



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное 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 № 3

Название: Таймеры микроконтроллеров AVR

Дисциплина: Микропроцессорные системы

Студент

ИУ6-63Б

(Группа)

(Подпись, дата)

В.К. Залыгин

(И.О. Фамилия)

Преподаватель

(Подпись, дата)

Е.Ю. Гаврилова

(И.О. Фамилия)

Москва, 2025

Цель работы:

- изучение структуры и режимов работы таймеров;
- программирование таймеров для решения различных задач.

Практическая часть

Задание 1. Режим счетчика

Ниже на листинге 1 приведена программа, в котором при четвертом нажатии на кнопку SW0 загораются все светодиоды (в случаедребезга контактов светодиоды могут включиться раньше). Длительность времени, в течение которого они горят, определяется задержкой в функции delay. Исходный код модифицированной программы представлен на листинге 1.

Листинг 1 – код модифицированной программы

```
.include "m8515def.inc"
.def temp = r16

.org $000
rjmp INIT
.org $007
rjmp T0_OVF

INIT: ldi temp,low(RAMEND)
      out SPL,temp
      ldi temp,high(RAMEND)
      out SPH,temp

      clr temp ;???????????????????????????????????????????????????????? PC
      out DDRC,temp ; ???? ??????????
      ldi temp,0x01 ;????????????????????
      ?????????????????????????????????????????????????????????????
      out PORTC,temp ; ????????????? PC0
      ser temp ;???????????????????????????????????????????????????????? PB
      ?? PD
      out DDRB,temp ; ???? ?????????????
      out PORTB,temp
      out DDRD,temp ; ???? ?????????????
      out PORTD,temp ;????????????????????????????????????????????????????????
      ldi temp,(1<<SE) ;????????????????????????????????????????????????????????
      out MCUCR,temp ; ?? ????????????? Idle
;***??????????????????????????????????????????????????????????0 ??? ????
????????????????????????????????????????????
      ldi temp,0x02 ;????????????????????????????????????????????????????????
      out TIMSK,temp ; ?????????????????????????????????????????????????????????
      ldi temp,0x07 ;????????????????????????????????????????????????????????
      out TCCR0,temp ; ???? ?????????????????????????????????????????????
      ?????????????????????????????????????????????
```

```

    sei ;????????????????????????????????????????????????????????????
    ?????????????????????????????????????????????????????????????
    ldi temp,0xFC ;$FC=-4 ??????
    out TCNT0,temp ; ?????????????????? 4-?? ??????????????????

LOOP: sbic PINC, 0
    rjmp LOOP
;????????????????????????????????????????????????????????????????
(0/1) ??? PB0
    cbi PORTB,0
    sbi PORTB,0
    rcall DELAY

wait: sbis PINC, 0
    rjmp wait
    rjmp LOOP
;***????????????????????????????????????????????????????????????
???????????????????????????????????????????????????????????? T0
T0_OVF: clr temp
    out PORTD,temp ;????????????????????????????????????????????????
    rcall DELAY ;????????????????????????????????????????????????
    ser temp
    out PORTD,temp ;????????????????????????????????????????????????
    ldi temp,0xFC ;????????????????????????????????????????????????
    out TCNT0,temp ; TCNT0
    reti

;*** ????????????????????????????????????????????????????????????? ***
DELAY: ldi r19,6
    ldi r20,255
    ldi r21,255
dd: dec r21
    brne dd
    dec r20
    brne dd
    dec r19
    brne dd
    ret

```

Задание 2. Режим таймера

Кнопка START при замыкании запускает цикл, в котором светодиод сначала загорается на 1 с, а затем гаснет на то же время. Кнопка STOP предназначена для остановки мигания. В 9 10 отличие от ранее написанных программ, здесь для формирования задержки (400мс) будет использоваться не подпрограмма delay, а таймер/счетчик T1.

Для данной программы таймер/счетчик T1 следует настроить на отсчет тактовых импульсов, в результате чего он будет работать как таймер. Время до его срабатывания (переполнения) определяется по формуле:

$$t = (65536 - TCNT1) \frac{K}{F_{clk}} = 400 \text{ мс},$$

где K = 64 – коэффициент делителя рабочей частоты микроконтроллера $F_{clk} = 3,69 \text{ МГц}$. Следовательно, начальное значение таймера:

$$TCNT1 = 65536 - \frac{tF_{clk}}{K} = 65536 - \frac{0,4 \times 3,69 \times 10^6}{64} = 42473,5 < 42474.$$

Код программы представлен листингом 2.

Листинг 2 – код модифицированной программы из ЛР1

```
.include "m8515def.inc" ;файл определений для ATmega8515
.def reg_led = r20 ;регистр для текущего состояния светодиодов
.def temp = r19 ;регистр для пересылок (временный)
.equ START = 0 ;выражение-константа: номер линии кнопки START
.equ STOP = 1 ;выражение-константа: номер линии кнопки STOP
.def fg = r21
.macro reload_timer
    ldi temp,high(42474)
    ldi r22,low(42474)
    out TCNT1H,temp
    out TCNT1L,r22
.endmacro
.org $000
rjmp INIT
.org $006
rjmp T1_OVF

;***Инициализация***
INIT:
ldi temp,high(RAMEND) ;установка
out SPH,temp ; указателя стека
ldi temp,low(RAMEND) ; на последнюю
out SPL,temp

ldi reg_led,0xE0 ;сброс reg_led.0 для включения LED0
```

```

out PORTC,reg_led
ldi fg,0
ser temp
out DDRC,temp ;настройка линий порта PC на вывод
clr temp
out DDRD,temp ;настройка линий порта PD на ввод
ldi temp,0x03
out PORTD,temp ;включение подтягивающих резисторов линий PD0,PD1

reload_timer ;загрузка в таймер исходного значения
ldi temp,(1<<TOIE1) ;разрешение прерывания
out TIMSK,temp ; таймера по переполнению
sei

test_start:
    sbic PIND,start ;проверка состояния кнопки start
    rjmp test_stop
    ldi temp,((1<<CS11)|(1<<CS10))
    out TCCR1B,temp ; включение таймера с предделителем
wait_0:
    sbis PIND,start ;проверка отпускания кнопки
    rjmp wait_0
test_stop:
    sbic PIND,stop ;проверка состояния кнопки stop
    rjmp test_start
    clr temp
    out TCCR1B,temp ;выключение таймера
wait_1:
    sbis PIND,stop ;проверка отпускания кнопки
    rjmp wait_1
    rjmp test_start

T1_OVF:
clr temp
out TCCR1B,temp

    clc
    ldi r16,2
    add reg_led, r16
    cpi reg_led, 0x00
    brne CONTINUE2
    ;brhc CONTINUE2
    ldi reg_led,0xE0
CONTINUE2:

out PORTC,reg_led
reload_timer
ldi temp,((1<<CS11)|(1<<CS10))
out TCCR1B,temp ; включение таймера
reti

```

Задание 3. Режим захвата

Захват должен происходить при нажатии соответствующей кнопки. По событию «захват» должен вызываться обработчик прерывания, который переписывает содержимое 16 разрядного регистра захвата ICR1 в регистры общего назначения для хранения младшего и старшего байта.

С помощью регистра сравнения OCR1A можно задать максимальное значение, которое можно получить в таймере/счетчике и, следовательно, в регистре захвата. Для этого необходимо настроить таймер на работу в режиме Clear Timer on Compare Match (CTC), чтобы он сбрасывался при равенстве значений регистров TCNT1 и OCR1A.

Для проверки работы программы включите одновременно секундомер часов или телефона и нажмите кнопку START, затем одновременно остановите секундомер и нажмите кнопку CAPT.

Повторим эксперимент 3 раза и оценим погрешность замеров. Результаты эксперимента представлены на таблице 1.

Таблица 1 – результаты эксперимента

Время на часах, с	Время в регистре захвата, с	Погрешность, с
5,32	5,54	0,22
5,25	5,31	0,06
5,49	5,61	0,12

Средняя погрешность = $(0,22+0,06+0,12)/3 = 0,13$ с

Задание 4. Формирование периодического сигнала

Для данной программы таймер/счетчик T0 следует настроить на работу в режиме сброса при совпадении (CTC). При этом надо задать смену состояния вывода OC0 по истечении указанного времени. Расчет частоты выходного сигнала производится по формуле:

$$F_{OC0} = \frac{F_{clk}}{2 \times K \times (1 + OCR0)}$$

$$- \text{ G: } 196\text{Гц} - \frac{3.69 \times 10^6}{2 \times 64 \times 196} - 1 = 146$$

- D: $146,8\text{Гц} - \frac{3.69 * 10^6}{2 \times 64 \times 146,8} - 1 = 195$
- A: $220\text{Гц} - \frac{3.69 * 10^6}{2 \times 64 \times 220} - 1 = 130$
- F: $174,6\text{Гц} - \frac{3.69 * 10^6}{2 \times 64 \times 174,6} - 1 = 164$

Листинг 5 - модифицированная программа

```
.include "m8515def.inc" ; файл определений для АТмега8515
.def temp = r16 ;временный регистр
.equ G = 0 ;0-й бит порта PA
.equ D = 1 ;1-й бит порта PA
.equ A = 2 ;1-й бит порта PA
.equ F = 3 ;1-й бит порта PA
.equ PRESCALER_64 = ((1<<CS01)|(1<<CS00))
.equ TIMER_SETTINGS = ((1<<WGM01)|(1<<COM00)|PRESCALER_64)
.equ VALUE_G = 146
.equ VALUE_D = 195
.equ VALUE_A = 130
.equ VALUE_F = 164 ; частота 0,5 кГц
.macro timer_on
    sbi PORTB, 0
    ldi temp,TIMER_SETTINGS
    out TCCR0,temp
.endmacro
.macro timer_off
    clr temp
    out TCCR0,temp
.endmacro
.org $000
    rjmp INIT
INIT:
    ldi temp,high(RAMEND) ;установка
    out SPH,temp ; указателя стека
    ldi temp,low(RAMEND) ; на последнюю
    out SPL,temp ; ячейку ОП
    ser temp ;инициализация выводов
    out DDRB,temp ; порта PB на вывод
    cbi PORTB, 0
    ;out PORTB,temp ;подать высокий сигнал
    clr temp ;инициализация
    out DDRA,temp ; порта PA на ввод
    ldi temp,0b00001111 ;включение подтягивающих
    out PORTA,temp ; резисторов порта PA
START:
    timer_off
check_G:
    sbic PINA, G
    rjmp check_D
    ldi temp,VALUE_G ;установка конечного
    out OCR0,temp ; значения счета
```

```

    timer_on
play_G:
    sbis PINA, G
    rjmp play_G
    timer_off
check_D:
    sbic PINA, D
    rjmp check_A
    ldi temp,VALUE_D ;установка конечного
    out OCR0,temp ; значения счета
    timer_on
play_D:
    sbis PINA, D
    rjmp play_D
    timer_off
check_A:
    sbic PINA, A
    rjmp check_F
    ldi temp,VALUE_A ;установка конечного
    out OCR0,temp ; значения счета
    timer_on
play_A:
    sbis PINA, A
    rjmp play_A
    timer_off
check_F:
    sbic PINA, F
    rjmp START
    ldi temp,VALUE_F ;установка конечного
    out OCR0,temp ; значения счета
    timer_on
play_F:
    sbis PINA, F
    rjmp play_F
    timer_off
    rjmp START

```

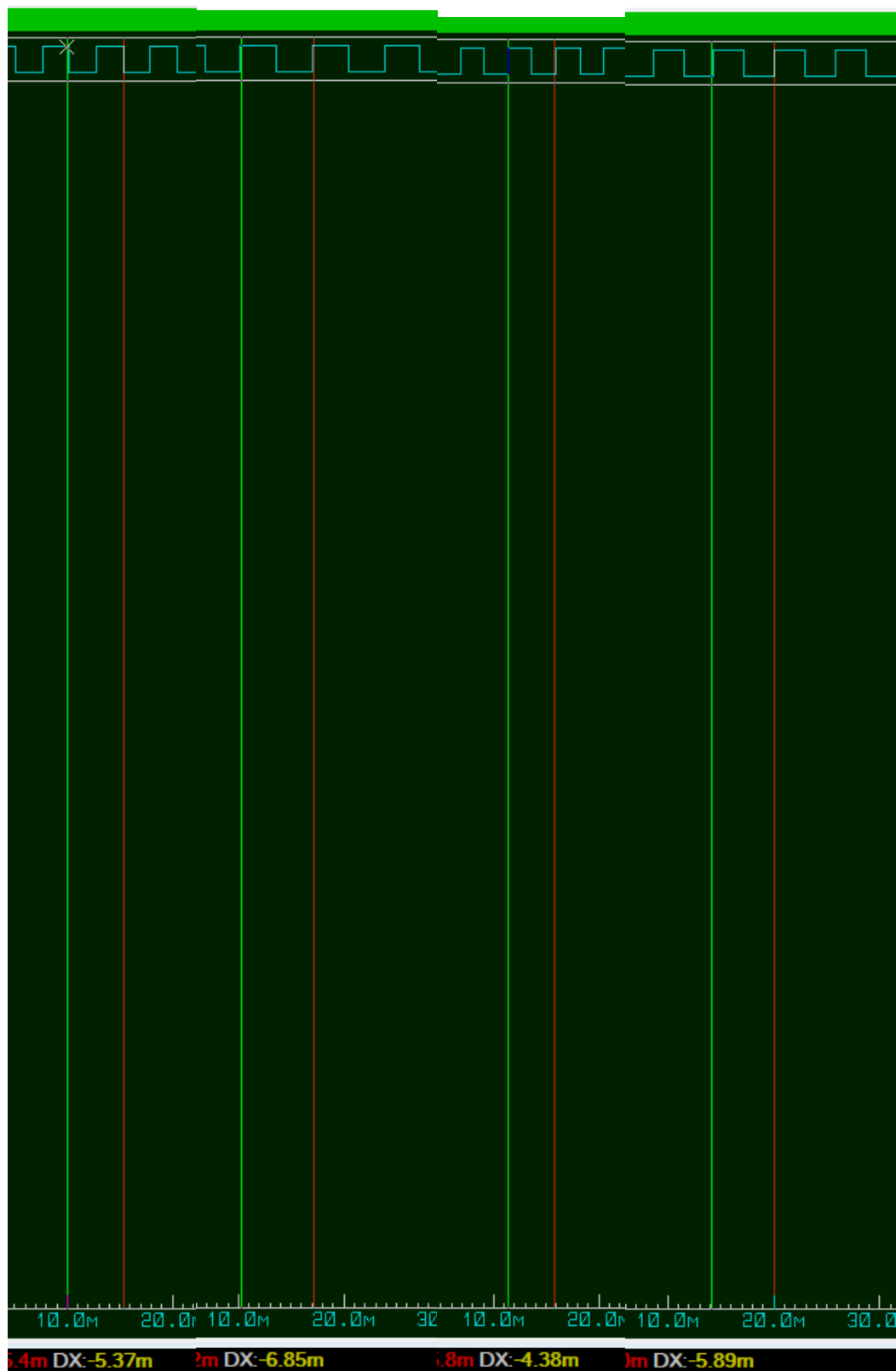



Рисунок 1 - временные диаграммы для 4 нот

$$1000/5.37 = 186.21973929236498 \text{ (G: } 196\Gamma_{\text{ц}})$$

$$1000/6.85 = 145.98540145985402 \text{ (D: } 146,8\Gamma_{\text{ц}})$$

$$1000/4.38 = 228.31050228310505 \text{ (A: } 220\Gamma_{\text{ц}})$$

$$1000/5.89 = 169.77928692699493 \text{ (F: } 174,6\Gamma_{\text{ц}})$$

Экспериментально подтверждена возможность использования таймера T0 в режиме CTC с переключением вывода OC0 для генерации сигналов заданной частоты. Расчетные значения OCR0 позволили получить частоты, близкие к требуемым, что было верифицировано анализом временных диаграмм.

Задание 5

Рассчитаем частоту ШИМ-сигнала для данных настроек по следующей формуле:

$$f_{OC1A} = \frac{F_{clk}}{2 \times K \times TOP}$$

- K – коэффициент предделителя рабочей частоты микроконтроллера –

Поскольку был выбран 8-разрядный ШИМ, TOP = 255. Рабочая частота микроконтроллера на плате STK500 = 3,69 МГц. Тогда получим, что частота сигнала составляет примерно 7,24 кГц.

Установим уровень яркости светодиода, равный четверти от максимального, то есть для сигнала коэффициент заполнения = 0,25. Чтобы получить число, которое надо указать в регистре сравнения OCR1A:

$$k_{\text{зап}} = \frac{OCR1A}{TOP}$$

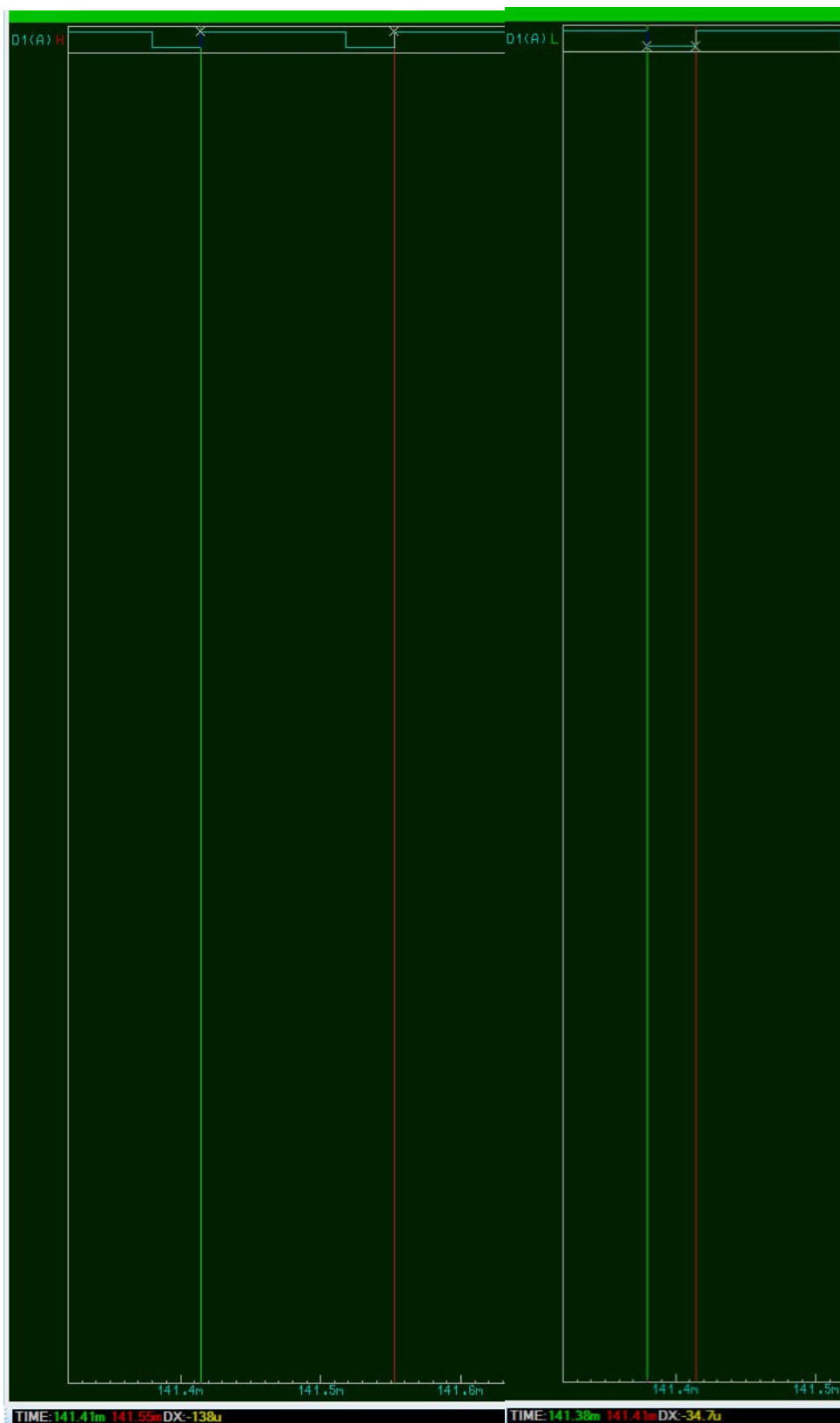


Рисунок 2 - временная диаграмма для исходной программы

$$34.7/138 = 0.2514492753623188$$

Листинг 6 - модифицированная программа

```
.include "m8515def.inc"
.def temp = r16
.equ led = 0
.equ start_1q = 0
.equ start_3q = 1
.equ stop = 2
.equ PRESCALER_1 = (1<<CS10)
.equ TIMER_SETTINGS =
((1<<COM1A1)|(1<<COM1A0)|(1<<WGM10)|(1<<WGM11)) ; WRGM 11 is for
10-bit mode (page 121)
.equ VALUE_1Q = 256
.equ VALUE_3Q = 768
.macro pwm_on
    ldi temp,TIMER_SETTINGS
    out TCCR1A,temp
    ldi temp,PRESCALER_1
    out TCCR1B,temp
.endmacro
.macro pvm_1q
    ldi temp,high(VALUE_1Q)
    out OCR1AH,temp
    ldi temp,low(VALUE_1Q)
    out OCR1AL,temp
.endmacro
.macro pvm_3q
    ldi temp,high(VALUE_3Q)
    out OCR1AH,temp
    ldi temp,low(VALUE_3Q)
    out OCR1AL,temp
.endmacro
.macro pwm_off
    clr temp
    out TCCR1A,temp
    out TCCR1B,temp
.endmacro
.org $000
rjmp INIT
INIT:
    ldi temp,high(RAMEND)
    out SPH,temp
    ldi temp,low(RAMEND)
    out SPL,temp
    ser temp
    out DDRD,temp
    out PORTD,temp
    clr temp
    out DDRA,temp
    ldi temp,0b00000111
    out PORTA,temp
test_on_1q:
    sbic PINA,start_1q
```

```

    rjmp test_on_3q
pwm_on
pvm_1q
wait_0:
    sbis PINA,start_1q
    rjmp wait_0
test_on_3q:
    sbic PINA,start_3q
    rjmp test_off
pwm_on
pvm_3q
wait_2:
    sbis PINA,start_3q
    rjmp wait_2
test_off:
    sbic PINA,stop
    rjmp test_on_1q
pwm_off
ser temp
out PORTD,temp
wait_1:
    sbis PINA,stop
    rjmp wait_1
    rjmp test_on_1q

```

Расчеты для 10 битного ШИМа. $TOP = 2^{10} - 1$

$$k_{\text{зап}} = 0.25 \Rightarrow OCR1A = 0.25 \times 2^{10} = 256$$

$$k_{\text{зап}} = 0.75 \Rightarrow OCR1A = 0.75 \times 2^{10} = 768$$

$$f_{OC1A} = \frac{F_{clk}}{2 \times K \times TOP} = \frac{3.69 \times 10^6}{2 \times 1 \times (2^{10} - 1)} = 1803.5190615835777$$



Рисунок 3 - временная диаграмма для модифицированной программы для $\frac{3}{4}$

$$416/553 = 0.7522603978300181$$

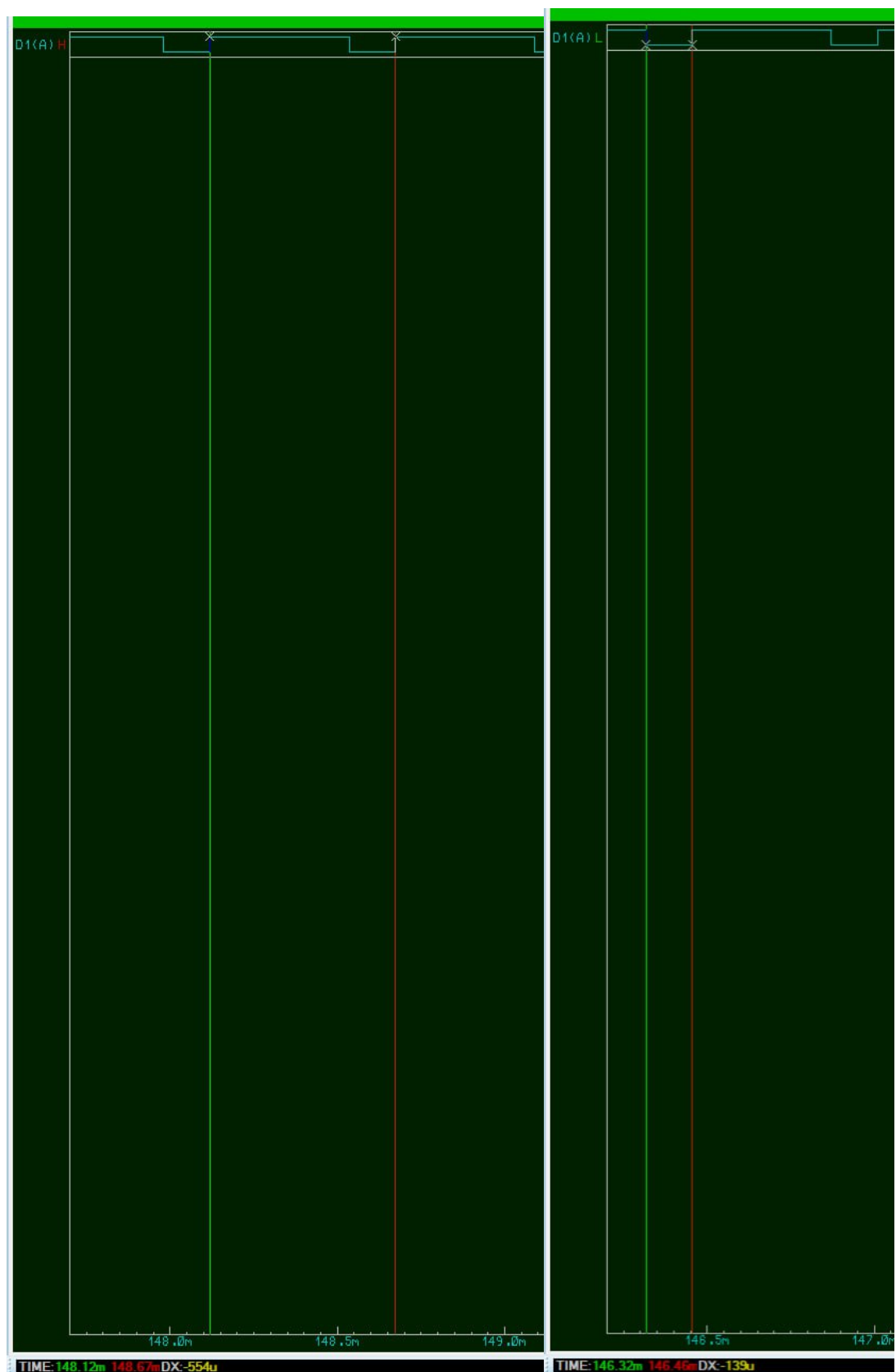


Рисунок 4 - временная диаграмма для модифицированной программы для $\frac{1}{4}$

$$139/553 = 0.2513562386980108$$

Задание успешно продемонстрировало использование таймера T1 для генерации ШИМ-сигнала с целью управления яркостью светодиода. Модифицированная программа реализовала 10-битный ШИМ, что позволяет получить больше градаций яркости по сравнению с 8-битным. Путем загрузки различных значений (256 и 768) в регистр OCR1A удалось получить два различных коэффициента заполнения ($1/4$ и $3/4$), что визуально проявлялось в разной яркости свечения светодиода. Частота ШИМ при этом составила около 1.8 кГц.