Проектирование систем измерения и управления на основе микроконтроллера

10 лекция

«Программирование микроконтроллеров на языке С++»»

ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Микропроцессоры и микроконтроллеры
2. Системы на основе микропроцессоров
3. Внутренне устройство микроконтроллеров
4. Особенности проектирования микроконтроллерных систем измерения и управления
5. Отладочная плата Arduino

Микропроцессоры

Микропроцессор - это центральный процессор общего назначения, интегрированный на одном кристалле, предназначенный для высокоскоростной обработки данных и сложных вычислений.

Микропроцессор - программно-управляемое устройство, выполняющее обработку цифровой или аналоговой информации:

- ввод исходных данных,
- выполнения арифметических, логических и других операций,
- выдача результатов в соответствии с командами, считываемыми из памяти,
- управление процессом этой обработки.

Микропроцессоры не содержат встроенной памяти или интерфейсов ввода-вывода, они полагаются на внешние модули RAM, ROM и I/O для достижения полных системных функций.

Системы на основе микропроцессоров

В состав микропроцессорной системы входят многочисленные вспомогательные устройства, обеспечивающие ее функционирование: постоянное запоминающее устройство (ПЗУ/ROM), оперативная память (ОЗУ/RAM), последовательные интерфейсы связи, таймеры, порты ввода/вывода и другие компоненты. Все эти устройства обмениваются командами и данными с микропроцессором через системную шину, включающую шину данных, шину адреса и шину управления.

Следует подчеркнуть, что **все вспомогательные устройства в микропроцессорной системе являются внешними** по отношению к микропроцессору.

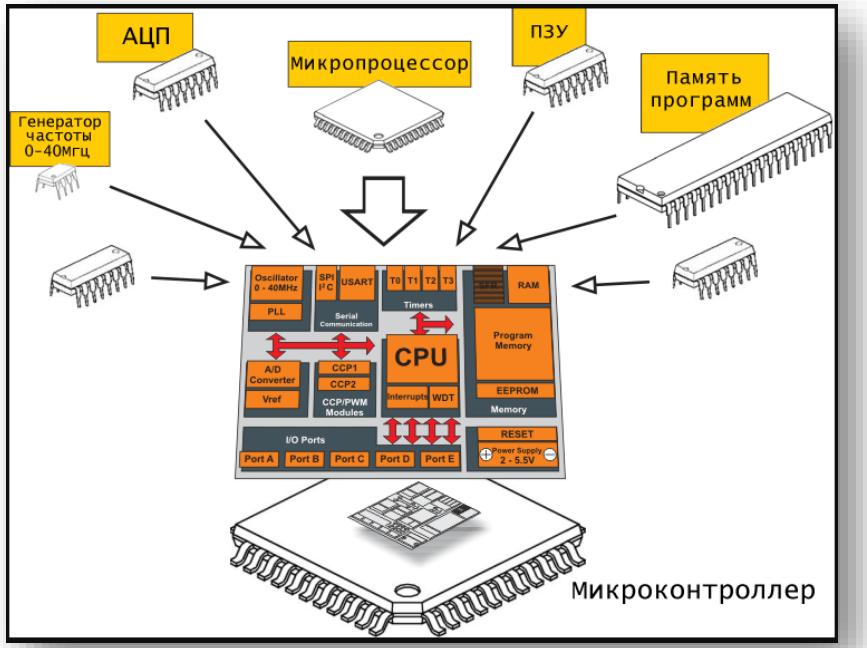


Микроконтроллер как интегрированная система

Микроконтроллер - это интегральная микросхема, предназначенная для программного управления различными электронными устройствами и системами.

Все основные функциональные блоки, такие как постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), оперативная память (ОЗУ), таймеры, последовательные интерфейсы, порты ввода/вывода и другие элементы являются **встроенными** в структуру микроконтроллера.

Таким образом, микроконтроллер представляет собой микропроцессорную систему на одном полупроводниковом кристалле (чипе), в которой все основные функциональные блоки интегрированы в единую микросхему.



Внутреннее устройство микроконтроллера

Внутреннее устройство микроконтроллера отражает его аппаратную структуру и включает следующие основные элементы:

- **Центральное процессорное устройство (ЦПУ)** - основной вычислительный блок, выполняющий команды программы и управляющий работой всех узлов микроконтроллера.
- **Память программ (ПЗУ)** - хранит машинный код программы пользователя, сохраняемый при отключении питания.
- **Память данных (ОЗУ)** - используется для временного хранения переменных, данных и промежуточных результатов вычислений.
- **Системная шина** - внутренняя коммуникационная структура, обеспечивающая обмен командами и данными между процессором, памятью и другими функциональными блоками.
- **Тактовый генератор (осциллятор)** - задаёт частоту работы микроконтроллера, синхронизируя выполнение всех операций.
- **Модуль сброса и система управления питанием** - обеспечивают корректный запуск микроконтроллера и контроль его состояния при изменении параметров питания.

Периферийные устройства микроконтроллера

- В микроконтроллере на одном кристалле с ядром реализованы не только необходимые для его работы подсистемы, но и масса периферийных устройств, которые могут потребоваться в различных практических задачах. Более того, многие производители микроконтроллеров соревнуются друг с другом не по производительности ядра или объёму памяти, а по обилию и функциям периферийных устройств.
- Периферийные устройства микроконтроллера предназначены для взаимодействия с различными датчиками, исполнительными механизмами и другими устройствами автоматизации.
  Они обеспечивают сбор, преобразование и передачу данных, а также формирование управляющих воздействий.
- Периферийные устройства можно классифицировать по разным признакам: **по функциональному назначению** (устройства ввода; устройства вывода; устройства ввода-вывода.), **по области применения** (универсальные; специализированные).

Классификация периферийных устройств по функциональному назначению

- **Устройства ввода-вывода** - обеспечивают взаимодействие с внешними цифровыми и аналоговыми сигналами.
  - Порты ввода-вывода (GPIO) - двунаправленные линии для приёма и передачи сигналов логического уровня (0/1).
  - Аналоговые входы и выходы - для работы с датчиками и исполнительными устройствами, формирующими или воспринимающими аналоговый сигнал.

Классификация периферийных устройств по функциональному назначению

- **Функциональные модули управления и измерения**:
  - Таймеры и счётчики — измеряют временные интервалы, частоту сигналов, обеспечивают генерацию импульсов и реализацию ШИМ (широтно-импульсной модуляции);
  - АЦП (Аналого-цифровой преобразователь) — преобразует аналоговые сигналы (напряжение, ток) в цифровой код для последующей обработки;
  - ЦАП (Цифро-аналоговый преобразователь) — формирует аналоговый сигнал на основе цифрового кода;
  - Система прерываний — обеспечивает немедленную реакцию микроконтроллера на внешние события (например, изменение состояния датчика).

Классификация периферийных устройств по функциональному назначению

- **Устройства сопряжения и коммуникации** - обеспечивают обмен данными с другими микроконтроллерами, компьютерами или периферией:
  - UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) - асинхронный интерфейс, используемый для последовательного обмена данными;
  - SPI (Serial Peripheral Interface) -синхронный последовательный интерфейс «ведущий–ведомый», обеспечивающий высокоскоростную передачу;
  - I²C (Inter-Integrated Circuit) -двухпроводный интерфейс для подключения нескольких устройств на одной шине;
  - CAN (Controller Area Network) -промышленный интерфейс, используемый в системах реального времени, автомобилях, робототехнике;
  - USB, Ethernet, Wi-Fi, BLE -современные интерфейсы связи для IoT и сетевых приложений.

Классификация периферийных устройств по области применения

Универсальные периферийные устройства входят в состав большинства микроконтроллеров и обеспечивают выполнение базовых функций управления и обмена данными:

- **Порты ввода/вывода (GPIO)** -универсальные цифровые линии для приёма и передачи сигналов.
- **Таймеры/счётчики** -используются для измерения временных интервалов, формирования частотных сигналов и реализации широтно-импульсной модуляции (PWM).
- **Последовательные интерфейсы связи (UART, SPI, I²C)** - обеспечивают обмен данными между микроконтроллерами и периферийными устройствами.
- **АЦП (аналогово-цифровой преобразователь)** -преобразует аналоговые сигналы датчиков в цифровую форму для последующей обработки.
- **ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь)** - выполняет обратное преобразование, формируя аналоговые управляющие сигналы.

Классификация периферийных устройств по области применения

Специализированные периферийные устройства предназначены для решения конкретных прикладных задач в системах управления и измерения:

- **ШИМ-контроллеры** - применяются для управления скоростью вращения электродвигателей, мощностью или яркостью освещения.
- **Модули захвата и сравнения** (Capture/Compare) - обеспечивают измерение частоты, длительности и фазы сигналов.
- Интерфейсы CAN, USB, Ethernet - используются в промышленных, сетевых и встроенных системах.
- **Системы прерываний и контроллер событий** - позволяют микроконтроллеру реагировать на внешние сигналы в реальном времени, обеспечивая высокую скорость отклика.

Таким образом, периферийные устройства играют ключевую роль в обеспечении взаимодействия микроконтроллера с объектом автоматизации и окружающей средой, что делает возможным создание законченных систем измерения и управления.

Микроконтроллер как интегрированная система

Следует отметить, что некоторые встроенные модули -такие как таймеры, порты ввода/вывода, интерфейсы UART, SPI и I^2C - физически размещены внутри микросхемы микроконтроллера, однако функционально относятся к встроенным периферийным устройствам. Они обеспечивают обмен информацией с внешними элементами системы -датчиками, приводами и другими микроконтроллерами.

Таким образом, внутреннее устройство микроконтроллера формирует его вычислительное ядро, а встроенная периферия расширяет функциональные возможности и обеспечивает связь с объектом управления.

Микроконтроллеры общего назначения

Производитель	Семейство	Особенности и применение
Intel	MCS-51 (8051)	Классическое семейство 8-разрядных МК, используется для обучения и простых управляющих систем.
Microchip Technology	PIC	Широкий диапазон 8-, 16- и 8-разрядных МК для встроенных систем различной сложности.
Atmel / Technology Microchip	AVR (ATtiny, ATmega, XMEGA, AVR32)	Широкий диапазон 8- и 32-разрядных микроконтроллеров для встроенных систем различной сложности, отличающихся простотой программирования, низким энергопотреблением и высокой производительностью при невысокой тактовой частоте.
Texas Instruments	MSP430	Энергоэффективные 16-битные МК для измерительных и автономных устройств.
Espressif Systems	ESP8266, ESP32	32-битные МК с Wi-Fi / Bluetooth, применяются в системах IoT и «умных» устройствах.

Микроконтроллеры на ядре ARM

Производитель	Семейство / Ядро ARM	Особенности и применение
STMicroelectronics	STM32 (Cortex-M)	32-битные универсальные МК с богатым набором периферии и возможностью работы под управлением операционной системы реального времени.
Texas Instruments	Stellaris / Tiva C (Cortex-M)	Высокопроизводительные контроллеры для промышленных и встроенных систем.
NXP / Freescale	Kinetis, LPC (Cortex-M, ARM9)	Применяются в автомобилях, системах связи и робототехнике.
Toshiba	ARM-based MCUs	Используются в бытовой электронике и промышленных устройствах.
ARM Limited	ARM7, ARM9, Cortex-M / Cortex-A	Разработчик архитектур, лицензирует ядра другим производителям.

Микроконтроллеры общего назначения отличаются собственной архитектурой, разработанной конкретными производителями. Они просты в использовании, недорогие и широко применяются в образовательных и исследовательских целях, а также в простых системах управления и мониторинга.

Микроконтроллеры на основе ядер ARM разработаны по лицензии компании ARM Limited. Производители интегрируют стандартное ядро ARM с собственной периферией и памятью, что обеспечивает универсальность, масштабируемость и высокую производительность. Такие микроконтроллеры лежат в основе большинства современных встраиваемых систем - от промышленных контроллеров до медицинской техники и IoT-устройств.

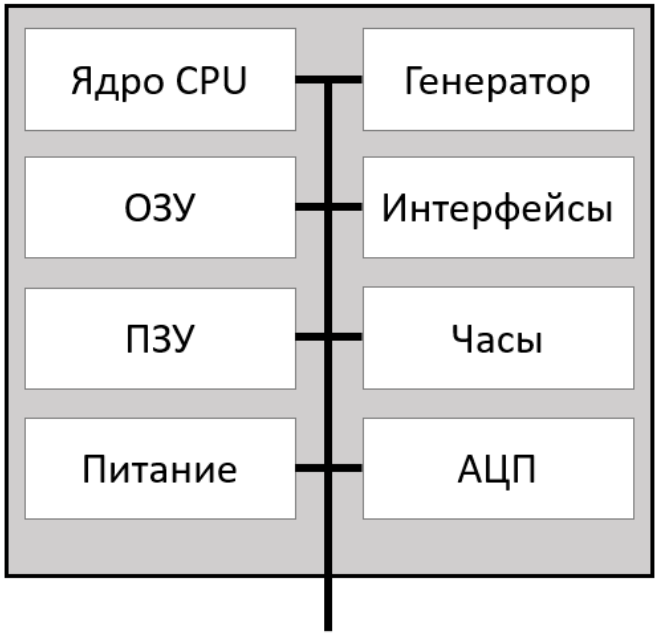
Таким образом, выбор типа микроконтроллера определяется требованиями к производительности, энергопотреблению и сложности системы управления.

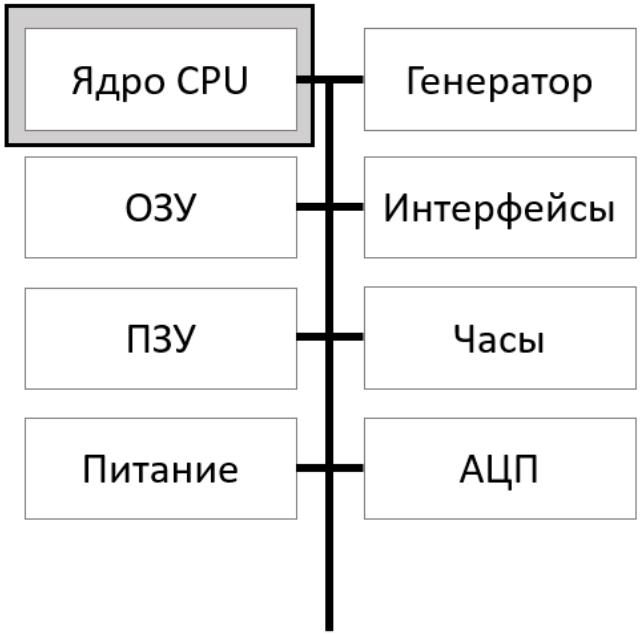
Отличия микропроцессора от микроконтроллера

- **Основное различие между микропроцессором и микроконтроллером заключается в степени интеграции**.

Микроконтроллер объединяет на одном кристалле процессор, память и периферию, образуя автономную систему управления.

Микропроцессор содержит только центральное процессорное устройство и требует внешней памяти и периферийных модулей, что делает его менее компактным, но более гибким по конфигурации.





Отличия микропроцессора от микроконтроллера

- Микроконтроллеры изготавливаются с использованием комплементарной металл-оксид-полупроводниковой технологии, что делает их значительно дешевле микропроцессоров.
- Скорость обработки данных у микроконтроллеров составляет порядка 8–50 МГц, тогда как у микропроцессоров - свыше 1 ГГц, поэтому они обеспечивают гораздо более высокую производительность.
- Микроконтроллеры обычно оснащены энергосберегающими режимами (ожидание, пониженное энергопотребление), что позволяет им работать с минимальными затратами энергии, особенно при использовании ограниченного числа внешних компонентов. В то время как в микропроцессорах, как правило, отсутствуют встроенные системы энергосбережения, а подключение большого числа внешних устройств приводит к повышенному энергопотреблению.

Отличия микропроцессора от микроконтроллера

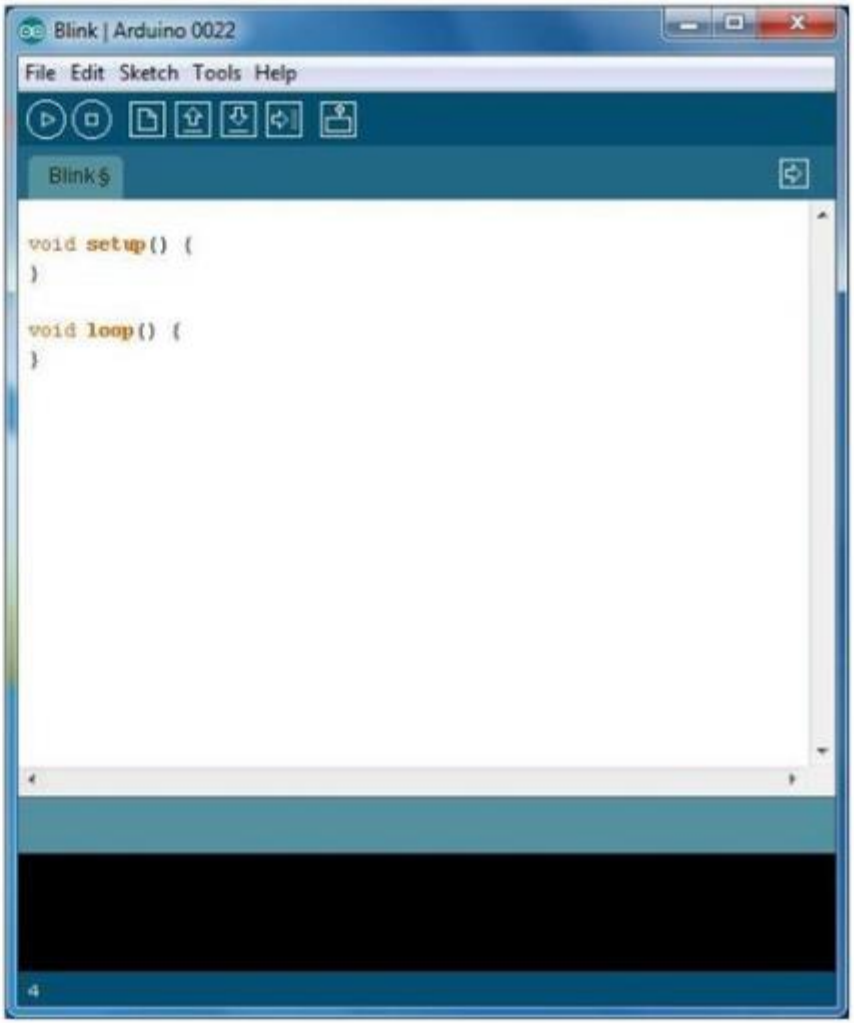
- Компактность микроконтроллеров делает их выгодным и эффективным решением для небольших систем и встраиваемых приложений.
  В отличие от них, микропроцессоры требуют подключения внешних модулей памяти и периферии, поэтому системы на их основе получаются более сложными и громоздкими, и применяются в мощных вычислительных устройствах и комплексных системах..
- Микроконтроллеры выполняют ограниченные, относительно простые задачи управления — например, в робототехнике, бытовой технике, контроллерах теплиц. Микропроцессоры решают более сложные задачи, требующие высокой производительности и объёма памяти: разработка программного обеспечения, игр, веб-приложений и др.

  Таким образом, микроконтроллеры отличаются простотой, низкой стоимостью и экономичностью, однако уступают микропроцессорам по вычислительной мощности и скорости обработки данных.

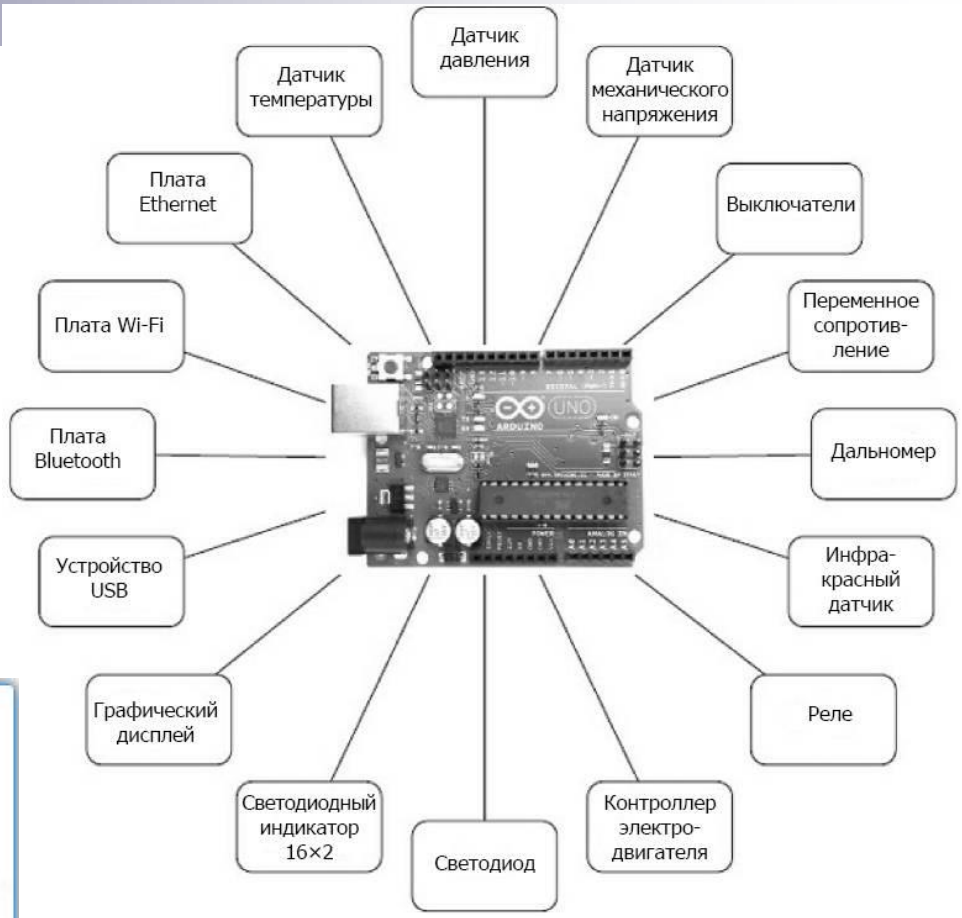
2. ОТЛАДОЧНАЯ ПЛАТА ARDUINO

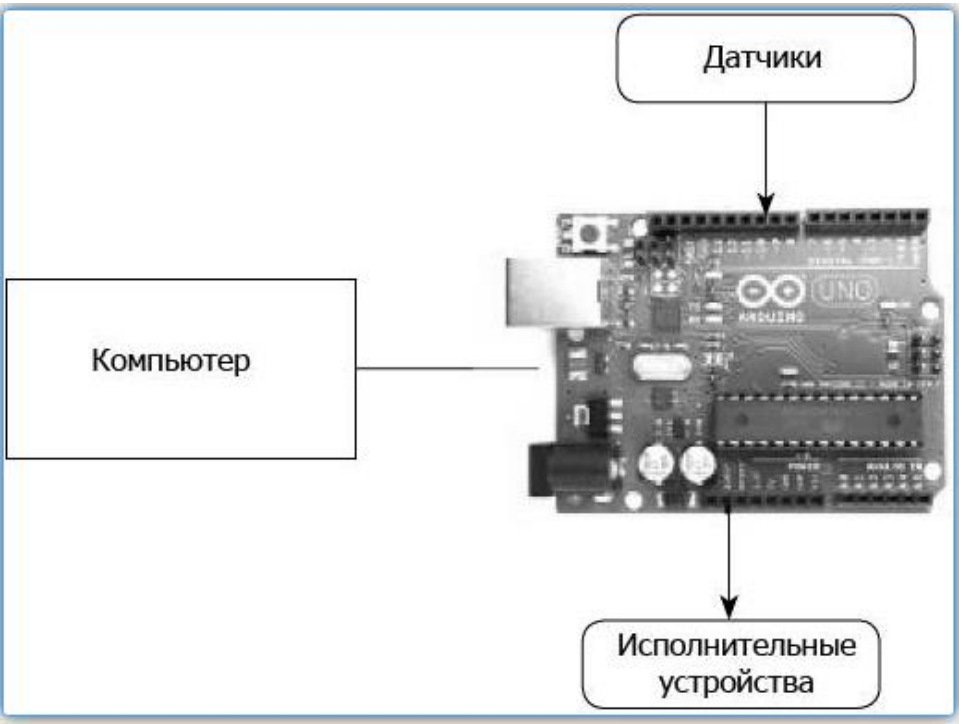
Электронный конструктор и удобная платформа быстрой разработки электронных устройств для новичков и профессионалов

- Среда разработки
- Платы

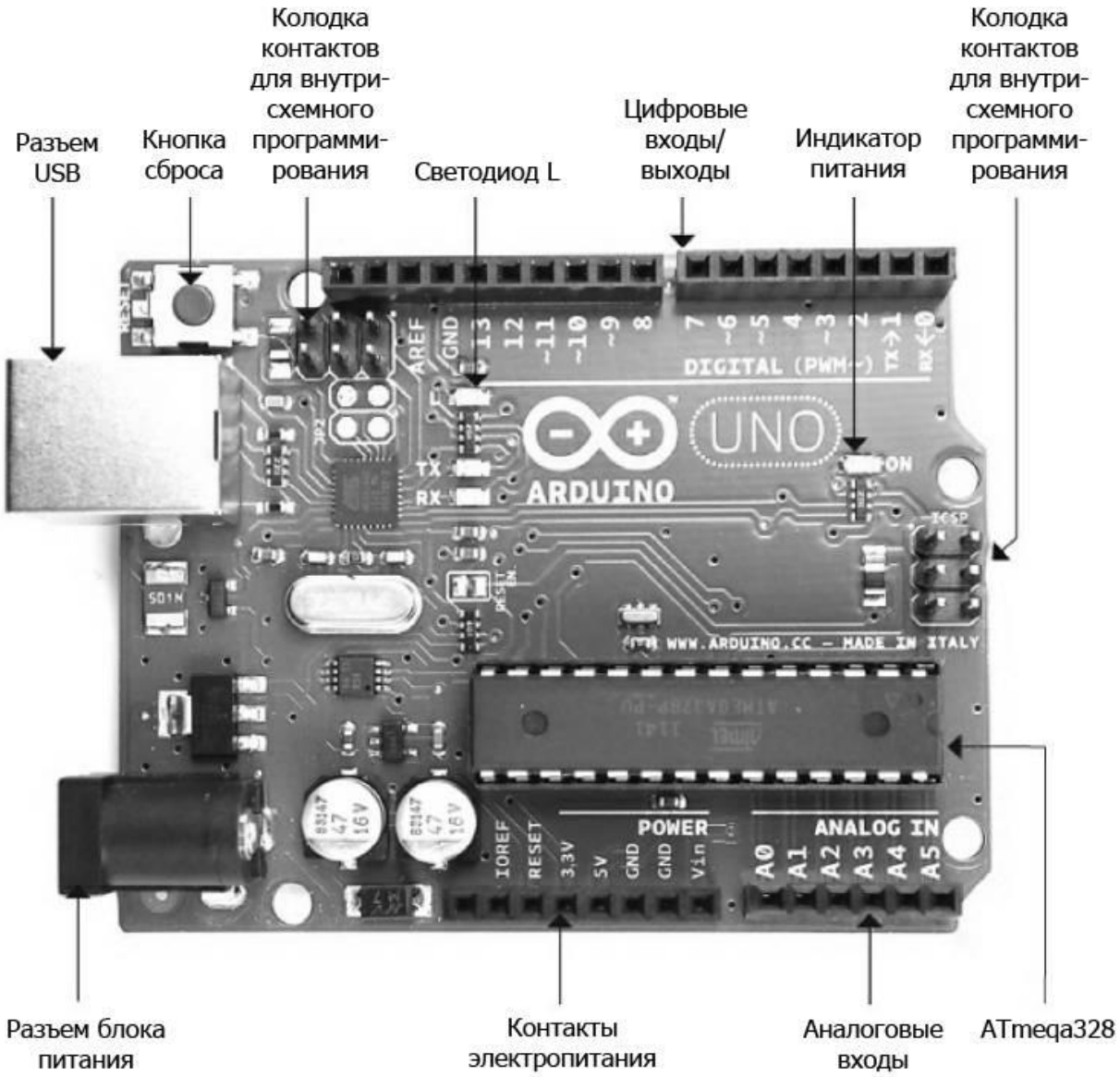





Датчик давления
Датчик температуры
Датчик механического напряжения
Плата Ethernet
Выключатели
Плата Wi-Fi
Переменное сопротив-ление
Плата Bluetooth
Дальномер
Устройство USB
Инфра-красный датчик
Графический дисплей
Реле
Светодиодный индикатор 16×2
Светодиод
Контроллер электро-двигателя


Датчики
Компьютер
Исполнительные устройства

Устройство платы Arduino



Основные платы



- Uno
  - базовая платформа Arduino
  - 14 цифровых входов/выходов (из них 6 ШИМ)
  - 6 аналоговых входов
  - 1 последовательный порт UART
  - программируется через USB с токовой защитой
  - дополняется платами расширения



- Mega2560
  - 54 цифровых входа/выхода (из них 14 ШИМ)
  - 16 аналоговых входов
  - 4 последовательных порта UART
  - дополняется платами расширения
  - программируется через USB



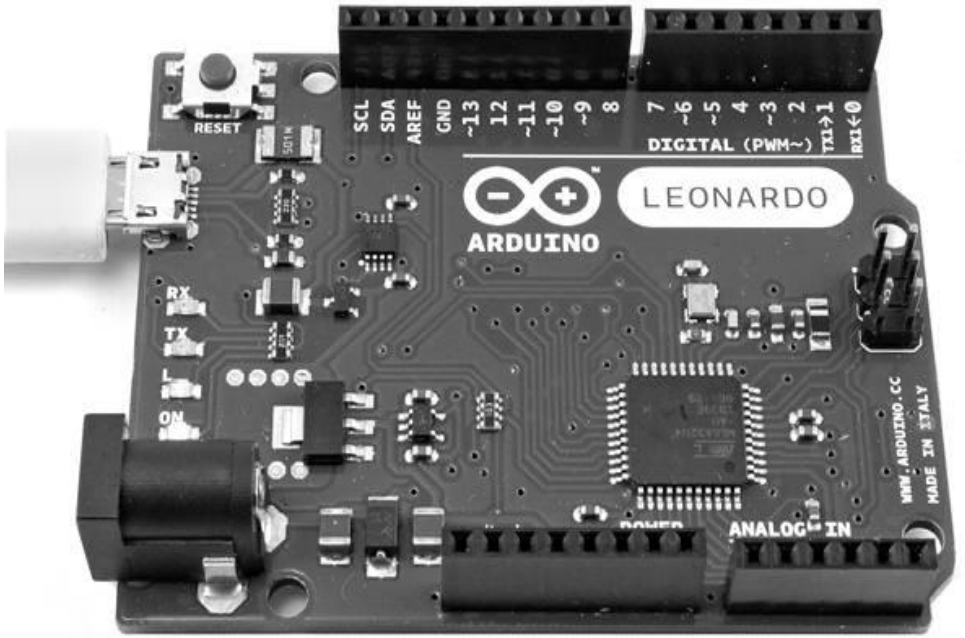
- Nano
  - 14 цифровых входов/выходов (6 могут использоваться как выходы ШИМ)
  - 8 аналоговых входов
  - программируется через Mini-USB

Arduino Leonardo

Другой современной моделью Arduino того же размера и с тем же набором контактов, что и Uno R3, является Arduino Leonardo.

Плата содержит меньше электронных компонентов, чем Uno. Это объясняется использованием другого процессора - ATmega32u4, схожего с ATmega328, но имеющего встроенный интерфейс USB, благодаря чему отпала необходимость в дополнительных компонентах, которые можно увидеть на плате Uno.

Кроме того, модель Leonardo имеет немного больше памяти, больше аналоговых входов и обладает некоторыми другими преимуществами. Она также немного дешевле Uno. Во многих отношениях она имеет также более удачную конструкцию, чем Uno.

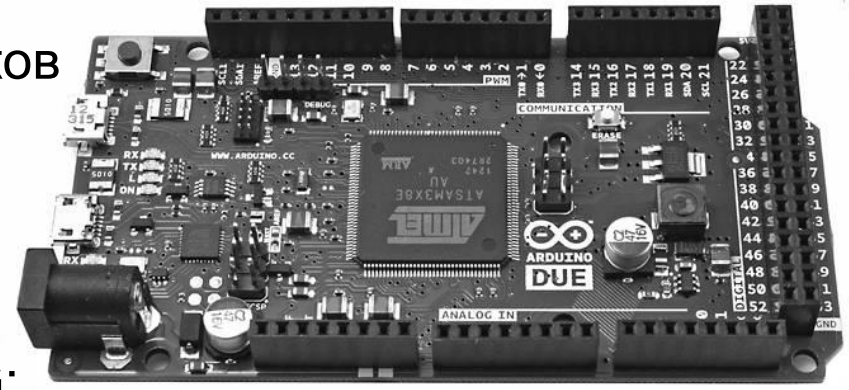


Arduino Due

Традиционно самой большой считается Arduino Mega 2560. Но в целом Arduino Due — более «мощная машина». Эта плата комплектуется процессором с тактовой частотой 84 МГц (сравните с 16 МГц модели Uno), но имеет проблемы совместимости с другими моделями. Самая большая из них состоит в том, что для электропитания Due должно использоваться напряжение 3,3 В вместо 5 В, как для большинства предыдущих моделей Arduino.

Однако эта плата имеет преимущества для проектов с высокими требованиями:

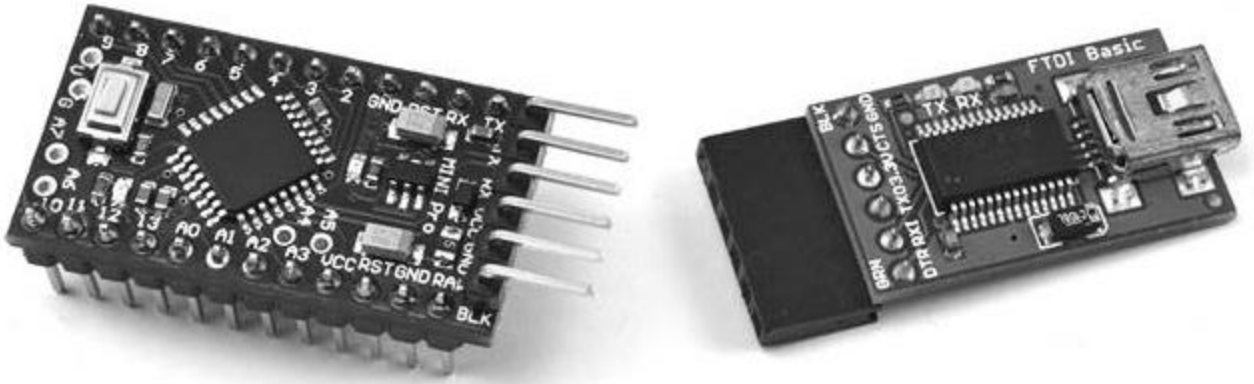
- большой объем памяти для программ и данных;
- аппаратная поддержка вывода звуков (аппаратные цифроаналоговые преобразователи);
- четыре последовательных порта;
- два порта USB;
- интерфейсы USB-хоста и USB OTG;
- имитация USB-клавиатуры и USB-мыши.



Arduino Mini и Arduino Programmer

Существует целый спектр маленьких и специализированных плат Arduino, которые имеют меньший размер, чем обычная модель Uno, или более низкую цену за счет отсутствия каких-то особенностей, не требующихся в большинстве проектов.

Arduino Mini построена на микроконтроллере ATmega168 и предназначена для использования в лабораторных работах и проектах, где пространство является критическим параметром. Платформа содержит 14 цифровых входов и выходов, 8 аналоговых входов и кварцевый генератор 16 МГц. Модель Arduino Mini не имеет интерфейса USB, а ее программирование осуществляется при помощи адаптера Mini USB или любого преобразователя USB или RS232 в TTL.



Arduino Nano и Arduino Micro

Помимо Mini существуют также модели Nano и Micro. Обе они имеют встроенный интерфейс USB, но и стоят дороже.

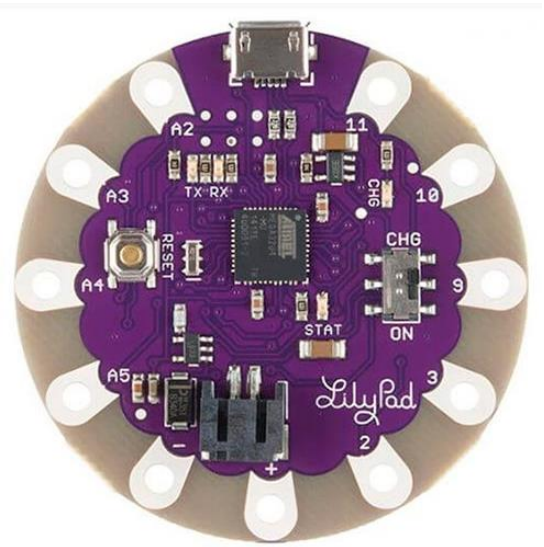
- Arduino Nano считается одной из самых компактных и доступных плат в линейке Arduino. Nano построена на микроконтроллере **ATmega328P**. Плата включает **22 цифровых контакта ввода-вывода**, **8 аналоговых входов**, **флэш-память объёмом 32 КБ** и работает на частоте **16 МГц**. Размер устройства составляет **18 × 45 мм**.
- Arduino Micro - более функциональная и производительная плата по сравнению с Nano. Построена на микроконтроллере **ATmega32U4**, который обеспечивает встроенную поддержку USB.

Плата имеет **20 цифровых контактов ввода-вывода**, **12 аналоговых входов**, **флэш-память 32 КБ** и тактовую частоту **16 МГц**. Размер Arduino Micro составляет **18 × 33 мм**.



Arduino LilyPad

Плата LilyPad и более новая ее версия LilyPad USB — одни из самых интересных моделей Arduino (рис. 1.12). Эти платы можно вшивать в элементы одежды и соединять их токопроводящими нитями со светодиодами, выключателями, акселерометрами и другими устройствами. Для программирования более старых плат LilyPad требуется использовать отдельный интерфейс USB, как в случае с Arduino Mini. Однако эти платы постепенно вытесняются более новой модификацией Arduino LilyPad USB, имеющей встроенный разъем USB.





Платы расширения

Практически Ардуино предоставляет огромные возможности для создания любых устройств, можно подключать датчики, замки, моторы, дисплеи, роутеры, да хоть чайники. Можно расширять изделие дополнительными платами — шилдами, например для работы с GPS, для соединения по локальной сети или интернету, для bluetooth, Wi-Fi и т. д





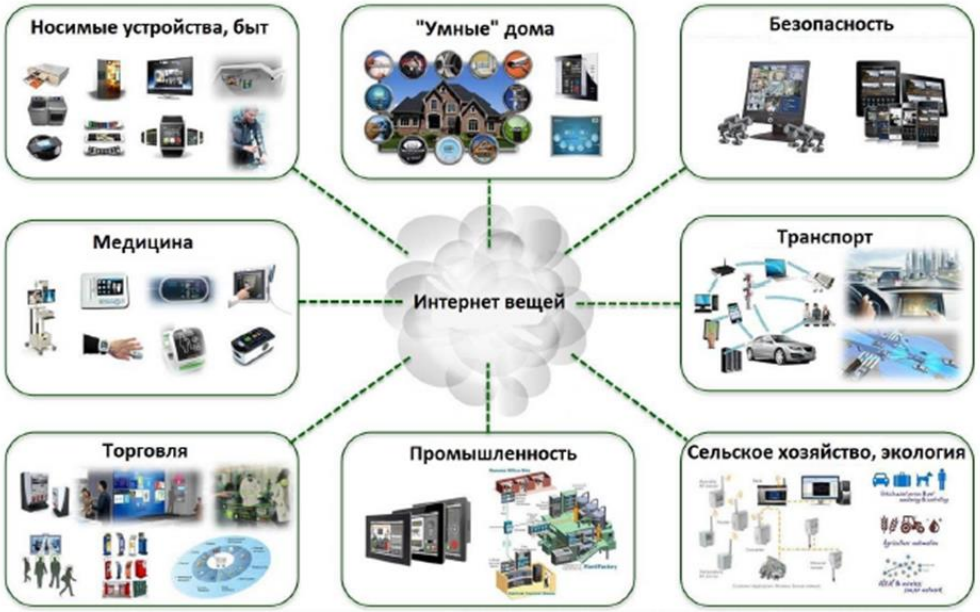


Микроконтроллеры — связующее звено физического и цифрового миров

- Одним из наиболее динамично развивающихся направлений применения микроконтроллеров является **Интернет вещей** (Internet of Things, IoT). Эта концепция описывает пространство, в котором устройства аналогового и цифрового миров объединяются в единую интеллектуальную среду.
- Интернет вещей - это не просто сеть датчиков, сенсоров и исполнительных устройств. Его ключевая особенность заключается в **уникальной идентификации каждого объекта** и **тесной интеграции реального и виртуального миров**, где взаимодействие осуществляется как **между людьми и устройствами**, так и **между самими устройствами**.

Микроконтроллеры — связующее звено физического и цифрового миров

Благодаря развитию микроконтроллерных технологий и встроенных коммуникационных модулей (Wi-Fi, Bluetooth, LoRa,…) такие системы сегодня находят применение в умных домах; промышленной автоматизации; медицинском мониторинге и телемедицине; сельском хозяйстве; транспорте и “умных” городах.



Микроконтроллеры служат основой IoT-устройств, обеспечивая локальную обработку данных, обмен информацией и автономную работу систем.

Заключение

Микроконтроллеры представляют собой основу современных встроенных систем, обеспечивая выполнение программных и управляющих функций в реальном времени. Они объединяют в одном кристалле вычислительное ядро, память и периферию, что делает их компактными, экономичными и удобными для применения в системах автоматизации, управления и измерения.

В ходе лекции были рассмотрены:

- различия между микропроцессорами и микроконтроллерами;
- особенности построения микропроцессорных систем;
- структура и внутренние функциональные блоки микроконтроллеров;
- практическое использование отладочной платформы Arduino для реализации и тестирования алгоритмов управления.

Современные микроконтроллеры играют ключевую роль в развитии технологий Интернета вещей, робототехники, «умных» устройств и систем мониторинга, обеспечивая связь между физическим и цифровым мирами.