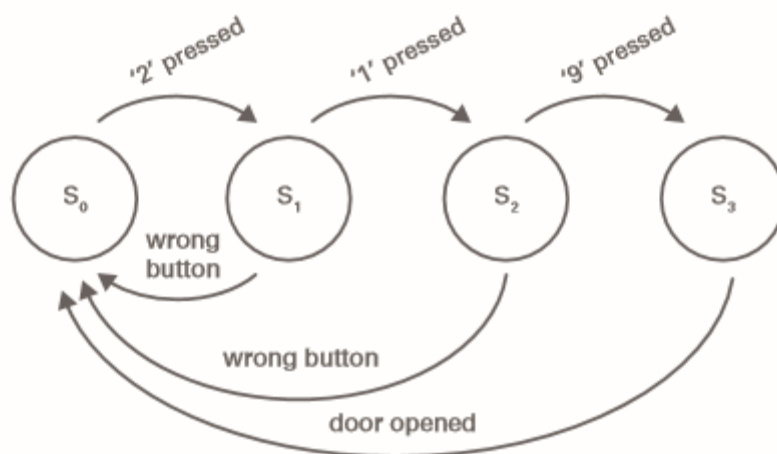


# Руководство к лабораторному практикуму: Введение в цифровую электронику

С использованием платы Digilent Digital Electronics для NI ELVIS III



Лабораторная работа 12:  
Конечные автоматы

All rights reserved. Данный ресурс и любые его части не могут быть скопированы или в любой форме воспроизведены иным способом без письменного разрешения издателя.

National Instruments относится с уважением к чужой интеллектуальной собственности и призывает к этому же своих читателей. Данный ресурс защищен законами об охране авторских прав и прав на интеллектуальную собственность. Вы имеете право передавать программное обеспечение и прочие материалы, разработанные с помощью описанного в данном ресурсе программного обеспечения, третьим лицам в соответствии с условиями приобретенной вами лицензии и другими законодательными ограничениями.

LabVIEW и National Instruments являются торговыми марками National Instruments.

Названия других упомянутых торговых марок и изделий являются собственностью их правообладателей.

**Дополнительные ограничения ответственности:** Читатель принимает все риски от использования данного ресурса и всей информации, теорий и программ, содержащихся или описанных в нем. Данный ресурс может содержать технические неточности, типографические ошибки, прочие ошибки и упущения, и устаревшую информацию. Ни автор, ни издатель не несут ответственности за любые ошибки или неточности, за обновление любой информации и за любые нарушения патентного права и прочих прав на интеллектуальную собственность.

Ни автор, ни издатель не дают никаких гарантий, включая, но не ограничиваясь, любую гарантию на достаточность ресурса и любой информации, теорий или программ, содержащихся или описанных в нем, и любую гарантию, что использование любой информации, теорий или программ, содержащихся или описанных в ресурсе, не нарушит любое патентное право или иное право на интеллектуальную собственность. РЕСУРС ПОСТАВЛЯЕТСЯ "КАК ЕСТЬ". ИЗДАТЕЛЬ ЗАЯВЛЯЕТ ОБ ОТКАЗЕ ОТ ЛЮБЫХ ГАРАНТИЙ, ЯВНО ВЫРАЖЕННЫЕ ИЛИ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫХ, ВКЛЮЧАЯ, НО НЕ ОГРАНИЧИВАЯСЬ, ЛЮБЫЕ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫЕ ГАРАНТИИ ТОВАРНОГО СОСТОЯНИЯ, ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ КОНКРЕТНОЙ ЦЕЛИ И НЕНАРУШЕНИЯ ПРАВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ.

Издатель или автор не предоставляют прав или лицензий под любым патентным правом или иным правом на интеллектуальную собственность прямо, косвенно или лишением права на возмещение.

НИ ПРИ КАКИХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ ИЗДАТЕЛЬ ИЛИ АВТОР НЕ НЕСУТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ПРЯМЫЕ, КОСВЕННЫЕ, ОСОБЫЕ, СЛУЧАЙНЫЕ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИЛИ ВТОРИЧНЫЕ УБЫТКИ, ПОНЕСЕННЫЕ ИЗ-ЗА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭТОГО РЕСУРСА ИЛИ ЛЮБОЙ ИНФОРМАЦИИ, ТЕОРИЙ ИЛИ ПРОГРАММ, СОДЕРЖАЩИХСЯ ИЛИ ОПИСАННЫХ В НЕМ, ДАЖЕ БУДУЧИ ПРЕДУПРЕЖДЕННЫ О ВОЗМОЖНОСТИ ПОДОБНЫХ УБЫТКОВ, И ДАЖЕ ЕСЛИ УБЫТКИ ВЫЗВАНЫ НЕБРЕЖНОСТЬЮ ИЗДАТЕЛЯ, АВТОРА ИЛИ ИНЫХ ЛИЦ, Применимое законодательство может не разрешить исключение или ограничение случайных или косвенных убытков, поэтому приведенные выше ограничения или исключения могут вас не касаться.

## Лабораторная работа 12: Конечные автоматы

В этой лабораторной работе вы познакомитесь с новым методом проектирования, основанным на использовании модели конечного автомата. Конечный автомат представляет различные возможные состояния системы и комбинации входных переменных, необходимые для достижения этих состояний. Вы исследуете различные типы светофоров, а также, как конечные автоматы могут быть использованы для их моделирования.

### Цель работы

В этой лабораторной работе студенты должны:

1. Ознакомиться с различными методами и компонентами, применяемыми для создания светофоров.
2. Создать таблицу истинности для исследования поведения схемы в трех разных состояниях.
3. Создать подсхемы для моделирования управления одно- и двусторонним движением.
4. Закрепить знания особенностей использования сигналов синхронизации и счетчиков.
5. Использовать функциональный генератор NI ELVIS.

## Необходимые инструментальные средства и технологии

Платформа: NI ELVIS III

Измерительные приборы/компоненты, используемые в этой лабораторной работе:

- Функциональный генератор

**Примечание:** для работы с приборами требуется набор кабелей и аксессуаров для NI ELVIS III (приобретаются отдельно).

- ✓ Руководство пользователя:  
<http://www.ni.com/en-us/support/model.ni-elvis-iii.html>
- ✓ Учебные пособия:  
[https://www.youtube.com/playlist?list=PLvcPluVaUMIWm8ziaSxv0gwtshBA2dh\\_M](https://www.youtube.com/playlist?list=PLvcPluVaUMIWm8ziaSxv0gwtshBA2dh_M)
- ✓ Установка поддержки программной лицевой панели:  
<http://www.ni.com/documentation/en/ni-elvis-iii/latest/getting-started/installing-the-soft-front-panel/>

Технические средства:  
плата Digilent Digital Electronics Board for NI ELVIS III

- ✓ Руководство пользователя NI Digital Electronics Board:  
<http://www.ni.com/pdf/manuals/376627b.pdf>

Программное обеспечение: NI Multisim 14.0.1 Education Version или выше

- ✓ Установка Multisim:  
[http://www.ni.com/gate/gb/GB\\_ACA\\_DEMICEVALMULTISIM/US](http://www.ni.com/gate/gb/GB_ACA_DEMICEVALMULTISIM/US)
- ✓ Справка Multisim Help:  
<http://www.ni.com/multisim/technical-resources/>

Программное обеспечение:  
NI LabVIEW FPGA Vivado 2014.4

- ✓ Установка:  
<http://www.ni.com/download/labview-fpga-module-2015-sp1/5920/en/>

**Примечание:** драйвер Digilent (Инсталлятор, указанный выше, автоматически загружает на ваш компьютер инсталлятор, указанный ниже)

- ✓ Перейдите по ссылке:  
C:\NIFPGA\programs\Vivado2014\_4\data\xicom\cable\_drivers\nt64\digilent
- ✓ Установите: install\_digilent.exe

## Ожидаемые результаты

В этой лабораторной работе вы должны собрать для отчета:

- Характеристическую таблицу
- Скриншоты схемы и подсхем PLD (ПЛИС)
- Схему светофора для управления двусторонним движением
- Ответы на вопросы из раздела *Заключение*

Преподавателю, скорее всего, необходимо предъявить полный отчет о работе. Узнайте у вашего преподавателя, есть ли конкретные требования к отчету или шаблон для его оформления.

## 1.1 Сведения из теории

### What are Finite State Machines?

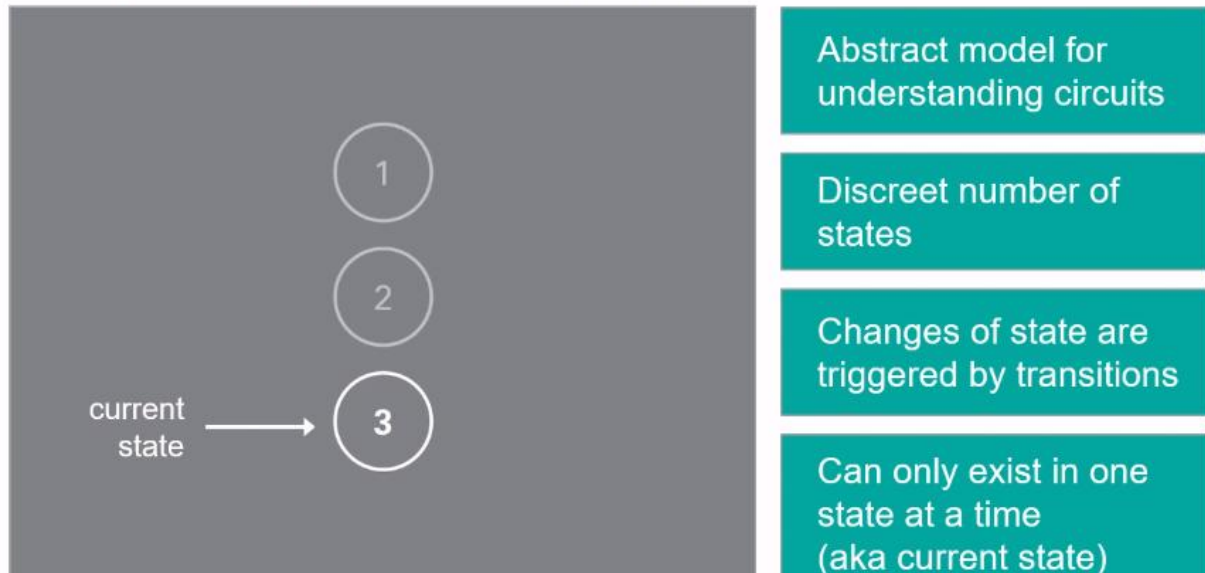


Рисунок 1-1 Скриншот видео. Просмотр видео здесь: [https://youtu.be/I0HBrCE\\_HOI](https://youtu.be/I0HBrCE_HOI)



#### Краткое содержание видео

- Конечный автомат – это абстрактная модель, используемая для понимания функционирования схем
- Количество состояний любого конечного автомата ограничено
- Изменения состояния связаны с переходами
- В любой момент времени конечный автомат может находиться только в одном состоянии, которое называется текущим

## Конечные автоматы

*Конечный автомат (Finite State Machine – FSM)* – абстрактная модель, используемая для описания поведения объекта.

- В графическом виде каждый *кружок* представляет *состояние* системы, а каждая *стрелка* – *переход* в другое состояние.
- Количество кружков конечно, т.к. ограничено число возможных состояний.
- В любой момент времени конечный автомат может находиться только в одном состоянии, которое называется *текущим* состоянием.
- Метки стрелок представляют собой *события*, которые инициируют переход между состояниями.
- Конечные автоматы используются:
  - В торговых автоматах для выдачи продукта, соответствующего внесенной сумме денег.
  - В лифтах – для высаживания людей на верхних этажах прежде чем спуститься вниз.
  - В светофорах – для управления последовательностью изменения цветов по заданному временному графику.

Ниже показан пример простого конечного автомата, представляющего собой систему, которая разблокируется при правильной последовательности нажатия кнопок. Рассмотрим пример для двери с кодовым замком.

- В состоянии 0 (**S0**) дверь закрыта.
- При нажатии кнопки '**2**' автомат переходит из состояния **S0** в **S1**.
- Из состояния **S1** можно перейти в состояние **S2** при нажатии кнопки '**1**' и в состояние **S0** при нажатии любой другой кнопки.
- **S3** представляет состояние, в котором замок открыт. После открытия двери замок снова активируется.

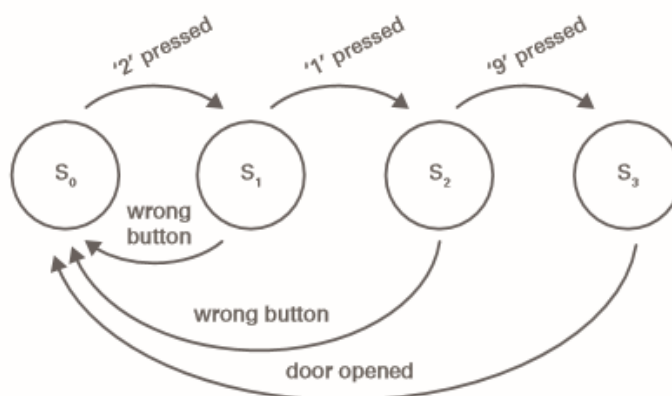


Рисунок 1-2 Простой конечный автомат

Управление сигналами светофора можно смоделировать с помощью следующих компонентов:



*Рисунок 1-3 Схема компонентов светофора*

Timer – таймер, Counter – Счетчик, LED – светодиод

1-1 Кратко опишите назначение каждого компонента этой системы, и как он связан с функционированием светофора.

- Создайте характеристическую таблицу для конечного автомата с **16 состояниями**, соответствующими **4 входам**. **Зеленый** свет должен быть включен в **8 состояниях**, **желтый** в **3**, **красный** в **5**.
- Например, в таблице ниже 4 входных переменных. Когда все входные переменные равны **0**, состояние "**зеленый свет**" истинно (**1**), а состояния "**желтый свет**" и "**красный свет**" ложны (**0**).

A	B	C	D	Green	Yellow	Red
0	0	0	0	1	0	0

*Рисунок1-4 Часть характеристической таблицы конечного автомата с 16 состояниями*

**Примечание:** Помните, что если одно состояние истинно (1), другие два должны быть ложны (0).

- Приложите к отчету набросок, рисунок или скриншот вашей характеристической таблицы.

## 1.2 Разработка проекта PLD "Светофор"

### Часть 1

- Запустите Multisim
- Откройте новую схему PLD
- Снимите флажки со всех контактов разъема

Вы создадите подсхему, которая использует тактовые импульсы для инкремента 4-разрядного счетчика.

- Для создания подсхемы разместите на экране следующие компоненты:
  - 4-разрядный счетчик (**CNTR\_4BIN\_S**)
  - входной контакт (назовите его **Clk**)
  - 4 выходных контакта (назовите их **QA, QB, QC, QD**)
  - инвертор
  - цифровую константу высокого уровня и цифровую константу низкого уровня
- Выполните соединения по схеме, показанной на рисунке ниже:

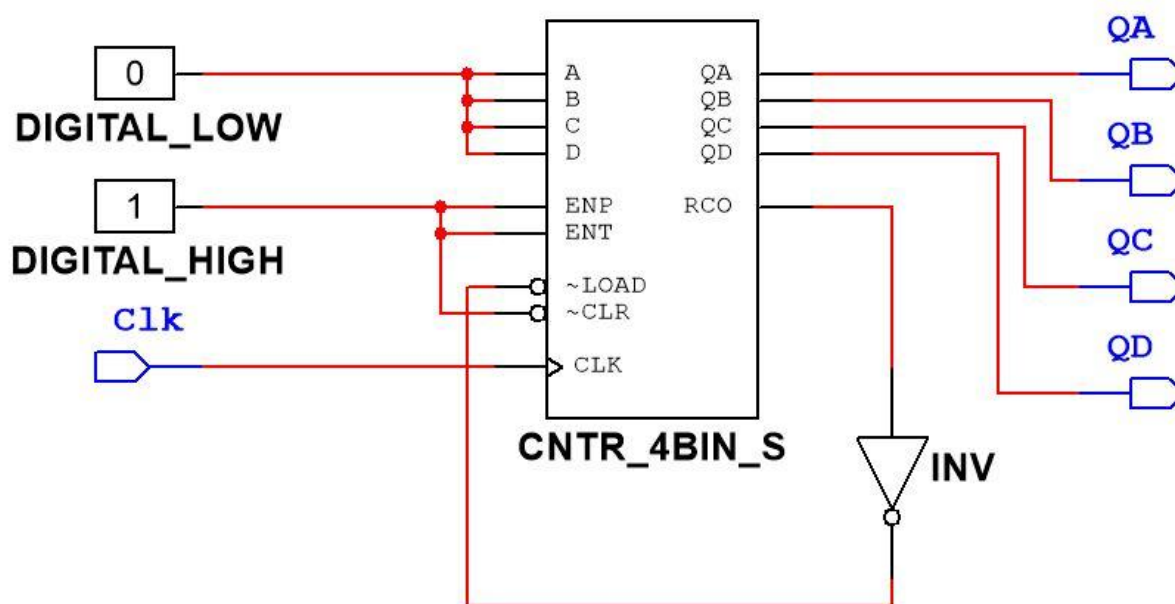


Рисунок 1-5 Принципиальная схема

## Часть 2

Теперь необходимо подключить четыре выхода счетчика (QA, QB, QC и QD) к схеме управления светофором.

- Создайте в главном проекте PLD новую подсхему и назовите ее **Light**.
- Откройте подсхему **Light** и создайте три варианта для трех цветов: **Red**, **Green** и **Yellow**
- Разместите на подсхеме следующие разъемы:
  - 4 входных контакта **QA, QB, QC и QD**
  - 3 выходных контакта **MainGreen, MainYellow и MainRed**
- Разработайте подсхемы для отдельных цветов, используя логические элементы

**Примечание:** Вы можете использовать ранее созданную характеристическую таблицу либо заполнить ее сейчас для определения логики формирования трех цветов.

- Соберите схему, как показано на рисунке ниже:

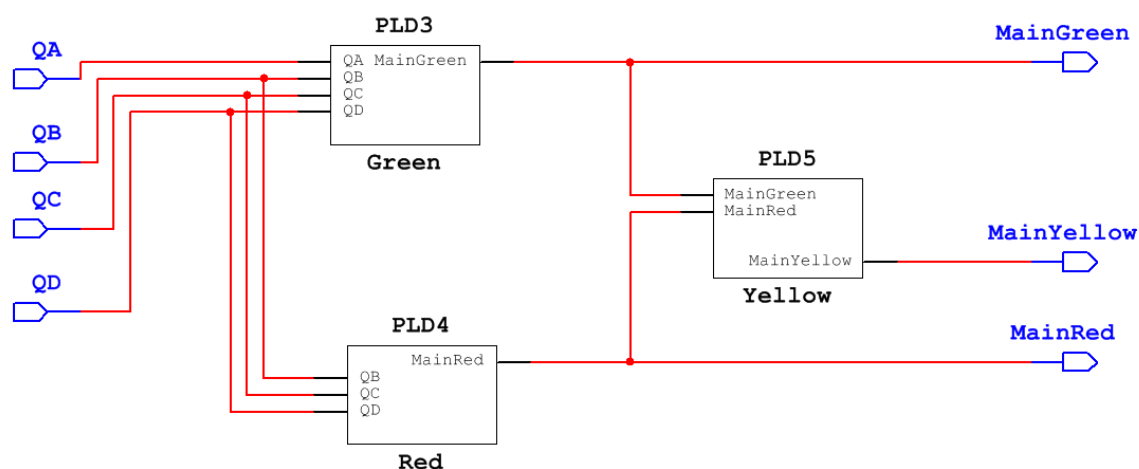


Рисунок 1-6 Принципиальная схема

### Часть 3

Теперь можно протестировать светофор в Multisim.

В главном проекте PLD:

- Подключите генератор импульсов ко входу **Clk** подсхемы **Counter** и установите частоту генерируемых импульсов равной **5 Гц**
- Подключите пробники **red**, **yellow** и **green** к соответствующим выходам подсхемы **Light**

Готовая схема должна выглядеть так:

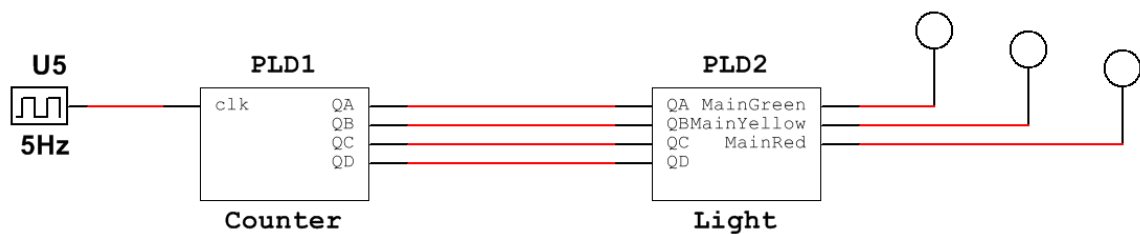


Рисунок 1-7 Принципиальная схема

### 1.3 Тестирование модели светофора для управления односторонним движением в проекте PLD

#### Порядок выполнения:

- Запустите моделирование схемы и наблюдайте за сменой цветов в одном цикле (зеленый - желтый - красный)

1-2 Какова длительность одного цикла смены цветов?

---

---

1-3 Как долго горит зеленый свет?

---

---

1-4 Соответствует ли это 8 из 16 возможных состояний?

---

---

- Когда закончите эксперимент, **остановите** моделирование.

## 1.4 Использование функционального генератора

### Настройка функционального генератора

Теперь вы должны развернуть проект на плате Digital Electronics. Однако генератор импульсов из Multisim развернуть нельзя. В качестве источника тактовых импульсов для счетчика можно использовать функциональный генератор. Функциональный генератор NI ELVISmx Function Generator – это программа, позволяющая настраивать частоту сигналов, подаваемых в FPGA через разъем BNC, установленный на платформе ELVIS.

- Подключите кабель BNC к порту FGEN платформы ELVIS. Подключите красную клипсу к проводнику и вставьте проводник в выходной контакт **BB\_S\_DIO4**. Аналогичным образом подключите черную клипсу к проводнику и подключите его к гнезду **GND**.
- Внесите следующие изменения в настройки по умолчанию функционального генератора:
  - Waveform **Square**
  - Frequency: **5 Hz**
  - Amplitude: **3,00 Vpp**
- Убедитесь, что функциональный генератор успешно распознал устройство (**NI ELVIS III**) и маршрут сигнала (**FGEN BNC**). Плата ELVIS должна быть включена.

На следующем рисунке показаны необходимые настройки.

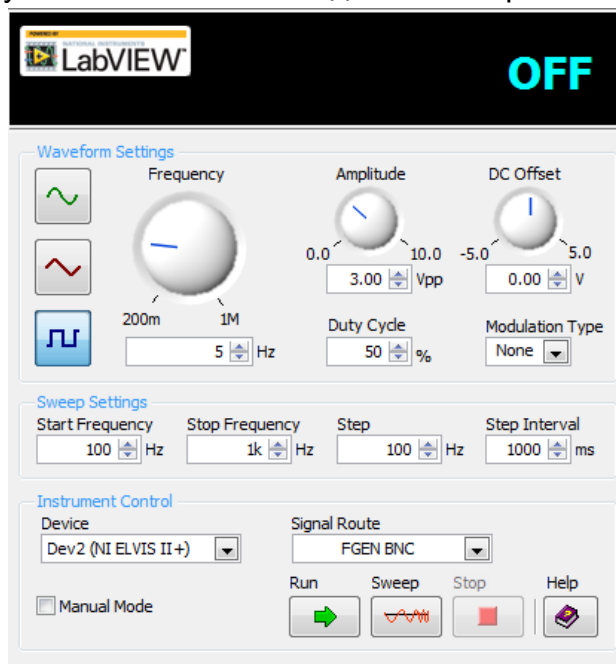


Рисунок 1-8 Настройки генератора

## Развертывание схемы на плате Digital Electronics

Для развертывания проекта на плате Digital Electronics генератор импульсов и пробники необходимо заменить компонентами PLD.

- В главном проекте PLD замените пробники выходными контактами **BB\_S\_DIO0** и **BB\_S\_DIO2**
- Замените генератор импульсов на входной контакт **BB\_S\_DIO4** (который подключается к функциональному генератору)

Ваш главный проект PLD должен выглядеть так:

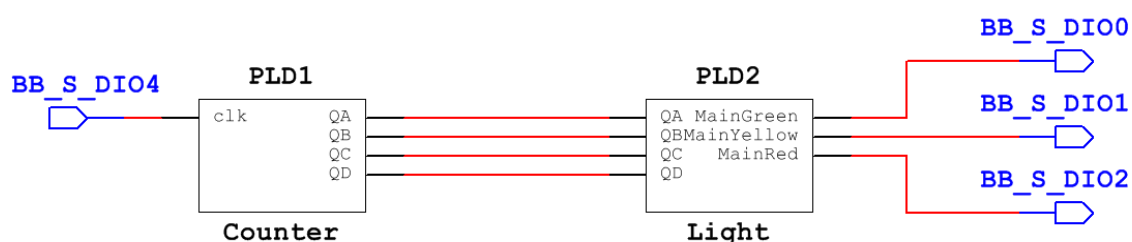


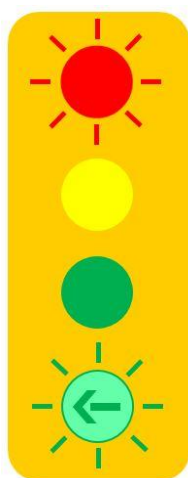
Рисунок 1-9 Проект PLD

- На плате Digital Electronics подключите **зеленый, желтый и красный** светодиоды к соответствующим выходам.
- Для этого подключите резистор сопротивлением **1000 Ом** к длинному выводу светодиода и вставьте его в соответствующий выходной контакт макетной платы.
- Вставьте короткий вывод светодиода в контакт **GND** макетной платы.
- Разверните схему на плату Digital Electronics.
- Сделайте набросок, фотографию или скриншот вашей окончательной схемы и подсхем и включите эти изображения в отчет.

## 1.5 Светофор для управления двусторонним движением

Иногда светофор содержит четвертый светодиод, позволяющий водителям поворачивать налево при остановленном встречном движении. Такой светофор называется светофором с дополнительной зеленой секцией, которая включается на короткий промежуток времени, когда горит красный свет.

- Например, когда в основной схеме горит зеленый свет, в новой схеме должен гореть красный.
- Сделайте скриншот, фотографию или зарисуйте новую схему и включите изображение в отчет.



*Рисунок 1-10 Светофор с дополнительной секцией*

Используя схему первого светофора в качестве заготовки, добавьте четвертое состояние для светофора с дополнительной секцией.

**Примечание:** необходимо обдумать, на какое время будет вы хотите активировать это четвертое состояние (таблица истинности) и добавить еще один цвет в вашу схему с логическими элементами.

- Сделайте скриншот, фотографию или зарисуйте вашу новую схему и включите изображение в отчет.

## 1.6 Заключение

1-5 Своими словами опишите, как генератор импульсов управляет сигналами светофора.

---

---

---

---

1-6 В чем преимущество разбиения схемы в PLD?

---

---

---

---

1-7 Что потребуется для увеличения количества состояний?

---

---

---

---

1-8 Какой из вариантов описывает поведение конечного автомата?

- A. Количество состояний автомата конечно
- B. Конечный автомат может находиться максимум в двух состояниях одновременно
- C. Изменение состояния может происходить спонтанно в любой момент
- D. Все вышеперечисленное

1-9 Конечные автоматы используются в:

- A. Торговых автоматах
- B. Кофемашинах
- C. Телевизорах
- D. Тормозных системах автомобилей

1-10 Из каких компонентов состоит светофор?

- A. Тактируемого RS-триггера, счетчика, светодиода
- B. Таймера, счетчика, светодиода
- C. Таймера, преобразователя двоично-десятичного кода в двоичный, светодиода
- D. Таймера, D-триггера, светодиода

1-11 Почему в таблице истинности светофора только один цвет может быть истинен (1) в любой момент времени?

- A. При каждом изменении цвета только один светодиод сбрасывается логическими элементами
- B. Попытка одновременно включить два светодиода приведет к короткого замыканию
- C. В любой момент времени конечный автомат может находиться только в одном состоянии
- D. Все вышеперечисленное

1-12 Входной переменной конечного автомата светофора является:

- A. Интерактивная цифровая константа
- B. Цифровая константа
- C. Импульсы от генератора
- D. Ничего из перечисленного выше