Также был изучен принцип работы счётчика на ИС K155IE6 (SN74192). Помимо этого, на базе счётчика ИС K155IE6 (SN74192) была синтезирована схема счётчика с коэффициентом пересчёта, равным 6, был осуществлён её ввод в Multisim. Таким образом, был изучен принцип работы синтезированного счётчика.