

**ÉRZÉKELŐK ÉS BEAVATKOZÓK II.  
DC MOTOR SZABÁLYOZÁSOK  
MEGVALÓSÍTÁSA 3.  
BEAVATKOZÓ-JEL  
GENERÁLÁS, TÁPELLÁTÁS**



**Dr. Soumelidis Alexandros**

**2020.03-05.**



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

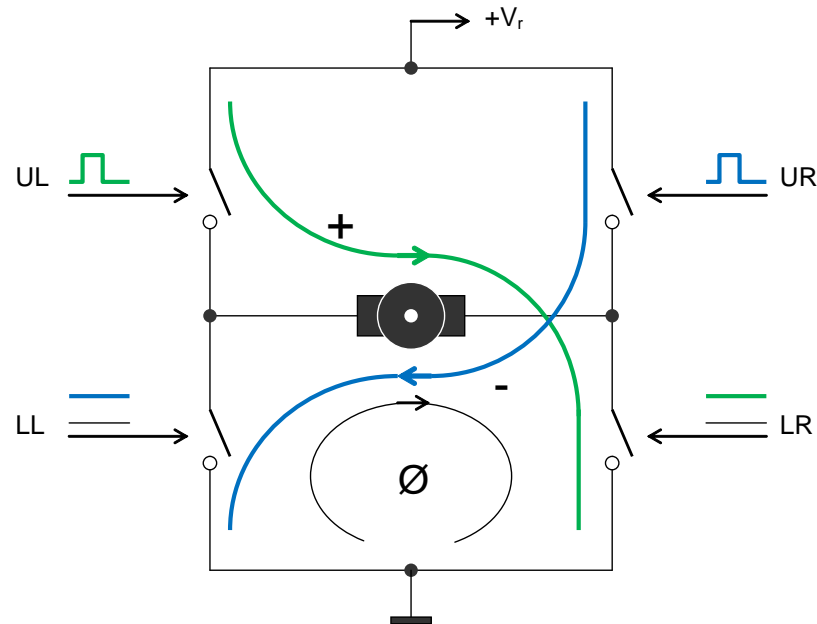
# Beavatkozó jel generálás

A motorszabályozás beavatkozó jele a motor kapocsfeszültsége.

Annak érdekében, hogy a motor megfelelő teljesítményű, kétirányú proporcionális működtetését megvalósítsuk, H-híd alapú, impulzusszélesség modulációt (PWM) alkalmazó meghajtást alkalmazunk.

Integrált DC motor meghajtót alkalmazunk:

Az ST Microelectronics L6202 típusú, teljes H-hídat megvalósító kettős DMOS meghajtót.



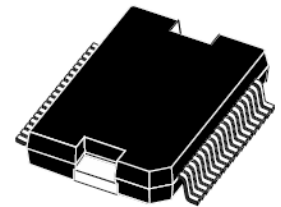
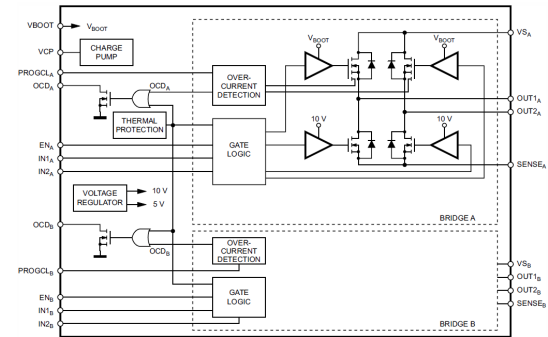
# Beavatkozó jel generálás



## L6202 DMOS dual full bridge driver

### Főbb jellemzői:

- Működési feszültség: 8 - 52 V
- Csúcsáram: 5.6 A (2.8 A DC)
- $R_{DS(ON)}$  0.3 $\Omega$  tipikusan  $T_j=25^\circ$  mellett
- Működési frekvencia max. 100 kHz
- Programozható tápoldali túláramvédelem
- Diagnosztikai kimenet
- Párhuzamosítható működés
- Összenyitás elleni védelem
- Termikus védelem
- Alacsony feszültség elleni védelem
- Integrált gyors szabadonfutást biztosító diódák

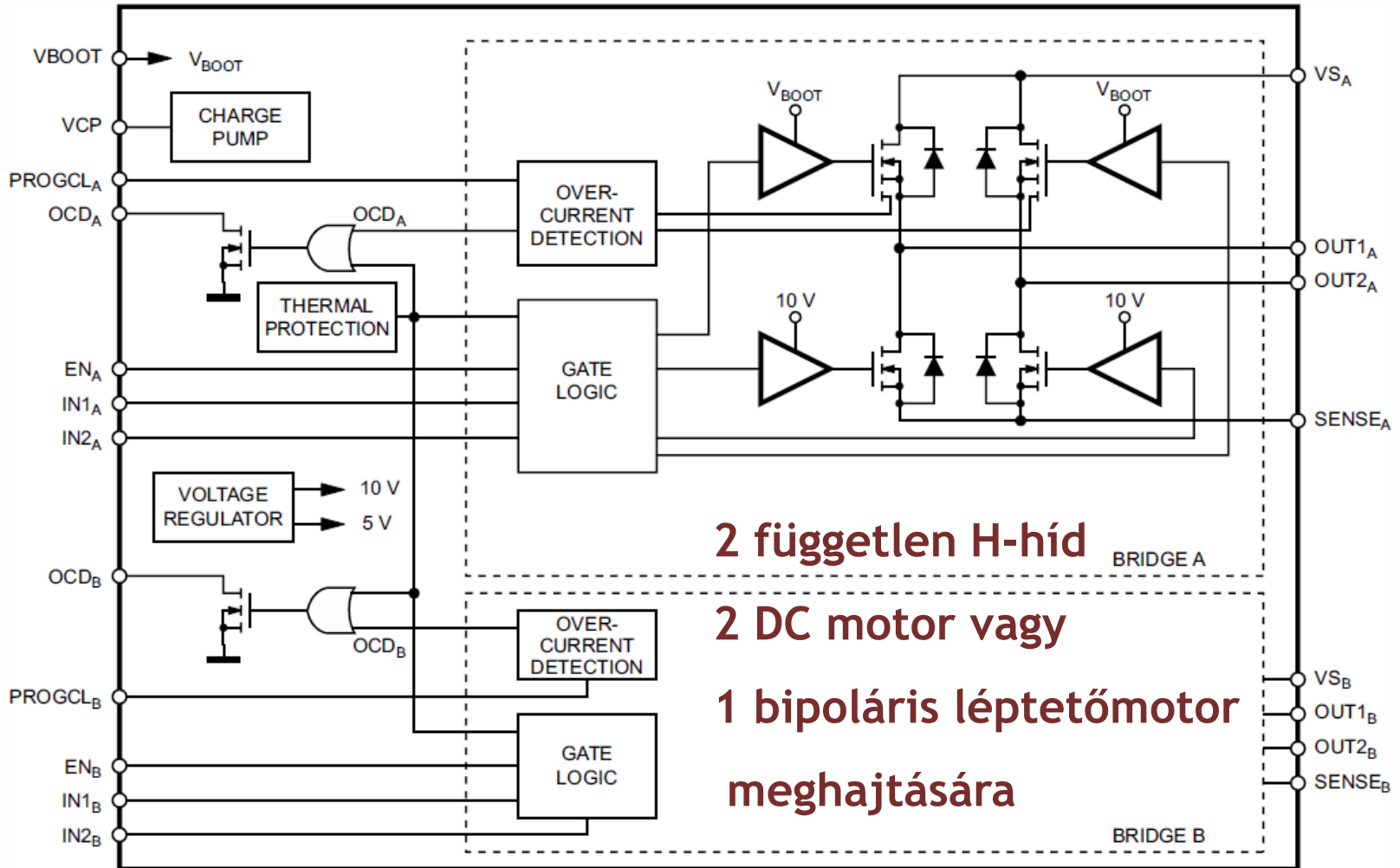


PowerSO36



# Beavatkozó jel generálás

L6202



# Beavatkozó jel generálás

L6202 vezérlési séma: mindkét H-hídra külön-külön

Inputs			Outputs	
EN	IN1	IN2	OUT1	OUT2
L	X	X	High Z	High Z
H	L	L	GND	GND
H	H	L	$V_s$	GND
H	L	H	GND	$V_s$
H	H	H	$V_s$	$V_s$

X = don't care

High Z = high impedance output

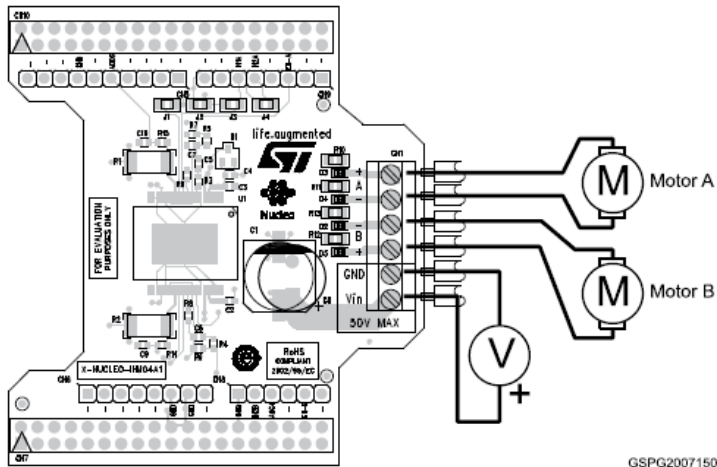


# Beavatkozó jel generálás

L6202 alkalmazás:

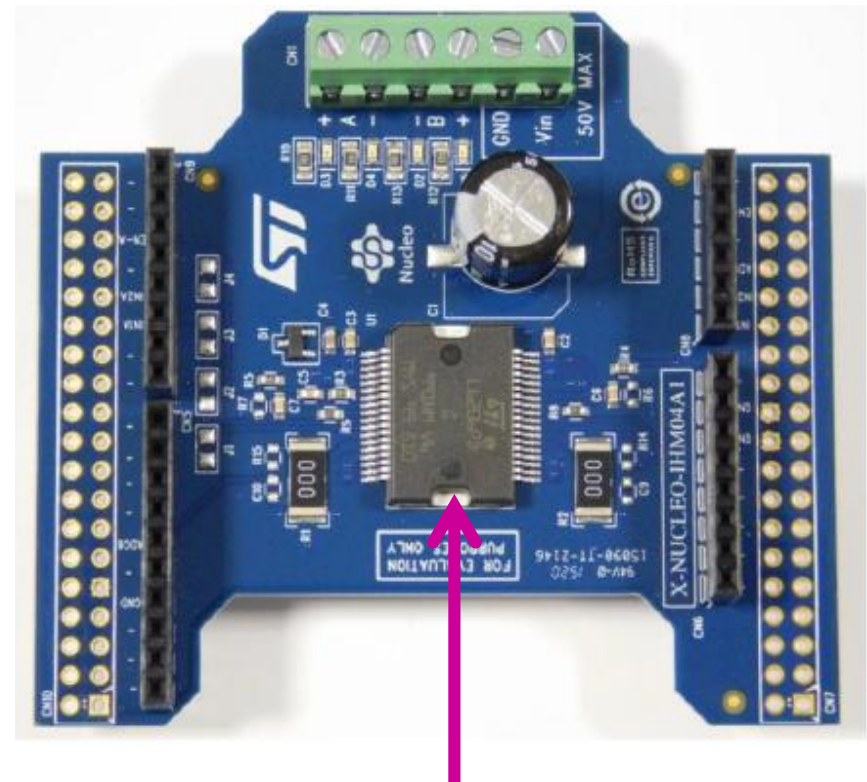
X-NUCLEO-IHM04A1 panel

NUCLEO-64-es  
mikrovezérlő platformmal



GSPG2007150f

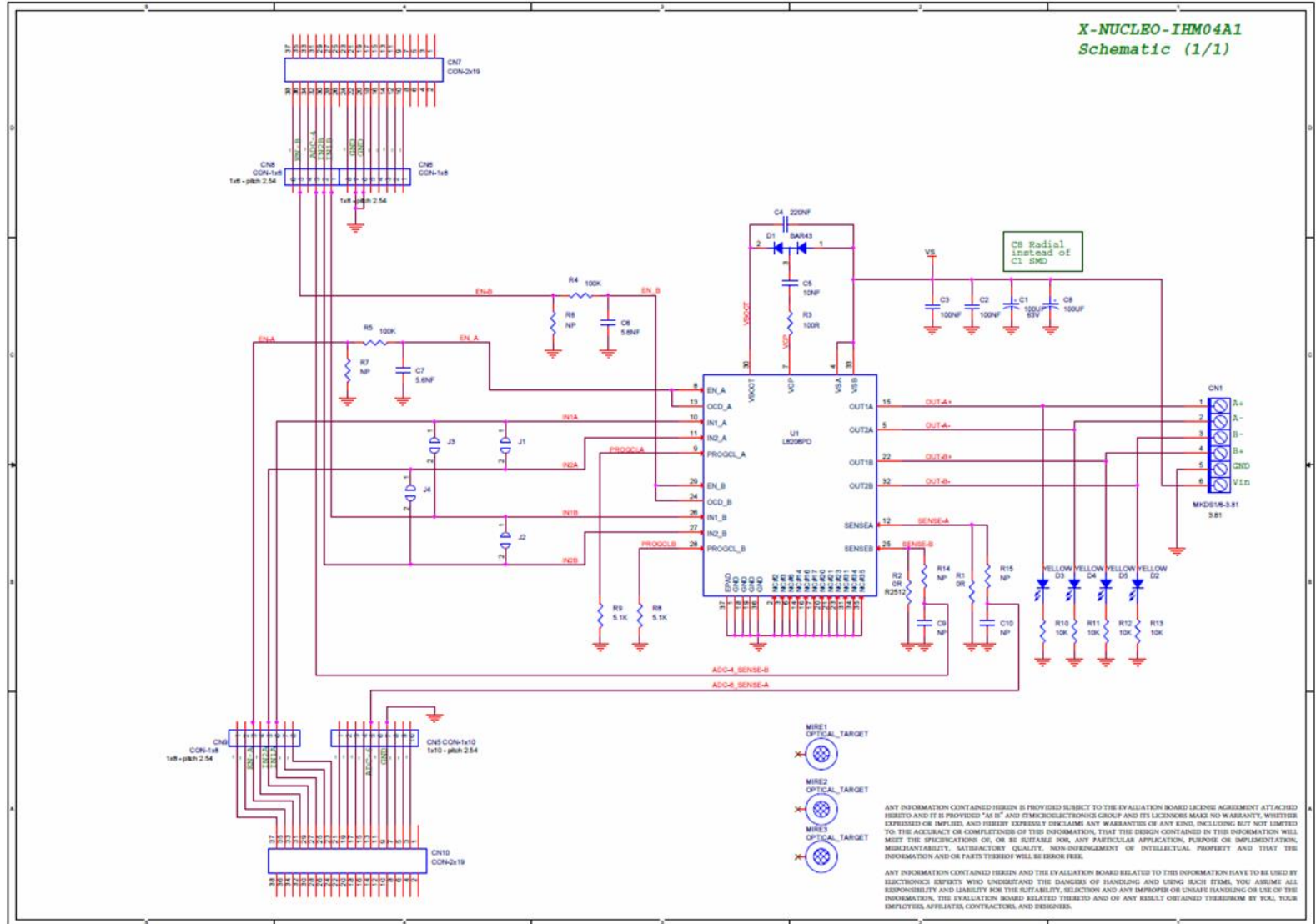
2 DC motor kétirányú vezérléssel



L6202 motorvezérlő



# Beavatkozó jel generálás

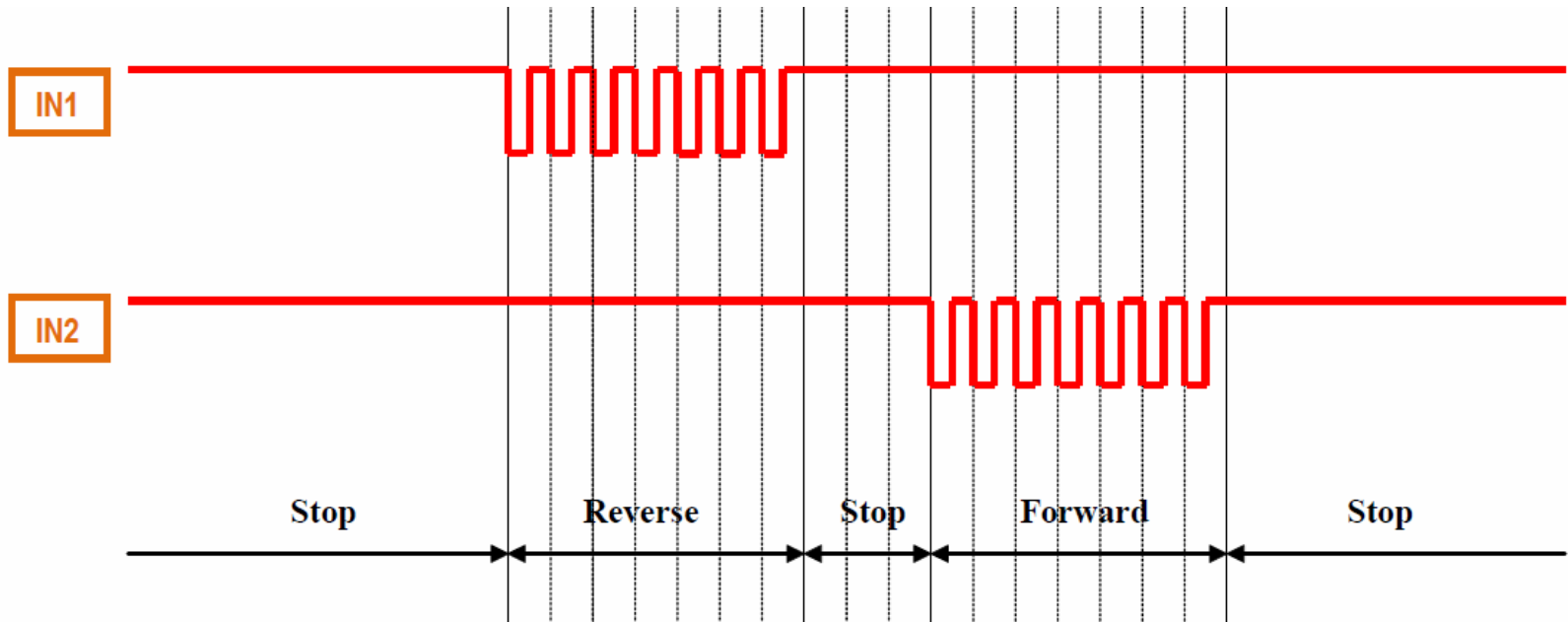


# Beavatkozó jel generálás

Vezérlési séma:

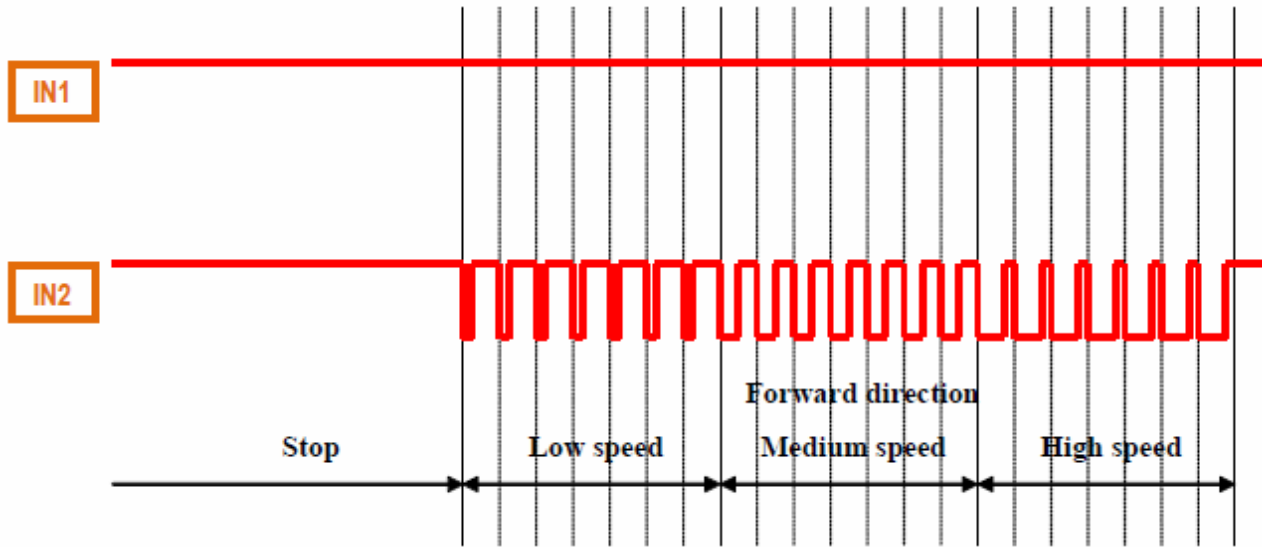
unipoláris vezérlés a  
fékezési állapoton keresztül

Inputs			Outputs	
EN	IN1	IN2	OUT1	OUT2
L	X	X	High Z	High Z
H	L	L	GND	GND
H	H	L	$V_s$	GND
H	L	H	GND	$V_s$
H	H	H	$V_s$	$V_s$



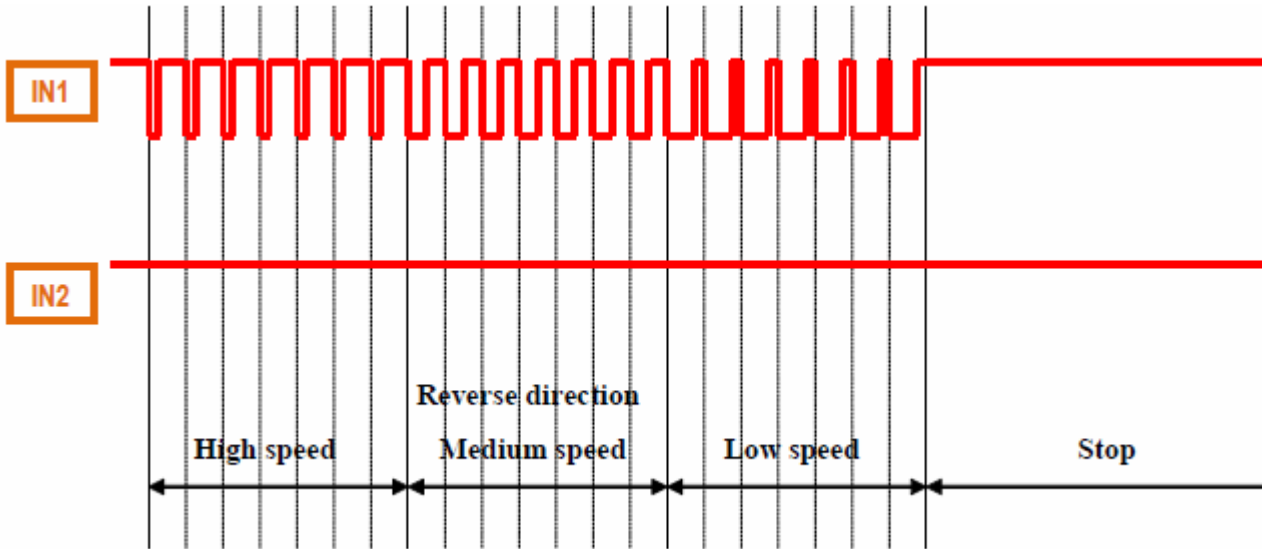


# Beavatkozó jel generálás



előremeneti mód

PWM vezérlés



hátrameneti mód



# Beavatkozó jel generálás

---

## PWM vezérlés mikroszámítógépes megvalósítása:

### Timer3 (TIM3) periféria alkalmazása

- Felbontás: 16 bit
- Számlálási tartomány:  $0 \dots 2^{16} - 1$  (65 565)
- Számlálási frekvencia: max. 84 MHz.

### Tervezési követelmények:

- 2 PWM kimeneti csatorna – az L6202 IN1 és IN2 bemeneteinek meghajtására.
- PWM típus: szimmetrikus („center-aligned”, fázishelyes) PWM.
- PWM frekvencia: max. 100 kHz.
- Impulzusszélesség: OCR beállítás célszerűen  $0 \dots 2048$  között (egyeztetve a relatív forgási frekvencia skálával).
- Lehetőséget teremteni a motor kapocsfeszültség függetlenítésére a tápfeszültségtől.



# Beavatkozó jel generálás

## A kapocsfeszültség függetlenítésére a tápfeszültségtől

Miért van erre szükség? A tápfeszültség változása azonos PWM kitöltési tényező mellett is befolyásolja a kapocsfeszültséget, ami a szabályozás paramétereit elhangolhatja – elemről, akkumulátorról táplált motorirányításokra ez hatványozottan jellemző.

A motor kapocsfeszültsége az impulzusszélesség-modulált tápfeszültség átlagértékeként jön létre:

$$V_m = \eta_m V_{BAT}$$

$V_m$  a motor kapocsfeszültség  
 $\eta_m$  az alkalmazott impulzusszélesség  
 $V_{BAT}$  a tápfeszültség (akkumulátor feszültség)

A  $V_m$  kapocsfeszültség függetleníthető a tápfeszültségtől, ha a kitöltési tényező a tápfeszültséghez képest fordított arányban változik.



# Beavatkozó jel generálás

Az impulzusszélesség kifejezése a Timer paraméterekkel:

$$\eta_m = \frac{N_m}{N_{TOP}}$$

$N_m$  a számláló csatornán beállított OCR érték  
 $N_{TOP}$  a csatornára beállított számlálási csúcsérték

Mivel az  $N_m$  értéket a szabályozási algoritmus számítja ki, annak értéke meghatározott. A kitöltési tényezőt csak az  $N_{TOP}$  paraméter beállításával befolyásolhatjuk.

Válasszuk meg  $N_{TOP}$  értéket a tápfeszültséggel arányosan; egy  $C > 0$  konstanssal:

$$N_{TOP} = CV_{BAT}$$

Mivel

$$V_m = \frac{N_m}{N_{TOP}} V_{BAT}, \quad V_m = \frac{N_m}{C}, \text{ független } V_{BAT}\text{-tól.}$$



# Beavatkozó jel generálás

A  $C$  konstans meghatározása egy referencia pont rögzítésével lehetséges:

$$C = \frac{N_{TOP}^{ref}}{V_{BAT}^{ref}}$$

Ezzel

$$V_m = \frac{N_m}{N_{TOP}^{ref}} V_{BAT}^{ref} \quad \text{független } V_{BAT}\text{-től.}$$

Az  $N_{TOP}$  számlálási végérték megválasztása tehát

$$N_{TOP} = C V_{BAT} \quad \text{alapján} \quad N_{TOP} = \frac{N_{TOP}^{ref}}{V_{BAT}^{ref}} V_{BAT} .$$

A  $(V_{BAT}^{ref}, N_{TOP}^{ref})$  pont megválasztása a tápellátás jellemzői alapján lehetséges.



# Tápellátás

---

## A tápfeszültség-ellátás

A motor névleges tápfeszültsége 12 V. Ennél nagyobb tápfeszültséget célszerű választanunk, annak érdekében, hogy legyen tartalékunk a szabályozás megvalósítására. Ugyanakkor a motorra alkalmazott kitöltési tényezőnek 100% alatt kell lennie, hogy tartósan ne lépjük túl a névleges feszültséget.

Tegyük fel, hogy a motorszabályozást akkumulátoros táplálású jármű hajtására akarjuk használni, és a tápellátást Li Polimer (LiPol) akkumulátorok segítségével valósítjuk meg.

1 LiPol akkumulátor cella névleges feszültsége 3.7 V.

3 sorba kötött LiPol akkumulátor cella névleges feszültsége 11.1 V.

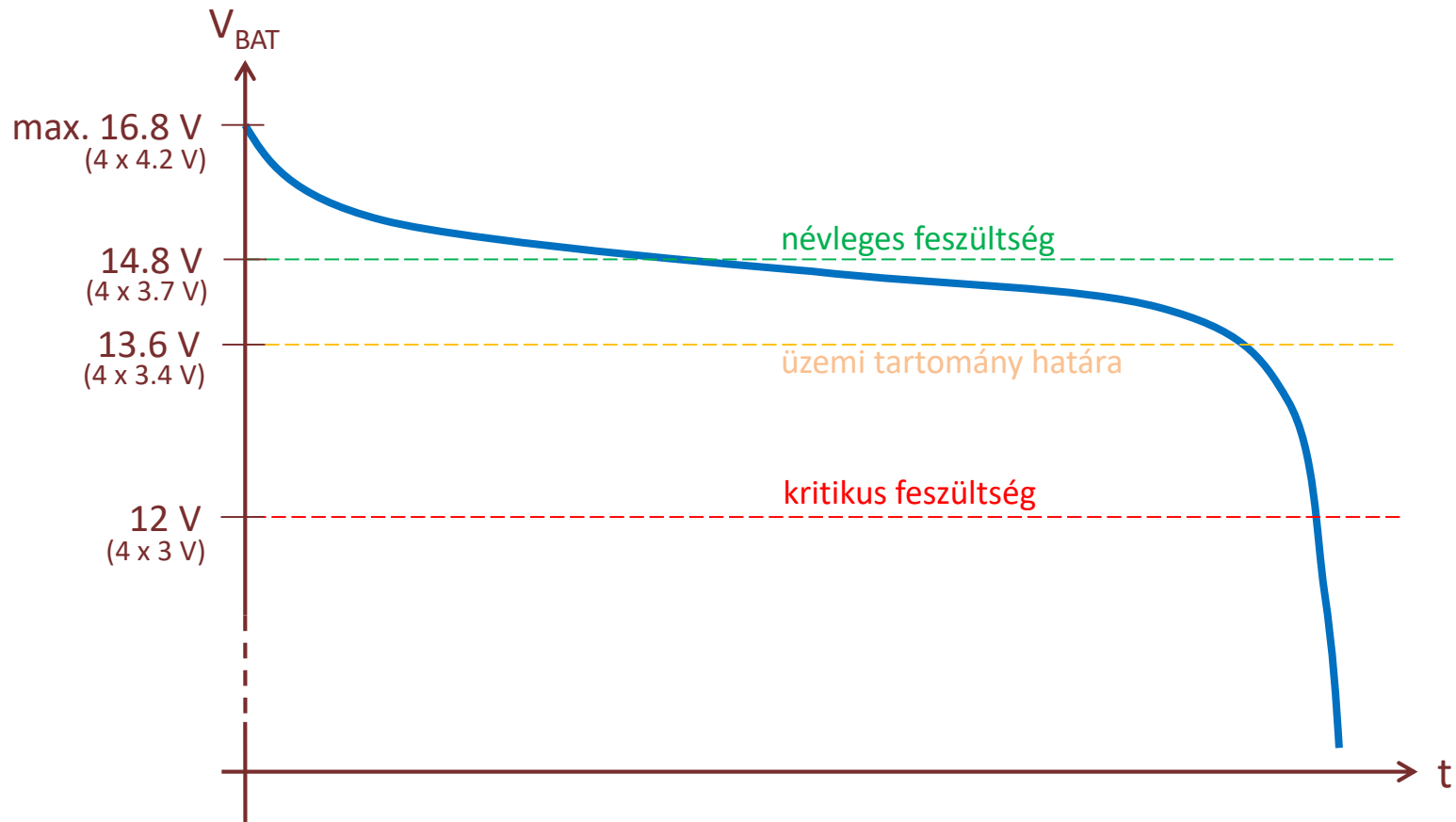
4 sorba kötött LiPol akkumulátor cella névleges feszültsége 14.8 V.

A motorvezérlés megvalósítására ez utóbbi a megfelelő.



# Tápellátás

## 4-cellás LiPol akkumulátor kisütési karakterisztikája



# Tápellátás

---

## 4-cellás LiPol akkumulátor

- Névleges feszültség: 14.8 V
- Teljes töltöttség melletti (maximális) feszültség: 16.8 V
- Az üzemi tartomány határa kb. 13.6 V.
- 12 V alatt az akkumulátor mélykisülés állapotába kerül (illegális állapot).

16.8 V maximális feszültség reálisan előállhat közvetlenül az akkumulátor töltése után, tehát ez lehet a szabályozási tartomány felső határa. Ezen a ponton maximális az  $N_{TOP}$  érték.

12 V az akkumulátor üzemének alsó határa. Ezen a ponton minimális az  $N_{TOP}$  érték. Ezen érték mellett is biztosítani kell a teljes kitöltési tényező tartomány elérhetőségét, tehát  $N_{TOP}$  ezen a ponton sem lehet 2048-nál kisebb.





# Tápellátás

---

Ugyanakkor a maximális átlagos motor kapocsfeszültség 12 V kell, hogy legyen. Ha biztosítjuk, hogy a minimális  $N_{TOP}$  értéken 100% kitöltési tényező mellett maximálisan 12 V kapocsfeszültség álljon elő, akkor ez az egész működési tartományban (nagyobb  $N_{TOP}$  értékek mellett) teljesül.

A motorszabályozásban a kitöltési tényezőt továbbra is 12 V névleges motorfeszültség arányában fejezzük ki. Ennek feltétele az, hogy tápfeszültségtől függetlenül a 100%-os kitöltési tényező melletti kapocsfeszültség 12 V legyen.

Ennek megfelelően C konstans megválasztásakor a

$$(V_m, N_m) = (12 \text{ V}, 2048)$$

pontra való illeszkedés kell biztosítani.



# Tápellátás

Alkalmazzuk

$$C = \frac{N_{TOP}^{ref}}{V_{BAT}^{ref}}$$

összefüggést  $(V_m^{min}, N_m^{min}) = (12\text{ V}, 2048)$ -re, mint referencia pontra:

$$C = \frac{N_m^{min}}{V_m^{min}} = \frac{2048}{12}$$

$N_{TOP} = CV_{BAT}$  alapján

$$N_{TOP} = \frac{N_m^{min}}{V_m^{min}} V_{BAT}$$

Konkrét esetünkben

$$N_{TOP} = \frac{2048}{12} V_{BAT} \approx 170.3333 \cdot V_{BAT}$$

Ez egész értékre kerekítve kerül alkalmazásra, mint a Timer számlálási végértéke:



# Tápellátás

---

Határozzuk meg a maximális 16.8 V tápfeszültséghez tartozó  $N_{TOP}$  értéket:

$$N_{TOP} = \frac{N_{TOP}^{ref}}{V_{BAT}^{ref}} V_{BAT} = \frac{2048}{12} 16.8 = 2,867.2$$

Egész értékre kerekítve:

$$N_{TOP} = 2,867$$

A nominális 14.8 V tápfeszültséghez tartozó  $N_{TOP}$  érték:

$$N_{TOP} = \frac{N_{TOP}^{ref}}{V_{BAT}^{ref}} V_{BAT} = \frac{2048}{12} 14.8 = 2,525.8667$$

Egész értékre kerekítve:

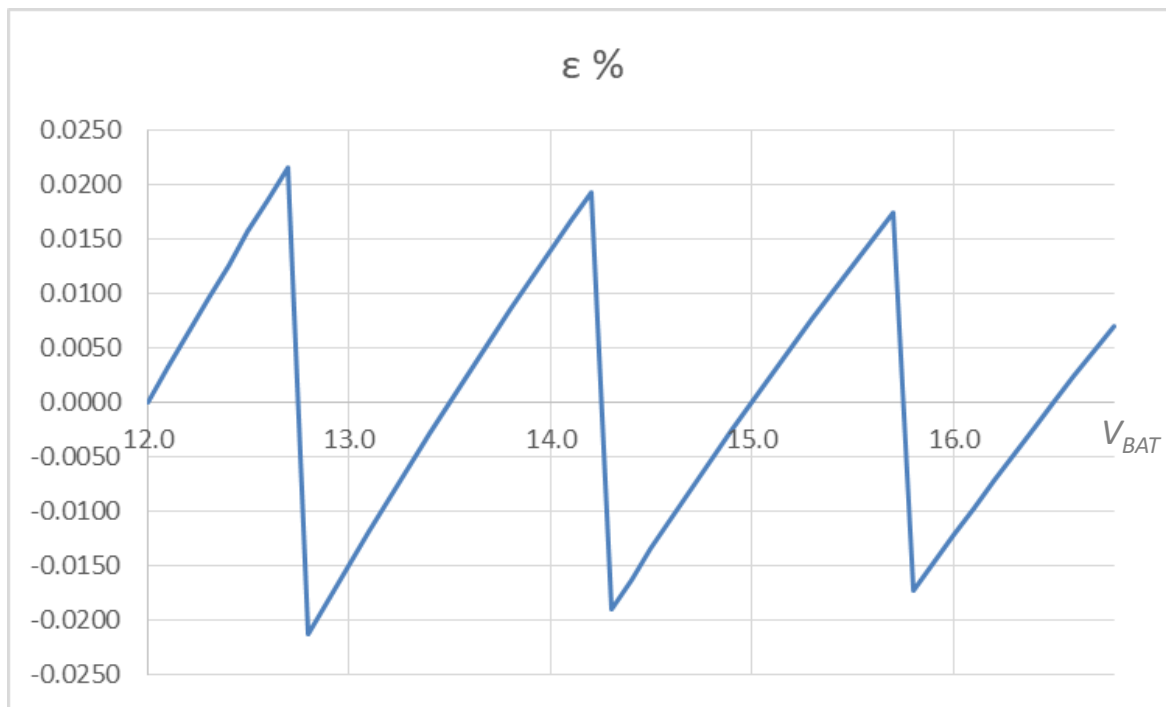
$$N_{TOP} = 2,526$$



# Tápellátás

A fixpontos ábrázolásból eredő kerekítések miatt a tápfeszültség változás miatti korrekció csak közelítőleg teljesül. A relatív hiba:

$$\varepsilon = \frac{(V_m - V_m^{corr})}{V_m} 100\% \quad (V_m \neq 0)$$



$V_m = 6 V$  feszültség mellett számított relatív hiba

A relatív hiba minden  $V_m$ ,  $V_{BAT}$  értéket tekintve 0.1% alatt van.

$V_m = 0$  esetén az alkalmazott kitöltési tényező 0, ez 0 abszolút hibával áll elő.



# Tápellátás

A tápfeszültségre történő korrekció megvalósításához mérni kell a tápfeszültség értékét. Ez a mikroszámítógép ADC perifériájának alkalmazásával oldható meg.

ADC mérési tartomány: 0 ... 3.3 V

ADC felbontás: 12 bit

ADC adatterjedelem: 0 ... 4095

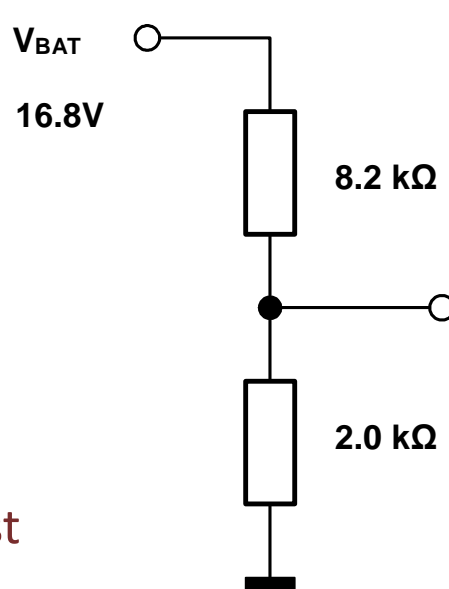
A mérendő feszültséget egy feszültségosztó áramkörrel redukáljuk az ADC bemeneti feszültségére:

Alkalmazzuk a

$$17\text{ V} \rightarrow 3.3\text{ V}$$

megfeleltetést

Mérendő feszültség: 12 ... 16.8 V



$$16.8 \frac{2.0}{2.0 + 8.2} = 3.294$$

Relatív hiba: 0.18%

A mérhető maximális feszültség:





$$3.3 \cdot \frac{2.0 + 8.2}{2.0} = 16.83$$



# Tápellátás

A tápfeszültségellátás (akkumulátor) állapotának megítélése

Állapot		Feszültség	ADC mérési érték	
1	Teljes töltés	$16.8 \frac{2.0}{2.0 + 8.2} \approx 3.2941$	$3.2941 \frac{4096}{3.3} \approx 4089$	Felső határ
2	Nominális	$14.8 \frac{2.0}{2.0 + 8.2} \approx 2.90196$	$2.90196 \frac{4096}{3.3} \approx 3602$	Ok
3	Működési határ	$13.6 \frac{2.0}{2.0 + 8.2} \approx 2.66667$	$2.66667 \frac{4096}{3.3} \approx 3310$	Alsó határ
4	Mélykisülés	$12.0 \frac{2.0}{2.0 + 8.2} \approx 2.35294$	$2.35294 \frac{4096}{3.3} \approx 2920$	Kritikus

0	> 16.8 V	> 4036	Túltöltött	
1	13.6 V – 16.8 V	3555 – 4036	Ok	
2	12.0 V – 13.6 V	2883 – 3554	Alultöltött	
3	< 12.0 V	< 2883	Mélykisülés	



# Beavatkozó jel generálás

Visszatérünk a beavatkozó jel generálásra, nevezetesen a TIM3 periféria konfigurálására.

- A TIM3 perifériát belső óráról működtetjük, ez az APB1 periféria busz Timer-ekre érvényes 84 MHz-es órajele.
- A motorvezérlésbe az L6202 motorvezérlő IN1\_A és IN2\_A jeleit előállító 2 Timer kimenet (CH1 és CH2) van bevonva. A kísérletünkben alkalmazunk egy további Timer kimenetet (CH3), amely az előzőkkel szinkron működik, megkönnyíti ezek oszcilloszkóppal történő vizsgálatát (külső szinkron generálás).
- Az alkalmazott PWM üzemmód: szimmetrikus („center-aligned”, fázishelyes) PWM.
- A PWM impulzusszélességet beállító OCR regiszterek 0 és 2048 közötti értékeket tartalmazhatnak. Ennek megfelelően a számlálás végértékét meghatározó AutoReload regiszterbe írt érték minimálisan 2048 lehet. Kezdeti értéként alkalmazzuk a nominális 14.8 V-os tápfeszültség melletti  $N_{TOP}$  értéket - 2,526-ot.



# Beavatkozó jel generálás

- A PWM frekvencia beállítása:

A PWM jelek frekvenciája:  $f_{PWM} = \frac{f_{CLK}}{2 \cdot P \cdot N_{TOP}}$   $P$  az előosztás mértéke

A maximális 84 MHz-es órajel frekvencia mellett előosztás nélkül kialakuló PWM frekvencia  $N_{TOP}$  minimális, névleges, ill. maximális értékénél:

$N_{TOP}$	2,048	2,526	2,867
Frekvencia	20,507.8125	16,627.0784	14,649.4694

A kialakuló frekvenciák reálisak (< 100 kHz), nincs szükség azok csökkentésére. Magasabb frekvenciák előállítására az adott feltételek mellett nincs lehetőség. 15 – 20 KHz közötti frekvenciák idéznek elő okoznak hallható tartományba eső kellemetlen zajt.





# Beavatkozó jel generálás

## A TIM3 periféria beállításai:

Clock Source		Internal Clock
Channel 1	PB4 – IN1_A_TIM3_1	PWM Generation CH1
Channel 2	PB5 – IN2_A_TIM3_2	PWM Generation CH2
Channel 3	PB0 – TRIG_TIM3_3	PWM Generation CH3

Prescaler	APB1 clock 84 MHz	0
Counter Mode		Center Aligned mode 1
Counter Period (AutoReload Register)		2526-1
Internal Clock Division (CKD)		No Division
auto-reload preload	Prescaler	Disable
	PWM Frequency [Hz]	16,627.0784

Channel	Mode	Pulse	Fast Mode	CH Polarity
1	PWM mode 1	0	Disable	High
2	PWM mode 1	0	Disable	High
3	PWM mode 1	1263-1	Disable	High

Megjegyzés: a Prescaler, AutoReload, valamint a Pulse regiszterekbe a kívánt osztásaránynál, top értéknél 1-gyel kisebb értéket kell beírni.



# 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**