

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования

«Национальный исследовательский университет

«Московский институт электронной техники»

Институт интегральной электроники (ИЭ)

Кафедра проектирования и конструирования интегральных микросхем (ПКИМС)

Курсовая работа на тему:

«Разработка счётчика пути компьютерной мыши с протоколом PS/2»

Выполнил студент группы ЭН-45

Страхов Александр Сергеевич

Проверил ст. препод. каф. ПКИМС,

Мельник Александр Константинович

Москва 2020

## Техническое задание:

Разработать счётчик пути компьютерной мыши с протоколом PS/2. Реализовать приём данных с мыши в соответствии с протоколом PS/2. Для расчёта пути использовать теорему Пифагора с учётом вычисления входных значений в дополненной двоичной форме. Разработать счётчик нажатия на кнопки мыши (ЛКМ, СКМ, ПКМ). Реализовать сброс регистров данных пути и счётчиков нажатия на кнопки. Обеспечить перевод вычисленных данных из двоичной системы счисления в двоично-десятичную и вывод данных на экран монитора через видеоинтерфейс VGA, а также на четырехразрядную семисегментную матрицу и светодиоды.

## Спецификация модуля mouse\_top

Путь к файлу: RTL/mouse\_top/mouse\_top.v

### Головной модуль mouse\_top

Таблица 1. Интерфейсные сигналы головного модуля mouse\_top.

Название	Направление	Разрядность	Описание
clk	вход	1	Системный синхросигнал частотой 50 МГц
rst	вход	1	Общий сброс всей системы
reset_register	вход	1	Сброс регистров данных пути и счётчика нажатия на кнопки
ps2d	вход/выход	1	Информационная шина передачи данных с мышью
ps2c	вход/выход	1	Шина синхронизации данных с мышью
middle_led	выход	1	Вывод состояния нажатия на СКМ на светодиод
left_led	выход	1	Вывод состояния нажатия на ЛКМ на светодиод
right_led	выход	1	Вывод состояния нажатия на ПКМ на светодиод
done_tick_led	выход	1	Вывод сигнала передачи пакетов с мыши на светодиод
sseg	выход	7	Вывод схемы на катоды семисегментной матрицы
anode	выход	4	Вывод схемы на аноды семисегментной матрицы
hsync	выход	1	Вывод сигнала горизонтальной синхронизации на VGA-монитор
vsync	выход	1	Вывод сигнала вертикальной синхронизации на VGA-монитор
vga_rgb	выход	3	Вывод RGB-цвета на VGA-монитор

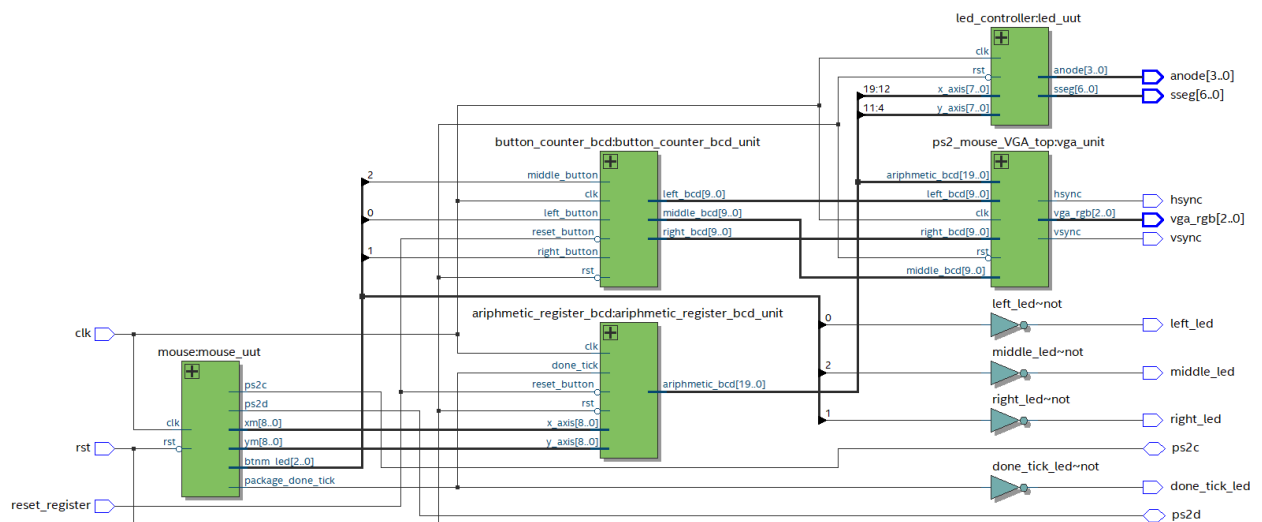


Рисунок 1. Схема модуля mouse\_top.

## Принцип работы

Имеется приёмопередатчик данных с мыши (головной submodule **mouse**), получающий координаты перемещения мыши длиной 9 бит и сигналы состояния кнопок мыши. Данные координат передаются на вычислительный модуль (головной submodule **button\_counter\_bcd**), который вычисляет текущий путь перемещения, складывает с предыдущим и переводит полученные данные из двоичной системы в двоично-десятичную. Сигналы состояния кнопок передаются как напрямую на светодиоды, так и на счётчик нажатий (головной submodule **ariphmetic\_register\_bcd**). Полученные значения пути мыши и счётчика нажатий на кнопки передаются контроллеру вывода изображения на VGA-монитор (головной submodule **ps2\_mouse\_VGA\_top**). Также значения десятков тысяч, тысяч, сотен и десятков пути передаются на контроллер семисегментной матрицы (головной submodule **led\_controller**).

### Головной submodule mouse

Путь к файлу: RTL/interface/mouse.v

Таблица 2. Интерфейсные сигналы головного submodule mouse.

Название	Направление	Разрядность	Описание
clk	вход	1	Системный синхросигнал частотой 50 МГц
rst	вход	1	Общий сброс головного submodule
ps2d	вход/выход	1	Информационная шина передачи данных с мышью
ps2c	вход/выход	1	Шина синхронизации данных с мышью
xm	выход	9	Шина данных координат по оси X
ym	выход	9	Шина данных координат по оси Y
btnm_led	выход	3	Шина сигналов состояний нажатия на кнопки мыши
package_done_tick	выход	1	Сигнал состояния завершения приёма пакета данных

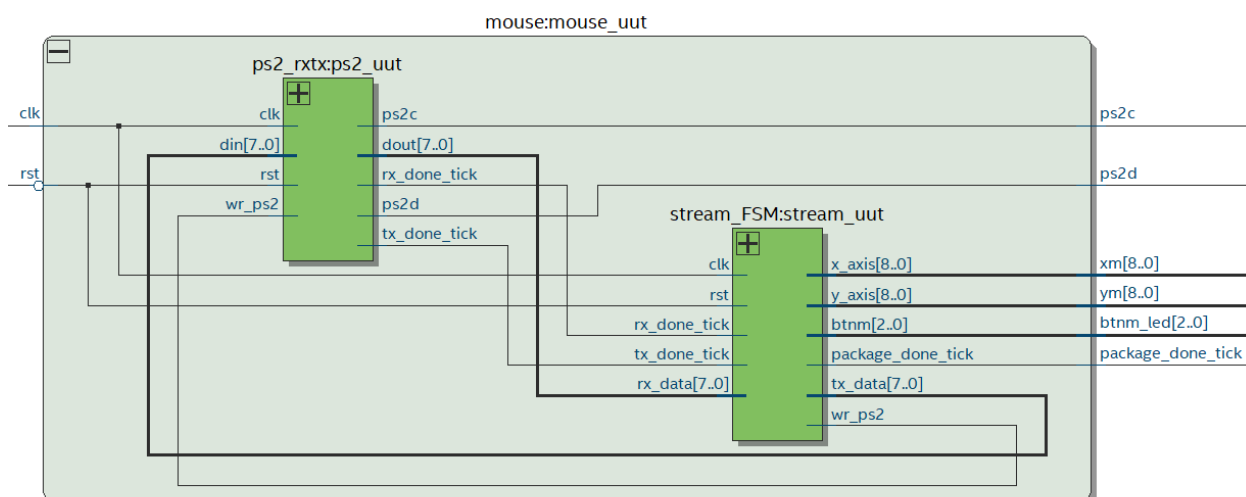


Рисунок 2. Схема головного субмодуля mouse.

Головной субмодуль **mouse** состоит из модуля приёмопередатчика **ps2\_rtx** и контроллера данных **stream\_FSM**. Приёмопередатчик отвечает за приём пакетов данных координат и состояния кнопок, а также за передачу команды начала режима отправки пакета данных мышью. Контроллер данных отвечает за обработку входящих пакетов и управление режимами приёма передачи данных субмодулем **ps2\_rtx**.

### Субмодуль ps2\_rtx

Таблица 3. Интерфейсные сигналы субмодуля ps2\_rtx

Название	Направление	Разрядность	Описание
clk	вход	1	Системный синхросигнал частотой 50 МГц
rst	вход	1	Общий сброс головного субмодуля
ps2d	вход/выход	1	Информационная шина передачи данных с мышью
ps2c	вход/выход	1	Шина синхронизации данных с мышью
wr_ps2	вход	1	Сигнал переключения режима приёма/передачи
din	вход	8	Шина приёма команды на мышшь
dout	выход	8	Шина передачи данных мыши
rx_done_tick	выход	1	Сигнал завершения приёма байта данных
tx_done_tick	выход	1	Сигнал завершения отправки байта данных на мышшь

### Субмодуль stream\_FSM

Таблица 4. Интерфейсные сигналы субмодуля stream\_FSM

Название	Направление	Разрядность	Описание
clk	вход	1	Системный синхросигнал частотой 50 МГц
rst	вход	1	Общий сброс головного субмодуля
rx_done_tick	вход	1	Сигнал завершения приёма байта данных
tx_done_tick	вход	1	Сигнал завершения отправки байта данных на мышшь

rx_data	ВХОД	8	Шина приёма данных с мыши
tx_data	ВЫХОД	8	Шина передачи данных на мышь
x_axis	ВЫХОД	9	Шина данных координат по оси X
y_axis	ВЫХОД	9	Шина данных координат по оси Y
btnm	ВЫХОД	3	Шина сигналов состояния кнопок мыши

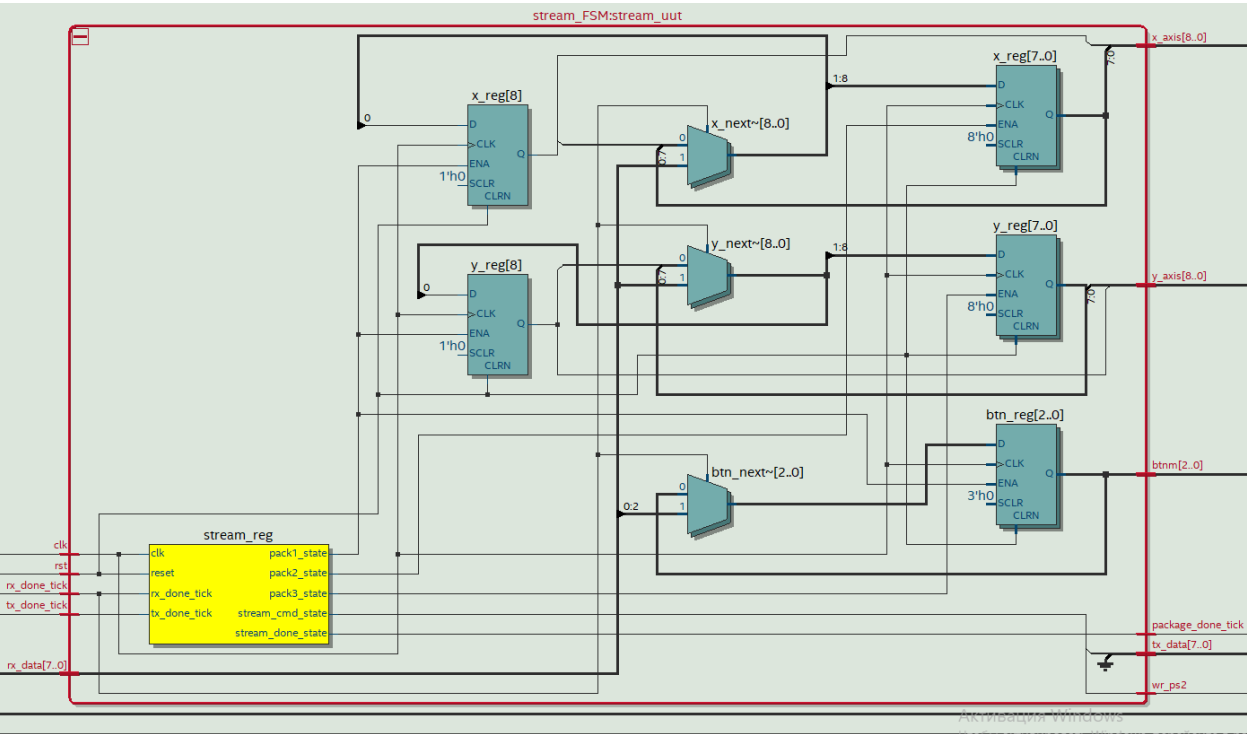


Рисунок 3. Схема субмодуля stream\_FSM.

### Блок-схема состояний конечного автомата stream\_reg

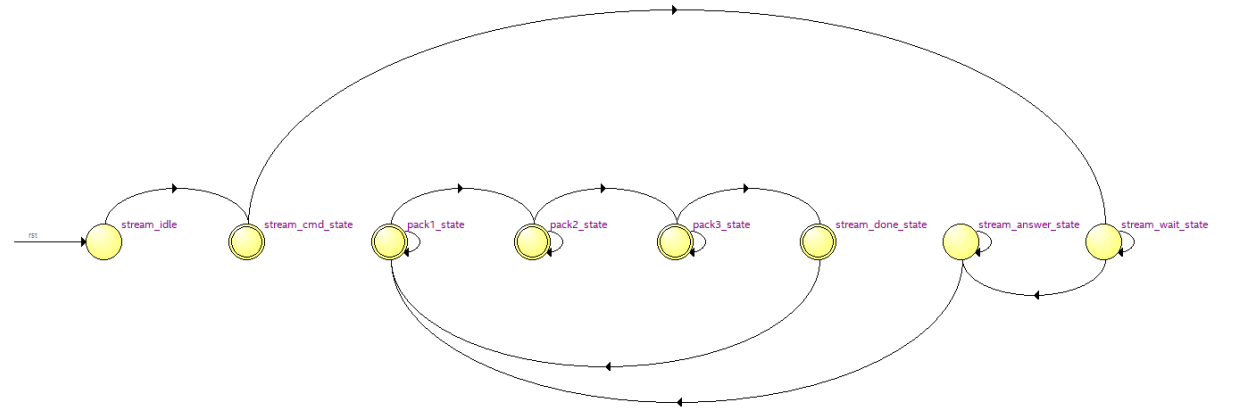


Рисунок 4. Диаграмма состояний конечного автомата stream\_reg.

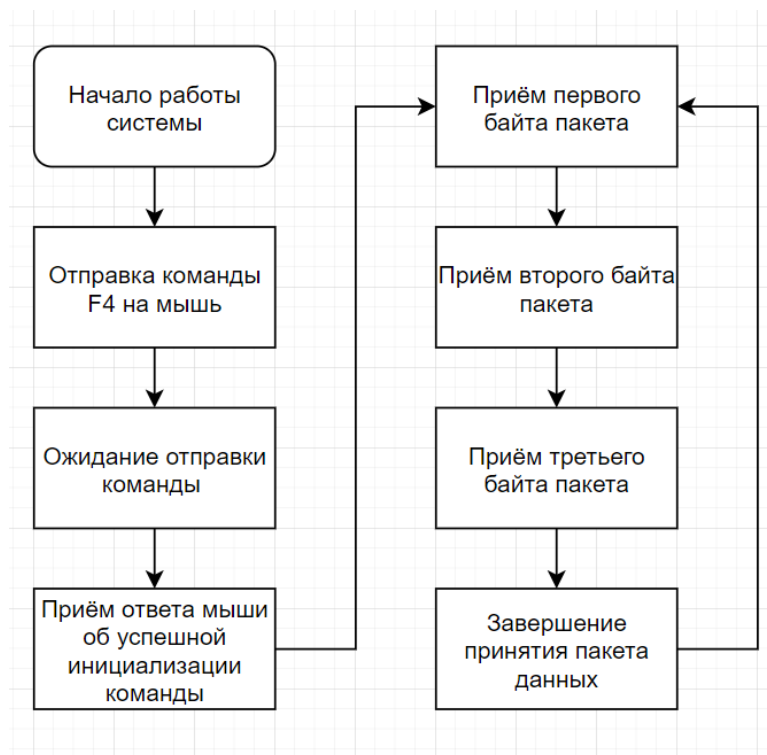


Рисунок 5. Блок-схема работы конечного автомата stream\_reg.

Согласно протоколу PS/2, перед тем, как мышь начнёт отправлять данные, управляющее устройство должно отправить команду 0xF4, после чего мышь ответит командой 0xFA, что означает успешную инициализацию команды передачи данных управляющему устройству, и далее следует пакет длиной в три байта.

Таблица 5. Структура пакета приёма данных по протоколу PS/2

Байт	7	6	5	4	3	2	1	0
0	y0	x0	ys	xs	1	bm	br	bl
1	xm							
2	ym							

Описание значений битов пакета:

- y0 – бит переполнения координаты Y;
- x0 – бит переполнения координаты X;
- ys – знак данных по координате Y;
- xs – знак данных по координате X;
- bm – состояние средней кнопки мыши;
- br – состояние правой кнопки мыши;
- bl – состояние левой кнопки мыши;
- xm – координаты по оси X;
- ym – координаты по оси Y;

Данные по координатам принимаются в двоичной дополненной системе счисления. По умолчанию, разрешение выходных данных составляет 4 ед/мм.

Головной субмодуль `ariphmetic_register_bcd`

Путь к модулю: RTL/ariphmetic/ariphmetic\_register\_bcd.v

Таблица 6. Интерфейсные сигналы субмодуля `ariphmetic_register_bcd`

Название	Направление	Разрядность	Описание
clk	ВХОД	1	Системный синхросигнал частотой 50 МГц
rst	ВХОД	1	Общий сброс головного субмодуля
reset_button	ВХОД	1	Сброс суммирующего регистра
x_axis	ВХОД	9	Шина данных по координате X
y_axis	ВХОД	9	Шина данных по координате Y
ariphmetic_bcd	ВЫХОД	20	Шина данных суммирующего регистра в двоично-десятичной системе счисления

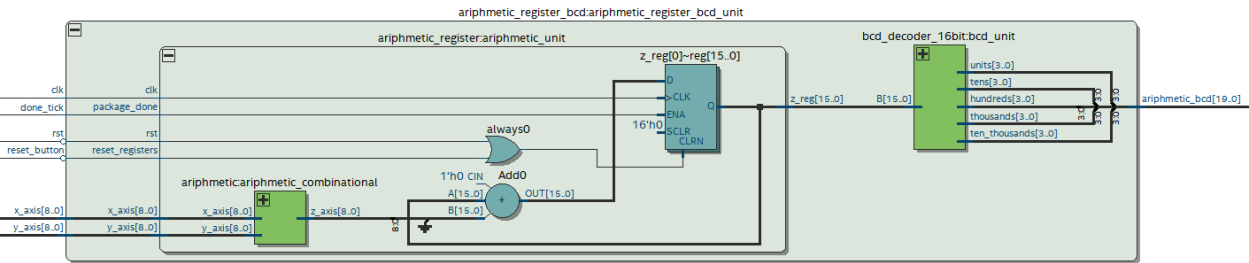


Рисунок 6. Схема головного субмодуля `ariphmetic_register_bcd`

Данный субмодуль производит вычисление пути мыши по теореме Пифагора, накопление данных в суммирующем регистре и преобразование в двоично-десятичную систему счисления. Порядок вычисления пути мыши:

1. Перевод входящих данных по координатам из дополнительного вида в прямой с учётом знака (установка по модулю);
2. Деление входящих координат на 4;
3. Нахождение квадратов координат;
4. Извлечение квадратного корня с суммы квадратов координат;
5. Суммирование нового значения пути с предыдущим по сигналу разрешения `package_done`;
6. Преобразование данных в регистре накопления в двоично-десятичную систему.

Таблица 7. Структура шины `ariphmetic_bcd`

десятки тысяч				тысячи				сотни				десятки				единицы			
19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Головной субмодуль **button\_counter\_bcd**

Путь к файлу: RTL/mouse\_button\_counter/mouse\_counter\_top.v

Таблица 8. Интерфейсные сигналы головного субмодуля **button\_counter\_bcd**

Название	Направление	Разрядность	Описание
clk	ВХОД	1	Системный синхросигнал частотой 50 МГц
rst	ВХОД	1	Общий сброс головного субмодуля
reset_button	ВХОД	1	Сброс суммирующих регистров
left_button	ВХОД	1	Сигнал состояния левой кнопки мыши
middle_button	ВХОД	1	Сигнал состояния средней кнопки мыши
right_button	ВХОД	1	Сигнал состояния правой кнопки мыши
left_bcd	ВЫХОД	10	Шина счётчика левой кнопки мыши в двоично-десятичной системе
middle_bcd	ВЫХОД	10	Шина счётчика средней кнопки мыши в двоично-десятичной системе
right_bcd	ВЫХОД	10	Шина счётчика правой кнопки мыши в двоично-десятичной системе

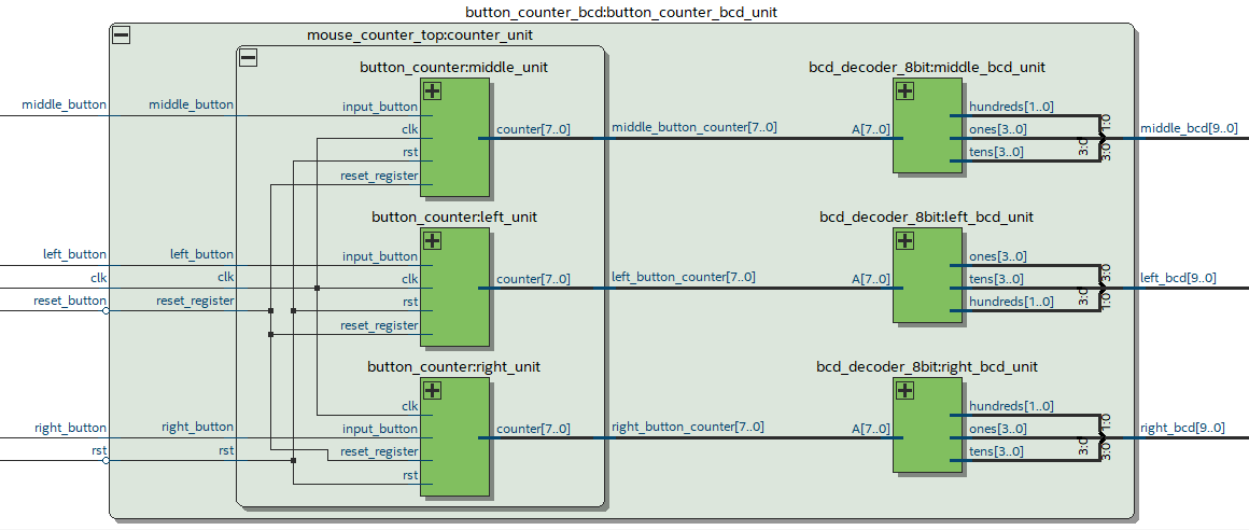


Рисунок 7. Схема головного субмодуля **button\_counter\_bcd**

Данный головной субмодуль суммирует нажатия на ЛКМ, СКМ, ПКМ в отдельные регистры для каждой кнопки. Разрядность каждого регистра – 8 бит.

Таблица 9. Структура шины **middle\_bcd**

сотни		десятки				единицы			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	0



## Головной субмодуль ps2\_mouse\_VGA\_top

Таблица 10. Интерфейсные сигналы субмодуля ps2\_mouse\_VGA\_top

Название	Направление	Разрядность	Описание
clk	вход	1	Системный синхросигнал частотой 50 МГц
rst	вход	1	Общий сброс головного субмодуля
arithmic_bcd	вход	20	Шина данных суммирующего регистра в двоично-десятичной системе счисления
left_bcd	вход	10	Шина счётчика левой кнопки мыши в двоично-десятичной системе
middle_bcd	вход	10	Шина счётчика средней кнопки мыши в двоично-десятичной системе
right_bcd	вход	10	Шина счётчика правой кнопки мыши в двоично-десятичной системе
hsync	выход	1	Вывод сигнала горизонтальной синхронизации на VGA-монитор
vsync	выход	1	Вывод сигнала вертикальной синхронизации на VGA-монитор
vga_rgb	выход	3	Вывод RGB-цвета на VGA-монитор

Головной субмодуль **ps2\_mouse\_VGA\_top** формирует видеосигнал VGA разрешением 640x480 с частотой смены пикселей в 25 МГц и состоит из двух субмодулей. Субмодуль **vga\_sync** формирует сигналы вертикальной и горизонтальной синхронизации. Субмодуль **ps2\_mouse\_text** формирует текст на экране:

\*\*\*\*\*

PS/2 TRACKING COUNTER  
MADE BY ALEKSANDER STRAKHOV  
JANUARY-APRIL 2020

\*\*\*\*\*

TRACKING COUNT: DDDDD

\*\*\*\*\*

BUTTON STATUS

LEFT: DDD

MIDDLE: DDD

RIGHT: DDD

\*\*\*\*\*

## Головной субмодуль **led\_controller**

Путь к файлу: RTL/led\_controller/led\_controller.v

Таблица 11. Интерфейсные сигналы субмодуля led\_controller

Название	Направление	Разрядность	Описание
clk	ВХОД	1	Системный синхросигнал частотой 50 МГц
rst	ВХОД	1	Общий сброс головного субмодуля
x_axis	ВХОД	8	Вход данных для вывода по 4-3 разрядам
y_axis	ВХОД	8	Вход данных для вывода по 2-1 разрядам
sseg	ВЫХОД	7	Вывод схемы на катоды семисегментной матрицы
anode	ВЫХОД	4	Вывод схемы на аноды семисегментной матрицы

Головной субмодуль **led\_controller** выполняет преобразование входных данных для их показа на семисегментной матрице в режиме динамической индикации.

### Компиляция всего проекта.

Flow Status	Successful - Sat Apr 18 02:24:59 2020
Quartus Prime Version	18.1.0 Build 625 09/12/2018 SJ Lite Edition
Revision Name	ps2_mouse
Top-level Entity Name	mouse_top
Family	Cyclone IV E
Device	EP4CE6E22C8
Timing Models	Final
Total logic elements	1,109 / 6,272 ( 18 % )
Total registers	276
Total pins	25 / 92 ( 27 % )
Total virtual pins	0
Total memory bits	0 / 276,480 ( 0 % )
Embedded Multiplier 9-bit elements	1 / 30 ( 3 % )
Total PLLs	0 / 2 ( 0 % )

Рисунок 8. Отчёт о проведении компиляции проекта.

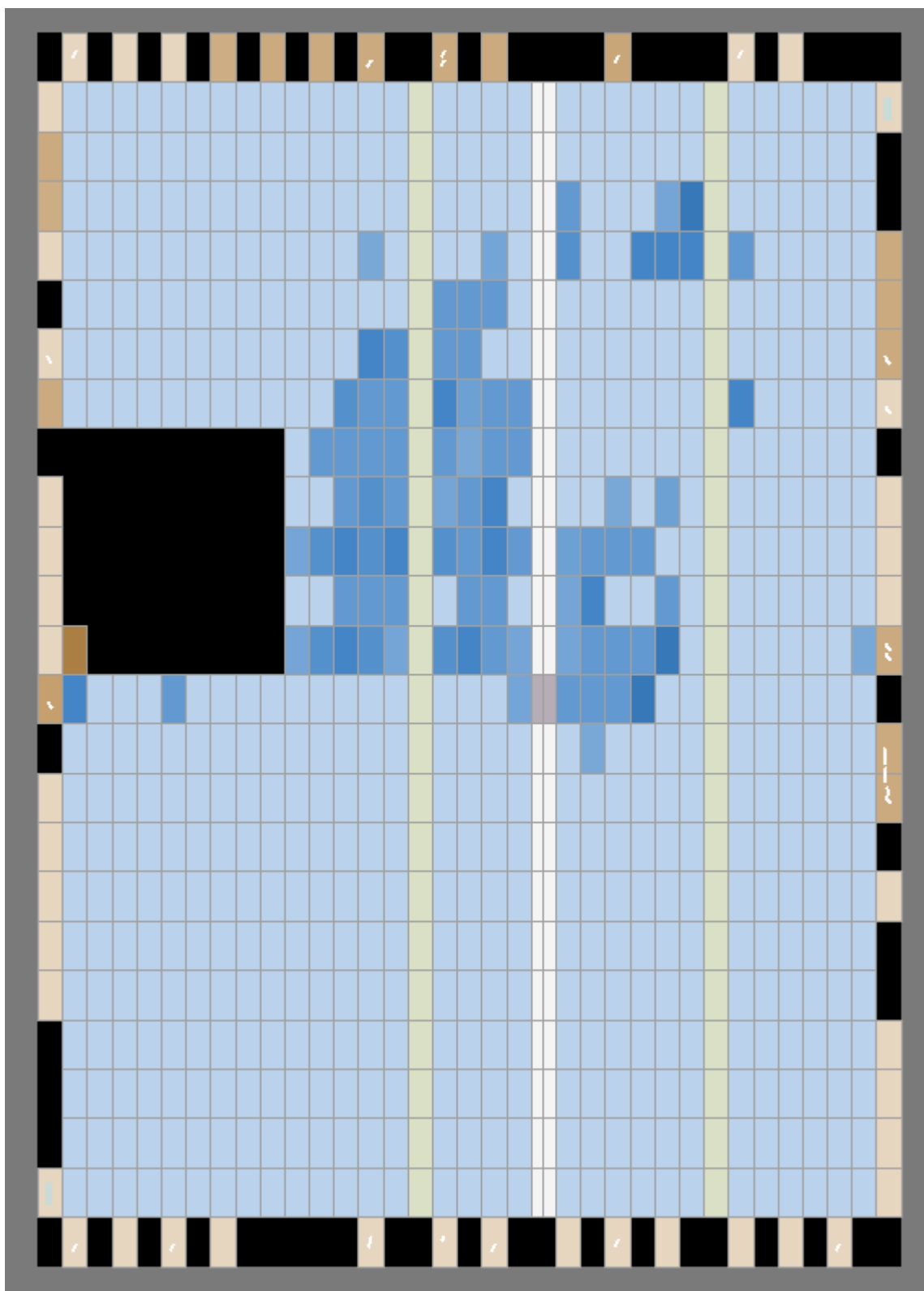


Рисунок 9. Схема трассировки проекта на кристалле FPGA.

## Моделирование отдельных субмодулей

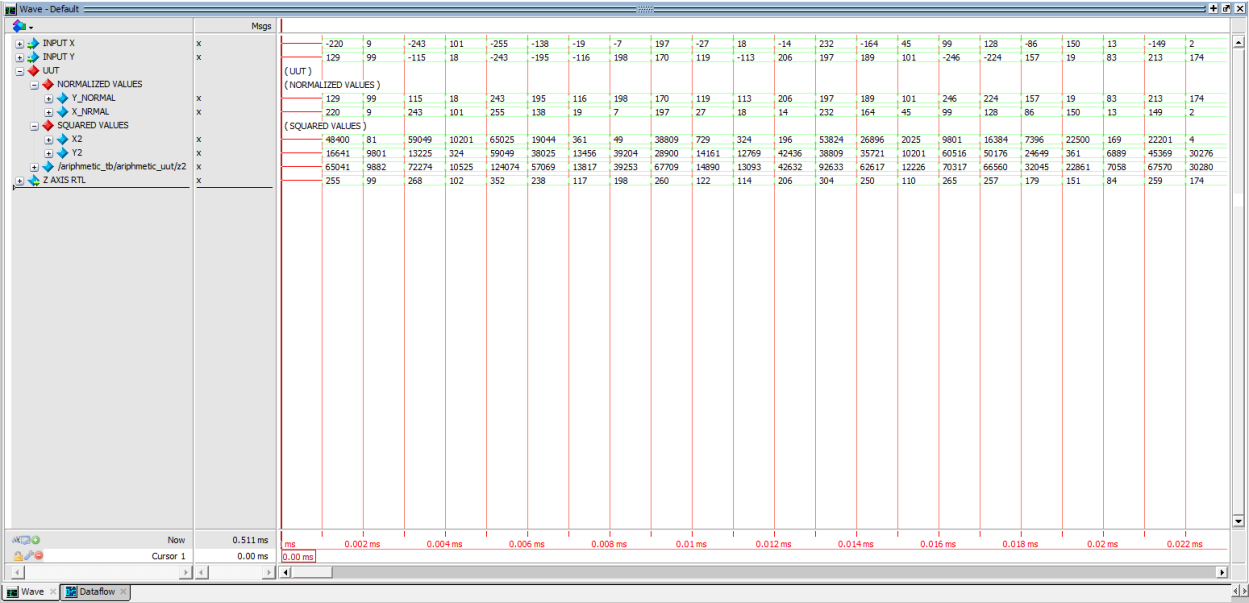


Рисунок 10. Моделирование арифметического субмодуля ariphmetic\_combinational.

## Аппаратная верификация

Тестовый план:

1. Проверка приёма координат мыши;
2. Расчёт пути;
3. Нажатие на кнопки мыши и проверка суммирующих регистров
4. Вывод изображения на монитор;