

Gingl Zoltán, 2020, Szeged

Mikrovezérlők Alkalmazástechnikája

Analóg perifériák és használatuk

Komparátor

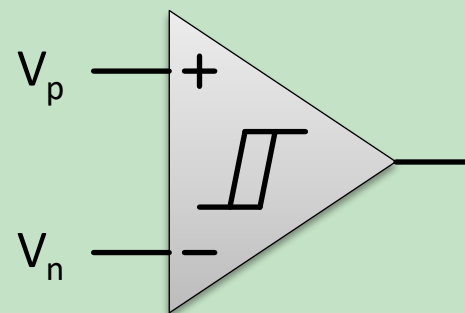
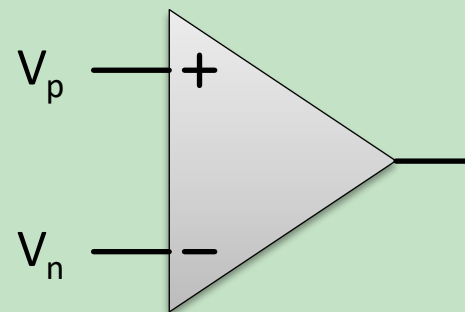
Komparátor ▶ Alapok

▶ Analóg jelekből kétállapotú jel

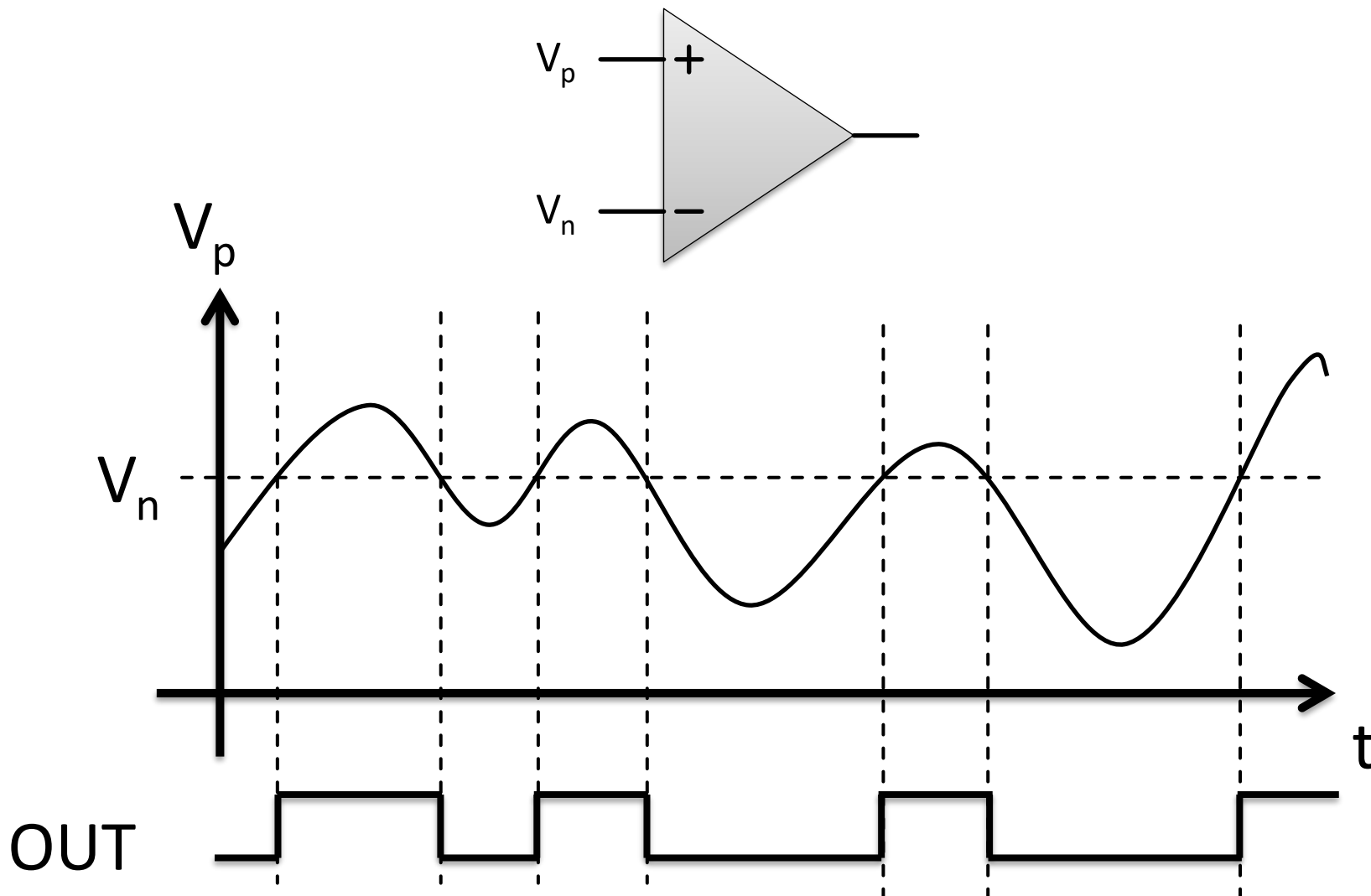
- ▶ Két bemeneti feszültség, V_n, V_p
- ▶ Logikai kimenet:
 - ▶ 1, ha $V_p > V_n$
 - ▶ 0, egyébként

▶ Histerézis (h):

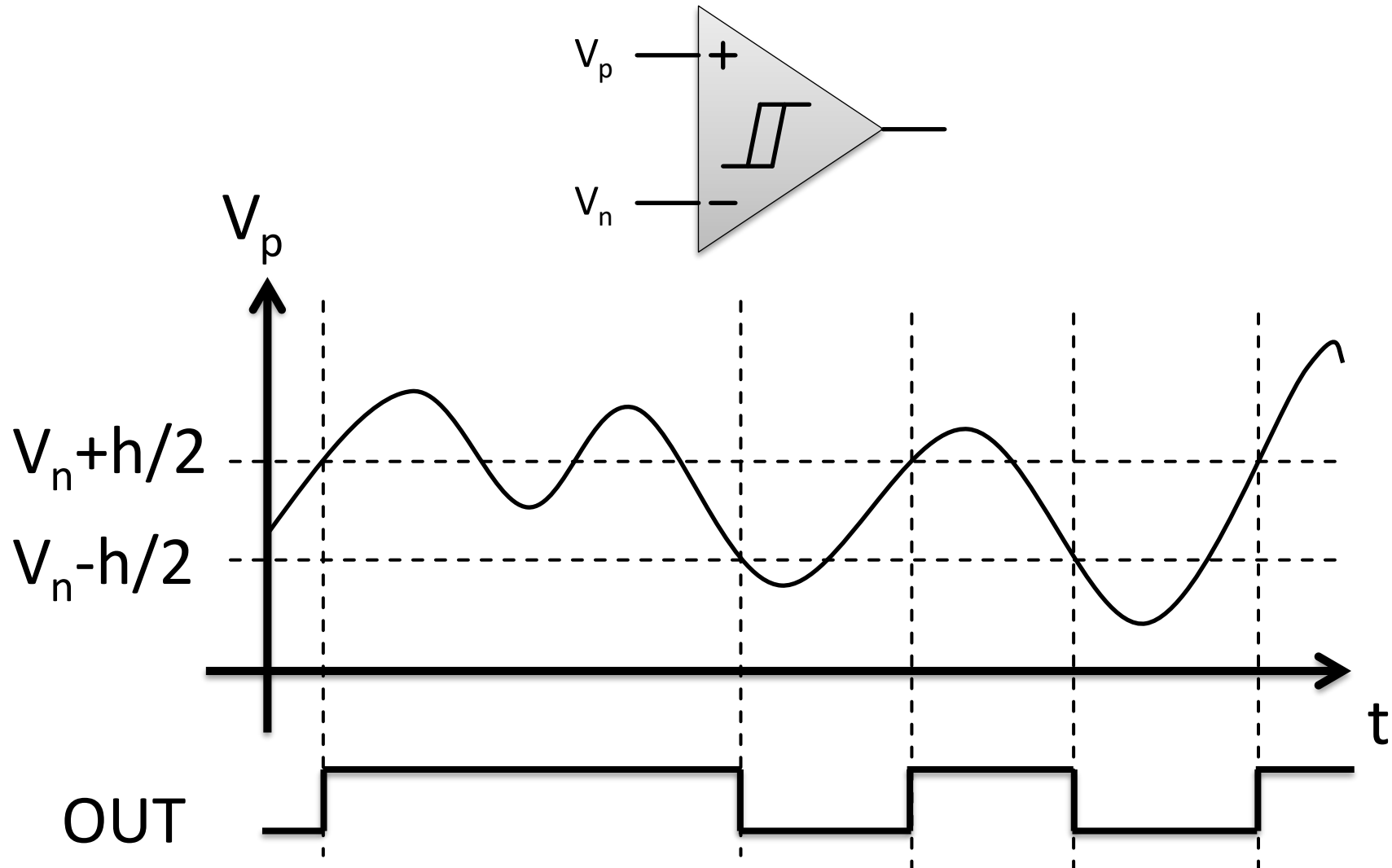
- ▶ 1, ha $V_p - V_n > h/2$
- ▶ 0, ha $V_p - V_n < -h/2$
- ▶ változatlan állapot, egyébként
- ▶ Memóriával rendelkezik



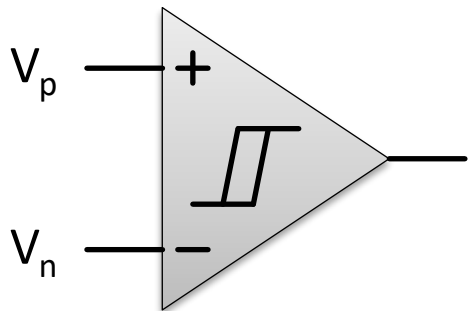
Komparátor ► Idődiagram



Komparátor ► Schmitt-trigger

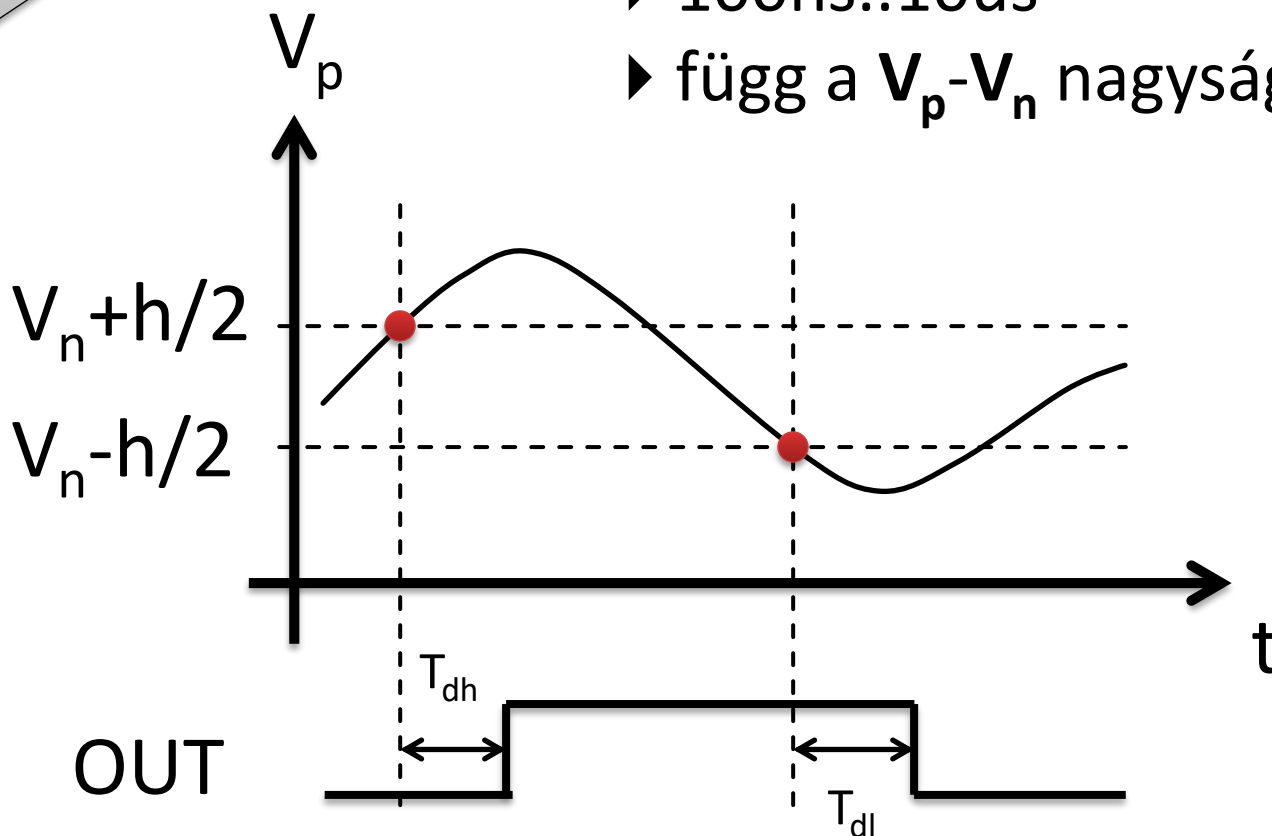


Komparátor ▶ Késleltetés

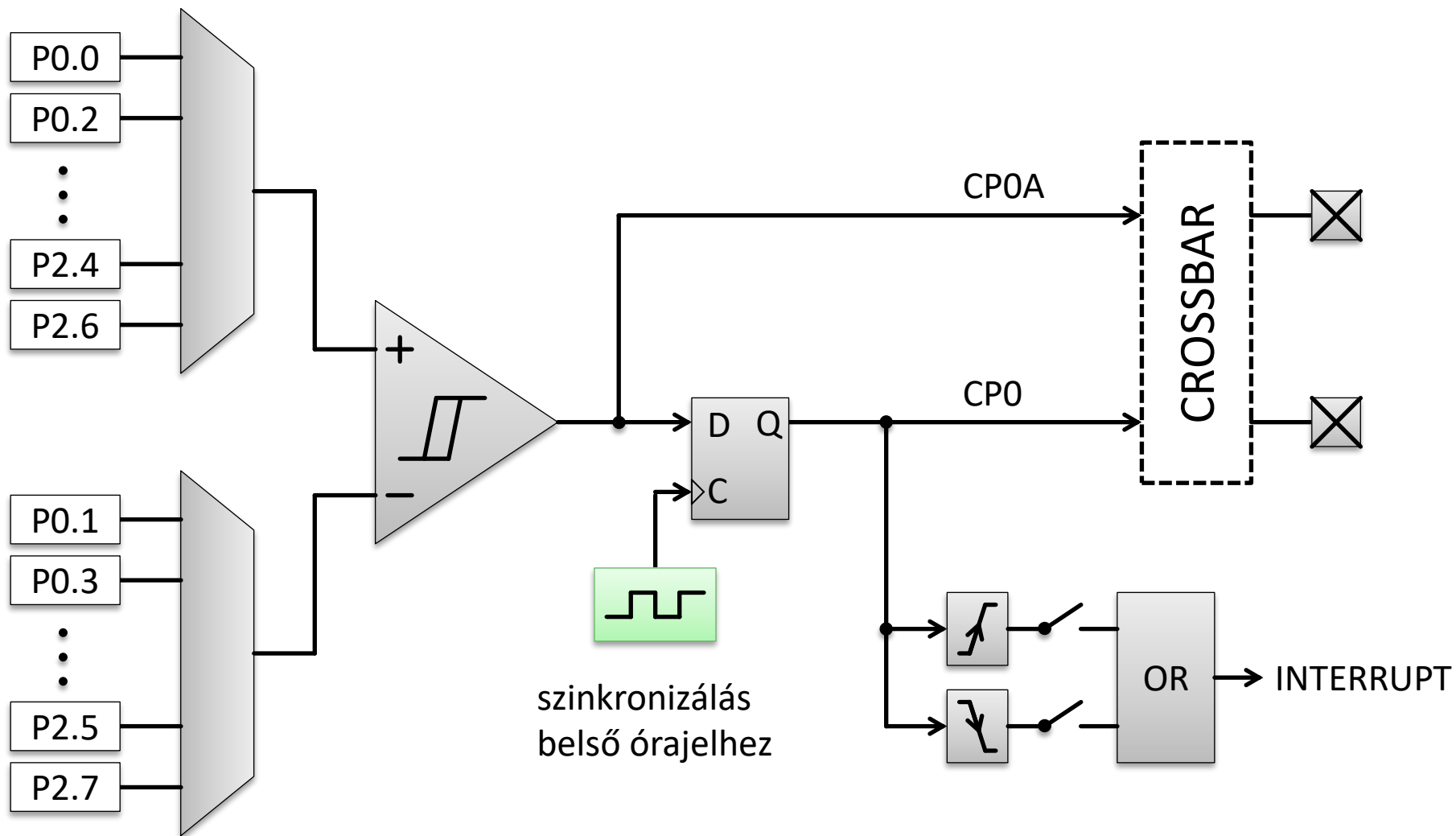


Programozható saját késleltetési idő (áramfelvétel):

- ▶ 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**
 - ▶ feszültség szint digitális jellé alakítása
 - ▶ időtartam mérése
- ▶ **Késleltetés létrehozása**
 - ▶ RC áramkör kimenő jele
 - ▶ Változó küszöbszint

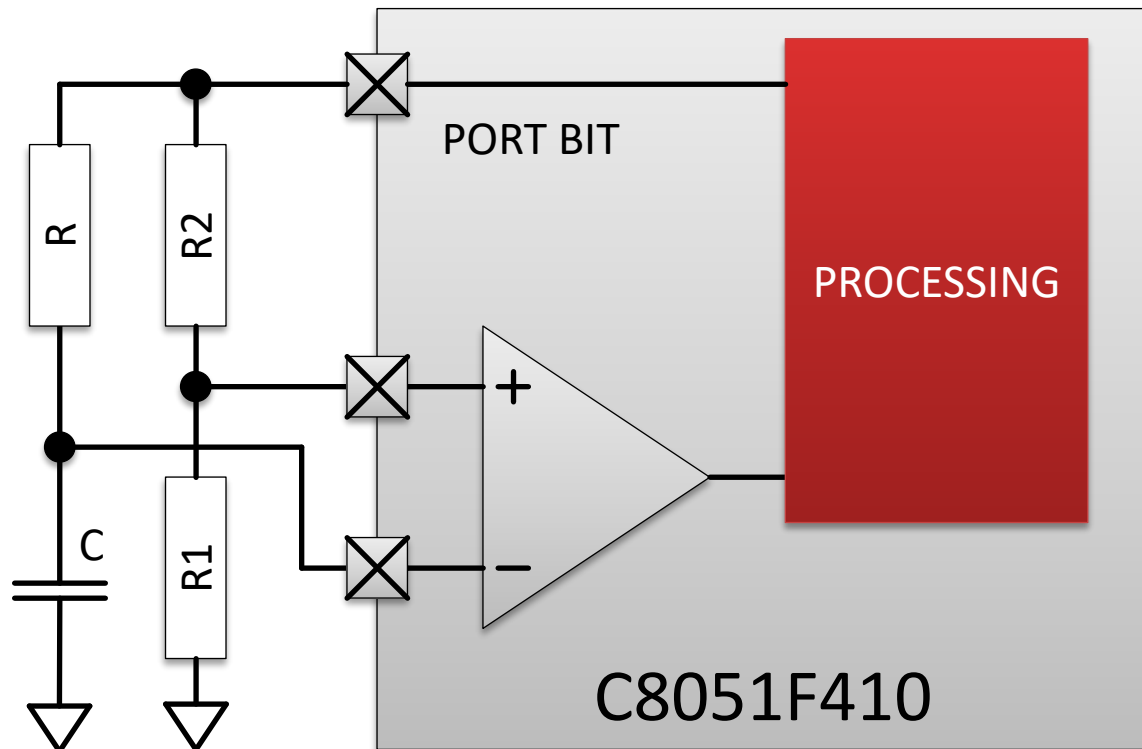
Komparátor ► RC mérés

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

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

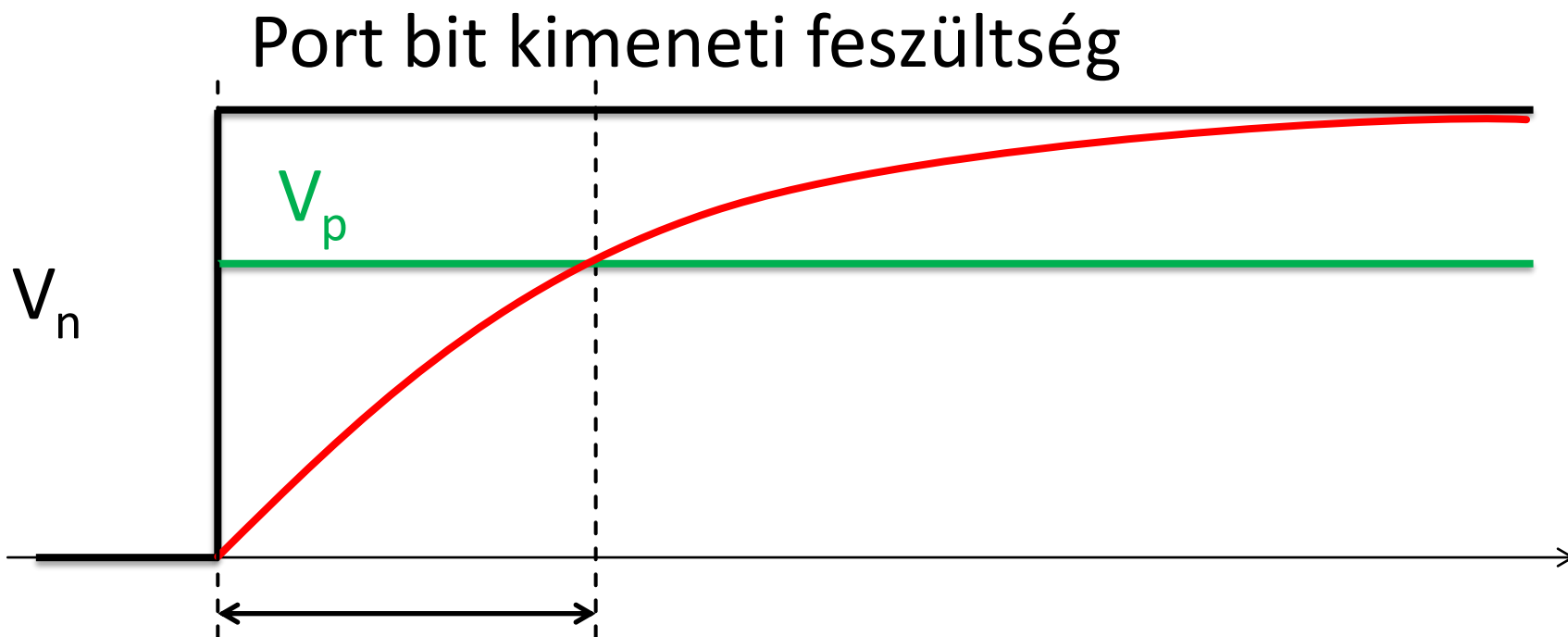
$$\frac{R_1 + R_2}{R_2} = \exp\left(\frac{t}{RC}\right)$$

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



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

Komparátor ► RC mérés

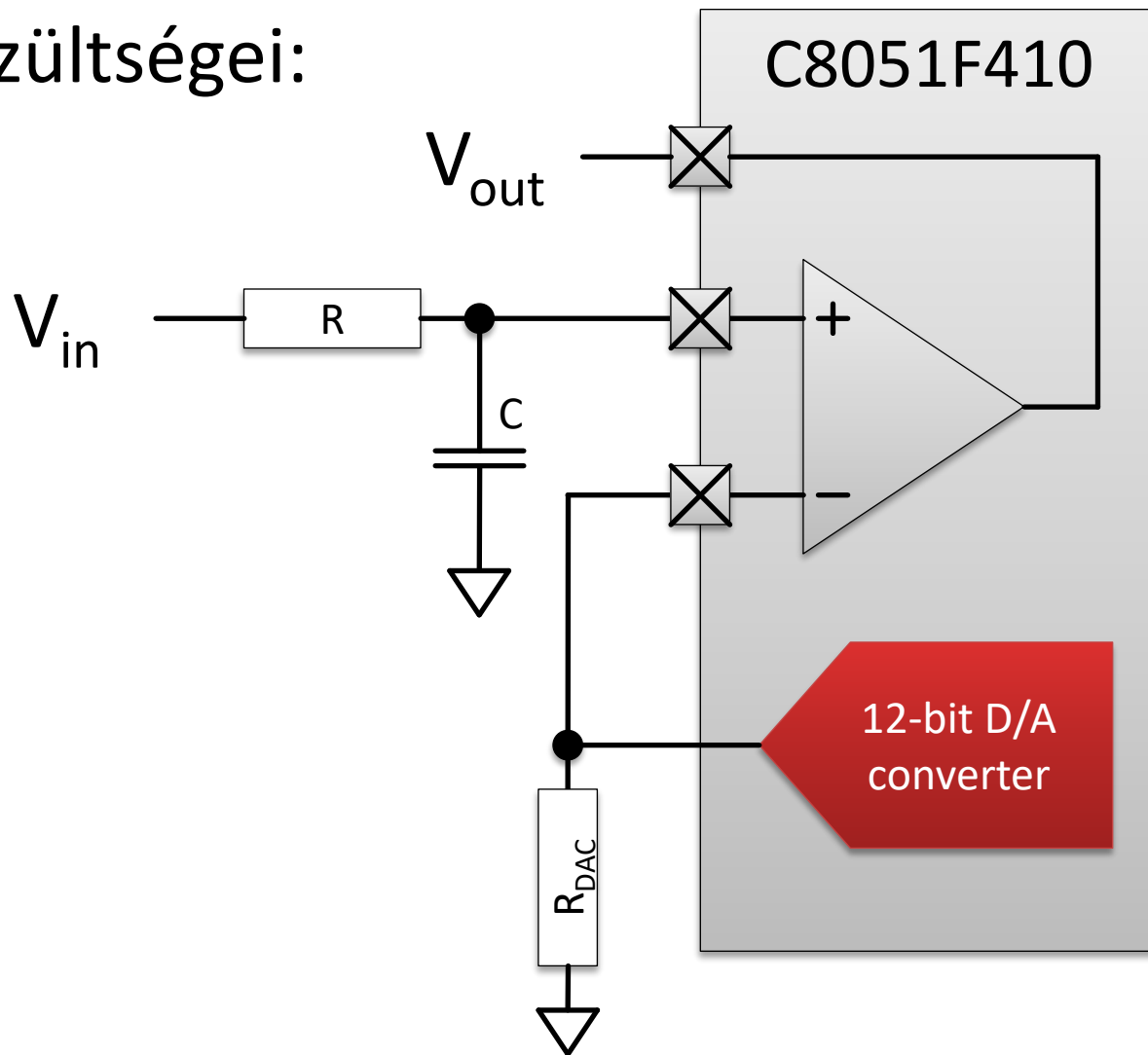


$$t = RC \cdot \ln\left(\frac{R_1 + R_2}{R_2}\right)$$

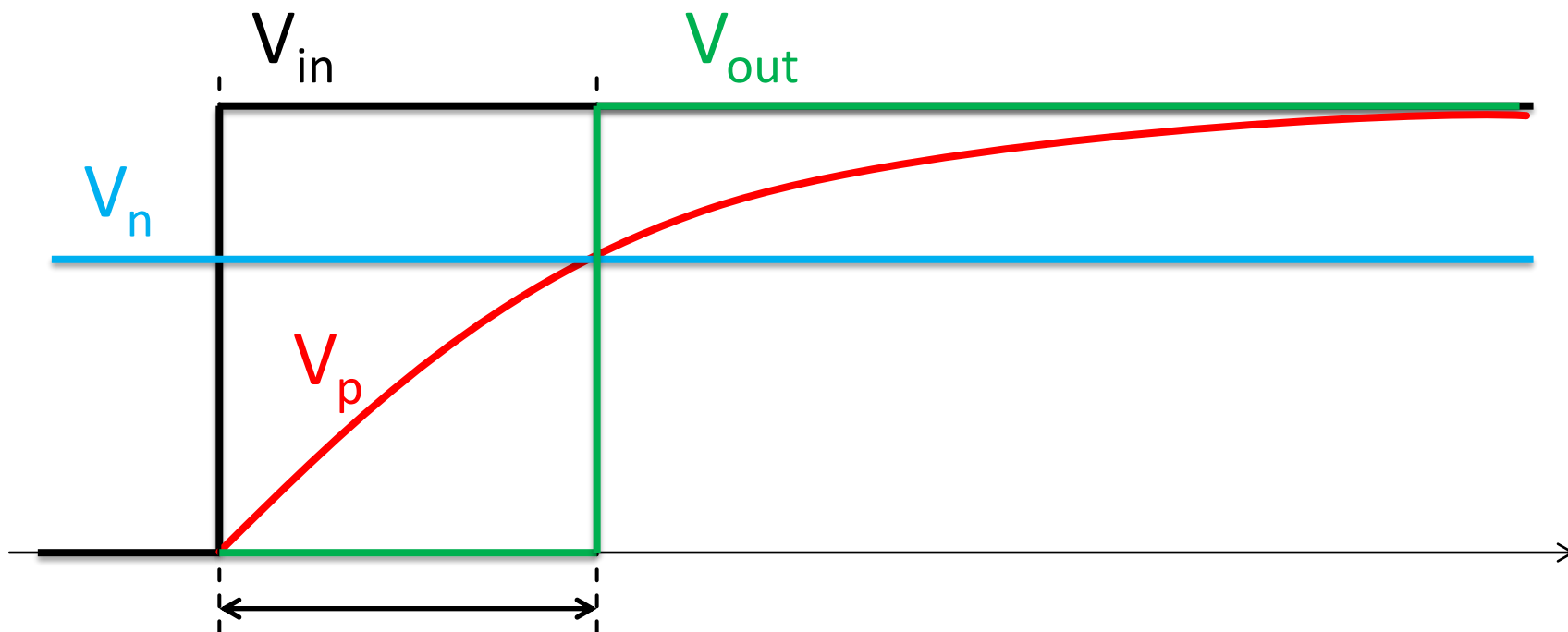
Komparátor ► Programozható késleltetés

digitális jelek feszültségei:

V_{in} és V_{out}



Komparátor ► Késleltetés

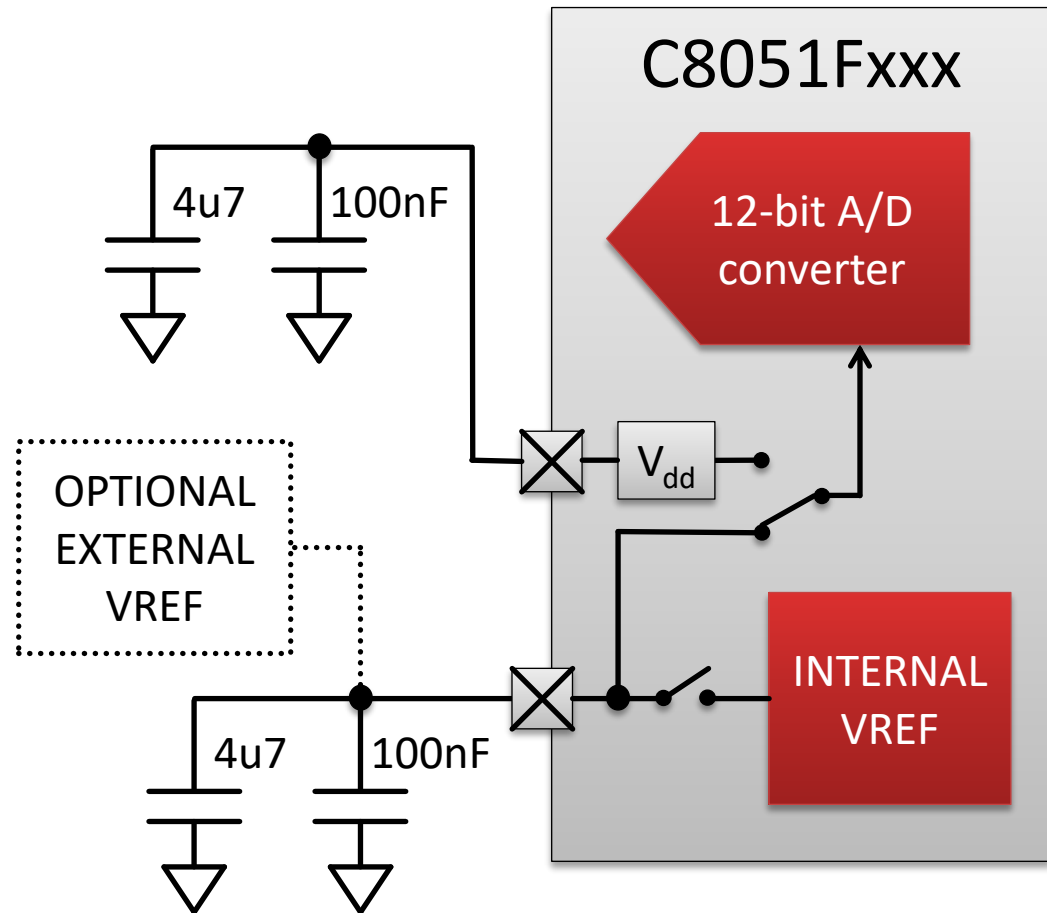


- Ha V_{in} 1-re vált, a kondenzátor töltődik
- Ha elérte a szintet, a kimenet 1-re vált
- Adott RC mellett V_n értékétől függ a késleltetés

Feszültségreferencia

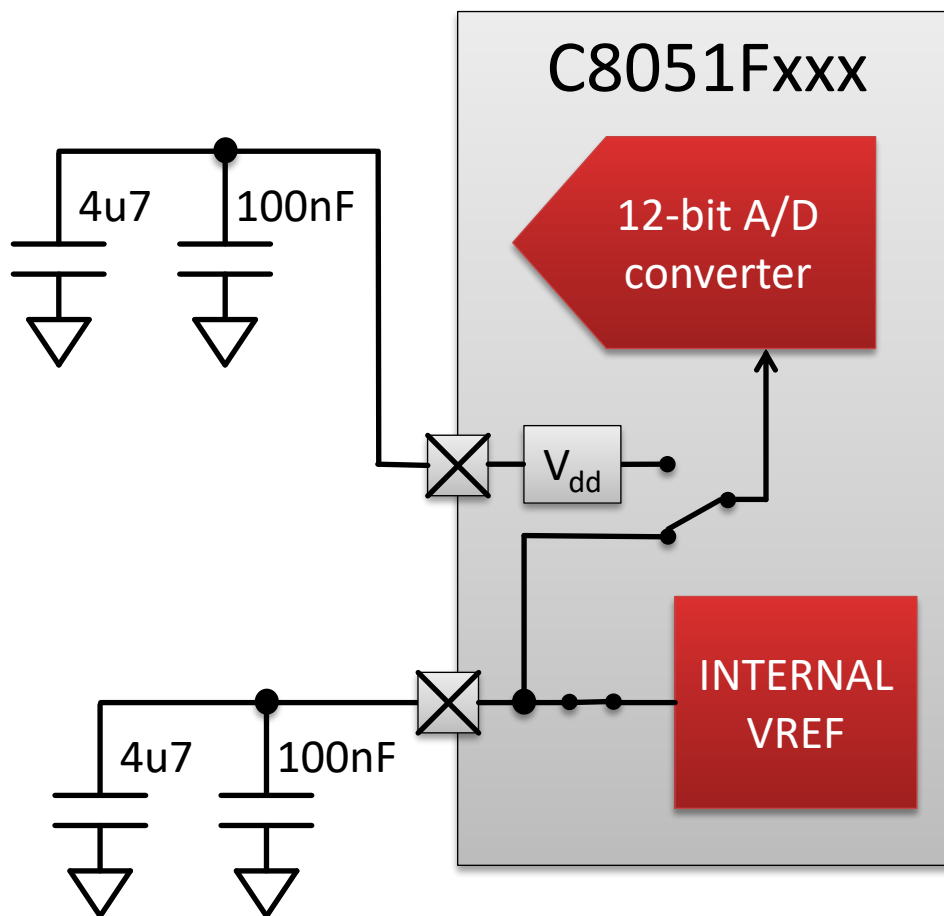
Feszültségreferencia

- ▶ ADC, DAC
- ▶ Belső vagy külső



Feszültségreferencia – belső

- ▶ Névleges érték
 - ▶ 1,5V; 2,2V; 2,5V
- ▶ Terhelhetőség
 - ▶ 200uA
 - ▶ 10ppm/uA
- ▶ Pontosság
 - ▶ 2%
 - ▶ 2mV/V supply rejection
 - ▶ 35ppm/K
- ▶ Feléledés: $\approx 7\text{ms}$



Feszültségreferencia

- ▶ Feléledési idő
 - ▶ néhány ms
 - ▶ meg kell várni, mielőtt használatba vesszük
(az engedélyezés után várni kell)
- ▶ Pontosabb igényekhez külső referencia
- ▶ Tápfeszültséget ne használjunk referenciaként
 - ▶ Csak akkor, ha biztosan elegendő a pontosság
- ▶ A külső referencia alacsonyimpedanciás legyen
- ▶ Ne terheljük a referenciát, használjunk erősítőt,
ha kell

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

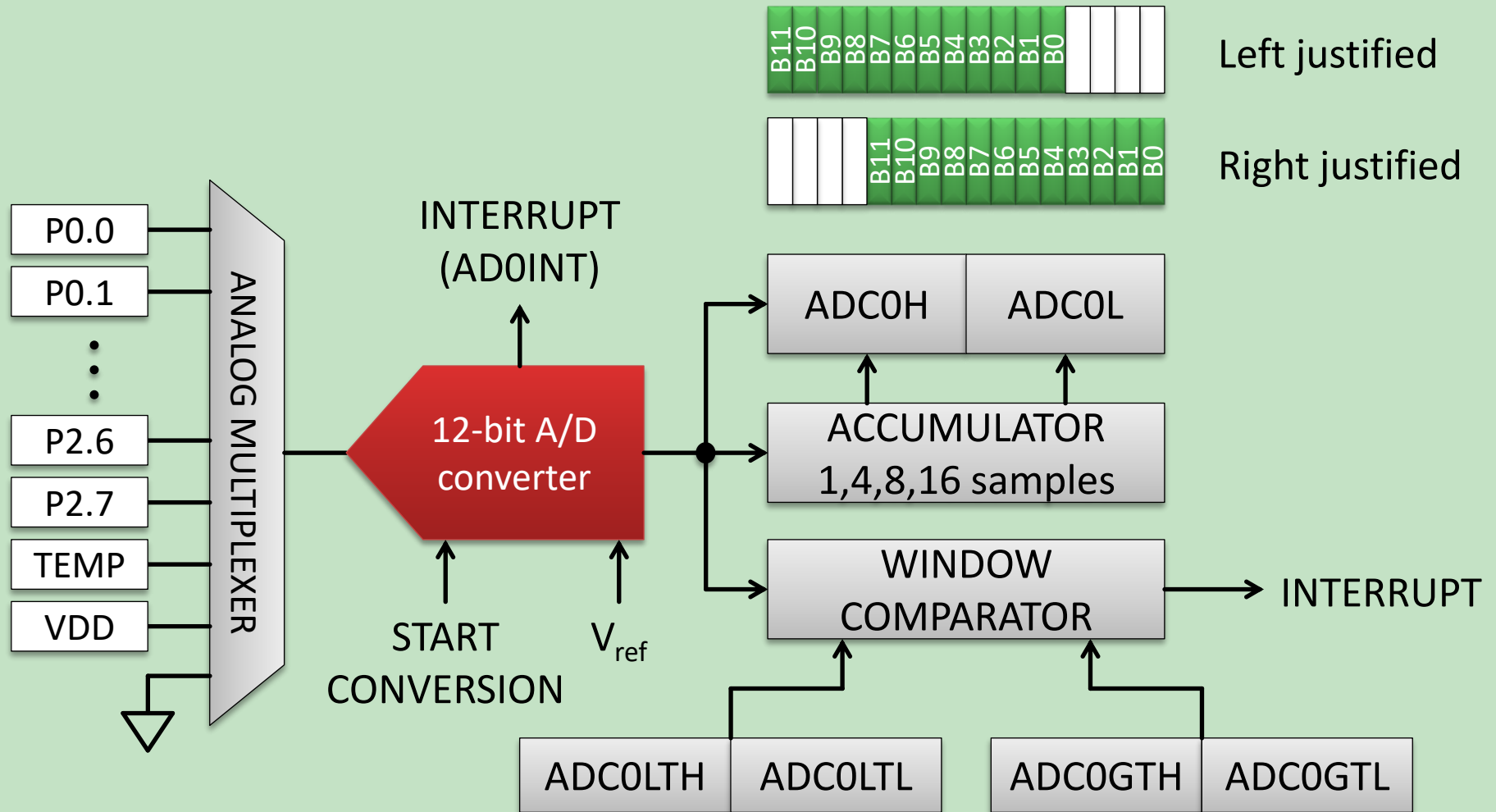
$$d = \left\lfloor \frac{V}{V_{ref}} N + 0,5 \right\rfloor$$

ADC ▶ Analog-digital converter

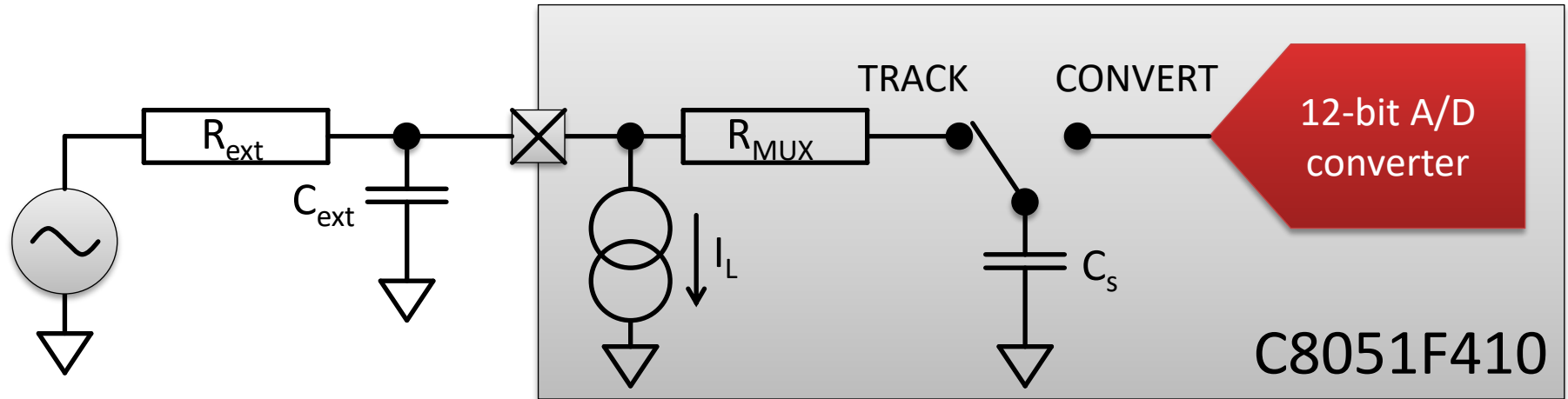
- ▶ A bemeneti feszültség kiszámítása csak közelítő
- ▶ A d nem egy bemeneti feszültségértékhez, hanem egy intervallumhoz tartozik:
 - ▶ $d \cdot V_{\text{LSB}} - V_{\text{LSB}}/2 < V < d \cdot V_{\text{LSB}} + V_{\text{LSB}}/2$
- ▶ A helyes számítás ezért (a hiba $\pm V_{\text{LSB}}/2$)

$$V = d \cdot V_{\text{LSB}} = d \cdot \frac{V_{\text{ref}}}{N} = d \cdot \frac{V_{\text{ref}}}{2^b}$$

ADC ► F410 Hardverfelépítés

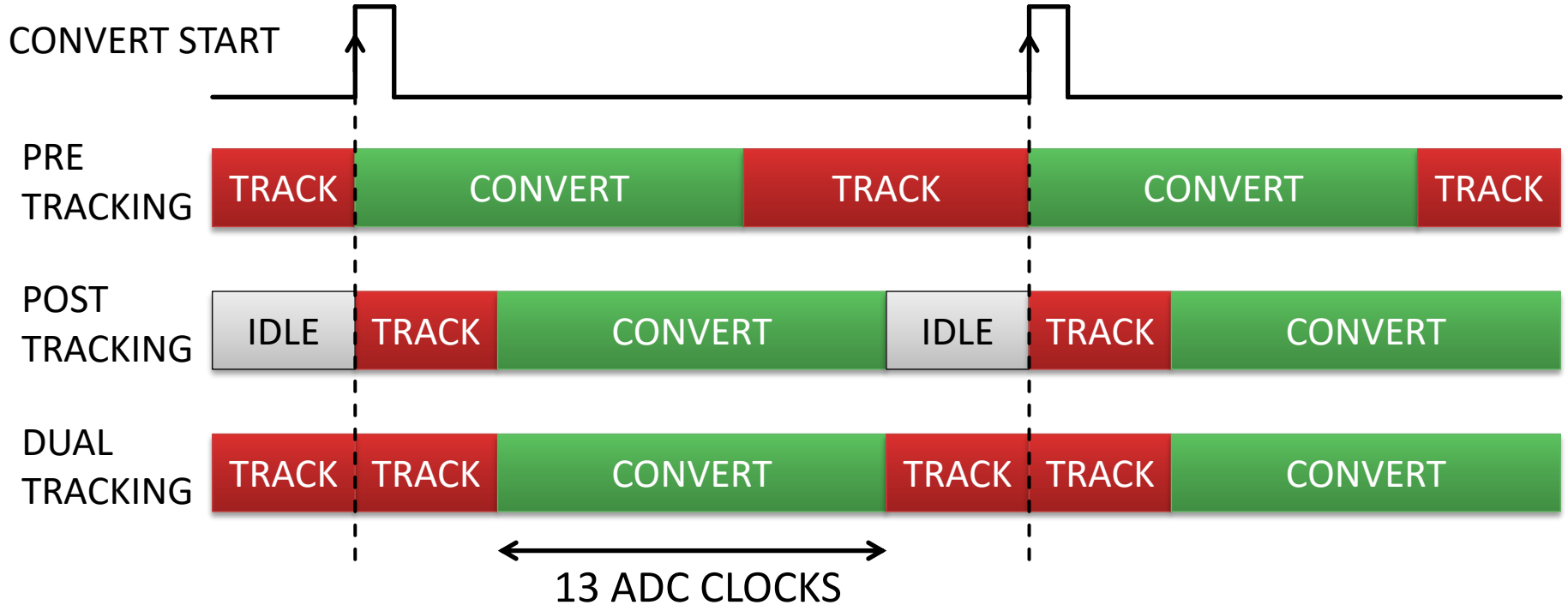


ADC ▶ Bemeneti tulajdonságok



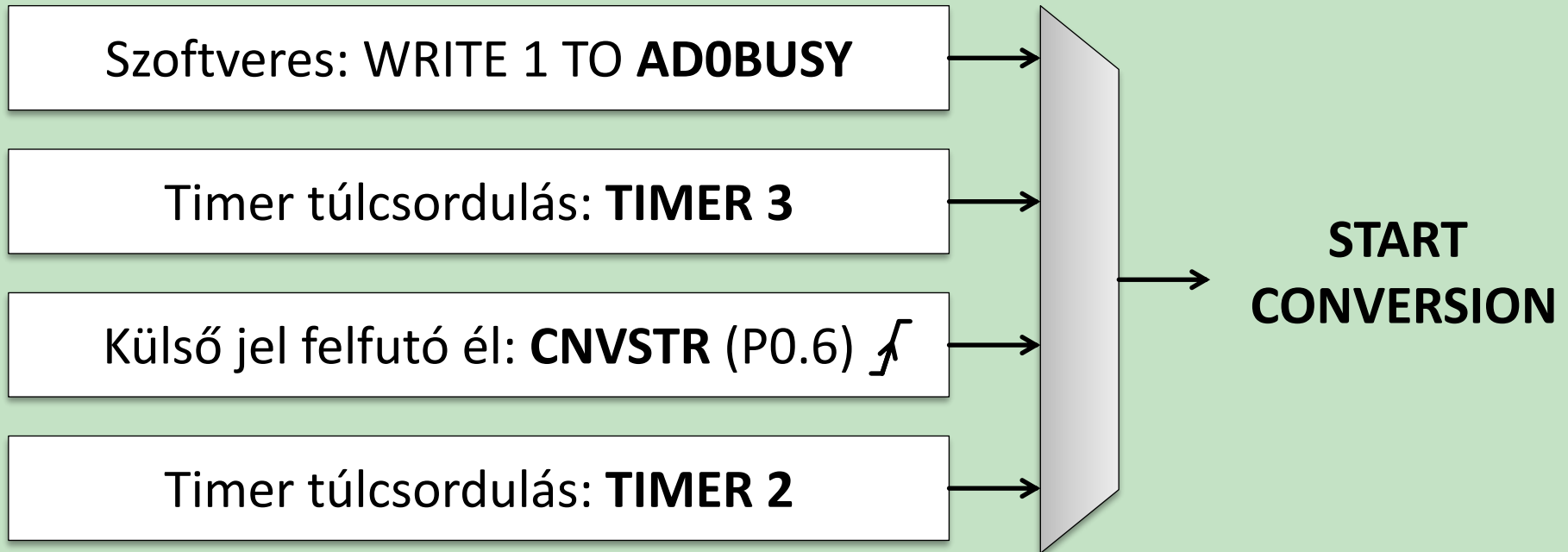
- ▶ Belső RC áramkör, R_{ext}/C_{ext} jelforrás impedancia
- ▶ Minden konverzió kisüti a kondenzátort
 - ▶ Még **DC jelek esetén is** idő kell a beálláshoz
- ▶ C_{ext} tipikusan pár nF (3n3, 4n7, 10n)
- ▶ R_{ext} tipikusan pár száz Ohm legyen
- ▶ Ha nagyobb az R_{ext} , akkor követő erősítő szükséges

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
- A timer megszakítást nem szabad engedélyezni

ADC ▶ A konverzió indítása

- ▶ Precíz, szoftverfüggetlen időzítés
 - ▶ Timer vagy külső jel
 - ▶ Periodikus mintavételezés
- ▶ Szoftveres konverzió indítás
 - ▶ Ha nem fontos a pontos időzítés

ADC ▶ Adatak (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

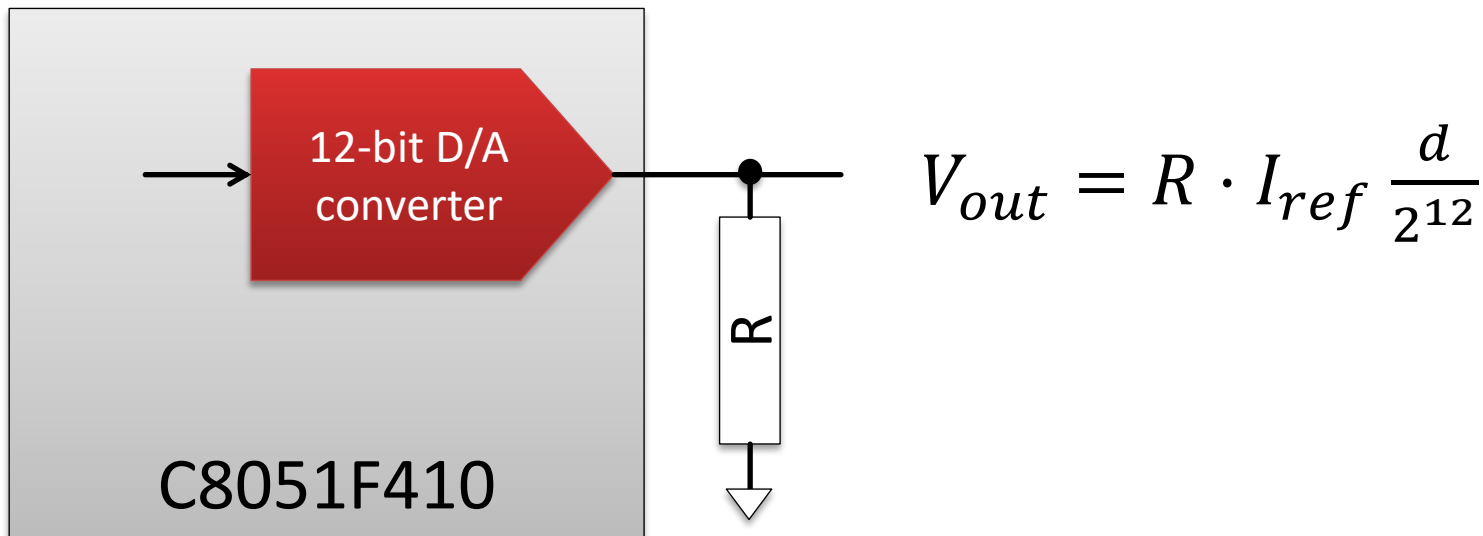
- ▶ Egész számokkal arányos
 - ▶ áramot vagy
 - ▶ feszültséget ad
- ▶ A kimeneti feszültség a következő írásig változatlan
 - ▶ Belső tároló (latch) oldja ezt meg
- ▶ A kivehető áram pár legfeljebb 2 mA
- ▶ Felépítés:
 - ▶ R-2R hálózat
 - ▶ 2 hatványa szerint súlyozott áramok

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_{ref} : 2mA, 1mA, 0,5mA vagy 0,25mA
- ▶ A kimeneti áram
 - ▶ $I = I_{ref} \cdot d / 4096$ (d: 0..4095)



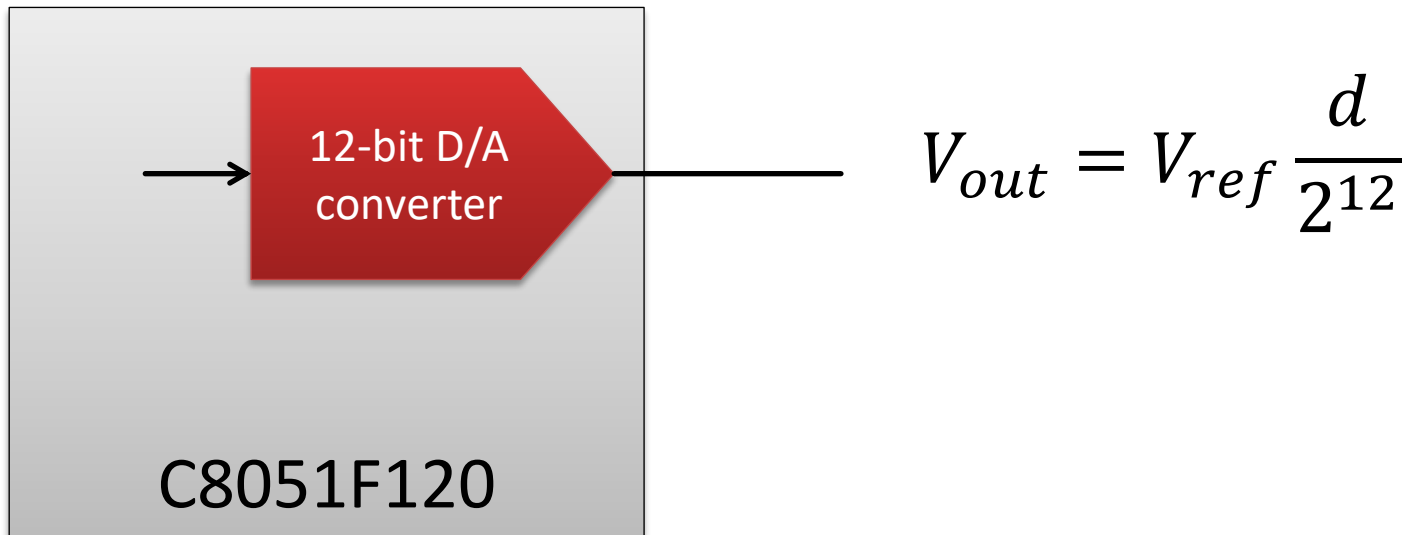
DAC ▶ 12-bites feszültségkimenet (pl. F120)

▶ A kimeneti feszültség tartománya:

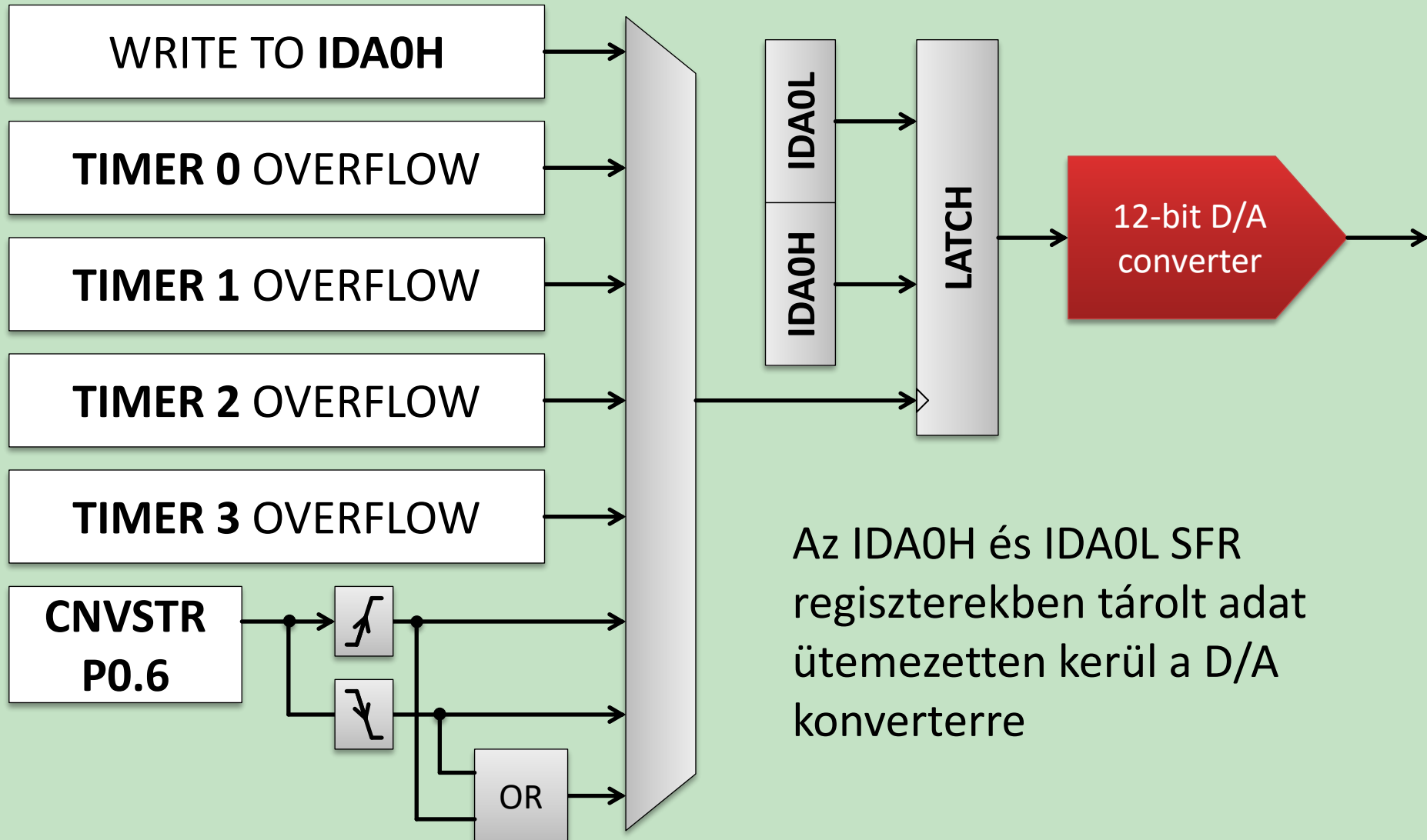
▶ $0..V_{ref}$ (tipikusan 2,5V)

▶ A kimeneti feszültség

▶ $V_{out} = V_{ref} \cdot d / 4096$ (d:0..4095)



DAC ► Indítási módok (IDA0 esetén)



DAC ▶ Indítási módok

- ▶ Az indítás igazából az SFR regiszterekbe (IDA0H és IDA0L) írt adat átírása a D/A konverter regisztereibe
- ▶ Ez utóbbi az R-2R kapcsolókat vezérli, így már csak az analóg részen múlik a beállási idő
- ▶ Nem szükséges ütemjel, mint az ADC esetén ahol algoritmust kell implementálni

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			V _{dd} -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
```

- ▶ Szoftveres indítás
- ▶ Akkor kerül a DAC regiszterbe az adat, ha a felső 8 bitet (IDA0H) írjuk
- ▶ Így biztosítható, hogy az alsó és felső byte egyszerre hasson a kimenetre

DAC ► Szinkron kimenet – hardveres időzítés

```
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

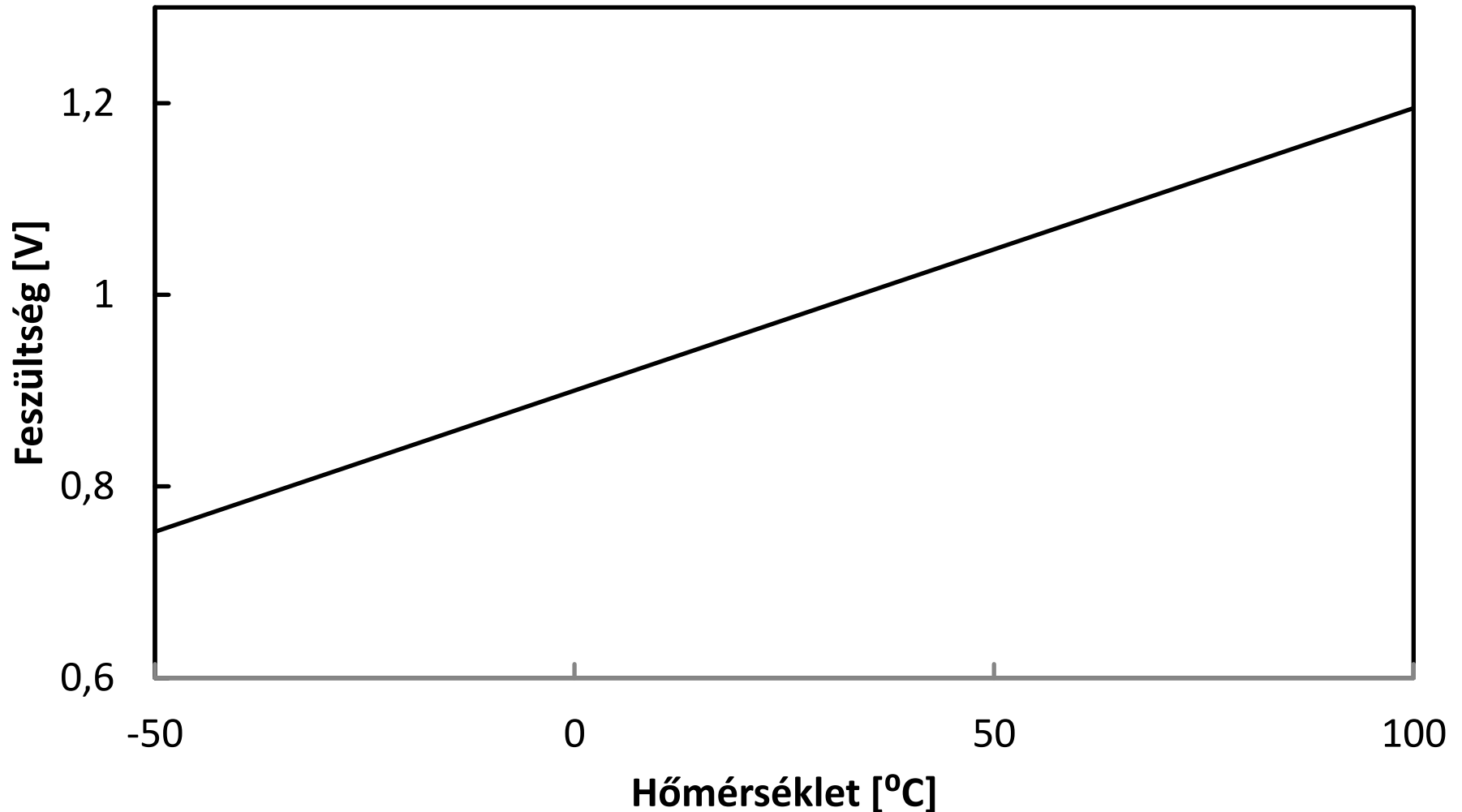
void Timer2_interrupt(void) interrupt TIMER2_VECTOR
{
    TF2H=0;
    IDA0L=dac_data;
    IDA0H=dac_data>>8;
}
```

Hőmérsékletszenzor

Hőmérsékletszenzor

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

Hőmérsékletszenzor ▶ Tipikus karakterisztika



Beépített vagy külső analóg?

- ▶ Komparátorok, ADC, DAC, V_{ref} : lehet külső is
- ▶ Mikor lehet szükséges külső, ha egyszer van integrált is?
 - ▶ A követelmények tisztázása fontos!
 - ▶ Kritikus alkalmazásoknál csak garantált specifikációkban bízhatunk (min, max oszlopok)
 - ▶ A külső perifériák gyakran precízebbek lehetnek