

# ÉRZÉKELŐK ÉS BEAVATKOZÓK II. DC MOTOR SZABÁLYOZÁSOK MEGVALÓSÍTÁSA 2. FORDULATSZÁM MÉRÉS



**Dr. Soumelidis Alexandros**

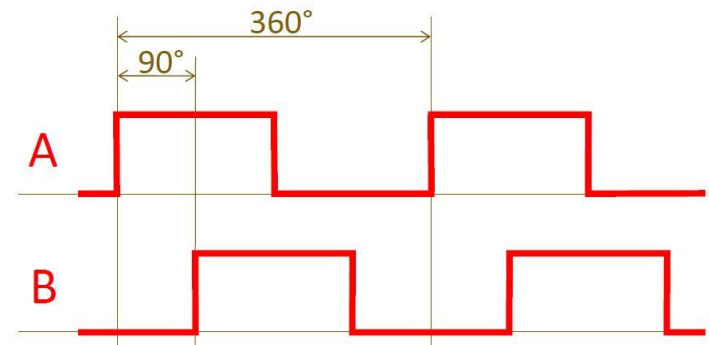
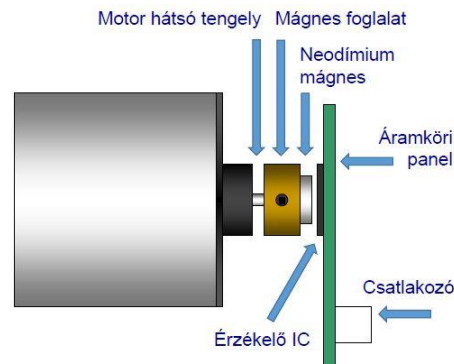
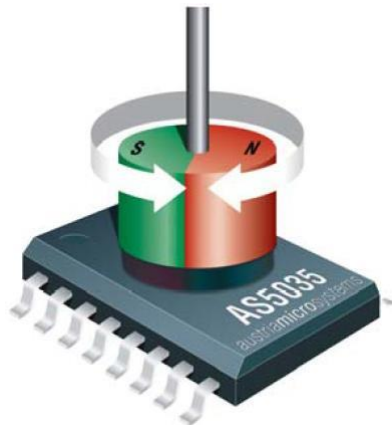
**2020.03-05.**



BME KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR  
32708-2/2017/INTFIN SZÁMÚ EMMI ÁLTAL TÁMOGATOTT TANANYAG

# Fordulatszám mérés

- Érzékelő: on-axis inkrementális forgó mágneses jeladó A-B kvadratúra kimenetekkel, pl. AMS AS5035
- Mágnes: a hátsó tengelyre erősített henger alakú, radiálisan felmágnesezett kétpólusú neodímium mágnes
- Fordulatonként  $P$  ( $= 64, 128, 256, \dots$ ) impulzus



# Fordulatszám mérés

---

Fordulatszám mérés mikroszámítógéppel:

periódusidő mérés *Timer* periféria alkalmazásával  
az ,A' kvadratúra jelen,  
a forgásirány meghatározása a ,B' kvadratúra jel  
felhasználásával,  
így előjeles fordulatszám értéket tudunk meghatározni.

STM32F401RE ARM Cortex M mikrovezérlő alkalmazása:

A kellő időbeli felbontás biztosítására: 32-bites számláló,  
pl. *Timer2* alkalmazása maximális számlálási frekvenciával

Módszer:

- Az ,A' kvadratúra jel felfutó éleinek detektálása Input Capture mód alkalmazásával,
- a ,B' kvadratúra jel szintjének detektálása ,A' felfutó éleinél.



# Fordulatszám mérés

---

## Timer2 (TIM2):

- Felbontás: 32 bit
- Számlálási tartomány:  $0 \dots 2^{32} - 1$  (4,294,967,295)
- Számlálási frekvencia: 84 MHz (APB1 Timer frekvencia előosztás nélkül).

## 84 MHz-es számlálási frekvenciával

- az időbeli felbontás:

$$\Delta t = \frac{1}{84,000,000} \text{ s} \approx 11.90476 \text{ ns} .$$

- a leghosszabb mérhető periódus — a 32-bites számláló 0-tól egyszeri túlcsoordulásig terjedő számlálási ideje:

$$T = \frac{4,294,967,286}{84,000,000} \text{ s} \approx 51.13056 \text{ s} .$$



# Fordulatszám mérés

---

## Jelölések:

- $M$  – a motor tengelyének másodpercenkénti fordulatszáma, ezt a fordulatszámot mérjük a szenzor segítségével, dimenziója [1/s].
- $Q$  – az „A’ kvadratúra jel periódusának megfelelő számláló érték.
- $f_{CLK}$  – a periódusidő mérés órajel-frekvenciája.
- $P$  – a fordulatszám-mérő szenzor fordulatonkénti pulzusszáma.
- $N$  – a motor elülső tengelyének (a hajtómű kimeneti tengelyének) másodpercenkénti fordulatszáma, dimenziója [1/s].
- $R$  – relatív fordulatszám, a másodpercenkénti fordulatszám belső ábrázolásnak megfelelő értéke (a maximális fordulatszám  $R = 2048$ -nak felel meg)



# Fordulatszám mérés

A motor adatlap szerinti névleges fordulatszáma: 5200 RPM (Rotations Per Minute), másodpercenkénti fordulatszámmal (RPS – Rotations Per Second) kifejezett értéke:

$$M_{max} = \frac{RPM_{max}}{60} = \frac{5200}{60} \approx 86.6667$$

A továbbiakban példaként a következő számértékeket alkalmazzuk:

$$f_{CLK} = 84 \text{ MHz} \quad P = 64 \quad N_g = 30 \quad R_{max} = 2048$$

Az alkalmazott relatív fordulatszám-skála alapja:

A fordulatszám kerüljön azonos nagyságrendbe a PWM jelgenerálás illetve az analóg mérések (ADC) adatterjedelmébe (kényelmi szempont) – 12-bites fixpontos előjeles adatok -2048 ... 2047 terjedelemben.



# Fordulatszám mérés

Az „A’ kvadratúra jel egy periódusának megfelelő mérési érték:

$$Q = \frac{f_{CLK}}{P \cdot M}, \text{ amelyből a motor másodpercenkénti fordulatszáma}$$

$$M = \frac{f_{CLK}}{P \cdot Q}$$

$Q$  minimális értéke a maximális fordulatszámon alakul ki:

$$Q_{min} = \frac{f_{CLK}}{P \cdot M_{max}} = \frac{f_{CLK} \cdot 60}{P \cdot RPM_{max}} = \frac{84 \cdot 10^6 \cdot 60}{64 \cdot 5200} \approx 15,144$$

Az időmérés relatív pontossága a maximális fordulatszámon („worst case”):

$$\varepsilon = \frac{P \cdot RPM_{max}}{f_{CLK} \cdot 60} \cdot 100\% = \frac{64 \cdot 5200}{84 \cdot 10^6 \cdot 60} \cdot 100\% \approx 0.0066\%$$



# Fordulatszám mérés

A kimeneti tengely fordulatszáma:

$$N = \frac{M}{N_g} \quad Q = \frac{f_{CLK}}{P \cdot N_g N} = \frac{C_Q}{N} \quad \text{ahol } C_Q \text{ egy előre kiszámítható konstans} \quad C_Q = \frac{f_{CLK}}{P \cdot N_g}$$

Ezzel

$$N = \frac{f_{CLK}}{P \cdot N_g \cdot Q} \quad N = \frac{C_Q}{Q}$$

A példánkban

$$C_Q = \frac{f_{CLK}}{P \cdot N_g} = \frac{84 \cdot 10^6}{64 \cdot 30} = 43,750$$

$N$ , a motor kimeneti tengelye forgási frekvenciájának meghatározása a mért  $Q$  periódusidő adatból:

$$N = \frac{43,750}{Q} \left[ \frac{1}{s} \right]$$

Megjegyzés: az  $\omega$  forgási körfrekvencia ennek a  $2\pi$ -szerese:

$$N = \frac{2\pi \cdot 43,750}{Q} \left[ \frac{rad}{s} \right] \approx \frac{274,889.357}{Q} \left[ \frac{1}{s} \right]$$





# Fordulatszám mérés

A relatív skálának megfelelő fordulatszám kiszámítása:

$$N_{max} = \frac{RPM_{max}}{60 \cdot N_g} \qquad N_{max} = \frac{5200}{60 \cdot 30} \left[ \frac{1}{s} \right] \approx 2.88889 \left[ \frac{1}{s} \right]$$

Az ennek megfelelő relatív fordulatszám érték  $R_{max}$ .

$$R = \frac{N}{N_{max}} R_{max}$$

Képezzünk egy  $C_R$ . Konstanst, amellyel  $R = \frac{C_R}{Q}$

Alkalmazva  $N = \frac{C_Q}{Q}$  összefüggést,  $R = \frac{R_{max}}{N_{max}} \frac{C_Q}{Q}$ , amelyből

$$C_R = \frac{R_{max}}{N_{max}} C_Q$$

Számértékekkel:

$$C_R = \frac{2048 \cdot 60}{5200} C_Q \approx 708.9231 \cdot C_Q$$



# Fordulatszám mérés

$C_R$  közvetlen számítása a paramétereiből:

$$C_R = \frac{R_{max} \cdot 60 \cdot N_g}{RPM_{max}} \frac{f_{CLK}}{P \cdot N_g} = \frac{R_{max} \cdot 60 \cdot N_g \cdot f_{CLK}}{RPM_{max} \cdot P}$$

$$C_R = \frac{2048 \cdot 60 \cdot 84 \cdot 10^6}{5200 \cdot 64} = \frac{2016}{65} \cdot 10^6 \approx 31,015,384.46$$

Az  $R$  relatív fordulatszám számítása tehát a példánkban:

$$R = \frac{2016}{65} \cdot \frac{10^6}{Q} \approx \frac{31,015,384.46}{Q}$$



# Fordulatszám mérés

## Kis fordulatszámok mérése

A fordulatszám-mérés megvalósításának feltétele, hogy rendelkezésre álljon legalább két egymás utáni következő jelátmenet az érzékelő kimenetén. Kis fordulatszámok esetén a jelátmenetek nagyobb időközönként érkezhetnek, mint a megkövetelt mérési gyakoriság (mintavételi frekvencia).

Ha a szabályozás mintavételi periódusa  $500 \mu\text{s}$  ( $f_s = 2 \text{ kHz}$ ), a forgási frekvencia a hajtómű kimenetén:

$$N = \frac{2000}{64 \cdot 30} \left[ \frac{1}{s} \right] \approx 1.041667 \left[ \frac{1}{s} \right]$$

A minimális mérhető forgási periódus időtartama:

$$T = \frac{64 \cdot 30}{2000} [s] \approx 0.96[s]$$



# Fordulatszám mérés

---

A probléma kezelése:

- Alkalmazzunk fordulatonként több pulzust produkáló érzékelőt.
- Használjuk mérésre az érzékelő kimeneti jelének fel- és lefutó éleit is, ez kétszeres impulzus frekvenciát eredményez.
- Használjuk mérésre az A-B kvadrátúra jelpár mindkét tagját; megfelelő éleket választva ez négyszeres impulzus frekvenciát jelent.

Az utóbbi két lehetőség akkor vezet eredményre, ha az érzékelő kimeneti jele pontosan időzített, azaz az összes él pontos időzítéssel érkezik. Ezt általában nem garantálják az érzékelők adatlapjai.

Egyéb esetekben: létezik egy minimális mérhető fordulatszám.



# Fordulatszám mérés

---

Ha két egymás után következő mintavételi időpont között nem érkezik az érzékelőről impulzus, az aktuális fordulatszámra legfeljebb becslést tehetünk.

Opciók (a teljesség igénye nélkül):

- Az aktuális fordulatszámot 0-nak tekintjük.
- Az aktuális fordulatszámot a legutóbb beérkezett impulzus óta eltelt idő alapján számítjuk; a közben eltelt idő a mintavételi periódusok összegével módosul.
- Az aktuális fordulatszámot a minimális fordulatszám valamilyen felejtési stratégiával (pl. lineáris, exponenciális felejtés) módosított értékeként határozzuk meg.

Újabb beérkező impulzus egy pontosnak tekinthető fordulatszám értéket szolgáltat, amely viszont eltérhet a becsült értéktől, azaz a fordulatszám jelben ugrás állhat elő.



# Fordulatszám mérés

---

## Nagy fordulatszámok mérése

Nagy fordulatszámok esetén előállhat, hogy két mintavételi időpont között több impulzus érkezett be, tehát több fordulatszám érték is rendelkezésre áll.

Felhasználásukat illetően több lehetőség nyílik:

- A legutolsó mérés felhasználása – azaz a mérési sorozat mintavételezése.
- A rendelkezésre álló mérések átlagának figyelembe vétele – a legegyszerűbb szűrési stratégia.
- Súlyozott átlag, vagy valamilyen más szűrési stratégia alkalmazása.

Szűrés megvalósítása kedvező lehet a mérés során előálló zajok szempontjából.

Pontosan működő szűrő megvalósítása ugyanakkor nehéz, mivel az egymás után érkező mérési értékek változó időpontokban érkeznek.



# Fordulatszám mérés

## A forgásirány (a fordulatszám előjelének) meghatározása

Ha a fordulatszám-mérés az ,A' kvadratura jel felfutó élénél történik, a forgásirány meghatározása a ,B' kvadratura jel ugyanekkor tapasztalható logikai szintje alapján valósulhat meg. A forgásirányt + és – szimbólumokkal jelölve ,B' logikai szintje alapján

B	Forgásirány
0	+
1	–

Ha a fordulatszám-mérés az ,A' kvadratura jel fel- és lefutó élénél történik, a forgásirány az ,A' és ,B' kvadratura jelek ugyanekkor előálló logikai szintje alapján valósulhat meg:

A	B	Forgásirány
0	0	–
0	1	0
1	0	+
1	1	–



# Fordulatszám mérés

## A mikroszámítógépes megvalósítás

A periódusidő mérés a 32-bites felbontású Timer2 (TIM2) periféria ,Input Capture' üzemmódjának alkalmazásával történik.

- A számlálót maximális frekvenciával működtetjük a háttérben 0-tól a túlcsofordulásáig periodikusan.
- A fordulatszám érzékelő ,A' kvadratura jelének felfutó éle ,Input Capture' megszakítást okoz. A megszakítási eljárásban tárolásra kerül a számláló aktuális értéke.
- Két egymás után következő megszakítás által keletkező számláló érték különbségeként megkapjuk az aktuális periódusidőt. A különbségképzésnél figyelembe kell venni a számláló esetleges körbefordulását.
- A periódusidő mérés adatait – mivel azok aszinkron módon keletkeznek – a szabályozás mintavételi periódusa szerint újrámintavételezzük, amely során több rendelkezésre álló adat esetén átlagolást, szűrést is hajthatunk végre.
- A periódusidő adatokat átszámítjuk másodpercenkénti fordulatszámra (forgási frekvenciára).





# Fordulatszám mérés

## A TIM2 periféria beállításai:

Clock Source		Internal Clock
Channel 1	PA15 – RPSA_TIM2_1	Input Capture direct mode

Prescaler	APB1 clock 90 MHz	0
Counter Mode		Up
Counter Period (AutoReload Register)		0xFFFFFFFF
Internal Clock Division (CKD)		No Division
Auto-reload preload		Disable
	Counting Frequency [MHz]	84
Global Interrupt		1

Channel	Polarity	IC Selection	Prescaler Div. Ratio	Input Filter
1	Rising Edge	Direct	No division	0



# BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Dr. Soumelidis Alexandros



*email: [soumelidis@sztaki.hu](mailto:soumelidis@sztaki.hu)*



**BME KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR**  
**32708-2/2017/INTFIN SZÁMÚ EMMI ÁLTAL TÁMOGATOTT TANANYAG**