

## Лабораторная работа 4

### ОРГАНИЗАЦИЯ АНАЛОГОВОГО ВВОДА-ВЫВОДА: АЦП И ШИМ

#### Цель работы

Получение практических навыков по работе с аналого-цифровым преобразователем и таймерами-счётчиками. Изучение принципов применения широтно-импульсной модуляции в современных цифровых устройствах.

#### Теоретические сведения

##### Аналого-цифровой преобразователь

ATMega32 содержит в себе 10-битовый аналого-цифровой преобразователь (АЦП, ADC), вход которого может быть соединён с одним из восьми выводов PORTA. АЦП ATmega32, как и любому другому АЦП, нужно опорное напряжение для сравнения с входным напряжением (если измеряемое равно опорному, то получаем максимальный код в двоичном виде). Опорное напряжение подаётся на вывод *ADRef* или может использоваться внутренний генератор с фиксированным напряжением 2,65 В. Полученный результат можно представить в таком виде:  $ADC = Vin * 1024 / Vref$ .

АЦП включается установкой бита *ADEN* в регистре *ADCSRA*. После преобразования, 10-битный результат оказывается в 8-битных регистрах *ADCL* и *ADCH*. По умолчанию, младший бит результата находится справа (так называемое правое ориентирование). Возможно изменение порядка следования битов на лево-ориентированное путём установки бита *ADLAR* в регистре *ADMUX*. В таком случае для получения 8-битного результата достаточно прочитать регистр *ADCH*. В противном случае, требуется сначала прочитать регистр *ADCL*, а потом *ADCH*.

Одинокое преобразование может быть вызвано записью бита *ADSC* в регистр *ADCSRA*. Этот бит остаётся установленным всё время, занимаемое преобразованием. Когда преобразование закончено, бит автоматически устанавливается в ноль. Можно также начинать преобразования по событиям из разных источников. Модуль АЦП также может работать в режиме «свободного полёта». В таком случае АЦП

постоянно производит преобразование и обновляет регистры *ADCH* и *ADCL* новыми значениями.

Для выполнения преобразования модулю АЦП необходима тактовая частота. Чем выше эта частота, тем быстрее будет происходить преобразование (оно, обычно, занимает 13 тактов, первое преобразование занимает 25 тактов). Но чем выше частота (и выше скорость преобразования), тем менее точным получается результат. Для получения максимально точного результата, модуль АЦП должен тактироваться частотой в пределах от 50 до 200 КГц. Если необходим результат с точностью менее 10 бит, то можно использовать частоту больше 200 КГц. Модуль АЦП содержит делитель частоты, чтобы получать нужную тактовую частоту для преобразования из частоты процессора.

7	6	5	4	3	2	1	0
REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0

Рис. 11 Регистр ADMUX

Регистр *ADMUX* задаёт входной контакт *PORTA* для подключения АЦП, ориентирование результата и выбор опорной частоты. Если установлен бит *ADLAR*, то результат лево-ориентированный. Опорная частота от внутреннего генератора задаётся выставленными в единицу битами *REFS1* и *REFS0*. Если оба бита сброшены, то опорная частота берётся от контакта *AREF*. Если *REFS1*=0 и *REFS0*=1, то опорная частота берётся от *AVCC* с внешним конденсатором, подключённым к *AREF*.

Номер канала АЦП *ADC0*, *ADC1*, ..., *ADC7*, с которого будет получаться сигнал, соответствует значениям битов *MUX4...1* 0x00000, 0x00001, ..., 0x00111.

7	6	5	4	3	2	1	0
ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0

Рис. 22 Регистр ADCSRA

АЦП включается установкой бита *ADEN*.

Запись единицы в *ADSC* регистра *ADCSRA* запускает цикл преобразования.

*ADIF* – флаг прерывания АЦП. Этот бит устанавливается в единицу, когда АЦП завершено преобразование и в регистрах *ADCL* и *ADCH*

находятся актуальные данные. Этот флаг устанавливается даже в том случае, если прерывания запрещены. Это необходимо для случая программного опроса АЦП. Если используются прерывания, то флаг сбрасывается автоматически. Если используется программный опрос, то флаг может быть сброшен записью логической единицы в этот бит.

Если в бите *ADIE* установлена единица, и прерывания разрешены глобально, то при окончании преобразования будет выполнен переход по вектору прерывания от АЦП.

### Широтно-импульсная модуляция

Широтно-импульсная модуляция, или ШИМ, это операция получения изменяющегося аналогового значения посредством цифровых устройств. Устройства используются для получения прямоугольных импульсов – сигнала, который постоянно переключается между максимальным и минимальным значениями. Данный сигнал моделирует напряжение между максимальным значением (5 В) и минимальным (0 В), изменяя при этом длительность времени включения 5 В относительно включения 0 В. Длительность включения максимального значения называется шириной импульса. Для получения различных аналоговых величин изменяется ширина импульса.

Рисунок 3 показывает примеры различных сигналов ШИМ. Рисунок а) показывает выход ШИМ с 90% скважностью. Таким образом, сигнал имеет высокий уровень в течение 90% от периода и низкий – в течение остальных 10%. Рисунки в) показывают выходы ШИМ с 50% скважностью. Эти два выхода ШИМ кодируют различные значения аналогового сигнала, в 90% и 50% от полной силы. Если, например, напряжение  $V_{cc}$  будет равно 5 В, а скважность 10%, то результатом будет 0.5 В аналогового сигнала.

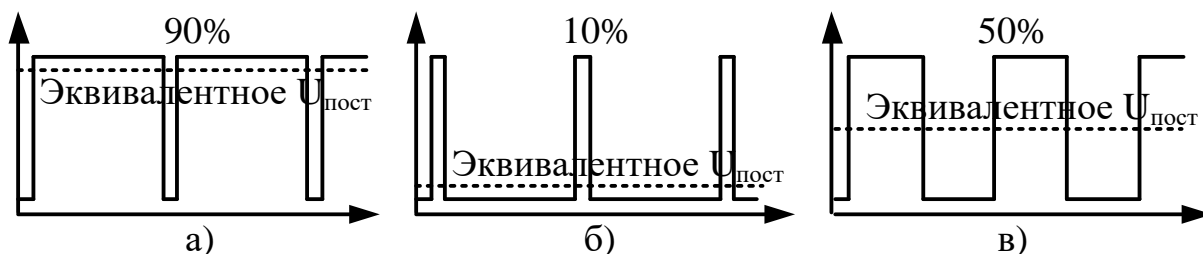


Рис. 33. Примеры широтно-импульсной модуляции

Широтно-импульсная модуляция реализуется с помощью настроек таймеров-счётчиков.

## Содержание отчёта

1. Схема установки (задействованные узлы отладочной платы).
2. Блок-схема алгоритма работы программы.
3. Комментированный листинг программы на языке ассемблера.
4. Ответы на контрольные вопросы.

## Контрольные вопросы

1. Посредством каких регистров производится настройка АЦП?
2. В каких режимах может работать АЦП?
3. Какие порты и разряды портов микроконтроллера ATmega32 могут обрабатывать входящие аналоговые сигналы?
4. Какими способами реализуется ШИМ?
5. Как настроить ШИМ с помощью таймера-счётчика?

## Общее описание и требования к программе

Программа должна осуществлять два режима работы:

- демонстрация гирлянды в соответствии с вариантом задания;
- настройка параметров работы гирлянды.

Вывод PA5 должен быть настроен на ввод (DDRA=0xdf), для работы гирлянды он игнорируется (изменения в логику работы гирлянды не вносятся). Считывание значения аналогового сигнала должно производиться **с помощью прерывания АЦП (ADC)**.

Переключение между режимами должно осуществляться циклически с помощью кнопки PD2 (прерывание INT0). Переключение между настраиваемыми параметрами должно осуществляться циклически с помощью кнопки PD3 (прерывание INT1). Имя изменяемого параметра должно отображаться на первых (одном, двух или трёх, в зависимости от параметра) семисегментных индикаторах, на последующих индикаторах должно отображаться значение соответствующего параметра в шестнадцатеричной системе счисления. На последнем индикаторе имени параметра в качестве разделителя должна гореть точка. Имя параметра должно отображаться постоянно, а значение циклически загораться и гаснуть с периодами этих состояний 0,5 с. Изменение значений должно осуществляться с помощью потенциометра, подключённого к выводу PA5, следующим образом:

- крайнее левое положение соответствует нижней границе допустимого диапазона, крайнее правое – верхней;
- при повороте потенциометра значение на семисегментном индикаторе изменяется незамедлительно.

Яркость светодиодов PD7 и PD4 при помощи значения скважности (широтно-импульсная модуляция, режим fast-PWM таймеров T1 и T2) должна показываться степень отдалённости настраиваемого параметра от крайних значений. Например, если настраиваемый параметр принимает значения [1-5], а текущая настройка равна двум, то соответственно скважность OC2 равна  $TOP * 1 / 4$ , а OC1B равна  $TOP * 3 / 4$ . В том же примере при настройке параметра в 1 значение OC2 будет равно величине TOP, а OC1B равно нулю.

### Логика работы гирлянды

**1.** Разрядам регистров PORTA, PORTB и PORTC ставится в соответствие отрезок [0–23] (0-7 ~ PA0–PA7, 8-15 ~ PB0–PB7, 16-23 ~ PC0–PC7). На данном отрезке отображается «бегущий огонь» из набора горящих светодиодов. Для гирлянды существует базовое значение (набор одновременно горящих светодиодов), которое с определённой частотой циклически сдвигается на определённый шаг. Параметрами гирлянды являются:

- базовое значение ( $b$ ) – положительное трёхбайтное число, которое циклически сдвигается и отображается на регистрах PORTA–PORTC. Параметрами являются числа  $b0$ ,  $b1$  и  $b2$  (отдельные байты базового значения);
- величина шага ( $h$ ), на которую циклически сдвигается базовое значение каждый такт гирлянды;
- частота смены состояний ( $p$ );
- начальное смещение ( $d$ ), определяющее с каким значением смещения начинает работать гирлянда при запуске программы.

Гирлянда работает по следующему правилу:  $\{s_i = (s_{i-1} \ll h); s_0 = (b \ll d)\}$ . Примеры отображения настроек на семисегментном индикаторе приведены на рисунке 1.



Рисунок 1. Примеры настройки параметров гирлянды №1

**2.** На каждом из регистров PORTA, PORTB и PORTC отображается «бегущий огонь» из набора горящих светодиодов. Для каждого порта существует базовое значение (набор одновременно горящих светодиодов), которое с определённой частотой (для каждого регистра своей) циклически сдвигается на определённый шаг (для каждого регистра свой). Параметрами гирлянды являются:

- базовое значение ( $b$ ) – положительное число, которое циклически сдвигается и отображается на соответствующем регистре;
- величина шага ( $h$ ), на которую циклически сдвигается базовое значение каждый такт гирлянды;
- частота смены состояния ( $p$ );
- начальное смещение ( $d$ ), определяющее с каким значением смещения начинает работать гирлянда при запуске программы.

Все параметры задаются для регистров PORTA, PORTB и PORTC в виде «ba.», «bb.», «bc.» и т.д. Примеры отображения настроек на семисегментном индикаторе приведены на рисунке 2.



Рисунок 2. Примеры настройки параметров гирлянды №2

**3.** На каждом из регистров PORTA, PORTB и PORTC циклически отображаются комбинаций горящих светодиодов из фиксированного массива значений. Существует общей для всех регистров массив из пяти значений (наборов одновременно горящих светодиодов). Смена состояния гирлянды на каждом порту заключается в циклической последовательной смене индекса отображаемого элемента массива на определённую величину шага. Параметрами гирлянды являются:

- массив значений  $\{b0; b1; \dots; b4\}$  – положительных чисел, которые могут отображаться на регистрах;
- величина шага ( $h$ ), на которую циклически увеличивается индекс отображаемого элемента массива  $b$  каждый такт гирлянды, для каждого регистра значение шага своё;
- массив временных интервалов (задаётся обратная величина – частота) смены состояния ( $p0; p1; \dots; p4$ );
- начальный индекс ( $d$ ), определяющее с какого элемента массива  $b$  начинает работать гирлянда на соответствующем регистре.

Параметры отличные для регистров PORTA, PORTB и PORTC задаются в виде «hb.», «dc.» и т.д. Примеры отображения настроек на семисегментном индикаторе приведены на рисунке 3.



Рисунок 3. Примеры настройки параметров гирлянды №3

### Варианты заданий

Вариант	Логика гирлянды	Настраиваемые параметры	Значения неизменяемых параметров
1	1	а $h \in [-4; 4]$	$b1=0; b2=0; d=0$
		б $p \in [1; 7]$ раз в 2 секунды	<b>p=3</b>
		в $b0 \in [0; 127]$	<b>b0=1</b>
2	2	а $ha \in [-3; 3]$	$bb=1; hb=1; pb=3; db=0;$
		б $pa \in [1; 6]$ раз в 2 секунды	$bc=7; hc=2; pc=5; dc=1;$
		в $ba \in [0; 100]$	$da=0; $ <b>pa=1; ba=3</b>
3	3	а $b0 \in [0; 255]$	$b1=1; b2=2; b3=3; b4=4;$
		б $p0 \in [1; 10]$ раз в 2 секунды	$hb=1; hc=2; p1=1; p2=2; p3=3;$
		в $ha \in [-2; 2]$	$p4=4; da=db=dc=0; $ <b>p0=f; ha=3</b>
4	1	а $p \in [1; 5]$ раз в 2 секунды	$b1=0; b2=0; h=1$
		б $b0 \in [0; 255]$	<b>b0=1</b>
		в $d \in [0; 10]$	<b>d=0</b>
5	2	а $pb \in [1; 8]$ раз в 2 секунды	$ba=3; ha=2; pa=4; da=0;$
		б $db \in [0; 3]$	$bc=6; hc=1; pc=6; dc=1;$
		в $bb \in [0; 127]$	$hb=1; $ <b>db=0; bb=f</b>
6	3	а $p1 \in [1; 3]$ раз в 2 секунды	$b0=1; b3=3; b4=4; ha=3; hb=1;$
		б $b1 \in [128; 255]$	$hc=2; p0=1; p2=2; p3=3; p4=4;$
		в $b2 \in [0; 64]$	$da=db=dc=0; $ <b>b1=aa; b2=7</b>
7	1	а $d \in [0; 7]$	$b1=0; b2=0; h=1$
		б $p \in [1; 9]$ раз в 2 секунды	<b>p = 3</b>
		в $b0 \in [0; 63]$	<b>b0=1</b>
8	2	а $ha \in [-4; 4]$	$ba=1; ha=1; pa=2; da=0;$
		б $bc \in [0; 255]$	$bb=5; hb=2; pb=3; db=1;$
		в $dc \in [0; 2]$	$pc=4; $ <b>bc=3; dc=0</b>
9	3	а $ha \in [-2; 2]$	$b1=1; b2=2; b3=3; b4=4; hb=1;$
		б $da \in [0; 3]$	$hc=2; p0=1; p1=2; p2=3; p3=4;$
		в $b0 \in [0; 255]$	$p4=5; db=dc=0; $ <b>da=1; b0=7</b>
10	1	а $h \in [-3; 3]$	$b1=0; b2=0; p=5$
		б $b0 \in [0; 255]$	<b>b0=1</b>
		в $d \in [0; 3]$	<b>d=0</b>