

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра конструирования узлов и деталей радиоэлектронной аппаратуры
(КУДР)

А.А. Бомбизов, Е.И. Тренкаль

ТАЙМЕРЫ

Методические указания к выполнению
лабораторной и самостоятельной работы
по дисциплине «Программирование микроконтроллеров»

Томск 2017

1 Введение

В настоящий момент в рамках курса «программирование микроконтроллеров» освоены приемы программирования портов ввода-вывода и внешние прерывания микроконтроллера ATmega328. В реальной практике часто возникает необходимость в построении псевдопараллельного выполнения задач. Для этих целей наиболее активно могут применяться таймеры.

Целью настоящей работы является освоение приёмов работы таймеров, с использованием которых программа может с заданной периодичностью выполнять параллельные задачи.

2 Краткая теория

Таймер (от англ. Timer) – в информатике средство обеспечения задержек и измерения времени с использованием аппаратных средств.

Существуют следующие разновидности реализации таймеров:

- аппаратные таймеры функционируют независимо от центрального процессора и в момент срабатывания генерируют прерывание;
- программные таймеры реализуются за счёт выполнения в цикле заданного количества одинаковых «пустых» операций, тем самым занимая процессор на необходимый интервал времени.

Аппаратные, как правило, основаны на таймере-счетчике.

Таймер-счётчик (ТС) – это автономное периферийное устройство, на вход которого подаются импульсы с внутреннего тактового генератора или внешнего входа (пина). Таймер-счётчик называется счётчиком, поскольку он ведёт подсчёт импульсов, работая автономно, то есть, не занимая процессорного времени АЛУ (арифметико-логического устройства) микроконтроллера.

В зависимости от класса микроконтроллер может оснащаться различным количеством таймеров. В ATmega328 их установлено 3:

- два 8-битных ТС0 и ТС2;
- один 16-битный ТС1.

Нужно отметить, что в данном микроконтроллере ТС0 используется для обеспечения внутренних нужд библиотеки Arduino, а именно, для функций `delay()` и `millis()`.

Структурная схема таймера счетчика изображена на рисунке 1, согласно которой можно проследить связь между регистрами таймера. Блок Clock Select отвечает за выбор источника тактирования таймера. Может быть два варианта: внутренний генератор с делителем частоты (Prescaler); внешнее событие (T_n , где n – номер таймера).

Внешнее событие – это цифровой сигнал, подаваемый на специальный вывод микроконтроллера, которых в ATmega328 существует два (рисунок 2, выделено красным). Внешний тактовый сигнал может быть организован только для TC0 и TC1.

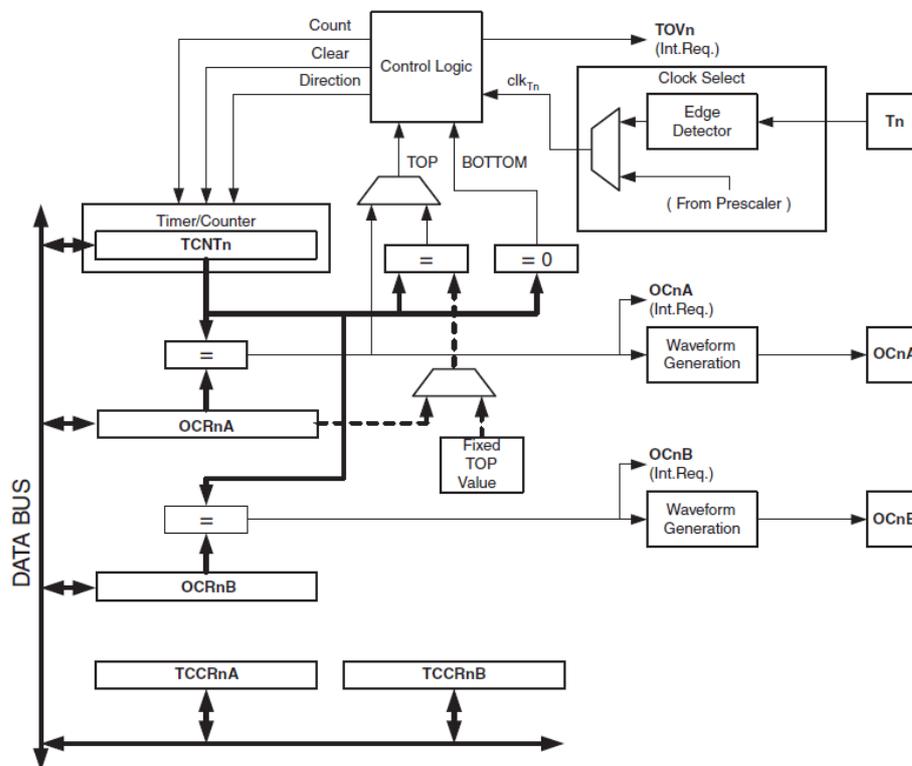


Рисунок 1– Структурная схема таймера в микроконтроллере ATmega328

Затем сигнал подаётся на счетный регистр TCNTn, который непосредственно выполняет подсчет тактов. По достижению верхнего (TOP) или нижнего (BOTTOM) в зависимости от настроек значения генерируется событие TOVn, которое вызывает прерывание «по переполнению», после чего значение регистра TCNTn будет сброшен в исходное (BOTTOM) состояние и счет начнется заново. Помимо этого существуют механизмы генерации прерываний по сравнению. Для этого предназначены регистры сравнения OCRnA и OCRnB. Если в счетчике TCNTn значение станет равным специально сохраненному значению в регистрах OCRnA или OCRnB, то будет сгенерировано прерывание «по сравнению» (OCnA или OCnB).

значения будет сгенерировано прерывание по переполнению, по которому в обработчике будет сброшено состояние вывода PB3. Далее процесс будет повторяться, а скважность может быть отрегулирована путем изменения значения в регистре OCRnA.

Конфигурация таймера-счетчика осуществляется при помощи специальных регистров TCCRnA и TCCRnB.

TCCR2A – Timer/Counter Control Register A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0xB0)	COM2A1 COM2A0 COM2B1 COM2B0 - - WGM21 WGM20								TCCR2A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Рисунок 4 – Регистр TCCRnA

Биты 7:4 определяют поведение таймера, в случае аппаратной генерации сигнала на специально отведенных для этого выводах микроконтроллера (рисунок 2, отмечено синим).

TCCR2B – Timer/Counter Control Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0xB1)	FOC2A FOC2B - - WGM22 CS22 CS21 CS20								TCCR2B
Read/Write	W	W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Рисунок 5 – Регистр TCCRnB

Биты WGM20, WGM21, WGM22 отвечают за режим аппаратной генерации сигнала таймер-счетчиком.

Настройка параметров тактового сигнала выполняется установкой бит Clock Select (CS20, CS21, CS22) регистра TCCR2B, в соответствии с таблицей:

CS22	CS21	CS20	Описание
0	0	0	Тактирование отсутствует
0	0	1	Тактирование с делителем 1 (без деления)
0	1	0	Тактирование с делителем 8
0	1	1	Тактирование с делителем 32
1	0	0	Тактирование с делителем 64
1	0	1	Тактирование с делителем 128
1	1	0	Тактирование с делителем 256
1	1	1	Тактирование с делителем 1024

Исходя из этого, период срабатывания таймера по переполнению может быть рассчитан по следующей формуле:

$$T = \frac{TOP - BOTTOM + 1}{\text{ЧастотаГенератора/делитель}}, \quad (1)$$

где TOP – верхнее значение счетчика. Максимальное для 8-битных 0xFF (255), для 16-битных 0xFFFF (65535).

ВТОТТОМ – в данном контексте начальное значение счетчика TCNTn. Может устанавливаться в обработчике прерывания таймера.

Биты WGM21 (1) , WGM20 (0) регистра TCCR2A устанавливают режим работы таймера/счетчика T2:

- 00 – обычный режим;
- 01 – режим коррекции фазы ШИМ;
- 10 – режим подсчета импульсов (сброс при совпадении);
- 11 – режим ШИМ.

Биты COM2A1 (7) и COM2A0 (6) влияют на то, какой сигнал появится на выводе OC2A (PORTB, вывод 3) при совпадении с регистром OCR2A (совпадение значения счетного регистра TCNT2 со значением регистра сравнения OCR2A):

1. Обычный режим

- 00 – вывод OC2A не функционирует;
- 01 – изменение состояния вывода OC2A на противоположное при совпадении с A;
- 10 – сброс вывода OC2A в 0 при совпадении с A;
- 11 – установка вывода OC2A в 1 при совпадении с A.

2. Режим ШИМ

- 00 – вывод OC2A не функционирует;
- 01 – если бит WGM22 регистра TCCR2B установлен в 0, вывод OC2A не функционирует;
- 01 – если бит WGM22 регистра TCCR2B установлен в 1, изменение состояния вывода OC2A на противоположное при совпадении с OCR2A;
- 10 – сброс вывода OC2A в 0 при совпадении с OCR2A, установка вывода OC2A в 1 если регистр TCNT2 принимает значение 0x00 (неинверсный режим);
- 11 – установка вывода OC2A в 1 при совпадении с OCR2A, установка вывода OC2A в 0, если регистр TCNT2 принимает значение 0x00 (инверсный режим).

3. Режим коррекции фазы ШИМ

- 00 – вывод OC2A не функционирует;
- 01 – если бит WGM22 регистра TCCR2B установлен в 0, вывод OC2A не функционирует;
- 01 – если бит WGM22 регистра TCCR2B установлен в 0, изменение состояния вывода OC2A на противоположное;

- 10 – сброс вывода OC2A в 0 при совпадении с OCR2A во время увеличения значения счетчика, установка вывода OC2A в 1 при совпадении с OCR2A во время уменьшения значения счетчика;
- 11 – установка вывода OC2A в 1 при совпадении с OCR2A во время увеличения значения счетчика, сброс вывода OC2A в 0 при совпадении с OCR2A во время уменьшения значения счетчика.

Биты COM2B1 (5) и COM2B0 (4) отвечают за настройку аппаратной генерации ШИМ-сигнала на выводе OC2B. Регистром сравнения для этого вывода является OCR2B.

Включение и отключение прерываний для конкретного таймера выполняется в регистре TIMSKn (рисунок 6).

TIMSK2 – Timer/Counter2 Interrupt Mask Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x70)									TIMSK2
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Рисунок 6 – Регистр TIMSK2

где **OCF2B** – флаг прерывания по совпадению со значением OCR2B;
OCF2A – флаг прерывания по совпадению со значением OCR2A;
TOIE2 – флаг прерывания по переполнению.

3 Порядок выполнения работы

В ходе данной работы освоены следующие разделы: 1) освоение работы с таймером TC1 на примере генерации периодического прямоугольного сигнала; 2) освоение работы с таймером TC2 на примере программной генерации ШИМ-сигнала. 3) освоение работы с таймером TC3 на примере аппаратной генерации ШИМ-сигнала.

Для этого необходимо выполнить следующие действия:

3.1 Изучите предложенный в п. 2 теоретический материал.

3.2 Создайте новый проект.

Освоение работы с таймером TC1 на примере генерации периодического прямоугольного сигнала. В результате данного этапа должно выполняться переключение светодиода с частотой 1 Гц.

3.3 Настройте вывод микроконтроллера, соответствующий светодиоду D1 на выход.

3.4 Рассчитайте по (1) верхнее и нижнее значения, а так же делитель частоты счетчика для получения частоты срабатывания таймера 1 Гц. Частоту генератора принять 16 МГц. Расчет выполнить для случая работы таймера в режиме переполнения.

3.5 В функции `setup()` сконфигурируйте регистр `TCCR1A` для работы таймера в обычном режиме.

3.6 Установите делитель частоты таймера, рассчитанный в пункте 3.4.

3.7 Имея в виду, что таймер будет работать в режиме переполнения, установите начальное (ВОТТОМ) значение счетчика `TCNT1`.

3.8 Включите прерывание по переполнению в регистре `TIMSK1`.

3.9 Разрешите глобальные прерывания.

3.10 Добавьте обработчик прерывания по переполнению таймера 1.

3.11 В обработчике таймера выполните переключение светодиода и установите нижнее значение счетчика как было выполнено в пункте 3.7.

3.12 Откомпилируйте и запрограммируйте микроконтроллер. Проверьте работоспособность разработанной программы.

3.13 Модифицируйте программу таким образом, чтобы по нажатию на кнопку `S1` скорость мигания светодиода увеличивалась, а по нажатию на кнопку `S2` уменьшалась.

Освоение работы с таймером `TC2` на примере программной генерации ШИМ-сигнала. В результате работы программы светодиод должен гореть с определенной яркостью. Причем по нажатию кнопки `S1` яркость должна увеличиваться, а по нажатию на кнопку `S2` – уменьшаться.

3.14 Рассчитайте параметры по (1) для достижения частоты срабатывания таймера `TC2` по переполнению равной ~240 Гц.

3.15 Сконфигурируйте вывод, к которому подключен светодиод `D2`, на выход.

3.16 Согласно рисунку 3 за один период следования ШИМ-сигнала светодиод должен включиться и выключиться. Причем включиться по переполнению, а выключиться по сравнению. В связи с этим установите начальное значение регистра сравнения `OCR2A` в 2.

3.17 Настройте таймер `TC2` согласно расчетам, выполненным в пункте 3.14.

3.18 Активируйте в регистре `TIMSK2` прерывание по сравнению с регистром `OCR2A` и прерывание по переполнению.

3.19 Добавьте обработчики прерывания по сравнению с регистром `OCR2A` и переполнению `TC2`.

3.20 В обработчике прерывания по переполнению включите светодиод.

3.21 В обработчике прерывания по сравнению выключите светодиод.

3.22 Откомпилируйте и запрограммируйте микроконтроллер. В результате светодиод `D2` должен тускло гореть.

3.23 Изменяя значение в регистре сравнения `OCR2A` удостоверьтесь, что яркость свечения светодиода будет увеличиваться.

3.24 Модифицируйте программу таким образом, чтобы по нажатию кнопки S1 яркость свечения светодиода увеличивалась, а по нажатию на кнопку S2 – уменьшалась.

Освоение работы с таймером TC2 на примере аппаратной генерации ШИМ-сигнала. В результате данного этапа переключать светодиоды будет сам таймер.

3.25 Выполните настройку делителя частоты таймера 2.

3.26 Переключите таймер в режим генерации ШИМ-сигнала.

3.27 Переключите режим, при котором производится установка вывода OC2A в 1 при совпадении с OCR2A, установка вывода OC2A в 0, если регистр TCNT2 принимает значение 0x00 (инверсный режим).

3.28 Установите регистр сравнения OCR2A в единицу.

3.29 Откомпилируйте и запрограммируйте микроконтроллер. В результате светодиод D2 должен тускло гореть.

3.30 Модифицируйте программу таким образом, чтобы по нажатию кнопки S1 яркость свечения светодиода увеличивалась, а по нажатию на кнопку S2 – уменьшалась.

3.31 Оформите отчет, содержащий титульный лист и разделы: введение, ход выполнения работы, ответы на контрольные вопросы и выводы.

3.32 Защитите отчет у преподавателя.

4 Контрольные вопросы

4.1 В каких режимах может работать таймер?

4.2 Сколько таймеров в микроконтроллере atmega328?

4.3 Сколько различных прерываний может генерировать таймер 2.

4.4 Что такое инверсный режим работы таймера?

4.5 Какой регистр отвечает за включение прерываний таймера?

Список литературы

1. ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KBYTES, IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH.– URL: http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf (дата обращения: 10.01.2017).

2. UNO Schematic – Arduino.– URL: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-uno-schematic.pdf> (дата обращения: 10.01.2017).