

«Микропроцессорные средства и СИСТЕМЫ»

Лекция №5

СШФ СФУ
П.Черёмушки
2018 год



«Микроконтроллеры ATMELE AVR ».

Организация ядра AVR-контроллеров.

Фирма Atmel Corp. (США), основанная в 1984 г. является одной из ведущих корпораций в области микроэлектроники таких направлений, как **микроконтроллеры, производство энергонезависимых схем памяти, микросхем программируемой логики.**

Микроконтроллеры ATMELE AVR (Advanced Virtual RISC) являются достаточно мощными, низкопотребляющими и гибкими устройствами, что в совокупности с низкой стоимостью определило их широкое распространение на мировом и российском рынках. В настоящее время AVR-контроллеры используются практически во всех областях производства: от Smart Card для персональных компьютеров до спутниковых навигационных систем.

Различают следующие **группы AVR-контроллеров:**

- **Mega AVR** (префикс ATmegaXXX);
- **Classic AVR** (префикс AT90SXXX);
- **Tiny AVR** (префикс ATtinyXXX);
- **AVR для Smart Cards** (префикс AT90SCC).

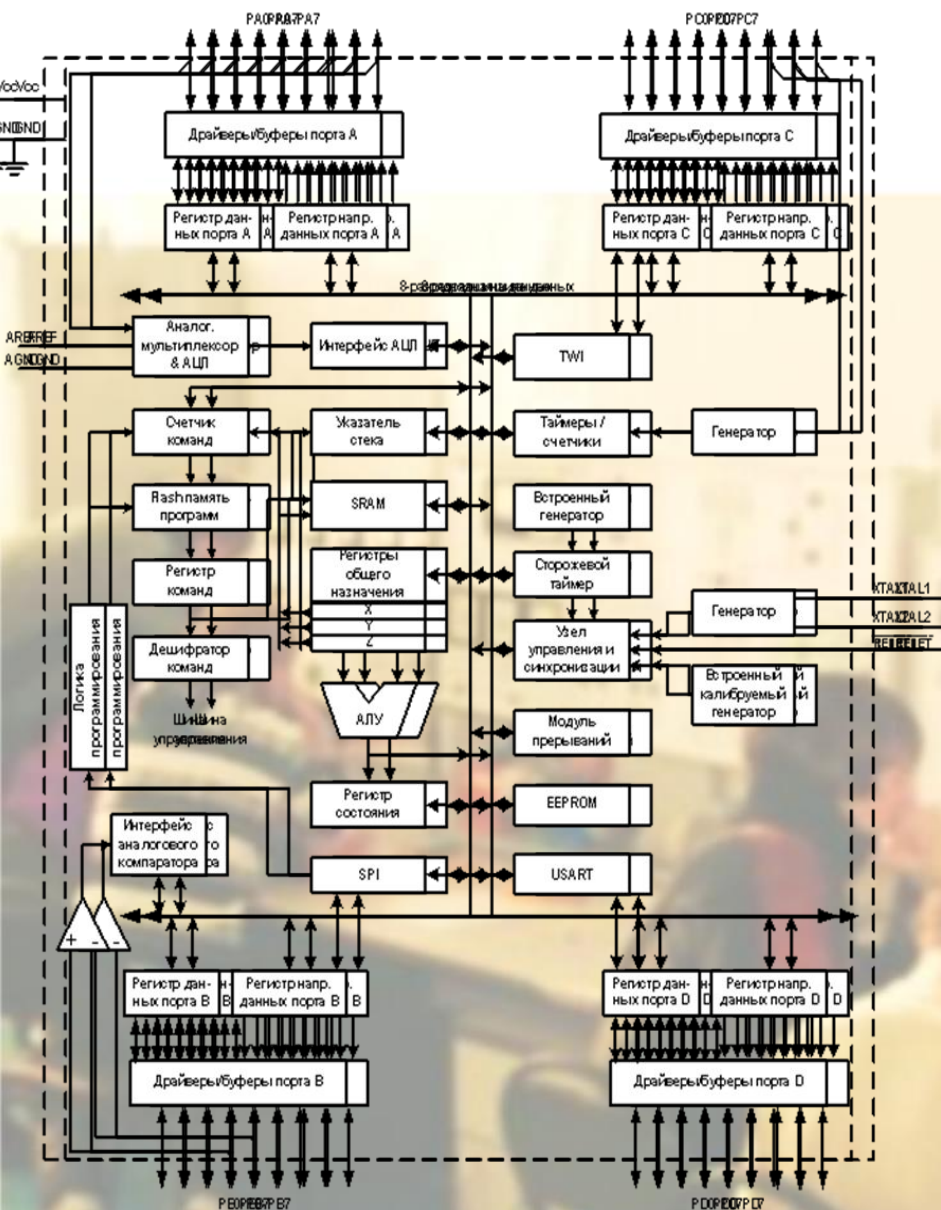
Mega AVR имеют наибольшие объемы памяти, наибольшее количество выводов и наиболее полный набор периферийных узлов. **Classic AVR** –микроконтроллеры с различным сочетанием периферийных узлов, имеет разные объемы встроенной памяти и количество выводов. **Tiny AVR** – дешевые кристаллы в 8 -выводных корпусах, способные работать от источника пониженного напряжения. **AVR для Smart Cards** – группа специализированных кристаллов, предназначенных для работы в составе периферийных и сетевых адаптеров.

«Микроконтроллеры ATMEL AVR».

Организация ядра AVR-контроллеров.

Микроконтроллер AVR содержит: быстрый RISC-процессор, два типа энергонезависимой памяти (Flash-память программ и память данных EEPROM), оперативную память RAM, порты ввода/вывода и различные периферийные интерфейсные схемы.

Основой микроконтроллеров AVR является 8-битное микропроцессорное ядро или центральное процессорное устройство (ЦПУ), построенное на принципах RISC-архитектуры. Основой этого блока служит арифметико-логическое устройство (АЛУ). По системному тактовому сигналу из памяти программ в соответствии с содержимым счетчика команд (Program Counter - PC) выбирается очередная команда и выполняется АЛУ. Во время выбора команды из памяти программ происходит выполнение предыдущей



The diagram illustrates the internal architecture of the AT89C52 microcontroller, enclosed in a dashed box. Key components and connections include:

- Power and Ground:** Vcc and GND pins are shown at the top left.
- Ports:**
 - Port A (PA0-PA7):** Connected to a driver/buffer and a data register.
 - Port B (PB0-PB7):** Connected to a driver/buffer and a data register.
 - Port C (PC0-PC7):** Connected to a driver/buffer and a data register.
 - Port D (PD0-PD7):** Connected to a driver/buffer and a data register.
- Internal Components:**
 - 8-bit Data Bus:** Connects the ports to the internal logic.
 - Control Logic:** Includes a command decoder, instruction register, and program memory.
 - SRAM:** Static Random Access Memory.
 - EEPROM:** Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory.
 - Timers/Counters:** Includes a timer/counter and a watchdog timer.
 - Interrupts:** Includes an interrupt module.
 - Serial Interfaces:** Includes UART, SPI, and I2C (TWI).
 - Other:** Includes a status register, a command register, and a command register.
- External Connections:**
 - XTAL1 and XTAL2:** Crystal oscillator pins.
 - REF:** Reference voltage pin.

АЛУ подключено к регистрам общего назначения РОН . Регистров общего назначения всего 32, они имеют байтовый формат, то есть каждый из них состоит из восьми бит. **РОН находятся в начале адресного пространства оперативной памяти, но физически не являются ее частью.** Поэтому к ним можно обращаться двумя способами (как к регистрам и как к памяти). Такое решение является особенностью AVR и повышает эффективность работы и производительность микроконтроллера. **Отличие между регистрами и оперативной памятью состоит в том, что с регистрами можно производить любые операции (арифметические, логические, битовые), а в оперативную память можно лишь записывать данные из регистров.** В микроконтроллерах AVR реализована Гарвардская архитектура, в соответствии с которой разделены не только адресные пространства памяти программ и памяти данных, но и шины доступа к ним. Каждая из областей

«Микроконтроллеры ATMEL AVR».

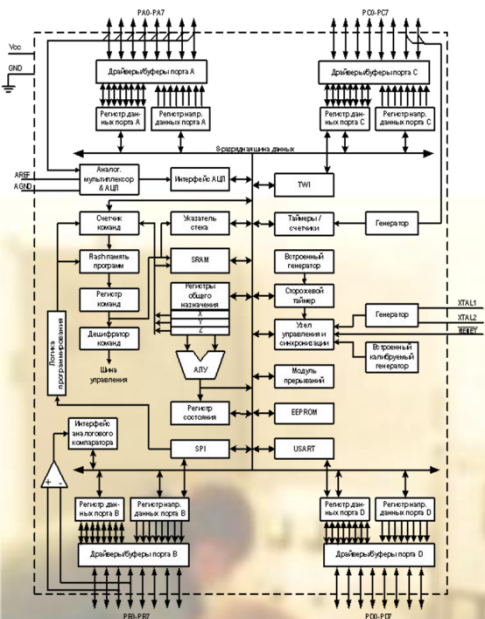
Организация ядра AVR-контроллеров.

Память программ (Flash ROM или Flash ПЗУ)

Память программ предназначена для хранения последовательности команд, управляющих функционированием микроконтроллера, и имеет 16-ти битную организацию. Все AVR имеют Flash-память программ, которая может быть различного размера - от 1 до 256 КБайт. Ее главное достоинство в том, что она построена на принципе электрической перепрограммируемости, т. е. допускает многократное стирание и запись информации. Программа заносится во Flash-память AVR как

непосредственно на собранной плате. Возможностью внутрисхемного программирования (функция ISP) через коммуникационный интерфейс SPI обладают практически все микроконтроллеры AVR, кроме Tiny11 и Tiny28.

Гарантированное число циклов перезаписи Flash-памяти у микроконтроллеров AVR второго поколения составляет не менее 10 тыс. циклов при типовом значении 100 тыс. циклов. (В официальной технической документации Atmel Corp. указывается значение 10 тыс. циклов.)



«Микроконтроллеры ATMELE AVR ».

Организация ядра AVR-контроллеров.

Память данных

Память данных разделена на три части: регистровая память, оперативная память (ОЗУ - оперативное запоминающее устройство или RAM) и энергонезависимая память (ЭСППЗУ или EEPROM).

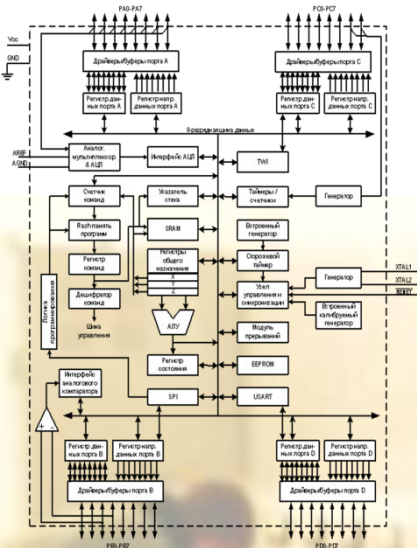
Регистровая память (РОН и PVB)

Регистровая память включает 32 регистра общего назначения (РОН или GPR), объединенных в файл, и служебные регистры ввода/вывода (PVB). И те и другие расположены в адресном пространстве ОЗУ, но не являются его частью. В области регистров ввода/вывода расположены различные

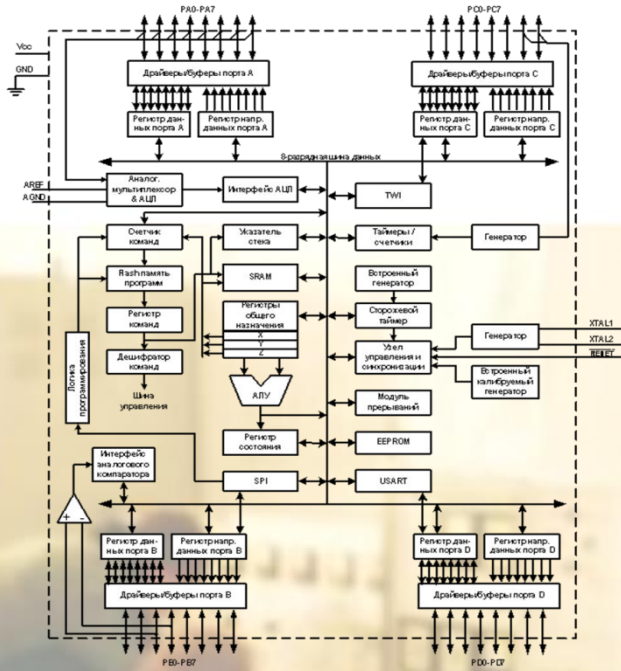
служебные регистры (регистры управления микроконтроллером, регистры состояния и т. п.), а также регистры управления периферийными устройствами, входящими в состав микроконтроллера. По сути, управление микроконтроллером заключается в управлении этими регистрами.

Энергонезависимая память данных (EEPROM)

Для долговременного хранения различной информации, которая может изменяться в процессе функционирования микроконтроллерной системы, используется EEPROM-память. Все AVR имеют блок энергонезависимой электрически перезаписываемой памяти данных EEPROM от 64 Байт до 4 Кбайт. Этот тип памяти, доступный программе микроконтроллера непосредственно в ходе ее выполнения, удобен **для хранения промежуточных данных, различных констант, коэффициентов, серийных номеров, ключей и т.п.** EEPROM может



«Микроконтроллеры ATMEL AVR».



Организация ядра AVR-контроллеров.

Оперативная память (ОЗУ или RAM)

Внутренняя оперативная статическая память Static RAM (SRAM) имеет байтовый формат и используется для оперативного хранения данных.

Размер оперативной памяти может варьироваться у различных чипов от 64 Байт до 4 КБайт. Число циклов чтения и записи в RAM не ограничено, но при отключении питающего напряжения вся информация теряется.

Для некоторых микроконтроллеров возможна организация подключения внешнего статического ОЗУ объемом до 64К.

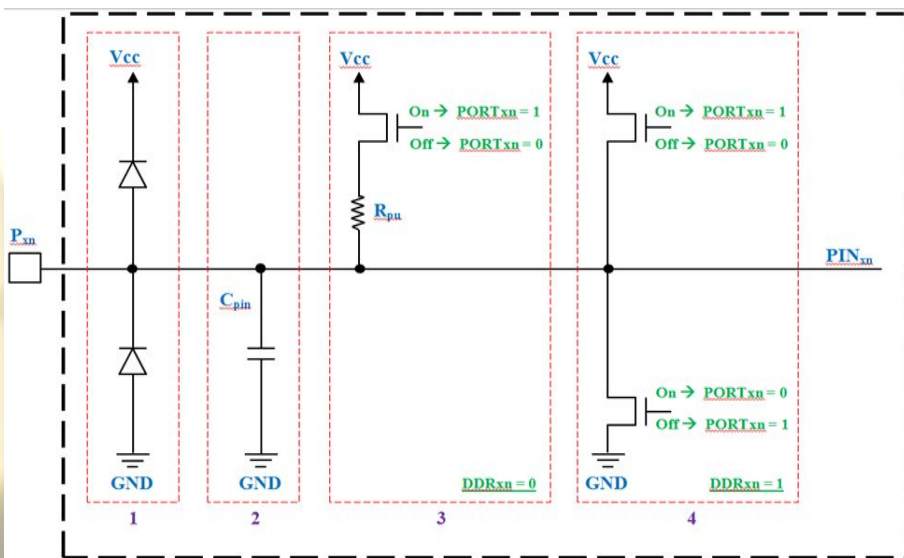
Периферия

Периферия микроконтроллеров AVR включает: порты (от 3 до 48 линий ввода и вывода), поддержку внешних прерываний, таймеры-счетчики, сторожевой таймер, аналоговые компараторы, 10-разрядный 8-канальный АЦП, интерфейсы UART, JTAG и SPI, устройство сброса по понижению питания, широтно-импульсные модуляторы.

«Микроконтроллеры ATMELE AVR ».

Периферия. Порты ввода/вывода (I/O)

Порты ввода/вывода AVR имеют число независимых линий "вход/выход" от 3 до 53. **Каждая линия порта может быть запрограммирована на вход или на выход.** Мощные выходные драйверы обеспечивают токовую нагрузочную способность 20 мА на линию порта (втекающий ток) при максимальном значении 40 мА, что позволяет непосредственно подключать к



и биполярные транзисторы. **Общая токовая нагрузка на все линии одного порта не должна превышать 80 мА (все значения приведены для напряжения питания 5 В).**

Архитектурная особенность построения портов ввода/вывода у AVR заключается в том, что для каждого физического вывода (пина) существует 3 бита контроля/управления, а не 2, как у распространенных 8-разрядных микроконтроллеров (Intel, Microchip, Motorola и т.д.). Это позволяет избежать необходимости иметь копию содержимого порта в памяти для безопасности и повышает скорость работы микроконтроллера при работе с внешними устройствами, особенно в условиях внешних электрических помех.

«Микроконтроллеры ATMEL AVR ».

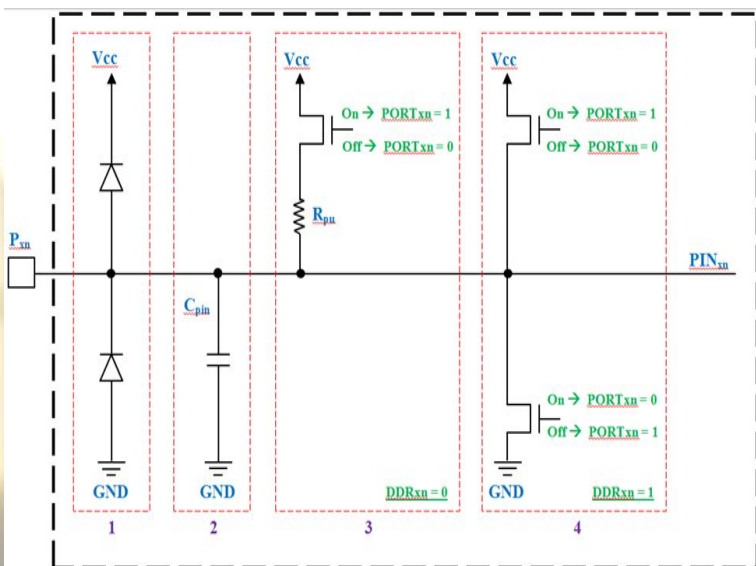
Периферия. Порты ввода/вывода (I/O)

P_{xn} — имя ножки порта микроконтроллера, где x буква порта (A, B, C или D), n номер разряда порта (7... 0).

C_{pin} — паразитная емкость порта.

VCC — напряжение питания.

R_{pu} — отключаемый нагрузочный верхний резистор (pull-up). Каждый порт микроконтроллера AVR (обычно имеют имена A, B и иногда C или даже D) имеет 8 разрядов, каждый из которых привязан к определенной ножке корпуса. Каждый порт имеет



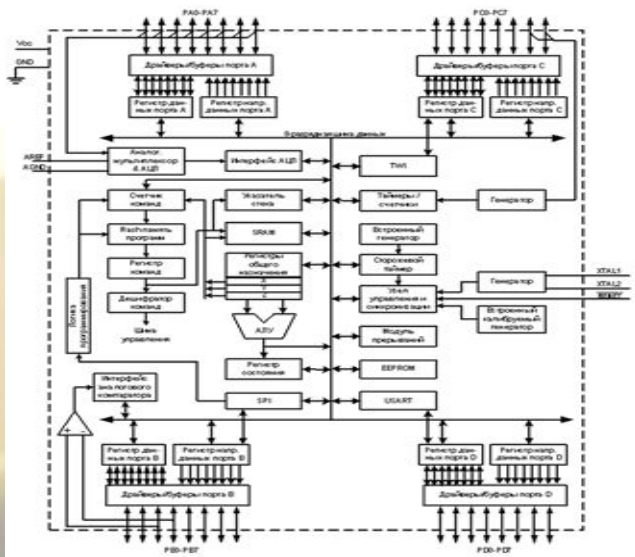
регистра DDR_x , $PORT_x$ и PIN_x (где x соответствует букве порта A, B, C или D). Назначение регистров: **DDR_x – Настройка разрядов порта x на вход или выход.** **$PORT_x$ – Управление состоянием выходов** порта x (если соответствующий разряд настроен как выход), или **подключением внутреннего pull-up резистора** (если соответствующий разряд настроен как вход) **PIN_x – Чтение логических уровней разрядов порта x .** Состояние выхода зависит от комбинации бит в регистрах DDR_{xn} и $PORT_{xn}$

DDR_{xn}	$PORT_{xn}$	I/O Comment
0	0	I (Input) Вход Высокоимпендансный вход
0	1	I (Input) Вход Подтянуто внутренне сопротивление.
1	0	O (Output) Выход На выходе низкий уровень.
1	1	O (Output) Выход На выходе высокий уровень.

«Микроконтроллеры ATMELE AVR».

Периферия. Прерывания (INTERRUPTS)

Система прерываний - одна из важнейших частей микроконтроллера. Все микроконтроллеры AVR имеют многоуровневую систему прерываний. **Для каждого такого события разрабатывается отдельная программа, которую называют подпрограммой обработки запроса на прерывание (для краткости - подпрограммой прерывания), и размещается в памяти программ.** При возникновении события, вызывающего прерывание, микроконтроллер сохраняет содержимое счетчика команд, прерывает выполнение

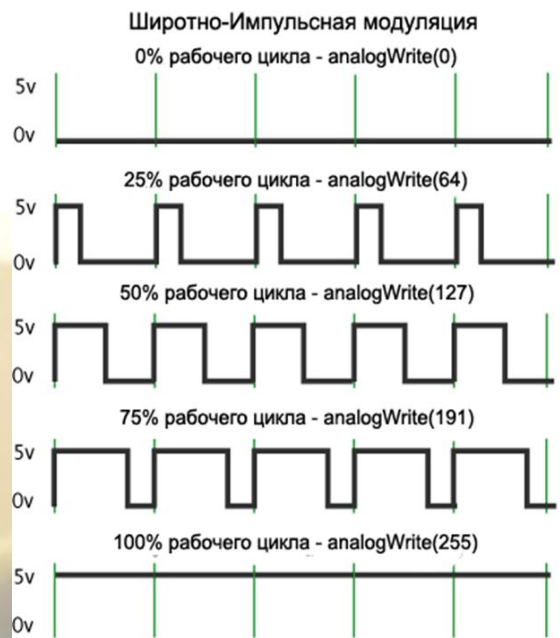


центральным процессором текущей программы и переходит к выполнению подпрограммы обработки прерывания.

После выполнения подпрограммы прерывания осуществляется восстановление предварительно сохраненного счетчика команд и процессор возвращается к выполнению прерванной программы.

Для каждого события может быть установлен приоритет. Понятие приоритет означает, что выполняемая подпрограмма прерывания может быть прервана другим событием только при условии, что оно имеет более высокий приоритет, чем текущее. В противном случае центральный процессор перейдет к обработке нового события только

«Микроконтроллеры ATMELE AVR ».



Периферия. Таймеры/счетчики (TIMER/COUNTERS)

Микроконтроллеры AVR имеют в своем составе от 1 до 4 таймеров/счетчиков с разрядностью 8 или 16 бит, которые могут работать и как таймеры от внутреннего источника тактовой частоты, и как счетчики внешних событий.

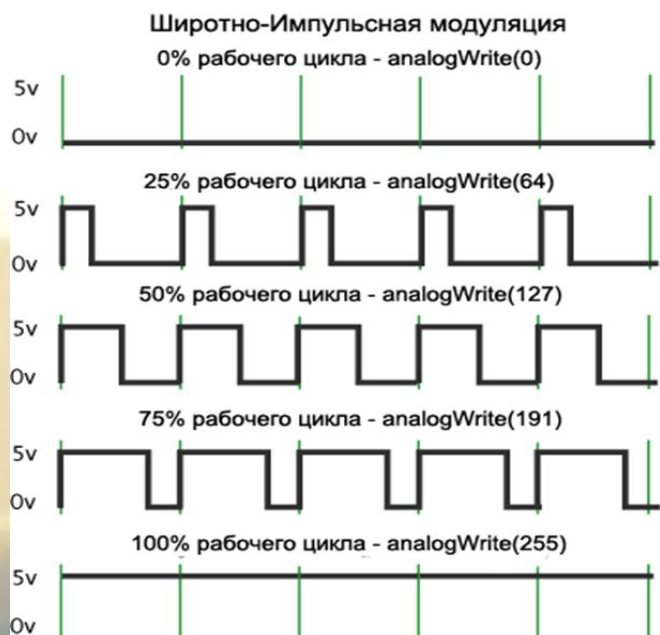
Их можно использовать для точного формирования временных интервалов, подсчета импульсов на выводах микроконтроллера, формирования последовательности импульсов, тактирования приемопередатчика последовательного канала связи. В режиме ШИМ (PWM) таймер/счетчик может представлять собой широтно-

импульсный модулятор и используется для генерирования сигнала с программируемыми частотой и скважностью. 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.

«Микроконтроллеры ATMELE AVR ».

Периферия. Таймеры/счетчики (TIMER/COUNTERS)

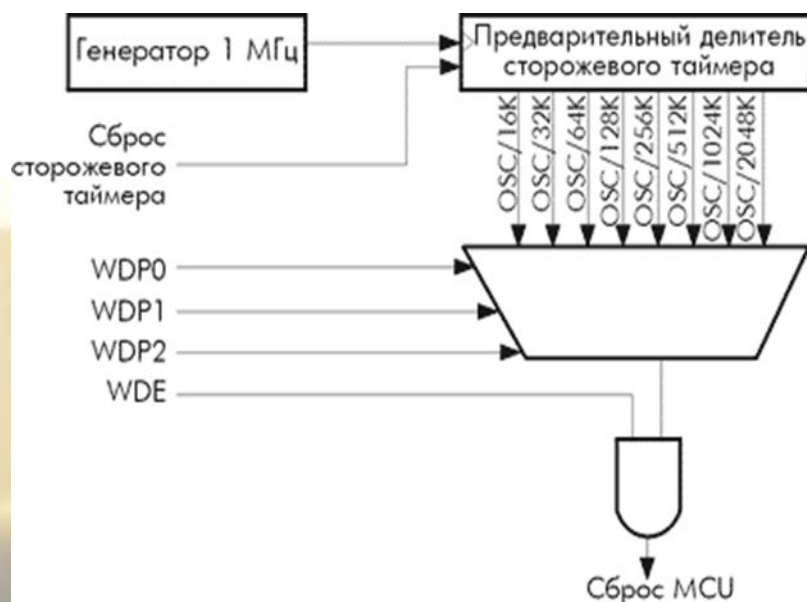
Для получения различных аналоговых величин изменяется ширина импульса. При достаточно быстрой смене периодов включения-выключения можно подавать постоянный сигнал между 0 и 5 В на светодиод, тем самым управляя яркостью его свечения. На графике зеленые линии отмечают постоянные временные периоды. Длительность периода обратно пропорциональна частоте ШИМ.



т.е. если частота шим составляет 500 Гц, то зеленые линии будут отмечать интервалы длительностью в 2 миллисекунды каждый. Вызов функции `analogWrite()` с масштабом 0 – 255 означает, что значение `analogWrite(255)` будет соответствовать 100% рабочему циклу (постоянное включение 5 В), а значение `analogWrite(127)` – 50% рабочему циклу.

Таймеры/счетчики способны вырабатывать запросы прерываний, переключая процессор на их обслуживание по событиям и освобождая его от необходимости периодического опроса состояния таймеров. Поскольку основное применение микроконтроллеры находят в системах реального времени, таймеры/счетчики являются одним из наиболее важных элементов.

«Микроконтроллеры ATMELE AVR ».



Периферия. Сторожевой таймер (WDT)

Сторожевой таймер (WatchDog Timer) предназначен для предотвращения катастрофических последствий от случайных сбоев программы. Он имеет свой собственный RC-генератор, работающий на частоте 1 МГц. Как и для основного внутреннего RC-генератора, значение 1 МГц является приближенным и зависит прежде всего от величины напряжения питания

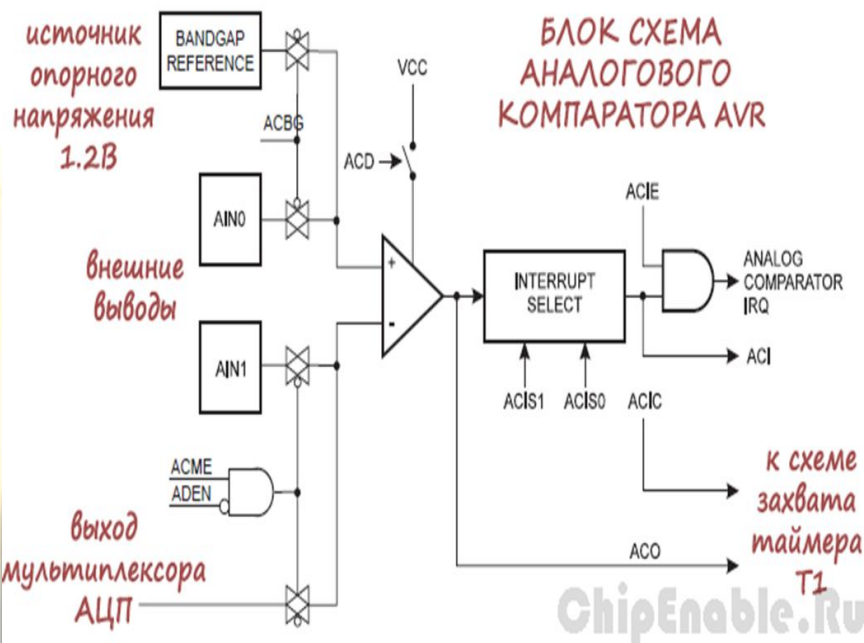
микроконтроллера и от температуры.

Идея использования сторожевого таймера предельно проста и состоит в регулярном его сбрасывании под управлением программы или внешнего воздействия до того, как закончится его выдержка времени и не произойдет сброс процессора. Если программа работает нормально, то команда сброса сторожевого таймера должна регулярно выполняться, предохраняя процессор от сброса. Если же микропроцессор случайно вышел за пределы программы (например, от сильной помехи по цепи питания) либо зациклился на каком-либо участке программы, команда сброса сторожевого таймера скорее всего не будет выполнена в течение достаточного времени и произойдет полный сброс процессора, инициализирующий все регистры и приводящий систему в рабочее состояние.

«Микроконтроллеры ATMEL AVR».

Периферия. Аналоговый компаратор (АС)

Аналоговый компаратор (Analog Comparator) сравнивает напряжения на двух выводах (пинах) микроконтроллера. Результатом сравнения будет логическое значение, которое может быть прочитано из программы. **Выход аналогового компаратора можно включить на прерывание от аналогового компаратора.** Пользователь может установить срабатывание прерывания по нарастающему или спадающему фронту или по переключению.



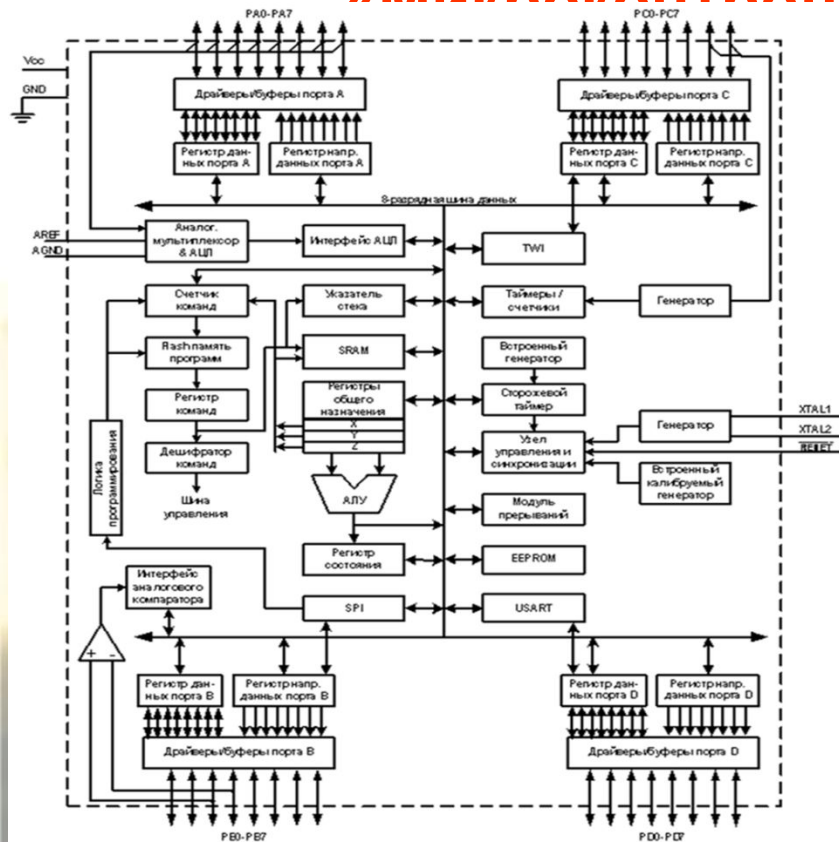
Основной регистр управления компаратором - это ACSR (Analog Comparator Control and Status Register). Он задает конфигурацию компаратора и хранит статусные флаги.

ACD (Analog Comparator Disable) - включение компаратора. 1 - запрещает работу аналогового компаратора, 0 - разрешает.

ACBG (Analog Comparator Bandgap Select) - подключение внутреннего источника опорного напряжения (ИОН) на 1.23 В к положительному входу компаратора (AIN0). 1 - подключает ИОН, 0 - отключает.

ACO (Analog Comparator Output) - этот бит хранит состояние выхода аналогового компаратора, то есть результат сравнения входных напряжений.

«Микроконтроллеры ATMELE AVR».



Периферия. Аналоговый компаратор (AC)

ACI (Analog Comparator Interrupt Flag) - флаг прерывания.. Если прерывания компаратора разрешены, то вызывается обработчик.

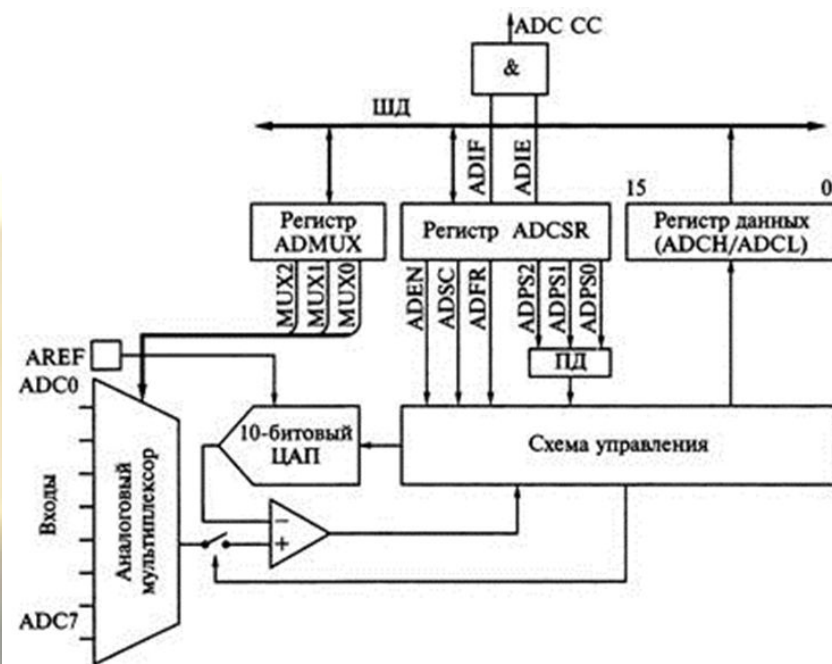
ACIE (Analog Comparator Interrupt Enable) - разрешение прерываний компаратора. компаратор генерирует запрос на прерывание при изменении состояния его выхода.

ACIC (Analog Comparator Input Capture Enable) - подключает выход компаратора к схеме захвата таймера T1. 1 - выход компаратора подключен к схеме захвата, 0 - не подключен.

ACIS1, ACIS0 (Analog Comparator Interrupt Mode Select) - эти биты определяют событие, по которому будет вызываться прерывание компаратора.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	ACSR
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	N/A	0	0	0	0	0	

«Микроконтроллеры ATMELE AVR ».



Периферия. Аналого-цифровой преобразователь (A/D CONVERTER)
Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) служит для получения числового значения напряжения, поданного на его вход.

Схема аналого-цифрового преобразователя АЦП содержит 8-канальный аналоговый мультиплексор входных сигналов, регистр выбора входного сигнала ADMUX, 10-разрядный цифроаналоговый преобразователь (конвертер), 8-разрядный регистр управления и состояния ADCSR, 16-разрядный регистр данных, схему формирования

запроса прерывания ADC CC, схему компаратора и предварительный делитель (ПД) тактовой частоты. **Преобразователь работает по методу последовательных приближений**, формируя 10-разрядный двоичный код, размещаемый в регистре данных. Работа преобразователя выполняется на частоте от 50 до 200 кГц. Значение коэффициента деления задают с помощью трех разрядов ADPS2, ADPS1, ADPS0 регистра управления ADCSR. **Результат преобразования, представляющий 10-разрядный двоичный код, размещается в старшей и младшей половинах регистра данных ADCH:ADCL.** Преобразователь может работать в одиночном режиме либо в циклическом.

«Микроконтроллеры ATMEL AVR ».

Периферия. Универсальный последовательный приемопередатчик (UART или USART)

Универсальный асинхронный или универсальный синхронно/асинхронный приемопередатчик (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver and Transmitter - UART или USART) - удобный и простой последовательный интерфейс для организации информационного канала обмена микроконтроллера с внешним миром. Способен работать в дуплексном режиме (одновременная передача и прием данных). Он поддерживает протокол стандарта RS-232, что обеспечивает возможность организации связи с персональным компьютером.

(Для стыковки МК и компьютера обязательно понадобится схема сопряжения уровней сигналов. Для этого существуют специальные микросхемы, например MAX232.)

AVR-микроконтроллеры содержат универсальный асинхронный приемопередатчик (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter - UART). Также этот периферийный



«Микроконтроллеры ATMEL AVR ».

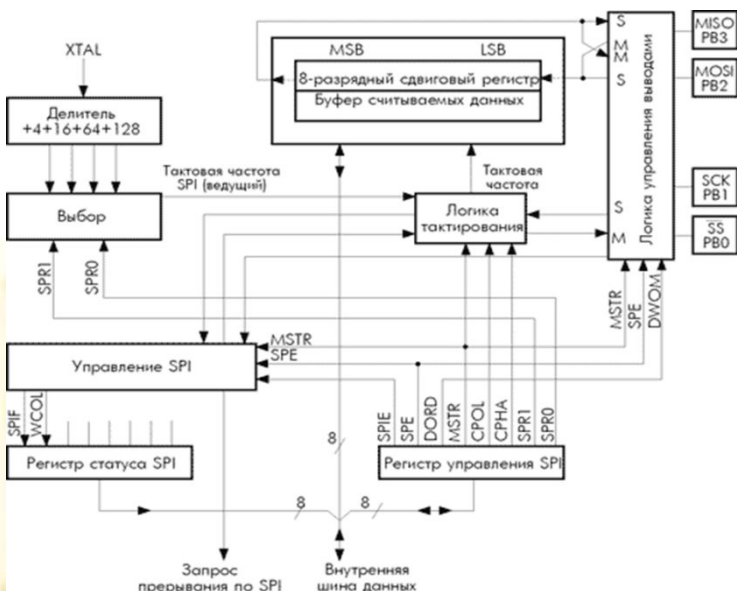
Периферия. Универсальный последовательный приемопередатчик (UART или USART)

Управление приемопередатчиком осуществляется посредством двух регистров: регистра статуса USR и регистра управления UCR. Регистр статуса USR доступен только по чтению и обеспечивает информацию о состоянии UART. Регистр управления UCR предназначен для задания режимов работы UART и доступен как по чтению, так и по записи.

Установка бит управления TXEN=1 (Transmitter Enable) и RXEN=1 (Receiver Enable) в регистре управления UCR разрешает соответственно передачу и прием данных по последовательному каналу. При этом выход передатчика и вход приемника соединяются с внешними выводами TXD и RXD AVR-микроконтроллера и настраиваются соответственно на выход и на вход независимо от установки бит в регистре направления данных порта DDRx. При сбросе TXEN и RXEN выводы TXD и RXD могут использоваться как обычные цифровые входы/выходы



«Микроконтроллеры ATMEL AVR».



Периферия. Последовательный периферийный интерфейс SPI

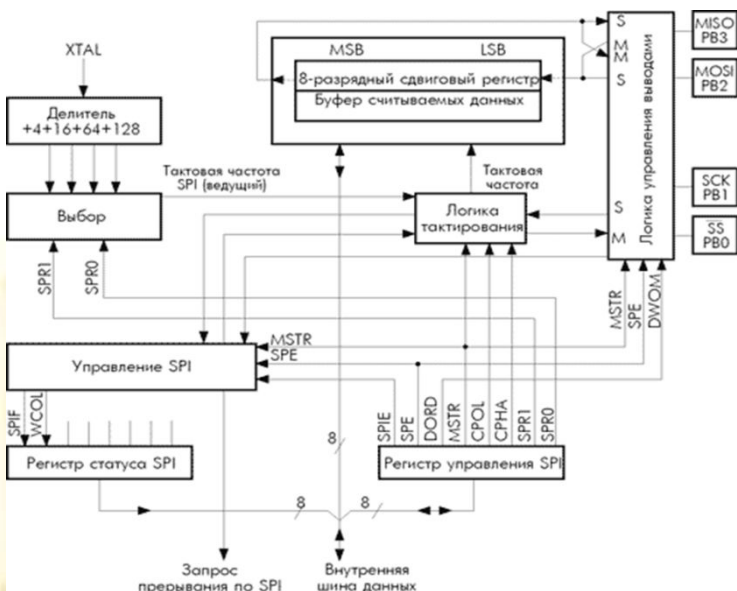
Последовательный периферийный трехпроводный интерфейс SPI (Serial Peripheral Interface) предназначен для организации обмена данными между двумя устройствами. С его помощью может осуществляться обмен данными между микроконтроллером и различными устройствами, такими, как цифровые потенциометры, ЦАП/АЦП,

FLASH-ПЗУ и др. С помощью этого интерфейса удобно производить обмен данными между несколькими микроконтроллерами AVR.

Кроме того, через интерфейс SPI может осуществляться программирование микроконтроллера. В состав модуля SPI входят:

- 8-разрядный сдвиговый регистр SPDR, который принимает байт данных с шины данных микроконтроллера, сдвигает его вправо или влево с выдачей последовательного кода на вывод микроконтроллера, одновременно с выводом принимает последовательный код со входа микроконтроллера и через буферный регистр передает его на шину данных микроконтроллера;
- 8-разрядные регистр управления SPCR и регистр состояния SPSR; предварительный делитель частоты и схемы управления.

«Микроконтроллеры ATMEL AVR ».



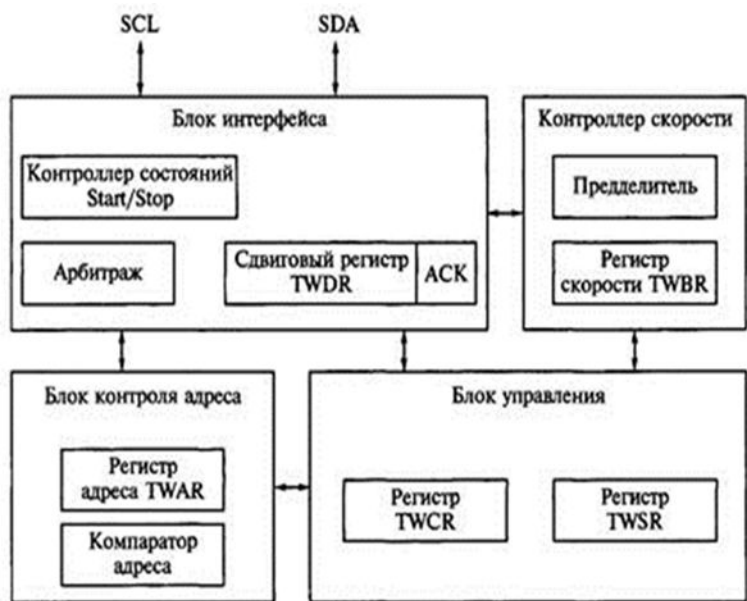
Периферия. Последовательный периферийный интерфейс SPI

В микроконтроллерах ATx8515, например, для сигналов интерфейса SPI выделены четыре линии порта PB: PB5 – MOSI, PB6 – MISO, PB7-SCK, PB4-;SS.

Выход PB1(SCK) является выходом тактового сигнала ведущего микроконтроллера и входом тактового сигнала ведомого. По записи ведущим CPU данных в SPI регистр

начинает работать тактовый генератор SPI и записанные данные сдвигаются через вывод выхода PB2(MOSI) ведущего микроконтроллера на вывод входа PB2 (MOSI) ведомого микроконтроллера. После сдвига одного байта тактовый генератор SPI останавливается, устанавливая флаг окончания передачи (SPIF). Если в регистре SPCR будет установлен бит разрешения прерывания SPI (SPIE), то произойдет запрос прерывания. Вход выбора ведомого PB0(SS), для выбора индивидуального SPI устройства в качестве ведомого, устанавливается на низкий уровень. При установке высокого уровня на выводе PB0(SS) порт SPI деактивируется и вывод PB2(MOSI) может быть использован в качестве вывода входа. Режим ведущий/ведомый может быть установлен и программным способом установкой или очисткой бита MSTR в регистре управления SPI.

«Микроконтроллеры ATMELE AVR ».



Периферия. Двухпроводной последовательный интерфейс

Двухпроводной последовательный интерфейс TWI (Two-wire Serial Interface) является полным аналогом базовой версии интерфейса I2C (двухпроводная двунаправленная шина) фирмы Philips. Этот интерфейс позволяет объединить вместе до 128 различных устройств с помощью двунаправленной шины, состоящей из линии тактового сигнала (SCL) и линии данных (SDA).

Модуль содержит **блок шинного интерфейса (SDA, SCL)** с **регистром данных TWDR** и **контроллером состояний Start/Stop**, **блок контроля адреса** с **регистром адреса TWAR** и **схемой сравнения**, **блок управления** с **регистрами управления TWCR** и **состояния TWSR**, **контроллер скорости передачи** с **предделителем** и **регистром скорости TWBR**. Регистр данных TWDR обеспечивает параллельную загрузку байтов и последовательный вывод данных на линию SDA путем сдвига содержимого регистра влево в сторону старших разрядов. **Регистр адреса TWAR** используется при работе микроконтроллера в качестве ведомого. Код, записанный в семи старших разрядах регистра, представляет собственный адрес микроконтроллера. Этот код сравнивается компаратором с адресом, поступающим в микроконтроллер при появлении адресного пакета в регистре TWDR.

«Микроконтроллеры ATMEL AVR ».

Таблица 5.6. Формат регистра управления TWCR

№ разряда	7	6	5	4	3	2	1	0
Имя	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE

Таблица 5.7. Формат регистра состояния TWSR

№ разряда	7	6	5	4	3	2	1	0
Имя	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	–	TWPS1	TWPS0

Периферия. Двухпроводной последовательный интерфейс

Младший бит TWGCE регистра TWAR разрешает распознавание общих вызовов (обращений с адресом \$00). Если разряд TWGCE = 0, распознавание общих вызовов запрещено.

Управление работой порта осуществляется с помощью регистров TWCR). Биты регистра TWCR имеют следующее назначение:

TWEN – бит разрешения работы модуля TWI.

При установке бита в состояние 1 выводы SDA, SCL подключаются к внешним выводам микроконтроллера PC1, PC0 соответственно для всех ранее названных моделей микроконтроллеров, кроме ATmegaSx (выводы PC4, PC5) и Atmega 64x, 128x(PDI, PDO);

TWSTA – флаг состояния Start. При установке бита в единичное состояние микроконтроллер может сформировать состояние Start, если шина свободна. Если шина занята, модуль ожидает появления состояния Stop и лишь после этого захватывает шину, формируя состояние Start;

TWSTO – флаг состояния Stop. Установка флага в состояние 1 приводит к формированию на шине состояния Stop;

«Микроконтроллеры ATMELE AVR ».

Таблица 5.6. Формат регистра управления TWCN

№ разряда	7	6	5	4	3	2	1	0
Имя	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE

Таблица 5.7. Формат регистра состояния TWSR

№ разряда	7	6	5	4	3	2	1	0
Имя	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	-	TWPS1	TWPS0

TWWC – флаг, устанавливаемый в 1 при попытке записи в регистр данных TWDR, когда флаг прерывания TWINT сброшен.

Биты регистра TWSR:

TWS7...TWS3 – код состояния модуля TWI;

TWPS1:TWPS0 – коэффициент деления предделителя контроллера скорости передачи.

Контроллер скорости передачи формирует последовательность тактовых сигналов, поступающих на линию SCL. Частота формируемых сигналов зависит от коэффициентов деления TWBR и TWPS.

Периферия. Двухпроводной последовательный интерфейс

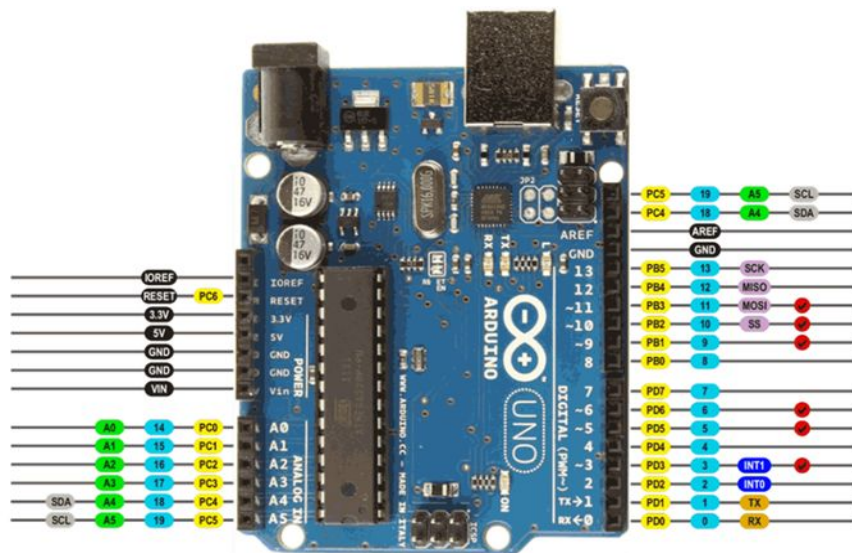
TWEA – бит разрешения подтверждения. При установке бита в 1 устройство формирует сигнал подтверждения, когда это необходимо;

TWIE и **TWINT** – флаги разрешения и прерывания от модуля TWI. Запрос прерывания генерируется, если $TWINT = 1$ и $TWIE = 1$. Сброс флага TWINT может быть осуществлен только при записи в него логической 1;

Применение микроконтроллеров ATMEL AVR (Atmega 328) на примере Arduino UNO

- 14 цифровых портов входа-выхода (6 из них поддерживают режим ШИМ модуляции);
- 6 аналоговых входов;
- частота тактирования 16 МГц;
- USB порт;
- разъем питания;

- У платы есть все необходимые компоненты для обеспечения работы микроконтроллера. Достаточно подключить USB кабель к компьютеру и подать питание. Микроконтроллер установлен на колодке, что позволяет легко заменить его в случае выхода из строя.



«Микроконтроллеры ATMEL AVR ».

Применение микроконтроллеров ATMEL AVR (Atmega 328) на примере Arduino UNO

Технические характеристики.

Тип микроконтроллера	ATmega328P
Напряжение питания микроконтроллера	5 В
Рекомендуемое напряжение питания платы	7 – 12 В
Предельно допустимое напряжение питания платы	6 – 20 В
Цифровые входы-выходы	14 (из них 6 ШИМ)
Выходы ШИМ модуляции	6
Аналоговые входы	6
Допустимый ток цифровых выходов	20 мА
Допустимый ток выхода 3,3 В	50 мА
Объем флэш памяти (FLASH)	32 кБ (0,5 кБ - загрузчик)
Объем оперативной памяти (SRAM)	2 кБ
Объем энергонезависимой памяти (EEPROM)	1 кБ
Частота тактирования	16 мГц
Длина платы	68,6 мм
Ширина платы	53,4 мм
Вес	25 г

«Микроконтроллеры ATMELE AVR ».

Программирование.

Контроллер может программироваться из интегрированной среды программного обеспечения Ардуино (IDE). Программирование происходит под управлением резидентного загрузчика по протоколу STK500. Аппаратный программатор при этом не требуется.

Микроконтроллер можно запрограммировать через разъем для внутрисхемного программатора ICSP, не используя загрузчик. Исходный код программы-загрузчика находится в свободном доступе.

Отличие от других контроллеров Ардуино.

Arduino UNO R3, в отличие от предыдущих версий, не использует для подключения к компьютеру мост USB-UART FTDI. Эту функцию в нем выполняет микросхема CH340G.

Память.

У микроконтроллера три типа памяти:

- 32 кБ флэш (FLASH);
- 2 кБ оперативной памяти (SRAM);
- 1 кБ энергонезависимой памяти (EEPROM).

«Микроконтроллеры ATMELE AVR ».

Система питания.

Плата UNO может получать питание от USB порта или от внешнего источника. Источник питания выбирается автоматически. Адаптер подключается через разъем диаметром 2,1 мм (центральный контакт – положительный). Батарея подключается к контактам GND и Vin разъема POWER.

Напряжение внешнего источника питания может быть в диапазоне 6 – 20 В. Нежелательно повышать напряжение питания более 12 В, т.к. может перегреться стабилизатор и выйти из строя. Т.е. рекомендуемый диапазон напряжения питания 7 – 12 В.

Для подключения питания могут быть использованы следующие выводы.

Vin Питание платы от внешнего источника питания. Не связано с питанием 5 В от USB или выходами других стабилизаторов. Через этот контакт можно получать питание для своего устройства, если плата питается от адаптера.

5 V Выход стабилизатора напряжения платы. На нем напряжение 5 В при любом способе питания. Питая плату через этот вывод не рекомендуется, т.к. не используется стабилизатор, что может привести к выходу микроконтроллера из строя.

3 V 3 Напряжение 3,3 В от стабилизатора напряжения на плате. Предельно допустимый ток потребления от этого вывода 50 мА.

GND Общий провод.

IOREF На выводе информация о рабочем напряжении платы. Плата расширения может считать значение сигнала и переключиться на режим питания 5 В или 3.3 В.

«Микроконтроллеры ATMEЛ AVR ».

Входы и выходы.

Каждый из 14 цифровых выводов может быть использован в качестве выхода или входа. Уровень напряжения на выводах 5 В. Рекомендовано вытекающий и втекающий ток каждого вывода ограничивать на уровне 20 мА. **Предельно допустимое значение этого параметра составляет 40 мА.** Каждый вывод имеет внутренний подтягивающий резистор сопротивлением 20-50 кОм. Резистор может быть отключен программно.

Некоторые выводы могут выполнять дополнительные функции.

- **Последовательный интерфейс: выводы 0 (Rx) и 1 (Tx).** Используются для приема (Rx) и передачи (Tx) последовательных данных логических уровней TTL. Эти выводы подключены к выводам передачи данных микросхемы СН340G, используемой в качестве моста USB-UART.
- **Внешние прерывания: выводы 2 и 3.** Эти выводы могут быть использованы как входы внешних прерываний. Программно могут быть установлены на прерывание по низкому уровню, положительному или отрицательному фронту, или на изменение уровня сигнала.
- **ШИМ: выводы 3, 5, 6, 9, 10, 11.** Могут работать в режиме ШИМ модуляции с разрешением 8 разрядов.

«Микроконтроллеры ATMELE AVR ».

Входы и выходы.

Некоторые выводы могут выполнять дополнительные функции.

- **Последовательный интерфейс SPI:** выводы 10(SS), 11(MOSI), 12(MISO), 13(SCK).
- **Светодиод:** вывод 13. Светодиод, подключенный к выводу 13. Светится при высоком уровне сигнала на выводе.
- **Интерфейс TWI:** вывод A4 или SDA и A5 или SCL. Коммуникационный интерфейс TWI.
- У платы Arduino UNO есть **6 аналоговых входов, обозначенных A0-A5**. Разрешающая способность аналогового цифрового преобразования 10 разрядов. По умолчанию, входное напряжение измеряется относительно земли в диапазоне 0-5 В, но может быть изменено с помощью вывода AREF и программных установок.
- Еще 2 вывода платы имеют функции:
- **AREF.** Опорное напряжение АЦП микроконтроллера.
- **RESET.** Низкий уровень на этом выводе вызывает сброс микроконтроллера.

«Микроконтроллеры ATMEGA AVR ».

Коммуникационные интерфейсы.

Модуль Arduino UNO имеет средства для связи с компьютером, с другой платой UNO или с другими микроконтроллерами. Для этого на плате существует интерфейс UART с логическими уровнями TTL (5 В), связанный с выводами 0 (RX) и 1(TX).

Микросхема CH340G на плате связывает UART интерфейс с USB портом компьютера. При подключении к порту компьютера, появляется виртуальный COM порт, через который программы компьютера работают с Ардуино. Прошивка микросхемы CH340G использует стандартные драйверы USB-COM и установка дополнительных драйверов не требуется. Для операционной системы Windows необходим соответствующий .inf файл. В интегрированную среду программного обеспечения Ардуино (IDE) включен монитор обмена по последовательному интерфейсу, который позволяет посылать и получать с платы простые текстовые данные. На плате есть светодиоды RX и TX, которые индицируют состояние соответствующих сигналов для связи через USB (но не для последовательного интерфейса на выводах 0 и 1).

Микроконтроллер ATmega328 также поддерживает коммуникационные интерфейсы I2C (TWI) и SPI.

«Микроконтроллеры ATMEGA AVR ».

Автоматический (программный) сброс.

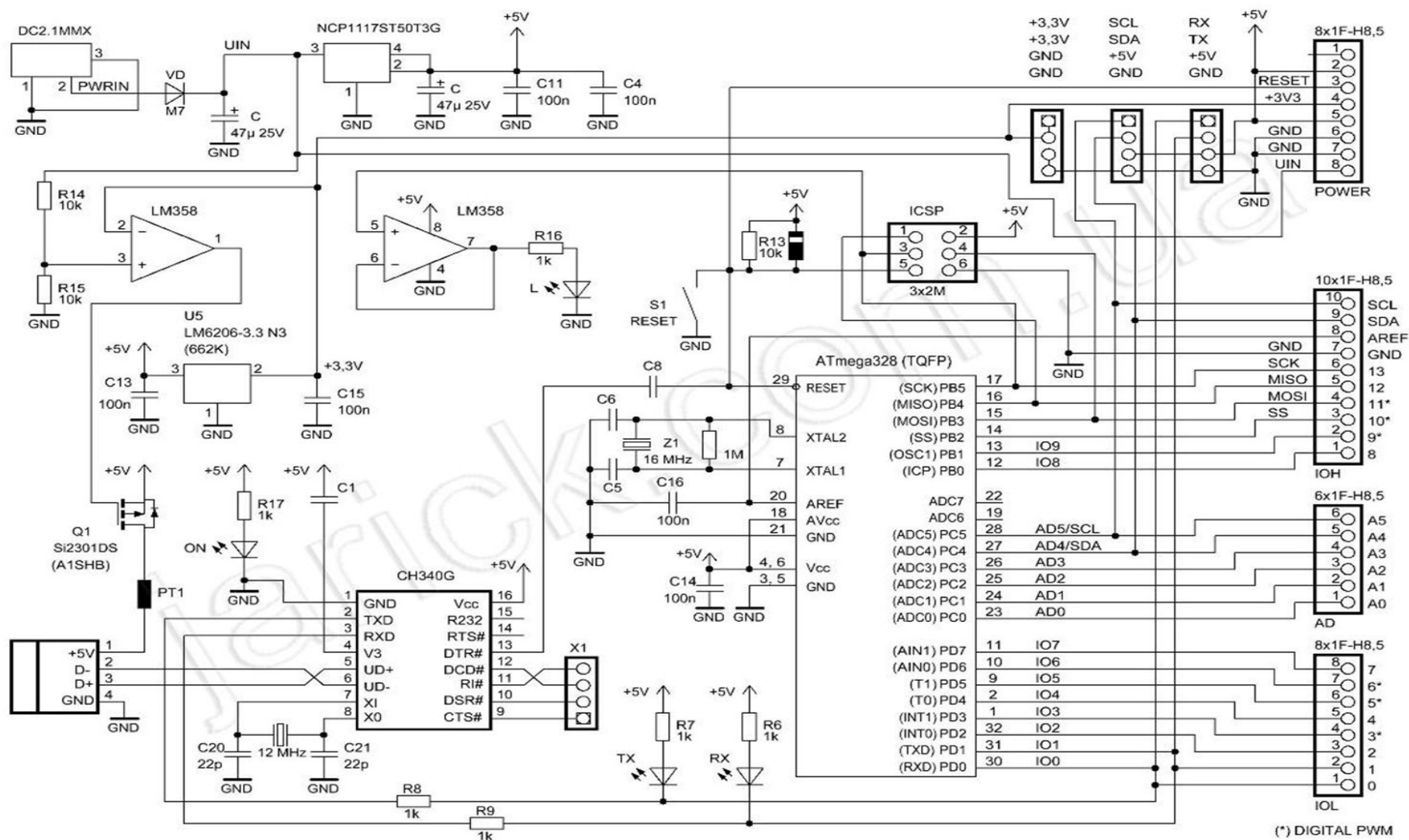
Для того, чтобы не приходилось каждый раз перед загрузкой программы нажимать кнопку сброс, на плате UNO реализована аппаратная функция сброса, иницируемая с подключенного компьютера. Один из сигналов управления потоком данных (DTR) микросхемы CH340G подключен к выводу сброса микроконтроллера ATmega328 через конденсатор емкостью 0,1 мкФ. Когда сигнал DTR переходит в низкое состояние, формируется импульс сброса микроконтроллера. Это решение позволяет загружать программу одним нажатием кнопки из интегрированной среды программирования Arduino (IDE).

На модуле UNO существует дорожка, которую можно перерезать для отключения функции автоматического сброса. Дорожка маркирована надписью "RESET-EN".

Автоматический сброс также можно запретить, подключив резистор сопротивлением 110 Ом между линией питания 5 В и выводом RESET.

«Микроконтроллеры ATMEGA AVR».

Схема электрическая принципиальная Arduino Uno



«Микроконтроллеры ATMELE AVR ».

Литература:

1. Микушин А. В. Занимательно о микроконтроллерах. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 432 с: ил.
2. Микропроцессорные системы [Электронный ресурс] : электрон . учеб . посо -бие / О . В . Непомнящий, Е . А . Вейсов, Г . А . Скотников, М . В . Савицкая. – Электрон. дан. (4 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2009.
3. <http://avr.ru/ready/inter/usart/uart>
4. <http://chipenable.ru/index.php/programming-avr/item/193-uchebnyy-kurs-avr-analogovyy-komparator.html>
5. http://life-prog.ru/2_78673_universalniy-asinhronniy-priemoperedatchik-UART-mk-AVR.html
6. <http://nauchebe.net/2011/03/rabota-posledovatel'nogo-kanala-spi-na-mk-avr>

**Благодарю за внимание, готов ответить
на Ваши вопросы**

A photograph of a control room with several people working at consoles. The image is slightly blurred and has a warm, yellowish tint. The text is overlaid on the left side of the image.

А.М. Волошин
Ст. преподаватель
СШФ СФУ

