

Министерство образования и науки Российской Федерации
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)
КАФЕДРА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ОСНОВ
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТОР)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ТОР
А.Я. Демидов
_____ 2016 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе №8
«Цифровой акселерометр»
по дисциплине
«Программирование логических интегральных схем»

РАЗРАБОТЧИКИ
ассистенты каф. ТОР
_____ А.Ю. Абраменко,
_____ А.А. Евсеев

ТОМСК – 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Цель работы.....	3
1. Основные сведения.....	3
2. Задание для самостоятельной подготовки к лабораторной работе.....	6
3. Лабораторное задание.....	7
4. Порядок выполнения работы.....	7
5. Содержание отчёта.....	8
6. Контрольные вопросы.....	8
Список используемой литературы.....	9

Цель работы: изучить принципы работы на ПЛИС с современными цифровыми датчиками на примере цифрового акселерометра, закрепить навыки работы с последовательным периферийным интерфейсом (SPI), а также навыков применения машины конечных состояний.

Оборудование: отладочная плата DE0-Nano [1].

Программное обеспечение: среда разработки Quartus II.

1. Основные сведения

Цифровой акселерометр – устройство (датчик), предназначенный для измерения ускорения движения объекта. На основе данных ускорения можно получить информацию о скорости и положении объекта, поэтому цифровые акселерометры получили широкое применение в различных цифровых устройствах от игрушек и телефонов до ракет и самолётов.

Цифровые акселерометры делятся на одно-, двух- и трёхосевые или одно-, двух- и трёхкомпонентные по количеству осей, вдоль которых возможно измерение ускорения. В данной работе будет рассматриваться трёхосевый емкостной акселерометр ADXL345 [2] фирмы Analog Devices. Принцип работы акселерометра ADXL345 основан на определении смещения инерционной массы относительно корпуса с преобразованием его в пропорциональный электрический сигнал с использованием емкостного метода. Емкостной акселерометр состоит из набора пластин, одни из которых неподвижный, а другие свободно перемещаются под действием силы гравитации или движения объекта. Пластины образуют конденсатор, емкость которого изменяется в зависимости от положения и расстояния между пластинами.

Цифровой акселерометр ADXL345 обладает диапазоном измерения ускорения $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$ в зависимости от настроек, где g – ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$. Для общения с акселерометром может использоваться интерфейс SPI (3-х или 4-х проводной) или I2C. Более подробную информацию о параметрах цифрового акселерометра ADXL345 можно найти на сайте производителя [2].

В отладочной плате DE0-Nano может использоваться только 3-х проводной SPI интерфейс или I2C. В данной работе рассмотрим первый вариант, как наиболее простой для реализации. В 3-х проводном SPI

интерфейсе передача данных от акселерометра к ПЛИС и от ПЛИС к акселерометру осуществляется по одной линии (рисунок 1).

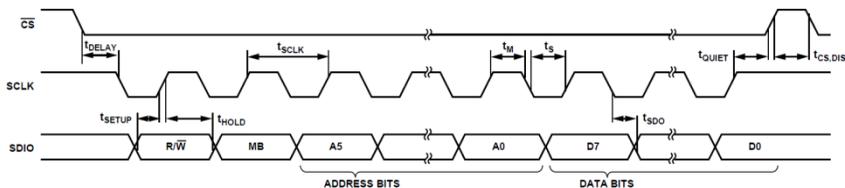


Рисунок 1 – 3-х проводной SPI интерфейс

Для общения с цифровым акселерометром используется SPI интерфейс 3-го класса (CPOL = 1, CPHA = 1). Максимально допустимая частота тактового сигнала SCLK (рисунок 1) равна 5 МГц. Передача данных осуществляется по 16 бит. Первый передаваемый бит (R/\bar{W}) определяет режим работы интерфейса ($R/\bar{W} = 0$ – запись данных, передача от ПЛИС к акселерометру; $R/\bar{W} = 1$ – чтение данных, передача от акселерометра к ПЛИС). Затем следуют 7 бит адреса регистра внутри акселерометра (ADDRESS BITS+MB на рисунке 1). Следом передаются или принимаются (в зависимости от текущего режима работы интерфейса) 8 бит данных. Во время приёма данных от акселерометра или передачи логической «1» на линии SDIO должно быть выставлено «z» состояние.

Микросхему ADXL345 необходимо правильно конфигурировать каждый раз после её запуска. К примеру, после подачи питания микросхема готова работать по 4-х проводному SPI интерфейсу и нам необходимо изменить тип SPI интерфейса на 3-х проводный. В таблице 1 приведено описание необходимых в данной лабораторной работе регистров микросхемы ADXL345 с указанием требуемого значения регистра.

Таблица 1 – Описание регистров акселерометра ADXL345

Адрес	Имя	Необходимое значение	Описание
0x2D	POWER_CTL	8'b0000_1000	Управление энергосбережением
0x31	DATA_FORMAT	8'b0100_0100	Формат данных
0x33	DATA_X1	–	Данные 1 оси X
0x35	DATA_Y1	–	Данные 1 оси Y
0x37	DATA_Z1	–	Данные 1 оси Z

Запись 8'b0000_1000 в регистр «Управление энергосбережением» устанавливает режим измерения ускорения, в ином случае микросхема будет находиться в режиме ожидания.

Запись 8'b0100_0100 в регистр «Формат данных» устанавливает режим 3-х проводного SPI интерфейса и задает формат выходных данных. Младшие 2 бита определяют диапазон измерения ускорения в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Диапазон измеряемого ускорения

Значение	Диапазон измеряемого ускорения
2'b00	±2g
2'b01	±4g
2'b10	±8g
2'b11	±16g

Текущее значение ускорения по оси X, Y и Z можно получить по адресу 0x33, 0x35 и 0x37 соответственно (таблица 1). Данные передаются в формате дополнительного кода (или *two's complement*). В представлении чисел в формате дополнительного кода старший бит является знаковым, если его значение равно «0», тогда значение ускорения положительное. Если его значение равно «1», тогда значение ускорения отрицательное. Пример 3-х битного числа в формате дополнительного кода приведён в таблице 3.

Таблица 3 – 3-х битное число в дополнительном коде

3	3'b011	-1	3'b111
2	3'b010	-2	3'b110
1	3'b001	-3	3'b101
0	3'b000	-4	3'b100

В зависимости от диапазона измеряемого ускорения (таблица 2) значение младшего бита возвращаемых данных по адресам из таблицы 1 будет разным (таблица 4).

Таблица 4 – значение младшего бита 8-битного возвращаемого числа

Диапазон измеряемого ускорения	Значение младшего бита
±2g	1/64g
±4g	1/32g
±8g	1/16g
±16g	1/8g

К примеру, необходимо получить значение ускорения вдоль оси Z при установленном диапазоне измеряемого ускорения ±4g. Для этого необходимо получить число из регистра 0x37 и умножить его на 1/32g.

В состоянии покоя акселерометр показывает значение, равное ускорению свободного падения (*g*). Значение ускорения вдоль каждой оси

зависит от ориентации микросхемы в пространстве и направления силы тяжести, что продемонстрировано на рисунке 2.

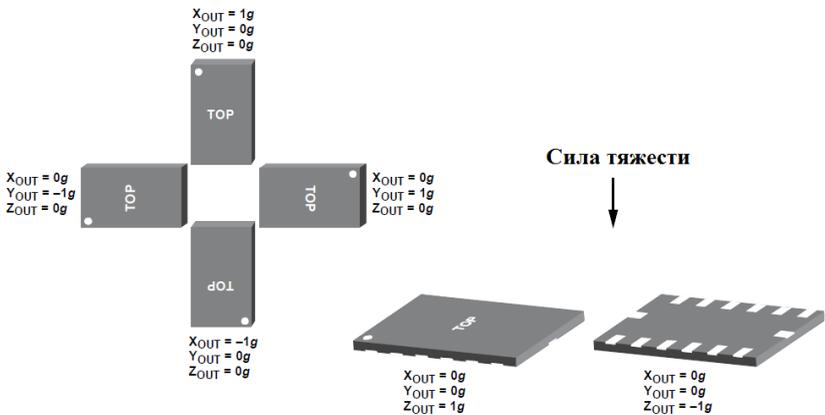


Рисунок 2 – значение ускорения в состоянии покоя в зависимости от ориентации микросхемы акселерометра в пространстве

2. Задание для самостоятельной подготовки к лабораторной работе

Написать модуль 3-х проводного SPI интерфейса для работы с цифровым акселерометром ADXL345. Проверить его работоспособность на соответствие временной диаграмме (рисунок 1) в ModelSim. Результат моделирования работы SPI модуля должен соответствовать рисунку 3.

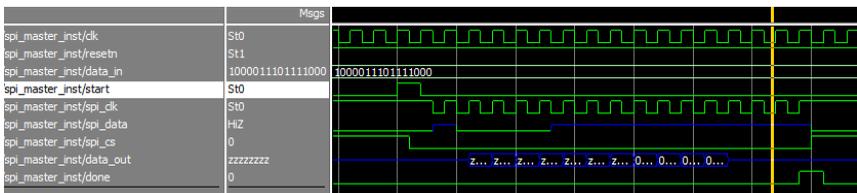


Рисунок 3 – результат моделирования работы SPI модуля

Необходимо предусмотреть сигнал запуска передачи данных (сигнал единичной длительности, *start* на рисунке 3) и сигнал завершения передачи данных (сигнал единичной длительности, *done* на рисунке 3, формируется внутри SPI модуля и говорит о завершении передачи или приёма данных).

3. Лабораторное задание

Написать программу, вычитывающую текущее значение ускорения (a) вдоль одной из осей с последующим отображением полученного значения на восемь светодиодов в соответствии с таблицей 5.

Таблица 5 – преобразование значения ускорения в состояния светодиодов

Значение ускорения	Значение светодиодов
$a < 0.25g$	8'b0001_1000
$0.5g < a > 0.25g$	8'b0010_0000
$1g < a > 0.5g$	8'b0100_0000
$a > 1g$	8'b1000_0000
$a > -0.25g$	8'b0001_1000
$-0.5g < a < -0.25g$	8'b0000_0100
$-1g < a < -0.5g$	8'b0000_0010
$a < -1g$	8'b0000_0001

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 6.

Таблица 6 – варианты индивидуальных заданий

Вариант задания	Ось измерения	Диапазон измерения
1	X	$\pm 2g$
2	Y	$\pm 2g$
3	Z	$\pm 4g$
4	X	$\pm 4g$
5	Y	$\pm 8g$
6	Z	$\pm 8g$
7	X	$\pm 16g$
8	Y	$\pm 16g$

4. Порядок выполнения работы

4.1 Реализовать делитель частоты на счётчике с целью уменьшения частоты тактирования ПЛИС (50 МГц) до разрешённого значения частоты работы SPI интерфейса цифрового акселерометра ADXL345. Для стабильной работы SPI интерфейса рекомендуется использовать значение частоты тактирования как минимум в 10 раз меньше максимально-допустимого.

4.2 В соответствии с вариантом задания (таблица 6) и значениями регистров цифрового акселерометра (таблица 1) реализовать машину конечных состояний с тремя состояниями:

1. Запись значения в регистр «Формат данных», следующее состояние: 2;

2. Запись значения в регистр «Управление энергосбережением», следующее состояние: 3;

3. Вычитывание значения текущего ускорения в соответствии с вариантом задания, следующее состояние: 3.

Для управления переходом между состояниями рекомендуется использовать сигнал завершения передачи данных по SPI интерфейсу. Необходимым условием является использование сигнала сброса нулевым уровнем для перевода машины конечных состояний в начальное (первое) состояние.

4.3 Реализовать дешифратор текущего значения ускорения в значение светодиодов (таблица 5).

4.4 Определить выводы ПЛИС в соответствии с таблицей 7.

Таблица 7 – назначение выводов ПЛИС

Имя	Вывод	Тип	Описание
CLOCK_50	R8	Input	Тактовый сигнал 50МГц
G_SPI_CS_N	G5	Output	Линия выбора микросхемы акселерометра
G_SPI_CLK	F2	Output	Линия тактирования акселерометра
G_SPI_DATA	F1	Inout	Линия передачи данных к/от акселерометра
RESETN	J15	Input	Сигнал сброса
LED[0]	A15	Output	
LED[1]	A13	Output	
LED[2]	B13	Output	
LED[3]	A11	Output	
LED[4]	D1	Output	
LED[5]	F3	Output	
LED[6]	B1	Output	
LED[7]	L3	Output	

4.5 Проверить работоспособность проекта на отладочной плате и подготовить отчёт по выполненной лабораторной работе.

5. Содержание отчёта

5.1 цель работы;

5.2 вариант задания;

5.3 листинг программы с обоснованием сделанного выбора в соответствии с вариантом задания;

5.4 выводы по проделанной работе.

6. Контрольные вопросы

6.1 Что такое акселерометр? Каков принцип его работы?

- 6.2 Что такое SPI интерфейс? Какой класс SPI интерфейса используется в лабораторной работе и почему?
- 6.3 Как описывается SPI интерфейс на языке Verilog?
- 6.4 Отличия 3-х и 4-х проводного SPI интерфейсов?
- 6.5 Что такое машина конечных состояний?
- 6.6 Как описывается машина конечных состояний на языке Verilog?
- 6.7 Что такое дешифратор?

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. DE0-Nano User Manual [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive_download.pl?Language=English&No=593&FID=75023fa36c9bf8639384f942e65a46f3, свободный.
2. Data Sheet ADXLK345 [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.analog.com/en/products/mems/mems-accelerometers/adxl345.html>, свободный.
3. И. Каршенбойм Краткий курс HDL, Компоненты и Технологии №1, 2008 - М: Компоненты и Технологии, 2008.