



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

---

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ (ИУ6)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ 09.03.01 Информатика и вычислительная техника

**О Т Ч Е Т**

по лабораторной работе № 5

**Название:** Работа последовательного канала SPI.

**Дисциплина:** Микропроцессорные системы.

Студент

ИУ6-62Б

(Группа)

(Подпись, дата)

С.В. Астахов, Д.И. Вариханов

(И.О. Фамилия)

Преподаватель

(Подпись, дата)

(И.О. Фамилия)

Москва, 2022

## Вариант 1.

### Цели работы:

- изучение структуры канала последовательного интерфейса SPI (Serial Peripheral Interface);
- программирование приема-передачи данных по интерфейсу SPI;
- исследование опций (настроек) последовательного канала;
- моделирование и проверка работы канала в режиме обмена ведущий-ведомый.

### Ход работы.

#### Задание 1.

Создать в AVR Studio 4 проект для передачи данных с помощью программы. Проверить работу программы в режиме симуляции. Измерить длительность одного бита данных на линии PB5 и сравнить скорость передачи с запрограммированной.

Структурная схема порта SPI представлена на рисунке 1.

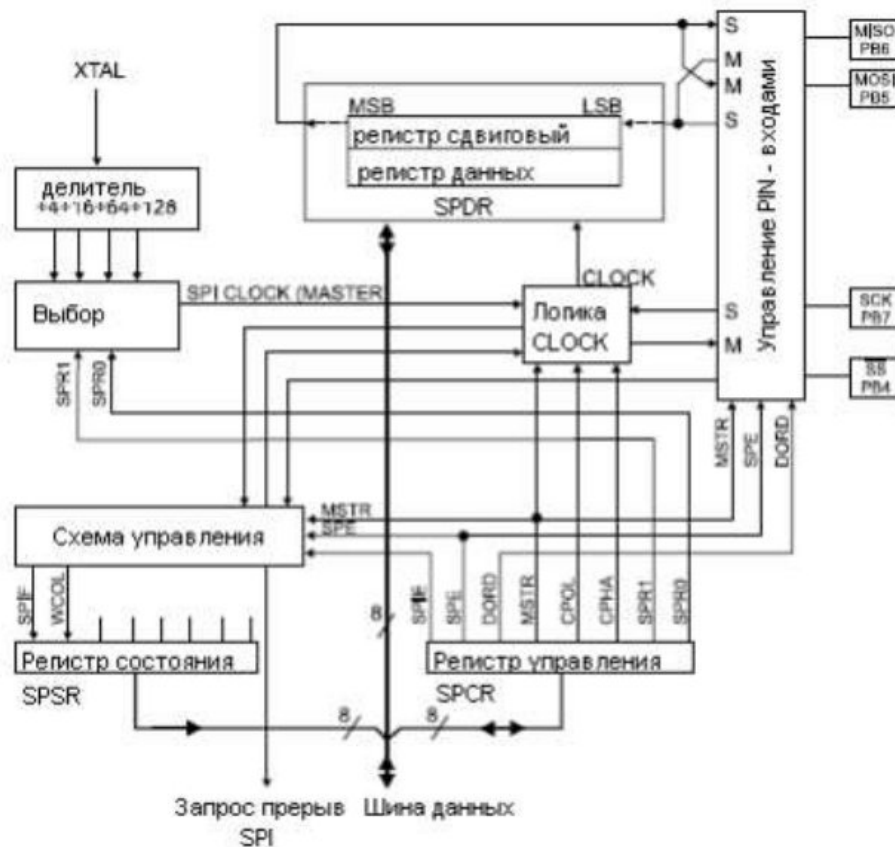


Рисунок 1 — структурная схема порта SPI

Схемы алгоритмов передачи и приема по каналу SPI представлены на рисунке 2.



а)



б)

Рисунок 2 — Схема алгоритма передачи (а) и приема (б)

Исходный код программы передачи:

```

;*****
*
;Программа 5.1 для демонстрации работы канала SPI
;для передающего микроконтроллера ATx8515 в режиме MASTER.
;После сброса МК1 происходит передача трёх байтов,
;считываемых из ячеек SRAM по адресам из регистра Z
;Соединения: PB5мк1-PB5мк2, PB7мк1-PB7мк2, PB0мк1-PB4мк2
;*****
*
#include "8515def.inc" ;файл определений AT90S8515
#include "m8515def.inc" ;файл определений ATMEGA8515
.equ DD_MOSI = 5
  
```

```

.equ DD_SCK = 7
.def temp = r16 ;временный буфер
.def count = r17 ;счётчик
.org $000
rjmp init

;***Инициализация МК
INIT: ldi temp,0xB1 ;DD_MOSI, DD_SCK, SS, PB0 для вывода
out DDRB,temp
ldi ZL,0x70 ;загрузка
ldi ZH,0x01 ; данных в
ldi temp,0x41 ; память
st Z+,temp ; данных
ldi temp,0x56 ; с использованием
st Z+,temp ; косвенной
ldi temp,0x52 ; адресации с
st Z+,temp ; постинкрементом
ldi ZL,0x70
ldi count,0x03 ;установка счётчика передач

;***Настройка SPI в режиме MASTER на передачу данных
ldi temp,(1<<SPE) | (1<<MSTR)
out SPCR,temp
OUTPUT: sbi PORTB,0 ;переключение
nop ;PB0 из 1 в 0
cbi PORTB,0
ld temp,Z+ ;считывание байта из памяти
out SPDR,temp ;вывод байта в передатчик

Wait_Transmit:
sbis SPSR,SPIF ; проверка флага передачи
rjmp Wait_Transmit
dec count ;уменьшение счётчика на 1
brne OUTPUT

loop: rjmp loop

```

#### Исходный код программы приема:

```

;*****
;*****
;Программа 5.2 для демонстрация работы канала SPI
;микроконтроллера ATx8515 в режиме SLAVE.

;После сброса МК2 происходит прием трёх байтов, записываемых
в SRAM
;по адресам из регистра X.
;По окончании приёма загораются все светодиоды.
;При последовательном нажатии на SW5 (SHOW) происходит
чтение данных
;и вывод их на светодиоды.
;Соединения: SW5-PD5, шлейфом порт PC-LED

```

```

;*****
;*****
; .include "8515def.inc" ;файл определений AT90S8515
; .include "m8515def.inc" ;файл определений ATMEGA8515
; .equ DD_MISO = 6
; .def temp = r16 ;временный буфер
; .def count = r17 ;счётчик
; .equ SHOW = 5 ;5-й вывод порта PD
; .org $000
; rjmp init

;***Инициализация МК
INIT:
; ldi temp,low(RAMEND) ;установка
; out SPL,temp ; указателя стека
; ldi temp,high(RAMEND) ; на последнюю
; out SPH,temp ; ячейку ОЗУ
; ldi temp,(1<<DD_MISO)
; out DDRB,temp
; ldi temp,0xB0
; out PORTB,temp
; clr temp ;настройка
; out DDRD,temp ; вывода
; sbi PORTD,SHOW ; порта PD5 на ввод
; ser temp ;настройка
; out DDRC,temp ; выводов порта PC
; out PORTC,temp ; на вывод
; ldi count,3 ;установка счётчика байтов
; ldi XL,0x80 ;в регистре X адрес, по которому
; ldi XH,0x01 ; происходит запись принятых данных

;***Настройка SPI в режиме SLAVE на приём данных
; ldi temp,(1<<SPE)
; out SPCR,temp

INPUT: sbis SPSR,SPIF ;проверка флага приема
; rjmp INPUT
; in temp,SPDR ;ввод байта из приёмника
; st X+,temp ;сохранение байта в памяти
; dec count
; brne INPUT ;уменьшение счётчика на 1
; rcall OUTLED ;вывод на индикацию
; loop: rjmp loop

;***Вывод на индикаторы***
OUTLED: clr temp ;сигнализация – передача и
; out PORTC,temp ; приём завершены
; ldi XL,0x80 ;установка начального адреса
; ldi count,3 ;установка счётчика байтов
; WAIT_SHOW: sbic PIND,SHOW ;ожидание нажатия
; rjmp WAIT_SHOW ; кнопки SHOW
; ld temp,X+ ;считывание байта из памяти

```

```

com temp ;инвертирование и
out PORTC,temp ;вывод на светодиоды
rcall DELAY ;задержка
dec count ;если показаны не все данные,
brne WAIT_SHOW ; то продолжение по нажатию SHOW
ret

;***Задержка***
DELAY: ldi r19,10
ldi r20,255
ldi r21,255
dd: dec r21
brne dd
dec r20
brne dd
dec r19
brne dd
ret

```

На рисунках 3-8 приведены показания часов и состояние порта В, зафиксированные с целью вычисления длительность одного бита данных на линии PB5.

Frequency	4.0000 MHz
Stop Watch	7.00 us

Рисунок 3 – показания часов в первый момент времени (установка PB5=0)

PORTB			
DDRB	0x17 (0x37)	0xB1	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
PINB	0x16 (0x36)	0x00	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
PORTB	0x18 (0x38)	0x00	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Рисунок 4 — состояние порта В в первый момент времени (установка PB5=0)

Frequency	4.0000 MHz
Stop Watch	7.75 us

Рисунок 5 — показания часов во второй момент времени (PB5 все еще 0)

PORTB			
DDRB	0x17 (0x37)	0xB1	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
PINB	0x16 (0x36)	0x80	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
PORTB	0x18 (0x38)	0x00	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Рисунок 6 — состояние порта В во второй момент времени (PB5 все еще 0)

Frequency	4.0000 MHz
Stop Watch	8.25 us

Рисунок 7 — показания часов в третий момент времени (установка PB5=1)

PORTB	0x17 (0x37)	0xB1
DDRB	0x16 (0x36)	0x20
PINB	0x18 (0x38)	0x00

Рисунок 8 — состояние порта В в третий момент времени (установка PB5=1)

Исходя из рисунков 5-8 примем за момент переключения бита Stop Watch = 8.00 мкс. Тогда  $V_{\text{передачи}} = 10^6 / (8.00 - 7.00) = 10^6$  б/с. При тактовой частоте 4 МГц и значении делителя K=4:  $V_{\text{передачи теор}} = 4 * 10^6 / 4 = 10^6$  б/с.

## Задание 2.

Для совместной отладки программ и симуляции передачи/приема воспользоваться демонстрационной версией программы ISIS 6 Professional из пакета Proteus 6 Professional.

Схема для отладки программ в Proteus приведена на рисунке 9.

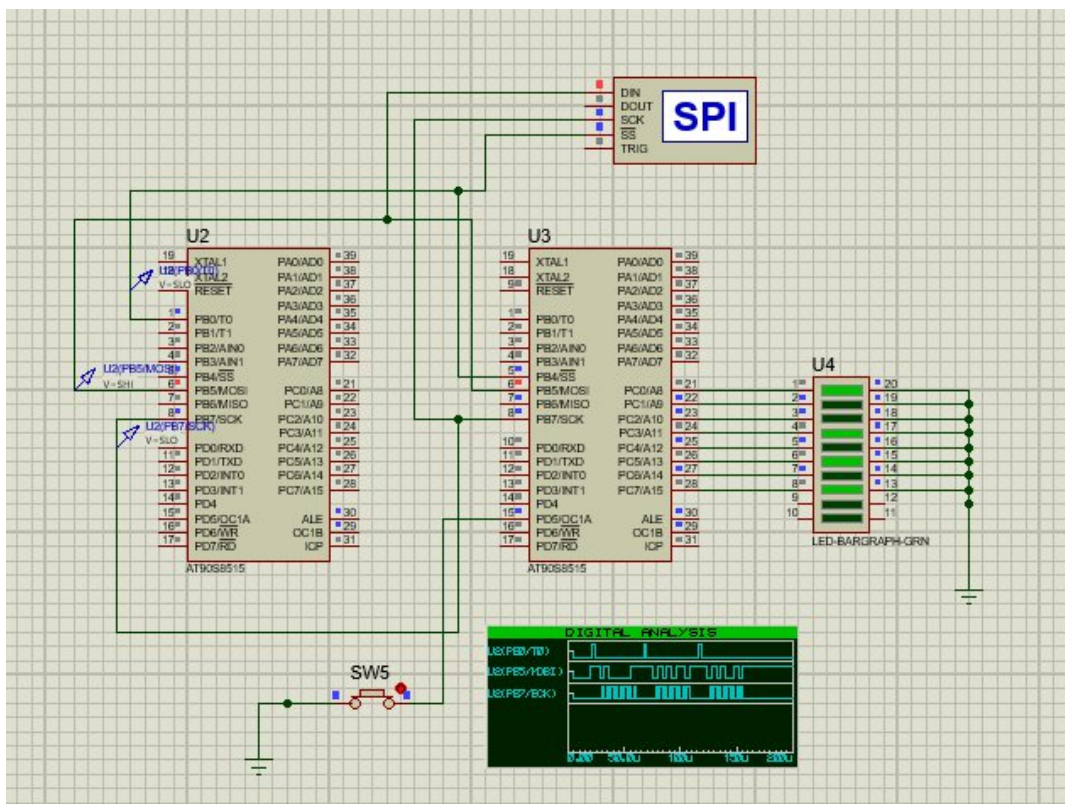


Рисунок 9 — схема для работы с SPI в Proteus

Временная диаграмма работы SPI представлена на рисунке 10.

*Примечание:* На микроконтроллерах выставлена тактовая частота 1 МГц.

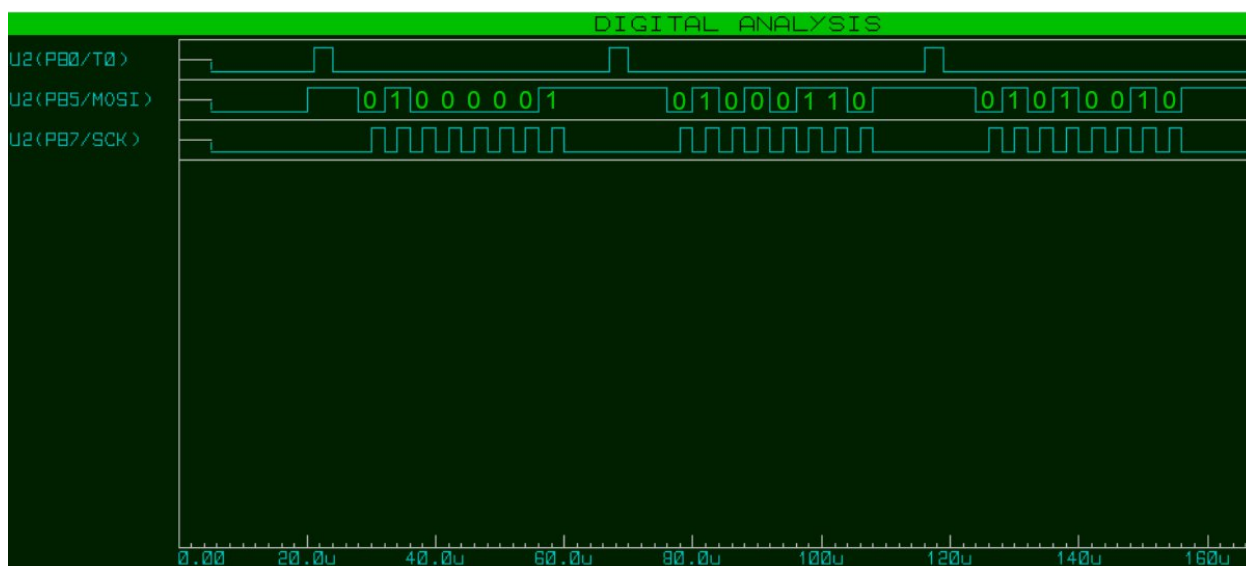


Рисунок 10 – временная диаграмма работы SPI

Окно SPI Debugger представлено на рисунке 11.

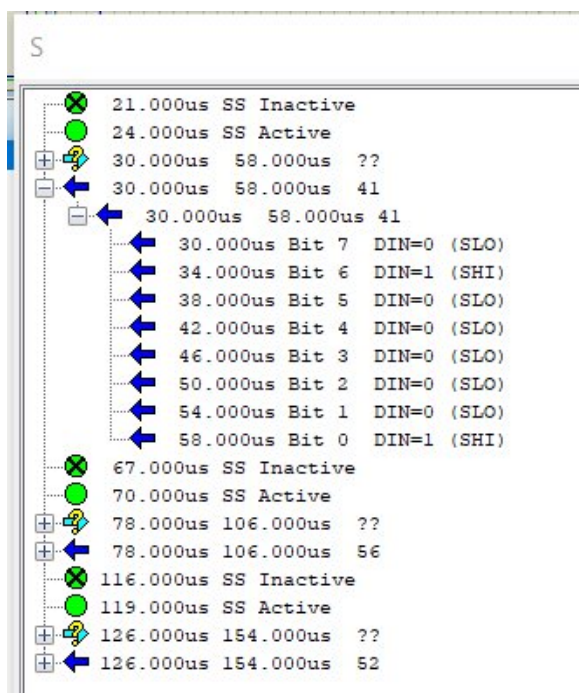


Рисунок 11 — SPI Debugger

### Задание 3.

Изменить обе программы, задав CPOL = 1. Проверить работу интерфейса на модели путем симуляции.

Для задания CPOL = 1 заменим строчки программы master-a

```
ldi temp, (1<<SPE) | (1<<MSTR)
out SPCR, temp
```

На



```
ldi temp, (1<<SPE) | (1<<MSTR) | (1<<CPOL)
out SPCR, temp
```

И строчки программы slave-a

```
ldi temp, (1<<SPE) out SPCR, temp
```

На

```
ldi temp, (1<<SPE) | (1<<CPOL)
out SPCR, temp
```

Временная диаграмма работы интерфейса приведена на рисунке 11. Сигнал SCK стал инверсным, остальные сигналы не изменились.

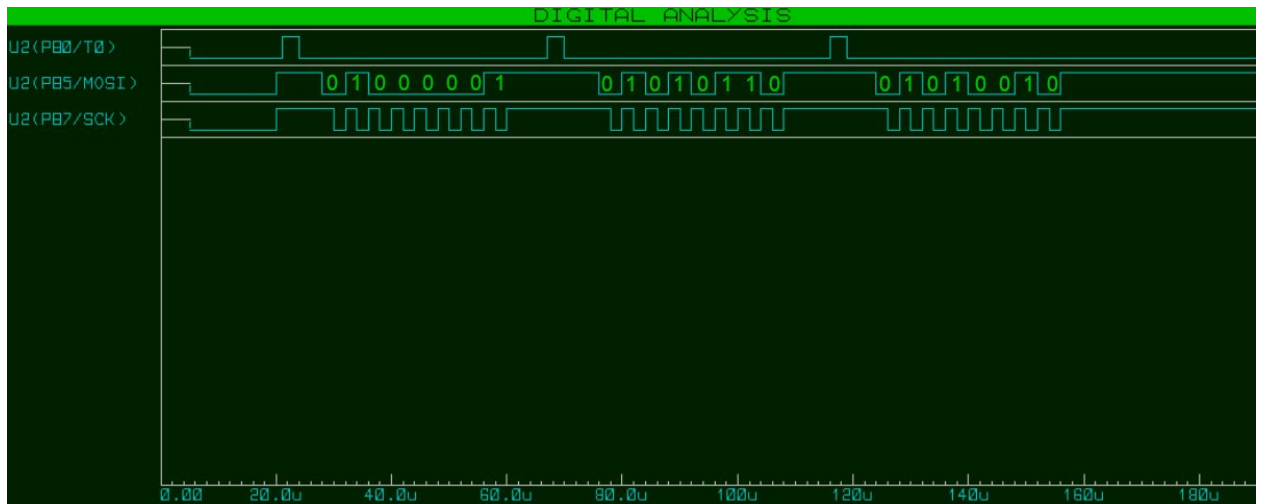


Рисунок 11 — временная диаграмма работы SPI при CPOL = 1

#### Задание 4.

Изменить обе программы, задав DORD = 1. Проверить работу интерфейса на модели.

Для задания DORD = 1 заменим строчки программы master-a

```
ldi temp, (1<<SPE) | (1<<MSTR)
out SPCR, temp
```

На

```
ldi temp, (1<<SPE) | (1<<MSTR) | (1<<DORD)
out SPCR, temp
```

И строчки программы slave-a

```
ldi temp, (1<<SPE) out SPCR, temp
```

На

```
ldi temp, (1<<SPE) | (1<<DORD)
out SPCR, temp
```

Временная диаграмма работы интерфейса приведена на рисунке 12. Биты каждого из чисел стали передаваться по линии MOSI в обратном порядке.

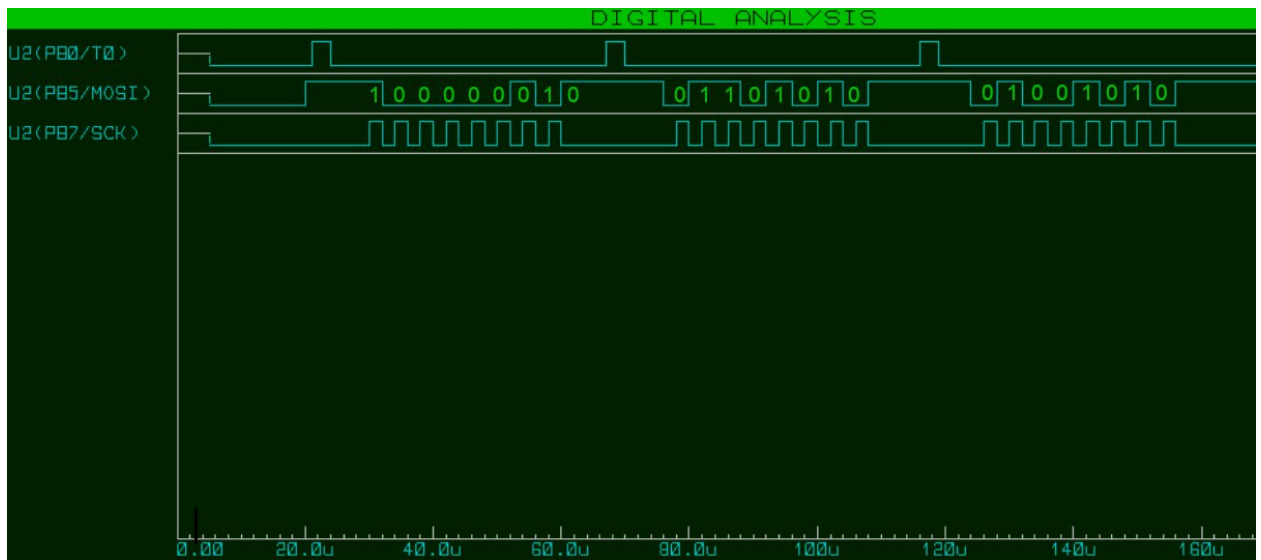


Рисунок 12 — временная диаграмма работы SPI при DORD = 1

### Задание 5.

Изменить проект, подключив к входу PB4 МК2 уровень GND (логический «0»). Проверить работу интерфейса на модели.

В результате модификации схемы данные не были переданы в МК2. Результаты представлены на рисунке 13.

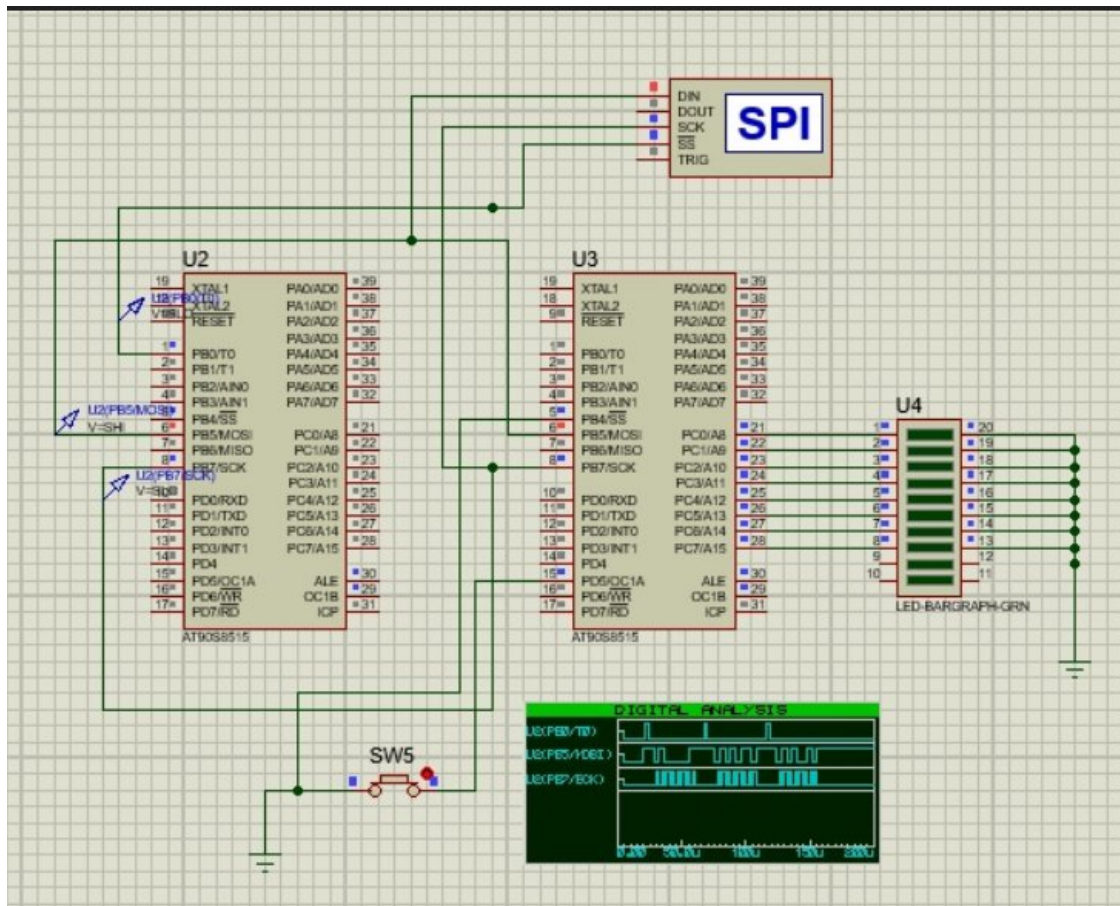


Рисунок 13 — работа схемы при PB4 = 0

### Задание 6.

Убедившись в правильной работе программ, можно перейти к экспериментальной проверке в STK500.

### Задание 7.

Изменить программы для передачи-приема символьного набора 1234, хранимого в памяти программ передающего микроконтроллера, используя механизм выборки, использованный в работе 3. Проверить работу канала SPI.

Соединив вход PB4 приемного микроконтроллера с выводом GND, повторить передачу. Сравнить наблюдаемые результаты с результатами симуляции.

Код программы:

```
.include "m8515def.inc"
.equ DD_MOSI = 5
.equ DD_SCK = 7 ;мк1-PB7мк2, PB0мк1-PB4мк2
.def res = r18 ;результат операции (сумма, разность,
.def temp = r16
.def count = r17 ;мк1-PB7мк2, PB0мк1-PB4мк2

.macro vvod ;ввод операнда
lpm
mov @0,r0
mov res, r0 ; и пересылка в регистр операнда
adiw zl, 1 ;увеличение указателя адреса на 1
.endmacro

.org $000
rjmp init
INIT: ldi temp,0xB1
out DDRB,temp
ldi temp,low(RAMEND)
out SPL,temp
ldi temp,high(RAMEND)
out SPH,temp
ldi ZL,low(tabl_op*2)
ldi ZH,high(tabl_op*2)
ldi count,4
clr temp
ldi temp,(1<<SPE) | (1<<MSTR)
out SPCR,temp

OUTPUT:
sbi PORTB,0
nop
cbi PORTB,0
vvod temp
out SPDR,temp
Wait_Transmit:
```

```
sbis SPSR, SPIF
rjmp Wait_Transmit
dec count
brne OUTPUT
loop: rjmp loop
tabl_op: .db 0x31, 0x32, 0x33, 0x34
```

При соединении входа PB4 приемного микроконтроллера с выводом GND результаты аналогичны пункту 5.

**Вывод:** в ходе данной лабораторной работы были изучены теоретические основы и получены практические навыки работы с каналом SPI. Линии порта MOSI, SCK, SS отвечают за передачу данных, сдвиговые импульсы и выбор ведомого устройства (и начало приема очередного байта) соответственно. Биты CPOL и DORD отвечают за полярность сигналов сдвига и порядок пересылки разрядов информационного сообщения.