

Лекция 8 Периферийные модули: USB, Ethernet

План курса «Встраиваемые микропроцессорные системы»:

Лекция 1: Введение. Язык программирования C

Лекция 2: Язык программирования C. Стандартная библиотека языка C

Лекция 3: Применение языка C для встраиваемых систем

Лекция 4: Микроконтроллер

Лекция 5: Этапы разработки встраиваемых систем

Лекция 6: Разработка и отладка программ для встраиваемых систем

Лекция 7: Архитектура программ для встраиваемых систем

Лекция 8: Периферийные модули: USB, Ethernet

USB

USB (Universal Serial Bus) - это универсальный последовательный интерфейс, который используется для подключения периферийных устройств к компьютерам и другим микропроцессорным системам.



Версии USB:

- USB 1.0 – первая версия USB, выпущенная в 1996 году. Поддерживает скорость передачи данных до 1,5 Мбит/с.
- USB 1.1 – улучшенная версия USB 1.0, выпущенная в 1998 году. Поддерживает скорость передачи данных до 12 Мбит/с.
- USB 2.0 – вторая версия USB, выпущенная в 2000 году. Поддерживает скорость передачи данных до 480 Мбит/с.
- USB 3.0 – третья версия USB, выпущенная в 2008 году. Поддерживает скорость передачи данных до 5 Гбит/с.
- USB 4 – последняя версия, выпущенная в 2020 году. Поддерживает скорость передачи данных до 40 Гбит/с.

Во встраиваемых системах чаще всего применяются USB 1.1 и USB 2.0.

USB: термины и определения

USB Host (USB хост) – это устройство, которое управляет передачей данных между USB-устройствами. USB Host может быть встраиваемая система или персональный компьютер.

USB Device (USB устройство) – это периферийное устройство, которое подключается к компьютеру или другому устройству через интерфейс USB. Как правило, USB Device это встраиваемая система. Пример: USB флеш накопитель, принтер, другие устройства.

USB Device может быть со своим источником питания (как принтер) или питаться от USB Host (как флеш накопитель).

USB OTG (On-The-Go) – это технология, которая позволяет USB-устройству выступать как в роли хоста (Host), так и в роли периферии (Device).

VID – это 16-битный номер, который присваивается производителю USB-устройства. Чтобы получить VID, производитель должен зарегистрироваться в USB Implementers Forum (USB-IF).

PID – это 16-битный номер, который присваивается производителю для каждого конкретного продукта. PID может быть любым числом от 0 до 65535.

Чтобы пользоваться лого USB нужно быть членом USB-IF (иметь VID) и устройство должно пройти тестирование на соответствие стандарту.



USB: разъемы

USB Type-A – используется в Host устройствах.



USB Type-B – используется в Device устройствах.



USB mini-B – используется в Device устройствах.



USB micro-B – используется в Device устройствах.

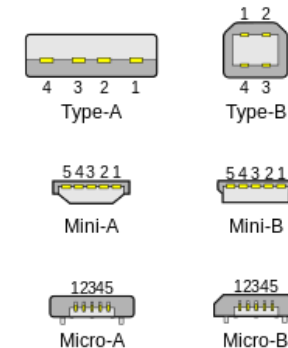


USB Type-C – используется в Host и Device устройствах.



#	Название	Цвет провода		Описание
1	V _{BUS}	Красный	Оранжевый	+5 V
2	D-	Белый	Желтый	Data-
3	D+	Зеленый		Data+
4	GND	Черный	Синий	GND

#	Название	Цвет провода	Описание
1	V _{BUS}	Красный	+5 V
2	D-	Белый	Data-
3	D+	Зеленый	Data+
4	ID	Нет провода	ID OTG A разъем (Host): GND B разъем (Device): не подключен
5	GND	Черный	GND



USB: протокол

Стек протокола USB:

- Физический уровень – это уровень, который отвечает за передачу данных по физической линии связи. В USB применяется дифференциальный сигнал (D+/D-) с частотой передачи 12 МГц или 480 МГц.
- Логический уровень – это уровень, который отвечает за форматирование данных для передачи. В производится пакетная передача данных с длиной пакета от 8 до 64 байт.
- Уровень управления – это уровень, который отвечает за управление взаимодействием между USB устройствами и USB хостами. В нем применяется набор команд для управления подключением, отключением, передачей данных и т.д.
- Классовый уровень – это уровень, который отвечает за реализацию конкретных функций USB-устройства. В нем используется набор классов для поддержки различных типов устройств, таких как клавиатуры, мыши, принтеры, флэш-накопители и т.д.

USB: классы устройств

Основные классы USB:

Hub Class – класс для поддержки концентраторов.

Device Class – базовый класс для всех USB-устройств.

Human Interface Device Class (HID) – класс для поддержки устройств ввода-вывода, таких как клавиатуры, мыши, джойстики и т.д.

Mass Storage Class (MSC) – класс для поддержки устройств хранения данных, таких как флэш-накопители и внешние жесткие диски.

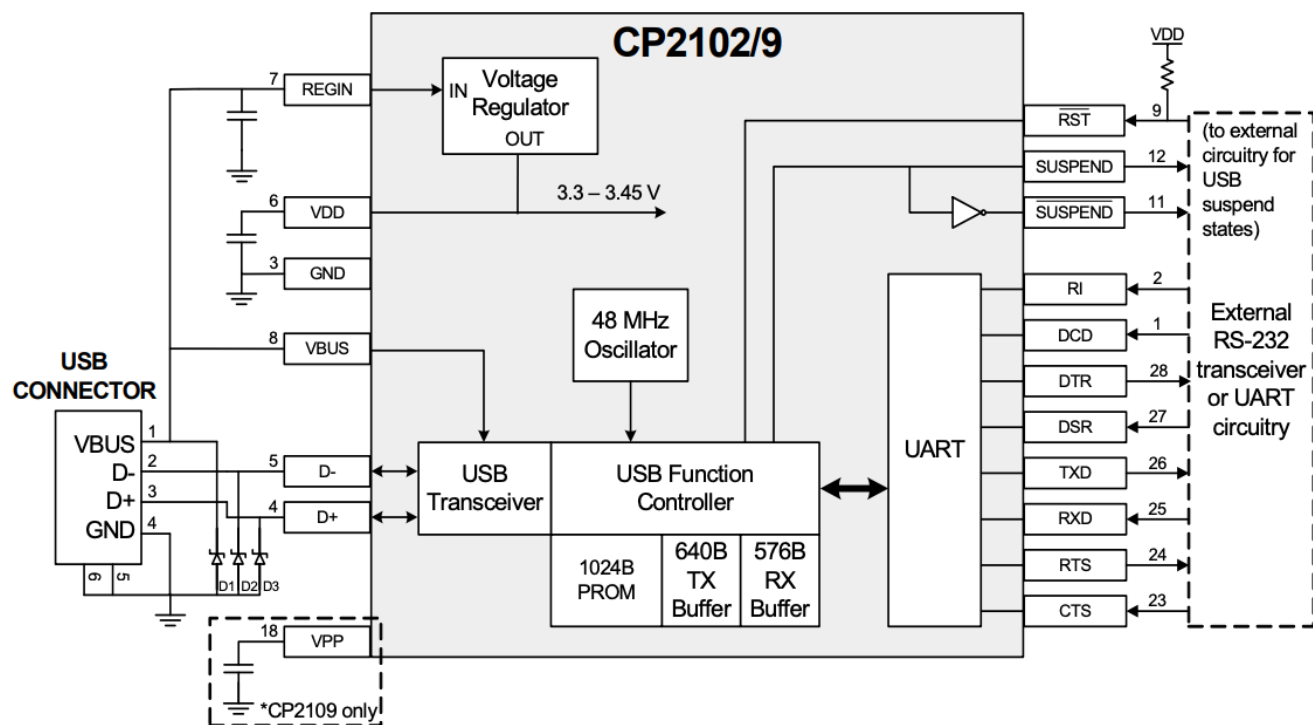
Communications and CDC Control Class (CDC) – класс для поддержки устройств связи, таких как модемы, телефоны и сетевые адаптеры.

Audio Class – класс для поддержки аудиоустройств, таких как звуковые карты, микрофоны и колонки.

USB: реализация в встраиваемой системе

- Преобразователь USB-UART

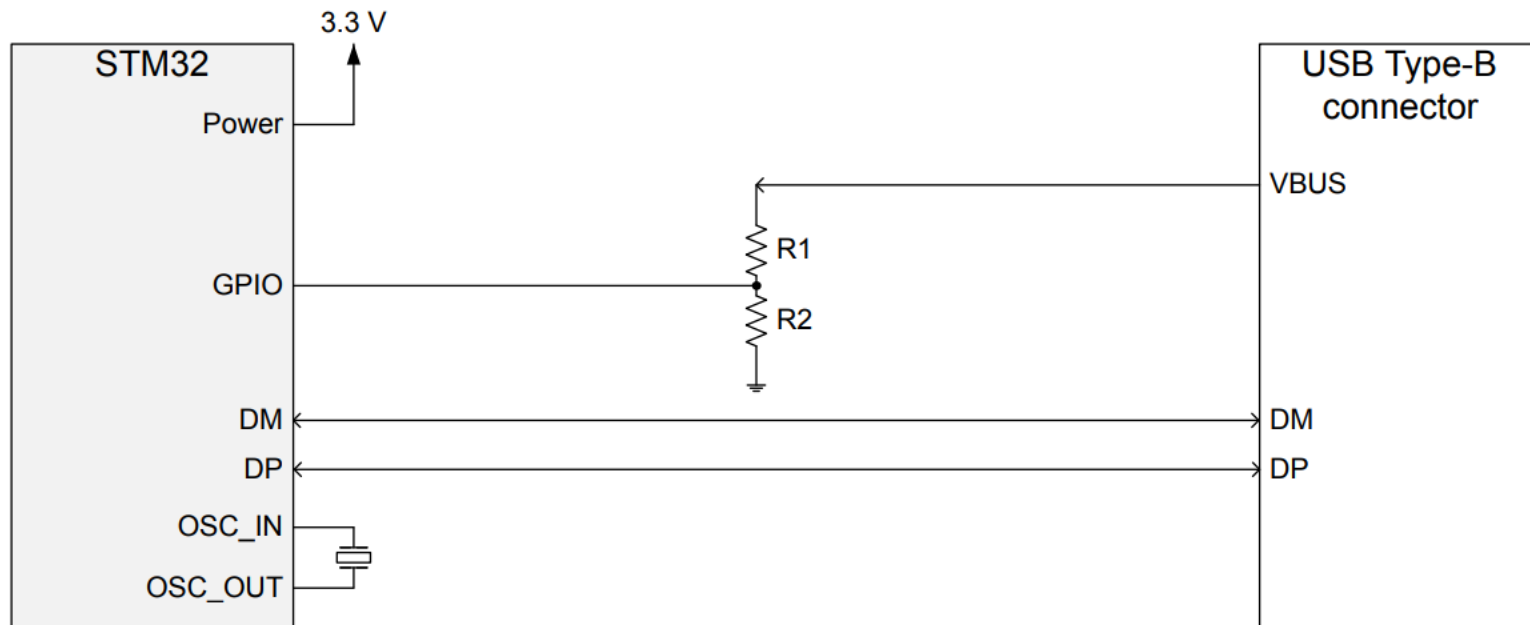
Во всех МК имеется интерфейс UART. По UART к МК подключается внешняя интегральная схема (например, FT232 или CP2102), которая содержит в себе полный стек протокола USB и работает как Communications and CDC Control Class. Производитель предоставляет драйверы VCP (Virtual COM Port) этого устройства для всех ОС. В ОС устройства отображаются как COMx или /dev/ttyUSBx, /dev/cu.x.



USB: реализация в встраиваемой системе

- Контроллер USB в МК и стек протокола

В некоторых МК имеется периферийный модуль USB. Как правило этот модуль поддерживает только первые три уровня стека протокола. Классовый уровень реализуется программным обеспечением. Можно реализовать любой класс устройств.



USB: источник питания

Существует множество протоколов зарядки по USB, которые обеспечивают различные скорости зарядки и возможности.

- **USB Power Delivery (PD)** – универсальный протокол, который поддерживает широкий диапазон мощностей от 5 до 100 Вт. Используется большинством современных устройств, включая смартфоны, планшеты, ноутбуки и другие устройства.
- **Quick Charge (QC)** – это протокол, разработанный компанией Qualcomm, который поддерживает скорости зарядки до 18 Вт. QC используется в некоторых смартфонах и планшетах, а также в некоторых зарядных устройствах.

Другие протоколы: Pump Express (27 Вт, MediaTek), VOOC (Voltage Open Loop Multi-Step Constant-Current Charging, 65Вт, OPPO), SuperCharge (до 100 Вт, Huawei)

Протоколы зарядки по USB обычно используют различные комбинации напряжения и тока для достижения различных мощностей зарядки. Например, протокол PD может использовать напряжение от 5 до 20 В и ток до 5 А, что обеспечивает максимальную мощность 100 Вт.

Ethernet

Ethernet (IEEE 802.3) – это семейство технологий пакетной передачи данных между устройствами в компьютерных и промышленных сетях. Стандарты Ethernet определяют проводные соединения и электрические сигналы на физическом уровне, формат кадров и протоколы управления доступом к среде - на канальном уровне модели OSI.

Ethernet состоит из двух уровней:

- **Физический уровень (PHY):** Стандарты IEEE 802.3 определяют физические среды (витая пара, коаксиал, оптоволокно), электрические/оптические параметры, кодирование и классы скоростей (от 10 Мбит/с до сотен Гбит/с).
- **Канальный уровень (Data Link) — подуровни LLC и MAC.** Подуровень MAC задаёт формат кадра, MAC-адресацию, FCS, взаимодействие с PHY и принципы доступа к среде.

Ethernet: уровень MAC

Кадр Ethernet включает в себя поля для MAC-адресов отправителя и получателя, типа протокола, полезной нагрузки (данные) и контрольной суммы для обнаружения ошибок.

Ethernet использует MAC-адреса (Media Access Control) для идентификации устройств в сети. Каждое устройство имеет уникальный MAC-адрес, который используется для обеспечения доставки кадров на канальном уровне.

Пример адреса: ee:69:70:82:71:58

Ethernet совместим с большинством сетевых протоколов верхних уровней, включая TCP/IP, что делает его универсальным решением для построения сетевых инфраструктур.

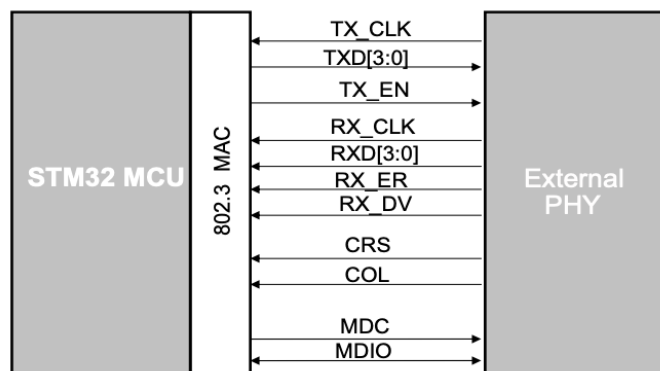
Ethernet: реализация в встраиваемой системе

- Преобразователь UART-Ethernet_TCP/IP

Выпускаются отдельные системы на модуле, которые содержат в себе полноценный Ethernet с TCP/IP стеком. Пример – TCP232.



- Контроллер Ethernet MAC в МК, PHY интегральная схема и стек протокола TCP/IP. PHY подключается к МК через MII/RMII Пример STM32F205 + RTL8201 + lwIP.



TCP/IP

TCP/IP - это сетевая модель, которая описывает процесс передачи данных в цифровом виде. TCP/IP является стандартом де-факто для передачи данных в сети. Он используется в большинстве современных сетей, включая интернет.

Прикладной (Application Layer)	HTTP, FTP, DNS, Modbus TCP, PTP, NTP, SNMP, MQTT, CoAP, RIP
Транспортный (Transport Layer)	TCP, UDP, SCTP, DCCP
Сетевой (Межсетевой) (Network Layer)	IP, ICMP, IGMP
Уровень сетевого доступа (Канальный)(Link Layer)	Ethernet, IEEE 802.11, WLAN, SLIP, PPP, Token Ring, ATM и MPLS, физическая среда и принципы кодирования информации, T1, E1

Заключение

1. USB – приборный интерфейс, который можно применять даже в самых простых современных МК.
2. Для задач сетевого взаимодействия используется интерфейс Ethernet с протоколом TCP/IP.