

Тема 3. Измерительные и интерфейсные схемы датчиков

План занятия

1. Основные положения
2. Потенциальное включение и токовая схема
3. Параметрические и генераторные схемы датчиков
4. Измерительные усилители
5. Схемы сопряжения датчиков с цифровыми устройствами
6. Интерфейсы измерительных систем

1. Основные положения

Датчик является **двухполюсником** и может состоять как из **пассивных**, так и из **активных** элементов. Двухполюсник из **пассивных** элементов характеризуется **сопротивлением**, датчик с **активными** элементами (т.е. содержащий генераторы напряжения и генераторы тока) характеризуется **внутренним сопротивлением** (или импедансом).

Выходной сигнал имеет форму напряжения

Выходной сигнал имеет форму тока

- **Электрический импеданс** — комплексное сопротивление $Z = R(j\omega)$ двухполюсника для гармонического сигнала.
- **Внутреннее сопротивление** — импеданс в эквивалентной схеме двухполюсника, состоящей из последовательно включённых генератора напряжения и импеданса.
- **Входное сопротивление** (например, $Z_{\text{н}}$) — внутреннее сопротивление двухполюсника, которым является вход системы.
- **Выходное сопротивление** ($Z_{\text{д}}$) — внутреннее сопротивление двухполюсника, которым является выход системы.
- **Источник ЭДС** является физической абстракцией – его внутреннее сопротивление равняется нулю, в то время как внутреннее сопротивление источника напряжения не равно нулю и обратно пропорционально его мощности.

Источник ЭДС, источник напряжения

Схемы подключения к источнику напряжения и к источнику тока

Источники питания

Основными энергетическими характеристиками источника питания является его емкость C (измеряется в ампер-часах) и удельная энергоемкость W/m (измеряется в джоулях на грамм).

Аккумуляторы

свинцово-кислотные

никелевые

литиевые

LiIon

(LiPo)

2. Потенциальное включение и токовая петля

Согласование каскадов

по напряжению

по току

по мощности

по волновому сопротивлению

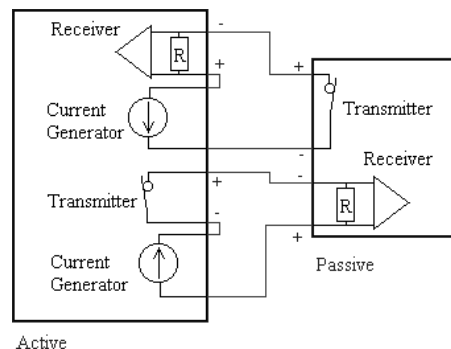
Величина искажений сигнала зависит от импедансов источника питания, датчика и схемы:

- для уменьшения искажений сигнала датчик с токовым выходом должен обладать максимально большим выходным импедансом, а интерфейсная схема – минимальным;
- при использовании потенциального соединения – наоборот, датчик должен иметь низкий импеданс, а схема – высокий.

Чаще всего датчик является источником сигнала с **большим внутренним сопротивлением** и для правильного согласования каскадов необходимо подобрать нагрузку с ещё большим входным сопротивлением. Для **согласования каскадов**, т.е. увеличения или уменьшения выходного сопротивления используют буферные усилители.

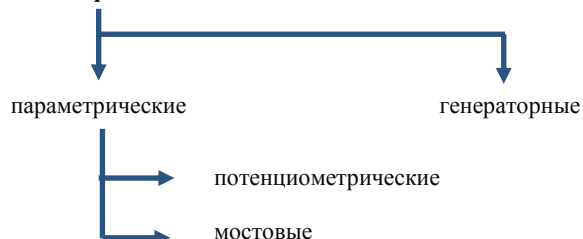
Токовая петля используется с датчиками, построенными по токовой схеме, т.е. имеющими **токовый выход**. В этих схемах сила тока в любой точке замкнутой электрической цепи одинакова, а значит, на удалённом считывающем значении прибора индикаторе сила тока будет точно такой же, как непосредственно на выходе.

Питание токовой петли может осуществляться от передатчика (**активный передатчик**) или от приемника (**активный приемник**).

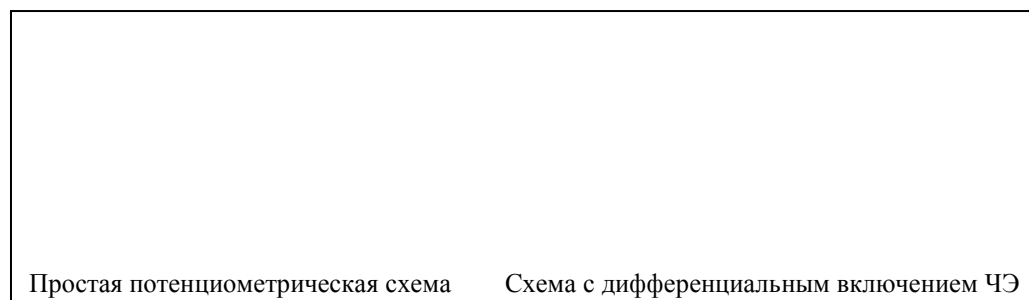


3. Параметрические и генераторные схемы датчиков

Классификация



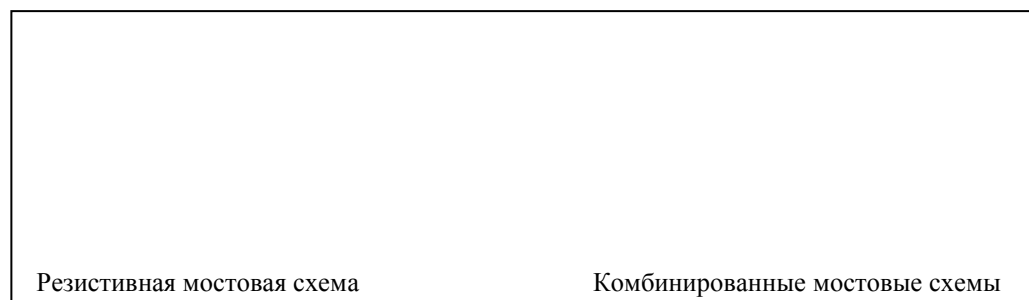
Потенциметрические измерительные схемы



Функция преобразования при дифференциальном включении ЧЭ:



Мостовые измерительные схемы



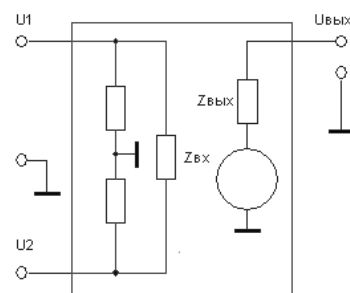
Функция преобразования с четырьмя дифференциально включенными ЧЭ:



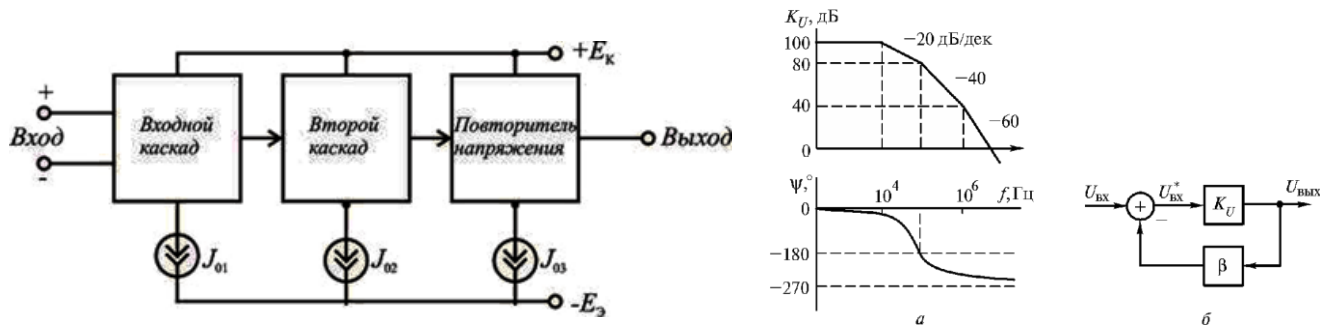
4. Измерительные усилители

Основные характеристики ИУ

- коэффициент усиления K_U (от 10^3 до 10^8);
- коэффициент ослабления синфазных напряжений $K_{ос.сф}$ (от 60 до 120 дБ);
- напряжение смещения $U_{см}$, характеризующее несимметричность входного каскада и равное напряжению, которое надо подать на усилитель, чтобы сигнал на его выходе обратился в нуль (от 0,01 до 100 мВ);
- входной (дифференциальный) импеданс $Z_{вх}$, равный отношению изменения дифференциального напряжения на входах ИУ к изменению входного тока (от 10^4 до 10^9 Ом);
- частота единичного усиления f_{y1} , определяющая полосу пропускания ИУ; она соответствует частоте высокочастотного сигнала, при котором коэффициент усиления падает до значения $K_U = 1$ (от 10^5 до 10^8 Гц);
- коэффициент выходной импеданс $Z_{вых}$.



Структура и принцип расчета операционного усилителя



Трехкаскадный ОУ: его частотная характеристика (а) и схема обратной связи (б)

При расчете схем ИУ применяют следующую модель усилителя:

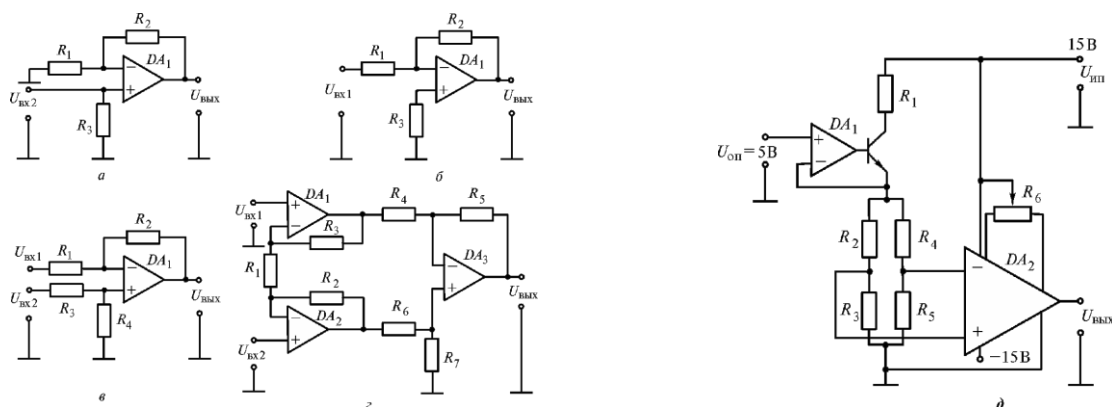
- $K_U = \infty$ на низких частотах, причем с ростом частоты уменьшение K_U не должно превышать 20 дБ/дек;
- $R_{\text{ВХ}} = \infty$, $R_{\text{ВЫХ}} = 0$.

Коэффициент усиления ИУ определяется только свойствами цепи обратной связи и не зависит от параметров самого усилителя.

АЧХ и ФЧХ каскада усилителя подобны характеристикам датчиков первого порядка:

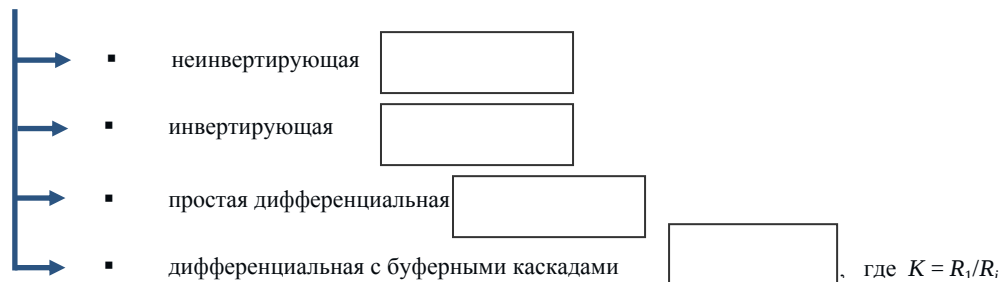


Схемы включения операционных усилителей



Схемы включения: неинвертирующая (а) и инвертирующая (б), простая дифференциальная (в), усилителя с буферными каскадами (г) и прецизионного усилителя для мостовой измерительной схемы (д)

Коэффициенты усиления схем



5. Схемы сопряжения датчиков с цифровыми устройствами

Различают три основные технологии интеллектуальных датчиков:

- ASIC (Application Specific Integrated Circuit);
- SoC (System on a Chip);
- SiP (System in a Package).

Аналого-цифровое преобразование

Дискретизация (sampling) — представление непрерывного аналогового сигнала последовательностью его значений, взятых через определенный промежуток времени — период дискретизации T_d :



Квантование — замена текущего значения **амплитуды** выходного аналогового сигнала датчика ближайшим по величине фиксированным значением из соответствующего уровня квантования:

Согласно теореме Котельникова-Шеннона-Найквиста необходимо, чтобы:

Спектр оцифрованного сигнала

При дискретизации аналогового сигнала происходит значительное расширение спектра полученного импульсного сигнала. Это вызвано появлением в спектре высших гармоник, расположенных вокруг гармоник частоты дискретизации.

Дискретизация АИМ сигнала (а) и ее спектр (б)

В **спектре** импульсного сигнала вокруг частот, кратных f_d появляются по две зеркальных копии спектра исходного аналогового сигнала.

Частоты дискретизации звука некоторых устройств

- 8 000 Гц — телефон, достаточно для речи
- 22 050 Гц — радио
- 44 100 Гц — используется в *Audio CD*
- 96 000 Гц — *DVD-Audio (MPL 5.1)*
- 2 822 400 Гц — *SACD (Super audio CD 5.1)* — максимальная на данный момент

При квантовании сигнала, также как и при его дискретизации появляются **высокочастотные** составляющие, обусловленные наличием **ступенек** в оцифрованном сигнале. Чем больше ступенек содержит сигнал, т.е. чем меньше разрешение квантователя (и точнее преобразование), тем **шире** спектр сигнала.

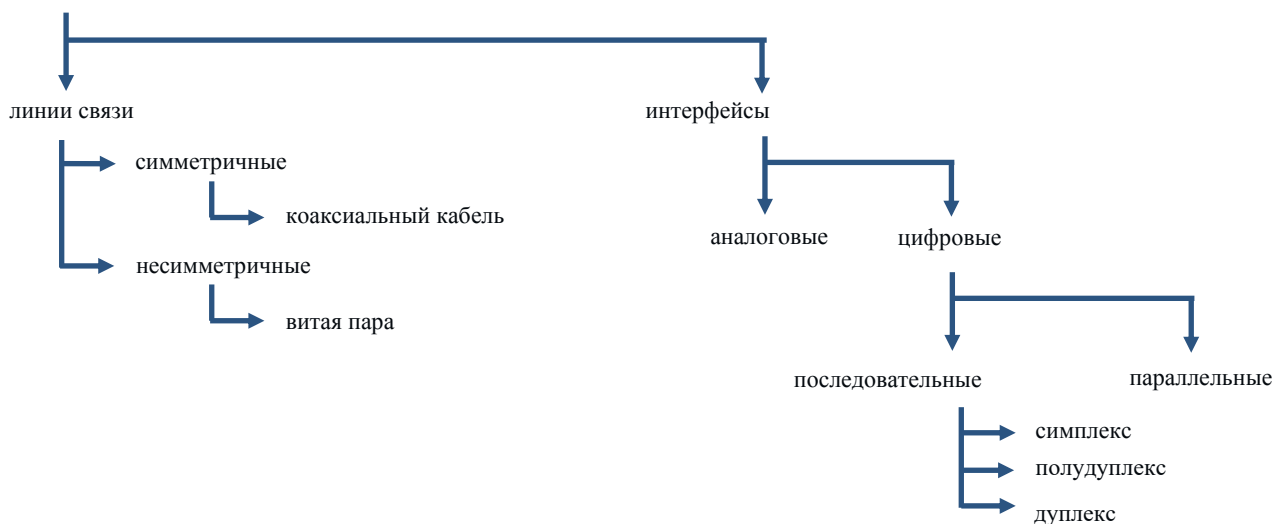
АЦП

Коммерчески выпускают АЦП разных типов, отличающихся по быстродействию и погрешности преобразования (точности). **Точность** АЦП однозначно связана с его **разрешением** Δ_k , т.е. разрядностью, в то время как **быстродействие** зависит не только от частоты дискретизации, но и от принципа преобразования, т.е. типа АЦП. Например, в АЦП параллельного типа преобразование происходит за один цикл дискретизации, а в АЦП последовательного типа — за несколько. Поэтому, частота преобразования **не соответствует** тактовой частоте генератора АЦП.

6. Интерфейсы измерительных систем

Под интерфейсом (от англ. interface — граница раздела) обычно понимают совокупность устройств и способов передачи информации между отдельными элементами системы. В сенсорных системах роботов применяют аналоговые и цифровые интерфейсы.

Классификация



Для соединения отдельных элементов микропроцессорной сенсорной системы друг с другом используют цифровые интерфейсы. При их классификации используют критерий параллельности/последовательности передачи данных.

- В **параллельных** интерфейсах каждый сигнал передается по отдельной физической линии, которые объединяют в шины: шину данных, шину адреса и шину управления. Число линий шины данных соответствует разрядности передаваемого цифрового сигнала, т.е. разрядности контроллера датчика и его АЦП.
- В **последовательных** интерфейсах информация передается по нескольким проводам. Самая простая схема такого интерфейса, состоящая из сигнального и общего проводов, называется **однопроводной**.

Различают три режима передачи данных:

- **симплексный** – передача данных только в одном направлении;
- **полудуплексный** – попеременная передача данных, когда источник и приемник последовательно меняются местами;
- **дуплексный** – одновременная передача и прием сообщений.

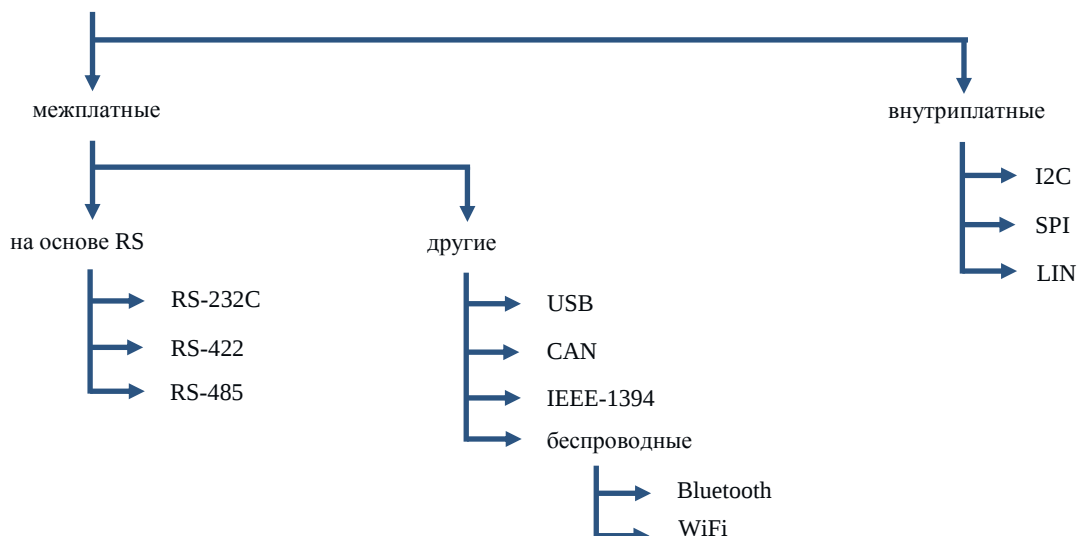
Схемы передачи данных: симплексная (а), полудуплексная (б) и дуплексная (в)

При передаче данных цифровые интерфейсы используют два режима синхронизации:

- **асинхронный** (старт-стопный) – режим передачи данных, при которой интервалы времени между направляемыми блоками данных не являются постоянными;
- **синхронный** – режим передачи данных, использующий согласование таймеров передающего и принимающего устройств, при этом биты передаются кадрами.

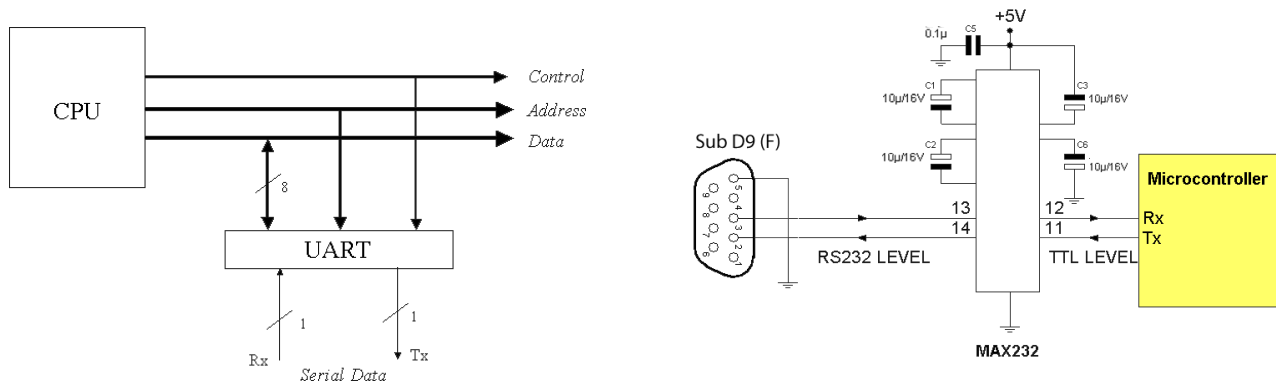
Асинхронная (а) и синхронная (б) передачи байта данных

Последовательные интерфейсы

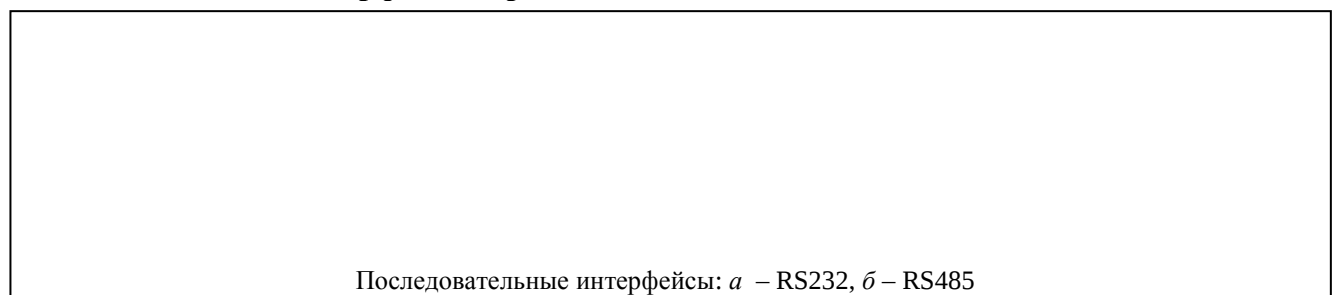


Асинхронный приемопередатчик UART

В этом устройстве происходит преобразование данных из параллельного формата данных контроллера в последовательный при передаче, и наоборот при приеме. UART использует дуплексный режим, при котором порт приемника Rx (вход UART) и порт передатчика Tx (выход UART) могут работать одновременно, независимо друг от друга.

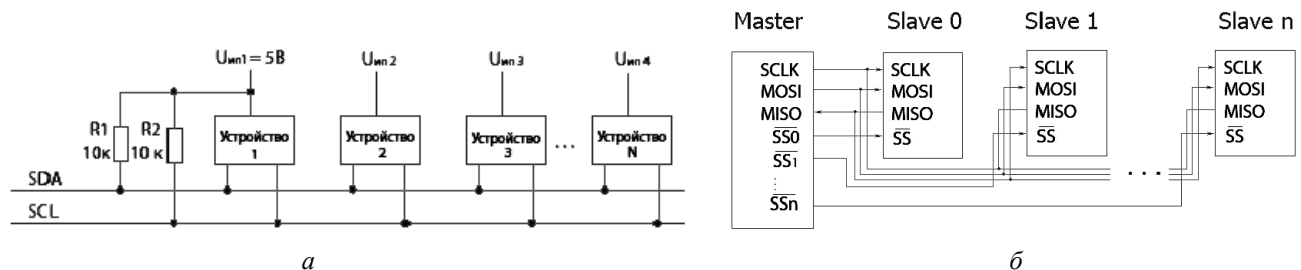


Последовательные интерфейсы серии RS



Интерфейсы микроконтроллеров

Двухнаправленная шина I2C, содержит всего два сигнальных провода – SDA (Serial Data — линия данных) и SCL (Serial Clock — линия синхронизации). Интерфейс SPI использует четыре сигнальных провода.



Подключение различных устройств к шине I2C (а), независимое подключение устройств к шине SPI (б)

Сравнительная характеристика последовательных интерфейсов

Название	Пропускная способность*	Тип	Длина линий, м	Принцип передачи
RS232	115 Kbps	2 сигнальных провода	15	синхронный/асинхронный, дуплекс, точка-точка (1 передатчик и 1 приемник)
RS422	10 Mbps	2 дифференциальные пары	1200	синхронный/асинхронный, дуплекс, точка-точка (1 передатчик и до 10 приемников)
RS485	35 Mbps 10 Mbps	1 дифференциальная пара и 2 дифференциальные пары	12 1200	синхронный/асинхронный, дуплекс/полудуплекс, многоточечная (до 32 передатчиков и приемников)
USB 3.0	5 Gbps	3 дифференциальные пары	5	асинхронный, дуплекс, многоточечная
CAN	1 Mbps 50 Kbps	дифференциальная пара	40 1000	асинхронный, полудуплекс, многоточечная (до 32)
I2C	400 Kbps	2 сигнальных провода	1	синхронный, полудуплекс, многоточечная
SPI	2 Mbps	4 сигнальных провода	15	синхронный, дуплекс, многоточечная