



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»

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ «09.03.01 Информатика и вычислительная техника»

ОТЧЕТ по лабораторной работе № 4

Название: «Таймеры микроконтроллеров ATx8515.»

Дисциплина: «Микропроцессорные системы.»

Студент ИУ6-62Б
(Группа)

(Подпись, дата)

А.Е.Медведев
(И. О. Фамилия)

Преподаватель

(Подпись, дата)

Б.И.Бычков
(И. О. Фамилия)

2022 г.

1 Цель работы:

- изучение структур и режимов работы таймеров и их программирование,
- анализ схем включения таймеров для проведения исследований,
- программирование задач с таймером.

2 Задание 1.

Проверить на плате STK500 работу исходной программы 4.1. Изменить программу, исключив влияние на работу таймера возможность “дребезга” кнопки. Для этого запрограммировать линию порта PB0 на вывод для программного ввода в таймер положительного сигнала при замыкании кнопки. Формирование сигнала «0/1» для таймера выполнить, предварительно проверив состояние кнопки командой sbic PINx,b (порт и линию для кнопки выбрать самостоятельно, настроив ее на ввод и подключив подтягивающий резистор). При замыкании кнопки (сигнале «0») программно сформировать сигнал «0/1» на выходе PB0, в противном случае процессор остается в цикле ожидания.

Так как новый ввод в таймер можно производить только после отпускания кнопки (сигнала «1»), в программу следует добавить команды задержки rcall DELAY и проверки отпускания кнопки sbis PINx,b. (Примечание. При программном управлении работой таймера режим sleep должен быть отменен).

Перед загрузкой программы выполнить ее отладку в AVR Studio. Убедившись в правильности работы программы, проверить ее на плате STK500.

Код программы представлен в листинге ??

Листинг 2.1 – Листинг первой программы

```
;Программа 4.1 для МК ATx8515:
;демонстрация работы таймера T0 в режиме счётчика событий;
;событие - нажатие кнопки SW0.
;Соединения: порт PB0SW0, шлейфом порт PD-LED
;Светодиоды включаются после четвертого нажатия кнопки SW0
;*****

.include "m8515def.inc" ;файл определений ATmega8515
```

```

.def temp = r16 ;временный регистр
;***Таблица векторов прерываний
.org $000
    rjmp INIT ;обработка сброса
.org $007
    rjmp T0_OVF ;обработка переполнения таймера T0
;***Инициализация МК
INIT:
    ldi temp,low(RAMEND) ;установка
    out SPL,temp ; указателя стека
    ldi temp,high(RAMEND) ; на последнюю
    out SPH,temp ;ячейку 03У
    ldi temp,0x01 ;инициализация вывода порта PB0
    out DDRB,temp ; на выход, а PB7 на вход
    ldi temp,0x80 ;включение подтягивающего резистора
    out PORTB,temp ; входа PB7
    ser temp ;инициализация выводов порта PD
    out DDRD,temp ; на вывод
    out PORTD,temp ;выключение светодиодов
    ldi temp,(1<<SE) ;разрешение перехода
    out MCUCR,temp ; в режим Idle
;***Настройка таймера T0 на режим счётчика событий
    ldi temp,0x02 ;разрешение прерывания по
    out TIMSK,temp ; переполнению таймера T0
    ldi temp,0x07 ;переключение таймера
    out TCCR0,temp ; по положительному перепаду напряжения
    sei ;глобальное разрешение прерываний
    ldi temp,0xFC ;$FC=-4 для
    out TCNT0,temp ; отсчёта 4-х нажатий
LOOP:
    sbic PINB, 7
    rjmp CHK_DOWN
    cbi PORTB, 0
    sbi PORTB, 0
    cbi PORTB, 0
WAIT_BTN_UP:
    sbis PINB, 7
    rjmp WAIT_BTN_UP
    rcall DELAY_HALF_SECOND

```

```

CHK_DOWN:
    rjmp LOOP
;***Обработка прерывания при переполнении таймера T0
TO_OVF:
    clr temp
    out PORTD,temp ;включение светодиодов
    rcall DELAY ;задержка
    ser temp
    out PORTD,temp ;выключение светодиодов
    ldi temp,0xFC ;перезагрузка
    out TCNT0,temp ; TCNT0
    reti
;*** Задержка ***
DELAY:
    ldi r19,6
    ldi r20,255
    ldi r21,255
dd:
    dec r21
    brne dd
    dec r20
    brne dd
    dec r19
    brne dd
    ret
DELAY_HALF_SECOND:
    ldi r19, 3
    ldi r20, 255
    ldi r21, 255
dd2:
    dec r21
    brne dd2
    dec r20
    brne dd2
    dec r19
    brne dd2
    ret

```

На рисунках ?? — ?? изображены структурные схемы таймеров/счетчиков T0 и T1.

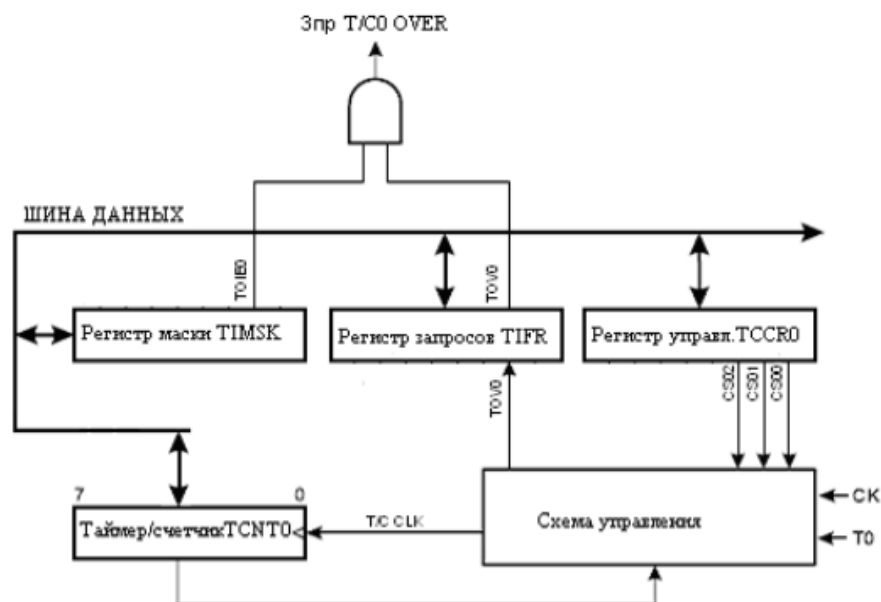


Рисунок 2.1 – Структурная схема таймера/счетчика Т0

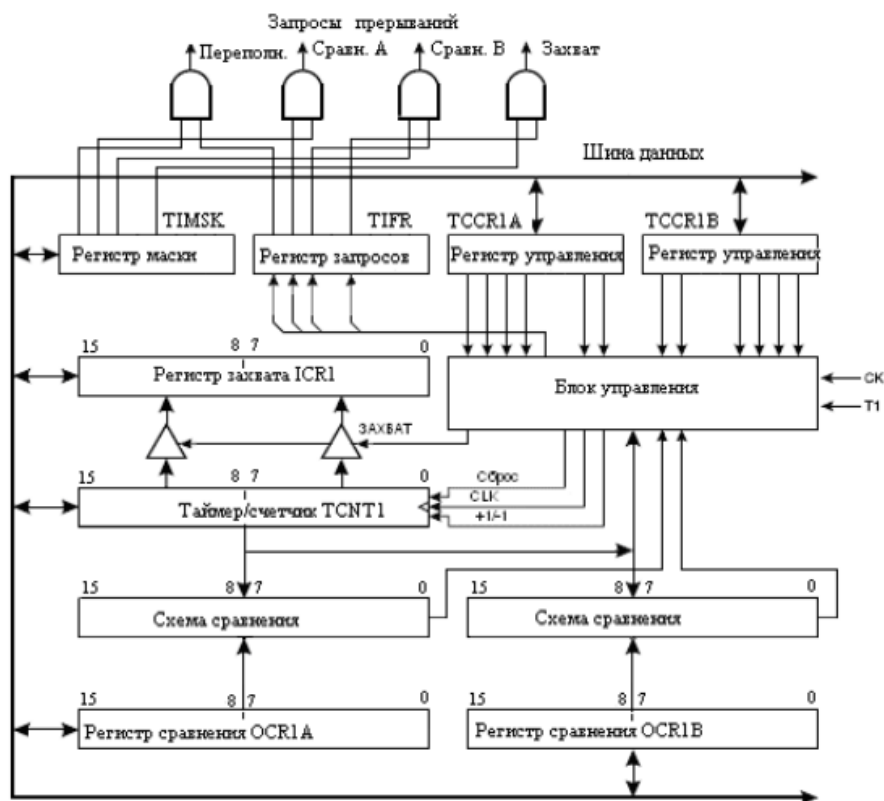


Рисунок 2.2 – Структурная схема таймера/счетчика Т1

3 Задание 2.

Проверить работу программы 4.2. Оценить время свечения светодиодов при нажатии кнопки SW0 и при нажатии кнопки SW1 и сравнить его с расчетным значением. Изменив настройки таймера, уменьшить вдвое время включения светодиодов.

Расчетные значения:

$$T = (65536 - TCNT1) * K / F_{ck}, F_{ck} = 3.69, K = K_SW0 / K_SW1 (1024 / 256),$$

TCNT1 – начальное значение счетчика = 32768.

Рассчитаем время для T0 и T1.

$$T0 = (65536 - 32768) * 1024 / (3.69 * 10^6) = 9.09 = 9.1.$$

$$T1 = (65536 - 32768) * 256 / (3.69 * 10^6) = 2.27 = 2.3.$$

Начальные параметры для задания 4.2:

Таблица 3.1 – Таблица сранения времени без изменений

Расчетное время, с	Практическое время, с
9,1	10,2
2,3	2,7

Измененные параметры для задания 4.2, в 2 раза меньше исходного:

$$T0 = (65536 - 49152) * 1024 / (3.69 * 10^6) = 4,55.$$

$$T1 = (65536 - 49152) * 256 / (3.69 * 10^6) = 1,12$$

Таблица 3.2 – Таблица сранения времени с изменений

Расчетное время, с	Практическое время, с
4,55	4,7
1,12	1,2

Листинг 3.1 – Листинг второй программы

```

;*****
;Программа 4.2 для МК ATx8515: демонстрация работы таймера T1

```

```

;в режиме таймера. При частоте работы микроконтроллера FCK =3,69
    МГц
;после нажатия SW0 на вход счётчика поступают сигналы с частотой
    FCK/1024,
;после нажатия SW1 - FCK /256.
;Соединения: PD0,PD1SW0,SW1; PB-LED
;*****
;.include "8515def.inc" ;файл определений AT90S8515
.include "m8515def.inc" ;файл определений ATmega8515
.def temp = r16 ;временный регистр
.equ SW0 = 0 ;0-ой вывод порта PD
.equ SW1 = 1 ;1-ий вывод порта PD
;***Таблица векторов прерываний
.org $000 6
    rjmp INIT ;обработка сброса
.org $006
    rjmp T1_OVF ;обработка переполнения таймера T0
;***Инициализация МК
INIT: ldi temp,low(RAMEND) ;установка
    out SPL,temp ; указателя стека
    ldi temp,high(RAMEND) ; на последнюю
    out SPH,temp ; ячейку 03У
    clr temp ;инициализация выводов порта PD
    out DDRD,temp ; на ввод
    ldi temp,0x03 ;включение подтягивающих резисторов
    out PORTD,temp ; в разрядах 0,1 порта PD
    ser temp ;инициализация выводов порта PB
    out DDRB,temp ; на вывод
    out PORTB,temp ;выключение светодиодов
;***Настройка таймера T1 на режим таймера
    ldi temp,0x80 ;разрешение прерывания по
    out TIMSK,temp ; переполнению таймера T1
    clr temp ;таймер T1
    out TCCR1B,temp ; остановлен
    ldi temp,0xC0 ; загрузка TCNT1
    out TCNT1H,temp
    ldi temp,0x00
    out TCNT1L,temp
    sei ;глобальное разрешение прерываний

```

```

;***Ожидание нажатия кнопок
test_sw0: sbic PIND,SW0 ;проверка нажатия
          rjmp test_sw1 ; кнопки SW0
;***Обработка нажатия кнопки SW0
          ldi temp,0x05 ;для настройки предделителя (K=1024)
          rcall LED_ON ;включение светодиодов
test_sw1: sbic PIND,SW1 ;проверка нажатия
          rjmp test_sw0 ; кнопки SW1
;***Обработка нажатия кнопки SW1
          ldi temp,0x04 ; для настройки предделителя (K=256)
          rcall LED_ON ;включение светодиодов
          rjmp test_sw0
;***Включение светодиодов
LED_ON: out TCCR1B,temp ;запуск таймера с предделителем
        clr temp ;включение
        out PORTB,temp ; светодиодов
        ret
;***Обработка прерывания при переполнении таймера T1
T1_OVF: ser temp
        out PORTB,temp ;выключение светодиодов
        clr temp ;останов
        out TCCR1B,temp ; таймера T1
        ldi temp,0xC0
        out TCNT1H,temp ; перезагрузка TCNT1
        ldi temp,0x00
        out TCNT1L,temp
        reti

```

4 Задание 3.

Проверить работу программы 4.3. Результат работы программы должен соответствовать диаграммам на рис.3. При нажатии на кнопку SW0 светодиоды работают в следующей последовательности: оба светодиода горят, далее выключается LED0, затем LED1, включается LED0, затем LED1 и т.д. В любой момент процесс можно остановить нажатием кнопки SW2.

Изменить параметры настройки таймера так, чтобы параметры выходных сигналов соответствовали выбранным значениям из ряда:

длительность $t_i \approx 2 \text{ с}, 3 \text{ с}, 4 \text{ с}, 5 \text{ с}, 6 \text{ с}$; задержка $t_z = \frac{1}{4} t_i, \frac{1}{2} t_i, \frac{3}{4} t_i$.

Выбранные значения:

$$t_i \approx 6 \text{ с.} \Rightarrow t_z = \frac{1}{2} t_i = 3 \text{ с.}$$

Рассчитаем значения регистров по следующим формулам:

$$OCR1A = \frac{t \cdot F_{ck}}{K} = \frac{6 \text{ с} \cdot 3,69 \cdot 10^6}{1024} \approx 21621 = 0x5475;$$

$$\frac{t \cdot F_{ck}}{K} = \frac{3 \text{ с} \cdot 3,69 \cdot 10^6}{1024} \approx 10810 = 0x23;$$

$$t = (OCR1A \sim OCR1B) * \frac{K}{F_c} \Rightarrow OCR1B = 5475 - 23 = 2A3B.$$

Листинг 4.1 – Листинг третьей программы

```
;.include "8515def.inc" ;файл определений AT90S8515
.include "m8515def.inc" ;файл определений ATmega8515
.def temp = r16 ;временный регистр
.equ START = 0 ;0-ой вывод порта PD
.org $000
    rjmp INIT ;обработка сброса
.org $001
    rjmp STOP_PRESSED ;обработка внешнего прерывания INT0 - ;
        нажатие STOP
;***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,0x20 ;инициализация вывода PD5
    out DDRD,temp ; как выхода
    ldi temp,0x05 ;включение подтягивающих резисторов
    out PORTD,temp ; в PD0, PD2
    ldi temp,0x04 ;/// для ATmega8515 инициализация вывода порта
    out DDRE,temp ;/// PE2 (OC1B) на вывод
    ldi temp,(1<<INT0) ;разрешение прерывания INT0
    out GICR, temp ;в регистре GICR (или GIMSK)
    clr temp ;обработка прерываний INT0
    out MCUCR, temp ;по низкому уровню
;***Настройка функции сравнения таймера T1
    cli ;запрещение прерываний
    ldi temp,0x50 ;при сравнении состояния выводов OC1A и
    out TCCR1A,temp ; OC1B изменяются на противоположные
    clr temp ;останов
    out TCCR1B,temp ; таймера
```

```

ldi temp,0x2A ;запись числа в
out OCR1BH,temp ; регистр сравнения,
ldi temp,0x3B ; первым записывается
out OCR1BL,temp ; старший байт
ldi temp,0x54 ;запись числа в
out OCR1AH,temp ; регистр сравнения,
ldi temp,0x75 ; первым записывается
out OCR1AL,temp ; старший байт
clr temp ;обнуление
out TCNT1H,temp ; счётного
out TCNT1L,temp ; регистра
sei ;разрешение прерываний
WAITSTART: sbic PIND,START ;ожидание нажатия
rjmp WAITSTART ; кнопки START
ldi temp,0x0D ;запуск таймера с предделителем K=1024,
out TCCR1B,temp ; при совпадении с OCR1A - сброс
LOOP: nop ;во время цикла происходит
rjmp LOOP ; увеличение содержимого счётного регистра
;***Обработка прерывания от кнопки STOP
STOP_PRESSED: clr temp ;останов
out TCCR1B,temp ; таймера
WAITSTART_2: ;ожидание
sbic PIND,START ; нажатия
rjmp WAITSTART_2 ; кнопки START
ldi temp,0x0D ;запуск
out TCCR1B,temp ; таймера с предделителем K=1024
reti

```

5 Задание 4.

Проверить работу программы 4.4 на плате STK500. При нажатии на SW0 или SW1 светодиоды попеременно включаются/ выключаются в соответствии с заданным порогом сравнения F1 или F2. Зарисовать диаграммы включения/выключения светодиодов LED0, LED1 с учетом порогов сравнения, указав период и длительности сигналов.

Выбранный вариант: с коэффициентом заполнения (отношение длительности к периоду) $\frac{1}{4}$ для 9- разрядного режима ШИМ;

Расчеты для режима F1:

$$\frac{tu}{T} = \frac{1}{4}$$

$$T = 2 * TOP * Tcnt = 2 * TOP * \frac{K}{Fck} = 2 * 511 * \frac{1024}{3.69 * 10^6} = 0,2836c.$$

$$t(u) = \frac{T}{4} = 0,0709c.$$

$$t(u) = 2 * OCR1A(B) * \frac{K}{Fck} = 0,0709c.$$

$$OCR1A = 12810 = 0x80.$$

На рисунке ?? изображена диаграмма ШИМ для режима F1.

Расчеты для режима F2:

$$\frac{tu}{T} = \frac{3}{4}$$

$$OCR1B = \frac{3}{4} * TOP = \frac{3}{4} * 511 = 682 = 0x2AA$$

На рисунке ?? изображена диаграмма ШИМ для режима F2.

Листинг 5.1 – Код четвертой программы

```

;*****
;***** ;Программа 4.4 для МК АТх8515:
;демонстрация работы таймера Т1 в режиме ШИМ
;При нажатии SW0 происходит генерация
;ШИМ-сигналов с порогом сравнения F1
;При нажатии SW1 происходит генерация
;ШИМ-сигналов с порогом сравнения F2
;Соединения: PD5-LED0,PE2-LED1, PD0-SW0,PD1-SW1
;*****
;***** ;.include "8515def.inc" ;файл определений AT90S8515
.include "m8515def.inc" ;файл определений ATmega8515
.def temp = r16 ;временный регистр
;***Выводы порта PD
.equ SW0 = 0
.equ SW1 = 1
.org $000 11
    rjmp INIT ;обработка сброса
;***Инициализация МК
INIT: ldi temp,0x20 ;инициализация PD5
    out DDRD,temp ; на вывод
    ldi temp,0x03 ;включение подтягивающих
    out PORTD,temp ; резисторов порта PD
    ldi temp,0x04 ;/// для ATmega8515 инициализация

```

```

    out DDRE,temp ;/// PE2 (OC1B) на вывод
    cli ;запрещение прерываний
;настройка таймера: 10-разрядный режим ШИМ, на выводе
;OC1A неинвертированный сигнал, OC1B инвертированный сигнал
    ldi temp,0xB2
    out TCCR1A,temp
    clr temp ;обнуление
    out TCNT1H,temp ; счётного
    out TCNT1L,temp ; регистра
    ldi temp,0x05 ;таймер
    out TCCR1B,temp ; запущен с предделителем 1024
F1: sbic PIND,SW0 ;проверка нажатия SW1
    rjmp F2
;***Установка порога F1
    ldi temp,0x00 ;запись числа в
    out OCR1AH,temp ; регистры сравнения,
    out OCR1BH,temp ; первым записывается
    ldi temp,0x80 ; старший байт
    out OCR1AL,temp
    out OCR1BL,temp
F2: sbic PIND,SW1 ;ожидание нажатия SW2
    rjmp F1
;***Установка порога F2
    ldi temp,0x01 ;запись числа в
    out OCR1AH,temp ; регистры сравнения,
    out OCR1BH,temp ; первым записывается
    ldi temp,0x80 ; старший байт
    out OCR1AL,temp
    out OCR1BL,temp
    rjmp F1.

```

6 Задание 5.

Загрузить программу в STK500. Для проверки работы программы включите одновременно секундомер часов и запустите программу. После останова программы проверьте показания времени на часах и в регистрах захвата таймера. После сброса RESET повторите эксперимент (2-3 раза) и оцените погрешность замеров.

Листинг 6.1 – Код пятой программы

```
;*****
    ;.include "8515def.inc" ;файл определений AT90S8515
.include "m8515def.inc" ;файл определений ATmega8515
.def temp = r16 ;временный регистр
.def H_byte = r17 ;для хранения старшего байта
.def L_byte = r18 ;для хранения младшего байта
.equ START = 0 ;0-ой вывод порта PD
.equ SHOW_L = 1 ;1-ый вывод порта PD
.equ SHOW_H = 2 ;2-ой вывод порта PD
;***Векторы прерываний
.org $000
    rjmp INIT ;обработка сброса
.org $003
    rjmp CAPT_PRESSED ;обработка внешнего прерывания INTO
; нажатие CAPT
;***Инициализация МК
INIT: ldi temp,low(RAMEND) ;установка
    out SPL,temp ; указателя стека
    ldi temp,high(RAMEND) ; на последнюю
    out SPH,temp ; ячейку 03У
    clr temp ;инициализация выводов
    out DDRD,temp ; порта PD на ввод
    ldi temp,0x07 ;включение подтягивающих
    out PORTD,temp ; резисторов порта PD
    clr temp ;/// для ATmega8515 инициализация
    out DDRE,temp ;/// PE0 (ICP) на ввод
    ldi temp,0x01 ;/// включение подтягивающего
    out PORTE,temp ;/// резистора порта PE0
    ser temp ;инициализация выводов
    out DDRB,temp ; порта PB на вывод
    out PORTB,temp ;выключение светодиодов
    cli ;запрещение прерываний
    clr temp ;отключение от таймера
    out TCCR1A,temp ; выводов портов
    clr temp ;таймер
    out TCCR1B,temp ; остановлен
    ldi temp,0xFF ;запись числа в
```

```

    out OCR1AH,temp ; регистр сравнения ,
    ldi temp,0xFF ; первым записывается
    out OCR1AL,temp ; старший байт
    clr temp ;обнуление
    out TCNT1H,temp ; содержимого
    out TCNT1L,temp ; счётного регистра
    ldi L_byte,0x00 ; обнуление
    ldi H_byte,0x00 ; регистров вывода
    sei ;глобальное разрешение прерываний
WAITSTART: sbic PIND,START ;ожидание нажатия
            rjmp WAITSTART ; кнопки START
            ldi temp,0x08 ;разрешение прерывания
            out TIMSK,temp ; по событию "захват" таймера
            ldi temp,0xCD ;запуск таймера с предделителем 1024,
            out TCCR1B,temp ; при совпадении с OCR1A - сброс
WAIT_L: sbic PIND,SHOW_L ;ожидание нажатия
        rjmp WAIT_H ; кнопки SHOW_L - показать младший байт
        out PORTB,L_byte ;вывод на СД
WAIT_H: sbic PIND,SHOW_H ;ожидание нажатия
        rjmp WAIT_L ; кнопки SHOW_H - показать старший байт
        out PORTB,H_byte ;вывод на СД
        rjmp WAIT_L
;***Обработка прерывания от кнопки CAPT
CAPT_PRESSED: in L_byte,ICR1L ;считывание младшего байта
              in H_byte,ICR1H ;считывание старшего байта
              com L_byte ;инвертирование для вывода
              com H_byte ;инвертирование для вывода
              reti

```

Оценка работы программы

Проведём эксперименты и сравним расчётное время по таймеру с измеренным с помощью секундомера:

Расчеты:

- 1) $\frac{16957 \cdot 1024}{3.69 \cdot 10^6} \approx 4,69$
- 2) $\frac{36698 \cdot 1024}{3.69 \cdot 10^6} \approx 10,18$
- 3) $\frac{12142 \cdot 1024}{3.69 \cdot 10^6} \approx 3,36$

Таблица 6.1 – Таблица сравнения времени

№	Время с секундомера, с	Расчетное время, с
1	4,7	4,69
2	9,1	10,18
3	3,5	3,18

Погрешность:

$$1) \frac{4,7-4,69}{4,69} * 100\% = 0,00214$$

$$2) \frac{10,18-9,1}{10,18} * 100\% = 0,11$$

$$3) \frac{3,5-3,36}{3,36} * 100\% = 0,041$$

Как можно заметить, погрешности крайне малы для данной задачи.

7 Вывод:

В ходе данной работы были изучены структуры и режимы работы таймеров, и их программирование, проанализированы схемы включения таймеров для проведения исследований, проведено программирование задач с таймером. Таймер состоит из базового счетчика, регистра управления и схемы управления. Также таймер может содержать регистры для хранения текущего состояния и сравнения, а также компараторы (устройства сравнения). Были проверены режимы счётчика, таймера, широтно-импульсной модуляции, сравнения и захвата. Режим счётчика позволяет считать события. Режим таймера даёт возможность формировать временные интервалы. ШИМ режим позволяет генерировать сигналы с программируемой частотой и скважностью. Функция сравнения даёт возможность сравнивать содержимое счётчика с регистром сравнения, а функция захвата обеспечивает сохранение состояния таймера или счётчика в регистре захвата.