# Interfaces Seriais

- Assíncronas:
  - RS232
  - RS422
  - RS485
  - USB
- Síncronas:
  - SPI
  - $I^2C$

# Interface USB

- Comunicação entre dispositivos e computadores
- Desenvolvido por Ajay Bhatt (Intel) em 1995.
- Acronismo de “Universal Serial Bus”
- Desenvolvida para conectar um controlador (*Host*) a vários dispositivos (*devices*)

# Interface USB

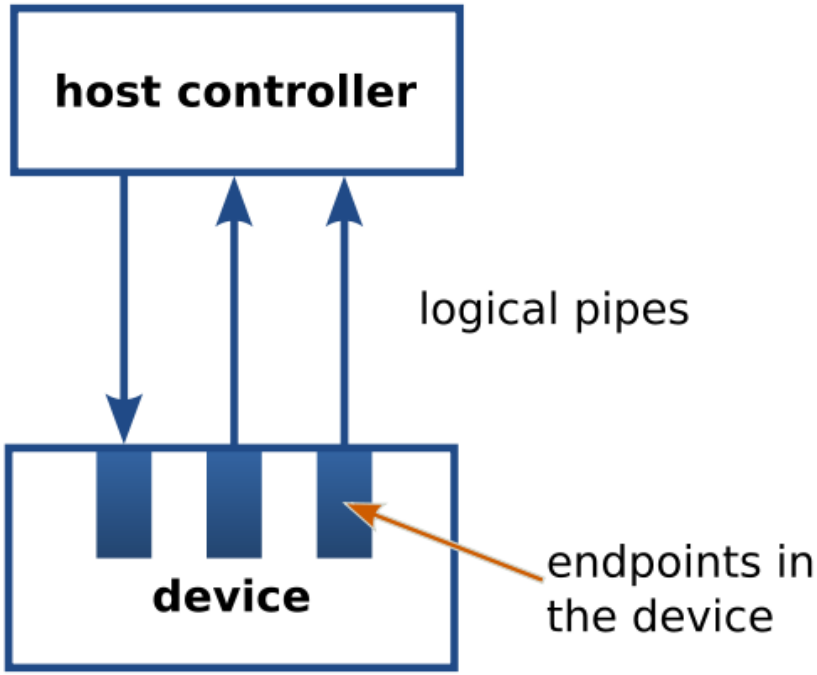
- Evolução:
  - 1.0: 1996; "Low Speed" 1,5 Mbps e “Full Speed” 12 Mbps (100 mA)
  - 1.1: 1998; resolução de problemas na 1.0
  - 2.0: 2000; “High Speed” 480 Mbps (500 mA)
  - 3.0: 2009; “SuperSpeed” 4,8 Gbps, versões elétrica e óptica (900 mA)
  - 3.1: 2013; “SuperSpeed+” 10 Gbps

# Interface USB

- Características principais:
  - Comunicação “half-duplex”: 1 “host” e até 5 “hubs” e 127 dispositivos (3.0: “full-duplex”)
  - Linha balanceada diferencial
  - Opera com tensões de 0 a 3,3 V
  - Taxa de transmissão: de 12 Mbps a 10 Gbps
  - Comprimento máx da linha: 5 m
  - Conectores específicos para USB

# Interface USB

- Arquitetura padrão: “mestre/escravo”
  - Controlador: “host” ou “hub”
  - Dispositivos: possuem uma via independente de comunicação com o controlador (ponto-a-ponto)

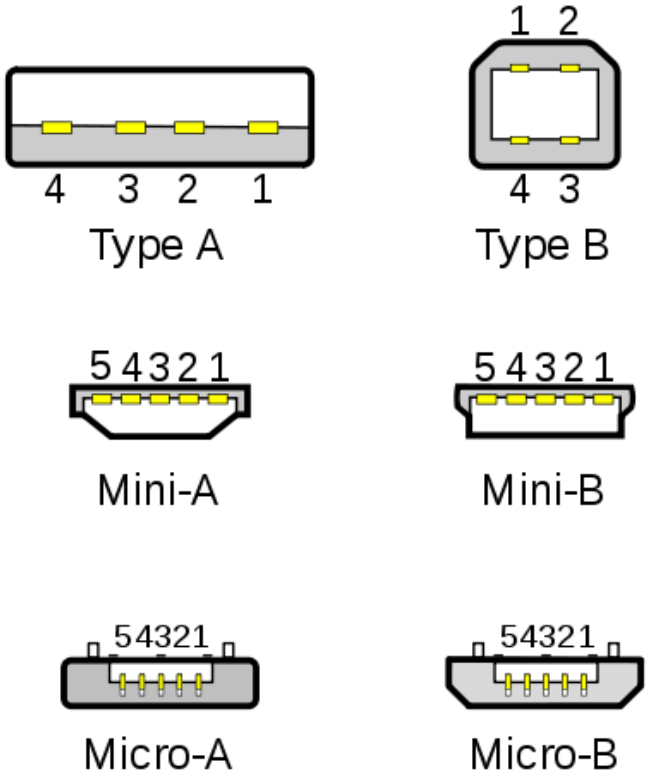


# Interface USB

- Arquitetura OTG: “On-the-go”
  - Permite que um dispositivo possa ser um “host” quando atua como um mestre ou um "periférico" quando atua como um escravo
  - A escolha entre as funções “host” e “periférico” é tratada no início da comunicação
  - Uma impressora é tratada como “periférico” quando conectada a um computador e como“host” quando um “pen-drive” é conectado à mesma

# Interface USB

- Conectores:




**USB 1.x/2.0 standard pinning**

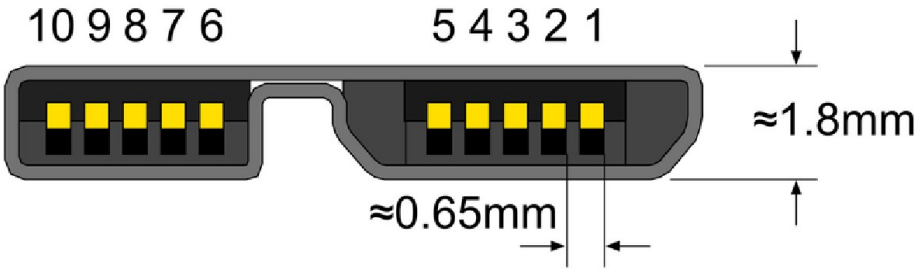
| Pin | Name | Cable color | Description |
|---|---|---|---|
| 1 | VBUS | Red | +5 V |
| 2 | D− | White | Data − |
| 3 | D+ | Green | Data + |
| 4 | GND | Black | Ground |

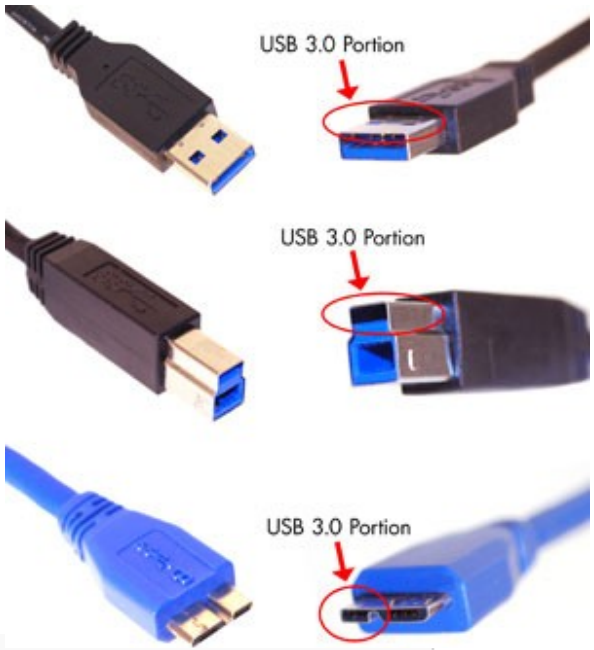
USB 1.x/2.0 Mini/Micro pinning

| Pin | Name | Cable color | Description |
|---|---|---|---|
| 1 | VBUS | Red | +5 V |
| 2 | D− | White | Data − |
| 3 | D+ | Green | Data + |
| 4 | ID | none | A plug: GND<br>B plug: NC |
| 5 | GND | Black | Signal Ground |

# Interface USB

- Conectores: USB 3.0



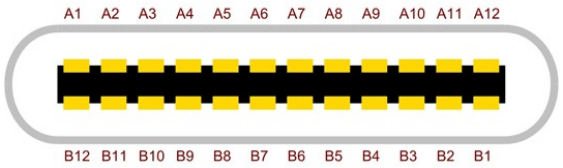




**Micro-B USB 3.0 compatible socket**
USB 2.0 connector on the side of the specification standard micro USB 3.0 connector are aligned pin-minute increase in the standard.
No.1:power (VBUS)
No.2:USB2.0 differential pair (D-)
No.3:USB2.0 differential pair (D+)
No.4:USB OTG ID for identifying lines

No.5:GND
No.6:USB3.0 signal transmission line (-)
No.7:USB3.0 signal transmission line (+)
No.8:GND
No.9:USB3.0 signal receiving line (-)
No.10:USB3.0 signal receiving line (+)

# Interface USB

- Conectores: USB 3.1 - C




- plug reversível
- velocidade até 10Gb/s
- até 5 A de corrente (Vbus)
- pode ser usado para transmissão de video (4K) e áudio digital
-pode ser usado na comunicação Ethernet (1 Gb/s)

| Pin | Name | Description |
|---|---|---|
| A1 | GND | Ground return |
| A2 | SSTXp1 | SuperSpeed TX+ |
| A3 | SSTXn1 | SuperSpeed TX- |
| A4 | V BUS | Bus power |
| A5 | CC1 | Config. channel |
| A6 | Dp1 | USB 2.0 D+ |
| A7 | Dn1 | USB 2.0 D- |
| A8 | SBU1 | Sideband use |
| A9 | V BUS | Bus power |
| A10 | SSRXn2 | SuperSpeed RX- |
| A11 | SSRXp2 | SuperSpeed RX+ |
| A12 | GND | Ground return |

| Pin | Name | Description |
|---|---|---|
| B1 | GND | Ground return |
| B2 | SSRXp1 | SuperSpeed RX+ |
| B3 | SSRXn1 | SuperSpeed RX- |
| B4 | V BUS | Bus power |
| B5 | SBU2 | Sideband use |
| B6 | Dp2 | USB 2.0 D+ |
| B7 | Dn2 | USB 2.0 D- |
| B8 | CC2 | Config. channel |
| B9 | V BUS | Bus power |
| B10 | SSTXn2 | SuperSpeed TX- |
| B11 | SSTXp2 | SuperSpeed TX+ |
| B12 | GND | Ground return |

| Symbol | | Max Speed | Power | Video |
|---|---|---|---|---|
| | USB 2.0 | 480 Mbit/S | No | |
| | USB 3.0 (USB 3.1 Gen 1) | 5 Gbit/S | No | |
| | USB 3.1 (USB 3.1 Gen 2) | 10 Gbit/S | No | |
| | USB 3.0 (USB 3.1 Gen 1) | 5 Gbit/S | Yes | |
| | USB 3.1 (USB 3.1 Gen 2) | 10 Gbit/S | Yes | |
| | Thunderbolt 3 | 40 Gbit/S | Yes | Yes |
| | DP Alt mode | This symbol will be found next to the above symbols to identify that this port supports video | | Yes |

# Interface USB

- Níveis de tensão: 0 a 3,6 V
- Bit “1”:
  - D+: 1,9 a 3,6 V
  - D-: 0 a 1,7 V

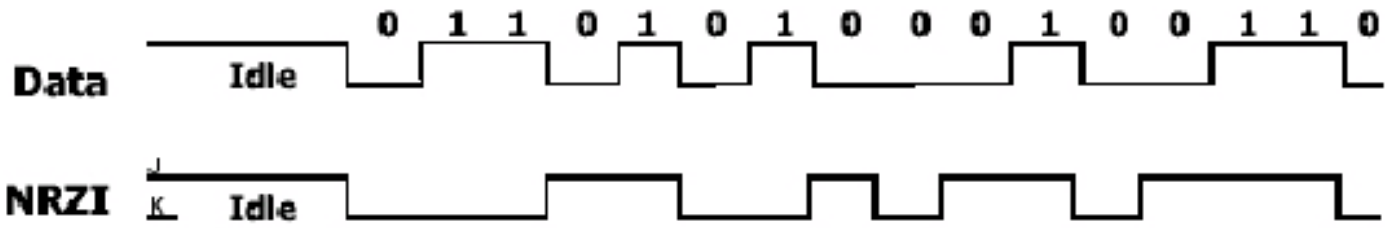
$\Delta V_{min}$=+200 mV

- Bit “0”:
  - D+: 0 a 1,7 V
  - D-: 1,9 a 3,6 V

$\Delta V_{min}$=-200 mV

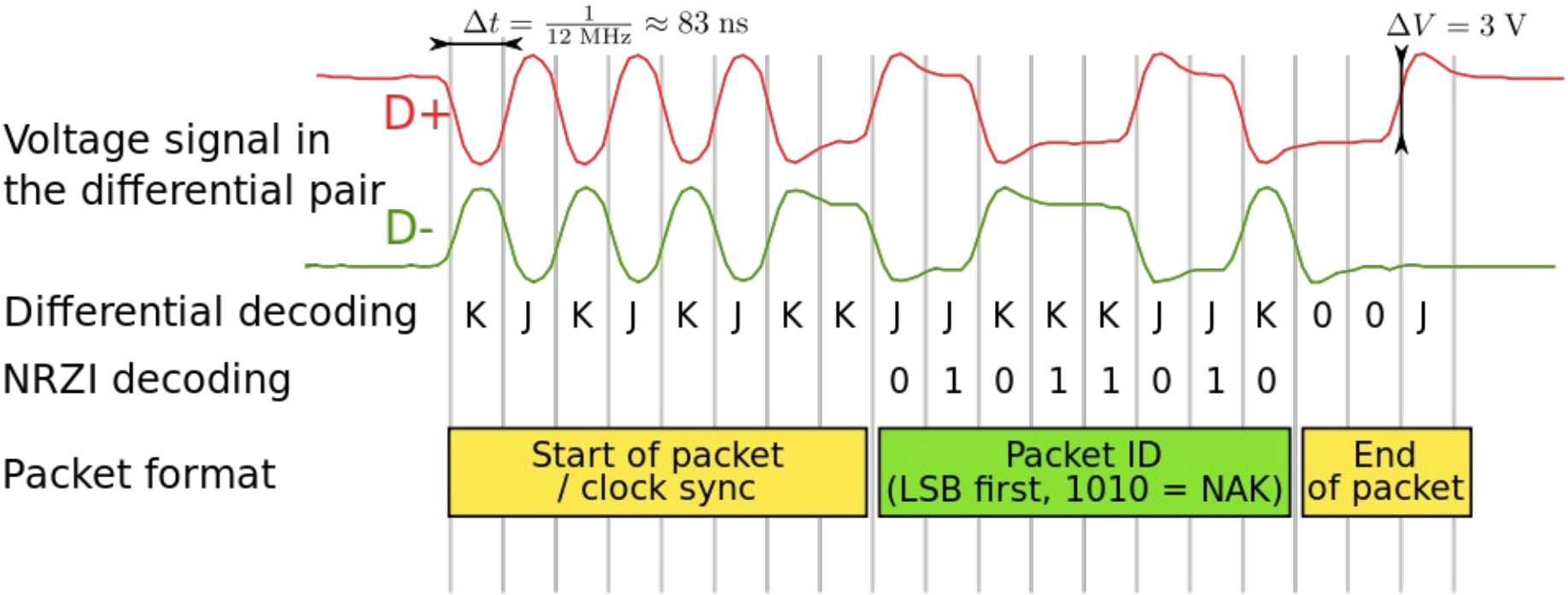
# Interface USB

- Codificação dos dados:
  - Codificação NRZI (Non Retourn to Zero Inverted)
    - Dado “0”: transição de nível
    - Dado “1”: mantém nível anterior
  - “Bit-stuffing”: um zero é inserido a cada 6 “1” consecutivos (evita perda de sincronismo)



# Interface USB

- Codificação dos dados:



# Interface USB

- Protocolo de comunicação:
- Varios níveis de protocolos pré-definidos
- Dados enviados sob a forma de pacotes:
  - # Pacote de símbolos
  - # Pacote de dados
  - # Pacote de status
- Os pacotes enviados pelo “host” contém:
  - Informação de endereço
  - comandos
  - dados
  - Verificação de erros (CRC)

# Interface USB

- Protocolo de comunicação:
- Descritores da USB
- Hierarquia: informação do “host”
  - O que é o dispositivo
  - Fabricante
  - Que versão USB ele suporta
  - Quais os modos de configuração
  - Número e tipo de pontos finais
  - Etc.

# Interface USB

- Classes:
  - Human Interface Device (HID): mouse, teclado, etc
  - Audio Class: MP3 player, CD player
  - Communications Device Class: telefones
  - HUB Class
  - Imaging Class: scanner, aparelhos fotográficos
  - Mass Storage: “pen drives”
  - Physical Interface Devices (PID)
  - Printer Class: impressoras
  - Smart Card Class
  - Test & Measurement Class
  - Video Class

# Interface USB

- Tipos de transferência:
- Por interrupção: transferência apenas quando solicitado; até 512 bytes
- Isócrona: transferência intermitente de dados por pequenos blocos (musica, video); até 1k bytes
- Bulk: transferência de blocos de até 1 Mbytes (grandes arquivos)

# Interface USB

- Conversores Serial - USB:
  - Adaptadores de protocolo usados para converter sinais de dados USB para outros padrões de comunicação serial
  - Conversão bidirecional
  - Simplifica o desenvolvimento a nivel de *hardware* e *software*
  - Padrões de conversão mais comuns: RS232, RS485, RS422 ou TTL.

# Interface USB

- CI's Conversores USB:
  - FT232R – conversor bidirecional USB para RS232
  - FT245R – conversor bidirecional USB para barramento paralelo de 8 bits
  - PL-2303 – conversor bidirecional USB para RS232
  - CP2110 – conversor bidirecional USB para RS232
  - CP2112 – conversor bidirecional USB para $I^2C$

# Interfaces USB

- Referências USB:
- http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus
- http://www.faculty.iu-bremen.de/birk/lectures/PC101-2003/14usb/FINAL %20VERSION/usb_protocol.html
- www.usb.org/developers/devclass_docs/HID1_11.pdf

# Interfaces Seriais

- Assíncronas:
  - RS232
  - RS422
  - RS485
  - USB
- Síncronas:
  - SPI
  - $I^2C$

# Interface SPI

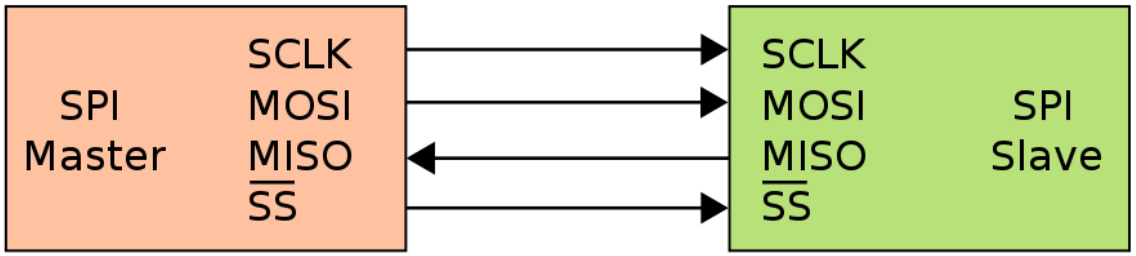
- Padronização para comunicação serial entre CI's (em uma mesma PCI)
- Desenvolvido pela Motorola em 2001
- Acronismo de “Serial Peripheral Interface Bus”
- Conecta um controlador (*master*) a vários CI's (*slave*)
- Comunicação síncrona

# Interface SPI

- Características principais:
  - Comunicação “full duplex”ponto a ponto ou multi-ponto (multi-point): até 32 CI's (slaves)
  - Linha não balanceada
  - Opera com tensões de 0 e 5 V (compatível com 3,3 V)
  - Taxa de transmissão: até 70 Mbps
  - Comprimento máx da linha: 10 cm

# Interface SPI

- Conexões:
- SCLK: clock serial
- MOSI: dado saindo do master para o slave
- MISO: dado saindo do slave para o master
- SS: seletor de “slave” (chip selector)



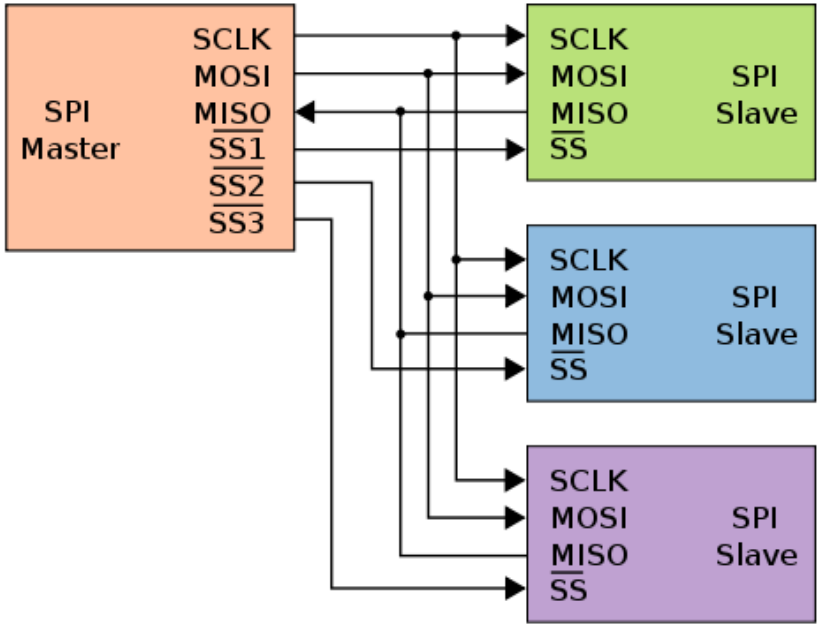
# Interface SPI

- Nomenclaturas alternativas
- SCK; CLK: Serial Clock (output from master)
- SDI; DI, SI: Serial Data In; Data In, Serial In
- SDO; DO, SO: Serial Data Out; Data Out, Serial Out
- nCS, CS, CSB, CSN, nSS, STE: Chip Select, Slave Transmit Enable (active low, output from master)

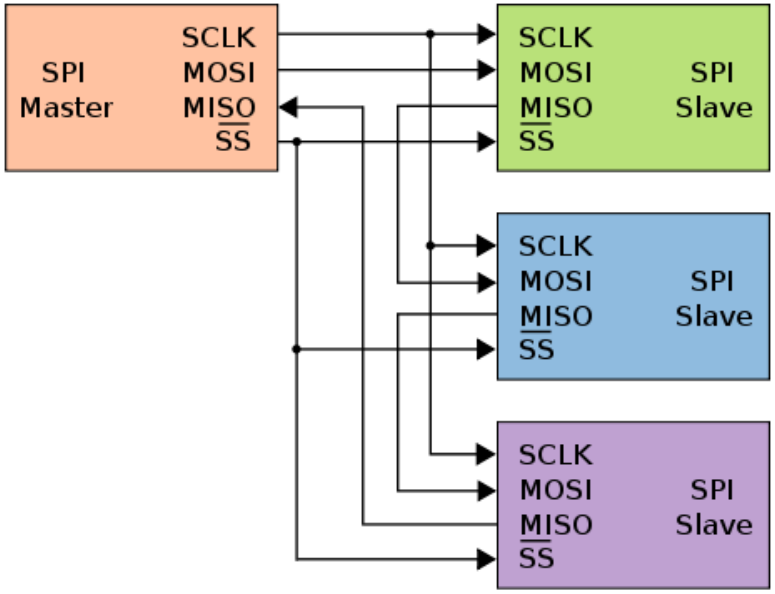
# Interface SPI

- Conexões:

Master e vários “slaves”




Daisy-chain: 1 master and cooperative slaves

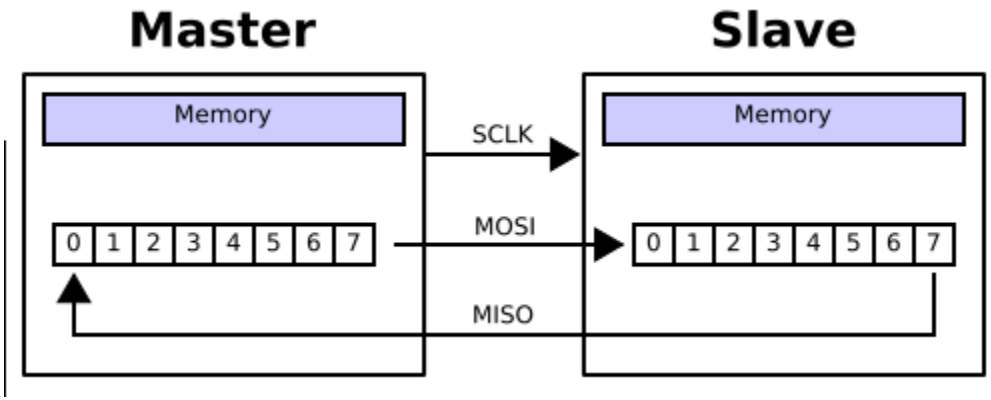


# Interface SPI

- O CI “master” define inicialmente a frequência, polaridade e fase do clock
- Comunicação bidirecional simultânea:
  - o “master” envia um bit na linha MOSI; o “slave” faz a leitura
  - o “slave” envia um bit na linha MISO; o “master” faz a leitura

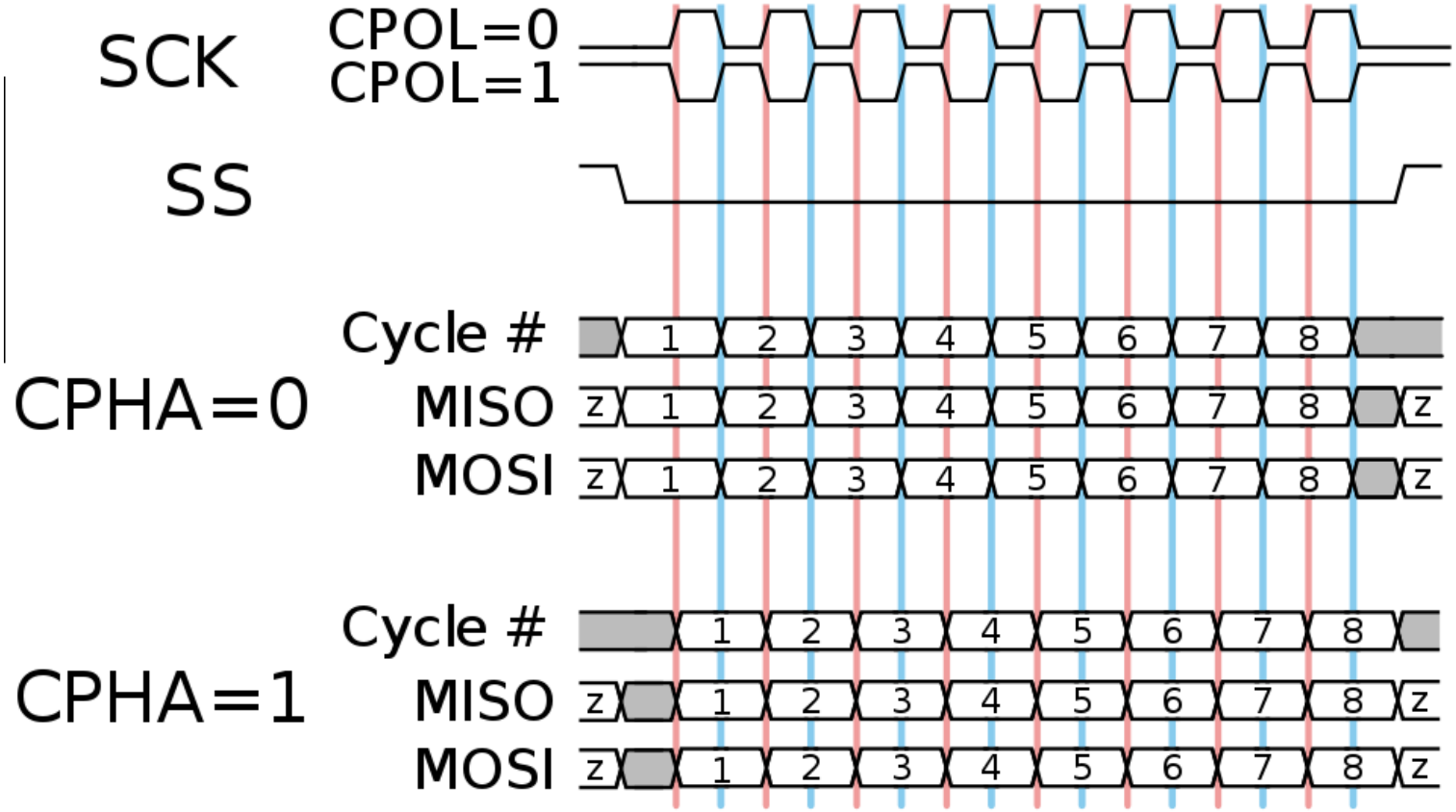
# Interface SPI

- Dados enviados em sequências de 8 (padrão), 12 ou 16 bits
- Início definido pela linha de SS (não há bit de start ou stop)
- Apenas 1 slave é acionado a cada tempo (os demais “slaves” permanecem desativados)



# Interface SPI

- Polaridade e Fases do clock:



# Interface SPI

- Polaridade e Fases do clock:

**CPOL=0 : valor de referência do clock é “0”**

CPHA=0 : dado lido na subida do clock ($0 \rightarrow 1$); dado propagado na descida do clock ($1 \rightarrow 0$).

CPHA=1 : dado lido na descida do clock ($1 \rightarrow 0$); dado propagado na subida do clock ($0 \rightarrow 1$).

**CPOL=1 : valor de referência do clock é “1”**

CPHA=0 : dado lido na descida do clock ($1 \rightarrow 0$); dado propagado na subida do clock ($0 \rightarrow 1$).

CPHA=1 : dado lido na subida do clock ($0 \rightarrow 1$); dado propagado na descida do clock ($1 \rightarrow 0$).

# Interface I²C

- Padronização para comunicação serial entre CI's (em uma mesma PCI)
- Desenvolvido pela Philips em 1990
- Acronismo de “Inter Integrated Circuit”
- Conecta um controlador (*master*) a vários CI's (*slave*)
- Comunicação síncrona

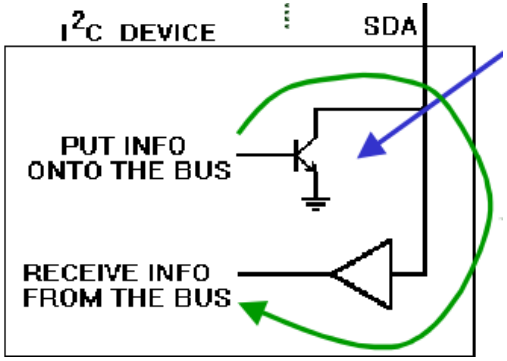
# Interface I²C

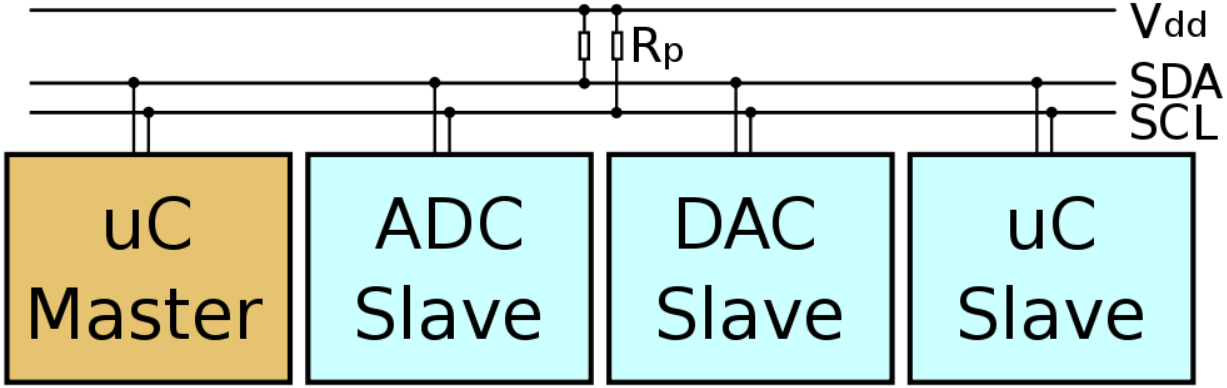
- Características principais:
  - Comunicação “half duplex”ponto a ponto ou multi-ponto (multi-point): até 112 CI's (slaves)
  - Linha não balanceada
  - Opera com tensões de 0 e 5 V (compatível com 3,3 V)
  - Taxa de transmissão: até 3,4 Mbps
  - Comprimento máx da linha: 20 cm

# Interface I²C

- Conexões:
- SCL: clock serial
- SDA: dado serial

Circuito interno

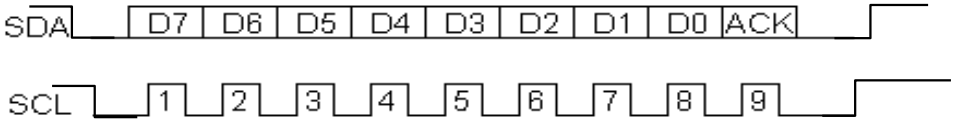


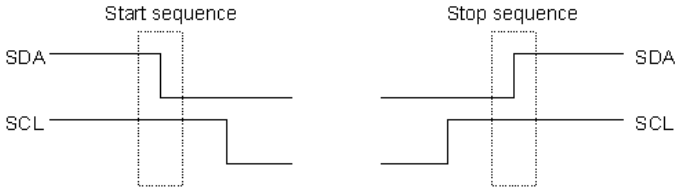

Obs: resistores de “pull-up” $R_P$ são necessários pois os circuitos de saída são “coletor aberto” (1 kΩ a 10 kΩ)

# Interface I²C

- Dados enviados em sequências de 8 bits iniciando pelo MSB, mais um bit de ACK ao final da recepção, totalizando 9 pulsos de clock:



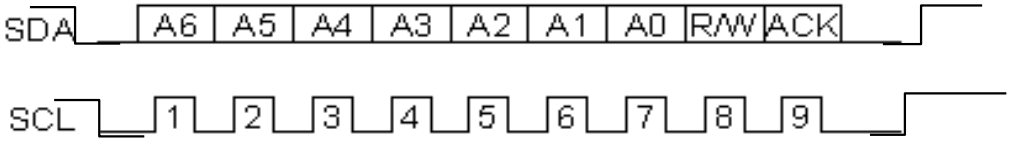

- A sequência é iniciada por uma condição de “start” e finalizada com uma condição de “stop”




- O bit de ACK é enviado ao “master” pelo “slave”, indicando correta recepção do comando (“0”: OK; “1”: ocupado ou comando não recebido)
- Apenas 1 “slave” é acionado a cada tempo (os demais permanecem desativados)

# Interface I²C

- A primeira sequência enviada pelo “master” corresponde ao endereço do “slave”:



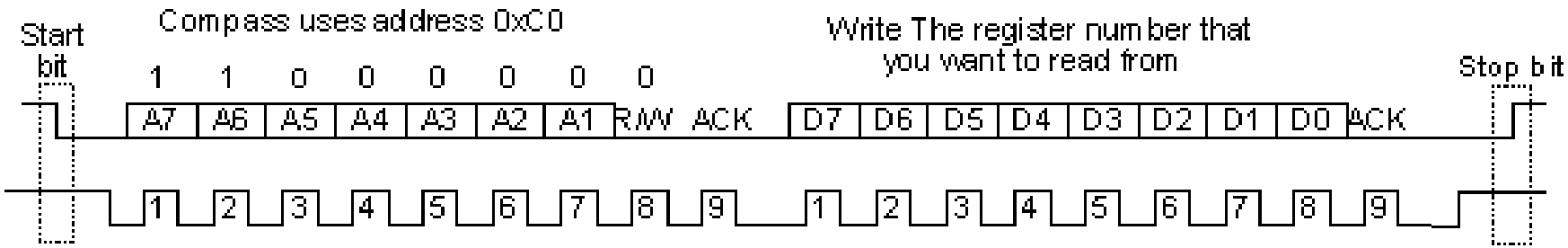

- Os 7 primeiros bits da sequência correspondem ao endereço de 0 a 127
- O oitavo bit da sequência corresponde a:
  - “0”: “master” escreve no “slave”
  - “1”: “master” lê do “slave”
- O nono bit da sequência corresponde ao ACK

# Interface I²C

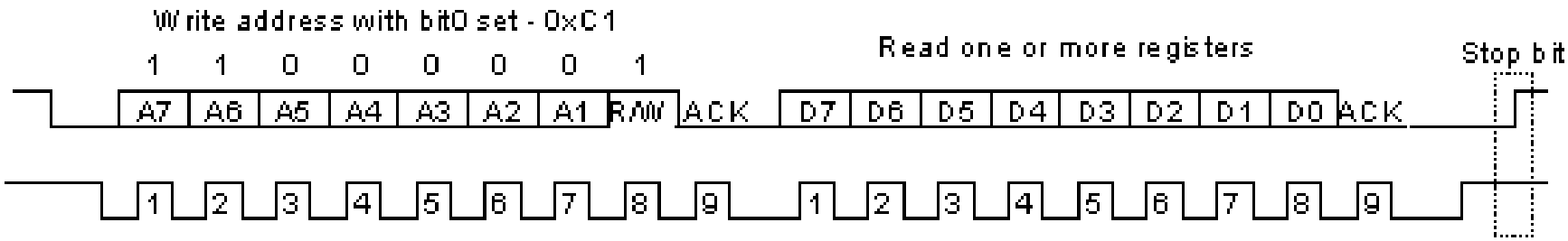
- 3 tipos de mensagens básicas
  - Mensagem única de escrita em um “slave” por um “master”;
  - Mensagem única de leitura de um “slave” por um “master”;
  - Mensagem combinada de leitura/escrita de um ou mais “slaves” por um “master”

# Interface I²C

## Sequência de escrita:




## Sequência de leitura:



# Interfaces SPI e I²C

- Referências SPI:
- http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus
- www.intersil.com/data/an/an1340.pdf
- ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/spi.pdf

- Referências I²C:
- http://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C
- http://www.robot-electronics.co.uk/acatalog/I2C_Tutorial.html
- www.nxp.com/documents/application_note/AN10216.pdf

# Interfaces SPI e I²C

Exercício 2.4

Seja um magnetômetro de 3 eixos (X, Y, Z) com saída digitalizada em 8 bits conectado a um microcontrolador através de uma interface I²C operando com um *clock* de 100 kHz (conjunto de dados em 8 bits). Para a leitura de cada eixo é necessário escrever no magnetômetro um byte contendo o endereço do eixo a ser lido (X=0x00; Y=0x01; Z=0x02). Considere que o magnetômetro possui endereço 0x3C (hexadecimal).

a) Desenhe o diagrama de conexões entre os dois CI's

b) Desenhe um diagrama de tempos para efetuar a leitura do campo magnético no eixo Y, indicando o sinal SDA, tendo como referência o sinal SCL. Considere a numeração dos pulsos SCL como contagem dos ciclos de *clock*. O dado lido é 0x0A.

c) Determine a máxima taxa de amostragem possível para a leitura dos 3 eixos. Considere que é necessário um tempo equivalente a 2 períodos de *clock* entre cada mensagem enviada ou recebida.

# Interfaces SPI e I²C

Exercício 2.5

Seja um conversor A/D de 12 bits conectado a um microcontrolador através de uma interface SPI operando com um clock de 20 MHz (conjunto de dados em 8 bits):

a) Desenhe o diagrama de conexões entre os dois CI's

b) Desenhe um diagrama de tempos para a leitura do resultado de uma conversão do A/D, indicando os sinais SCLK, MOSI, MISO, SS. Assuma os dois componentes operando no modo CPOL=0 e CPHA=0 e que o A/D envia os 4 bits mais significativos no primeiro Byte o os 8 menos significativos no segundo Byte. Considere o dado de saída do A/D: 2100.

c) Determine a máxima taxa de amostragem possível para o sistema, considerando desprezível o tempo entre duas conversões consecutivas.