



# *Mikroprocesorová technika*

Prednáška č. 9

**Sériové komunikačné rozhranie I2C**

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE**  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY  
KATEDRA RÁDIOELEKTRONIKY  
Laboratórium DSP a mikroradičov



## :: Zbernica I2C

- skratka pre zbernicu “Inter-Integrated Circuit”
- protokol a zbernicu vyvinula firma Philips Semiconductor pôvodne pre svoje TV prijímače v roku 1980 za účelom komunikácie medzi IO na jednej DPS pri použití minimálneho množstva pinov
- špecifikácia zbernice I2C je založená na jednoduchých hardvérových štandardoch (nie sú potrebné špeciálne konektory alebo kabeláž) a rovnako jednoduchého softvérového štandardu pre komunikačný protokol
- obvody, ktoré používajú I2C protokol zahŕňajú pamäte EEPROM a RAM, senzory teploty, expandéry portov, hodiny reálneho času, atď
- používa sa tiež ako riadiaca zbernica v obvodoch spracovania signálov, ktoré majú oddelenú dátovú zbernicu, napr. RF tunery, video dekodery a enkodery a audio procesory a kodeky
- zbernica I2C môže pracovať pri troch prenosových rýchlostiach:
  - Slow (pod 100 Kbps)
  - Fast (400 Kbps)
  - High-speed (3.4 Mbps) – protokol označený ako I2C v.2.0
- vzdialenosť komunikujúcich zariadení je limitovaná z dôvodu udržania komunikačnej rýchlosti na približne 4m (max. kapacitancia prenosového vedenia je 400pF)



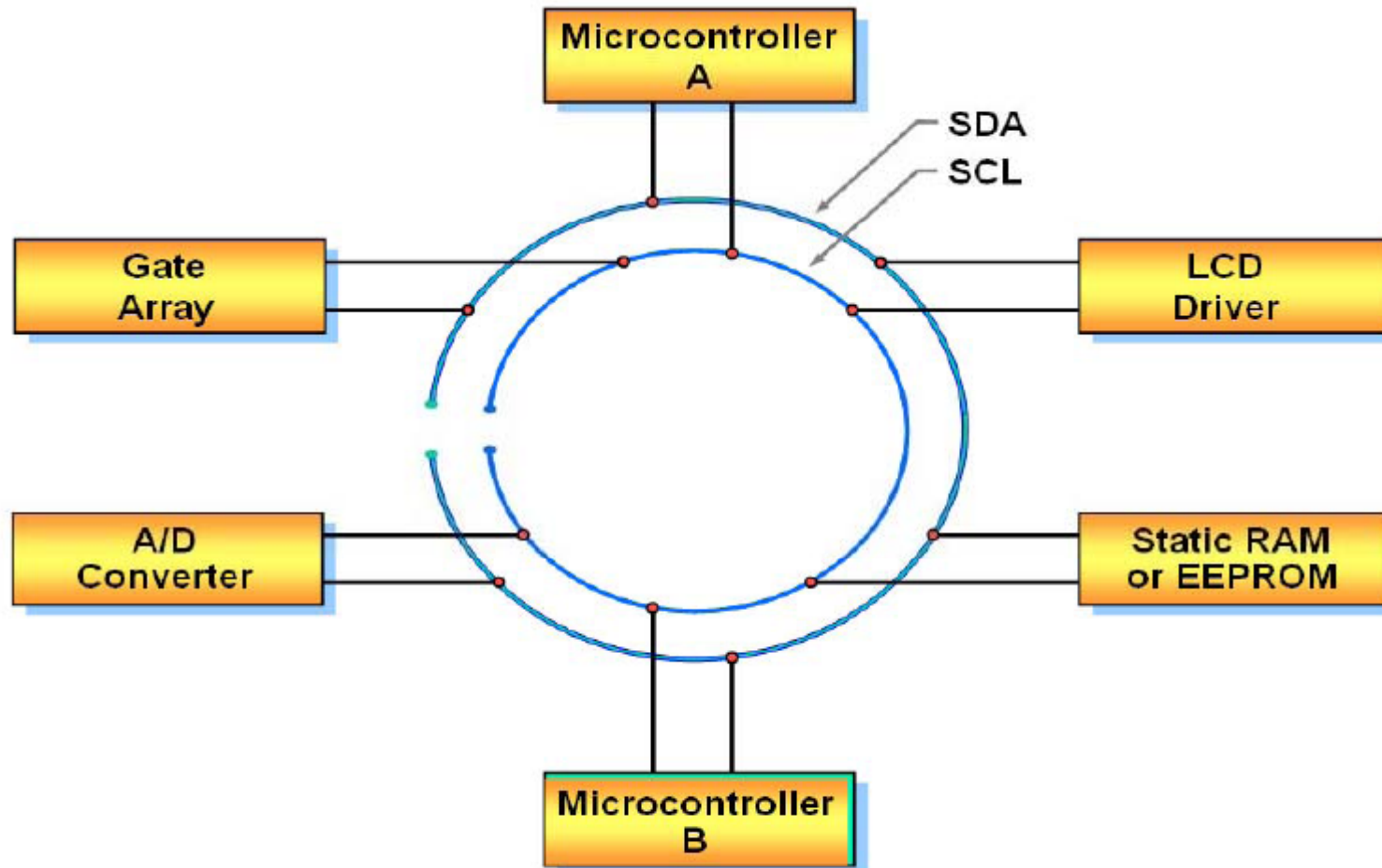
## :: Zbernica I2C



- zbernica používa dva vodiče – Serial Data (SDA) a Serial Clock (SCL)
- synchronná (signál SCL), multimasterová (aj slave môže byť konfigurovaný tak, aby mohol začať komunikáciu) zbernica s polovičným duplexom
- každý IO na zbernici je identifikovaný svojou adresou, ktorá je v rámci siete jedinečná, preto zbernica I2C nevyžaduje signál CS (chip select) ani ďalšiu logiku
- linky SDA aj SCL sú pripojené na napájacie napätie pomocou tzv. pull-up rezistorov
- každé zariadenie na zbernici môže stiahnuť danú linku na nízku úroveň pomocou tranzistorov s otvoreným kolektorom

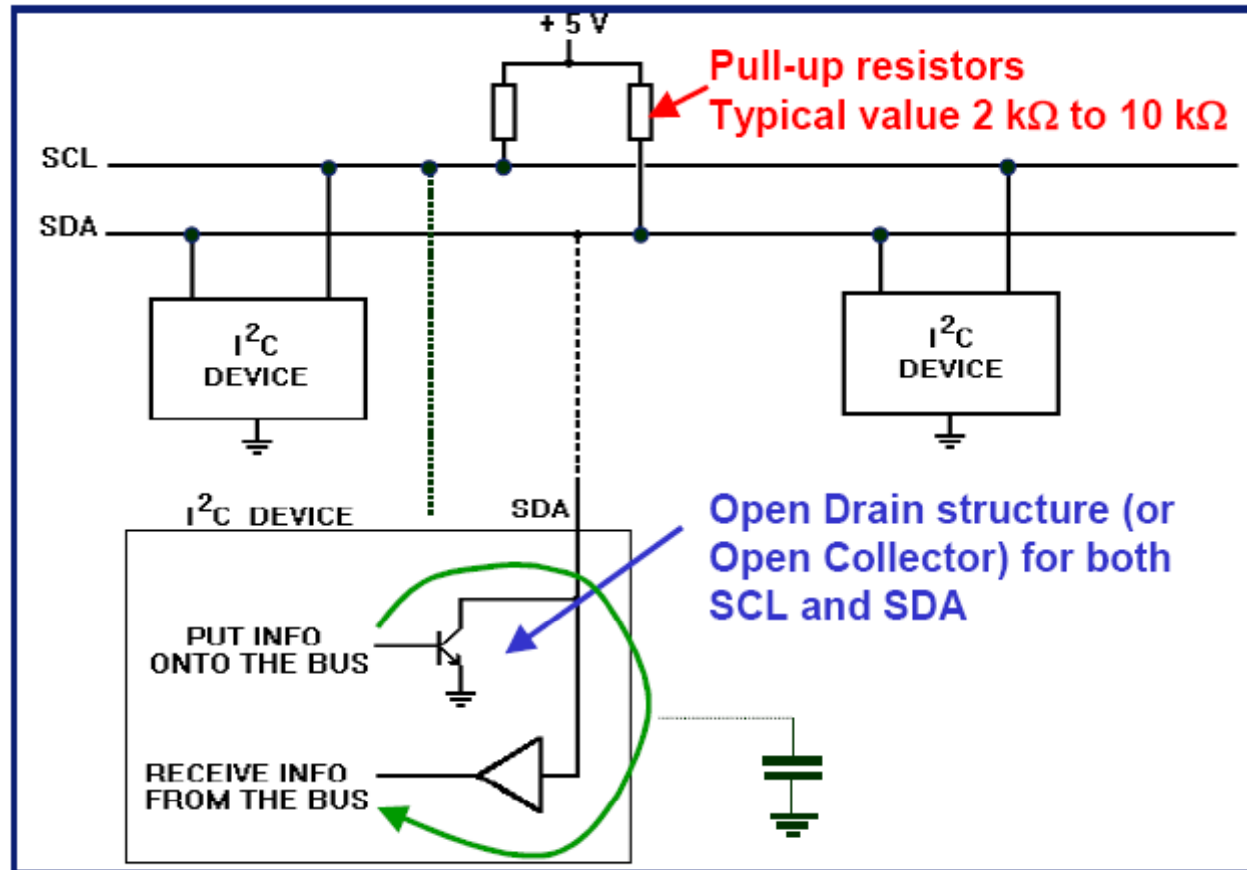


## :: Topológia zbernice I2C





## :: Hardvérová architektúra I<sup>2</sup>C

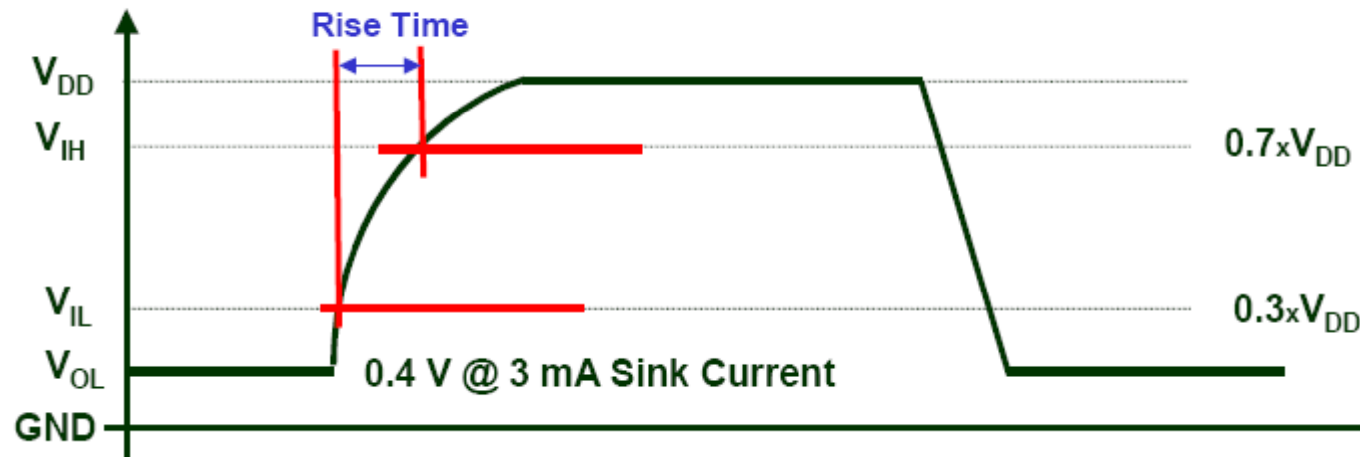




## :: I2C v číslech

S T U . . .  
 . . . . .  
 . F E I .  
 . . . . .

	Standard-Mode	Fast-Mode	High-Speed-Mode	
Bit Rate (kbits/s)	0 to 100	0 to 400	0 to 1700	0 to 3400
Max Cap Load (pF)	400	400	400	100
Rise time (ns)	1000	300	160	80
Spike Filtered (ns)	N/A	50	10	
Address Bits	7 and 10	7 and 10	7 and 10	





## :: I2C - prenos dát

### Master:

- začína a končí dátový prenos generovaním štart bitu a stop bitu
- generuje hodinový signál
- vysiela adresu podriadeného IO, pre ktorý budú dáta určené
- určuje smer prenosu dát

### Slave:

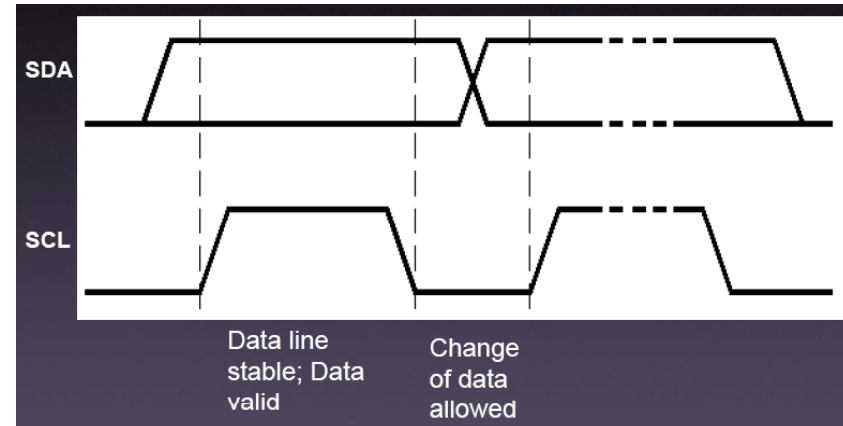
- odpovedá iba v prípade, že rozpoznal svoju adresu
- časovanie prenosu je riadené hodinovým signálom

### Prenos bitu

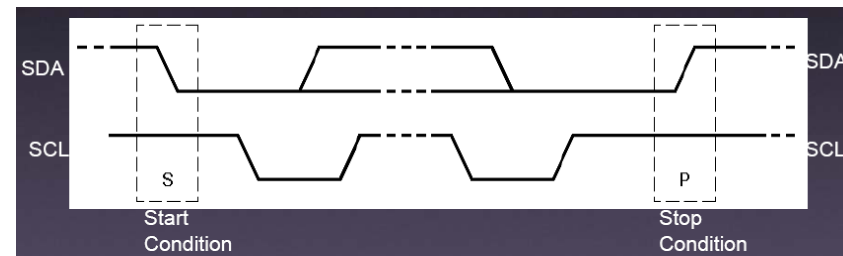
- počas dátového prenosu sa stav na dátovom vodiči mení iba keď je hodinový signál na nízkej úrovni

### Štart bit a stop bit

- začiatok alebo koniec prenosu je definovaný prechodom dátovej linky z vysokej na nízku úroveň (štart bit) alebo z nízkej na vysokú úroveň (stop bit) kým hodinový signál je na vysokej úrovni
- po štart bite považujú všetky zariadenia zbernicu za zaneprázdnenú
- po príchode stop bitu čakajú zariadenia istý čas a potom považujú zbernicu za voľnú



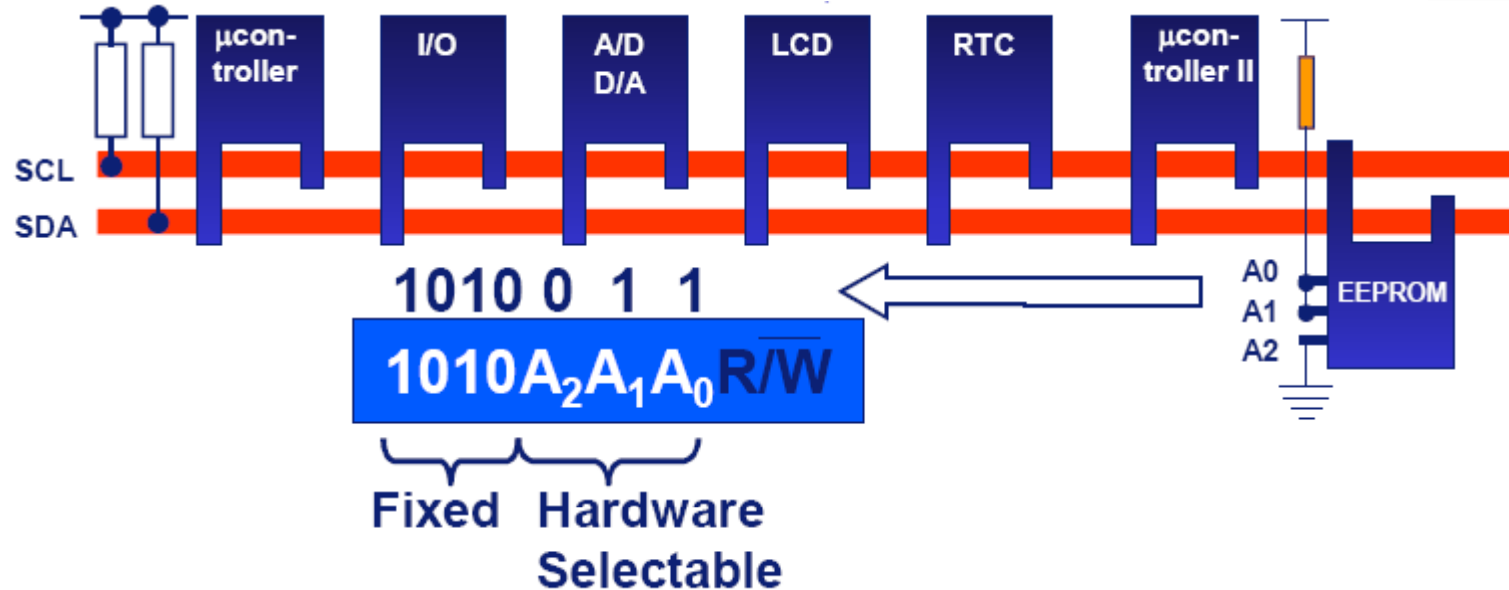
Prenos bitu



Štart bit a stop bit



## :: I2C - adresovanie



- každé zariadenie má jedinečnú 7 (alebo 10) bitovú adresu, 7-bitové adresy sú už všetky vyčerpané
- periférne IO majú často fixnú (prideluje komisia pre I2C) a programovateľnú (hardvérovo vyhradenými pinmi) časť svojej adresy
- programovateľná časť adresy umožňuje použiť na danej zbernici viacero rovnakých IO
- adresy začínajúce číslami 0000 alebo 1111 majú špeciálne funkcie
- 0000000 – broadcast, adresa všeobecného volania (General Call Address)
- 0000001 – adresovanie v CBUS (protokol pre automatizáciu v domácnosti a budovách)
- 1111XXX – adresové rozšírenie
- 1111111 – adresové rozšírenie – ďalšie bajty sú aktuálna adresa
- celkovo teda môžeme pripojiť na zbernicu pri 7-bitovom adresovaní 112 IO



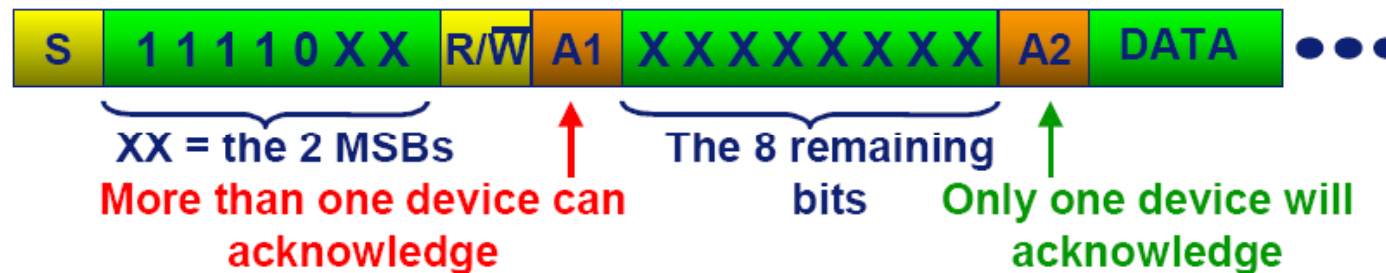


## :: I2C – prvý bajt v dátovom prenose

### • 7-bit addressing



### • 10-bit addressing

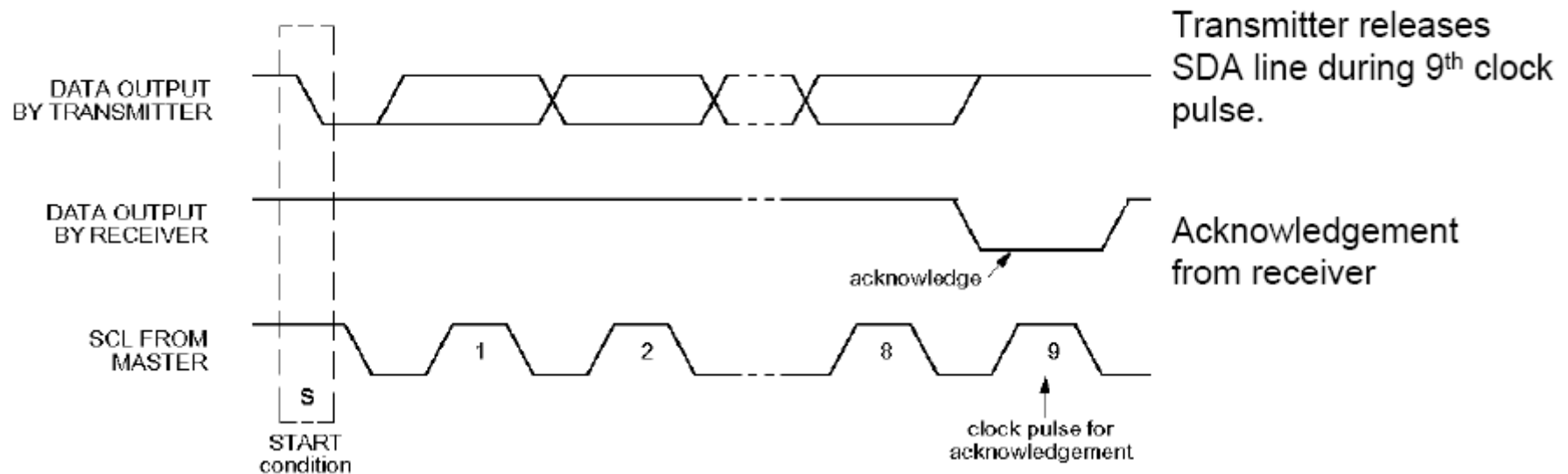


- prvý bajt po štart bite určuje adresovaný IO
- výnimky z pravidla:
  - adresa všeobecného volania (sú adresované všetky IO): 0000 000 + R/W = 0
  - 10-bitové adresovanie: 1111 0XX + R/W = XXX
- R/W bit:
  - 0 – master bude zapisovať dáta do podriadeného IO
  - 1 – master bude čítať dáta z podriadeného IO
- ACK bit: generuje ho adresovaný IO



## :: I2C – prenos dát

S T U . .  
. . . . .  
. F E I .  
. . . . .

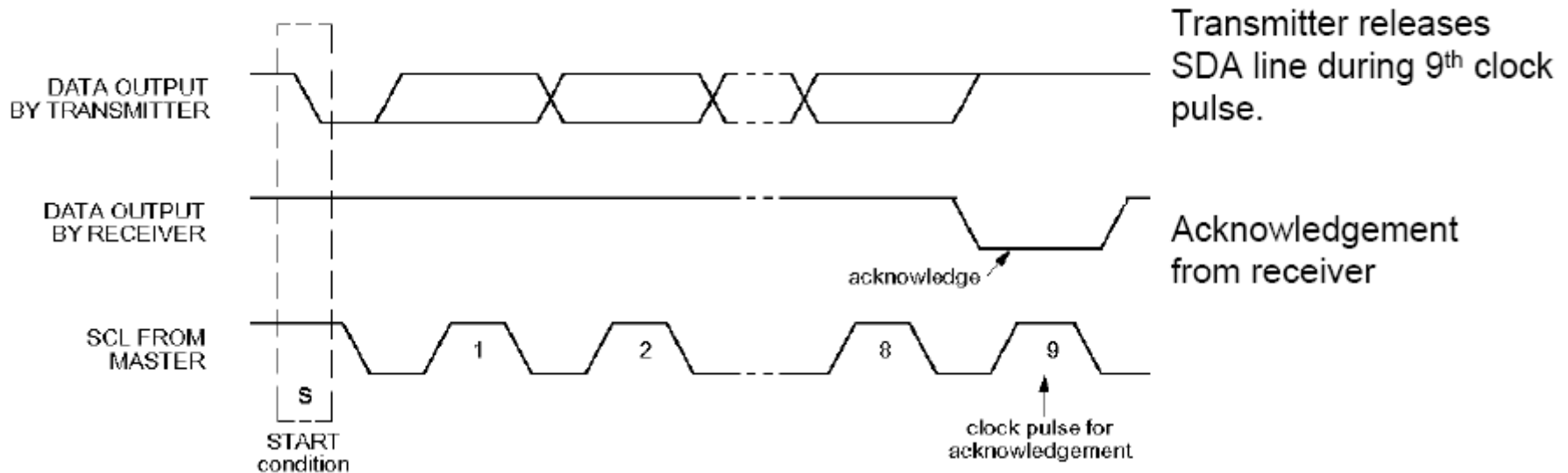


### Postupnosť pri prenose dát:

- master generuje štart bit a hodinový signál
- master posíla adresu podriadeného IO + generuje bit R/W
- podriadený IO potvrdí prijatie bitom ACK
- vysielačie zariadenie (master alebo slave) vyšle jeden bajt dát
- prijímacie zariadenie (master alebo slave) vloží bit ACK, čím potvrdí prijatie bajtu
- opakujú sa predchádzajúce dva body ak je potrebné vyslať viac bajtov
- pri zápise (master vysiela), master vloží stop bit po prenesení posledného bajtu dát
- pri prijímaní (master prijíma), master nepotvrdzuje posledný bajt bitom ACK, ale priamo vloží stop bit, aby oznámil podriadenému IO, že prenos bol dokončený.



## :: I2C – prenos dát



### Potvrdenie príjmu (Acknowledge)

- vykonáva sa počas deviateho impulzu hodinového signálu a je povinný
- vysielajúce zariadenie uvoľní linku SDA (umožní jej „plávať“ na vysokej úrovni)
- prijímajúce zariadenie stiahne linku SDA na nízku úroveň (linka SCL musí byť na vysokej úrovni)
- ak nedošlo k potvrdeniu, prenos je ukončený

### Natiahnutie hodín (Clock Stretching)

- keď slave (prijímač) potrebuje viac času na spracovanie bitu alebo práve vykonáva iné funkcie, môže stiahnuť a podržať SCL na nízkej úrovni. Master potom čaká kým slave uvoľní linku SCL predtým, než vyšle ďalší bit.



## :: I2C – spôsoby implementácie

**Existujú tri rôzne možnosti ako implementovať zbernicu I2C v systéme:**

- mikroradič s integrovaným radičom a rozhraním I2C
  - *bitovo orientovaný – k prerušeniu CPU dôjde po každom prenose bitu (pr.: 87LPC76x)*
  - *bajtovo orientovaný – k prerušeniu CPU dochádza po každom prenose bajtu (pr.: 87C552)*
- akýkoľvek mikroradič (metóda „Bit Banging“)
  - *protokol I2C môžeme emulovať bit po bite prostredníctvom akéhokoľvek obojsmerného portu s otvorenými kolektormi*
- mikroradič v súčinnosti s radičom zbernice
  - *napr. PCF8584 alebo PCA9564 (konvertor paralelného rozhrania na I2C rozhranie)*



## :: I2C – výhody a nevýhody



### **Výhody zbernice I2C:**

- vhodná pre medziobvodovú komunikáciu (on-board devices), ak ku komunikácii dochádza len občas
- jednoduché prepojenie viacerých zariadení z dôvodu adresovania
- cena a zložitosť nerastie s počtom pripojených zariadení

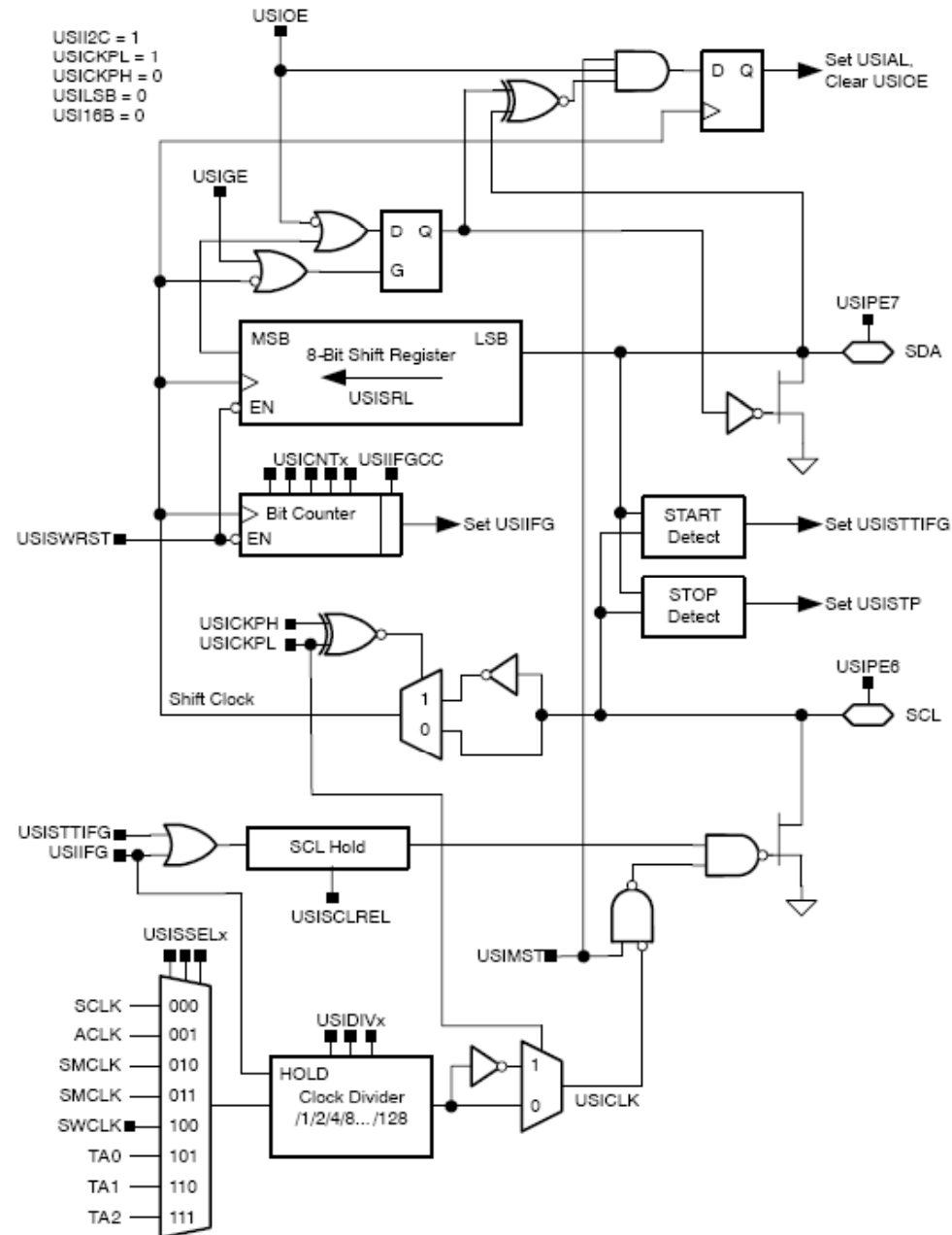
### **Nevýhody zbernice I2C:**

- zložitejšie softvérové riešenie, než napr. v prípade SPI
- nízke prenosové rýchlosti



# :: MSP430, modul USI v režime I2C

S T U . .  
 . . . . .  
 . F E I .  
 . . . . .





## :: Otázky ku skúške



- 1) Uvedte oblasti použitia zbernice I2C, jej obmedzenia a komunikačné rýchlosti!
- 2) Uvedte topológiu a typ zbernice I2C, jej výhody a nevýhody!
- 3) Nakreslite a vysvetlite hardvérové riešenie vývodov periférneho modulu I2C a zdôvodnite, prečo sa využíva daný spôsob prevedenia vývodov!
- 4) Opíšte prenos dát prostredníctvom zbernice I2C, nakreslite prenos bitu (adresového alebo dátového), štart bitu a stop bitu!
- 5) Uvedte principiálne zloženie adresového bajtu obvodu na zbernici I2C a výhodu takéhoto zloženia!
- 6) Opíšte dva používané typy adresovania na zbernici I2C!
- 7) Akým spôsobom potvrdzujú zariadenia na zbernici I2C prijatie/odoslanie adresy alebo bajtu? Uvedte rozdiel v mechanizme potvrdzovania v prípade dvoch používaných metód adresovania!
- 8) Uvedte kedy je výhodná vlastnosť natiahnutia hodín (clock stretching) zbernice I2C!



S T U . .  
. . . . .  
. F E I .  
. . . . .

**Koniec prednášky č. 9**

**Sériové komunikačné rozhranie I2C**