

4

# Sistemas de Comunicação Digital - Formas de Transmissão e Aplicações

Comunicação Digital

(1 de março de 2024)



# Sumário

## 1. Formas de transmissão

- Transmissão série e paralela
- Porta série
- Porta paralela
- Transmissão síncrona e assíncrona

## 2. Sistemas de transmissão (Série)

- RS232, I2C, SPI, I3C

## 3. Aplicações

- CAN
- USB

## 4. Exercícios



# 1. Formas de transmissão

## 1. Transmissão **série**

- Os bits são transmitidos de forma sequencial
- Usada em comunicação de curta, média e longa distância
- O custo de cabos e as dificuldades de sincronização tornam a comunicação paralela impraticável

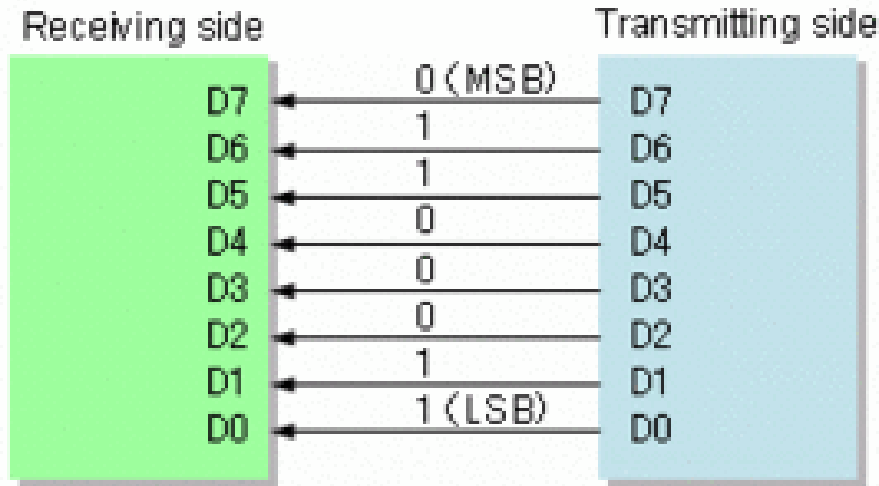
## 2. Transmissão **paralela**

- São transmitidos vários bits em simultâneo
- Usada em comunicação de curta distância
- Ligação por porta paralela, de um computador e uma impressora, por exemplo
- *Address Bus* e *Data Bus* de um computador
- Teclado de um computador

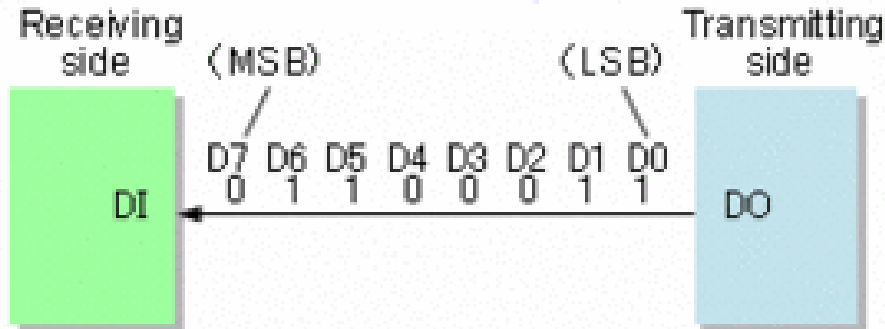


# 1. Formas de transmissão

## Parallel interface example



## Serial interface example (MSB first)



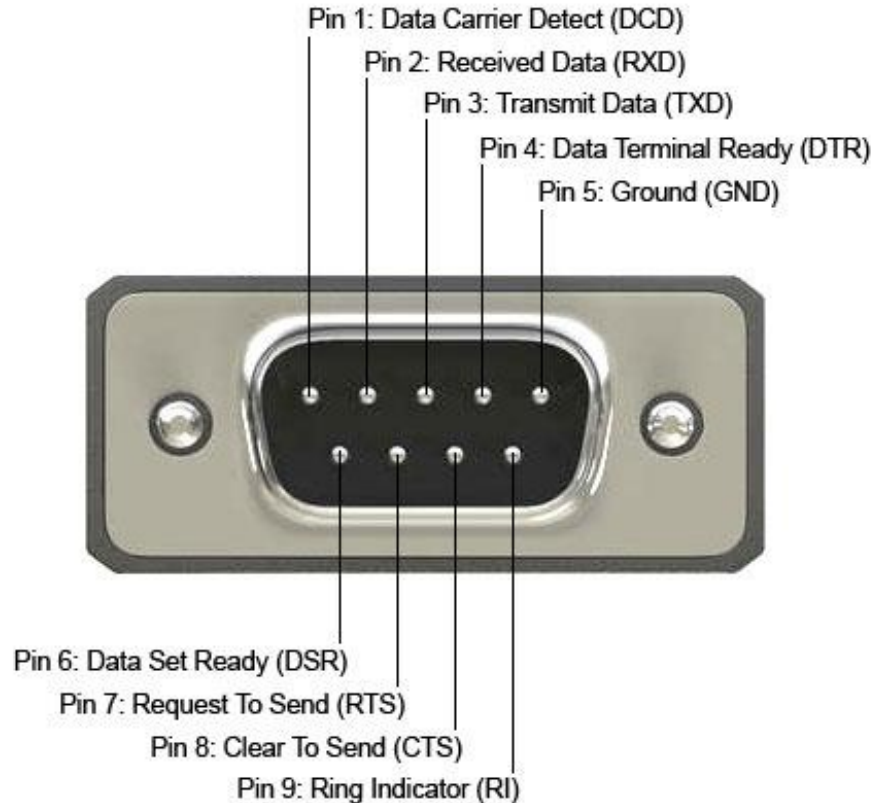
[https://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_communication](https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_communication)



# 1. Formas de transmissão

## Porta série

RS232 Pinout



[https://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_port](https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_port)

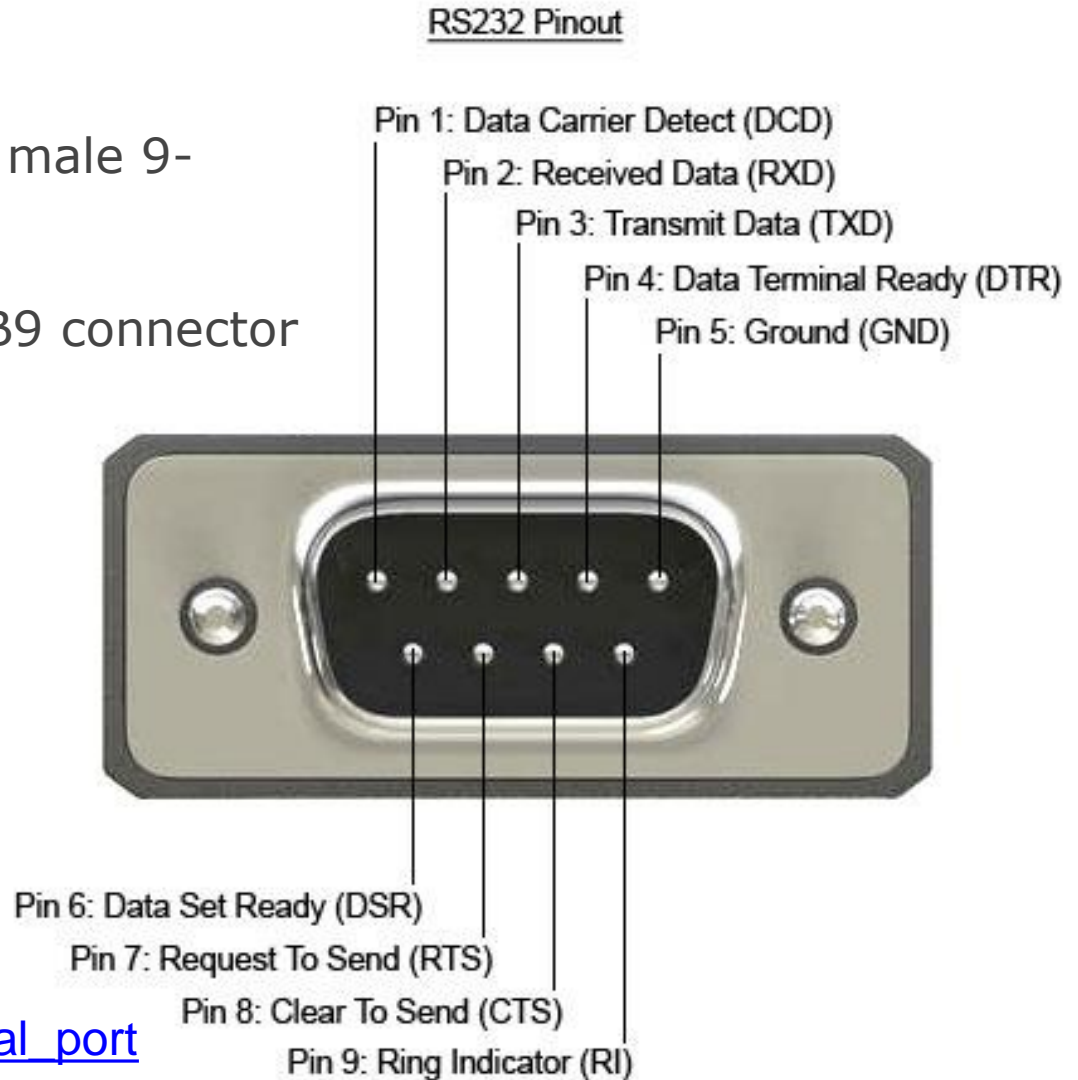


# 1. Formas de transmissão

## Porta **série**

Pinout of a typical standard male 9-pin RS232 connector

It is also referred to as a DB9 connector



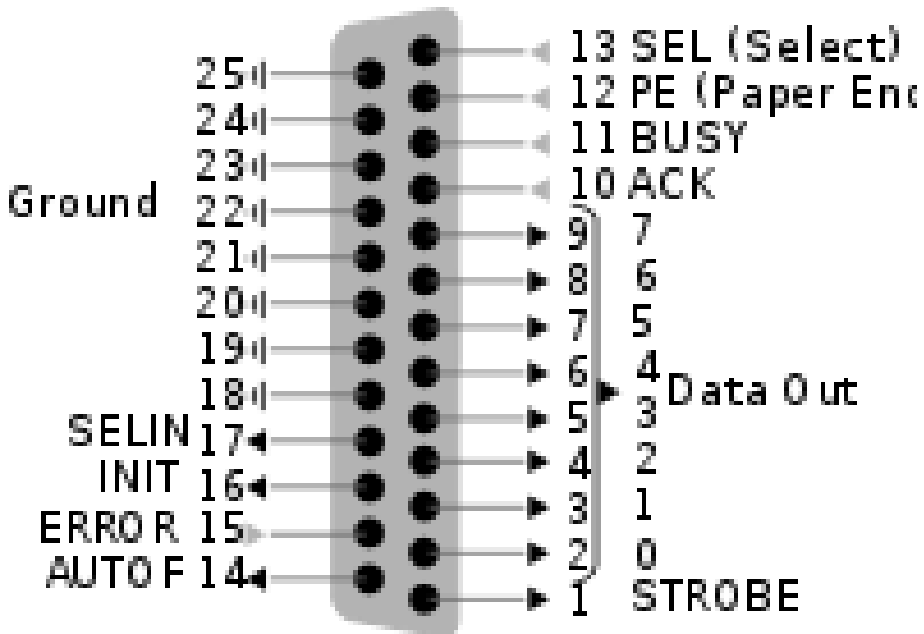
[https://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_port](https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_port)



# 1. Formas de transmissão

## Porta **paralela**

A DB-25 connector



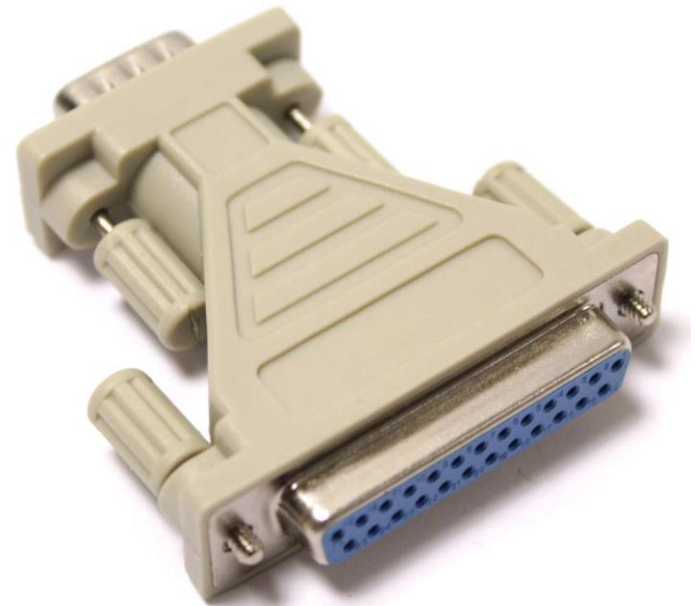
[https://en.wikipedia.org/wiki/Parallel\\_port](https://en.wikipedia.org/wiki/Parallel_port)



# 1. Formas de transmissão

## Porta **série e paralela**

DB-9 to a DB-25 converter



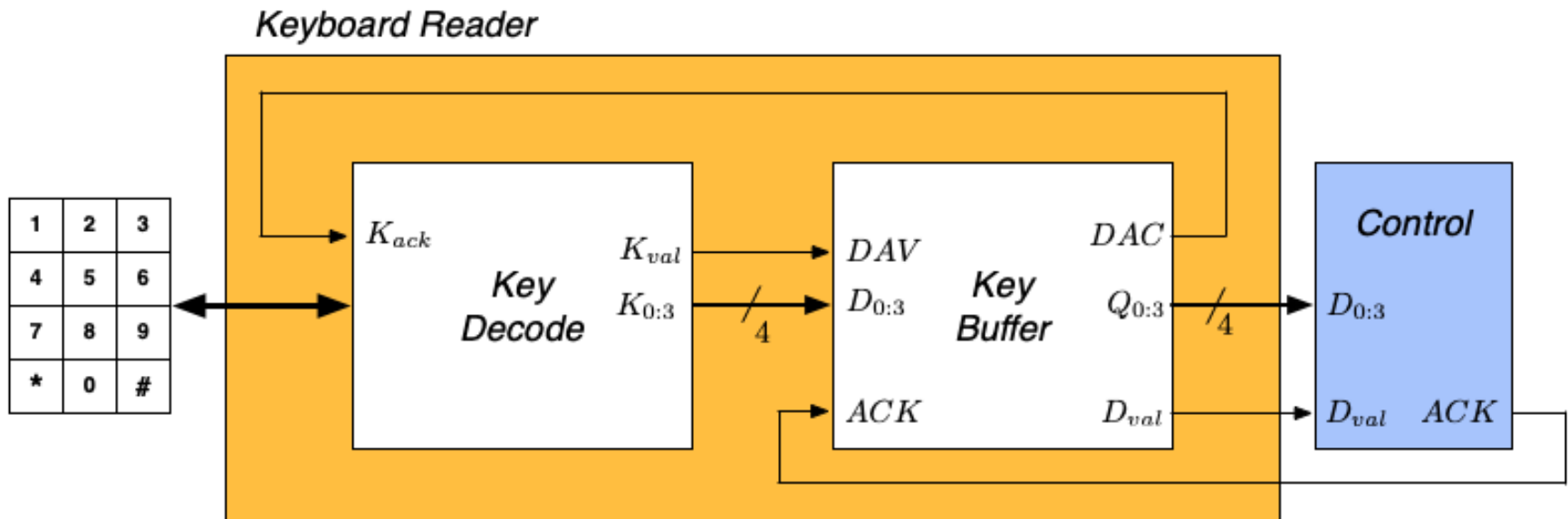
[https://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_port](https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_port)





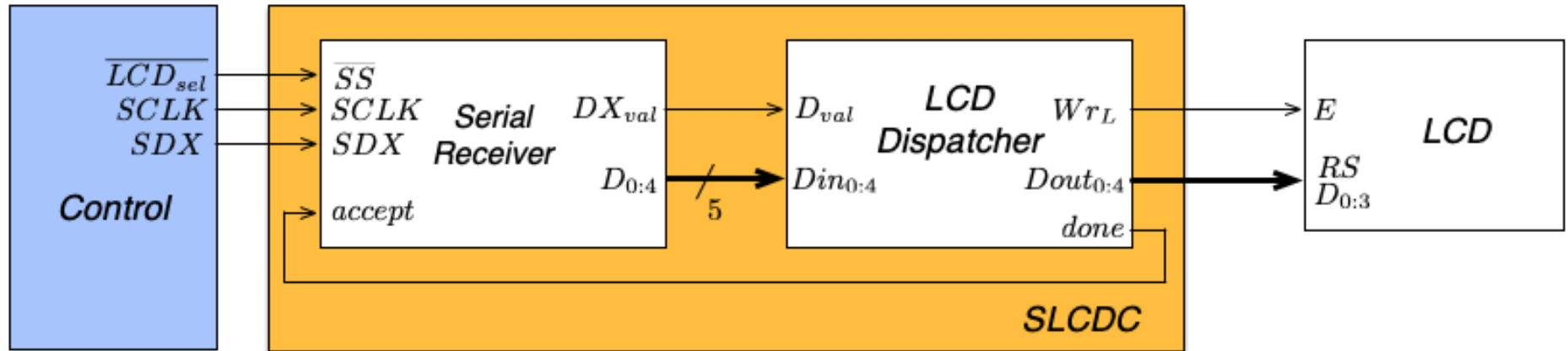
# 1. Formas de transmissão

## Transmissão paralela (projeto de LIC)



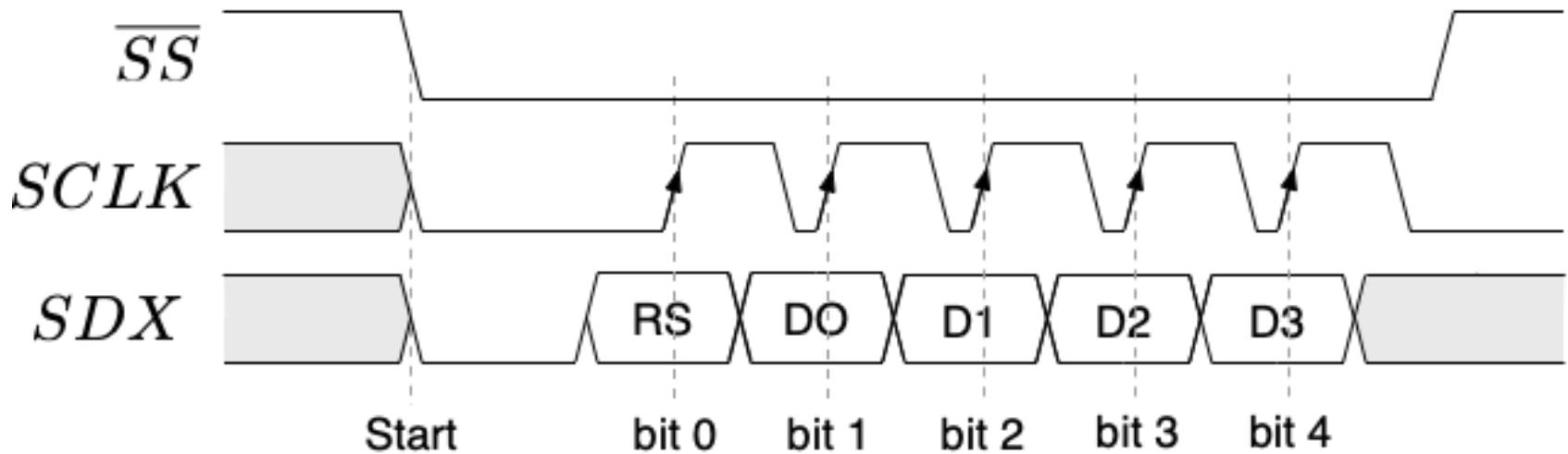
# 1. Formas de transmissão

## Transmissão **série e paralela** (projeto de LIC)



# 1. Formas de transmissão

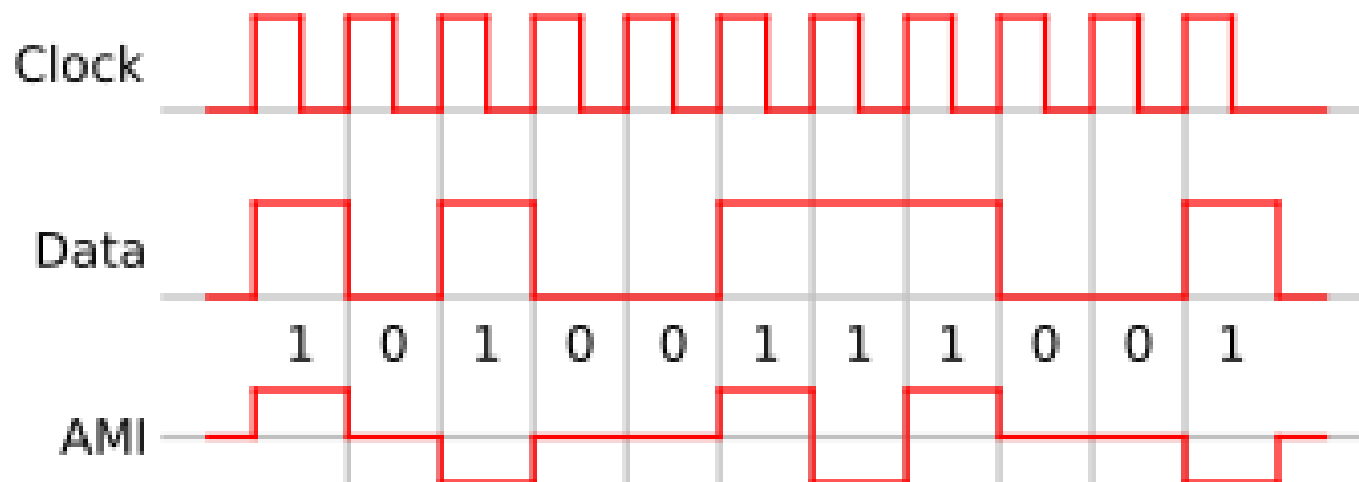
## Transmissão **série** (projeto de LIC)



# 1. Formas de transmissão

## 1. Transmissão síncrona

- O recetor tem mecanismo de sincronização relativamente ao fluxo de dados proveniente do emissor
- Este mecanismo de sincronização é um relógio (*clock*) presente no dispositivo de receção



# 1. Formas de transmissão

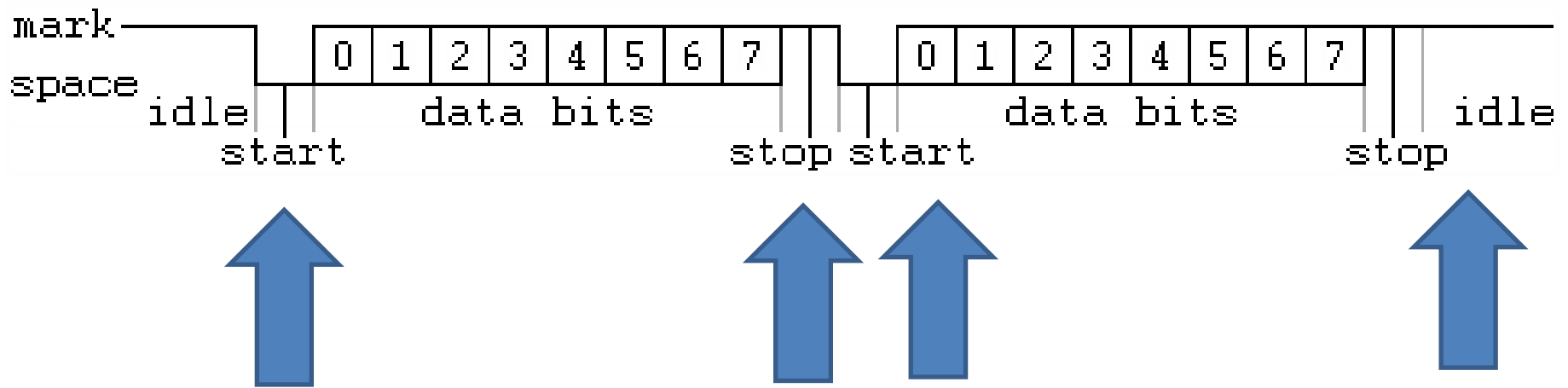
## 2. Transmissão **assíncrona**

- Não é usado no recetor nenhum mecanismo de sincronização relativamente ao emissor
- As sequências de bits transmitidas têm que conter marcas que indicam o início e do fim de cada agrupamento: ***Start bit e Stop bit***
- A descodificação é feita pelo recetor com base unicamente nas próprias sequências dos bits recebidos
- Tipicamente usada em curta distância



# 1. Formas de transmissão

## 2. Transmissão assíncrona



*Start bit e Stop bit*

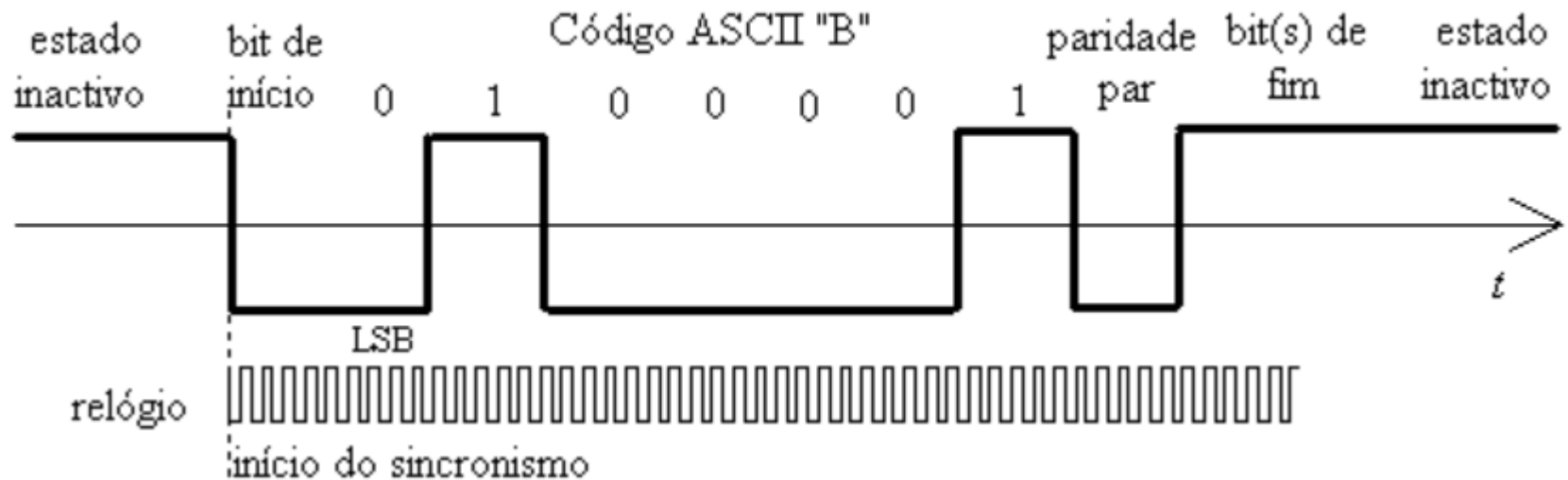
[https://en.wikipedia.org/wiki/Asynchronous\\_serial\\_communication](https://en.wikipedia.org/wiki/Asynchronous_serial_communication)

<https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95042950-what-is-synchronous-transmission-and-asynchronous-transmission>



# 1. Formas de transmissão

## 2. Transmissão assíncrona

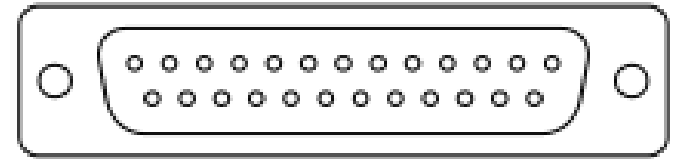


Começa-se com um bit de *início* com polaridade contrária ao estado inativo, de modo a sincronizar um relógio. São depois enviados os sete bits de informação começando pelo bit menos significativo. Segue-se um bit de paridade e termina-se com o bit de *fim* à mesma polaridade do estado inativo.



## 2. Sistemas de transmissão (Série)

### RS-232, Recommended Standard 232



- The RS-232 standard had been commonly used in **computer serial ports**
- DTE (data terminal equipment) such as a computer terminal
- DCE (data circuit-terminating equipment or data communication equipment) such as a modem



<https://en.wikipedia.org/wiki/RS-232>





## 2. Sistemas de transmissão (Série)

### Serial Peripheral Interface (SPI) interface

- A **synchronous serial communication** interface specification used for short-distance communication, primarily in embedded systems
- The interface was developed by Motorola in the mid-1980s and has become a *de facto standard*
- Typical applications include secure digital cards and liquid crystal displays

[https://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface](https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface)

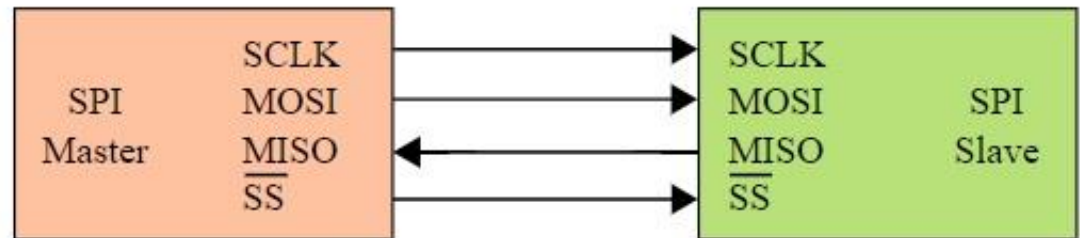


## 2. Sistemas de transmissão (Série)

### Serial Peripheral Interface (SPI) interface

- A **synchronous** serial interface. **Full duplex** mode using a **master-slave** architecture
- The master device originates the frame for reading and writing
- Multiple slave-devices are supported through selection with individual slave select (SS), sometimes called chip select (CS), lines

- “4 wire serial bus”



[https://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface](https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface)



## 2. Sistemas de transmissão (Série)

### I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit)

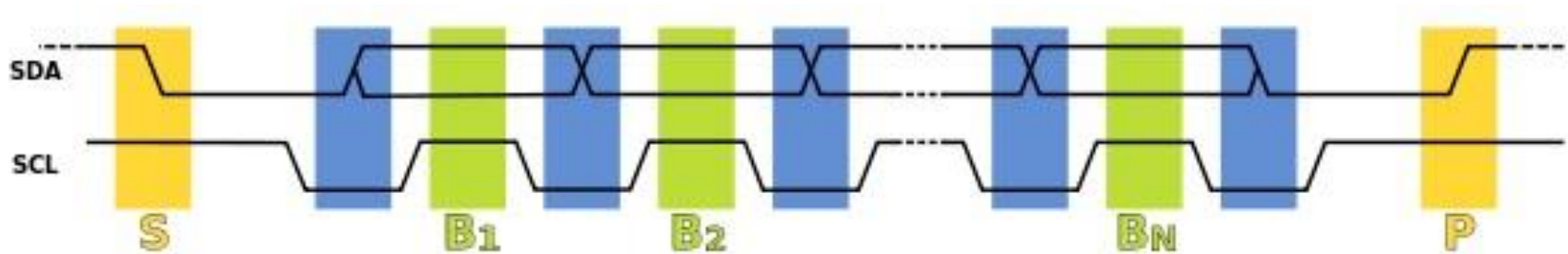
- A **synchronous, multi-master, multi-slave**, packet switched, single-ended, **serial computer bus**
- Invented in 1982 by Philips Semiconductor (now NXP Semiconductors)
- Widely used for attaching lower-speed peripheral ICs to processors and microcontrollers in short-distance, intra-board communication.

<https://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>



## 2. Sistemas de transmissão (Série)

### I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit)

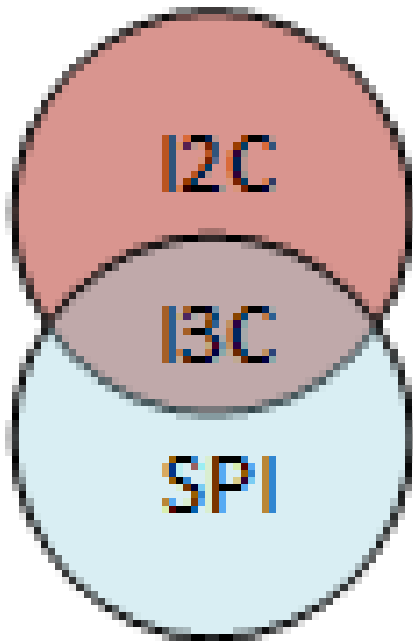


Bitrate	0.1 / 0.4 / 1.0 / 3.4 / 5.0 <a href="#">Mbit/s</a> (depending on mode)
Protocol	<a href="#">Serial</a> , <a href="#">half-duplex</a>



## 2. Sistemas de transmissão (Série)

### I3C (MIPI I3C, also known as **SenseWire**)

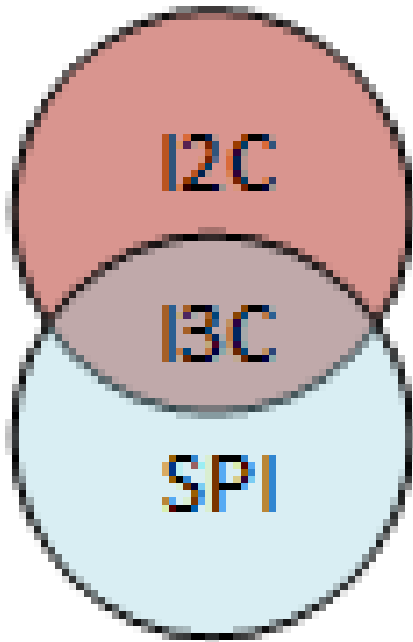


- Emerging industry standard for multidrop serial data buses.
- It was developed as a collaborative effort between electronics and computer related companies (**MIPI Alliance**)
- It is an evolution of I<sup>2</sup>C, I3C adds a significant number of system interface features while retaining upward compatibility with existing I<sup>2</sup>C slave devices



## 2. Sistemas de transmissão (Série)

### I3C (MIPI I3C, also known as **SenseWire**)



- Native I3C devices support higher data rates, like Serial Peripheral Interface (SPI)
- Like I<sup>2</sup>C, I3C uses two signal pins named SDA and SCL. One or more master devices can be connected to one or more slaves over the bus
- Google and Intel have backed I3C as a sensor interface standard for Internet of things (IoT) devices



# 3. Aplicações

## CAN – Controller Area Network

- CAN is a **two-wire, half duplex, high-speed** network system
- CAN networks can be used as an **embedded communication system for microcontrollers**
- CAN as open communication system for intelligent devices (eg medical engineering)

<https://copperhilltech.com/a-brief-introduction-to-controller-area-network/>



# 3. Aplicações

## CAN – Controller Area Network

### Use of CAN:

- Passenger vehicles, trucks, buses (gasoline vehicles and electric vehicles)
- Electronic equipment for aviation and navigation
- Industrial automation and mechanical control
- Elevators, escalators
- Building automation
- Medical instruments and equipment

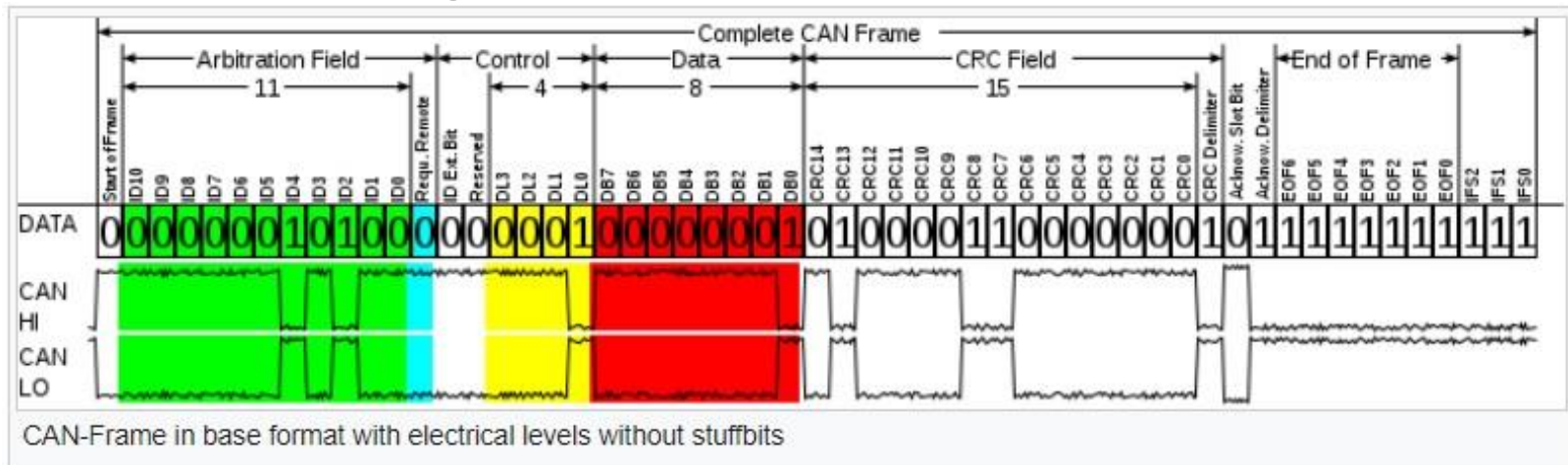
[https://en.wikipedia.org/wiki/CAN\\_bus](https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus)





# CAN – Controller Area Network

- Bit rates up to 1 Mbit/s are possible at network lengths below 40 m
- Decreasing the bit rate allows longer network distances (e.g., 500 m at 125 kbit/s)

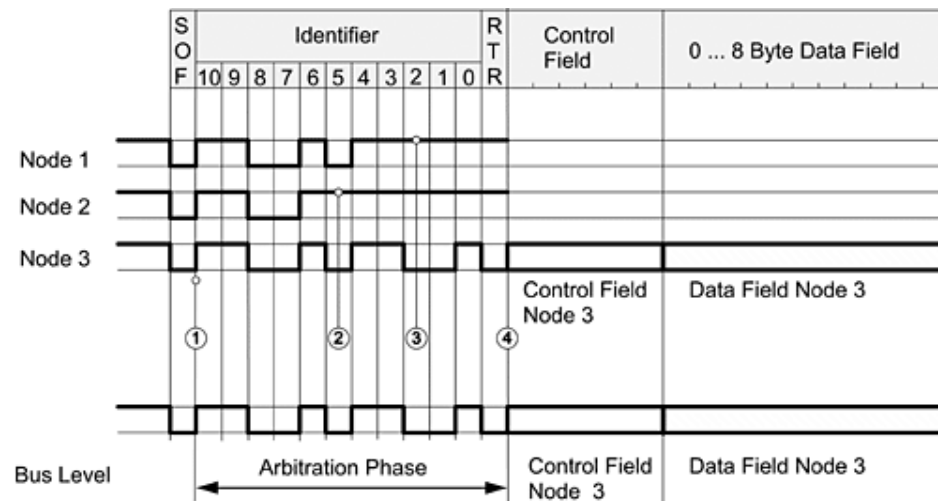
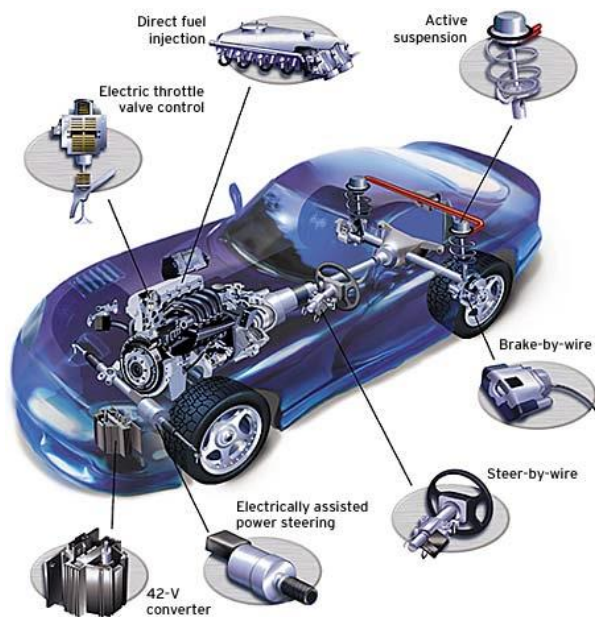


[https://en.wikipedia.org/wiki/CAN\\_bus](https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus)



# 3. Aplicações

- CAN – Controller Area Network



[http://www.ixxat.com/can-controller-area-network-introduction\\_en.html](http://www.ixxat.com/can-controller-area-network-introduction_en.html)

[http://www.aa1car.com/library/can\\_systems.htm](http://www.aa1car.com/library/can_systems.htm)

- Balanced (differential) 2-wire interface running over either a:
- Shielded Twisted Pair (STP), Un-shielded Twisted Pair (UTP).
- The Bit Encoding NRZ (with bit-stuffing) for data communication on a differential two wire bus

[http://www.interfacebus.com/Design\\_Connector\\_CAN.html#b](http://www.interfacebus.com/Design_Connector_CAN.html#b)



# 3. Aplicações

- USB – **U**niversal **S**erial **B**us



<https://en.wikipedia.org/wiki/USB>

- An **industry standard** that establishes specifications for cables and connectors and protocols for connection, communication and power supply between computers, peripheral devices and other computers
- Released in 1996, the USB standard is currently maintained by the USB Implementers Forum (USB-IF)
- There have been **four generations of USB specifications**: USB 1.x, USB 2.0, USB 3.x and USB 4



# 3. Aplicações

- USB – **U**niversal **S**erial **B**us
  - Evolução dos ritmos binários, em função das versões

Connectors	USB 1.0 1996	USB 2.0 2001	USB 2.0 Revised	USB 3.0 2011	USB 3.1 2014	USB 3.2 2017	USB4 2019
Data rate	1.5 Mbit/s ( <i>Low Speed</i> )	1.5 Mbit/s ( <i>Low Speed</i> )	12 Mbit/s ( <i>Full Speed</i> )	5 Gbit/s ( <i>SuperSpeed</i> )	10 Gbit/s ( <i>SuperSpeed+</i> )	20 Gbit/s ( <i>SuperSpeed+</i> )	40 Gbit/s ( <i>SuperSpeed+ and Thunderbolt 3</i> )
	12 Mbit/s ( <i>Full Speed</i> )	480 Mbit/s ( <i>High Speed</i> )					



# 3. Aplicações

- USB – **U**niversal **S**erial **B**us

- Em termos práticos, substituiu muitos dos sistemas anteriores



- Máximo comprimento do cabo

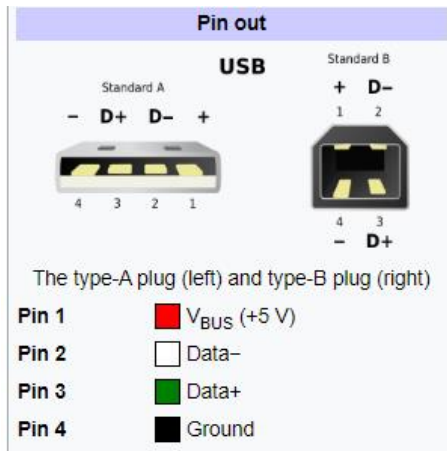


Production history	
<b>Designer</b>	Compaq, DEC, IBM, Intel, Microsoft, NEC, and Nortel
<b>Designed</b>	January 1996; 23 years ago
<b>Produced</b>	Since May 1996 <sup>[1]</sup>
<b>Superseded</b>	Serial port, parallel port, game port, Apple Desktop Bus, PS/2 port, and Firewire (IEEE 1394)
General specifications	
<b>Length</b>	2–5 m (6 ft 7 in–16 ft 5 in) (by category)



# 3. Aplicações

- USB - Algumas especificações
  - Amplitude (voltagem)
  - *Pinout* (fichas de ligação)

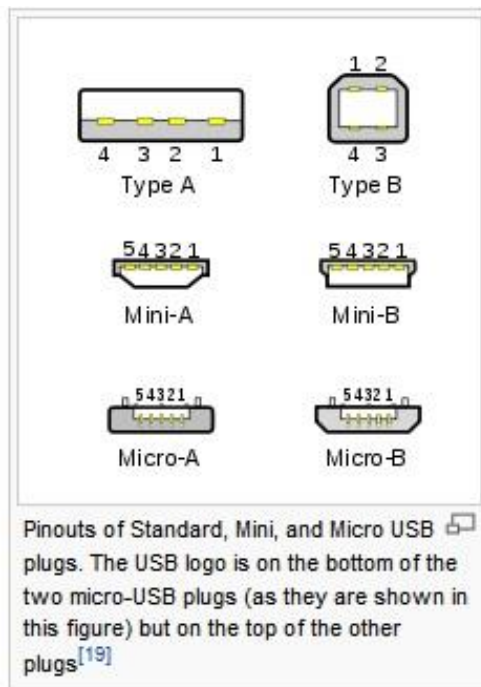


Electrical	
<b>Signal</b>	5 V DC
<b>Max. voltage</b>	5.00 <sup>+0.25</sup> <sub>-0.60</sub> V 5.00 <sup>+0.25</sup> <sub>-0.55</sub> V (USB 3.0) 20.00 V (PD)
<b>Max. current</b>	0.5 A (USB 2.0) 0.9 A (USB 3.0) 1.5 A (BC 1.2) 3 A (USB-C) Up to 5 A (PD)
Data	
<b>Data signal</b>	Packet data, defined by specifications
<b>Width</b>	1 bit
<b>Bitrate</b>	1.5; 12; 480; 5,000; 10,000 20,000 Mbit/s (depending mode)
<b>Max. devices</b>	127
<b>Protocol</b>	Serial



# 3. Aplicações

- USB – Universal Serial Bus



USB 1.x/2.0 standard pinout

Pin	Name	Cable color	Description
1	VBUS	Red	+5 V
2	D-	White	Data -
3	D+	Green	Data +
4	GND	Black	Ground

<http://en.wikipedia.org/wiki/USB>

USB 1.x/2.0 Mini/Micro pinout

Pin	Name	Cable color	Description
1	VBUS	Red	+5 V
2	D-	White	Data -
3	D+	Green	Data +
4	ID	None	Permits distinction of A plug from B plug * A plug: connected to Signal ground * B plug: not connected
5	GND	Black	Signal ground

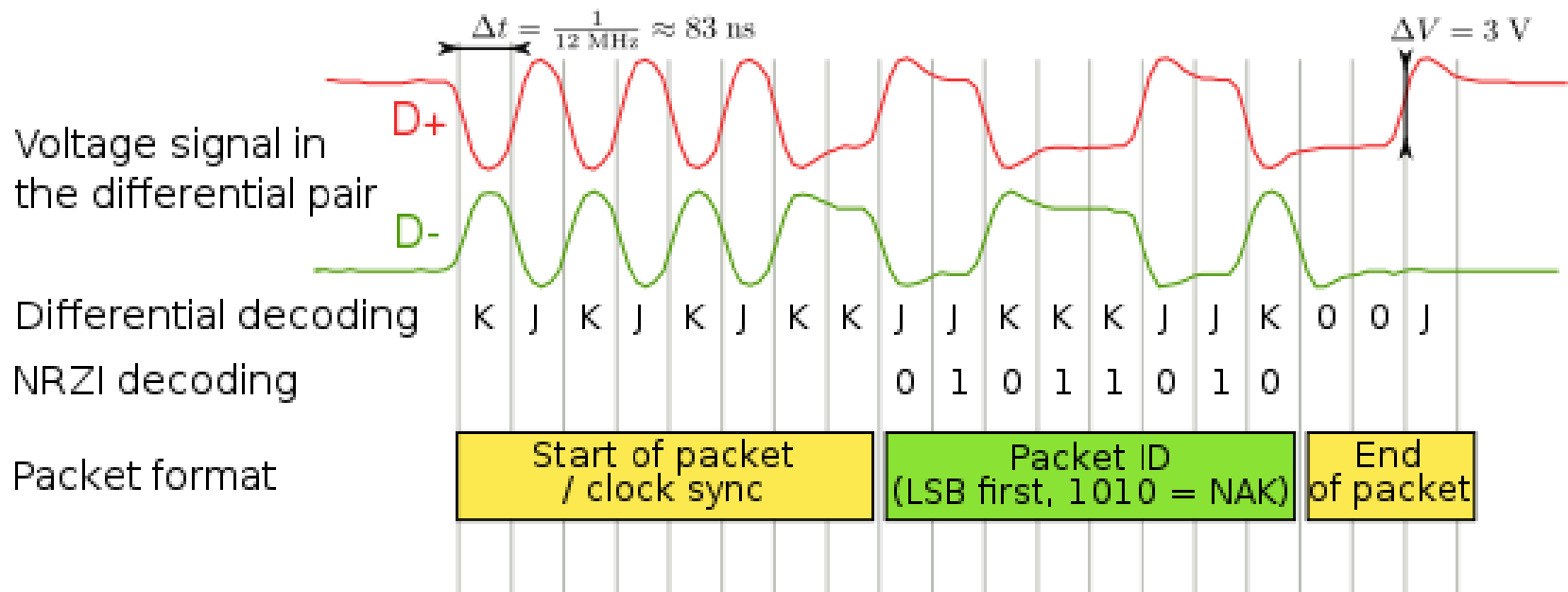
USB usa NRZI (NRZ-S) com bit stuffing

Um bit '0' extra é inserido a cada 6 bit '1' consecutivos



# 3. Aplicações

- USB – Universal Serial Bus



[https://en.wikipedia.org/wiki/USB\\_\(Communications\)#Signaling\\_\(USB\\_PHY\)](https://en.wikipedia.org/wiki/USB_(Communications)#Signaling_(USB_PHY))

Exemplo de trama *Negative Acknowledge* transmitido por dispositivo com USB 1.1 (*full-speed*) quando não há mais dados para ler. Consiste nos seguintes campos: *clock synchronization byte*, *packet type* e *end of packet*





# 3. Aplicações

- USB – Modos de sincronização

- 1) **Asynchronous** — The ADC or DAC are not synced to the host computer's clock at all, operating off a free-running clock local to the device
- 2) **Synchronous** — The device's clock is synced to the USB start-of-frame (SOF) or Bus Interval signals. For instance, this can require syncing an 11.2896 MHz clock to a 1 kHz SOF signal, a large frequency multiplication
- 3) **Adaptive** — The device's clock is synced to the amount of data sent per frame by the host



# 3. Aplicações

- USB – Direção da transmissão
  - 1) **Low-speed (LS)** and **Full-speed (FS)** modes use a single data pair, labelled D+ and D–, in half-duplex. Transmitted signal levels are 0.0–0.3 V for logical low, and 2.8–3.6 V for logical high level. The signal lines are not terminated
  - 2) **High-speed (HS)** mode uses the same wire pair, but with different electrical conventions. Lower signal voltages of –10 to 10 mV for low and 360 to 440 mV for logical high level, and termination of 45  $\Omega$  to ground or 90  $\Omega$  differential to match the data cable impedance



# 3. Aplicações

- USB – Direção da transmissão

**3) SuperSpeed (SS)** adds two additional pairs of shielded twisted wire (and new, mostly compatible expanded connectors). These are dedicated to full-duplex SuperSpeed operation. The SuperSpeed link operates independently from USB 2.0 channel and takes a precedence on connection

Link configuration is performed using LFPS (Low Frequency Periodic Signaling, approximately at 20 MHz frequency), and electrical features include voltage de-emphasis at transmitter side, and adaptive linear equalization on receiver side in order to combat electrical losses in transmission lines, and thus the link introduces the concept of "link training"

**4) SuperSpeed+ (SS+)** uses increased data rate (Gen 2×1 mode) and/or the additional lane in the USB-C connector (Gen 1×2 and Gen 2×2 mode)



# 4. Exercícios (1)

Considere as seguintes afirmações relativas a Sistemas de Comunicação Digital (SCD). Indique a(s) afirmação(ões) verdadeira(s).

- (a) *“A técnica de bit-stuffing aplica-se nos cenários de transmissão série síncrona.”*
- (b) *“A transmissão assíncrona recorre ao uso de um sinal auxiliar exterior e paralelo de CLK..”*
- (c) *“O valor do máximo ritmo binário atingível por um SCD é inversamente proporcional à distância entre os nós de comunicação envolvidos.”*

Considere as seguintes afirmações relativas a Sistemas de Comunicação Digital (SCD). Indique a(s) afirmação(ões) verdadeira(s).

- (a) *“Se o equipamento A tem um interface série e o equipamento B interface paralela, não é possível realizar comunicação entre A e B.”*
- (b) *“Numa rede CAN, a prioridade das mensagens que são enviadas podem ser diferentes.”*
- (c) *“Num SCD, o tempo de bit é proporcional à distância entre os dois nós de comunicação envolvidos.”*



# 4. Exercícios (2)

Considere as seguintes afirmações relativas a Sistemas de Comunicação Digital (SCD). Indique a(s) afirmação(ões) verdadeira(s).

- (a) *“Existem diferentes formas de propagação de luz no interior de uma fibra ótica.”*
- (b) *“Os cabos metálicos apresentam menor atenuação do que uma fibra ótica.”*
- (c) *“Para um determinado conjunto de bits, a sua transmissão série é mais rápida do que a transmissão paralela.”*

Determinado Sistema de Comunicação Digital (SCD) efetua transmissão sequencial de bits, codificados em NRZ-Bipolar, aplicando a técnica de bit de enchimento (*bit-stuffing*). O SCD possui dois nós de comunicação, designados por  $A$  e  $B$ , numa topologia ponto a ponto.

- (a)  $\{1,5\}$  Na especificação do SCD, tem-se que:
  - (i) caso a distância entre  $A$  e  $B$  seja inferior a 40 metros, o ritmo binário é  $R_b = 1$  Mbit/s.
  - (ii) se a distância entre  $A$  e  $B$  for superior a 40 metros, o ritmo binário é inferior a  $R_b = 1$  Mbit/s, sendo inversamente proporcional à distância.

Indique as principais razões pelas quais o valor do ritmo binário adequado depende da distância entre  $A$  e  $B$ .

- (b)  $\{1,5\}$  O SCD funciona em modo série ou em modo paralelo? O SCD transmite em modo síncrono ou em modo assíncrono? Justifique a resposta.



# 4. Exercícios (3)

Considere os dois conjuntos seguintes de afirmações, acerca das formas de transmissão e aplicações. Para cada conjunto, indique a única afirmação que está correta.

(a) {1,25} Primeiro conjunto de três afirmações.

- (i) *Na transmissão série os bits são transmitidos de forma sequencial para comunicação apenas em curta distância, devido o elevado custo dos cabos.*
- (ii) *Na transmissão série são transmitidos vários bits em simultâneo para evitar dificuldades de sincronização em comunicação de longa distância.*
- (iii) *Na transmissão série os bits são transmitidos de forma sequencial para comunicação em curta, média e longa distância.*

(b) {1,25} Segundo conjunto de três afirmações.

- (i) *No sistema CAN são usados cabos do tipo Shielded Twisted Pair com três fios para comunicação full duplex.*
- (ii) *No sistema CAN são usados cabos do tipo Shielded Twisted Pair com dois fios para comunicação half duplex.*
- (iii) *No sistema CAN são usados cabos coaxiais de dois fios para comunicação half duplex.*



# 4. Exercícios (4)

A figura apresenta os SCD *A* e *B*, os quais operam num meio ruidoso. Cada ligação de dados, representada por uma seta, tem tempo de bit  $T_b = 2 \mu s$ , sendo realizada através de meio de transmissão com cabo STP.

- (a) {1,0} Classifique cada SCD quanto a: (i) topologia de ligação; (ii) comunicação série/comunicação paralela; (iii) comunicação síncrona/assíncrona.
- (b) {1,0} Para cada SCD, indique: (i) o valor da frequência de CLK; (ii) o número total de bits transferidos por segundo; (iii) se há vantagem em usar a técnica *bit-stuffing*.
- (c) {1,0} Para o SCD *A*, assuma que  $BER = 10^{-6}$ . Determine o tempo médio esperado entre erros consecutivos,  $T_{err}$ . Considerando que se modifica o meio de transmissão para cabo UTP, o valor de  $T_{err}$  desce, mantém ou sobe?

