

Gingl Zoltán, 2017, Szeged

Mikrovezérlők Alkalmazástechnikája

Analóg perifériák és használatuk

Komparátor

Komparátor ▶ Alapok

▶ Analóg jelekből kétállapotú jel

▶ Két bemeneti feszültség, V_p, V_n

▶ Logikai kimenet:

▶ 1, ha $V_p > V_n$

▶ 0, egyébként

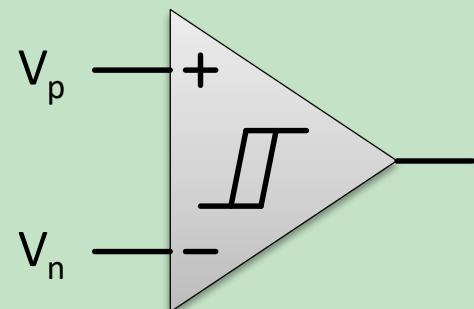
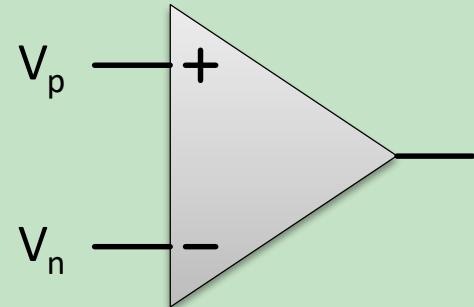
▶ Hiszterézis (h):

▶ 1, ha $V_p - V_n > h/2$

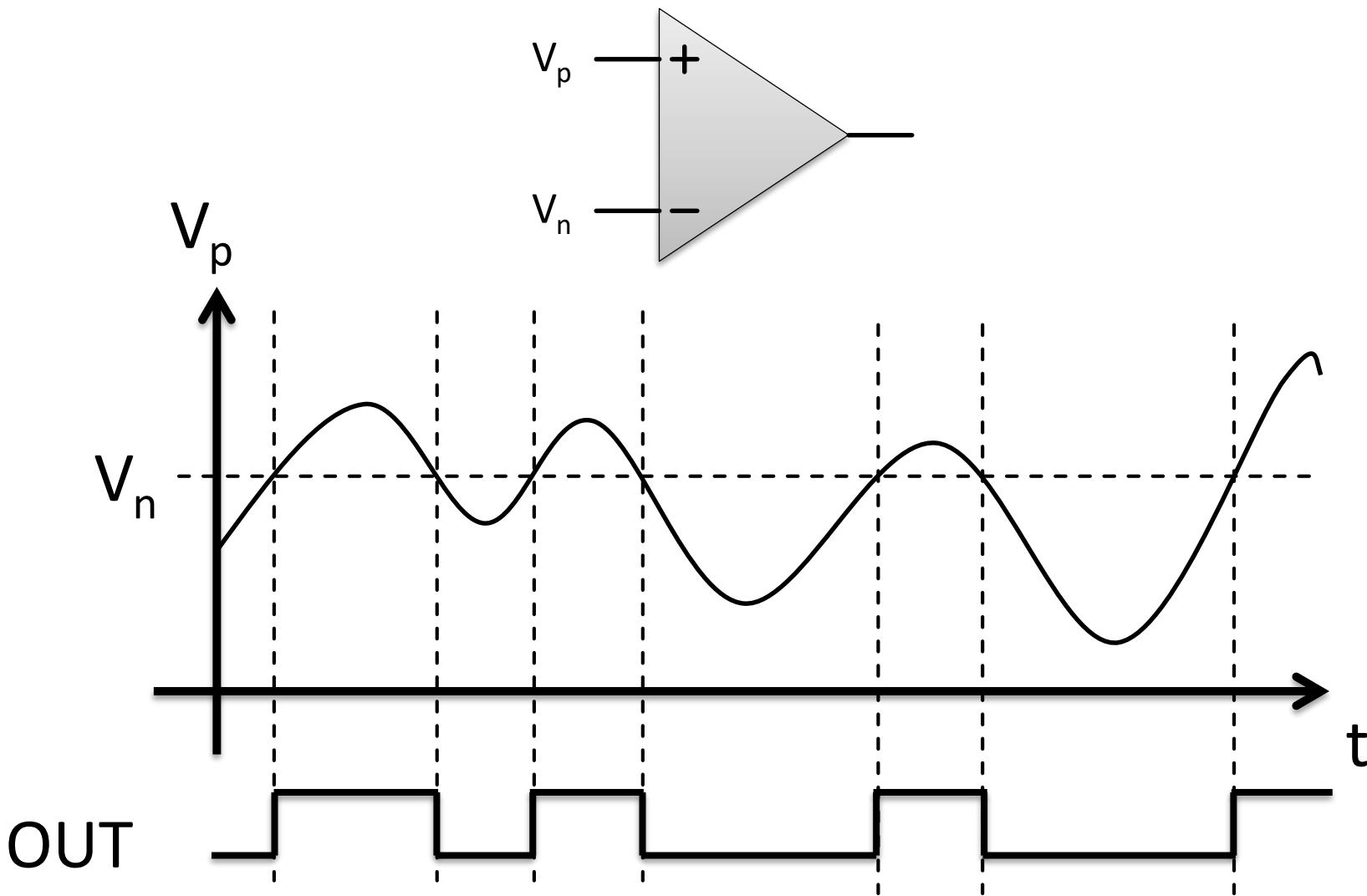
▶ 0, ha $V_p - V_n < -h/2$

▶ változatlan állapot, egyébként

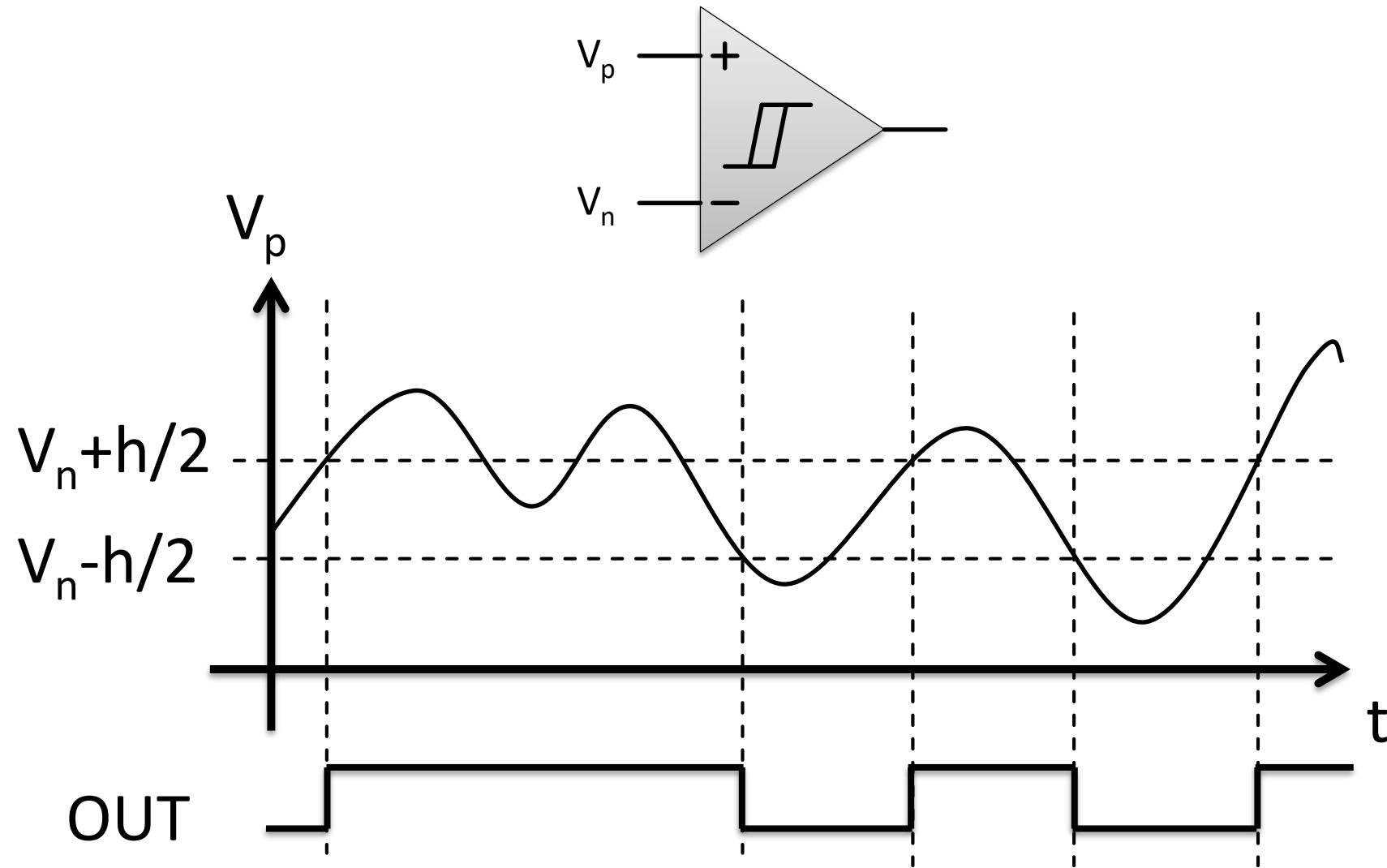
▶ Memóriával rendelkezik



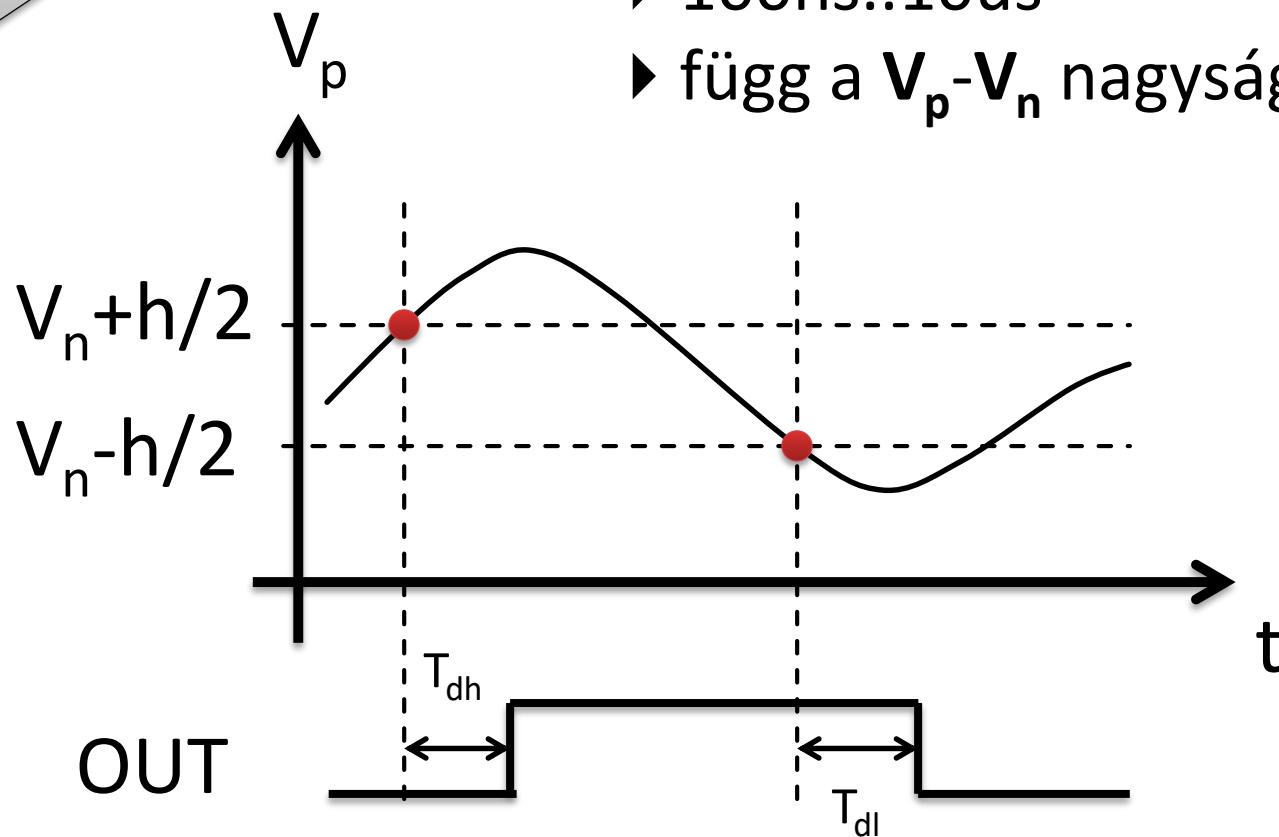
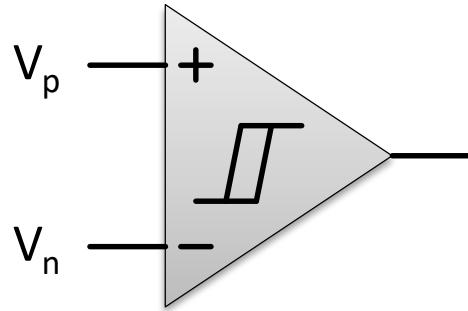
Komparátor ▶ Idődiagram



Komparátor ▶ Schmitt-trigger



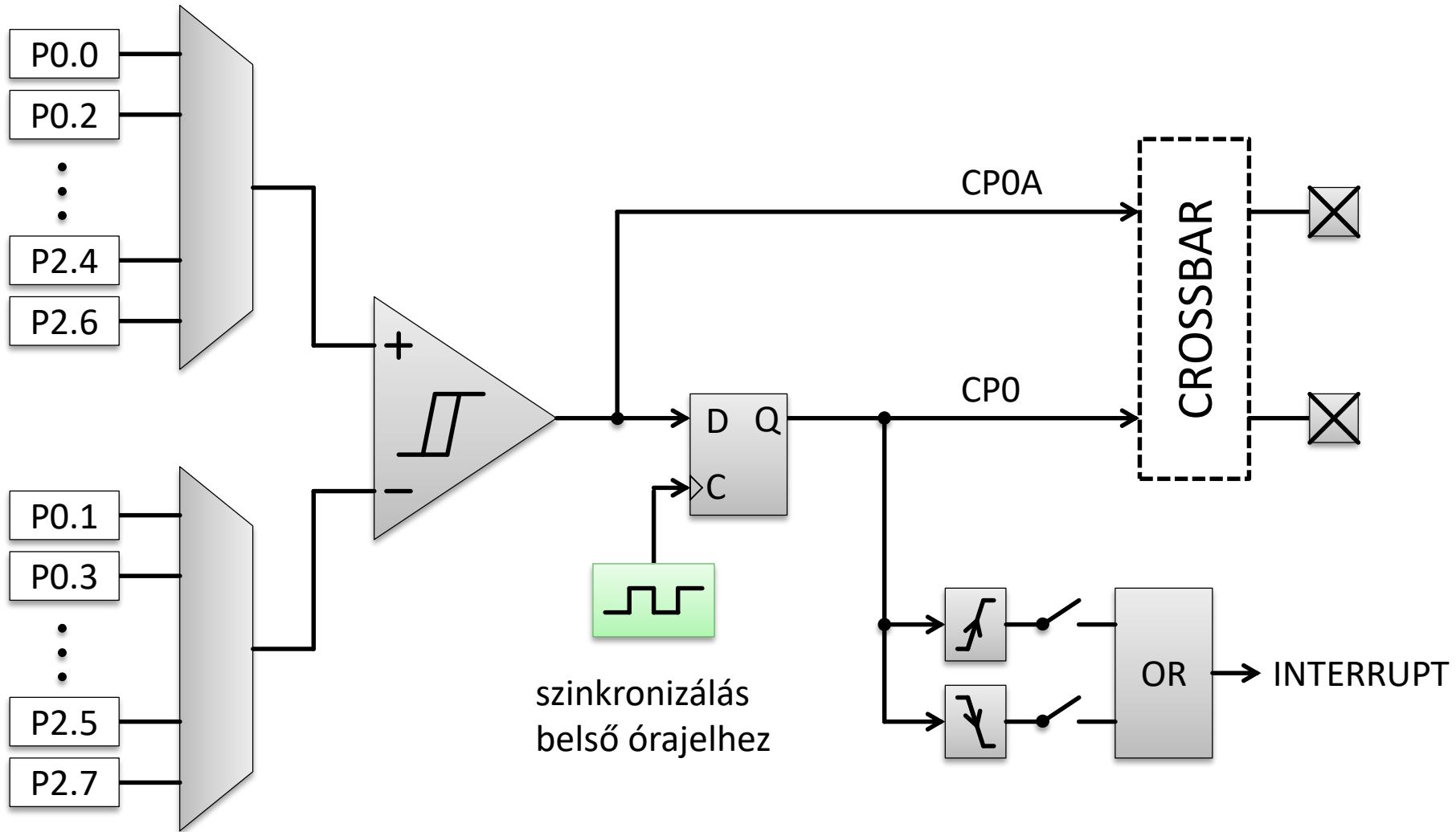
Komparátor ▶ Késleltetés



**Programozható késleltetés
(áramfelvétel):**

- ▶ 100ns..10us
- ▶ függ a $V_p - V_n$ nagyságától is

Komparátor ▶ Hardverfelépítés



Komparátor ▶ Alkalmazások

- ▶ Különböző logikai szintek konverziója
- ▶ Szinuszos jelek logikai jelekké konvertálása
- ▶ R vagy C mérése
 - ▶ késleltetés mérése
 - ▶ feszültségszint digitális jellé alakítása
 - ▶ időtartam mérése
- ▶ Késleltetés létrehozása
 - ▶ RC áramkör kimenő jele
 - ▶ Változó küszöbszint

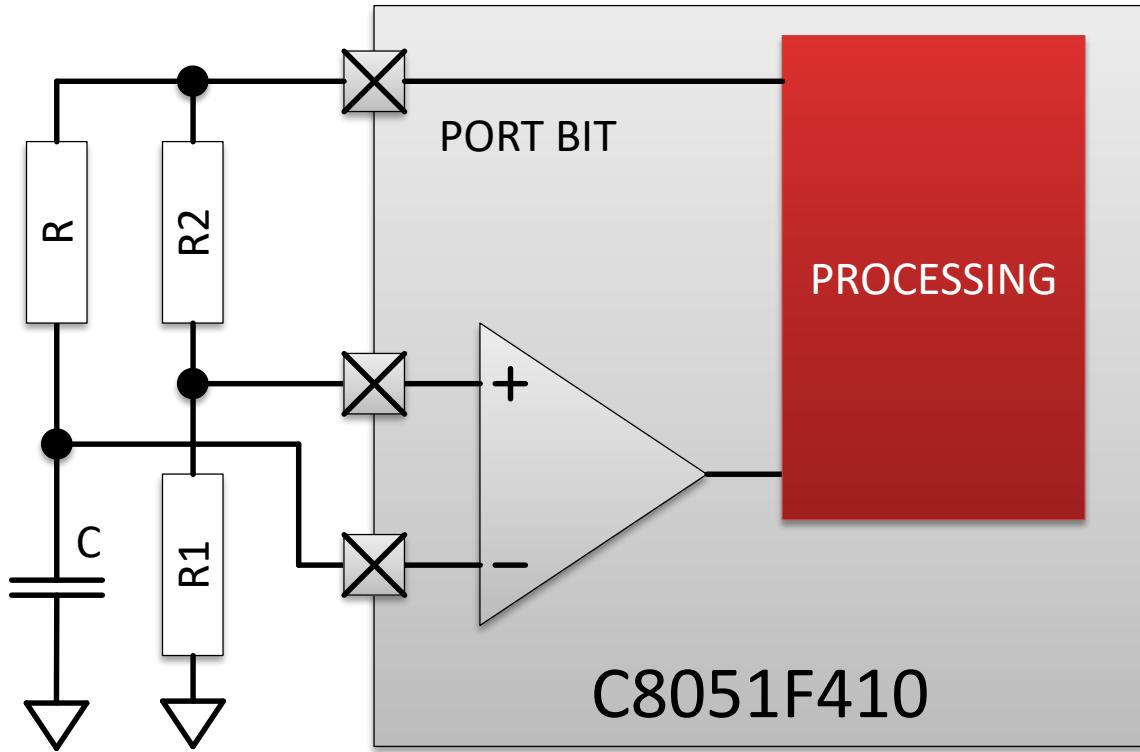
Komparátor ▶ RC mérés

$$1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$$

$$\frac{R_1 + R_2}{R_2} = \exp\left(\frac{t}{RC}\right)$$

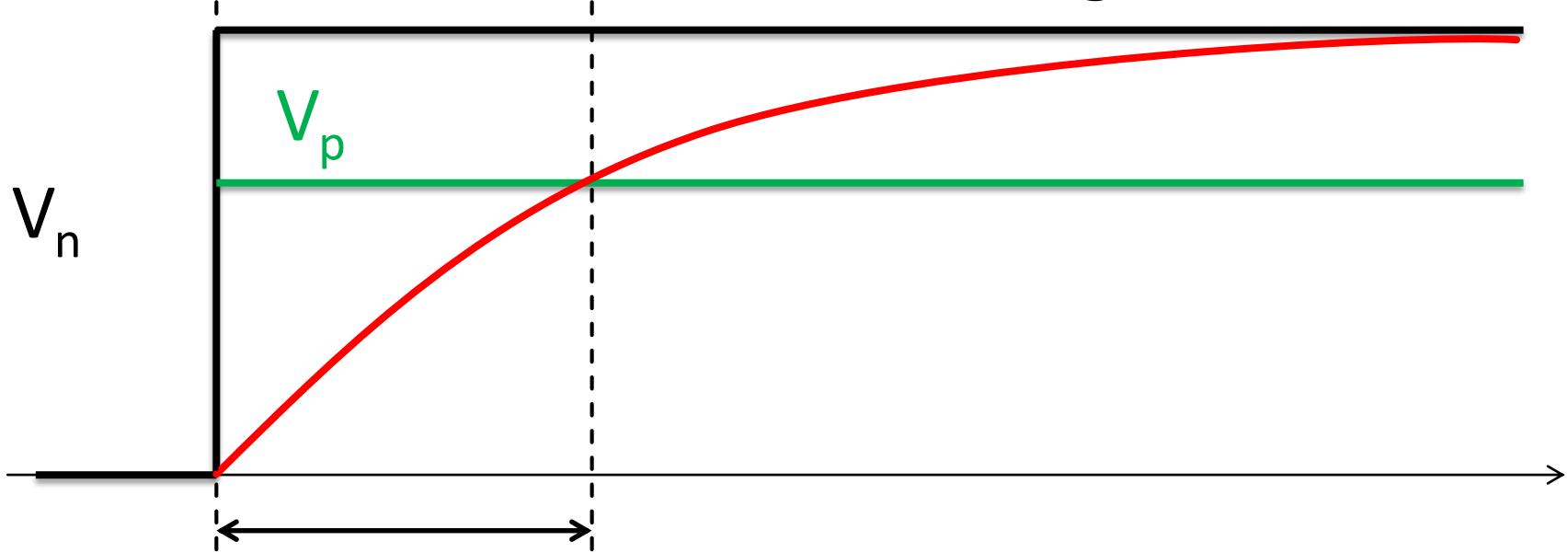
$$t = RC \cdot \ln\left(\frac{R_1 + R_2}{R_2}\right)$$



$$R1=4k7, R2=2k7 \rightarrow t \approx RC \cdot 1,008 \approx RC$$

Komparátor ▶ RC mérés

Port bit kimeneti feszültség

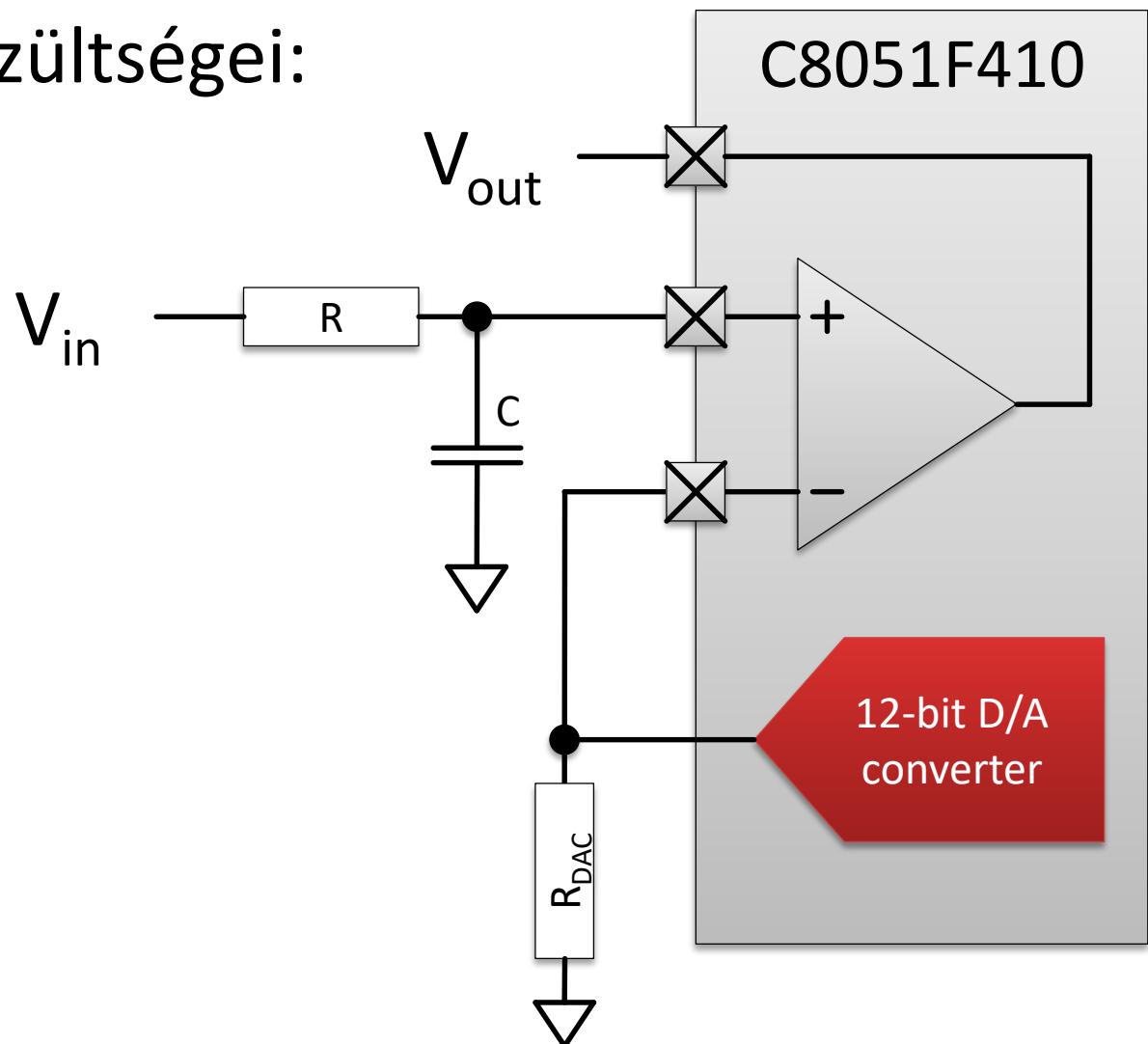


$$t = RC \cdot \ln\left(\frac{R_1 + R_2}{R_2}\right)$$

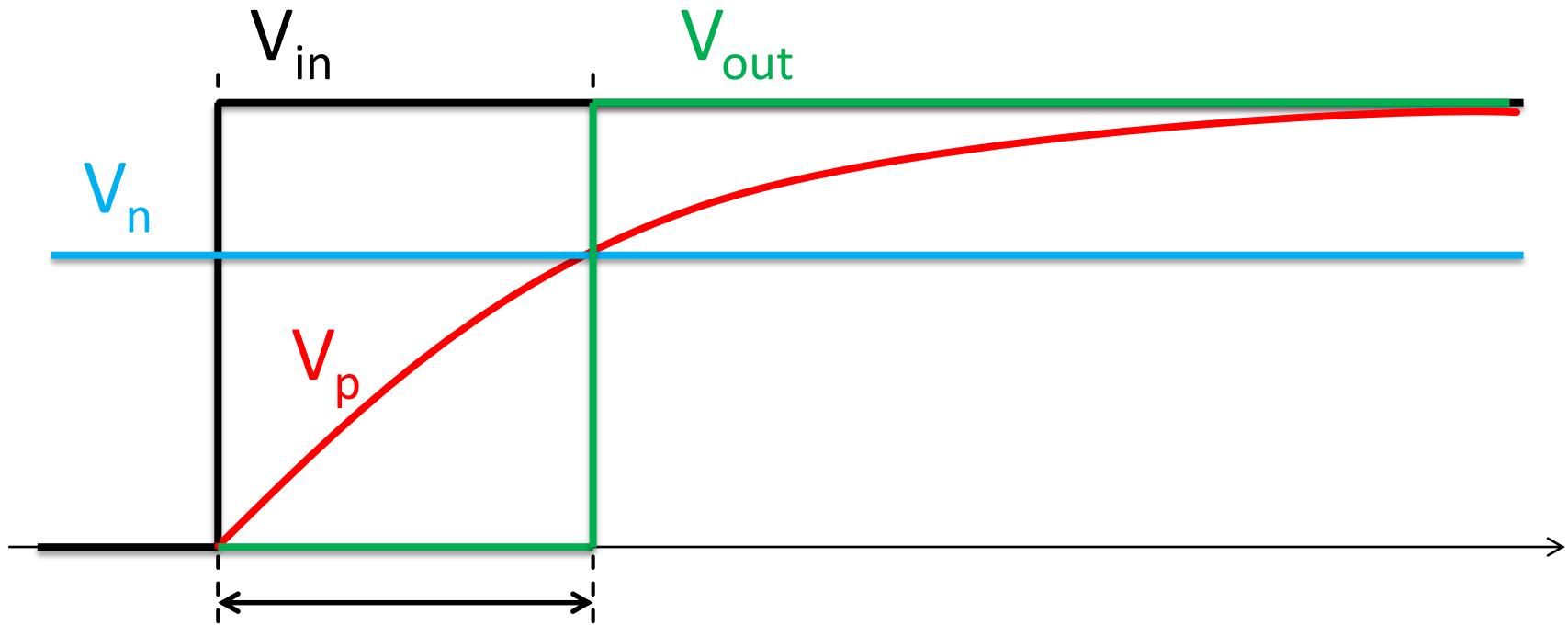
Komparátor ▶ Programozható késleltetés

digitális jelek feszültségei:

V_{in} és V_{out}



Komparátor ▶ Késleltetés

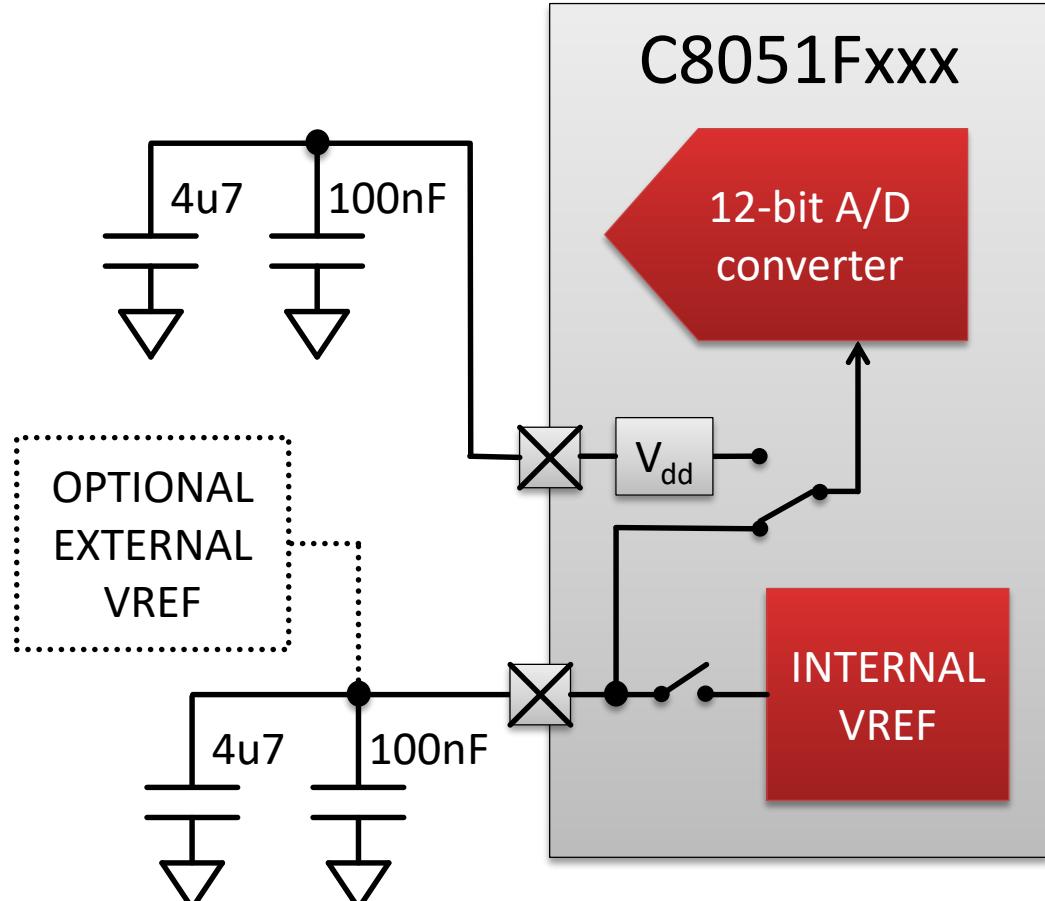


- ▶ Ha V_{in} 1-re vált, a kondenzátor töltődik
- ▶ Ha elérte a szintet, a kimenet 1-re vált
- ▶ Adott RC mellett V_n értékétől függ a késleltetés

Feszültségreferencia

Feszültségreferencia

- ▶ ADC, DAC
- ▶ Belső vagy külső
- ▶ Névleges érték
 - ▶ 1,5V; 2,2V; 2,5V
- ▶ Terhelhetőség
 - ▶ 200 μ A
 - ▶ 10ppm/ μ A
- ▶ Pontosság
 - ▶ 2%
 - ▶ 2mV/V supply rejection
 - ▶ 35ppm/K
- ▶ Feléledés: \approx 7ms



Feszültségreferencia

- ▶ Feléledési idő
 - ▶ néhány ms lehet
 - ▶ meg kell várni, mielőtt használatba vesszük
(az engedélyezés után várni kell)
- ▶ Pontosabb igényekhez külső referencia
- ▶ Tápfeszültséget ne használunk referenciaként
- ▶ A külső referencia alacsonyimpedanciás legyen
- ▶ Ne terheljük, használunk erősítőt

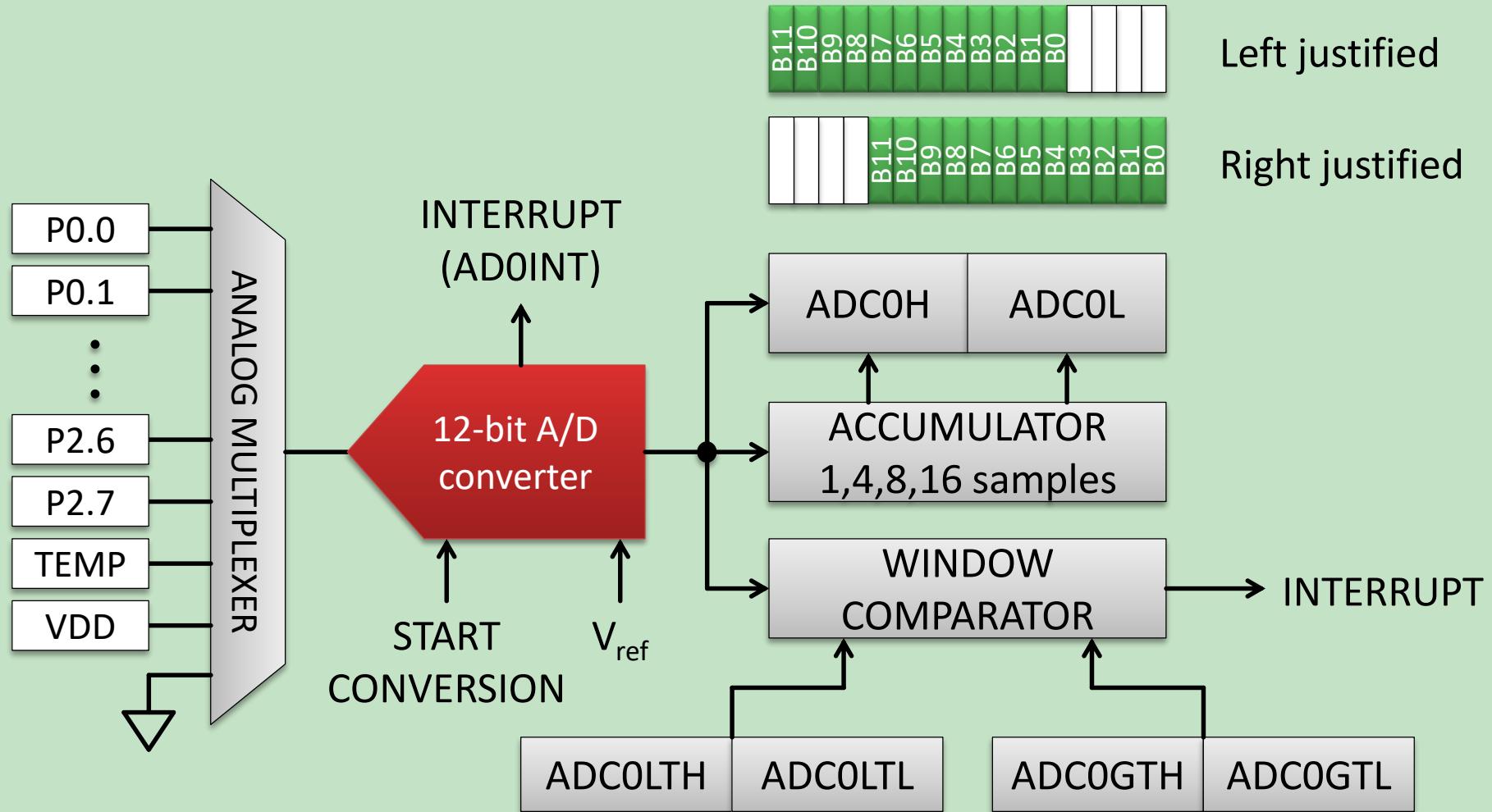
Analóg-digitál konverter

ADC ▶ Analog-digital converter

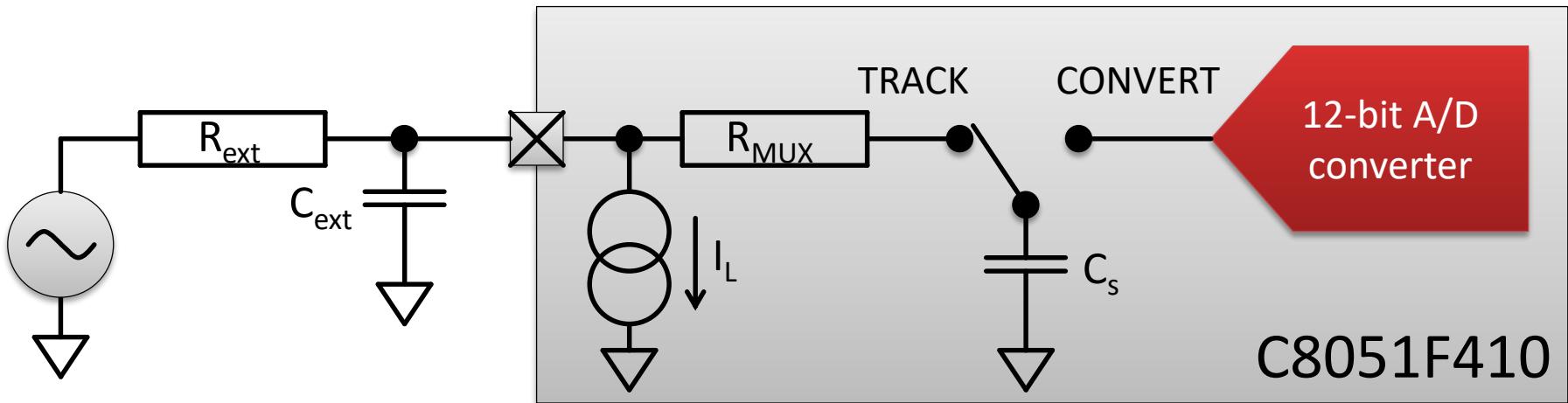
- ▶ Feszültség mérésére
- ▶ Digitalizálás
 - ▶ $0..V_{ref} \rightarrow 0..N-1$, ahol $N=2^b$, $b=8,10,12,16$ vagy 24
 - ▶ A felbontás V_{ref}/N , 1LSB (least significant bit)
 - ▶ A pontosság általában ennél gyengébb
 - ▶ INL (integral nonlinearity): 1-2 LSB

$$d = \left\lfloor \frac{V}{V_{ref}} N + 0,5 \right\rfloor$$

ADC ▶ F410 Hardverfelépítés

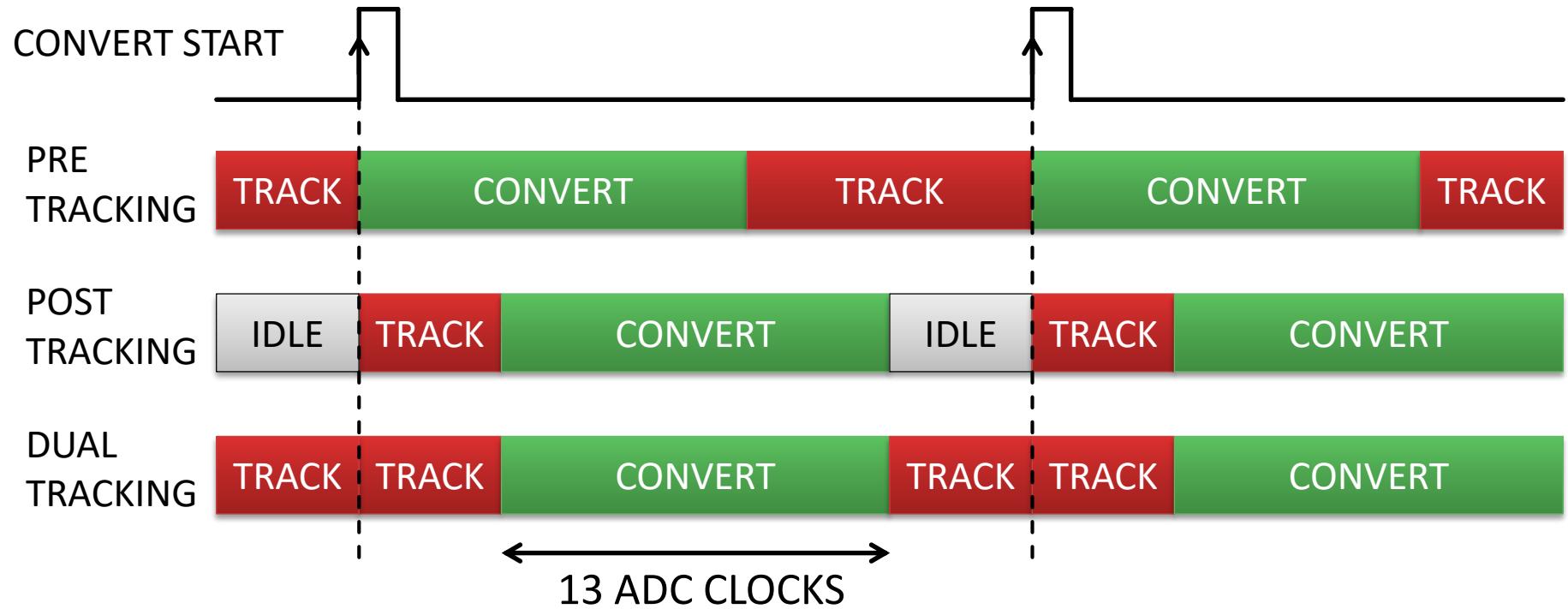


ADC ▶ Bemeneti tulajdonságok



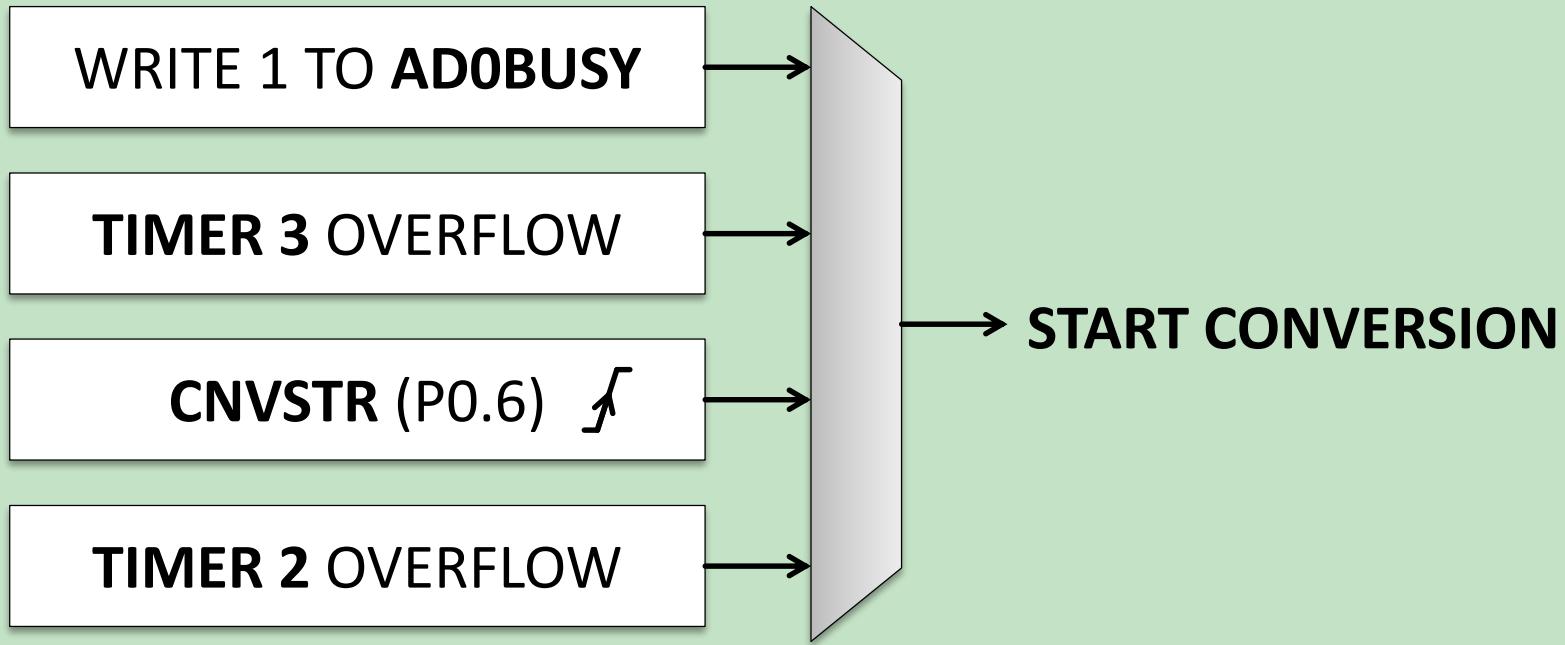
- ▶ Belső RC áramkör, R_{ext}/C_{ext} jelforrás impedancia
- ▶ minden konverzió kisüti a kondenzátort
 - ▶ még **DC jelek esetén** is idő kell a beálláshoz
- ▶ C_{ext} tipikusan pár nF (3n3, 4n7, 10n)
- ▶ R_{ext} tipikusan pár száz Ohm legyen
- ▶ Ha nagyobb az R_{ext} , akkor követő erősítő szükséges

ADC ▶ Mintavételezés és konverzió



- ▶ Fokozatos közelítés: 13 ciklus a 12 bithez
- ▶ ADC clock: 3MHz maximum

ADC ▶ A konverzió indítása



- ▶ A timer túlcsordulási pulzus (*nem flag*) vezérli
- ▶ A megszakítást az AD0INT vezérli

ADC ▶ Adatok (F410)

Parameter	Min	Typ	Max	Units
Resolution		12		bits
Integral nonlinearity			±1	LSB
Differential nonlinearity			±1	LSB
Offset error		±3	±10	LSB
Full scale error		±3	±10	LSB
SAR conversion clock (13 clocks/conversion)			3	MHz
Acquisition time	1			us
Throughput rate			200	kSPS
Signal-to-noise plus distortion	66	68		dB
Total harmonic distortion		-75		dB
Input voltage range	0		Vref	
Supply current	650	1000		uA

ADC ▶ Aszinkron mérés

```
P0MDIN = 0xFE; // P0.0 analog input
P1MDIN = 0xFB; // P1.2 analog input (VREF)
P0SKIP = 0x01; // skip P0.0
P1SKIP = 0x04; // skip P1.2
REF0CN = 0x13; // enable internal VREF
ADC0CF = 0x00; // 191406Hz ADC clock
ADC0CN = 0x80; // enable ADC (conversion: AD0BUSY)

unsigned int GetADC(unsigned char channel)
{
    ADC0MX = channel; // set the multiplexer
    AD0INT=0;          // clear the end of conversion flag
    AD0BUSY=1;          // start A/D conversion
    while (!AD0INT);   // wait for end of conversion
    AD0INT=0;          // clear the end of conversion flag
    return (ADC0H << 8)+ADC0L;
}
```

ADC ▶ Egyenletes mintavételezés, megszakítás

```
TMR2RLL = 0x60;
TMR2RLH = 0xFF;    // 100Hz overflow rate
TMR2CN  = 0x04;    // enable Timer 2
P0MDIN = 0xFE;    // P0.0 analog input
P1MDIN = 0xFB;    // P1.2 analog input (VREF)
P0SKIP  = 0x01;    // skip P0.0
P1SKIP  = 0x04;    // skip P1.2
REF0CN  = 0x13;    // enable internal VREF
ADC0CF  = 0x00;    // 191406Hz ADC clock
ADC0CN  = 0x83;    // enable ADC (conversion: TIMER2)
EIE1    = 0x08;    // enable ADC interrupt
IE      = 0x80;    // enable interrupts

void ADC_interrupt(void) interrupt ADC_VECTOR
{
    AD0INT=0;                      // clear flag
    adc_data=(ADC0H<<8) | ADC0L; // retrieve data
}
```

Digitál-analóg konverter

DAC ▶ D/A converter

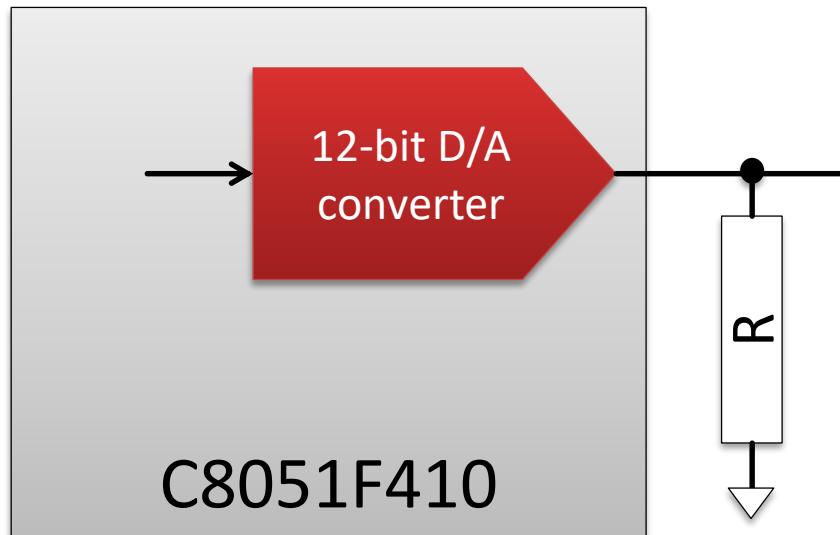
- ▶ Egész számokkal arányos
 - ▶ áramot vagy
 - ▶ feszültséget ad
- ▶ A kimeneti feszültség írások között változatlan
- ▶ A kivehető áram pár mA
- ▶ Felépítés:
 - ▶ R-2R hálózat
 - ▶ 2 hatványa szerint súlyozott áramok

DAC ▶ Alkalmazási példák

- ▶ Pontos, szoftveresen hangolható áram vagy feszültség
- ▶ Analóg jelekkel való vezérléshez
 - ▶ PWM helyett
 - ▶ Szenzorok gerjesztésére (pl. ellenállás)
- ▶ Speciális időfüggő jelek generálására
- ▶ Hangfrekvenciás jelek előállítására

DAC ▶ 12-bites áramkimenet (F410)

- ▶ A kimeneti áram tartománya:
 - ▶ I_{max} : 2mA, 1mA, 0,5mA vagy 0,25mA
- ▶ A kimeneti áram
 - ▶ $I = I_{max} \cdot N / 4096$

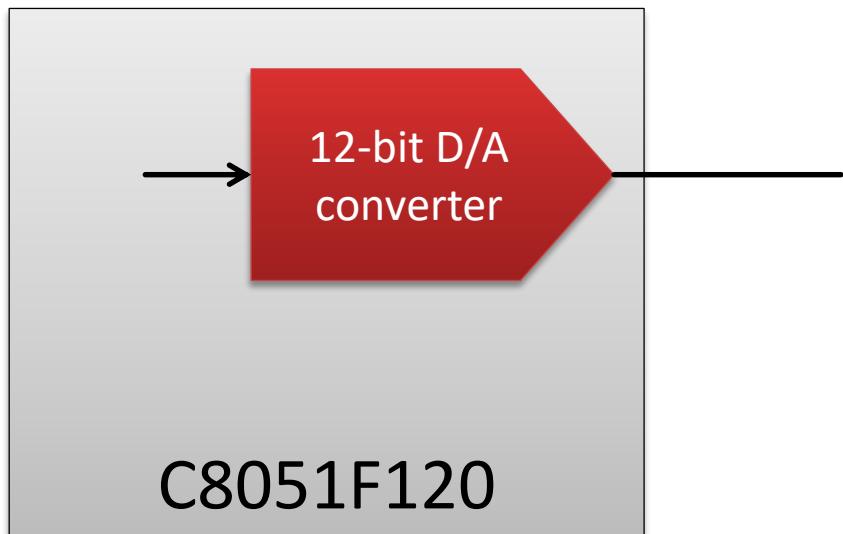


$$V_{out} = R \cdot I_{max} \frac{N}{2^{12}}$$

DAC ▶ 12-bites feszültségkimenet (F120)

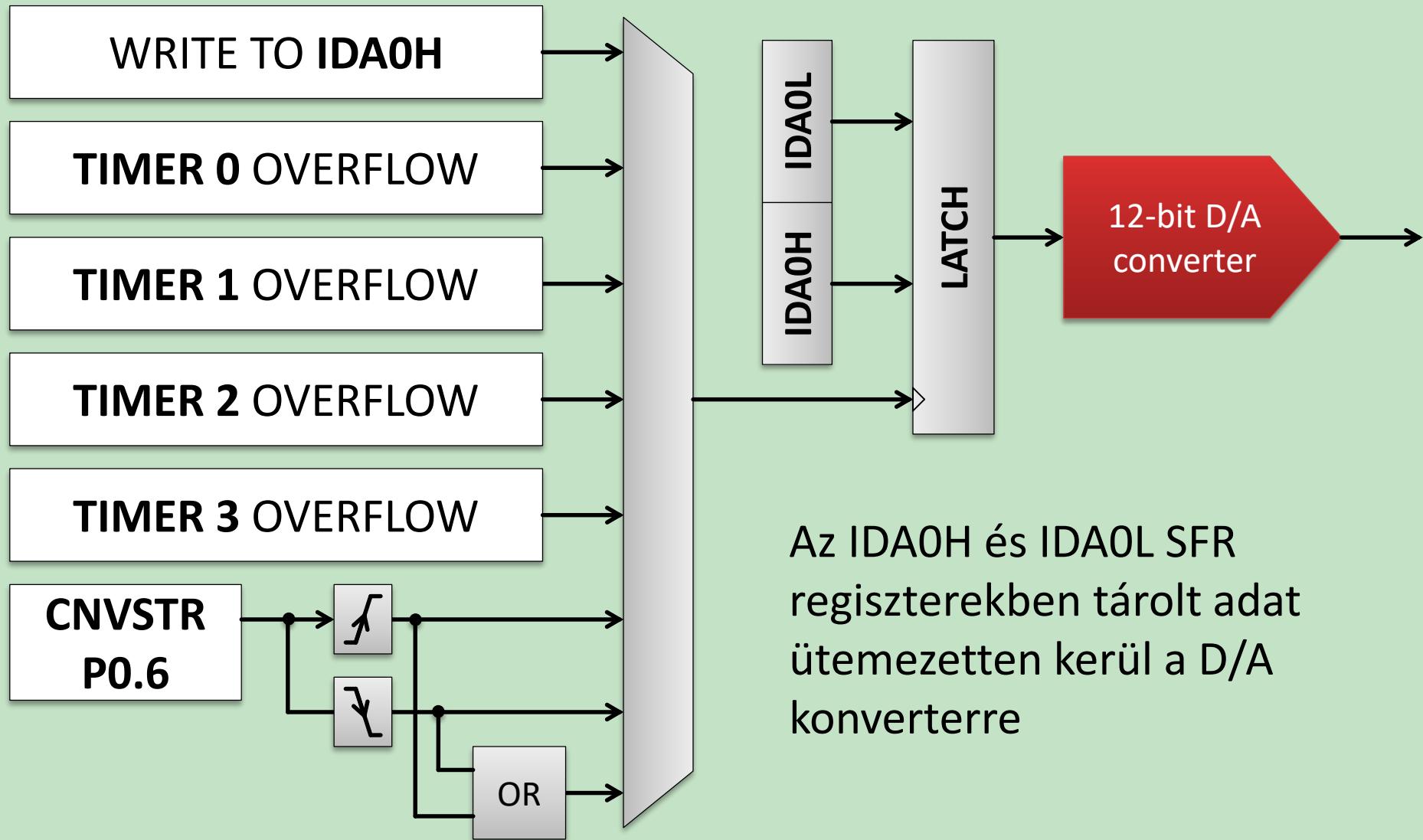
▶ A kimeneti áram tartománya:

- ▶ $0..V_{ref}$ (tipikusan 2,5V)
- ▶ A kimeneti feszültség
- ▶ $V_{out} = V_{ref} \cdot N / 4096$



$$V_{out} = V_{ref} \frac{N}{2^{12}}$$

DAC ▶ Indítási módok (IDA0 esetén)



DAC ▶ Adatok (F410)

Parameter	Min	Typ	Max	Units
Resolution		12		bits
Integral nonlinearity			±10	LSB
Differential nonlinearity			±1	LSB
Offset error		0		LSB
Gain error		0,05	2	%
Output compliance range			Vdd-1,2	V

DAC ▶ Aszinkron kimenet

```
IDA0CN = 0xF2; // enable DAC0, update by write to IDA0H
              // 1mA full scale, left justified data

IDA0L = 0;
IDA0H = 128;   // half scale, 0,5mA
```

DAC ▶ Szinkron kimenet

```
P0MDIN = 0xFE; // P0.0 analog input
P0SKIP = 0x01; // skip P0.0
IDA0CN = 0xB2; // enable DAC0, update: Timer3 overflow
                // 1mA full scale, left justified data
TMR2RLL = 0x60;
TMR2RLH = 0xFF; // 100Hz overflow rate
TMR2CN  = 0x04; // enable Timer2

IE      = 0xA0; // enable Timer2 and global interrupts

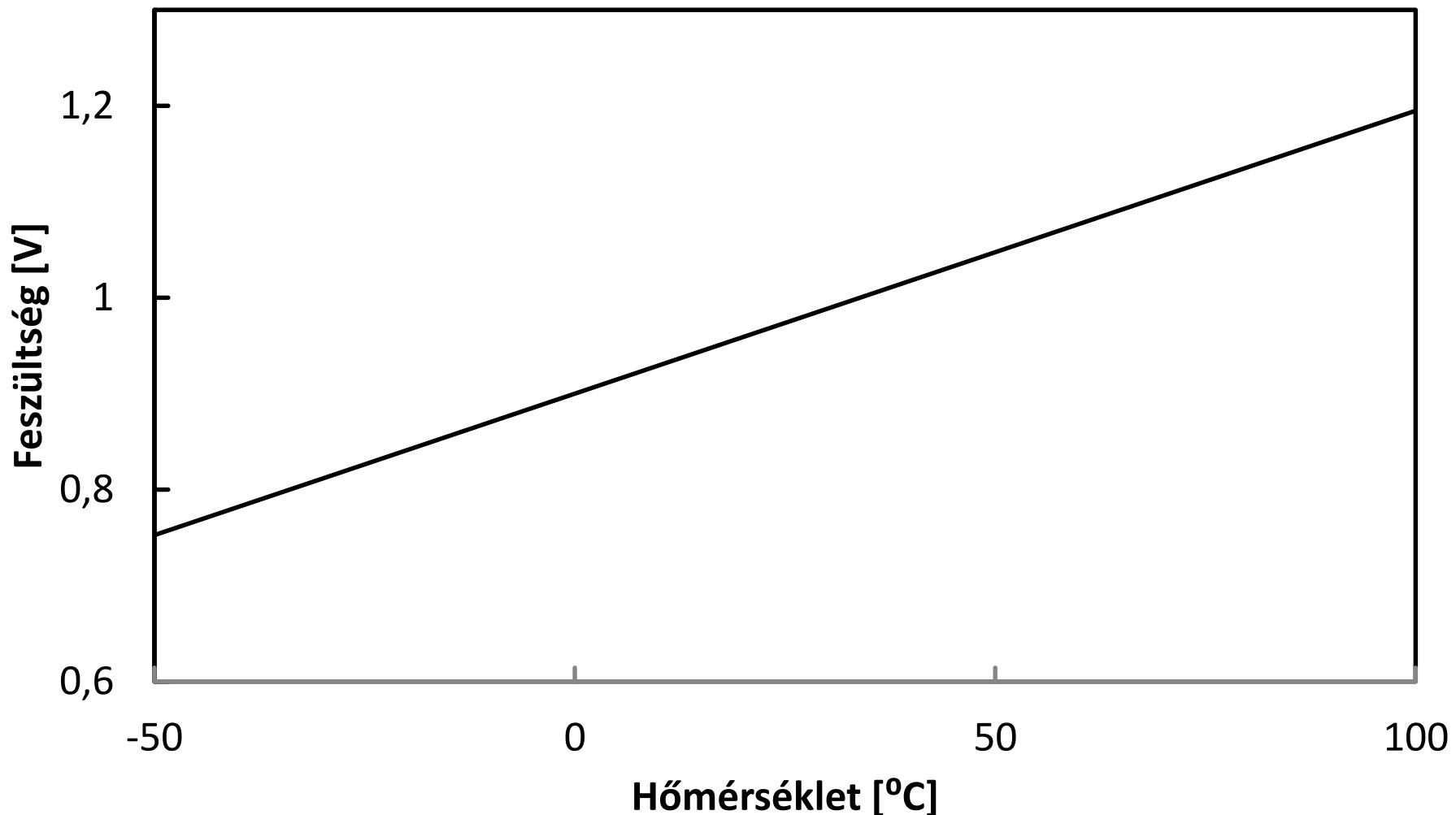
void Timer2_interrupt(void) interrupt TIMER2_VECTOR
{
    TF2H=0;
    IDA0L=dac_data;
    IDA0H=dac_data>>8;
}
```

Hőmérsékletszenzor

Hőmérsékletszenzor

- ▶ Az ADC bemeneteként választható
- ▶ Lineáris szenzor
- ▶ Tipikus adatok:
 - ▶ $2,95\text{mV}/{}^{\circ}\text{C}$ érzékenység
 - ▶ 900mV , ha $T=0\ {}^{\circ}\text{C}$
 - ▶ $0,2\ {}^{\circ}\text{C}$ linearitáshiba
- ▶ Kalibrálás nélkül akár $5\ {}^{\circ}\text{C}$ hiba
- ▶ A chip hőmérsékletét méri
 - ▶ Ha a chip önfűtése kicsi, akkor a panel hőmérsékletét

Hőmérsékletszenzor ▶ Tipikus karakterisztika



Beépített vagy külső analóg?

- ▶ A követelmények tisztázása fontos!
- ▶ Kritikus alkalmazásoknál csak garantált specifikációkban bízhatunk (min, max oszlopok)
- ▶ A külső perifériák gyakran precízebbek
 - ▶ nem feltétlen