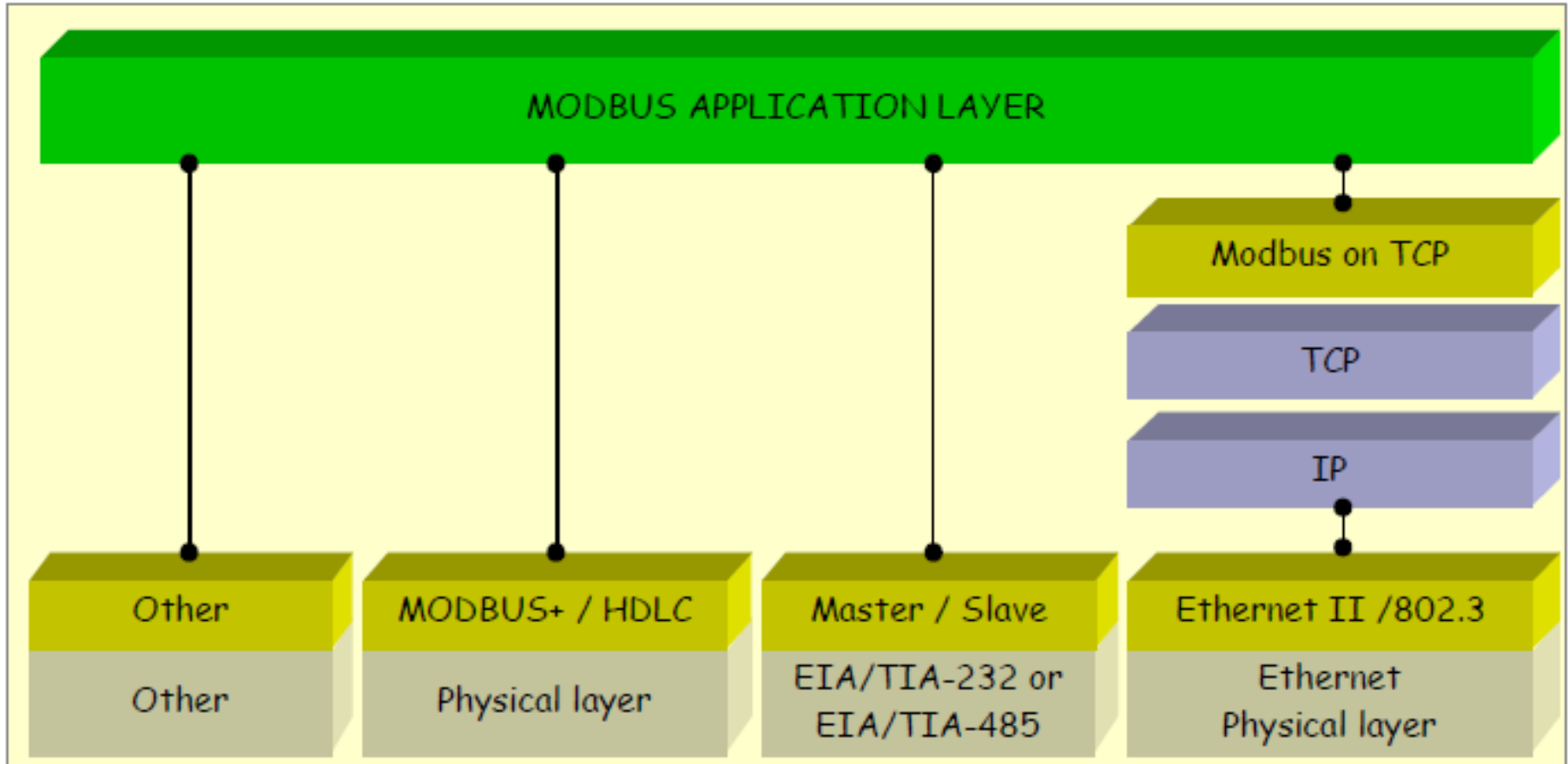


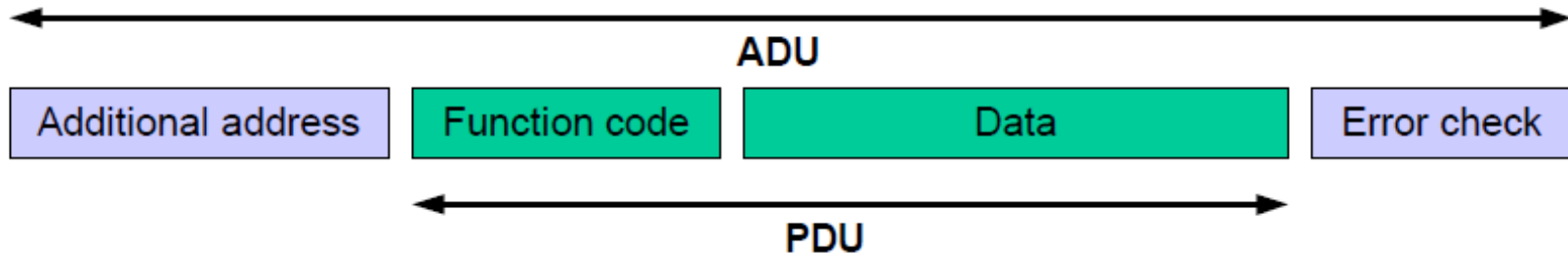
Лекция 6

Протокол MODBUS,
последовательные интерфейсы
передачи данных

Протокол MODBUS



MODBUS- фрейм



PDU-блок содержащий информацию

MASTER

SLAVE

Client

Server

Initiate request

Function code | Data Request

Perform the action
Initiate the response

Receive the response

Function code | Data Response

Client

Server

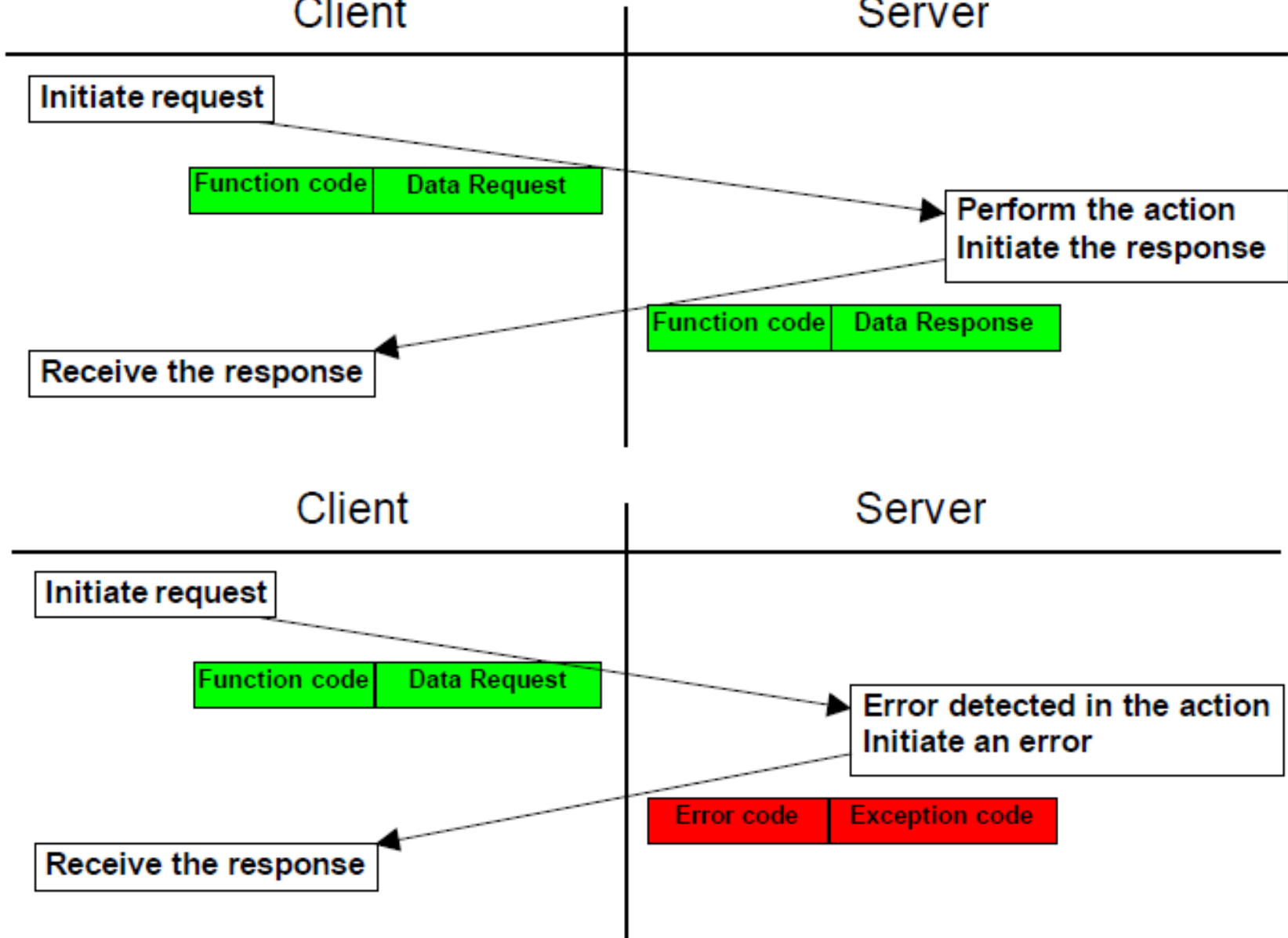
Initiate request

Function code | Data Request

Error detected in the action
Initiate an error

Receive the response

Error code | Exception code



Коды команд MODBUS

- 01 (0x01) Read Coils
- 02 (0x02) Read Discrete Inputs
- **03 (0x03) Read Holding Registers**
- 04 (0x04) Read Input Registers
- 05 (0x05) Write Single Coil
- **06 (0x06) Write Single Register**
- 15 (0x0F) Write Multiple Coils
- **16 (0x10) Write Multiple registers**

Регистры по 16 бит

Пример PDU обмена для кода функции= 03

Request

Function code	1 Byte	0x03
Starting Address	2 Bytes	0x0000 to 0xFFFF
Quantity of Registers	2 Bytes	1 to 125 (0x7D)

Response

Function code	1 Byte	0x03
Byte count	1 Byte	2 x N*
Register value	N* x 2 Bytes	

*N = Quantity of Registers

Error

Error code	1 Byte	0x83
Exception code	1 Byte	01 or 02 or 03 or 04

MODBUS RTU

- Пауза более 3.5 байт=35 бит конец пакета
- Принятый байт после паузы- первый байт пакета(адрес)

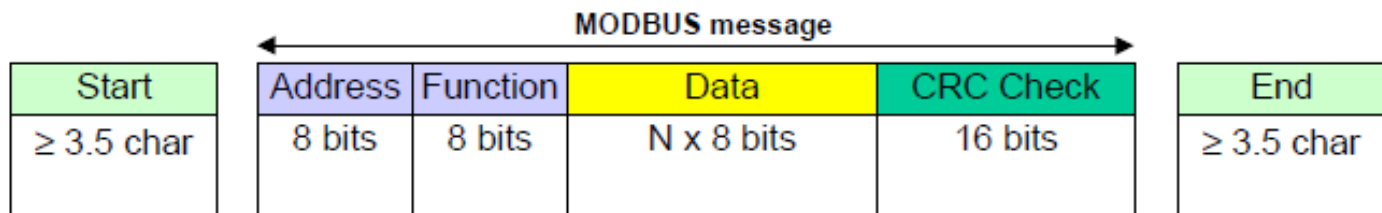
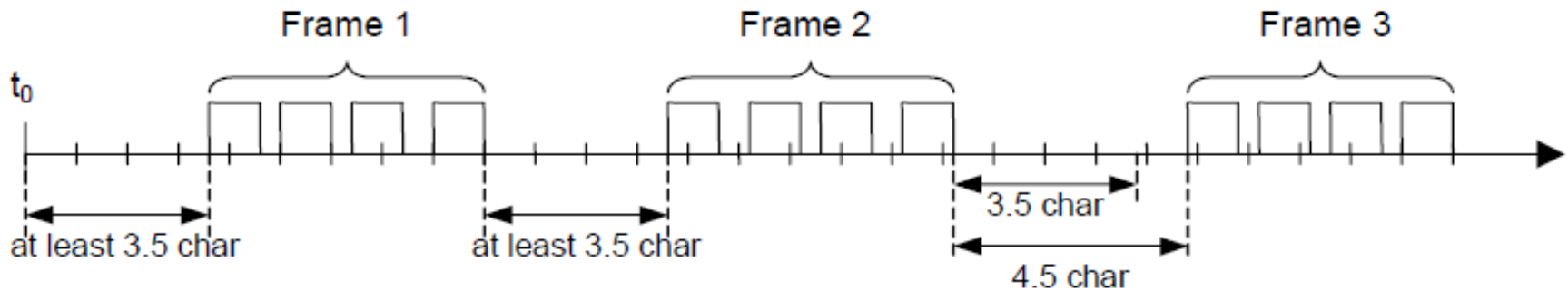


Figure 13: RTU Message Frame

MODBUS-ASCII (текстовый)

- Каждый байт PDU передается 2-я HEX символами
- Начало start- символ двоеточие
- Конец – end обычный конец строки текста

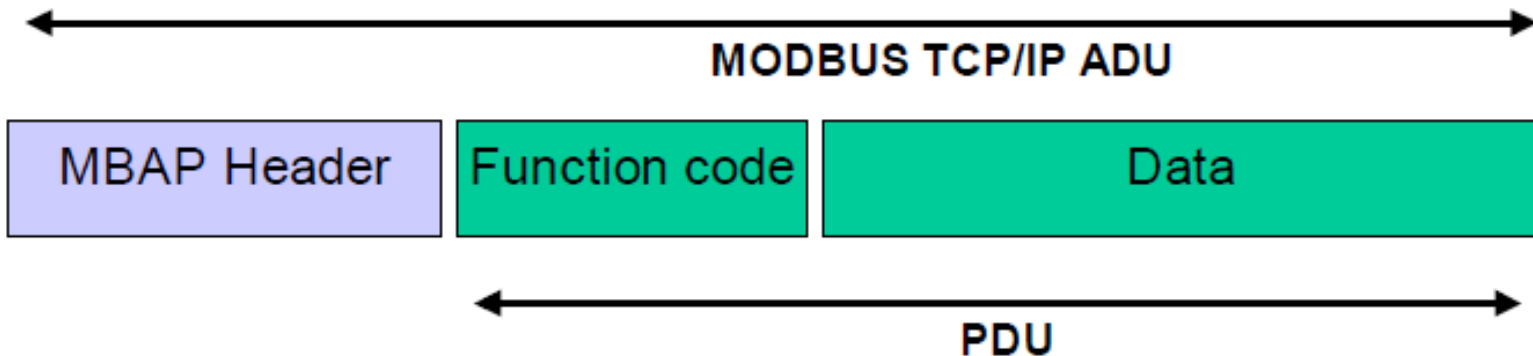
Start	Address	Function	Data	LRC	End
1 char :	2 chars	2 chars	0 up to 2x252 char(s)	2 chars	2 chars CR,LF

Figure 17: ASCII Message Frame

MODBUS TCP по Ethernet

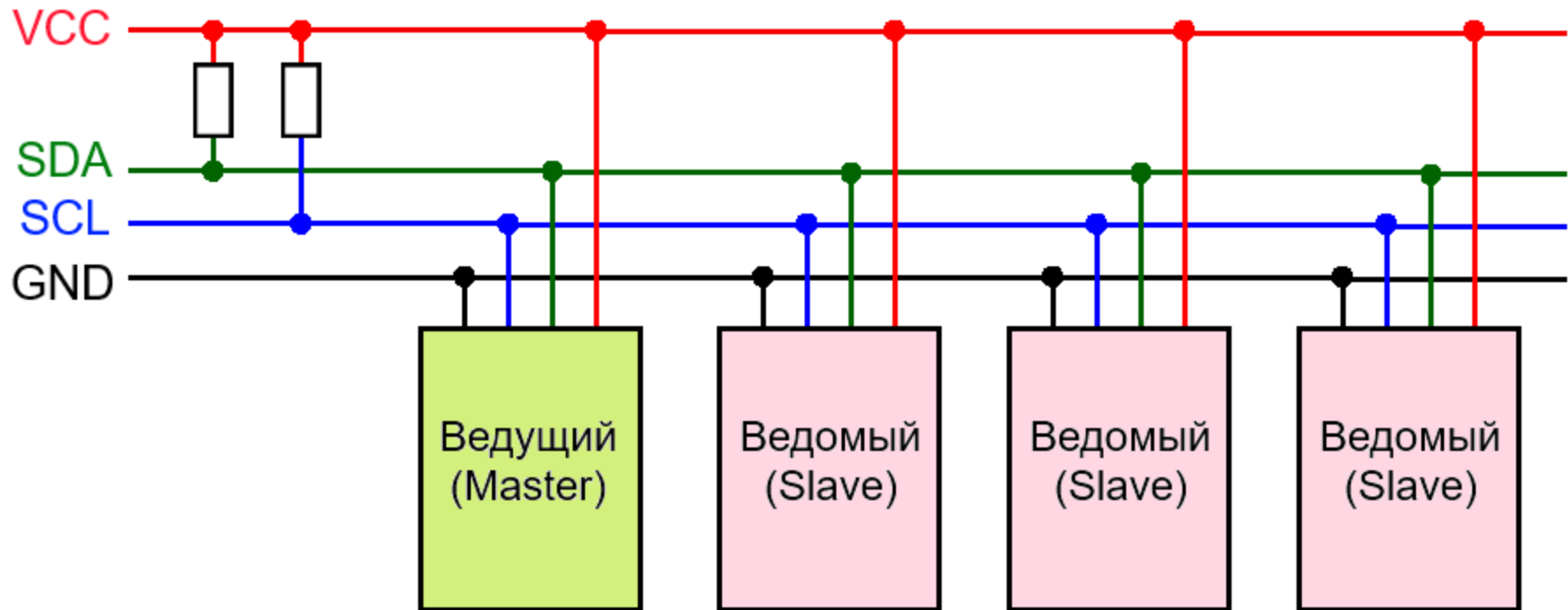
MBAP Header - заголовок пакета -7 байт:

- Номер транзакции-2 байта
- Идентификатор протокола 2 байта ==0 для модбаса
- Длина пакета 2 байта
- Адрес приемника==slave== ID приемника



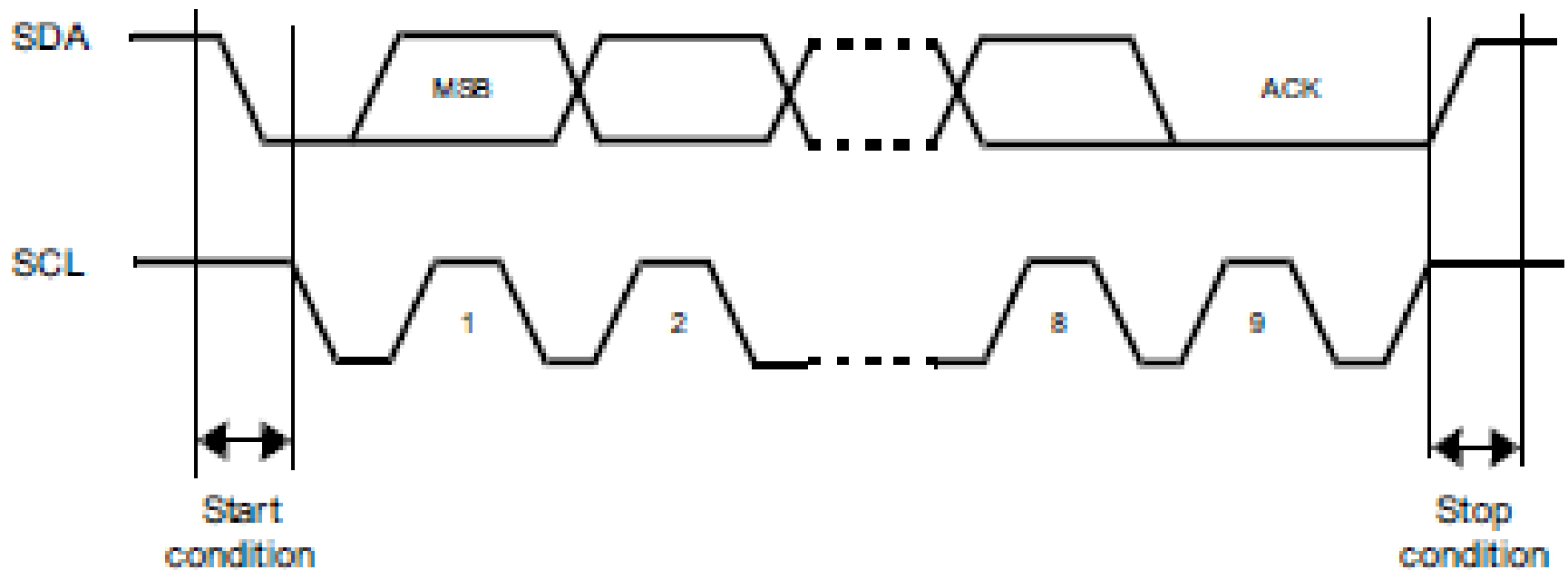
Контроллер интерфейса I2C

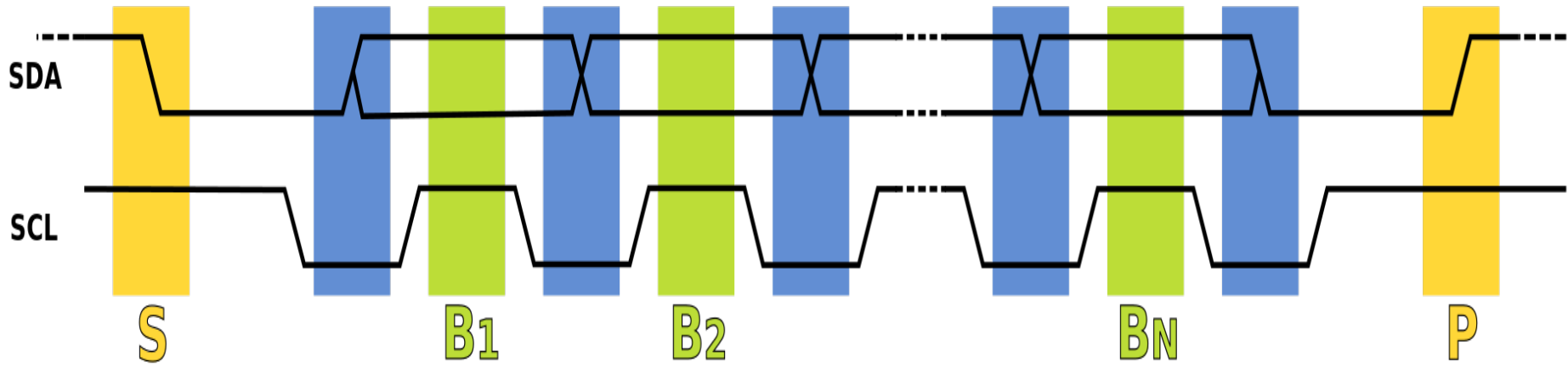
- Интерфейс разработан фирмой Philips для передачи информации между ИС в бытовой РЭА
- Передача двунаправленная по шине из 2х сигналов SDA, SCL. На шине одно устройство-МАСТЕР- выдаёт тактовый SCL и по линии SDA передаёт адрес SLAVE устройства, команду и данные. SLAVE устройство отвечает.
- Каждое устройство (ИС) имеет адрес (обычно задаётся подключением адресных ножек к +U, GND. 2 ноги – адрес 0-3
- Скорость до 400 Кбит/с



Диаграммы сигналов

Figure 2.11.1. I2C master protocol

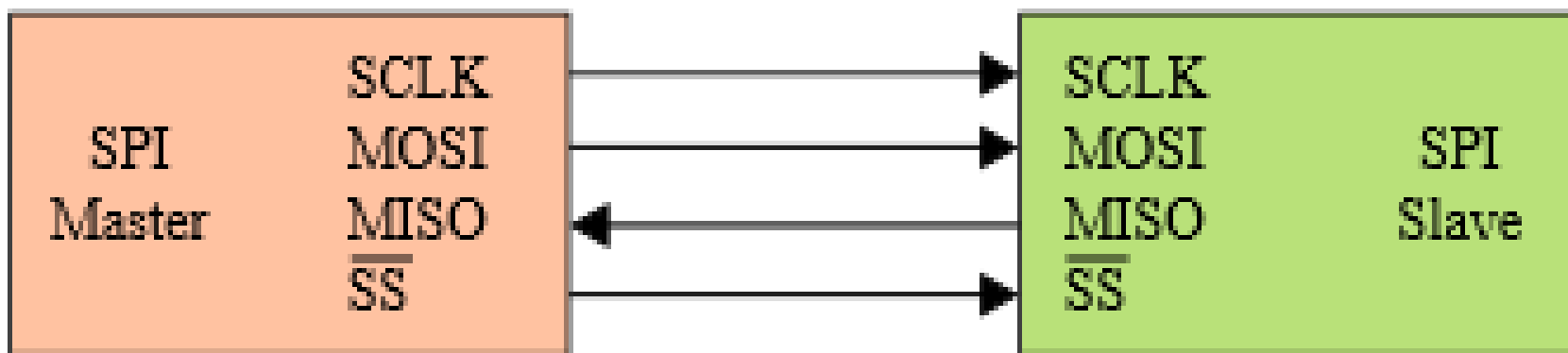




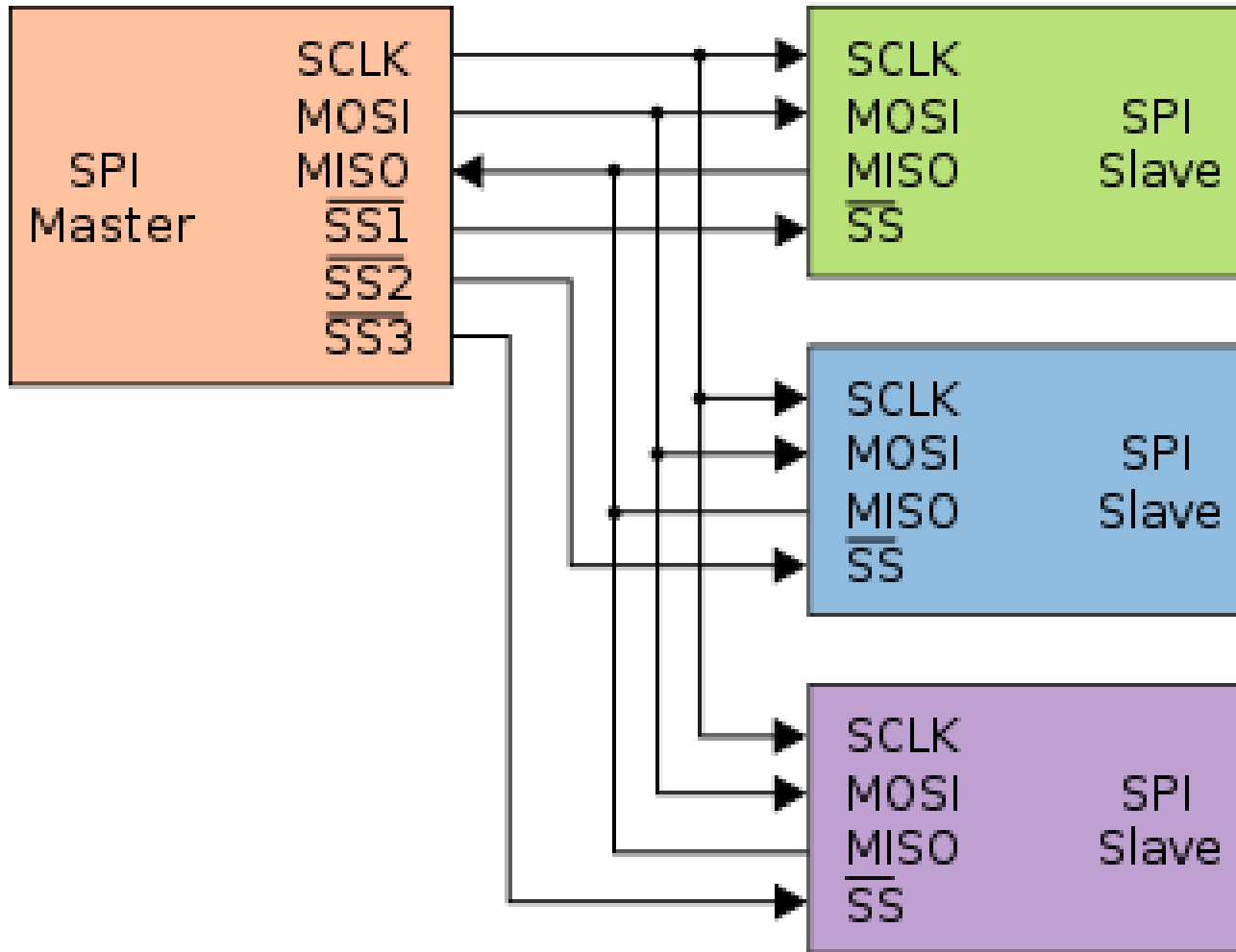
Контроллер SPI интерфейса

- *Serial Peripheral Interface, SPI bus* — последовательный периферийный интерфейс, шина SPI) — последовательный синхронный стандарт передачи данных в режиме полного дуплекса, предназначенный для обеспечения простого и недорогого высокоскоростного сопряжения микроконтроллеров и периферии. SPI также иногда называют четырёхпроводным (англ. four-wire) интерфейсом

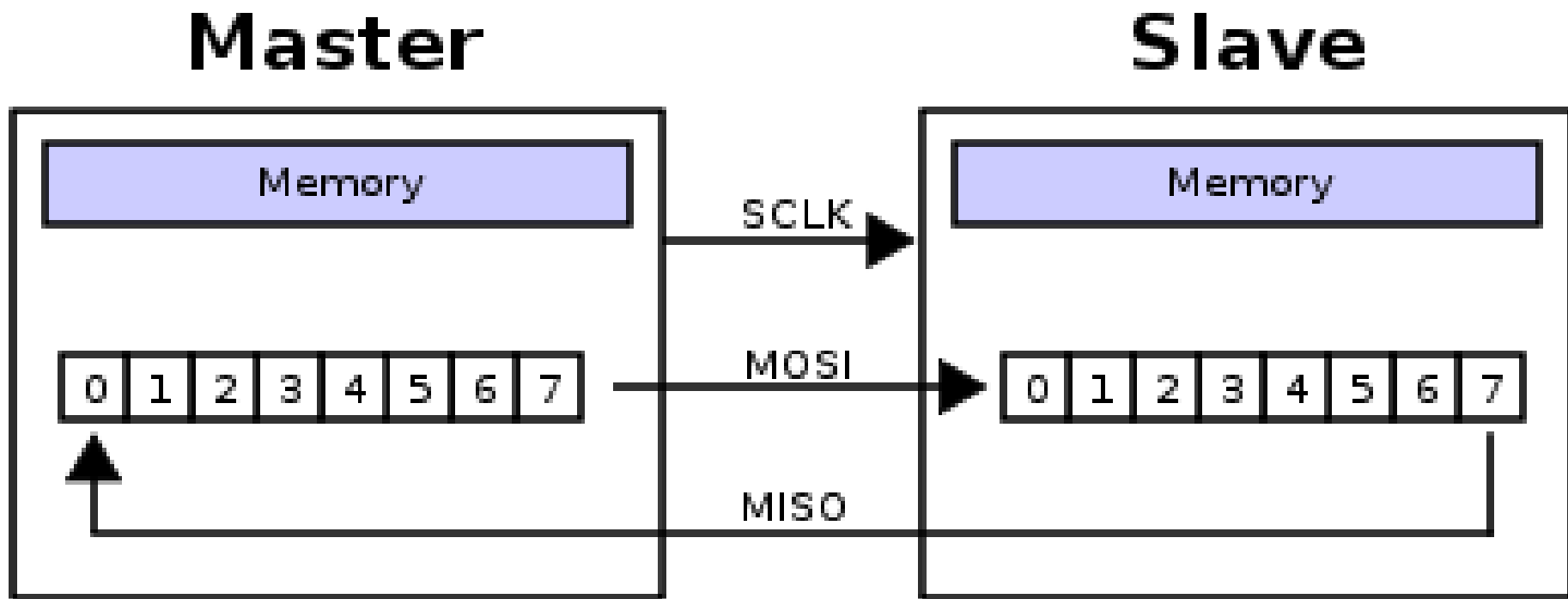
- ФМ (контроллер) SPI может работать как MASTER или как SLAVE



Несколько SLAVE



Дуплексный обмен регистрами данных



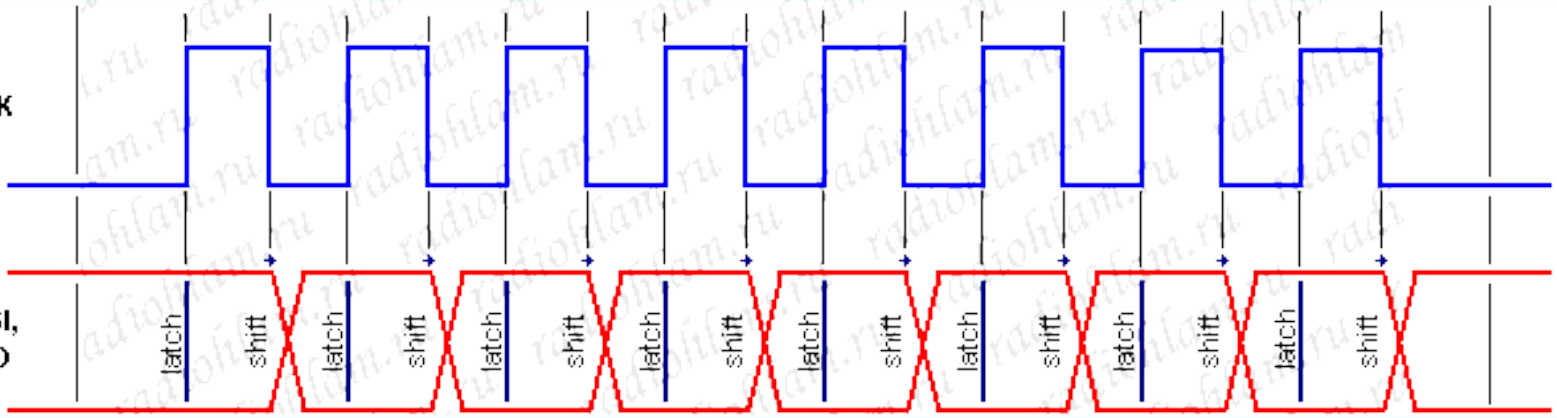
SS

НАЧАЛО
СЕРИИ

КОНЕЦ
СЕРИИ

Mode0	
CPOL	CPHA
0	0

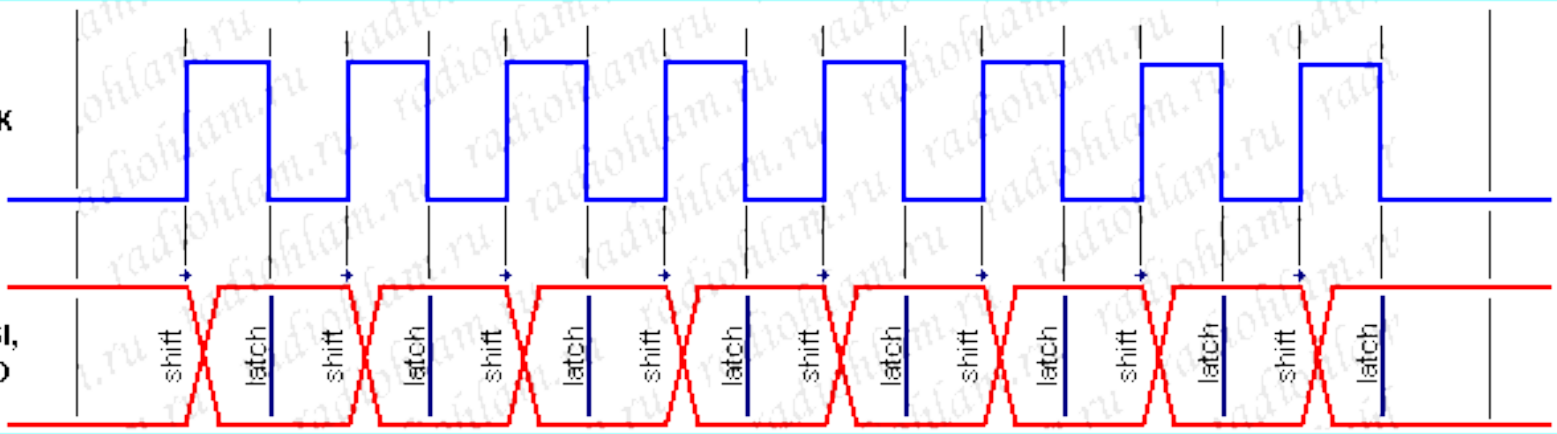
SCLK



Mode1	
CPOL	CPHA
0	1

SCLK

MOSI,
MISO



Преимущества SPI

- Полнодуплексная передача данных по умолчанию.
- Более высокая пропускная способность по сравнению с [I²C](#) или [SMBus](#).
- Возможность произвольного выбора длины пакета, длина пакета не ограничена восемью битами.
- Простота аппаратной реализации:
 - более низкие требования к энергопотреблению по сравнению с [I²C](#) и [SMBus](#);
 - возможно использование в системах с низкостабильной тактовой частотой;
 - ведомым устройствам не нужен уникальный адрес, в отличие от таких интерфейсов, как [I²C](#), [GPIO](#) или [SCSI](#).
- Используется только четыре вывода, что гораздо меньше, чем для параллельных интерфейсов.
- Однонаправленный характер сигналов позволяет при необходимости легко организовать гальваническую развязку между ведущим и ведомыми устройствами.
- Максимальная тактовая частота ограничена только быстродействием устройств, участвующих в обмене данными.

Недостатки SPI

- Необходимо больше выводов, чем для интерфейса [I²C](#).
- Ведомое устройство не может управлять потоком данных.
- Нет подтверждения приема данных со стороны ведомого устройства (ведущее устройство может передавать данные «в никуда»).
- Нет определенного стандартом протокола обнаружения ошибок.
- Отсутствие официального стандарта, что делает невозможным сертификацию устройств.
- По дальности передачи данных интерфейс SPI уступает таким стандартам, как [UART](#) и [CAN](#).
- Наличие множества вариантов реализации интерфейса.
- Отсутствие поддержки горячего подключения устройств.

Контроллер I2S интерфейса = режим SPI контроллера

- стандарт интерфейса электрической последовательной шины, использующийся для соединения цифровых аудиоустройств
- 3 сигнала:
 - Тактовый сигнал битовой синхронизации (CLK)
 - Тактовый сигнал фреймовой (по словам) синхронизации (WS)(синхронизация левого и правого канала)
 - Сигнал данных, который может передавать или принимать 2 разделённых по времени канала. (SD)

Контроллер CAN интерфейса

- *Controller Area Network* — сеть к
- стандарт промышленной сети, ориентированный, прежде всего, на объединение в единую сеть различных исполнительных устройств и датчиков. Режим передачи — последовательный, широковещательный, пакетный.
- разработан компанией [Robert Bosch GmbH](#) в середине [1980-х](#) и в настоящее время широко распространён в промышленной автоматизации, технологиях «[умного дома](#)», автомобильной промышленности и многих других областях. Стандарт для автомобильной автоматике

САН-сеть сеть топологии «шина» с физическим уровнем в виде дифференциальной пары, определённым в стандарте ISO 11898

Скорости:

1 Мбит/с	40 м
500 кбит/с	100 м
125 кбит/с	500 м
10 кбит/с	5000 м

- **Виды кадров:**

- **Кадр данных (data frame)** — передаёт данные;
- **Кадр удаленного запроса (remote frame)** — служит для запроса на передачу кадра данных с тем же идентификатором;
- **Кадр перегрузки (overload frame)** — обеспечивает промежуток между кадрами данных или запроса;
- **Кадр ошибки (error frame)** — передаётся узлом, обнаружившим в сети ошибку.

Термины в CAN

- Вместо битов данных как «0» и «1» применяются термины «рецессивный» бит и «доминантный» бит, при этом подразумевается, что при передаче одним узлом сети рецессивного бита, а другим доминантного, принят будет доминантный бит. Например, при реализации физического уровня на радиоканале отсутствие сигнала означает рецессивный бит, а наличие — доминантный. В оптическом волокне доминантному биту должен соответствовать «свет», а рецессивному — «темнота»

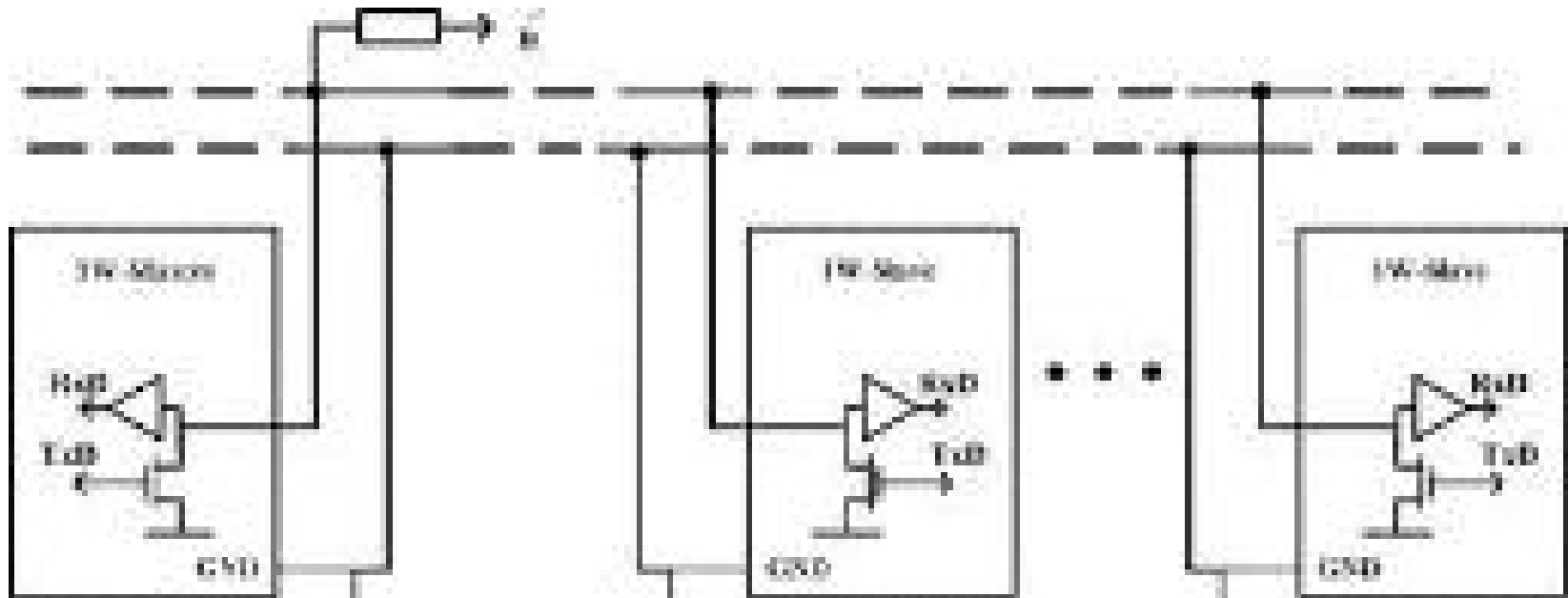
Арбитраж

- При свободной шине любой узел может начинать передачу в любой момент. В случае одновременной передачи кадров двумя и более узлами проходит арбитраж доступа: передавая идентификатор, узел одновременно проверяет состояние шины. Если при передаче рецессивного бита принимается доминантный — считается, что другой узел передаёт сообщение с большим приоритетом, и передача откладывается до освобождения шины. Таким образом, в отличие, например, от Ethernet в CAN не происходит непроизводительной потери пропускной способности канала при коллизиях. Цена этого решения — возможность того, что сообщения с низким приоритетом никогда не будут переданы.

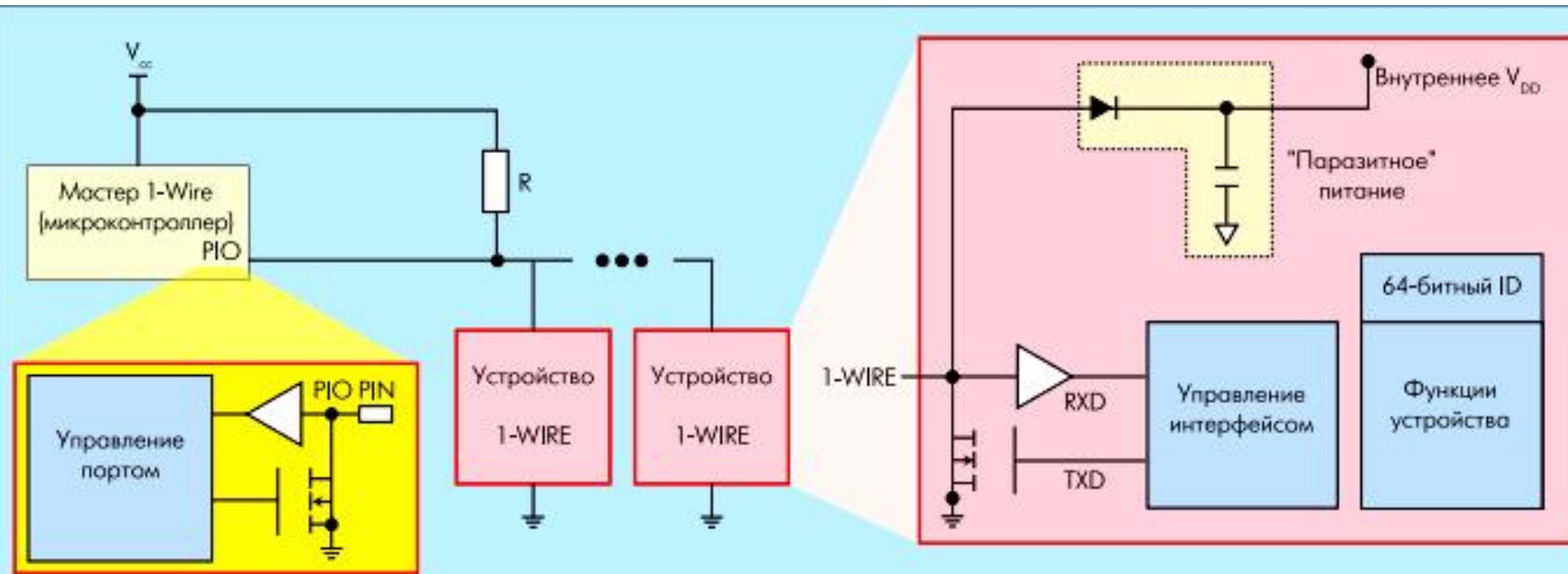
1W

- До 100 кбит/с
- 1 провод+ земля (второй)
- Пассивное питание устройств возможно по сигнальному проводнику
- Устройства с ОК , ОИ- могут только обеспечивать 0, замыкая сигн провод на землю. Лог 1 обеспечивается общим подтягивающим резисторов на +5В
- 1 мастер+ много (до 200-300) slave
- Slave имеет 64 битный адрес

1W



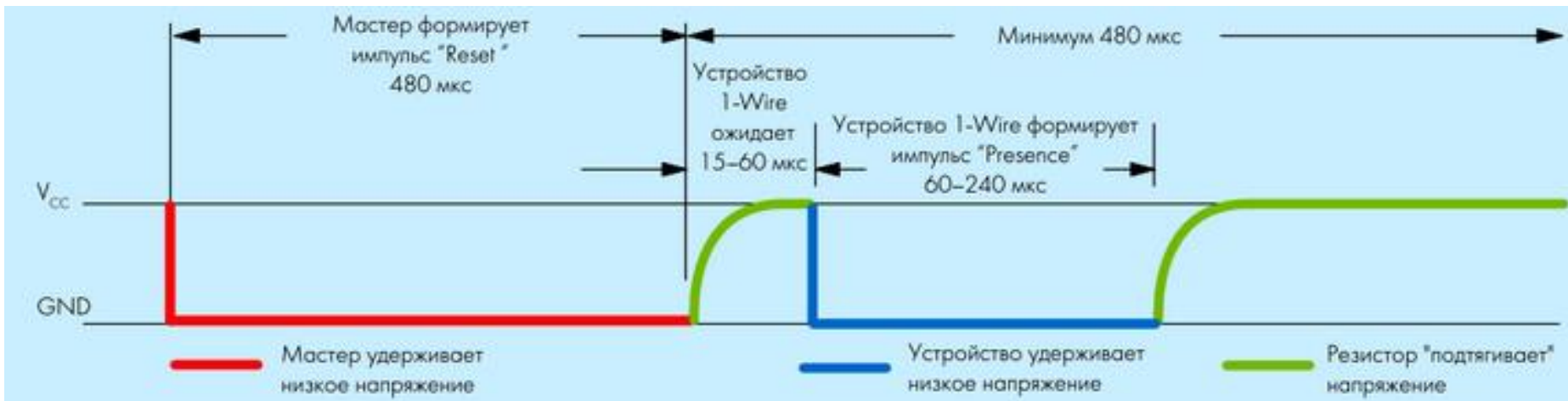
1W сеть

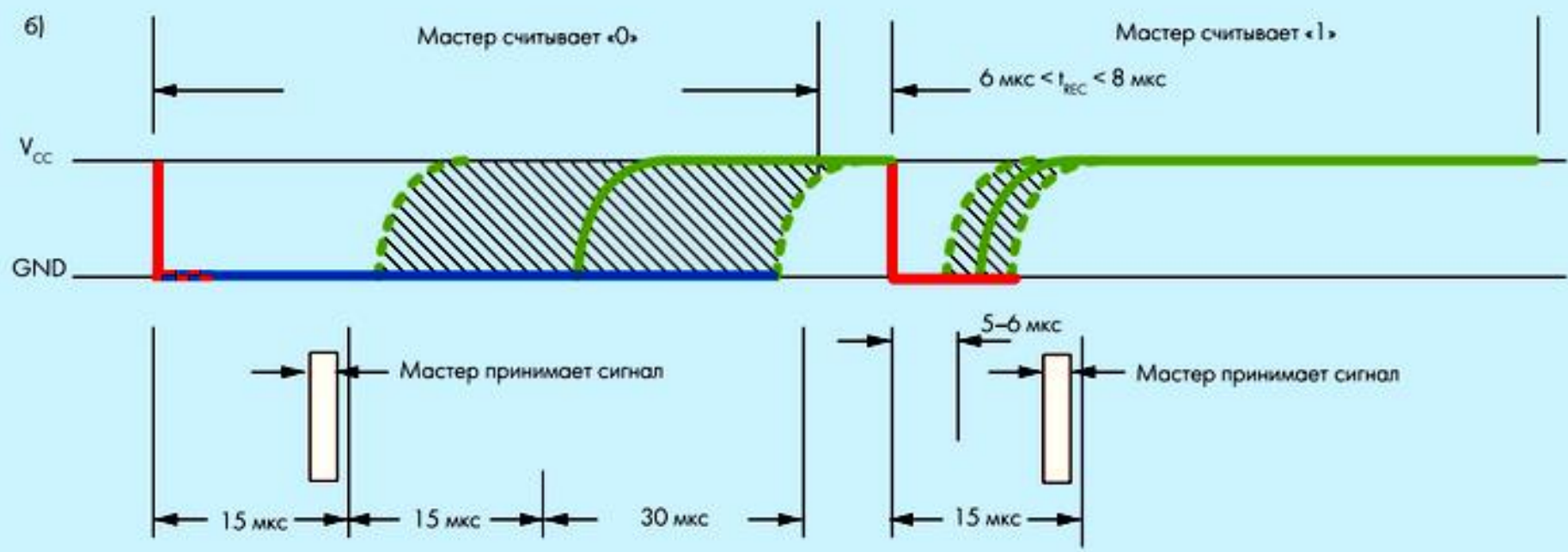
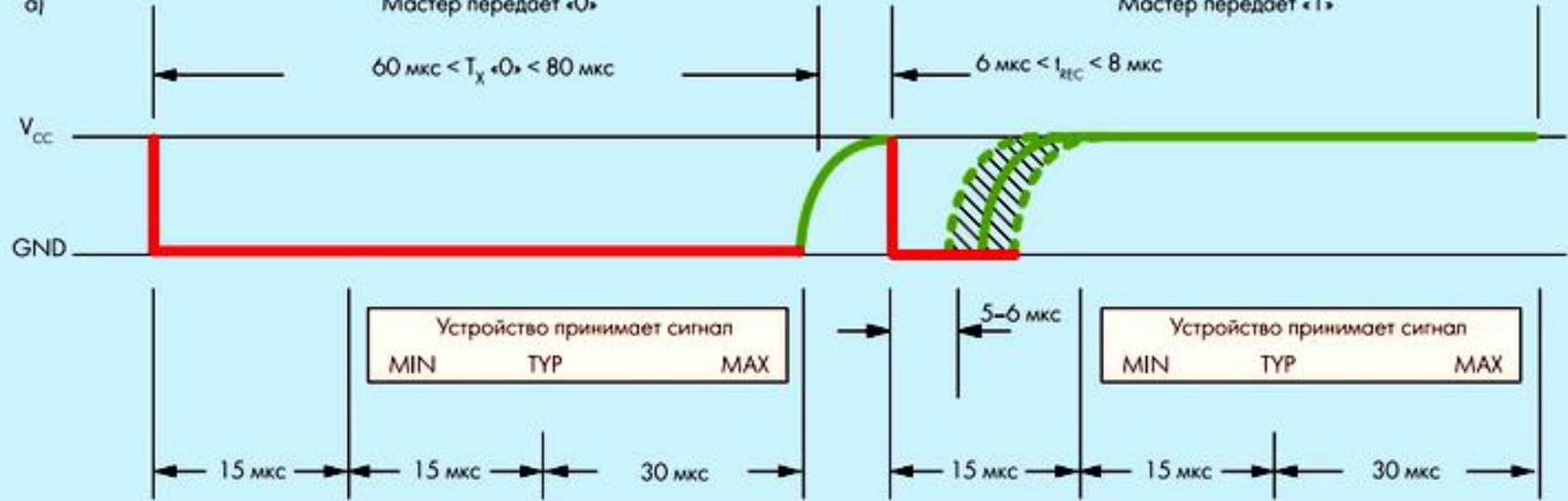


1W- обмен

- Инициализация
- Команда выбора: выбрать устройство по адресу, пропустить адрес (след команда для всех), определение адресов)
- Команда обмена информацией (читать, записать)
- Данные

1W инициализация





Ethernet

- семейство технологий пакетной передачи данных между устройствами для компьютерных и промышленных сетей
- Ethernet в основном описывается стандартами IEEE группы 802.3..:
- Физическая среда:
 - Тонкий коаксиал
 - Толстый коаксиал
 - Витая пара
 - Оптоволокно
 - Ethernet on WiFi- радиосигнал

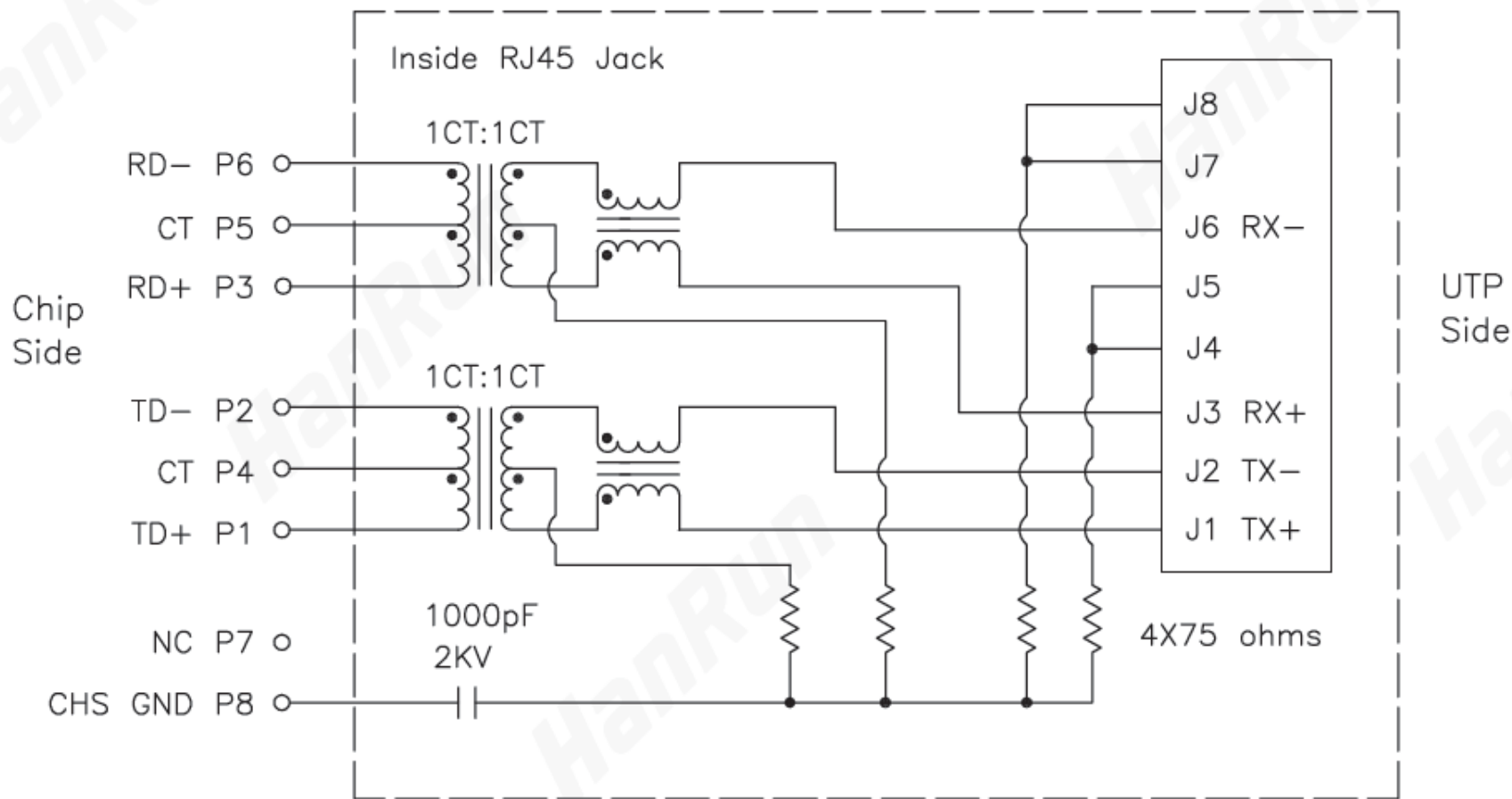
История Ethernet

- Технология Ethernet была разработана вместе со многими первыми проектами корпорации [Xerox PARC](#). Общепринято считать, что Ethernet был изобретён [22 мая 1973 года](#), когда [Роберт Меткалф](#) (*Robert Metcalfe*) составил докладную записку для главы PARC о потенциале технологии Ethernet^[2]. Но законное право на технологию Меткалф получил через несколько лет. В [1976 году](#) он и его ассистент Дэвид Боггс (David Boggs) издали брошюру под названием «Ethernet: Distributed Packet-Switching For Local Computer Networks»¹

Преимущества витой пары

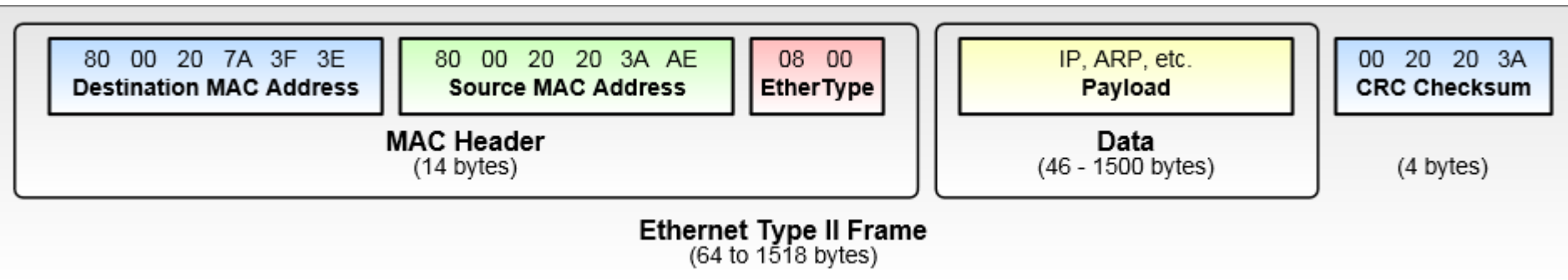
- возможность работы в [дуплексном](#) режиме;
- низкая стоимость кабеля витой пары;
- более высокая надёжность сетей: при использовании витой пары сеть строится по топологии «звезда», поэтому обрыв кабеля приводит лишь к нарушению связи между двумя объектами сети, соединёнными этим кабелем (при использовании коаксиального кабеля сеть строится по топологии «общая шина», для которой требуется наличие терминальных резисторов на концах кабеля, поэтому обрыв кабеля приводит к неисправности сегмента сети);
- уменьшен минимально допустимый радиус изгиба кабеля;
- большая помехоустойчивость из-за использования дифференциального сигнала;
- возможность питания по кабелю маломощных узлов, например, IP-телефонов (стандарт [Power over Ethernet](#), PoE);
- [гальваническая развязка трансформаторного типа](#). В условиях СНГ, где, как правило, отсутствует заземление компьютеров, применение коаксиального кабеля часто приводило к выходу из строя сетевых карт в результате электрического пробоя.

Трансформаторная гальваническая развязка с каждой стороны кабеля



Структура кадра

- Обмен между устройствами с MAC адресами (6 байт= 48 бит)



10 Мбит

- [10BASE5](#), [IEEE 802.3](#) (называемый также «Толстый Ethernet») — первоначальная разработка технологии со скоростью передачи данных 10 Мбит/с. Следуя раннему стандарту, [IEEE](#) использует коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом ([RG-8](#)), с максимальной длиной сегмента 500 [метров](#).
- [10BASE2](#), [IEEE 802.3a](#) (называемый «Тонкий Ethernet») — используется кабель [RG-58](#), с максимальной длиной сегмента 185 [метров](#), компьютеры присоединялись один к другому, для подключения кабеля к сетевой карте нужен [T-коннектор](#), а на кабеле должен быть [BNC-коннектор](#). Требуется наличие [терминаторов](#) на каждом конце. Многие годы этот стандарт был основным для технологии Ethernet.
- [StarLAN 10](#) — Первая разработка, использующая витую пару для передачи данных на скорости 10 Мбит/с. В дальнейшем эволюционировал в стандарт [10BASE-T](#).

10 Мбит/с

- [10BASE-T](#), [IEEE 802.3i](#) — для передачи данных используется 4 провода кабеля витой пары (две скрученные пары) категории 3 или [категории-5](#). Максимальная длина сегмента — 100 метров.
- [FOIRL](#) — (акроним от [англ. Fiber-optic inter-repeater link](#)). Базовый стандарт для технологии Ethernet, использующий для передачи данных оптический кабель. Максимальное расстояние передачи данных без повторителя — 1 км.
- [10BASE-F](#), [IEEE 802.3j](#) — Основной термин для обозначения семейства 10 Мбит/с ethernet-стандартов, использующих оптический кабель на расстоянии до 2 километров: 10BASE-FL, 10BASE-FB и 10BASE-FP. Из перечисленного только 10BASE-FL получил широкое распространение.
- [10BASE-FL](#) ([Fiber Link](#)) — Улучшенная версия стандарта FOIRL. Улучшение коснулось увеличения длины сегмента до 2 км.
- [10BASE-FB](#) ([Fiber Backbone](#)) — Сейчас неиспользуемый стандарт, предназначался для объединения повторителей в магистраль.
- [10BASE-FP](#) ([Fiber Passive](#)) — Топология «пассивная звезда», в которой не нужны повторители — никогда не применялся.

100Мбит/с

- **100BASE-T** — общий термин для обозначения стандартов, использующих в качестве среды передачи данных витую пару. Длина сегмента — до 100 метров. Включает в себя стандарты **100BASE-TX**, **100BASE-T4** и **100BASE-T2**.
- **100BASE-TX**, **IEEE 802.3u** — развитие стандарта 10BASE-T для использования в сетях топологии «звезда». Задействована витая пара категории 5, фактически используются только две неэкранированные пары проводников, поддерживается дуплексная передача данных, расстояние до 100 м.
- **100BASE-T4** — стандарт, использующий витую пару категории 3. Задействованы все четыре пары проводников, передача данных идёт в полудуплексе. Практически не используется.
- **100BASE-T2** — стандарт, использующий витую пару категории 3. Задействованы только две пары проводников. Поддерживается полный дуплекс, когда сигналы распространяются в противоположных направлениях по каждой паре. Скорость передачи в одном направлении — 50 Мбит/с. Практически не используется.
- **100BASE-FX** — стандарт, использующий многомодовое волокно. Максимальная длина сегмента — 400 метров в полудуплексе (для гарантированного обнаружения коллизий) или 2 километра в полном дуплексе.
- **100BASE-SX** — стандарт, использующий многомодовое волокно. Максимальная длина ограничена только величиной затухания в оптическом кабеле и мощностью передатчиков, по разным материалам, от 2 до 10 километров.
- **100BASE-FX WDM** — стандарт, использующий одномодовое волокно. Максимальная длина ограничена только величиной затухания в волоконно-оптическом кабеле и мощностью передатчиков. Интерфейсы бывают двух видов, отличаются длиной волны передатчика и маркируются либо цифрами (длина волны), либо одной латинской буквой А (1310) или В (1550). В паре могут работать только парные интерфейсы: с одной стороны передатчик на 1310 нм, а с другой — на 1550 нм.

1 Гбит/с

- **1000BASE-T**, [IEEE 802.3ab](#) — основной гигабитный стандарт, опубликованный в 1999 году^[6], использует [витую пару](#) категории 5е. В передаче данных участвуют 4 пары, каждая пара используется одновременно для передачи по обоим направлениям со скоростью — 250 Мбит/с. Используется метод кодирования PAM5 (5-level Phase Amplitude Modulation, пятиуровневая фазоамплитудная модуляция)^[7] с 4 линиями (4D-PAM5) и 4-мерной [Треллис-модуляцией](#) (TCM)^[8], частота основной гармоники — 62,5 МГц^[источник не указан 1710 дней]. Расстояние — до 100 метров.
- **1000BASE-TX** был создан Ассоциацией Телекоммуникационной Промышленности (англ. *Telecommunications Industry Association, TIA*) и опубликован в марте 2001 года как «Спецификация физического уровня дуплексного Ethernet 1000 Мб/с (1000BASE-TX) симметричных кабельных систем категории 6 (ANSI/TIA/EIA-854-2001)»^{[9][6]}. Распространения не получил из-за высокой стоимости кабелей^[10], фактически устарел^[11]. Стандарт разделяет принимаемые и посылаемые сигналы по парам (две пары передают данные, каждая на 500 Мбит/с и две пары принимают), что упрощало бы конструкцию приёмопередающих устройств. Ещё одним существенным отличием 1000BASE-TX являлось отсутствие схемы цифровой компенсации наводок и возвратных помех, в результате чего сложность, уровень энергопотребления и цена реализаций должны становиться ниже, чем у стандарта 1000BASE-T. Для работы технологии требуется кабельная система 6-й категории^[6]. На основе данного стандарта создано большое количество продуктов для промышленных сетей.^[источник не указан 1710 дней]
- **1000BASE-X** — общий термин для обозначения стандартов со сменными приёмопередатчиками в форм-факторах [GBIC](#) или [SFP](#).
- **1000BASE-SX**, [IEEE 802.3z](#) — стандарт, использующий многомодовое волокно в первом окне прозрачности с длиной волны, равной 850 нм. Дальность прохождения сигнала составляет до 550 метров.
- **1000BASE-LX**, [IEEE 802.3z](#) — стандарт, использующий одномодовое или многомодовое оптическое волокно во втором окне прозрачности с длиной волны, равной 1310 нм. Дальность прохождения сигнала зависит только от типа используемых приёмопередатчиков и, как правило, составляет для одномодового оптического волокна до 5 км и для многомодового оптического волокна до 550 метров.
- **1000BASE-CX** — стандарт для коротких расстояний (до 25 метров), использующий 2-парный [экранированный кабель](#) (150 Ом, STP IBM Type I или лучше). Применяется кодирование 8B/10B, сигнал передаётся по одной паре, принимается по другой паре проводов; разъёмы — 9-контактный D, HSSDC^[12]. Заменён стандартом 1000BASE-T и сейчас не используется.
- **1000BASE-LH** (Long Haul) — стандарт, использующий одномодовое волокно. Дальность прохождения сигнала без повторителя — до 100 километров¹

10 Гбит/с

- Стандарт 10-гигабитного Ethernet включает в себя семь стандартов физической среды для [LAN](#), [MAN](#) и [WAN](#). В настоящее время он описывается поправкой [IEEE 802.3ae](#) и должен войти в следующую ревизию стандарта [IEEE 802.3](#).
- [10GBASE-CX4](#) — технология 10-гигабитного Ethernet для коротких расстояний (до 15 [метров](#)), используется медный кабель CX4 и коннекторы [InfiniBand](#).
- [10GBASE-SR](#) — технология 10-гигабитного Ethernet для коротких расстояний (до 26 или 82 [метров](#), в зависимости от типа кабеля), используется многомодовое волокно. Он также поддерживает расстояния до 300 метров с использованием нового многомодового волокна (2000 МГц/км).
- [10GBASE-LX4](#) — использует [уплотнение по длине волны](#) для поддержки расстояний от 240 до 300 [метров](#) по многомодовому волокну. Также поддерживает расстояния до 10 [километров](#) при использовании одномодового волокна.
- [10GBASE-LR](#) и [10GBASE-ER](#) — эти стандарты поддерживают расстояния до 10 и 40 [километров](#), соответственно.
- [10GBASE-SW](#), [10GBASE-LW](#) и [10GBASE-EW](#) — эти стандарты используют физический интерфейс, совместимый по скорости и формату данных с интерфейсом [OC-192](#) / [STM-64 SONET/SDH](#). Они подобны стандартам [10GBASE-SR](#), [10GBASE-LR](#) и [10GBASE-ER](#) соответственно, так как используют те же самые типы кабелей и расстояния передачи.
- [10GBASE-T](#), [IEEE 802.3an-2006](#) — принят в июне 2006 года после 4 лет разработки. Использует витую пару категории 6 (максимальное расстояние 55 метров)^[21] и 6а (максимальное расстояние 100 метров)^[21].
- [10GBASE-KR](#) — технология 10-гигабитного Ethernet для кросс-плат (backplane/midplane) модульных коммутаторов/маршрутизаторов и серверов (Modular/Blade).

Модель OSI

Данные

Уровень

Данные

Прикладной
доступ к сетевым службам

Данные

Представления
представление и
кодирование данных

Данные

Сеансовый
Управление сеансом связи

Блоки

Транспортный
безопасное и надежное
соединение точка-точка

Пакеты

Сетевой
Определение пути и IP
(логическая адресация)

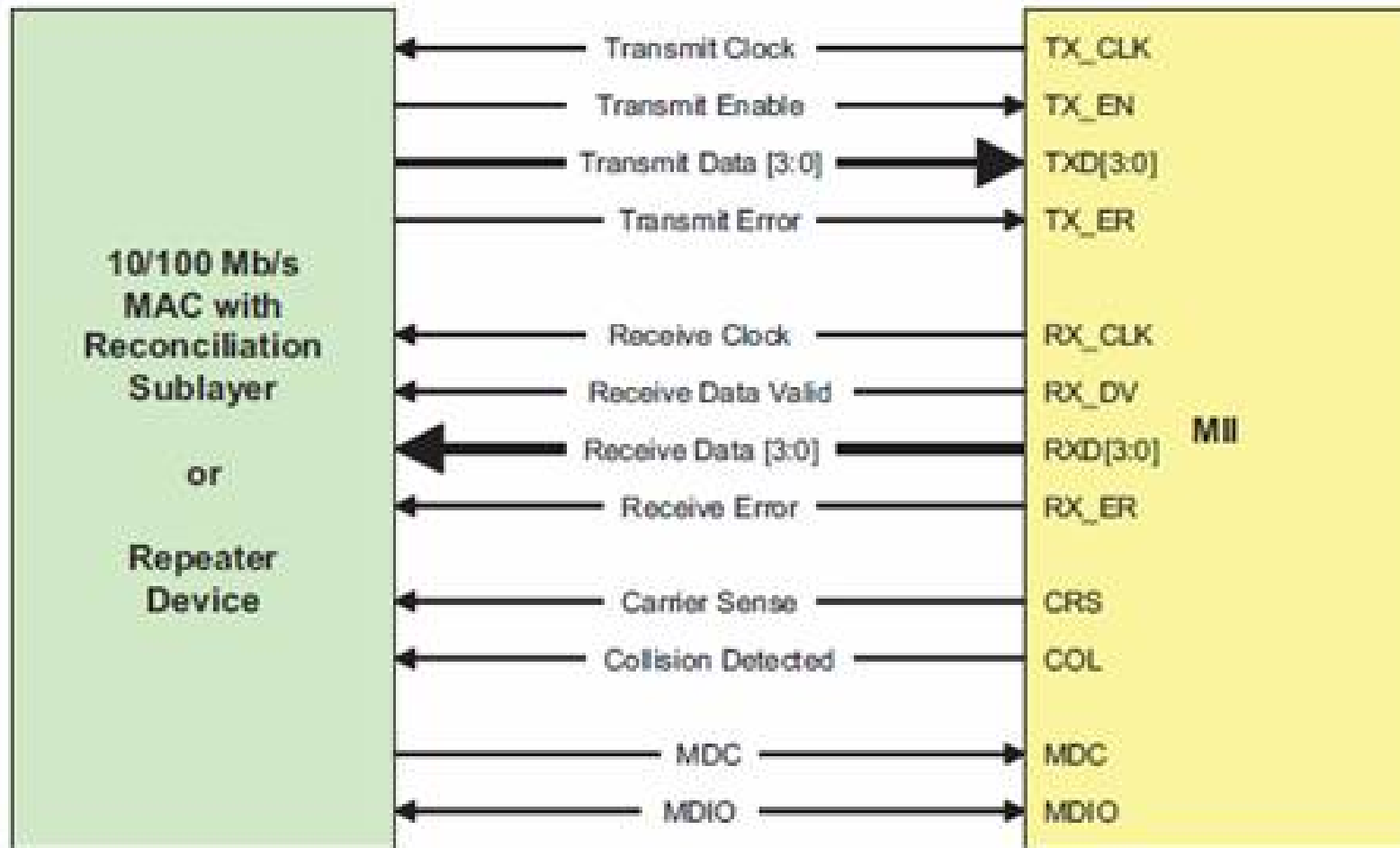
Кадры

Канальный
MAC и LLC
(Физическая адресация)

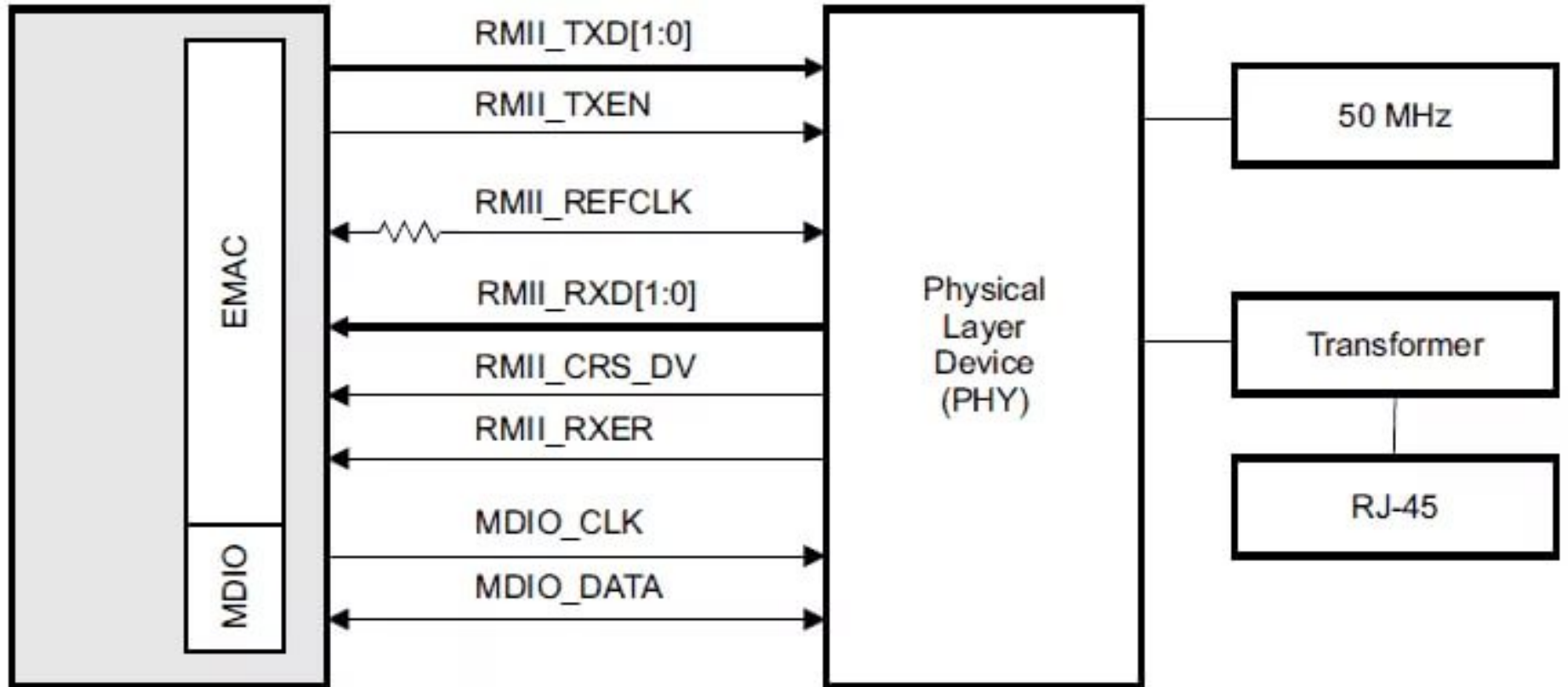
Биты

Физический
кабель, сигналы,
бинарная передача

MII- данные по 4 бита



RMII – данные по 2 бита



Бортовые интерфейсы

MIL-STD-1553, MIL-STD-1553B ==

==ГОСТ В 24394-80

==ГОСТ 26765ю52-87

== МКИО, МКО (мультиплексный канал инф обмена) ГОСТ Р 52070-2003

- Контроллер (мастер) + оконечные устройства (до 31)
- ОУ принимает и выполняет адресованные ему команды контроллера, осуществляет сопряжение подключенного оборудования с линией передачи информации, контролирует передачу информации, производит самоконтроль и передает результаты контроля в контроллер
- Передача с манчестерским кодированием (без пост составляющей)

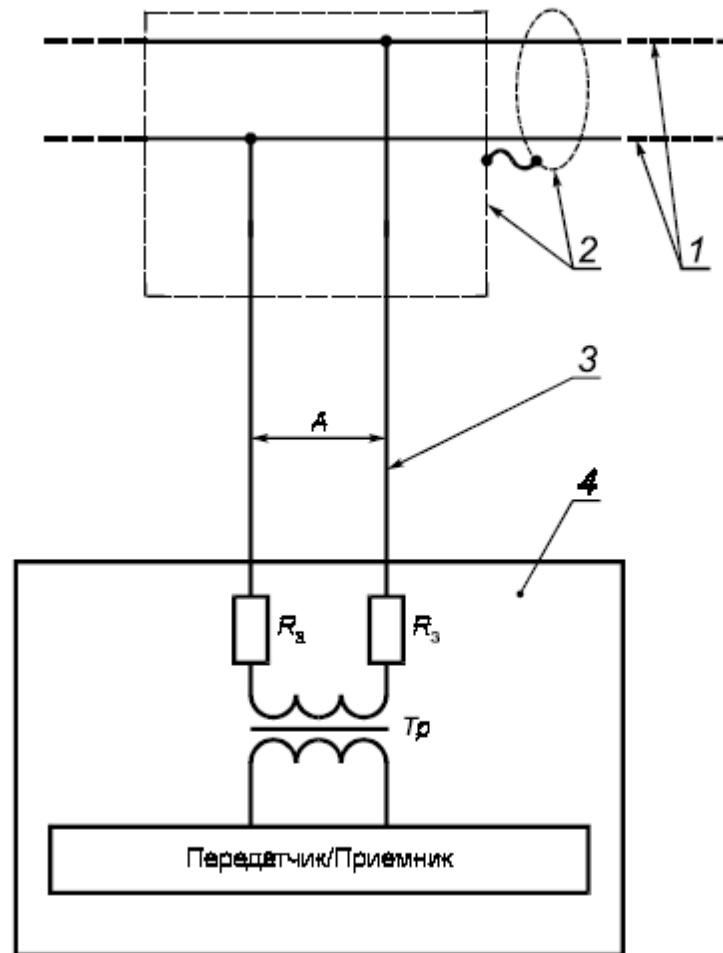
Особенности МКИО

- Наличие резервных каналов



- Линия связи-витая пара
- Передача полу дуплексная (по одной линии передача и прием)
- Трансформаторная гальваническая развязка у всех устройств на каждой линии связи

• 123

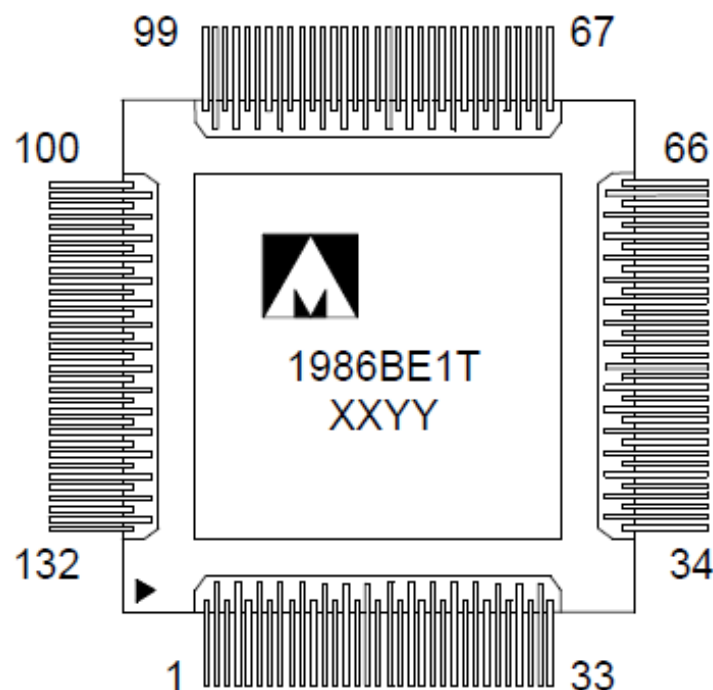


ARINC 429 ==ГОСТ 18977-79

Последовательный канал инф. Обмена для авиационного оборудования

- Мастер + до 20 устройств
- Линия связи- витая пара
- Передача симплексная –в одну сторону, для двухсторонней передачи нужно 2 линии связи

32-разрядный контроллер для авиационного применения 1986BE1T, К1986BE1T



Основные параметры микросхемы

- Тактовая частота до 144 МГц.
- 62 однословных инструкции.
- 32 x 32 битный аппаратный умножитель, за 3 такта.
- Поддержка прямого, косвенного и относительного режимов адресации.
- Аппаратная поддержка интерфейса CAN.
- 8-канальный 12-разрядный АЦП.
- 2 блока 12-разрядных ЦАП.
- Уменьшенное до 14 мс время запуска микроконтроллера.
- Диапазон напряжения питания 3,0÷3,6 В.

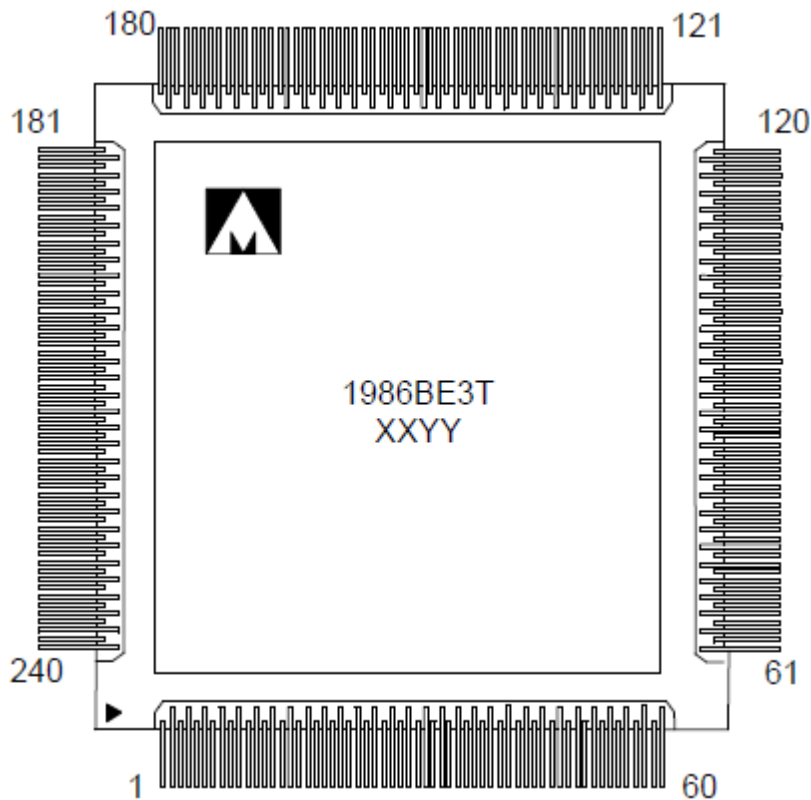
32-разрядный контроллер для авиационного применения

1986BE1T, K1986BE1T

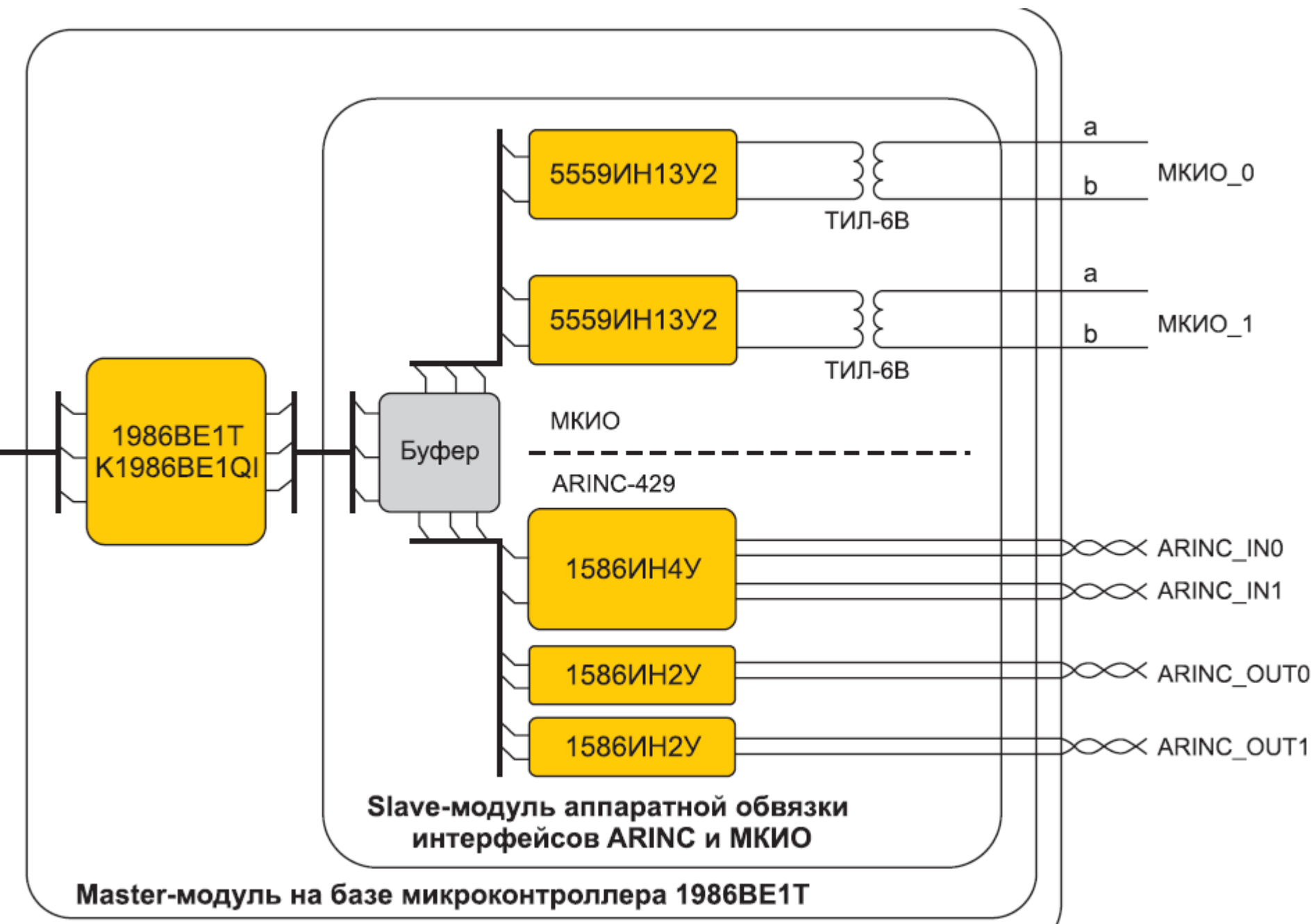
Периферия:

- контроллер прямого доступа в память с функциями передачи Периферия-Память, Память-Память;
- два контроллера CAN интерфейса;
- цифровой контроллер интерфейса по ГОСТ 18977-79;
- два цифровых контроллера интерфейса по ГОСТ Р 52070-2003 (МКИО);
- цифровой контроллер интерфейса Ethernet 10/100 и PHY Transceiver;
- контроллер USB интерфейса с функциями работы Device и Host;
- контроллеры интерфейсов 2xUART, 3xSPI;
- до 96 пользовательских линий ввода/вывода.

Микросхема системы управления для комплексов связи 1986BE3T



- 240 выводов
- два контроллера CAN интерфейса;
- цифровой контроллер интерфейса по ГОСТ 18977-79;
- два цифровых контроллера интерфейса по ГОСТ Р 52070-2003;
- цифровой контроллер интерфейса Ethernet 10/100 и PHY Transceiver;
- контроллер USB интерфейса с функциями работы Device и Host;
- контроллеры интерфейсов 4xUART, 4xSPI;
- контроллер Audiodcodec;
- до 144 пользовательских линий ввода/вывода.



K1921VK01T

- 208 выводов
- ядро ARM Cortex-M4F 125 мил инстр/сек
- загрузочная флеш-память (Flash) емкостью 1 Мбайт;
- ОЗУ объемом 192 Кбайта;
- пользовательская флеш-память объемом 64 Кбайта;
- семь 16-разрядных и один 8-разрядный порт GPIO
- четыре последовательных порта UART;
- CAN (протокол 2.0b) с двумя портами ввода-вывода;
- I2C с поддержкой частоты передачи данных более 1 МГц (два порта);
- SPI (четыре порта);
- USB 2.0 Device/Host с физическим уровнем PHY;
- Ethernet 10/100 Мбит/с с интерфейсом MII.