

# Szenzorhálózatok

Mica mote-ok hardware felépítése

2011. szeptember 09.

# Tartalom

- Áttekintés a szenzorok palettáján
- Adott típus megismerése: Mica2/Micaz
  - Alapkártya
  - Szenzorkártya
  - Interfészkártya
- Cél:
  - Funkcionalitások megismerése
  - Építőelemek részletes ismertetése
  - Korlátok és lehetőségek megismerése

# Crossbow termékek








XM2110

M2110






MPR2400

MPR2600

MPR400

Features					
Frequency Range	2.4GHz ISM Band	2.4GHz ISM Band	2.4GHz ISM Band	2.4GHz ISM Band	868-870; 902-928 MHz
Processor	Atmel ATmega 1281	Atmel ATmega 1281	Atmel ATmega 128L	Atmel ATmega 128L	Atmel ATmega 128L
Radio Transceiver	RF230 Atmel	RF230 Atmel	TI CC2420	TI CC2420	TI CC1000
Serial Flash	Atmel AT45DB41B (512 kB)	Atmel AT45DB41B (512 kB)	Atmel AT45DB41B (512 kB)	Atmel AT45DB41B (512 kB)	Atmel AT45DB41B (512 kB)
RAM	8K bytes	8K bytes	4K bytes	4K bytes	4K bytes

# A Berkeley mote család

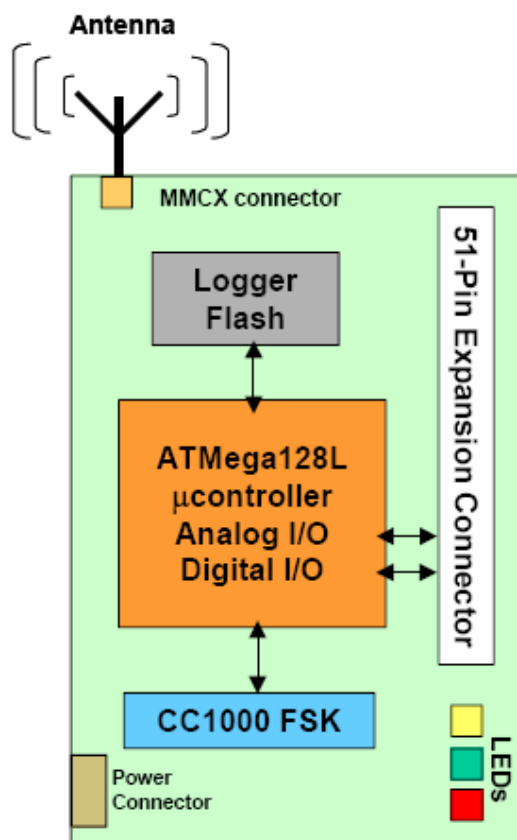
Photo	Crossbow Part ID	Commonly Used Name	Frequency Range	Processor	Radio Transceiver	Nonvolatile Memory
	MPR300 (discontinued)	MICA (sometimes referred to as MICA1)	902 to 928 MHz	Atmel ATMega128L	RFM TR1000	Atmel AT45DB041B (512 kB)
	MPR310 (discontinued)		433.1 to 434.8 MHz			
	MPR400	MICA2	868 to 870; 902 to 928 MHz	Atmel ATMega128L	Chipcon CC1000	Atmel AT45DB041B (512 kB)
	MPR410		433.1 to 434.8 MHz			
	MPR420		313.9 to 316.1 MHz			
	MPR500	MICA2DOT	868 to 870; 902 to 928 MHz	Atmel ATMega128L	Chipcon CC1000	Atmel AT45DB041B (512 kB)
	MPR510		433.1 to 434.8 MHz			
	MPR520		313.9 to 316.1 MHz			
	MPR2400	MICAz	2400 to 2483.5 MHz	Atmel ATMega128L	Chipcon CC2420 (802.15.4)	Atmel AT45DB041B (512 kB)
	MCS400	Cricket	433.1 to 434.8 MHz	Atmel ATMega128L	Chipcon CC1000	Atmel AT45DB041B (512 kB)

# Választási szempontok

- Ár (darabszám)
- Elérhetőség
- Fogyasztás
- Csatlakoztatható perifériák
- Számítási teljesítmény
- Memória
- Adatátviteli sebesség
- Mechanikai kialakítás / méret
- Toleranciák (pl. hőmérséklet, páratartalom)
- Terméktámogatás
  - Fejlesztői környezet
  - Tanácsadás
  - Alkalmazások
- Tapasztalatok
- Tartalék a tervezésben

# Mica2 és Micaz alapstruktúra

Mica2



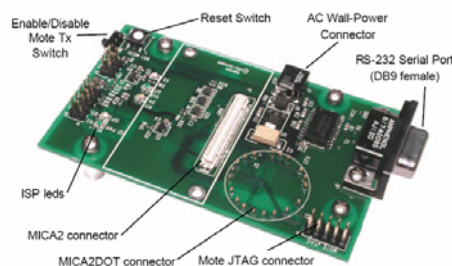
mote



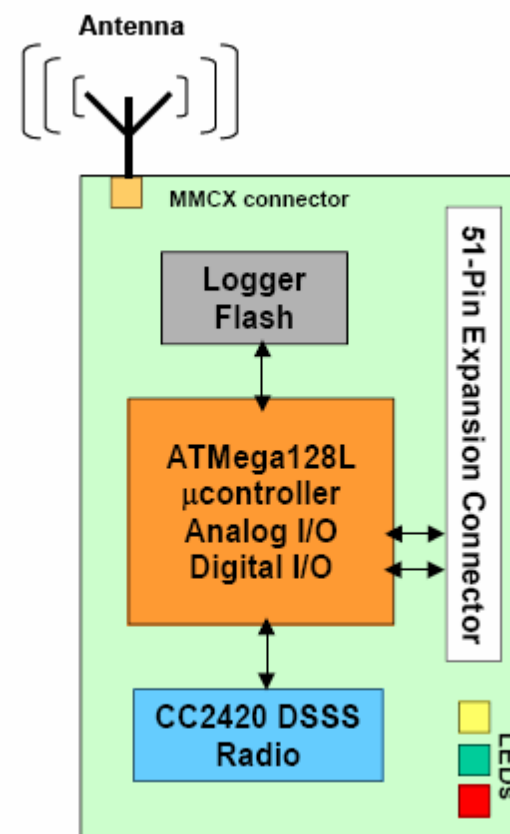
szenzorkártya



Programozó/interfészártya



Micaz



# Alapvető információk

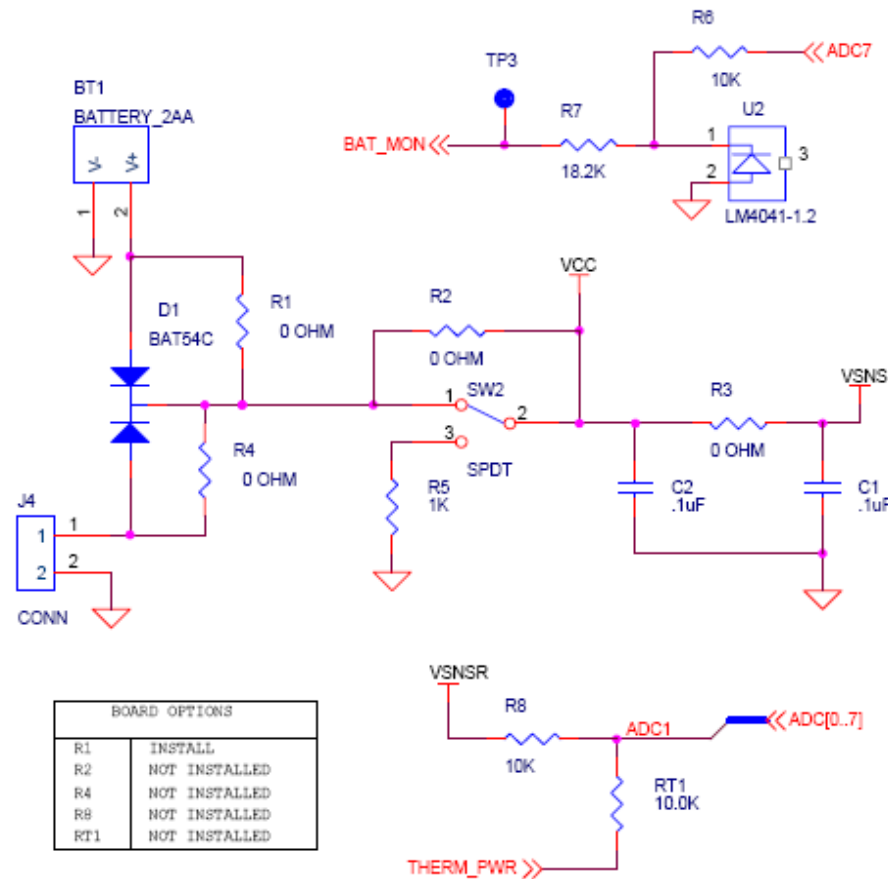
- ATmega128 uC
  - 7.3728 MHz
  - 2db AA elem / akkumulátor
  - Fogyasztás: 8 mA / < 15  $\mu$ A (Sleep)
  - AD, UART, ...
- Flash: 512KB
- Rádió: ISM sáv:
  - Mica2
    - CC1000: 868/916 MHz, 78.6kbps
    - Fogyasztás: kb. 27mA, min:15 $\mu$ A (konfigurációfüggő)
  - Micaz
    - CC2420: 2.4GHz, 250 kbps
    - fogyasztás: kb. 17.7 mA, min: 15 $\mu$ A (konfigurációfüggő)
- Kiegészítők: pl. időjárás, pára elleni védelem



# Alapkártya bemutatása

- Kapcsolási rajz részletek (Mica2/Micz)
- ADC7: fix referencia, pl. telepfeszültség méréséhez

## Battery, Power, and ADC1

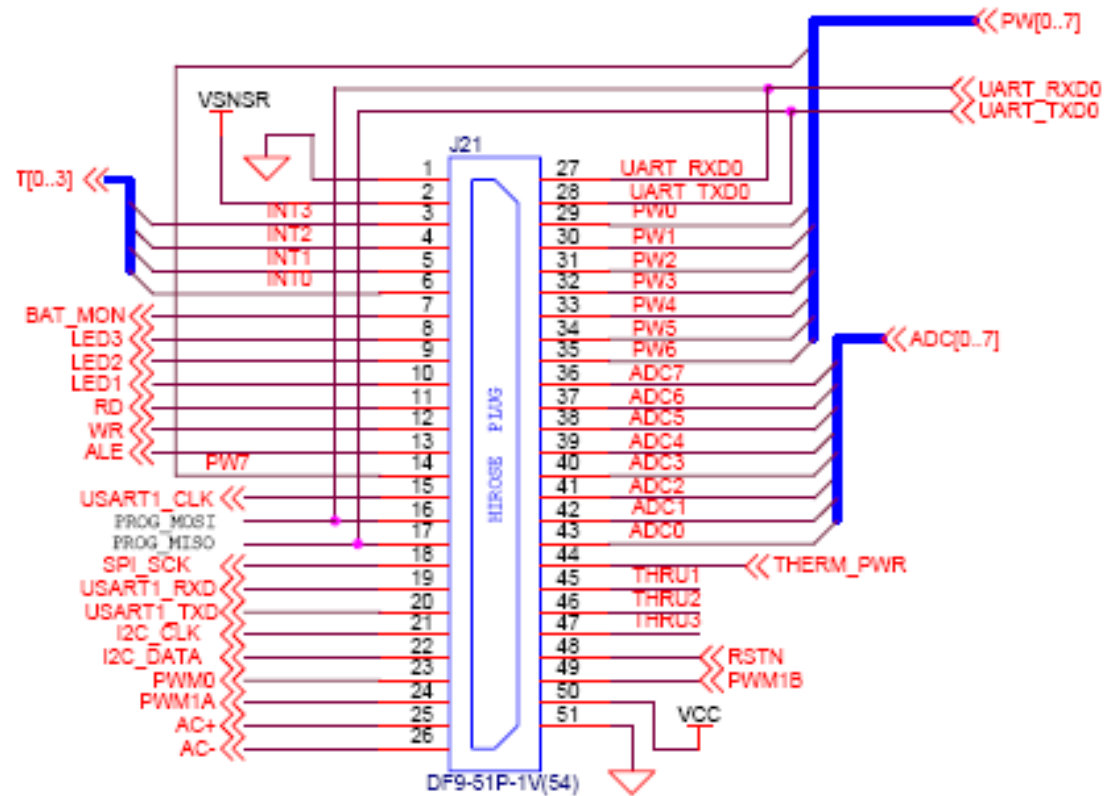




# Alapkártya bemutatása

Csatlakozási lehetőségek:

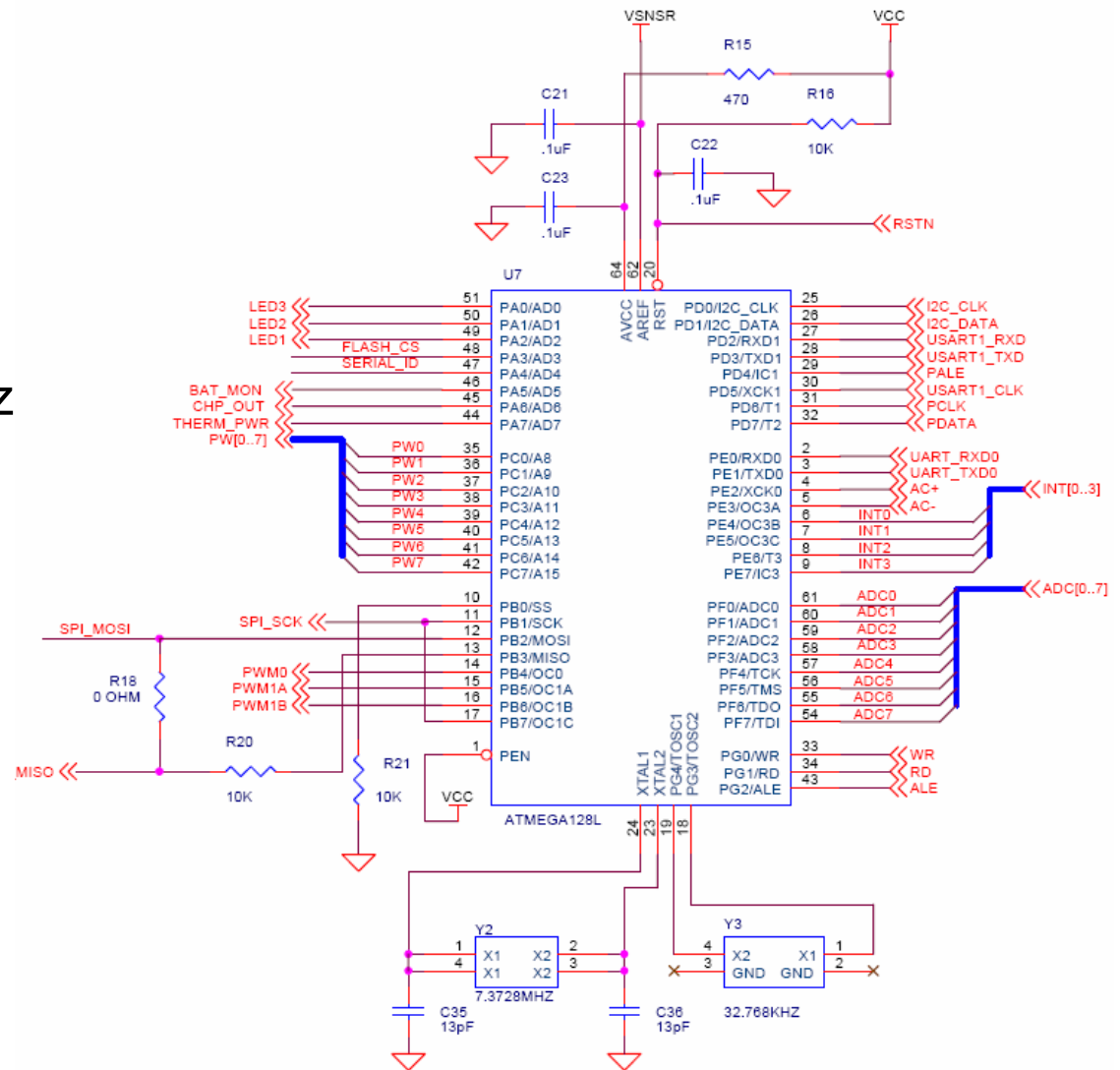
- Megszakítás
- AD átalakító
- Soros kommunikáció
- Általános I/O
- Programozó bemenetek
- Tápfeszültség: további eszközök csatlakoztatása



# Alapkártya bemutatása

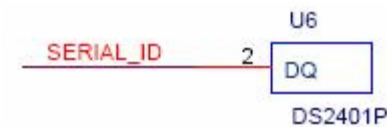
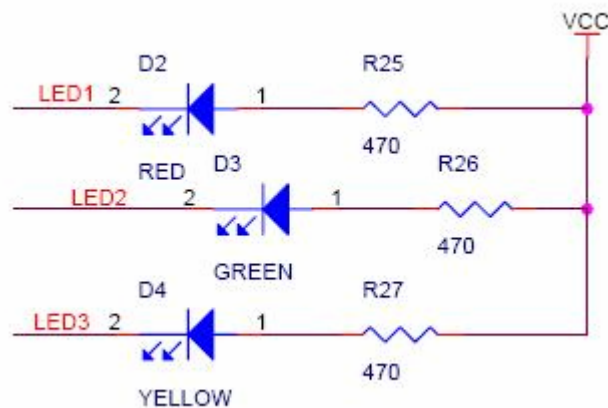
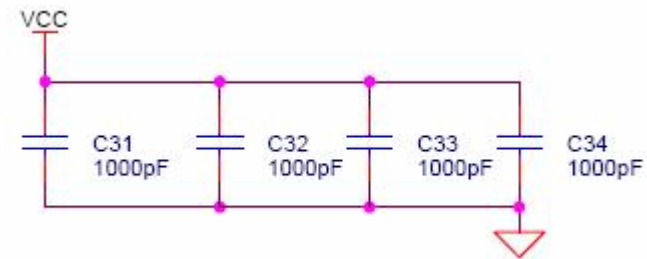
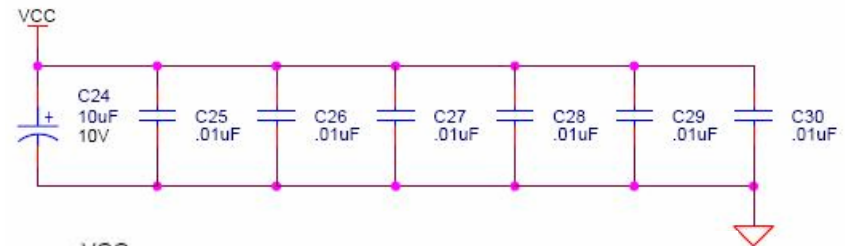
Mikrokontroller:

- Minimális külső alkatrész
- Tápfeszültség szűrés
- Kvarcok: oszcillátorhoz



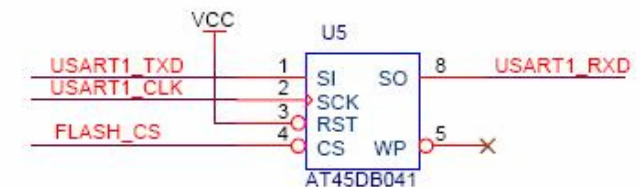
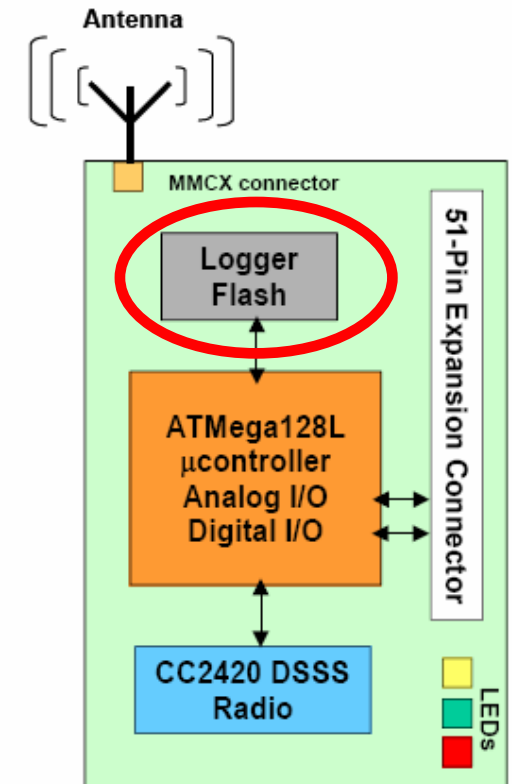
# Alapkártya bemutatása

- Kiegészítők
  - Tápfeszültség szűrés
  - Flash memória
  - LEDek
  - Azonosító memória



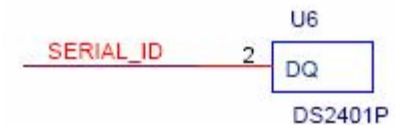
# Flash memória

- Típus: AT45DB01, 512 kByte
- Soros elérés, 13MHz órajel
- Fogyasztás: 4mA / 2uA
- Cél:
  - Mérési adatok tárolása
  - Távoli programozás (over-the-air-programming)
- Hierarchikus felépítés
- Flash: blokkos adat kezelés
  - Olvasás
    - Elemenként
    - Folytonos olvasás (gyors/lassú: megkötések, pl. blokkhatár)
  - Írás blokkosan (HW-es támogatás)
    - Törlés
    - Írás (előbb bufferbe aztán végleges)



# Azonosító memória

- DS2401 (Silicon Serial Number)
- 48 bites egyedi azonosító (CRC-vel)
- Indulás után az eszköz lekérdezhető
- 1 jelvezeték (+föld)! Energia a lekérdezőtől
- Energiatakarékos

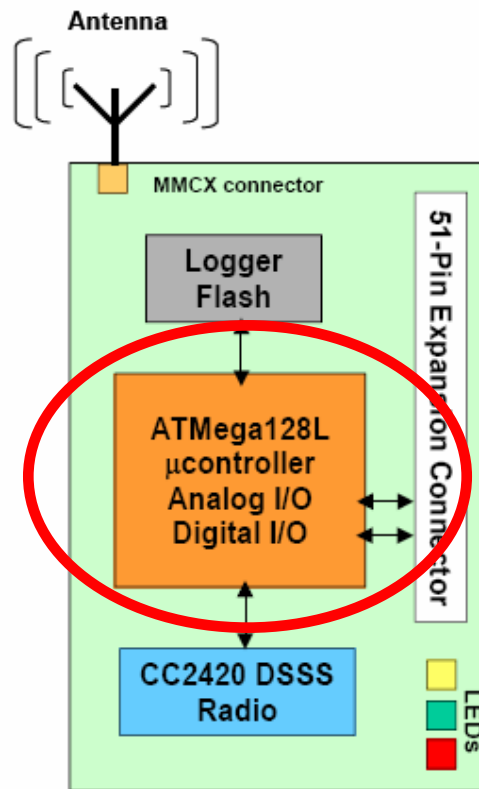


## LED

- Debugolás
- Vigyázat: fogyasztás (1-2 mA)

# ATmega128

## mikrokontroller



# Jellemző adatok 1.

- **High-performance, Low-power AVR® 8-bit Microcontroller**
- **Advanced RISC Architecture**
  - **32 x 8 General Purpose Working Registers + Peripheral Control Registers**
  - **Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz**
  - **On-chip 2-cycle Multiplier**
- **High Endurance Non-volatile Memory segments**
  - **128K Bytes of In-System Self-programmable Flash program memory**
  - **4K Bytes EEPROM**
  - **4K Bytes Internal SRAM**
  - **Write/Erase cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM**
  - **Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits**
- In-System Programming by On-chip Boot Program**
- True Read-While-Write Operation**
  - **Programming Lock for Software Security**
  - **SPI Interface for In-System Programming**
- **JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface**

# Jellemző adatok 2.

## **Peripheral Features**

- Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes**
  - Two Expanded 16-bit Timer/Counters with Separate Prescaler, Compare Mode and Capture Mode**
  - Real Time Counter with Separate Oscillator**
  - Two 8-bit PWM Channels**
  - 6 PWM Channels with Programmable Resolution from 2 to 16 Bits**
  - Output Compare Modulator**
  - 8-channel, 10-bit ADC**
- 8 Single-ended Channels, 7 Differential Channels, 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x**
- Byte-oriented Two-wire Serial Interface**
  - Dual Programmable Serial USARTs**
  - Master/Slave SPI Serial Interface**
  - Programmable Watchdog Timer with On-chip Oscillator**
  - On-chip Analog Comparator**

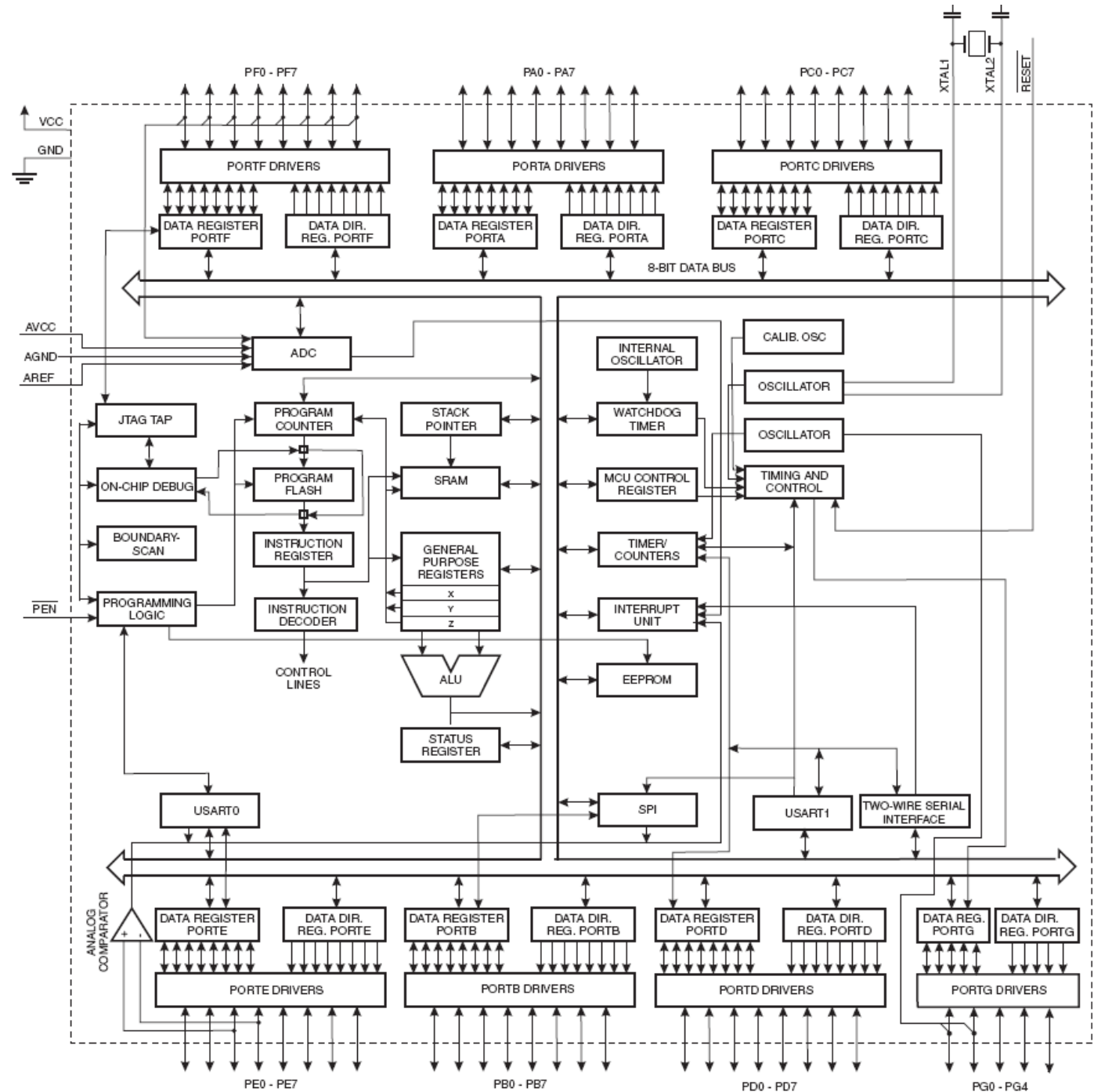


# Jellemző adatok 3.

- **Special Microcontroller Features**
  - **Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection**
  - **Internal Calibrated RC Oscillator**
  - **External and Internal Interrupt Sources**
  - **Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby**
  - **Software Selectable Clock Frequency**
- **Operating Voltages**
  - **2.7 - 5.5V ATmega128L**
  - **4.5 - 5.5V ATmega128**
- **Speed Grades**
  - **0 - 8 MHz ATmega128L**
  - **0 - 16 MHz ATmega128**

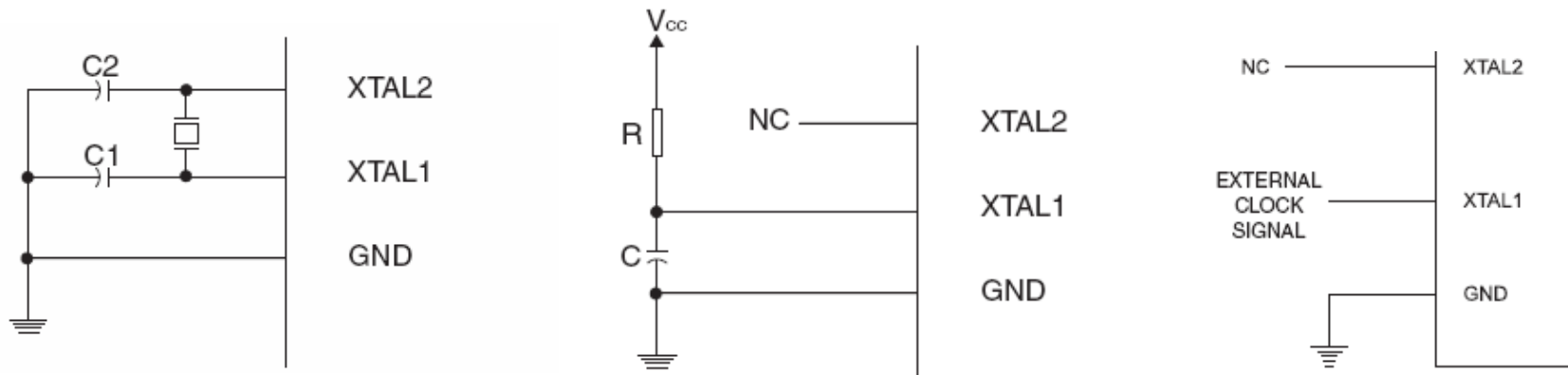
## Blokkvázlat:

- Kimenet: 8 IO/Port általános és speciális funkciókkal
- Belső adatbusz

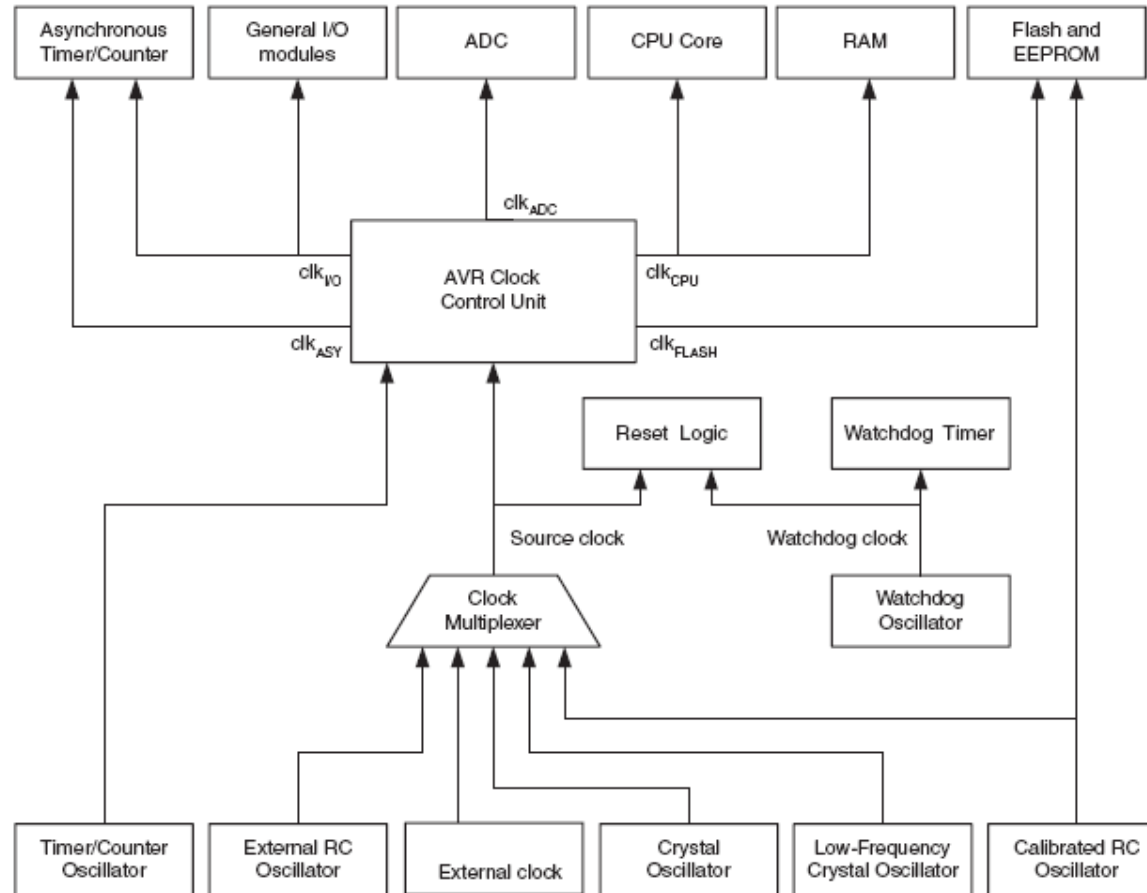


# Órajel

- Órajel források (programozásnál választani):
  - External Crystal/Ceramic Resonator
  - External Low-frequency Crystal
  - External RC Oscillator
  - Calibrated Internal RC Oscillator
  - External Clock
- Órajel management:
  - Állítható belső órajelosztó (energiatakarékosság)
    - XDIV regiszter (fogyasztáscsökkentés: várakozás, lassú eszköz lekezelése esetén)
  - Külső eszközt is meghajthat
  - Állítható feléledési idő: 16000órajel (=2ms @ 8MHz kvarc) + 4...65ms: áramkörök

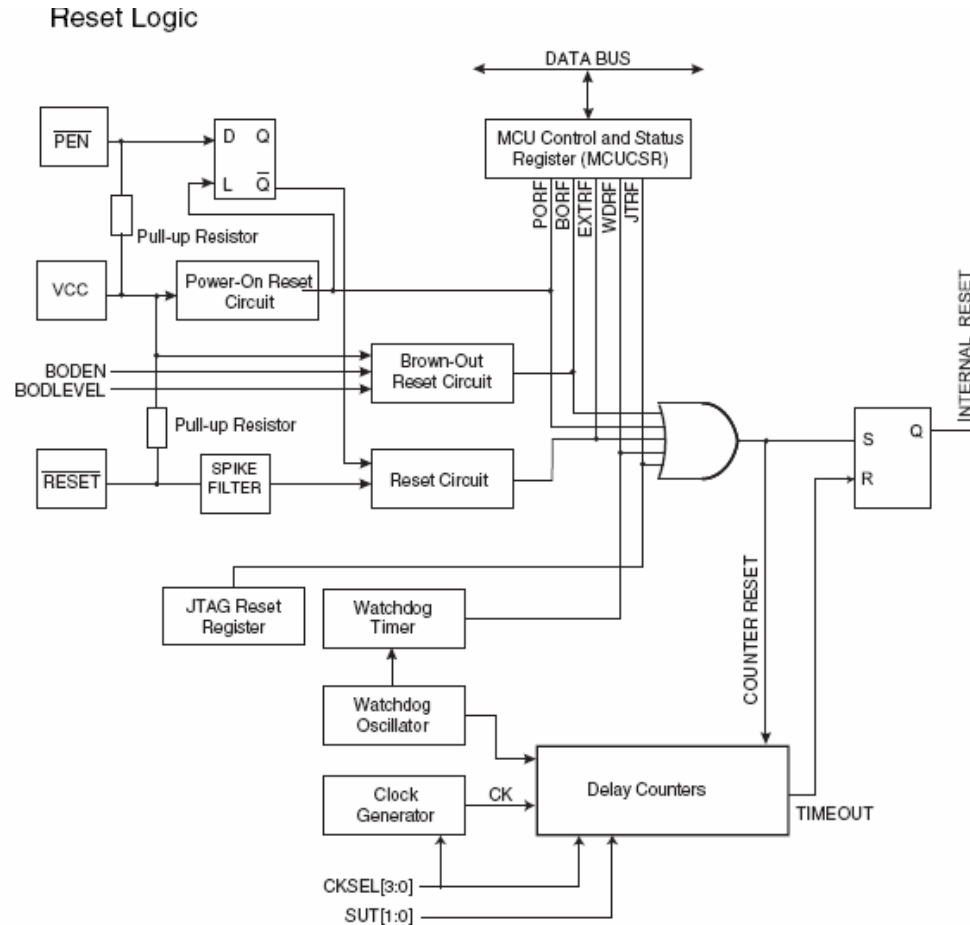


# Órajel



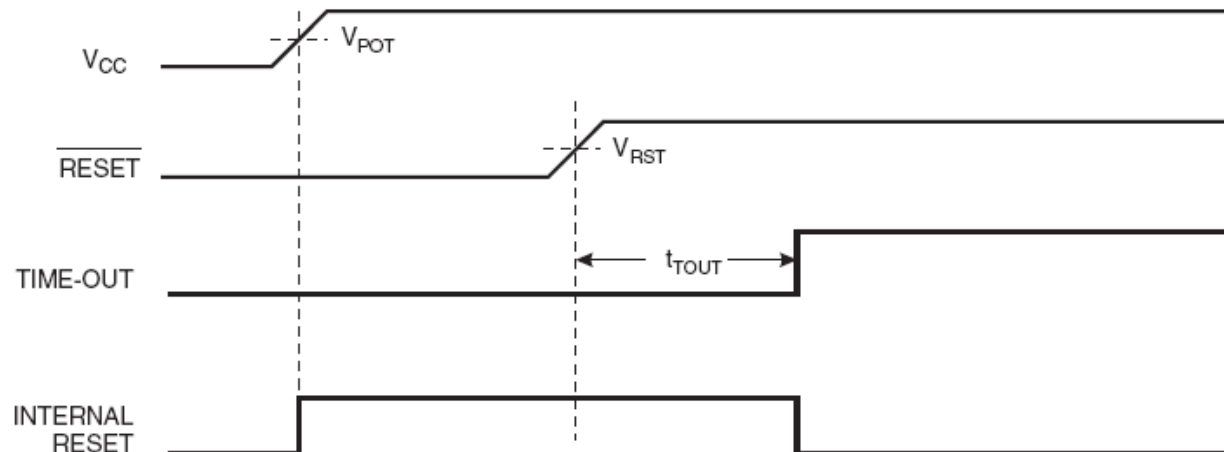
# Reset áramkör

- Reset fontos a determinisztikus indulás miatt
- Forrásai:
  - JTAG Reset
  - Watchdog Reset
  - Brown-out Reset
  - External Reset
  - Power-On Reset
- Lekérdezhető



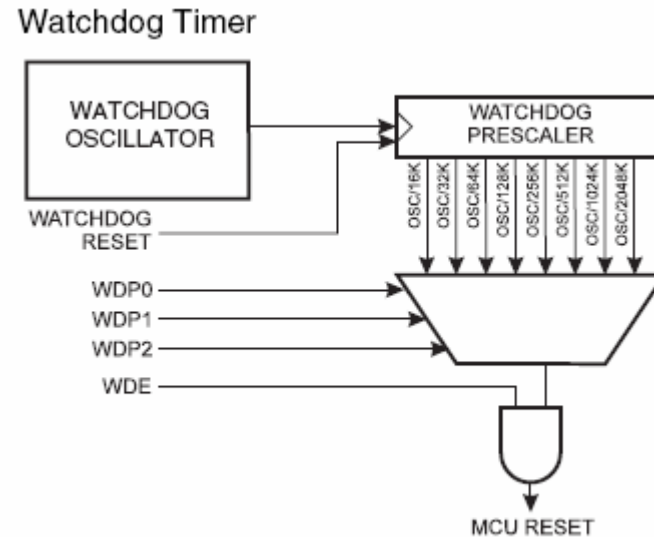
# Reset folyamat

- RESET: IT-t generál: adott címről indul
- RESET cím átállítható: Boot loader használható
  - Távoli konfigurálás
- Időzítés: RESET tartása (áramkörök stabilizálódása)  $t_{TOUT}$ : kb. 4-70ms



# Watchdog Timer

- Saját időzítő: független működés: fontos a biztonság miatt (~1 MHz)
- Watchdog feladata: reseteli az uC-t, ha nem „törli” a program elég gyakorisággal (nincs jelzés a működőképességről)
- Biztonságos működés
- Különböző biztonsági fok: tiltása adott szekvenciával: biztonságot növeli
- Léteznek bonyolultabb watchdog timerek, pl.: adott időintervallumban vár jelzést



# Energia management

- Perifériák tilthatóak
- SLEEP utasítás + engedélyezés + mód választás
- Fontos a hosszú élettartam miatt
- 6 féle mód:
  - Idle: CPU áll ( $\text{clk}_{\text{CPU}}, \text{clk}_{\text{FLASH}}$ )=0, perifériák, megszakítások működnek
  - ADC Noise Reduction: ( $\text{clk}_{\text{I/O}}, \text{clk}_{\text{CPU}}, \text{clk}_{\text{FLASH}}$ )=0
  - Power-down: aszinkron modulok működnek, amihez nem kell belső órajel
  - Power-save: hasonló az előzőhöz, kivétel Timer0
  - Standby
  - Extended Standby
- Feléledési időkre vigyázni (pl. ut. kettő 6 órajel)



# Energia management

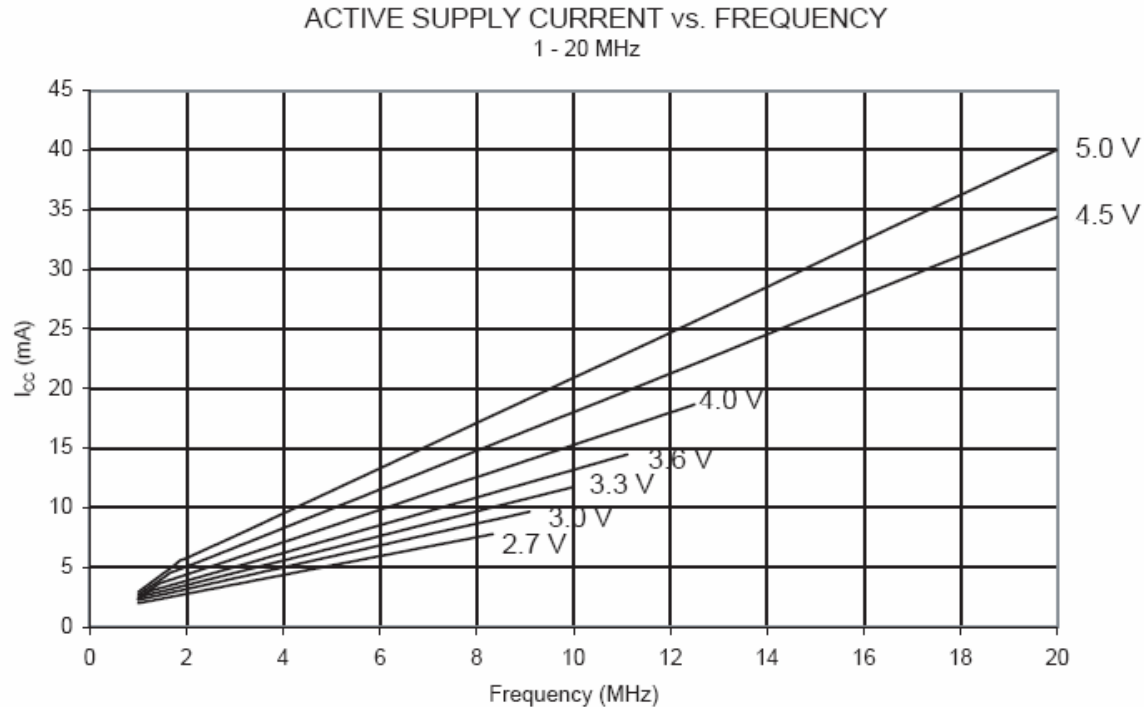
Active Clock Domains and Wake Up Sources in the Different Sleep Modes

Sleep Mode	Active Clock Domains					Oscillators		Wake Up Sources					
	clk <sub>CPU</sub>	clk <sub>FLASH</sub>	clk <sub>IO</sub>	clk <sub>ADC</sub>	clk <sub>ASY</sub>	Main Clock Source Enabled	Timer Osc Enabled	INT7:0	TWI Address Match	Timer 0	SPM/EEPROM Ready	ADC	Other I/O
Idle			X	X	X	X	X <sup>(2)</sup>	X	X	X	X	X	X
ADC Noise Reduction				X	X	X	X <sup>(2)</sup>	X <sup>(3)</sup>	X	X	X	X	
Power-down								X <sup>(3)</sup>	X				
Power-save					X <sup>(2)</sup>		X <sup>(2)</sup>	X <sup>(3)</sup>	X	X <sup>(2)</sup>			
Standby <sup>(1)</sup>						X		X <sup>(3)</sup>	X				
Extended Standby <sup>(1)</sup>					X <sup>(2)</sup>	X	X <sup>(2)</sup>	X <sup>(3)</sup>	X	X <sup>(2)</sup>			

- Notes:
1. External Crystal or resonator selected as clock source
  2. If AS0 bit in ASSR is set
  3. Only INT3:0 or level interrupt INT7:4

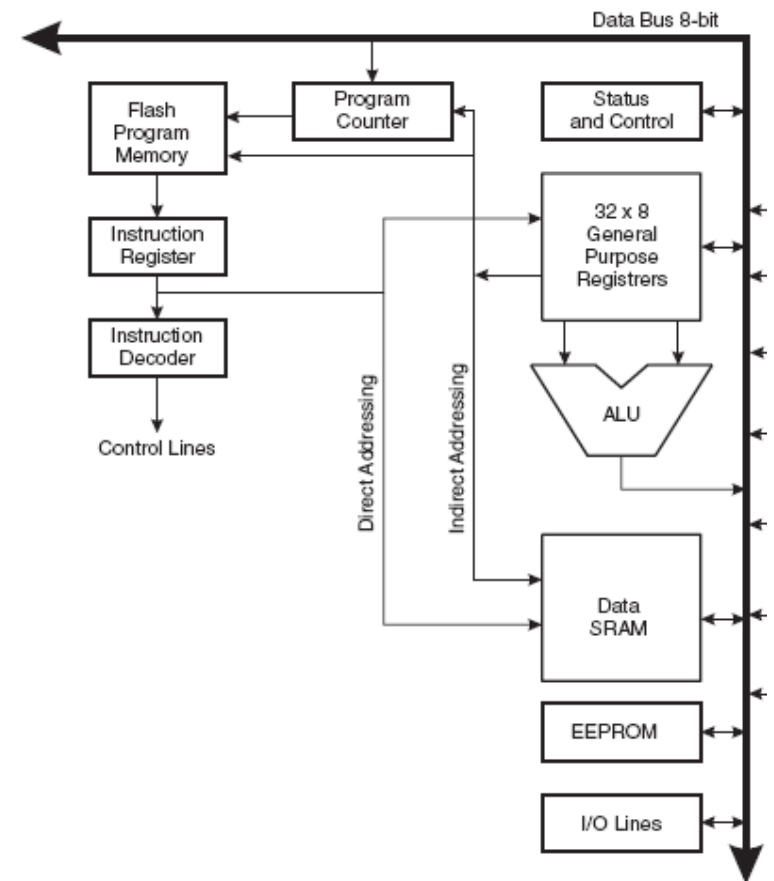
# Energia management

- Fogyasztást befolyásolja:
  - Órajel
  - Feszültség
  - Terhelés a lábakon (rezisztív, kapacitív, kapcsolási frekvencia)
  - Engedélyezett periférák
- Jellemző értékek aktív üzemmódban:



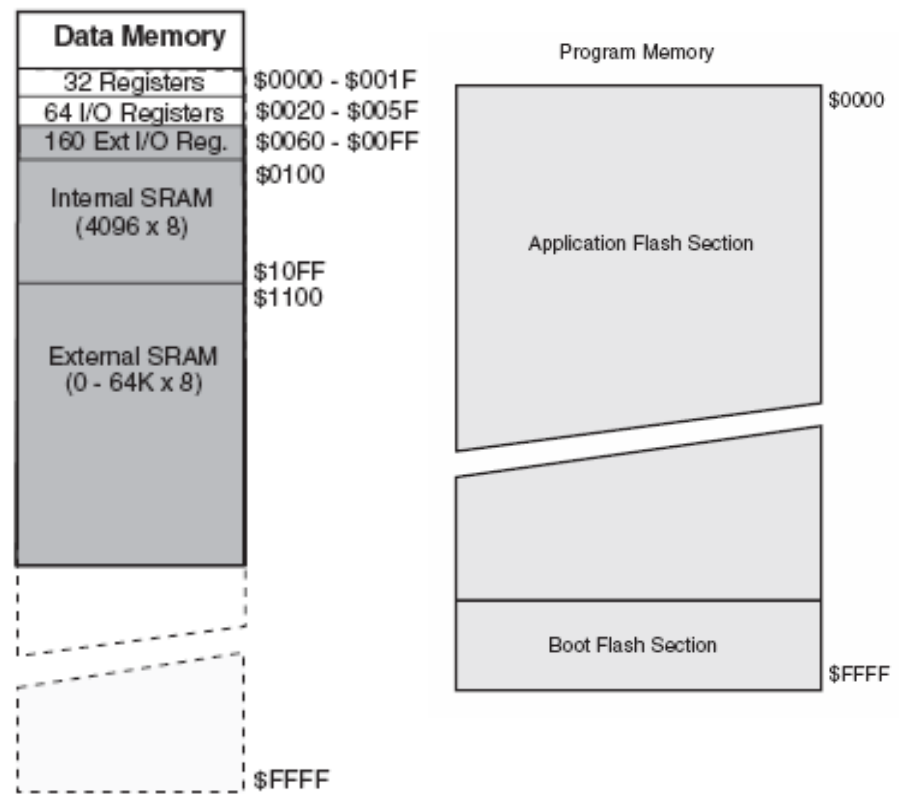
# RISC architektúra

- Egyszerű utasítások
- Harward architektúra (lehet írni a prog. mem-t)
- Támogatja a magasszintű nyelveket pl.: stack pointer, címzés
- 8 bites processzor: HW-es támogatás több bitre (carry bit, sign bit)
- Belső busz 8 bites: adatmozgatás
- Pipeline használata, 1-2 órajel/utasítás
- ALU: alapvető logikai/aritmetikai utasítások (shift, xor, add, sub, ...) Szorzás! (2órajel)



# Memória felépítés

- 3 féle memória típus:
  - SRAM
    - 4kB + bővíthető
    - Tartalmazza:
      - Regiszterek
      - IO címek
    - Program adatterülete
    - Abszolút, relatív, inkremens/dekremens címezés
  - Program Flash: 128kB
    - Programkód tárolása
  - EEPROM: 4 kB
    - Hosszú idejű adattárolás



# EEPROM

- 4kByte EEPROM
- Címzés: regiszteren keresztül (post inkremens is lehetséges)
- Külön vezérlőregiszter
- Írási idő: 2.5-4ms (lassú)
- 100,000 írási/törlési ciklus
  - Vigyázat mp-ként írva kb. 1 nap
- Byte-onként írható

# Utasítások

- 1 vagy 2 szavas utasítások (16-32 bit)
- Program memória: 16 bit szélességű
- Utasítástípusok:
  - Arithmetic and Logic Instructions (ADD)
  - Branch Instructions (JMP)
  - Data Transfer Instructions (MOV, LD)
  - Bit and Bit-test Instructions (ROR, SET)
  - MCU Control Instructions (NOP, SLEEP)
- 1 vagy 2 órajel/utasítás
- 8 bites adatokon dolgozik

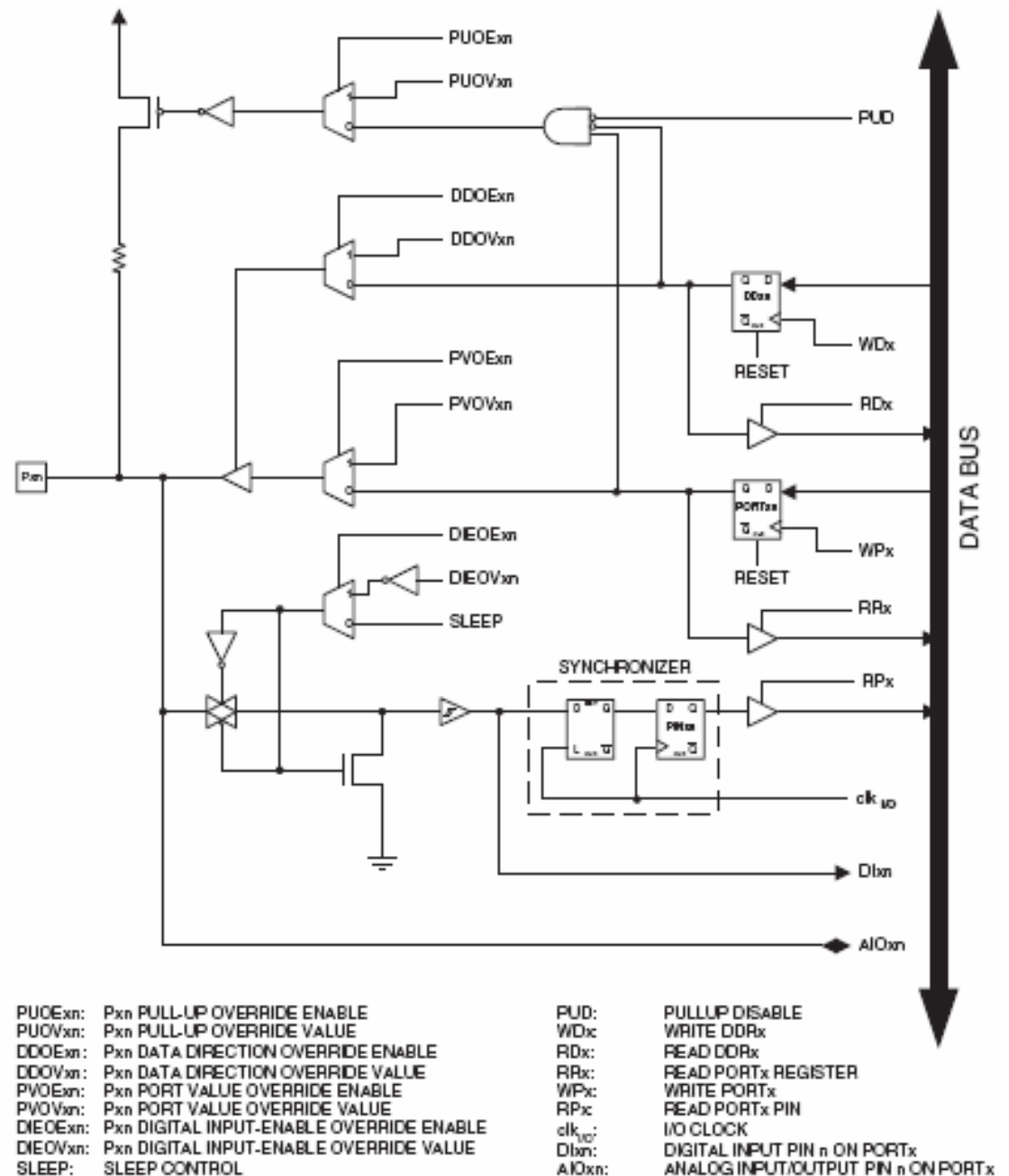
# Interrupt rendszer

- Kétszintű engedélyezés: globális + egyenként
- Az IT forrását flagek jelzik
- Általános és speciális IT (Timer, AD, UART ...)
- Vektoros IT:
  - adott címre ugrik (IT tábla), innen tovább
  - Hely az IT táblában → prioritás
- Legnagyobb prioritás: RESET
- Válaszidő: 4 órajel

Address	Labels	Code	Comments
\$0000		jmp RESET	; Reset Handler
\$0002		jmp EXT_INT0	; IRQ0 Handler
\$0004		jmp EXT_INT1	; IRQ1 Handler
\$0006		jmp EXT_INT2	; IRQ2 Handler
\$0008		jmp EXT_INT3	; IRQ3 Handler

# IO felépítés

- Dinamikus konfiguráció
- Engedélyezhető pull-up
- Szinkronizált olvasás
- Input/output konfigurálható
- SLEEP mode: meghajtó tiltás
- Általános / speciális funkciók (pl. AD, GPIO)



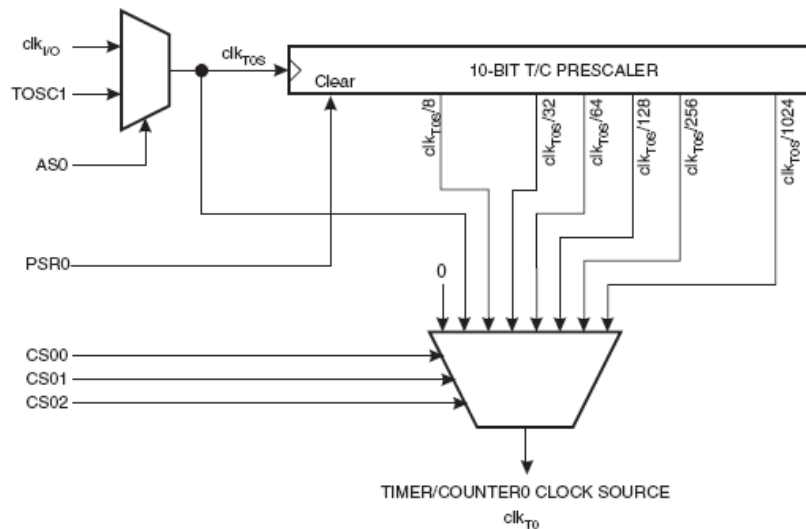


# Perifériakészlet

- Beépített perifériák:
  - Költségtakarékosság
  - Helytakarékosság
  - Flexibilitás (gyártás után is felhasználható)
- Tiltható / engedélyezhető: energiatakarékosság
- Megszakításokat generálnak (lekérdezhető mód is lehet)
- Konfigurálás regisztereken keresztül
- Perifériakészlet:
  - Timer (Capture, időzítés, PWM)
  - SPI
  - I<sup>2</sup>C
  - UART
  - Analóg komparátor
  - ADC

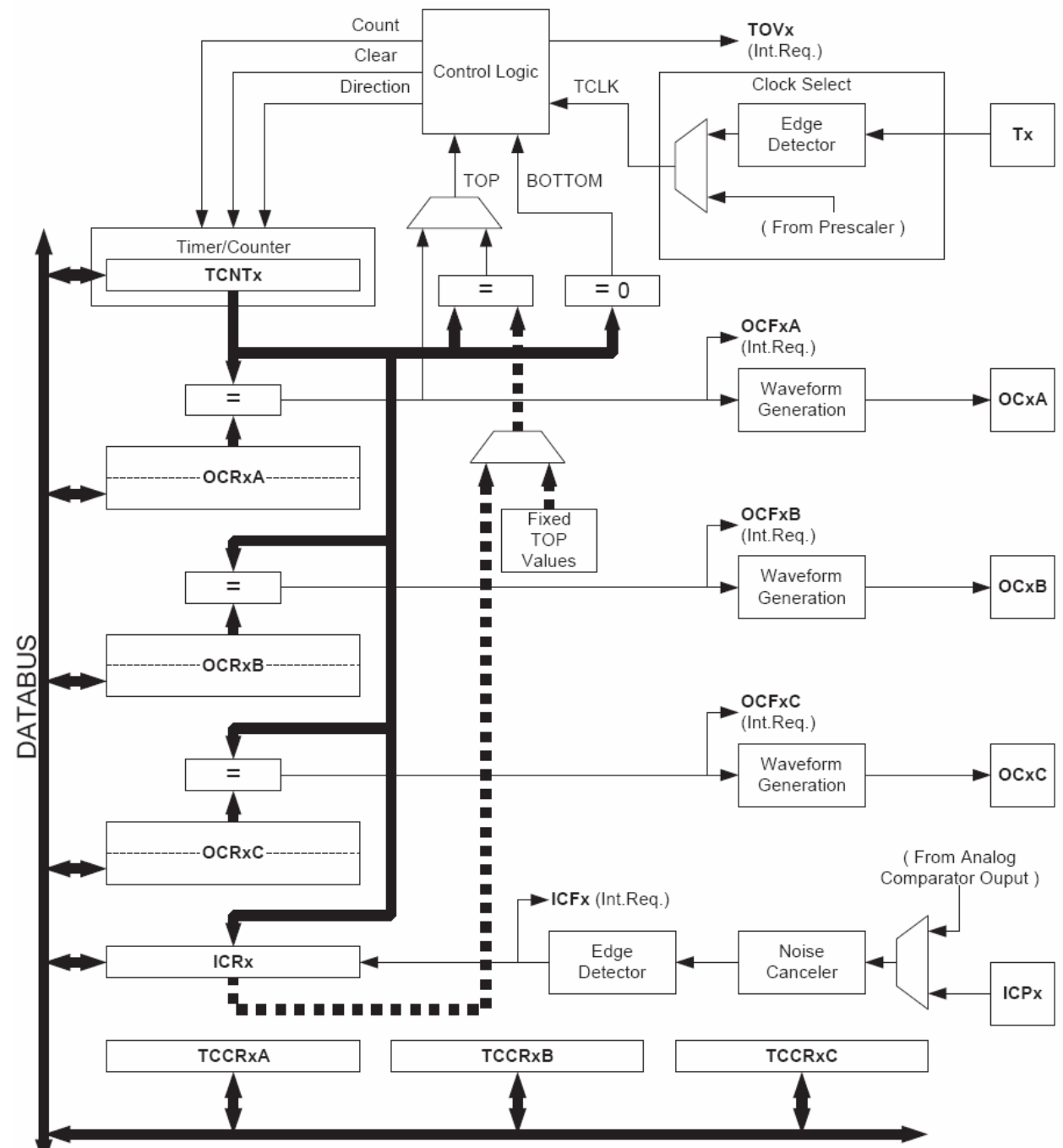
# Időzítő

- 4 db időzítőmodul
- 8 és 16 bites
- Különböző órajelforrás: külső/belső
- Prescaler



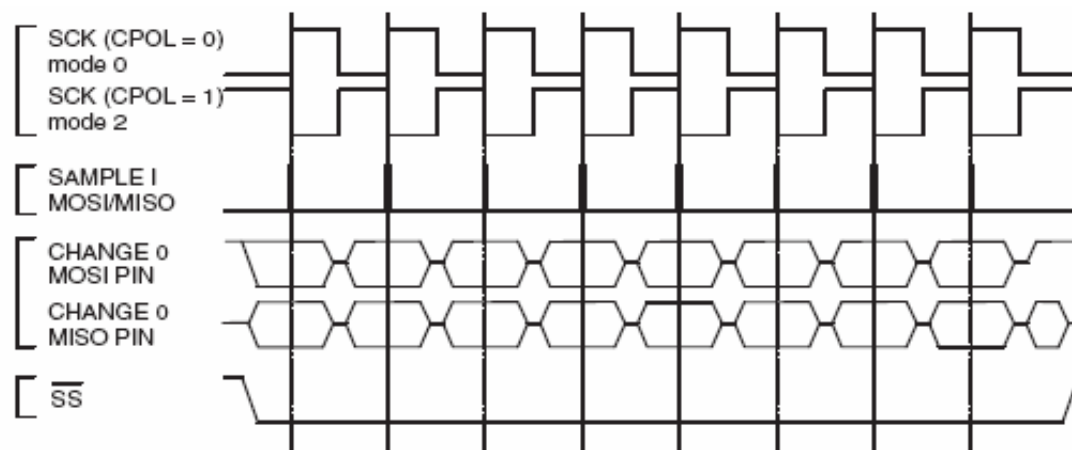
# Időzítő

- Számláló: TCNT (belső órajel vagy külső esemény számlálása)
- Időzítés: Output compare (OCRxn)
- Időmérés: input capture
- Különböző PWM (Pulse Width Modulation) módok: Waveform Generator
- PWM: egyszerű DA-ként is szűréssel



# SPI

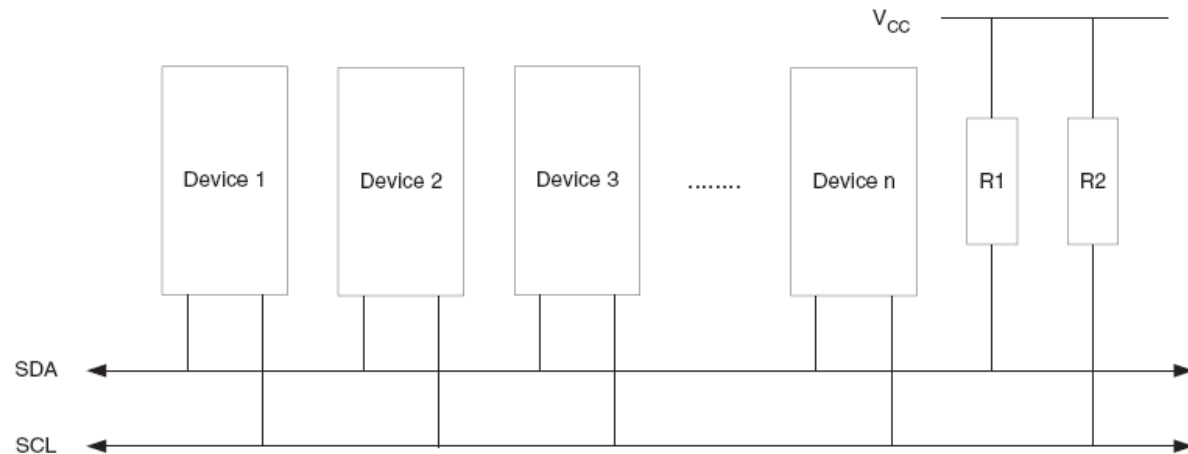
- Serial Peripheral Interface
- Egyszerű soros szinkron full duplex átvitel
- Állítható órajel
- Master/Slave mód
- Több slave Chip Select (Slave Select=SS)-tel
- MISO – MOSI + SS (Master Out – Slave In)
- Külső perifériák kezelése



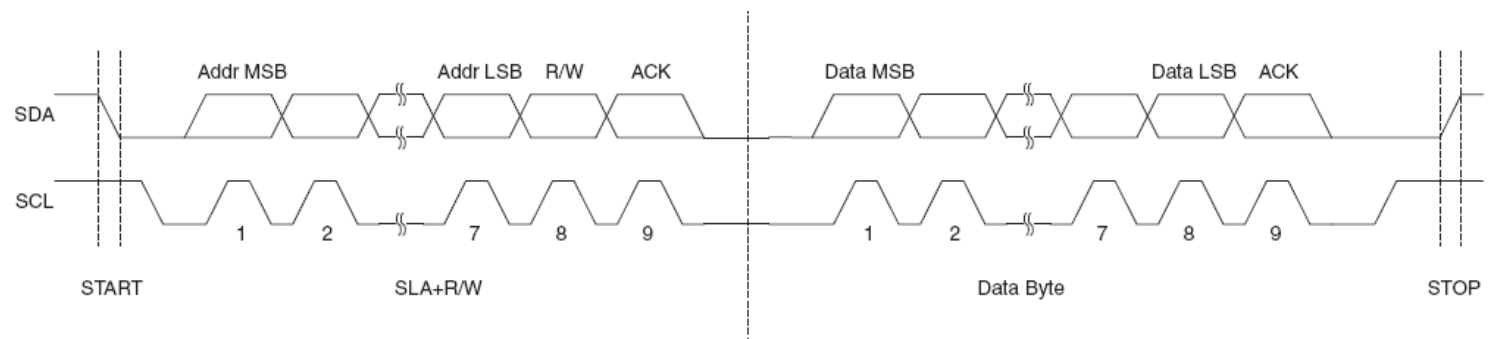
# I<sup>2</sup>C

- Two-wire Serial Interface: Soros busz
- Több periféria csatlakozhat. Open Drain kimenet
- Perifériák címezhetőek
- ACK: periféria handshake

Buszfelépítés:



Adatformátum:

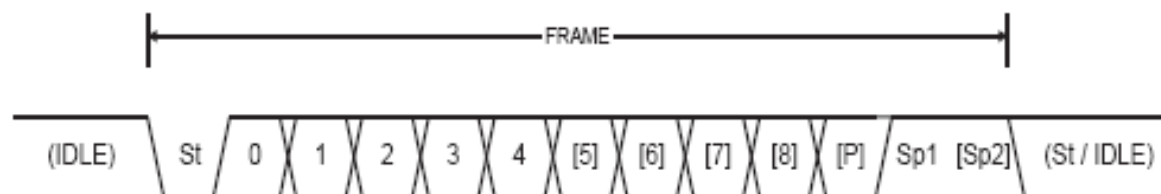


# USART

- Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter
- Két darab USART egység
- Full duplex adatátvitel
- Egyik leggyakoribb kommunikáció beágyazott rendszerekben
- Szinkron és aszinkron kommunikáció
- Programozható adatátviteli sebesség
  - Pontosságra vigyázni: gyors aszinkron átvitel + RC osc
- 5-9 bites adatátvitel, 1-2 stop bit
- Hardveres hibaellenőrzés (pl. paritásbit, STOP, ovf)

# USART

- Kommunikációs lábak: TxD, RxD + XCK (szinkron működés)
- Logikai szinteket állít elő: illesztő áramkör kell
- Kommunikációs keret:



St Start bit, always low.

(n) Data bits (0 to 8).

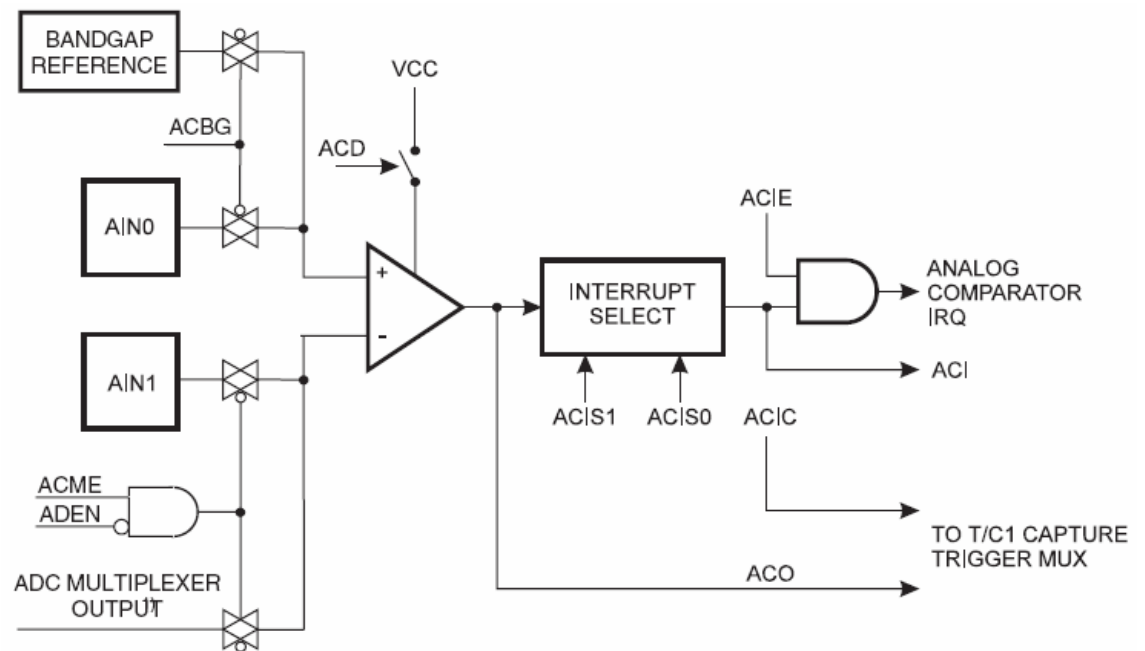
P Parity bit. Can be odd or even.

Sp Stop bit, always high.

IDLE No transfers on the communication line (RxD or TxD). An IDLE line must be high.

# Analóg komparátor

- Egyszerű komparátor funkció
- Választható referenciaszint
- Összeköttetésben van az időzítővel
- Események gyakoriságának mérése
- Riasztási funkció





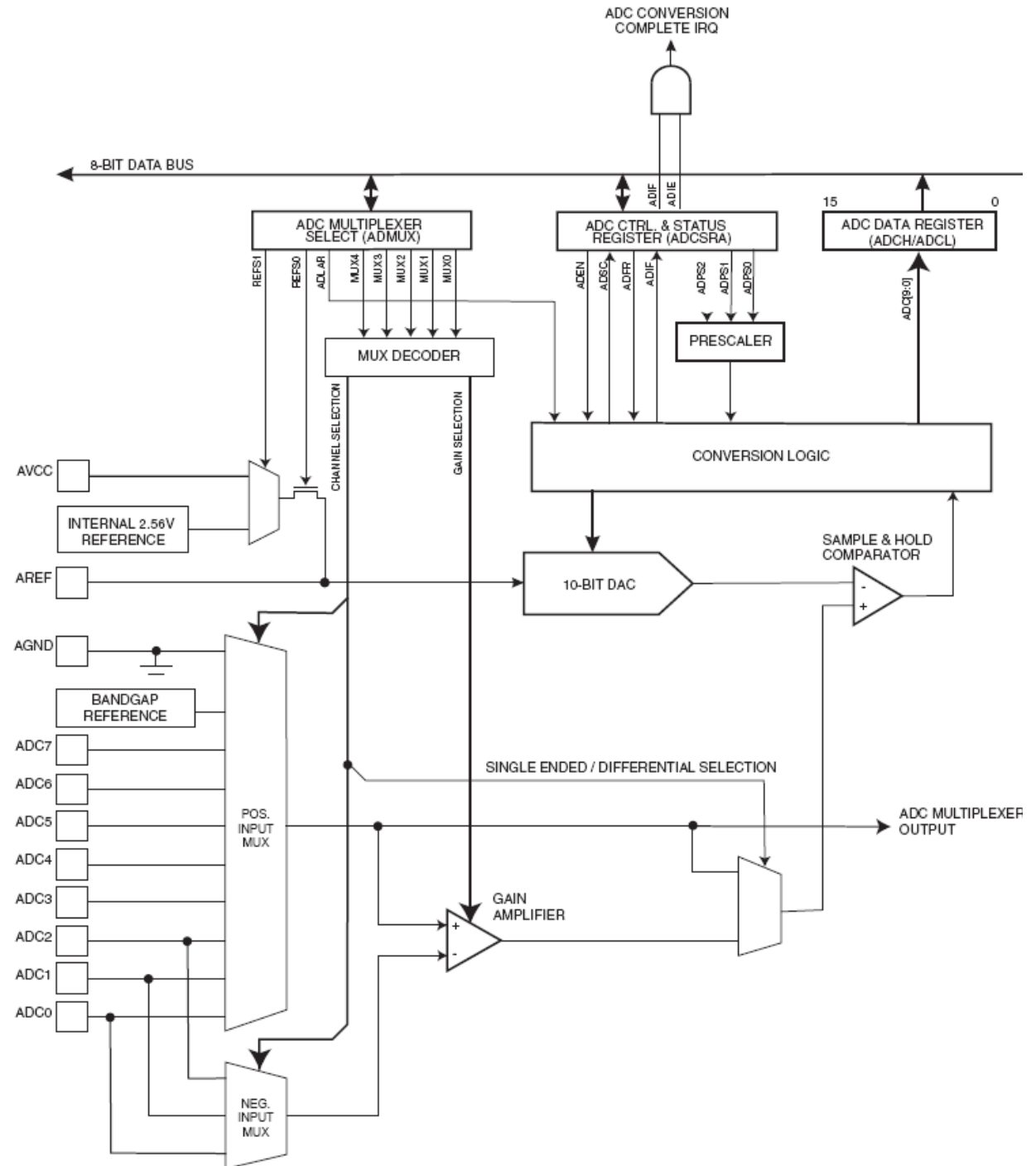
# AD átalakító

- 10-bit felbontás (8 és 10 bites módban is használható)
- 0.5 LSB Integral Non-linearity
- $\pm 2$  LSB Absolute Accuracy
- 13 - 260  $\mu$ s konverziós idő
- Max 76.9 kSPS (15 kSPS @ Max felbontás)
- 8 multiplexált jel
- 7 differenciális bemenet
- 2 differenciális bemenet erősítéssel (10x vagy 200x)
- 0 - VCC ADC bemeneti tartomány
- Választható belső 2.56 V ADC referencia feszültség
- Szabadonfutó üzemmód
- Megszakításos lekérdezési lehetőség
- Zajcsökkentés sleep módban
- Szukcesszív approximációs (SAR) átalakítás

# ADC

## Felépítés:

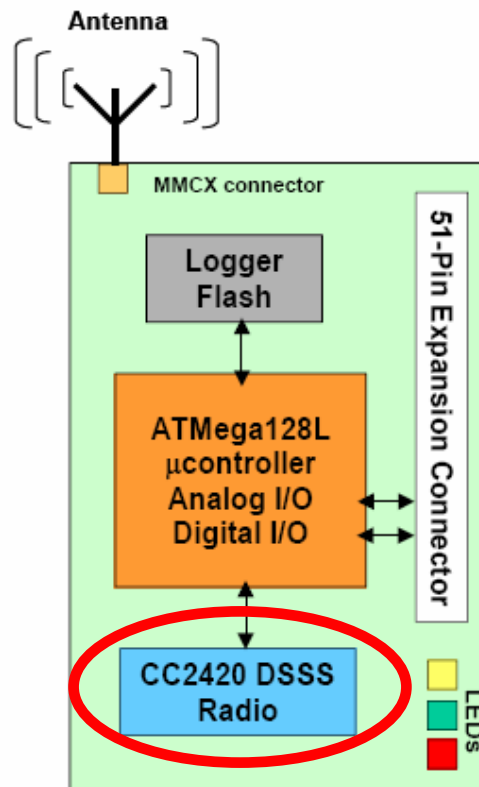
- Órajel: SAR sebessége pontosság!
- Zajcsökkentési mód: javított pontosság, digitális zajok csökkentése
- Referencia: belső/külső Referencia szűrése! (LC)
- Belső referencia
  - Pontos ref. fesz.
  - telepek feszültségmérése



# Programozás

- Fuse bitek: konfigurálás programozáskor
  - Üzem módok, órajel, bootolás
- JTAG programozás
  - Programfeltöltés
  - Egyszerű debugolási lehetőség
- Párhuzamos programozás
- Soros programozás (mica mote-on a default)
- Program/adatmemória/EEPROM írás és olvasási lehetőség
- Bootloader szakasz:
  - programkód beolvasása a prog. mem-ba
  - távoli újrakonfigurálás

# Rádiós IC: CC2420 (Micaz)



# Fontosabb adatok

- Frekvenciasáv: 2400-2483.5 MHz
  - 16 csatorna 5MHz-es osztás (szabványos 802.15.4.)
- Adatátviteli sebesség: 250kbps (keretezés+szinkron)
- Half duplex adatátvitel
- Kedvező fogyasztás:
  - Rx: 19.7mA, Tx: 8.5-17.4mA,
  - Power down: 1-400uA
  - Programozható teljesítmény
- 128 byte adat FIFO Rx és Tx esetén (bufferelt adatátvitel)
- Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), Low IF struktúra: szórt spektrum, alacsony középfrekvencia
- Érzékenység min -90dBm
  - Szabvány: -85dBm (1% Packet Error Ratio)
- Tápfeszültség figyelés

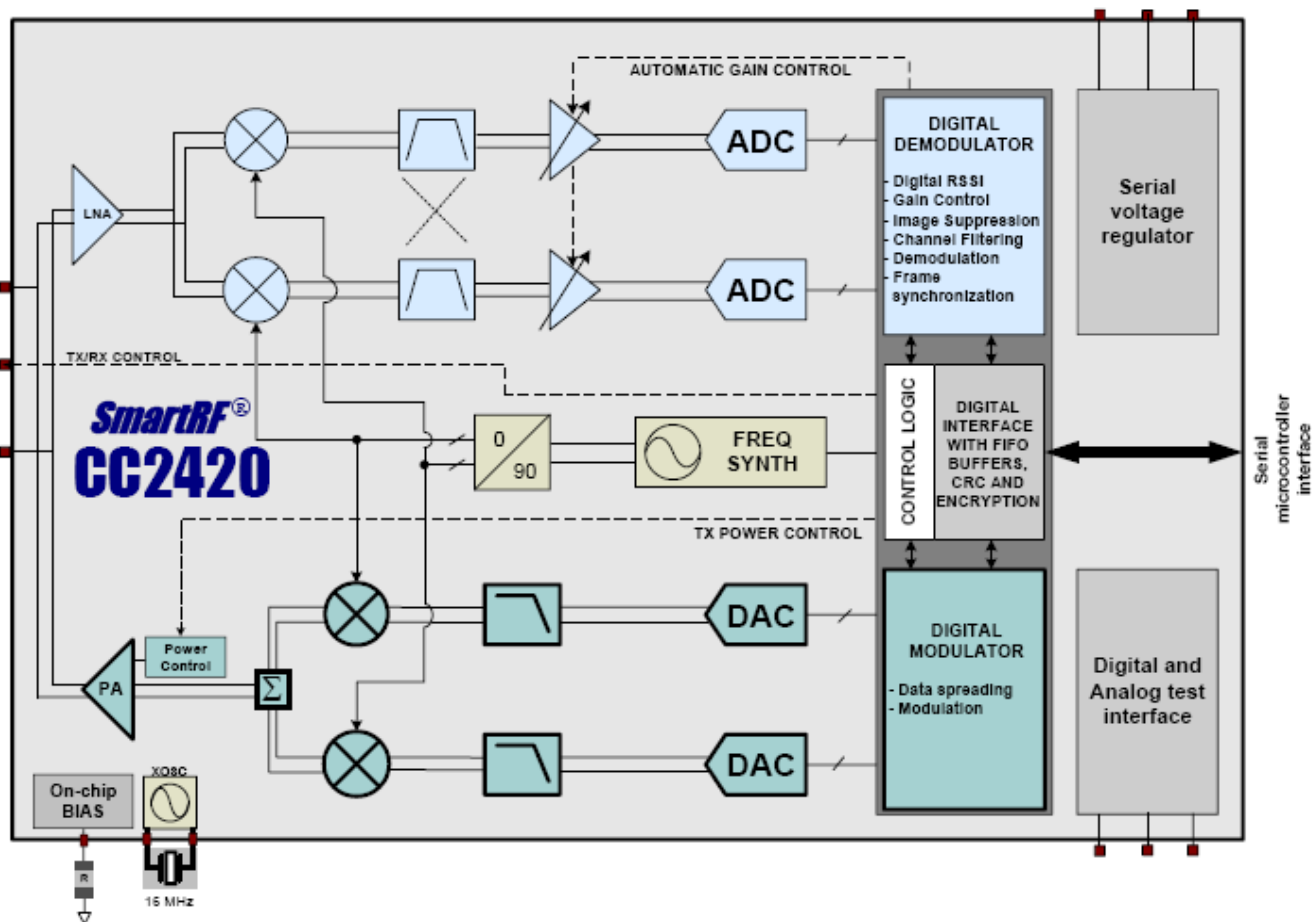
# Fogyasztási adatok

- 0dBm: 1mW
  - összehasonlításként: mobiltelefon max. 2W: nagyobb távolság
- 25dB dinamika a kimenő teljesítményben (kb. 300x)
- Nem egyenesen arányos a fogyasztás a kisugárzott teljesítménnyel.  
Hatásfok pl. 0dBm:  $P_{out} = 1mW$ ;  $P_{fogy} = 17.4mA * 3V = 52.2mW$ 
  - Összességében:  $1mW/52.2mW \approx 2\%$  (beleértve minden más eszköz működését)

PA_LEVEL	TXCTRL register	Output Power [dBm]	Current Consumption [mA]
31	0xA0FF	0	17.4
27	0xA0FB	-1	16.5
23	0xA0F7	-3	15.2
19	0xA0F3	-5	13.9
15	0xA0EF	-7	12.5
11	0xA0EB	-10	11.2
7	0xA0E7	-15	9.9
3	0xA0E3	-25	8.5

# Felépítés

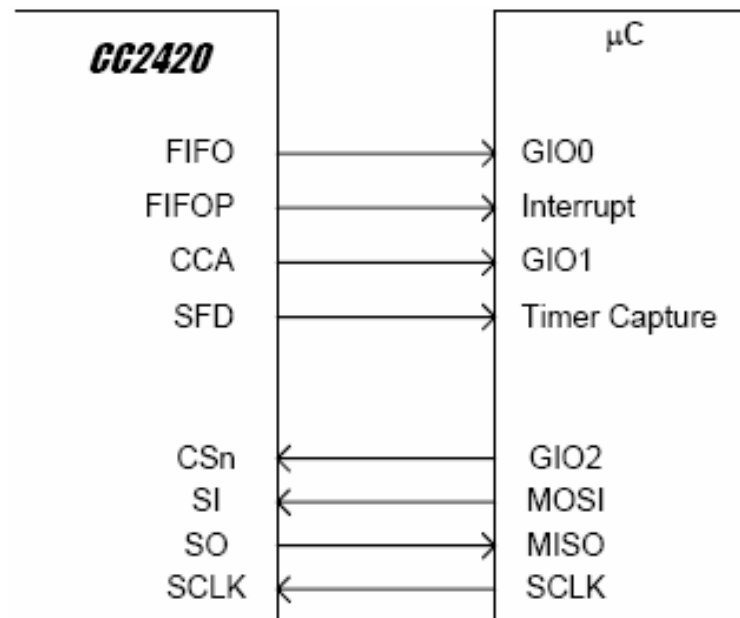
- Minimális külső komponens
- Digitális demodulálás és alapsávi feldolgozás
- Kódolás: automatikusan DC kiegyenlített (lásd CC1000)



# Kommunikációs interface

- Kommunikáció 4 adatvonalon: soros kommunikáció (SPI)
  - (max 10MHz vs. 250kbps adatátvitel)
- 4 állapotvonal: vételhez és adáshoz használható
- 50 regiszteren keresztül konfigurálható
- Belső állapotok lekérdezése a regiszteren keresztül:
  - aktuális üzemmód (Tx,Rx), RSSI, stabil-e a működés, FIFO over/underflow

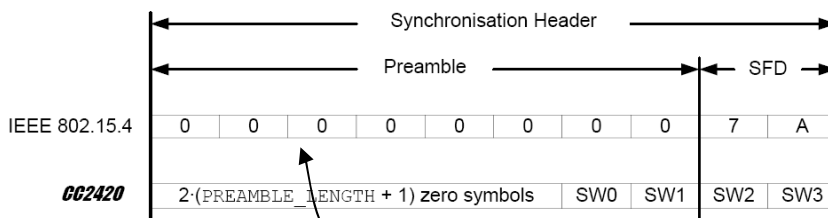
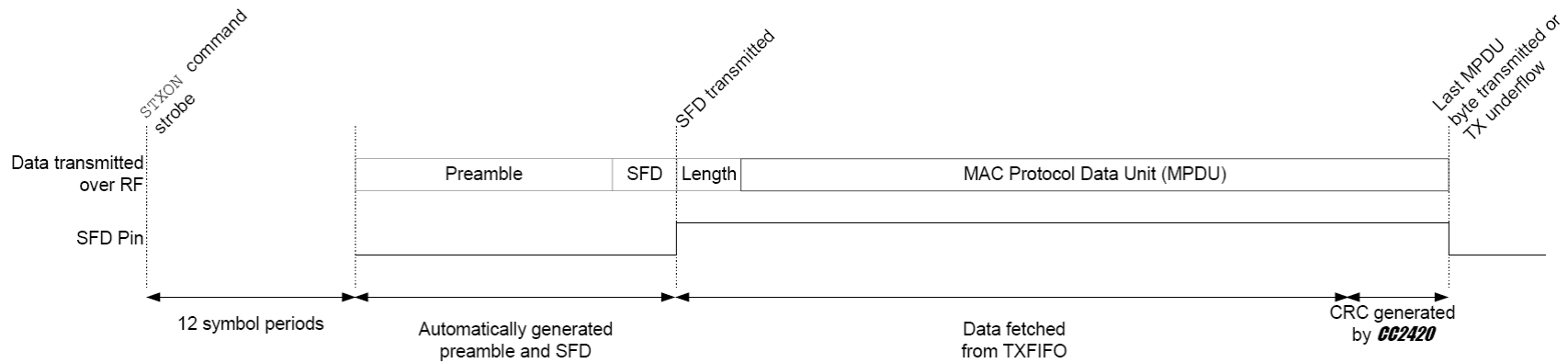
- MISO: Master In Slave Out
- MOSI: Master Out Slave In
- CS: Chip Select
- SCLK: Serial Clock





# Adás

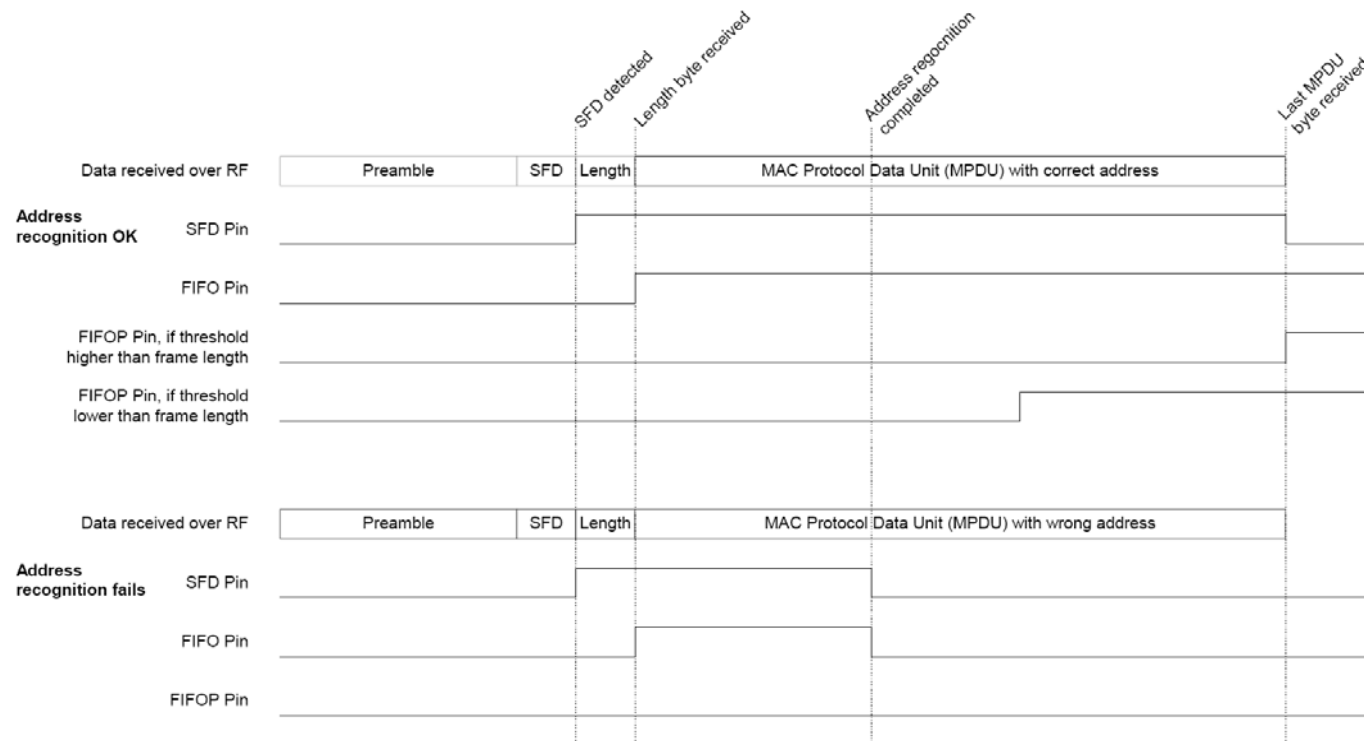
- HW-es csatornafigyelés: CCA (Clear Chanel Assessment) láb: ütközésetektálás (STXON / STXONCCA)
- Többosztú címzés (csoport, eszköz, lásd IEEE 802.15.4)
- Preamble, SFD: ismert sorozat az adó-vevő összehangolásához



valójában nem csupa 0 a kódolási technika miatt (spectrum spreading: 4bit symbol → 32bit)

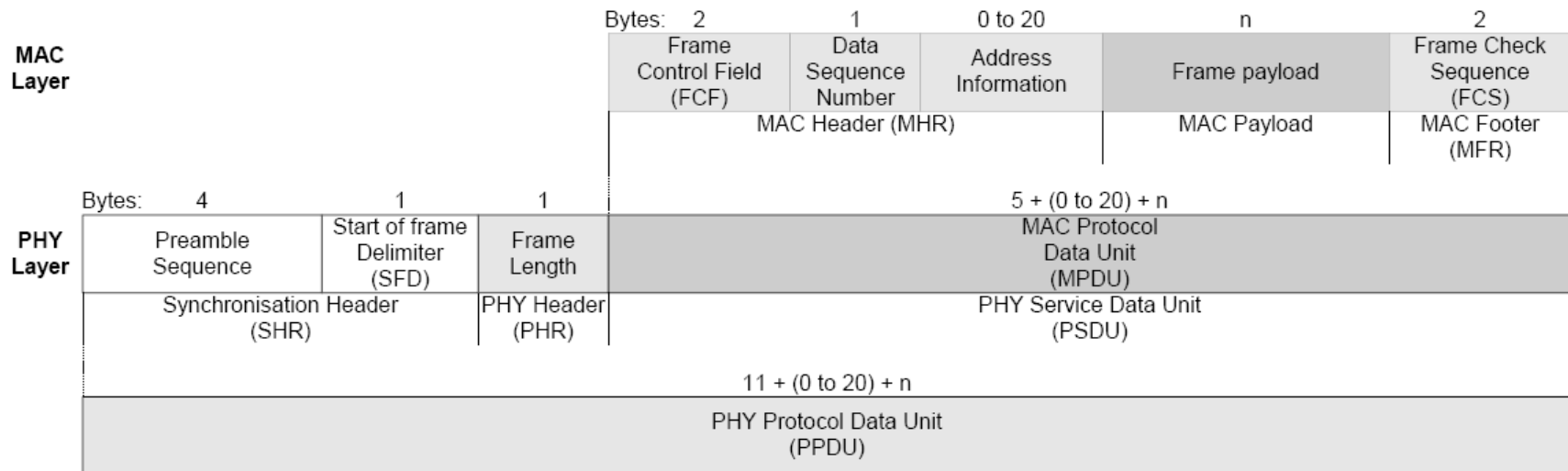
# Vétel

- Bufferelt vétel: 128Byte FIFO
- FIFO lábak: vett adat jelzése
- Automatikus CRC ellenőrzés, automatikus címfelismerés
- Automatikus ACK küldési lehetőség: mentesíti a uC-t
- RSSI + LQI (Link Quality Indicator: több byteból), RSSI: lehet zavar is



# Adatformátum

- Szabványos ZigBee adatformátum (IEEE 802.15.4.) hardveresen
- HW-es csatornafigyelés: CCA (Clear Chanel Assessment) láb: ütközésetektálás
- Többszintű címzés (csoport, eszköz, lásd IEEE 802.15.4)
- Preamble, SFD: ismert sorozat az adó-vevő összehangolásához
- FCF: típus, címzési módok, ACK kérés, titkosítás, függő csomag
- FCS: hibaellenőrzés (CRC), automatikus



# CC2420 működésének állapotgépe:

[állapot kódszáma]:  
belső változók

•Startup time: 0.3ms-0.6ms

•calibrate:  
a paraméterek változásának kiküszöbölése (pl. hőmérsékletváltozás)

•tolerancia:  
+/-40ppm eltérés a kvarc nominális frekvenciájától

