

# ÉRZÉKELŐK ÉS BEAVATKOZÓK II.

## 4. DC MOTOROK VEZÉRLÉS



**Dr. Soumelidis Alexandros**

**2020.02.26.**

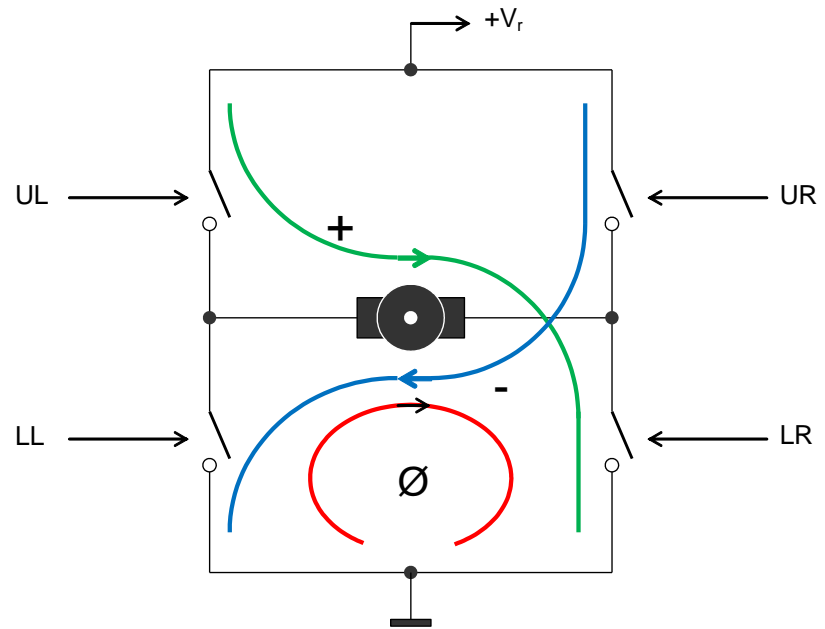


**BME KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR**  
**32708-2/2017/INTFIN SZÁMÚ EMMI ÁLTAL TÁMOGATOTT TANANYAG**

# DC motorvezérlés

H-híd:

- Motor mozgítás előre
  - Motor mozgítás hátra
  - Fékezés
  - Szabadonfutás
- a vezérlés függvényében



A kapocsfeszültség impulzusszélesség modulált ki-be kapcsolásával átlagosan különböző működtető feszültségek állíthatók be - a fordulatszám, nyomaték, a leadott teljesítmény ezzel befolyásolható



# DC motorvezérlés

---

## PWM alkalmazás:

A kapocsfeszültség impulzusszélesség modulált ki-be kapcsolásával átlagosan különböző működtető feszültségek állíthatók be - a fordulatszám, nyomaték, a leadott teljesítmény ezzel befolyásolható

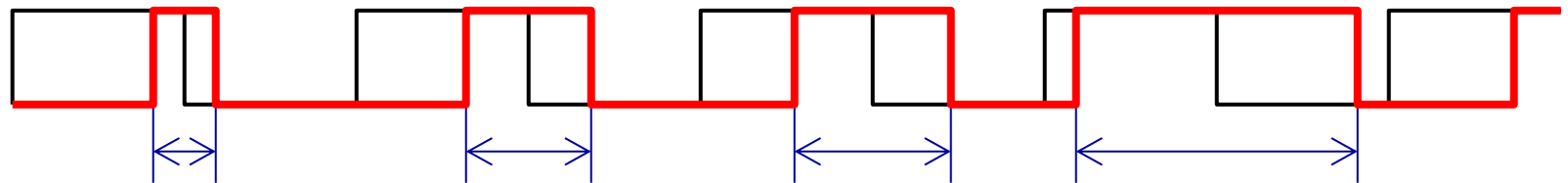
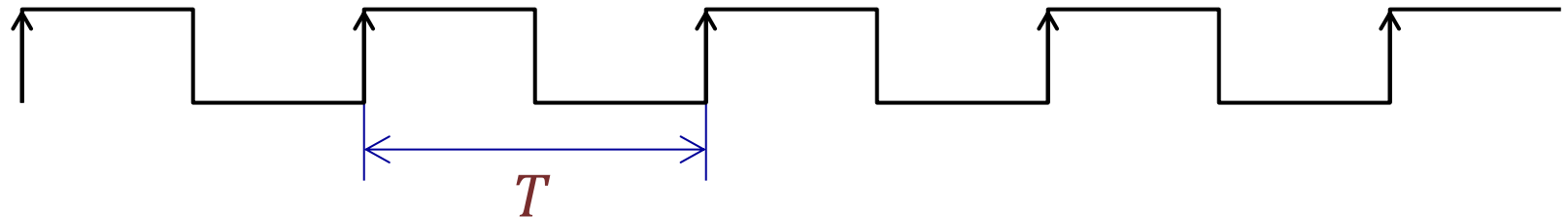
## Hogyan alakul ki az „átlagfeszültség”?

A motor, mint elektromechanikus rendszer mechanikai és villamos tehetetlenségénél fogva aluláteresztő (LP) szűrőt képez - a PWM frekvencia elég nagyra választása esetén nincs szükség további szűrésre.



# DC motorvezérlés

Szimmetrikus vagy fázishelyes (Phase Correct) PWM



$$T_{p0} \sim x(t_0) \quad T_{p1} \sim x(t_0 + T) \quad T_{p2} \sim x(t_0 + 2T)$$

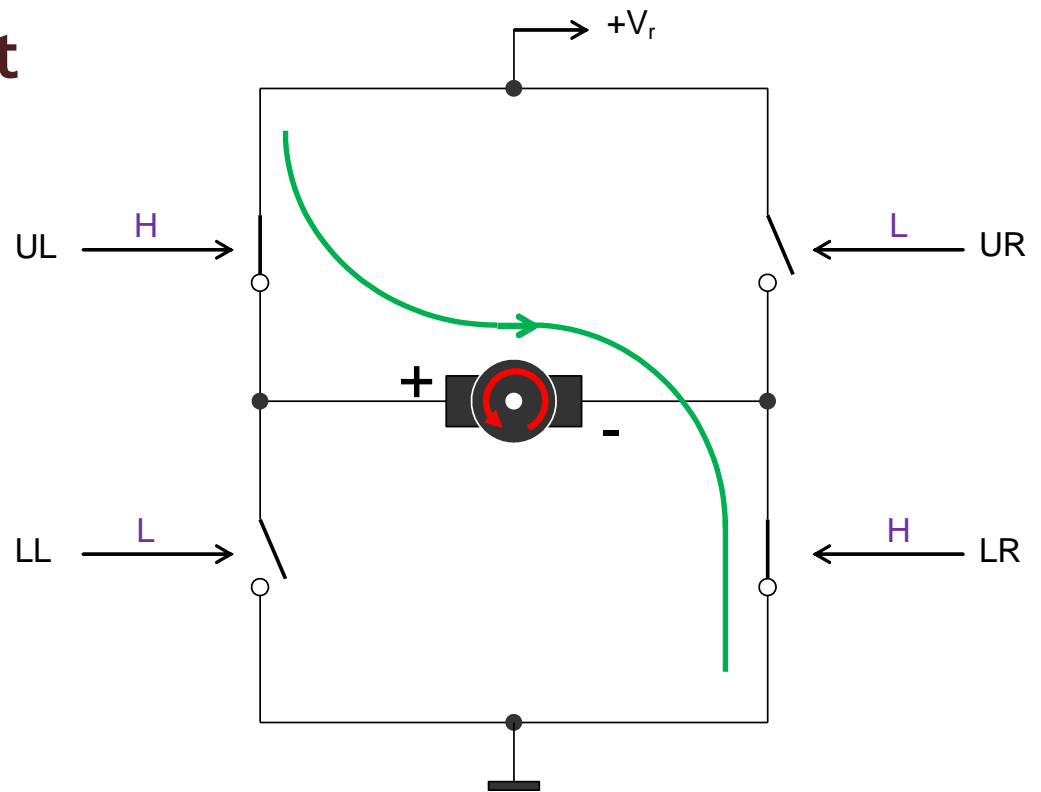
$$T_{pk} \sim x(t_0 + kT)$$

Fázishelyes PWM: szimmetrikus impulzusok a korrekt időpontokban.



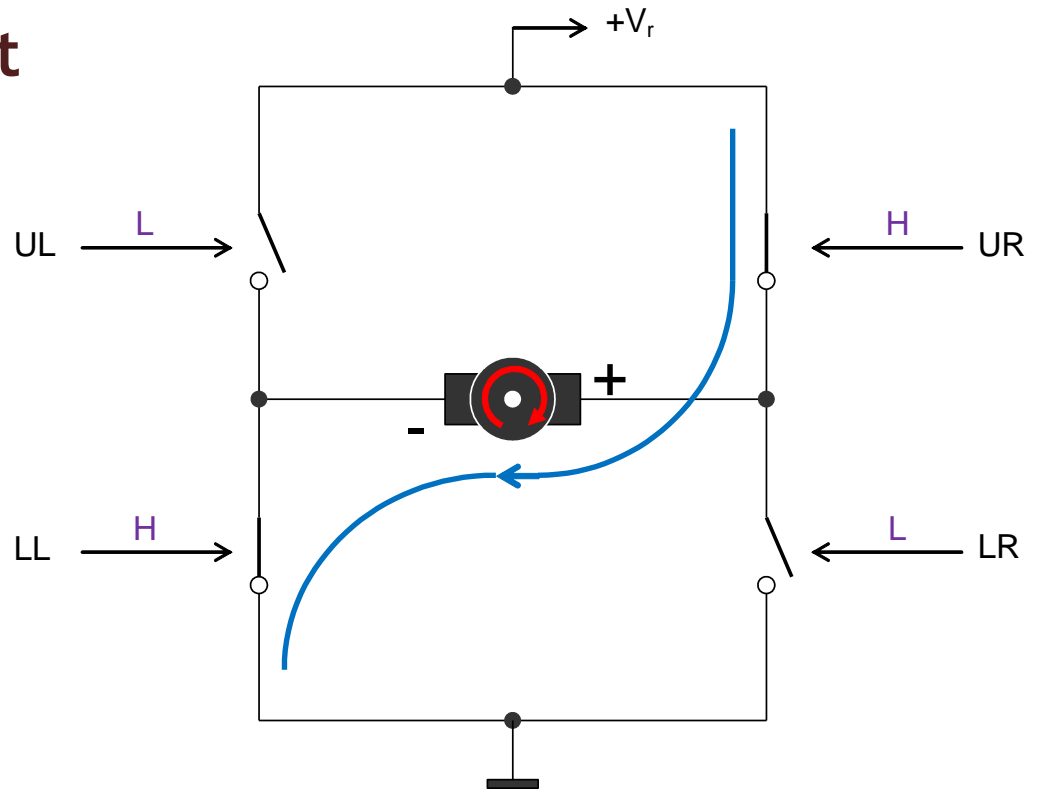
# DC motorvezérlés

## H-híd: előremenet



# DC motorvezérlés

## H-híd: hátramenet

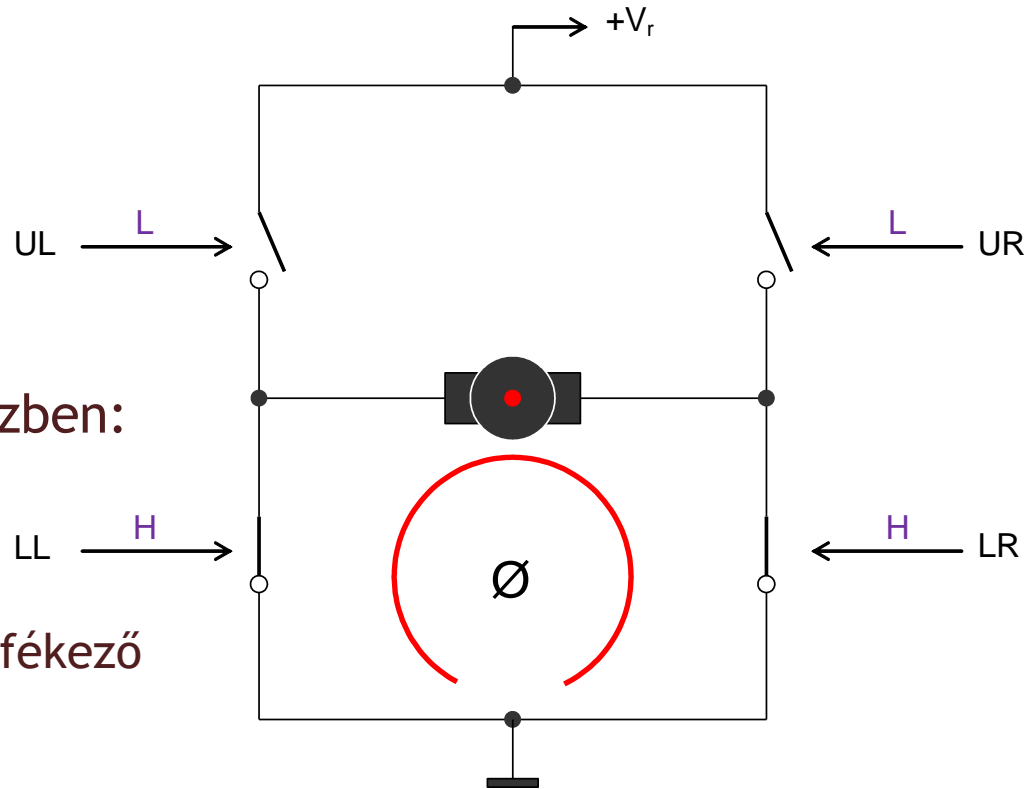


# DC motorvezérlés

## H-híd: fékezés

Az indukált feszültség  
áramot kelt a forgórészben:

- Fordulatszámától függő fékező nyomaték áll elő.

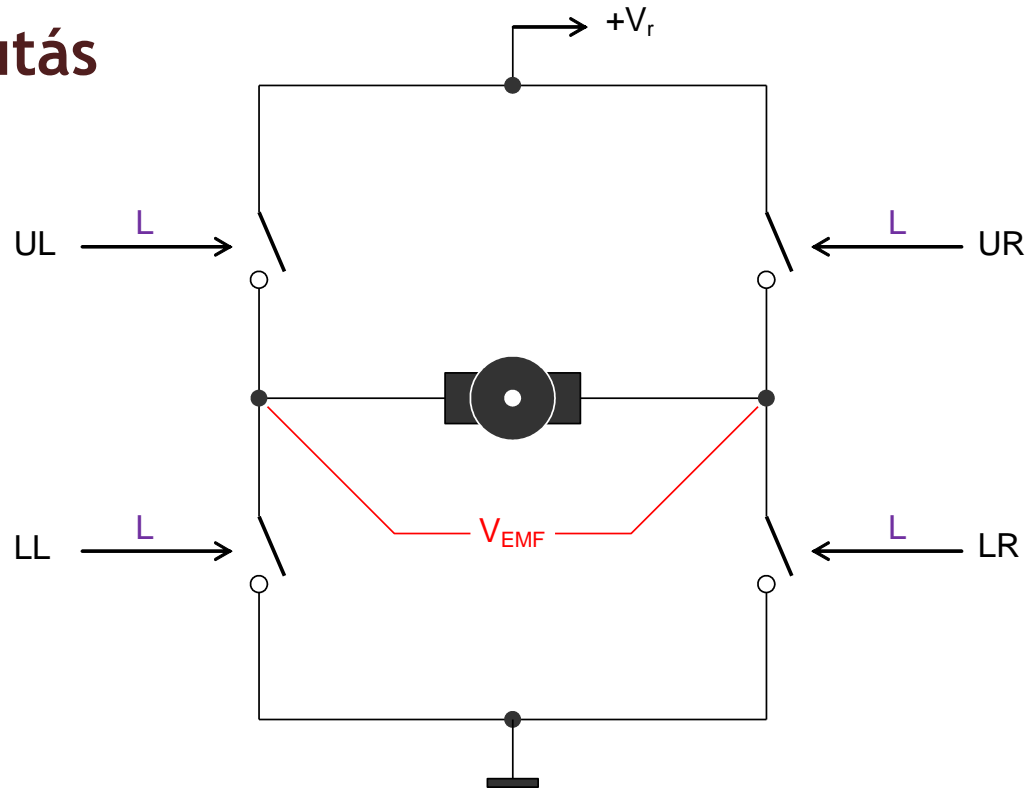


# DC motorvezérlés

## H-híd: szabadonfutás

A motor kapcsai szabadon állnak - nem csatlakoznak külső feszültségforrásra:

az indukált feszültség mérhető



Indukált feszültség (EMF, BEMF):

- A fordulatszám függvénye - a fordulatszám mérésére használható.

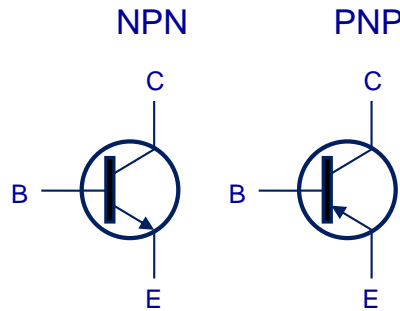




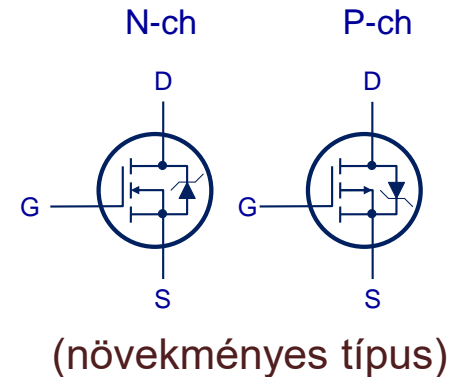
# DC motor meghajtás

A kapcsolóhálózat - H-híd - kapcsolók megvalósítása:

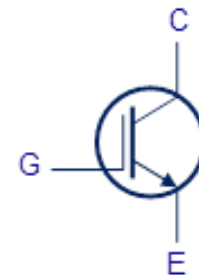
- Tranzisztor



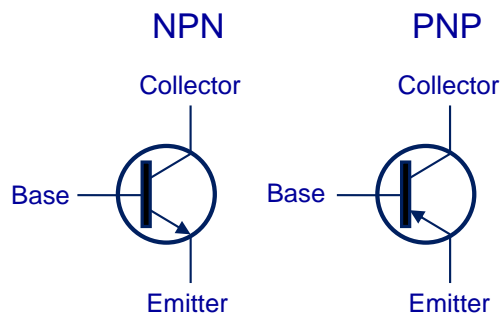
- MOS-FET (Metal-Oxid-Semiconductor Field Effect Transistor)



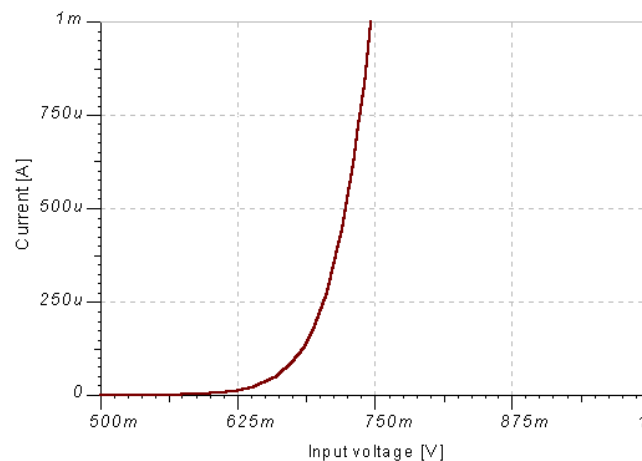
- IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor)



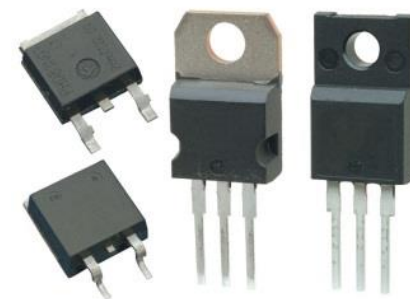
# Kapcsoló tranzisztorok



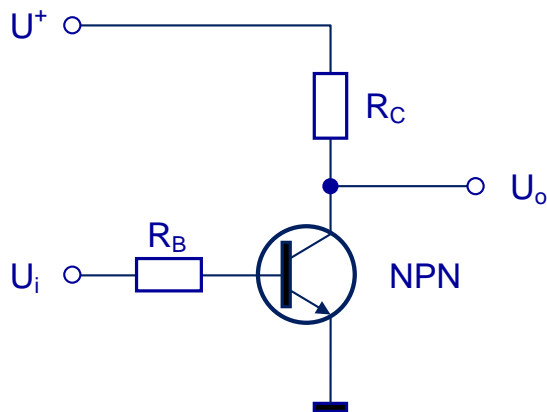
## Tranzszer karakterisztika



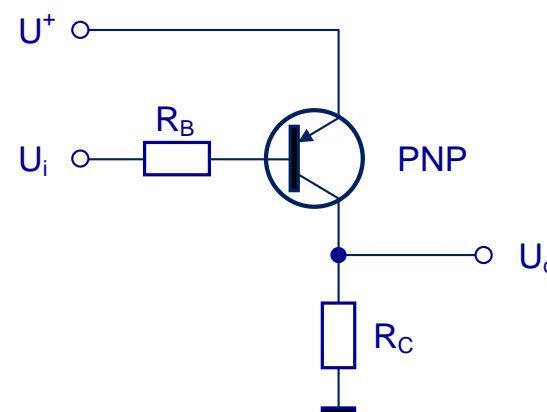
## Teljesítmény-tranzisztorok



## Földoldali kapcsoló



## Tápoldali kapcsoló



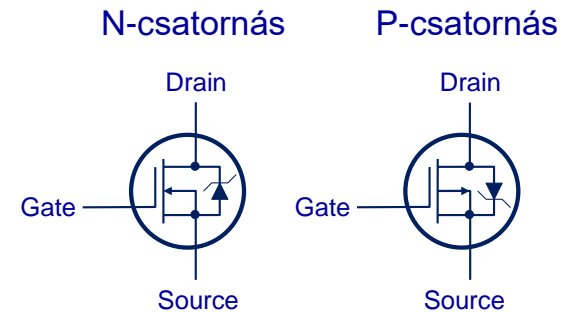
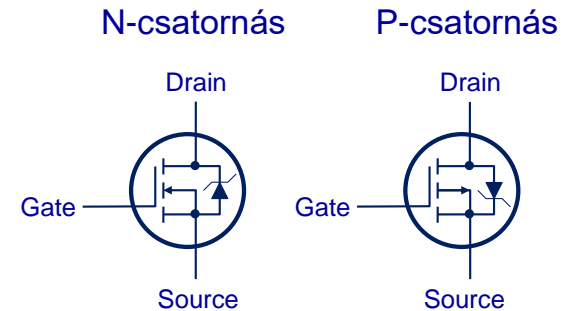
# MOS-FET

## Típusok

- Növekményes (enhancement) és kiürítéses (depletion)
- N és P csatornás

Növekményes típus:  
alapállapota nyitott (ki)

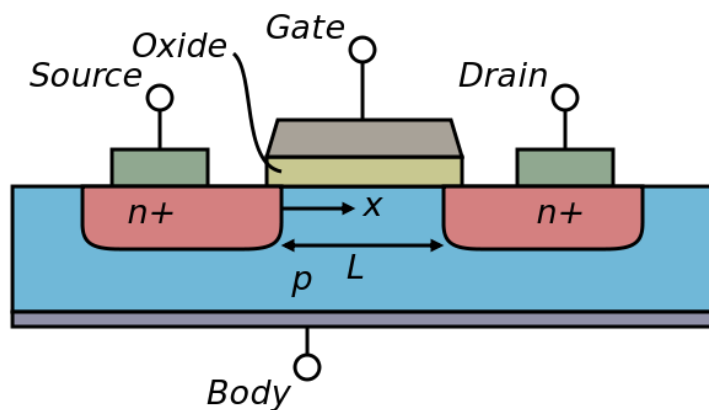
Kiürítéses típus:  
alapállapota zárt (be)



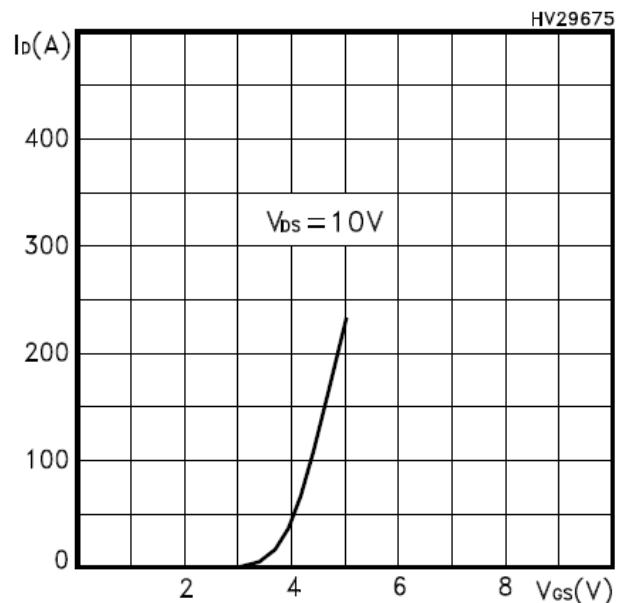
# Teljesítmény MOS-FET

Példa:  STB270N4F3 - 40V 160 A 1.6 m $\Omega$

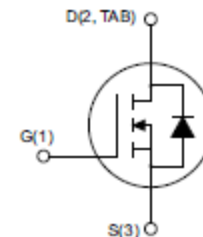
STripFET™ F3 Power MOSFET in D<sup>2</sup>PAK



N-csatornás növekményes típus



Transzfer karakterisztika



D<sup>2</sup>PAK

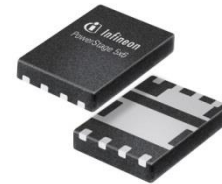
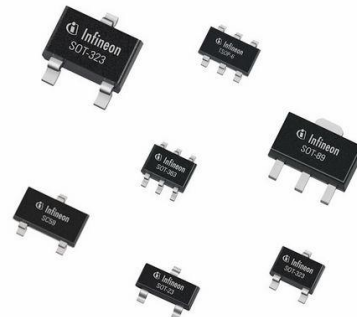
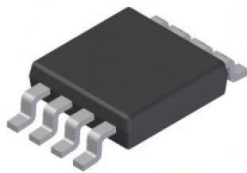
Követelmények: kis  $R_{DSon}$  D-S „bekapcsolási” ellenállás,  
nagyon nagy  $R_{DSoff}$  „kikapcsolási” ellenállás.



# Teljesítmény MOS-FET

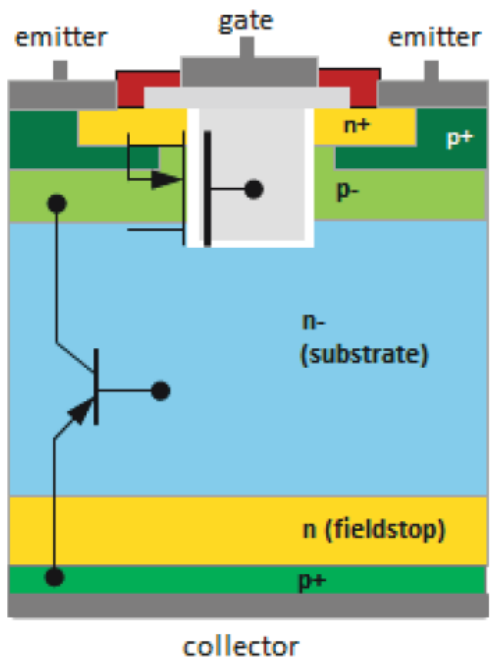
Jellemzők:

- $U_{DS}$  (maximális feszültség)
- $I_D$  (maximális áram)
- $R_{DSon}$  (bekapcsolási ellenállás)
- $C_G, Q_G$  (gate kapacitás, töltés)
- $t_{on}, t_{off}$  (kapcsolási idők)
- $R_{thj}$  (termikus jellemzők)

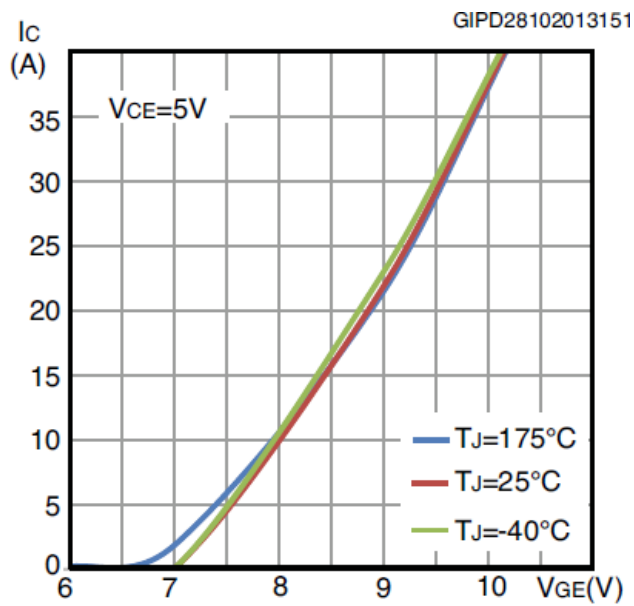


# IGBT

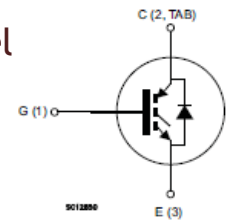
Példa:  STGx10H60DF - 600 V 10 A  
Trench gate field-stop IGBT (trench - árok)



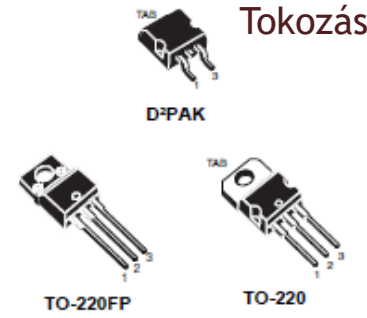
Transzfer-karakterisztika



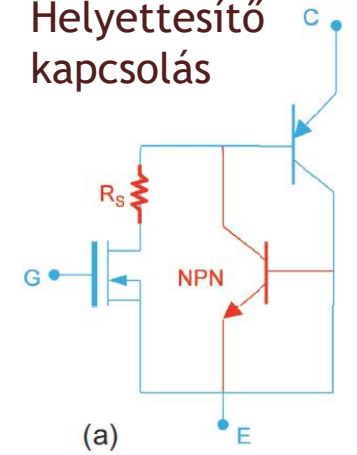
Rajzjel



Tokozás



Helyettesítő kapcsolás



# IGBT

- Nagy teljesítményű IGBT-k
- IGBT modulok



Teljes H-híd, vezérlő- és védelmi elemek egy tokban.



# DC motor meghajtás

---

## MOSFET alapú H-híd:

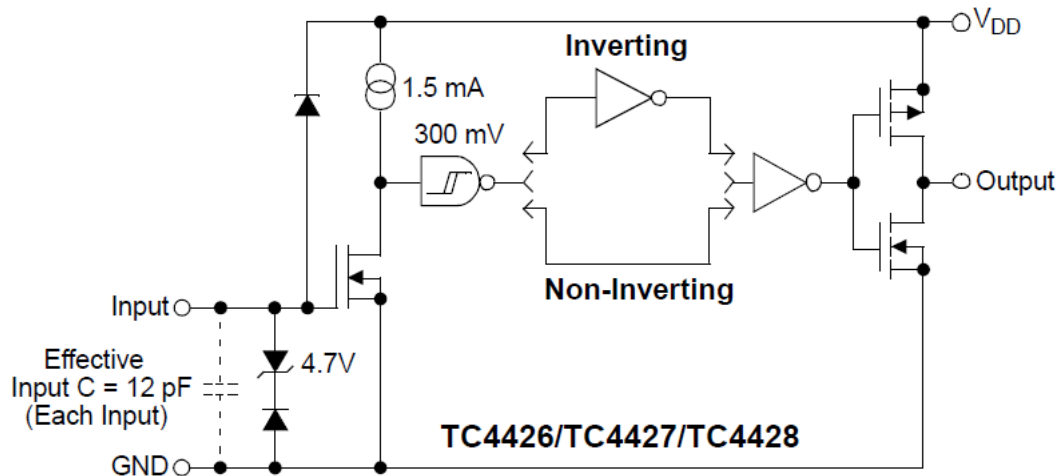
- Földoldalon N, tápoldalon P csatornás MOS-FET:
  - Kisfeszültségű alkalmazásokban
  - Egyszerű „földoldali” MOS meghajtók
  - Hátrány: a P-csatornás MOS-FET-ek általában rosszabb paraméterekkel rendelkeznek (bemeneti kapacitás, sebesség, nyitóirányú ellenállás)
- Föld- és tápoldalon N csatornás MOS-FET:
  - Akár nagy feszültségek (pl. 600 V) alkalmazása
  - Speciális „tápoldali” MOS meghajtókat igényel
  - Alsó/felső kapcsolók azonos paraméterekkel rendelkeznek: szimmetria jobban biztosítható





# DC motor meghajtás

## Földoldali MOS meghajtó: példa - Microchip TC4426-7-8



### Features

- High Peak Output Current – 1.5A
- Wide Input Supply Voltage Operating Range:
  - 4.5V to 18V
- High Capacitive Load Drive Capability – 1000 pF in 25 ns (typ.)
- Short Delay Times – 40 ns (typ.)
- Matched Rise and Fall Times
- Low Supply Current:
  - With Logic '1' Input – 4 mA
  - With Logic '0' Input – 400  $\mu$ A
- Low Output Impedance – 7 $\Omega$
- Latch-Up Protected: Will Withstand 0.5A Reverse Current
- Input Will Withstand Negative Inputs Up to 5V
- ESD Protected – 4 kV
- Pin-compatible with the TC426/TC427/TC428
- Space-saving 8-Pin MSOP and 8-Pin 6x5 DFN Packages

A földpotenciálhoz képest állítja elő a MOS-FET gate vezérléshez szükséges feszültség szinteket.

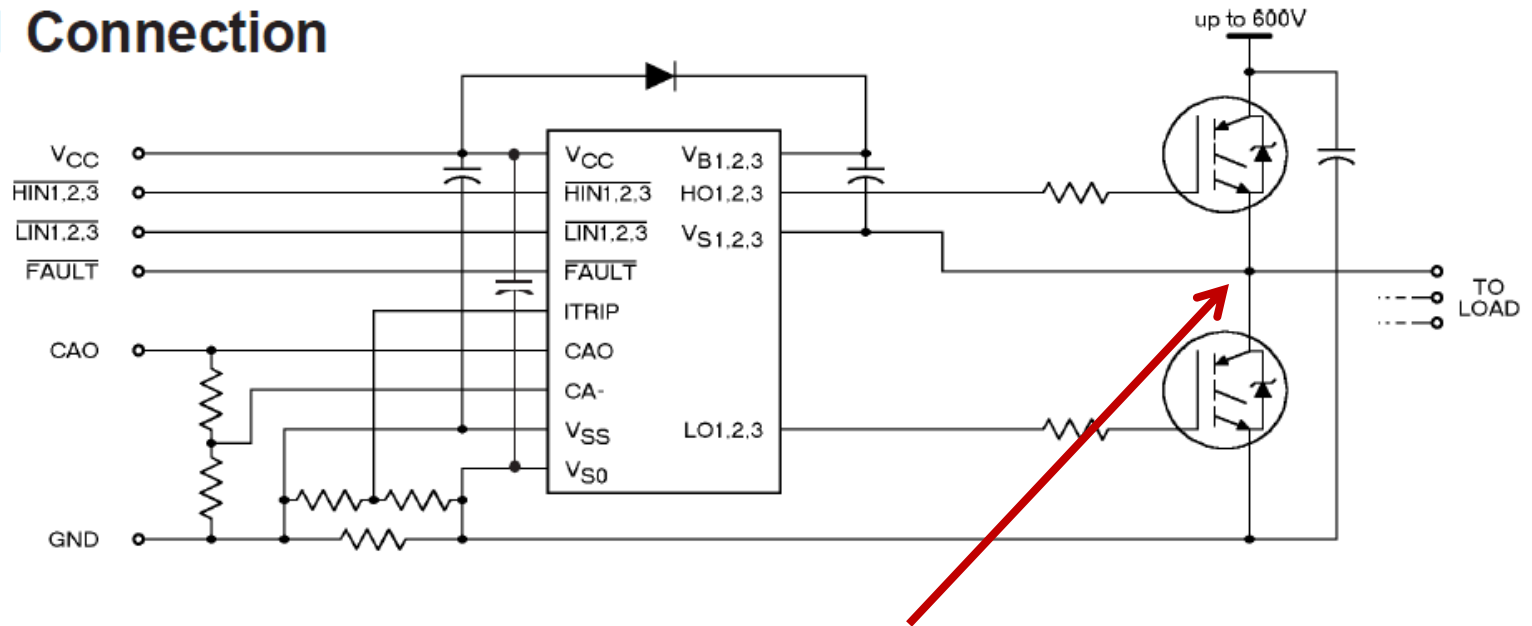


# DC motor meghajtás

Föld- és tápoldali MOS meghajtó: példa IRF IR2130-2

Háromfázisú MOSFET / IGBT H-hídmeghajtó

## Typical Connection



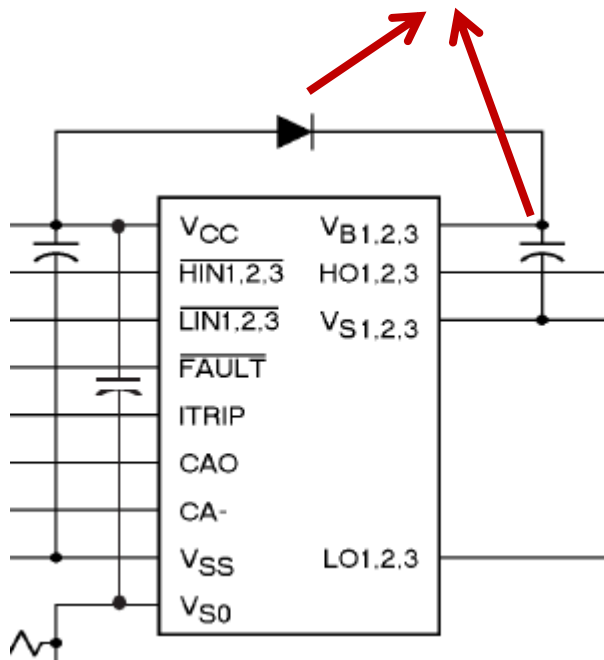
A tápoldali MOSFET/IGBT vezérlése a középső pont (motor csatlakozási pont) potenciáljához képest történik - „boost” áramkör.



# DC motor meghajtás

A boost-áramkör működése:

1 dióda, 1 kondenzátor



Ha  $V_S$  feszültség alacsony,  $V_B$  is elég alacsony lehet ahhoz, hogy a dióda kinyisson: a kondenzátor a diódán keresztül feltöltődik a  $V_{CC} - V_S$  feszültségre.

$V_S$  magas szintre kerülése viszi magával  $V_B$  szintet, a dióda lezár, a kondenzátor tartja a  $V_B$ -hez képest pozitív feszültséget.

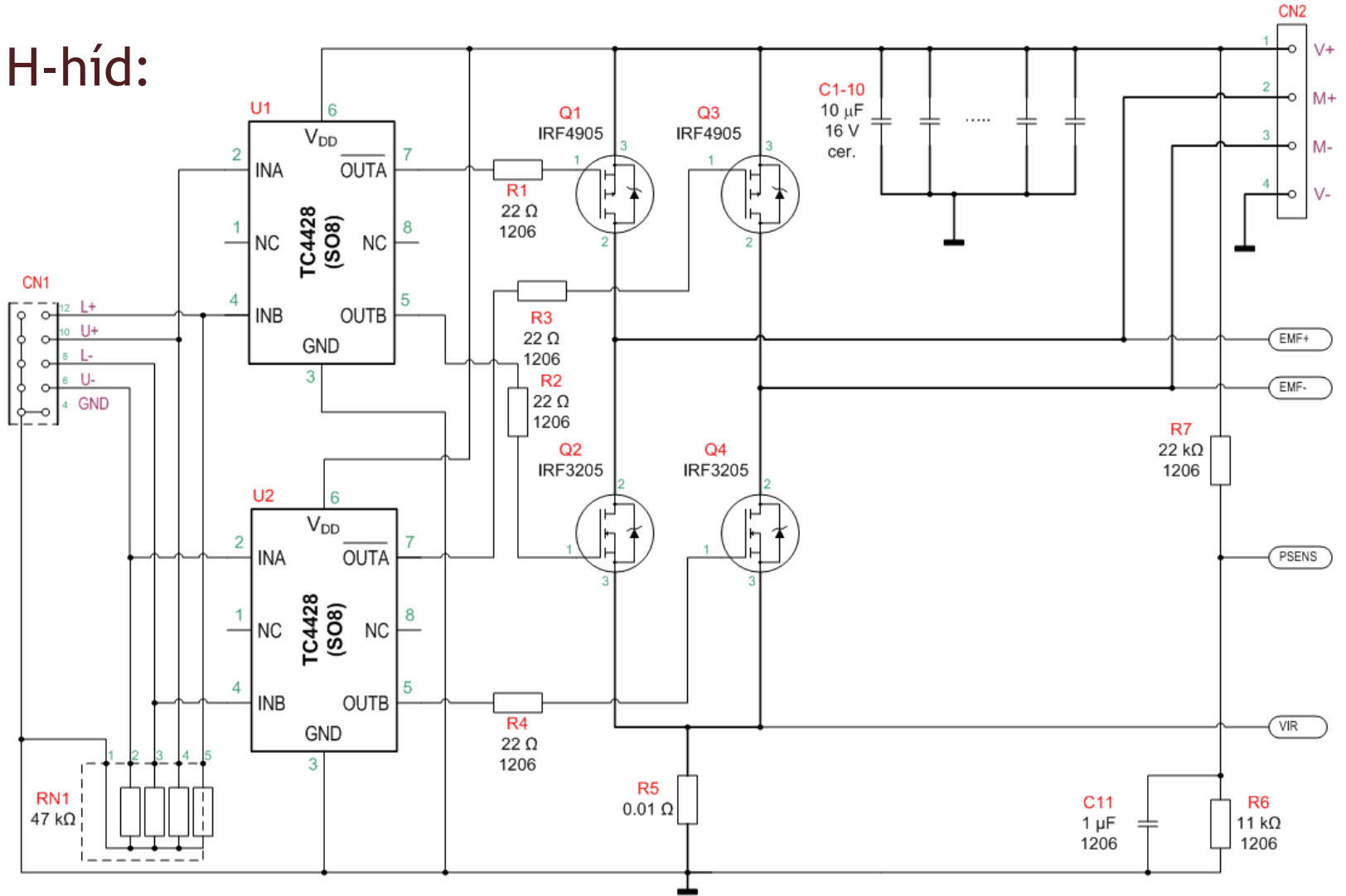
$V_B$ -t csak MOSFET gate-je terheli, lassan változik.

A működés feltétele: periodikus változás.



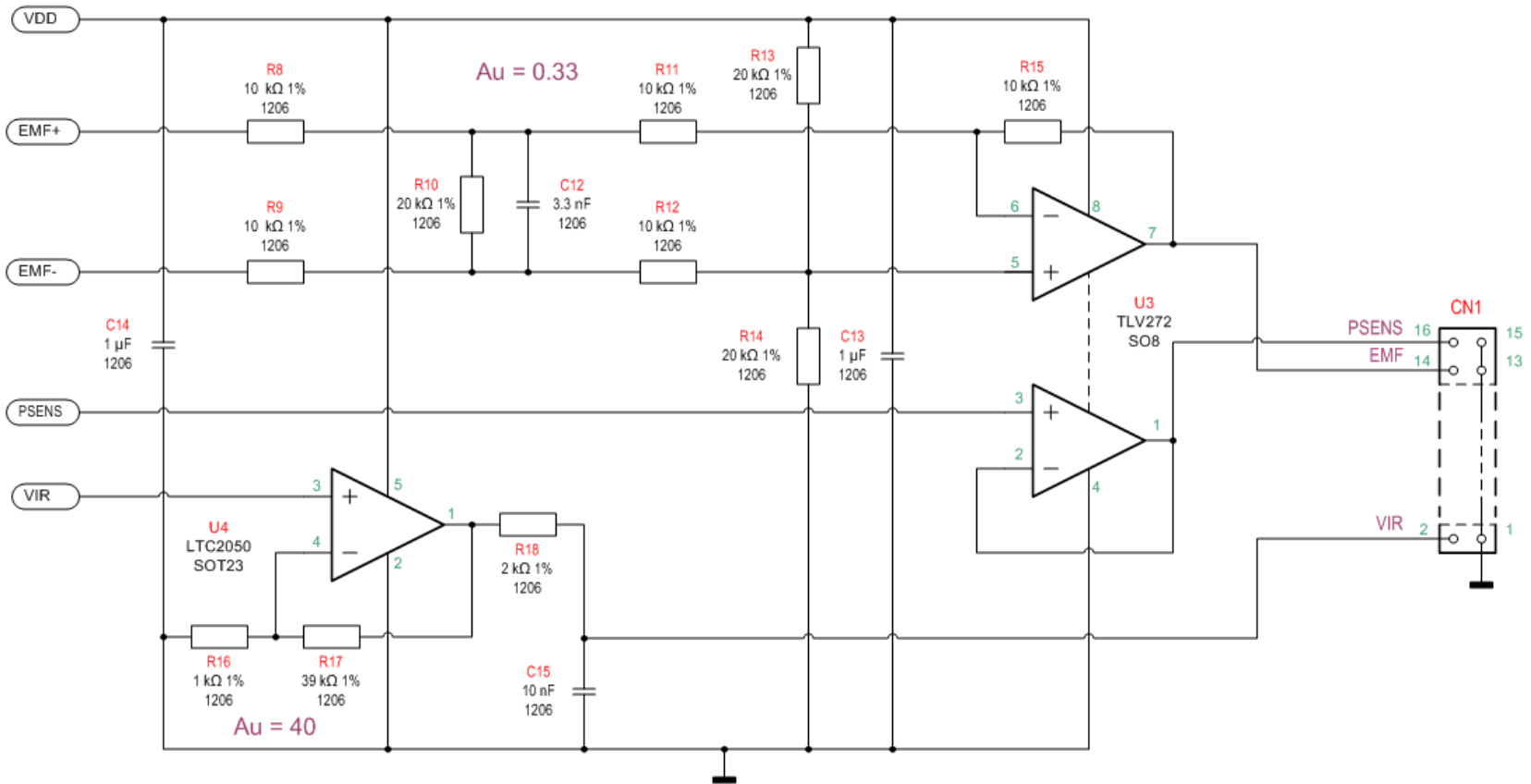
# DC motor vezérlő – példa 1.oldal

H-híd:



# DC motor vezérlő – példa 2.oldal

EMF- és árammérés:



# Földoldali (N)– Tápoldali (P) MOSFET kapcsoló

International  
**IR** Rectifier

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

## Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The D<sup>2</sup>Pak is a surface mount power package capable of accommodating die sizes up to HEX-4. It provides the highest power capability and the lowest possible on-resistance in any existing surface mount package. The D<sup>2</sup>Pak is suitable for high current applications because of its low internal connection resistance and can dissipate up to 2.0W in a typical surface mount application.

The through-hole version (IRF3205L) is available for low-profile applications.

## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	110 Ⓢ	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	80	
$I_{DM}$	390	W
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	200	
	1.3	W/°C
$V_{GS}$	± 20	V
$I_{AR}$	62	A
$E_{AR}$	20	mJ
dv/dt	5.0	V/ns
$T_J$	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$		
	300 (1.6mm from case )	
	10 lb*in (1.1N*m)	

## Thermal Resistance

Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	—	0.75	°C/W
$R_{\theta JA}$	—	40	

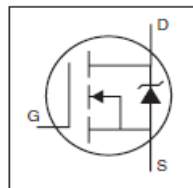
www.irf.com

PD - 94149A

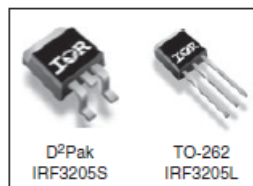
IRF3205S

IRF3205L

HEXFET® Power MOSFET



$V_{DSS} = 55\text{V}$   
 $R_{DS(on)} = 8.0\text{m}\Omega$   
 $I_D = 110\text{A}^{\text{Ⓢ}}$



D<sup>2</sup>Pak  
IRF3205S

TO-262  
IRF3205L

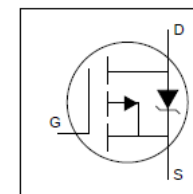
International  
**IR** Rectifier

PD - 9.1478A

IRF4905S/L

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Surface Mount (IRF4905S)
- Low-profile through-hole (IRF4905L)
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- P-Channel
- Fully Avalanche Rated



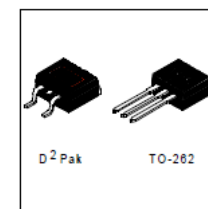
$V_{DSS} = -55\text{V}$   
 $R_{DS(on)} = 0.02\Omega$   
 $I_D = -74\text{A}$

## Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The D<sup>2</sup>Pak is a surface mount power package capable of accommodating die sizes up to HEX-4. It provides the highest power capability and the lowest possible on-resistance in any existing surface mount package. The D<sup>2</sup>Pak is suitable for high current applications because of its low internal connection resistance and can dissipate up to 2.0W in a typical surface mount application.

The through-hole version (IRF4905L) is available for low-profile applications.



D<sup>2</sup>Pak

TO-262

## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	-74	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	-52	
$I_{DM}$	-260	W
$P_D @ T_A = 25^\circ\text{C}$	3.8	
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	200	W
	1.3	W/°C
$V_{GS}$	± 20	V
$E_{AS}$	930	mJ
$I_{AR}$	-38	A
$E_{AR}$	20	mJ
dv/dt	-5.0	V/ns
$T_J$	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$		
	300 (1.6mm from case )	

## Thermal Resistance

Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	—	0.75	°C/W
$R_{\theta JA}$	—	40	

# MOSFET meghajtó



## MICROCHIP TC4426/TC4427/TC4428

### 1.5A Dual High-Speed Power MOSFET Drivers

#### Features

- High Peak Output Current – 1.5A
- Wide Input Supply Voltage Operating Range:
  - 4.5V to 18V
- High Capacitive Load Drive Capability – 1000 pF in 25 ns (typ.)
- Short Delay Times – 40 ns (typ.)
- Matched Rise and Fall Times
- Low Supply Current:
  - With Logic '1' Input – 4 mA
  - With Logic '0' Input – 400 µA
- Low Output Impedance – 7Ω
- Latch-Up Protected: Will Withstand 0.5A Reverse Current
- Input Will Withstand Negative Inputs Up to 5V
- ESD Protected – 4 kV
- Pin-compatible with the TC426/TC427/TC428
- Space-saving 8-Pin MSOP and 8-Pin 6x5 DFN Packages

#### Applications

- Switch Mode Power Supplies
- Line Drivers
- Pulse Transformer Drive

#### General Description

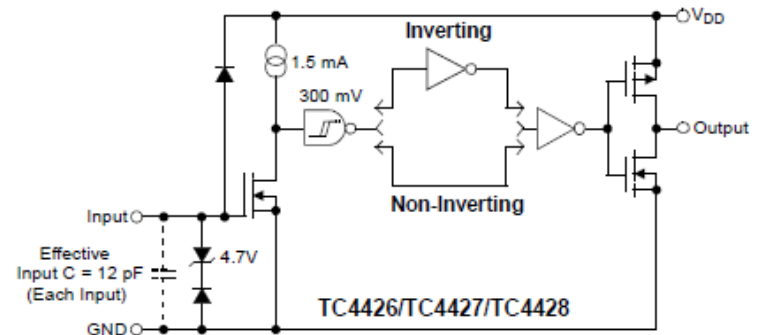
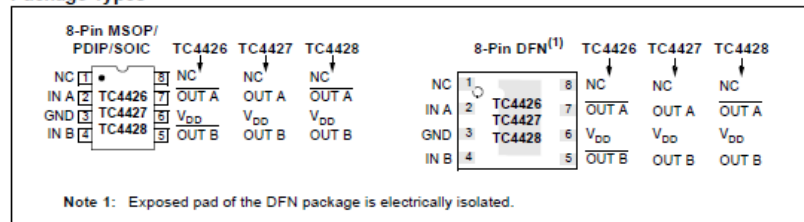
The TC4426/TC4427/TC4428 are improved versions of the earlier TC426/TC427/TC428 family of MOSFET drivers. The TC4426/TC4427/TC4428 devices have matched rise and fall times when charging and discharging the gate of a MOSFET.

These devices are highly latch-up resistant under any conditions within their power and voltage ratings. They are not subject to damage when up to 5V of noise spiking (of either polarity) occurs on the ground pin. They can accept, without damage or logic upset, up to 500 mA of reverse current (of either polarity) being forced back into their outputs. All terminals are fully protected against Electrostatic Discharge (ESD) up to 4 kV.

The TC4426/TC4427/TC4428 MOSFET drivers can easily charge/discharge 1000 pF gate capacitances in under 30 ns. These device provide low enough impedances in both the on and off states to ensure the MOSFET's intended state will not be affected, even by large transients.

Other compatible drivers are the TC4426A/TC4427A/TC4428A family of devices. The TC4426A/TC4427A/TC4428A devices have matched leading and falling edge input-to-output delay times, in addition to the matched rise and fall times of the TC4426/TC4427/TC4428 devices.

#### Package Types



- Note 1: TC4426 has two inverting drivers, while the TC4427 has two non-inverting drivers. The TC4428 has one inverting and one non-inverting driver.
- 2: Ground any unused driver input.

#### DC CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise noted, T <sub>A</sub> = +25°C with 4.5V ≤ V <sub>DD</sub> ≤ 18V.						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
<b>Input</b>						
Logic '1', High Input Voltage	V <sub>IH</sub>	2.4	—	—	V	Note 2
Logic '0', Low Input Voltage	V <sub>IL</sub>	—	—	0.8	V	
Input Current	I <sub>IN</sub>	-1.0	—	+1.0	µA	0V ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>DD</sub>
<b>Output</b>						
High Output Voltage	V <sub>OH</sub>	V <sub>DD</sub> - 0.025	—	—	V	DC Test
Low Output Voltage	V <sub>OL</sub>	—	—	0.025	V	DC Test
Output Resistance	R <sub>O</sub>	—	7	10	Ω	I <sub>OUT</sub> = 10 mA, V <sub>DD</sub> = 18V
Peak Output Current	I <sub>PK</sub>	—	1.5	—	A	V <sub>DD</sub> = 18V
Latch-Up Protection Withstand Reverse Current	I <sub>REV</sub>	—	> 0.5	—	A	Duty cycle ≤ 2%, t ≤ 300 µs, V <sub>DD</sub> = 18V
<b>Switching Time (Note 1)</b>						
Rise Time	t <sub>R</sub>	—	19	30	ns	Figure 4-1
Fall Time	t <sub>F</sub>	—	19	30	ns	Figure 4-1
Delay Time	t <sub>D1</sub>	—	20	30	ns	Figure 4-1
Delay Time	t <sub>D2</sub>	—	40	50	ns	Figure 4-1
<b>Power Supply</b>						
Power Supply Current	I <sub>S</sub>	—	—	4.5	mA	V <sub>IN</sub> = 3V (Both inputs)
		—	—	0.4	mA	V <sub>IN</sub> = 0V (Both inputs)

- Note 1: Switching times ensured by design.
- 2: For V temperature range devices, the V<sub>IH</sub> (Min) limit is 2.0V.
- 3: Package power dissipation is dependent on the copper pad area on the PCB.

# Motoráram mérése



LTC2050/LTC2050HV

Zero-Drift  
Operational Amplifiers  
in SOT-23

## FEATURES

- Maximum Offset Voltage of 3 $\mu$ V
- Maximum Offset Voltage Drift of 30nV/°C
- Noise: 1.5 $\mu$ V<sub>r,p</sub> (0.01Hz to 10Hz Typ)
- Voltage Gain: 140dB (Typ)
- PSRR: 130dB (Typ)
- CMRR: 130dB (Typ)
- Supply Current: 0.8mA (Typ)
- Supply Operation: 2.7V to 6V (LTC2050)  
2.7V to  $\pm$ 5.5V (LTC2050HV)
- Extended Common Mode Input Range
- Output Swings Rail-to-Rail
- Input Overload Recovery Time: 2ms (Typ)
- Operating Temperature Range: -40°C to 125°C
- Low Profile (1mm) SOT-23 (ThinSOT)™ Package

## APPLICATIONS

- Thermocouple Amplifiers
- Electronic Scales
- Medical Instrumentation
- Strain Gauge Amplifiers
- High Resolution Data Acquisition
- DC Accurate RC Active Filters
- Low Side Current Sense

## DESCRIPTION

The LTC<sup>®</sup>2050 and LTC2050HV are zero-drift operational amplifiers available in the 5- or 6-lead SOT-23 and SO-8 packages. The LTC2050 operates from a single 2.7V to 6V supply. The LTC2050HV operates on supplies from 2.7V to  $\pm$ 5.5V. The current consumption is 800 $\mu$ A and the versions in the 6-lead SOT-23 and SO-8 packages offer power shutdown (active low).

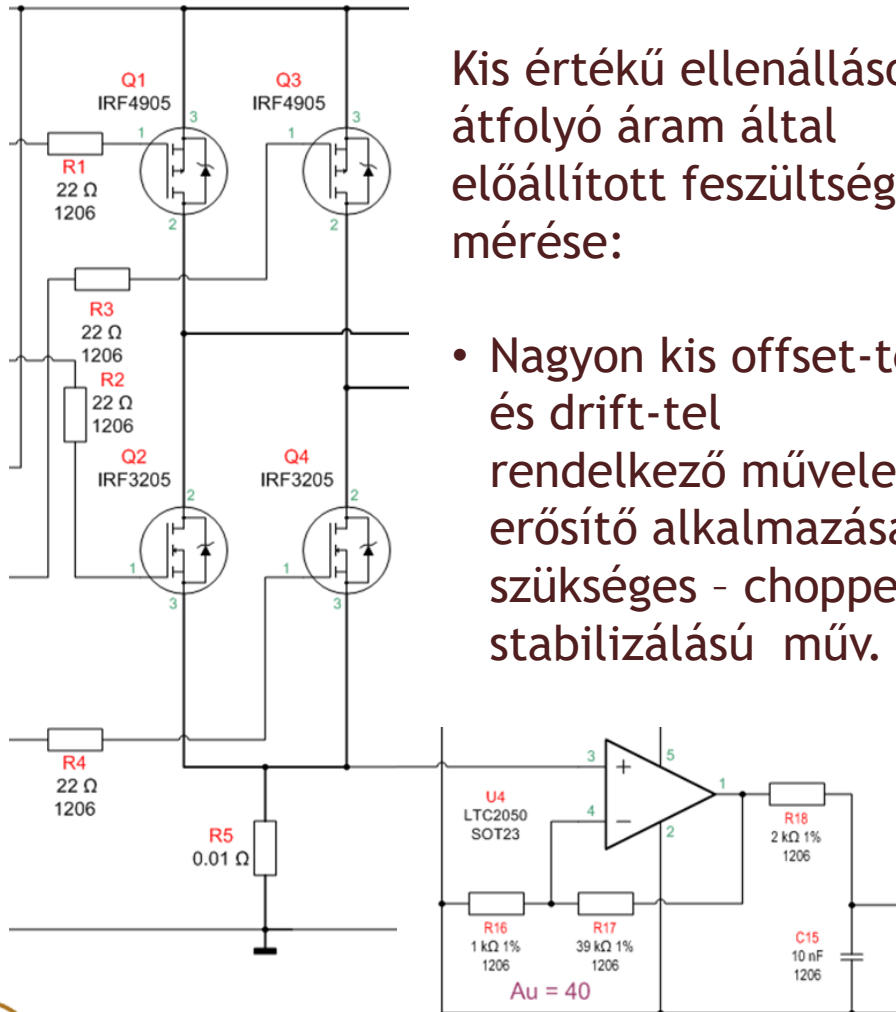
The LTC2050, despite its miniature size, features uncompromising DC performance. The typical input offset voltage and offset drift are 0.5 $\mu$ V and 10nV/°C. The almost zero DC offset and drift are supported with a power supply rejection ratio (PSRR) and common mode rejection ratio (CMRR) of more than 130dB.

The input common mode voltage ranges from the negative supply up to typically 1V from the positive supply. The LTC2050 also has an enhanced output stage capable of driving loads as low as 2k $\Omega$  to both supply rails. The open-loop gain is typically 140dB. The LTC2050 also features a 1.5 $\mu$ V<sub>r,p</sub> DC to 10Hz noise and a 3MHz gain bandwidth product.

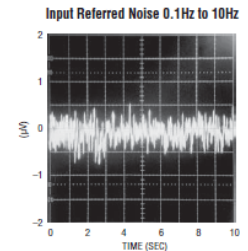
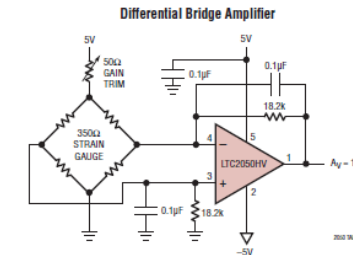
LTC, LT, LTC, LTM, Linear Technology and the Linear logo are registered trademarks of Linear Technology Corporation. ThinSOT is a trademark of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners. Protected by U.S. Patents, including 5481178.

Kis értékű ellenálláson átfolyó áram által előállított feszültség mérése:

- Nagyon kis offset-tel és drift-tel rendelkező műveleti erősítő alkalmazása szükséges - chopper stabilizálású műv. e.



## TYPICAL APPLICATION

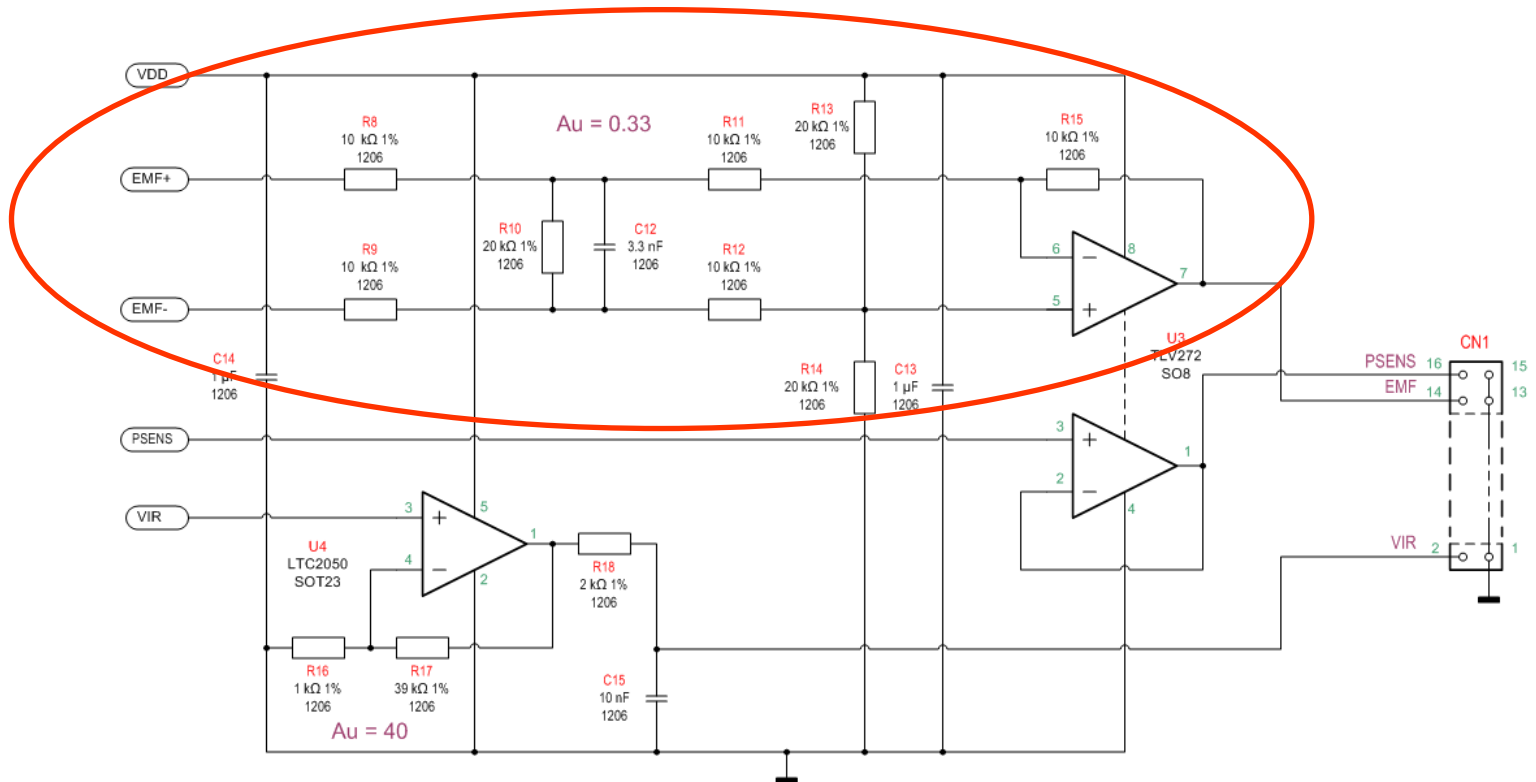




# EMF mérés

Földfüggetlen differenciális mérést valósítunk meg:

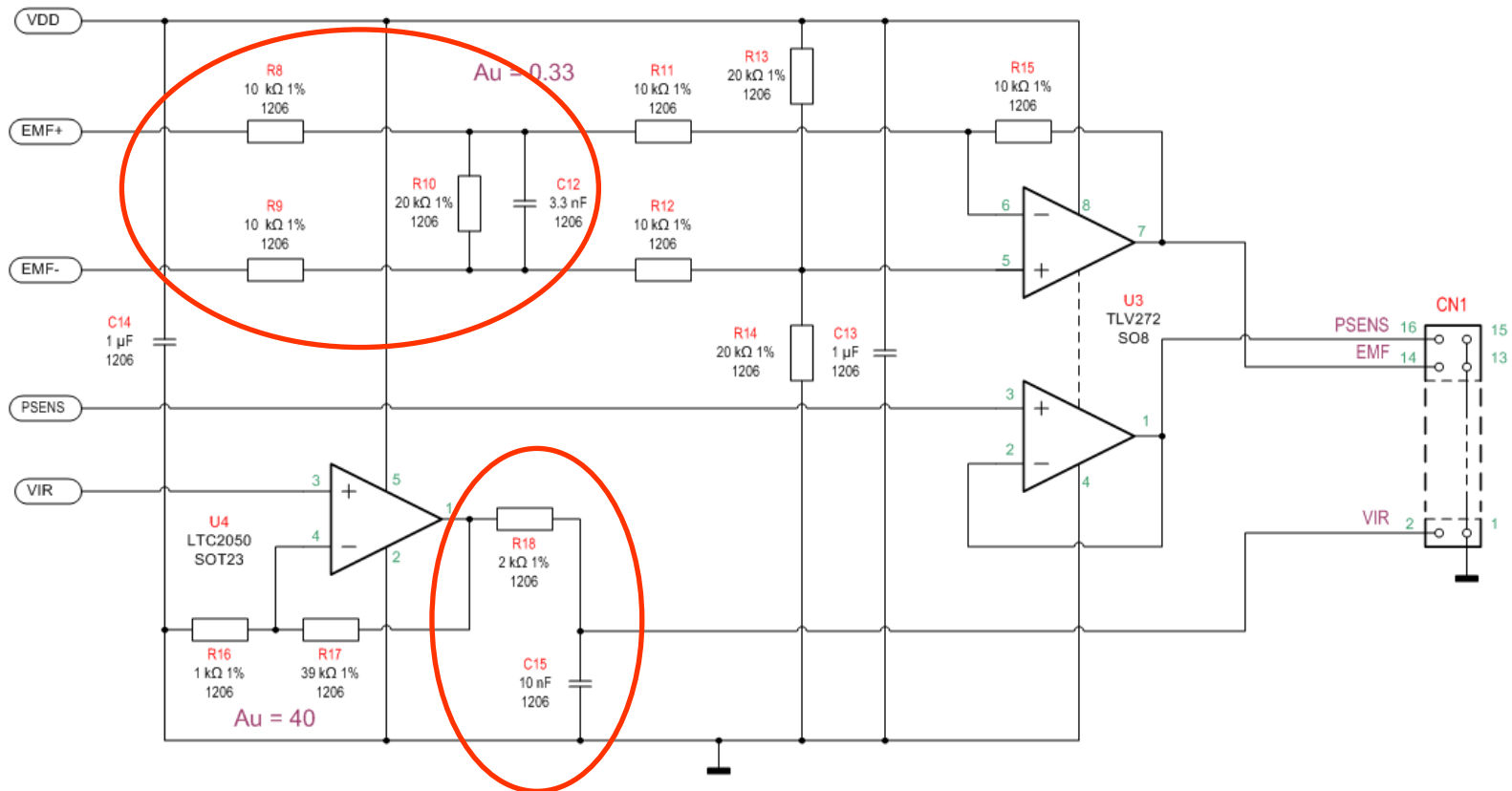
- Műveleti erősítővel megvalósított szimmetrikus bemenetű erősítő alkalmazása.
- A valóságban csillapítás szükséges ( $A_u = 0.33$ ) - az erősítő szerepe: leválasztás, jelkondicionálás.



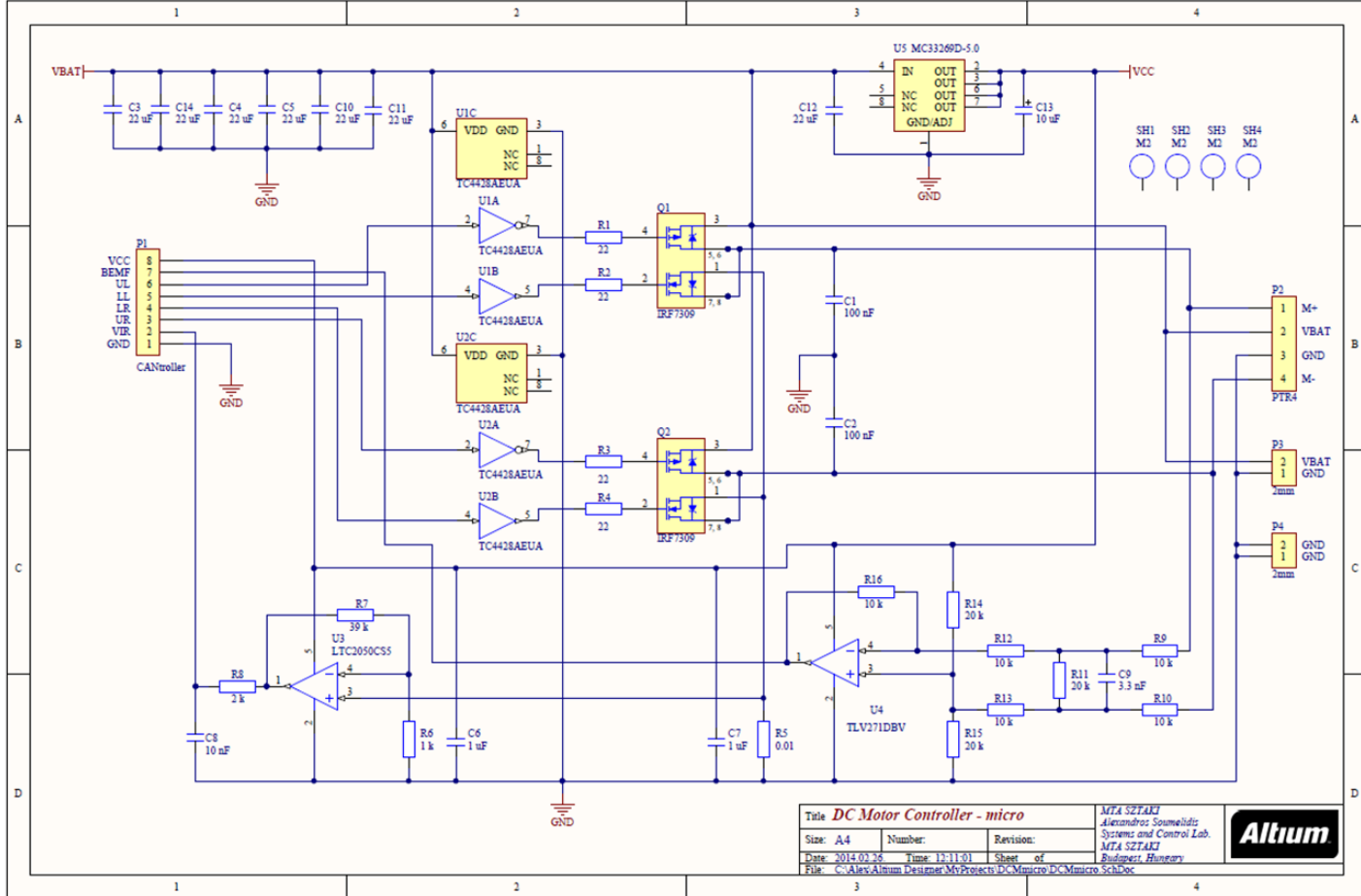
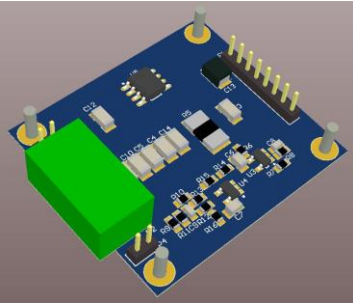
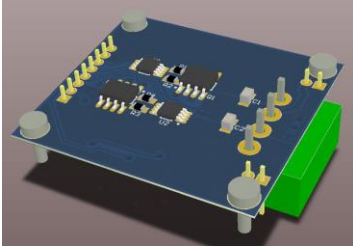
# Zajszűrés

Mind az EMF- mind az árammérésnél: aluláteresztő szűrés  
zajcsökkentés céljából.

Példa: egyszerű RC-taggal megvalósított LP szűrés



# DC Motor vezérlő - példa



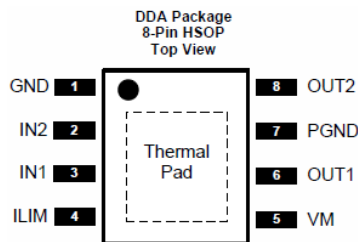
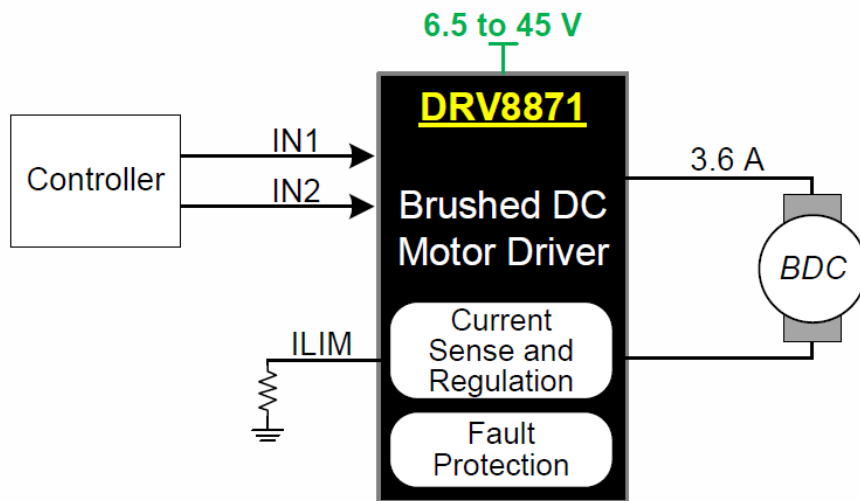
- Duál n-p MOS-FET (félhíd) földoldali meghajtókkal.
- EMF és motoráram mérés.
- Analóg stabilizátor az elektronika tápellátására.



# Integrált DC Motor vezérlő – DRV8871



## DRV8871 3.6-A Brushed DC Motor Driver With Internal Current Sense (PWM Control)



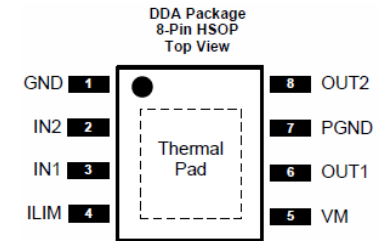
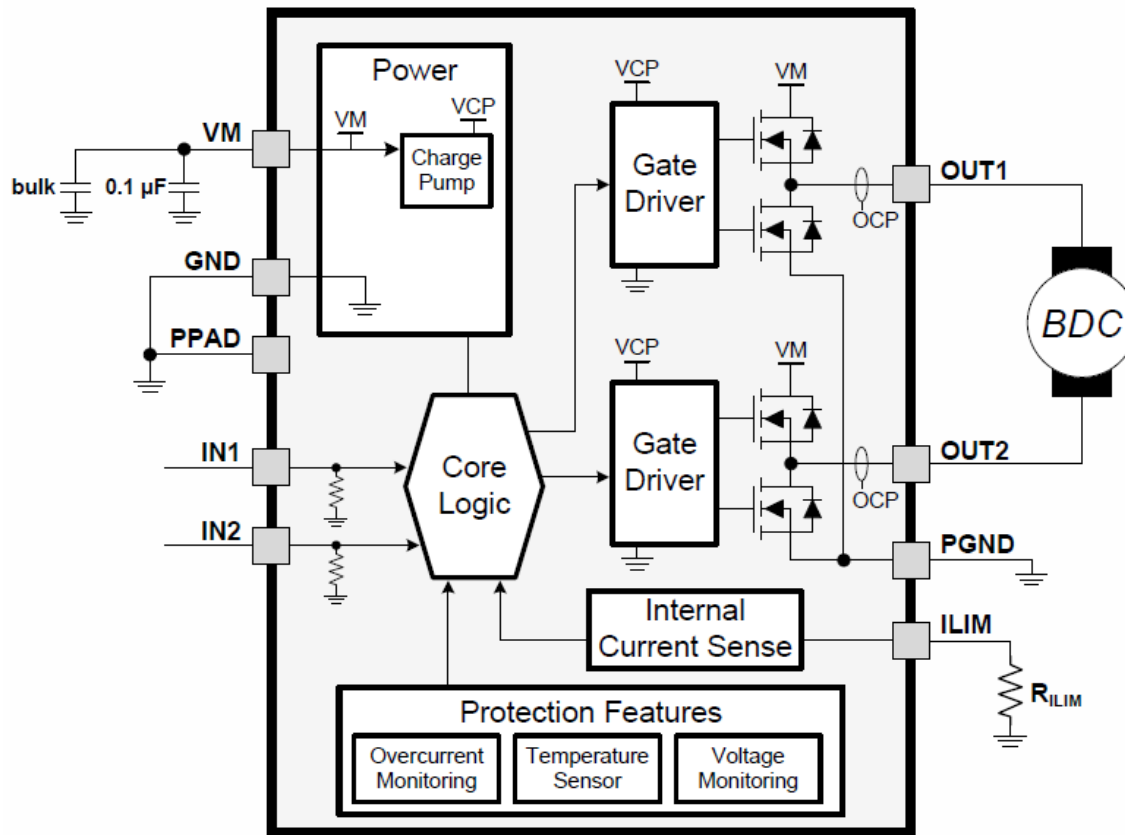
### Főbb jellemzői:

- Működési feszültség: 6.5 - 45 V
- Csúcsáram: 3.6 A
- $R_{DS(ON)}$  565m $\Omega$  tipikusan
- Áramszabályozás érzékelő ellenállás nélkül
- Alacsony feszültség elleni védelem
- Túláram védelem
- Hőmegfutás elleni védelem
- Automatikus visszaállítás a hiba megszűnésével

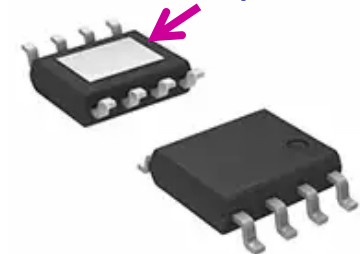


# Integrált DC Motor vezérlő – DRV8871

## TI DRV8871



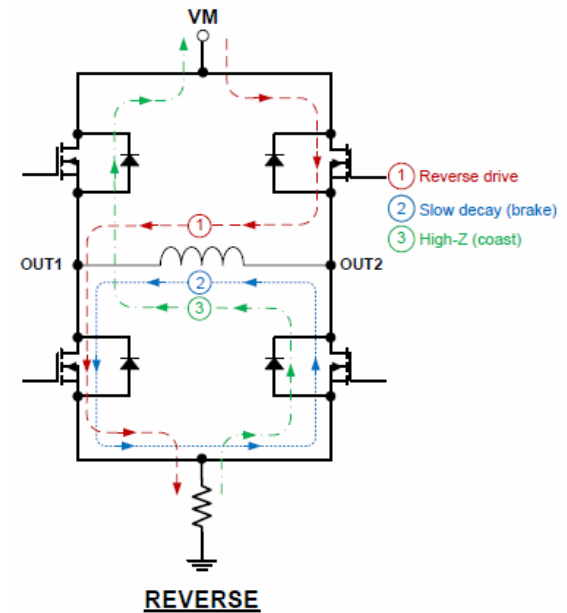
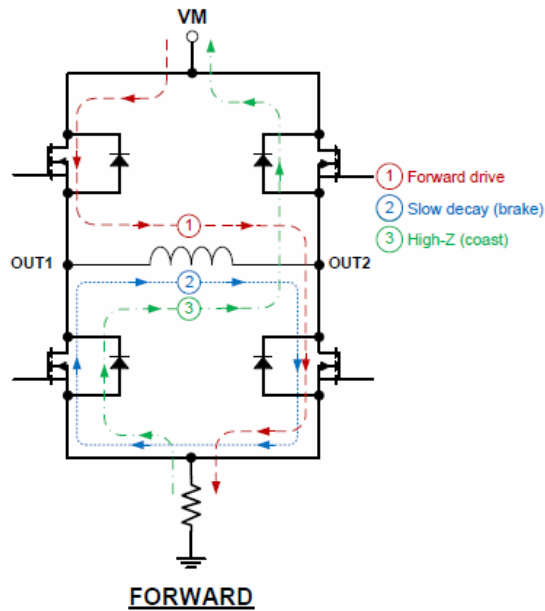
thermal pad



# Integrált DC Motor vezérlő – DRV8871

## Vezérlési tábla

IN1	IN2	OUT1	OUT2	DESCRIPTION
0	0	High-Z	High-Z	Coast; H-bridge disabled to High-Z (sleep entered after 1 ms)
0	1	L	H	Reverse (Current OUT2 → OUT1)
1	0	H	L	Forward (Current OUT1 → OUT2)
1	1	L	L	Brake; low-side slow decay

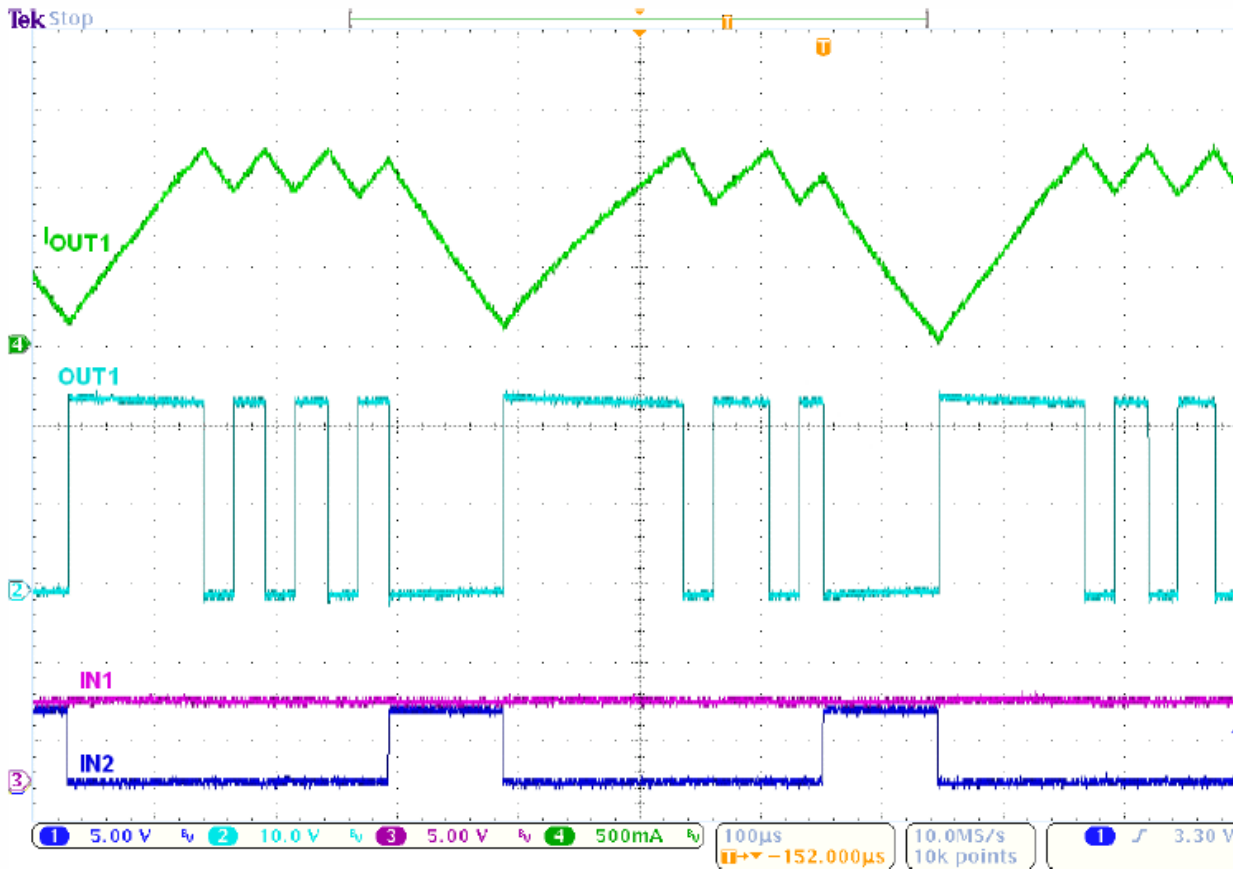


# Integrált DC Motor vezérlő – DRV8871

## Áramszabályozás

$$I_{TRIP} (A) = \frac{V_{ILIM} (kV)}{R_{ILIM} (k\Omega)} = \frac{64 (kV)}{R_{ILIM} (k\Omega)}$$

A beállított határnál ( $I_{TRIP}$ ) nagyobb áram esetén automatikusan nagy frekvenciájú PWM szakaszok iktatódnak be, ezzel korlátozza a kialakuló áramot.



$$R_{ILIM} = 50.5 \text{ k}\Omega$$



# Integrált DC Motor vezérlő – DRV8871

---

## Holtidő (dead-time) vezérlés

Annak megakadályozására, hogy a vezérlőjelek (IN1 - IN2) átkapcsolásánál az egy hídághoz tartozó kapcsolók akár rövid ideig is egyszerre vezető állapotban legyenek, a vezérlő automatikusan holtidőt iktat be - tipikusan 220ns

## Alacsony feszültség (undervoltage) elleni védelem

Egy határnál alacsonyabb motor tápfeszültség (tip. 6.1 - 6.3 V 180 mV hiszterézissel) esetén lekapcsolódik a hídvezérlés.

## Túláram (overcurrent) védelem

Egy határnál magasabb hídáram (tip. 4.5 A) esetén lekapcsolódik a hídvezérlés. Az áramfigyelés 3 ms-os periódussal történik.

## Termikus védelem

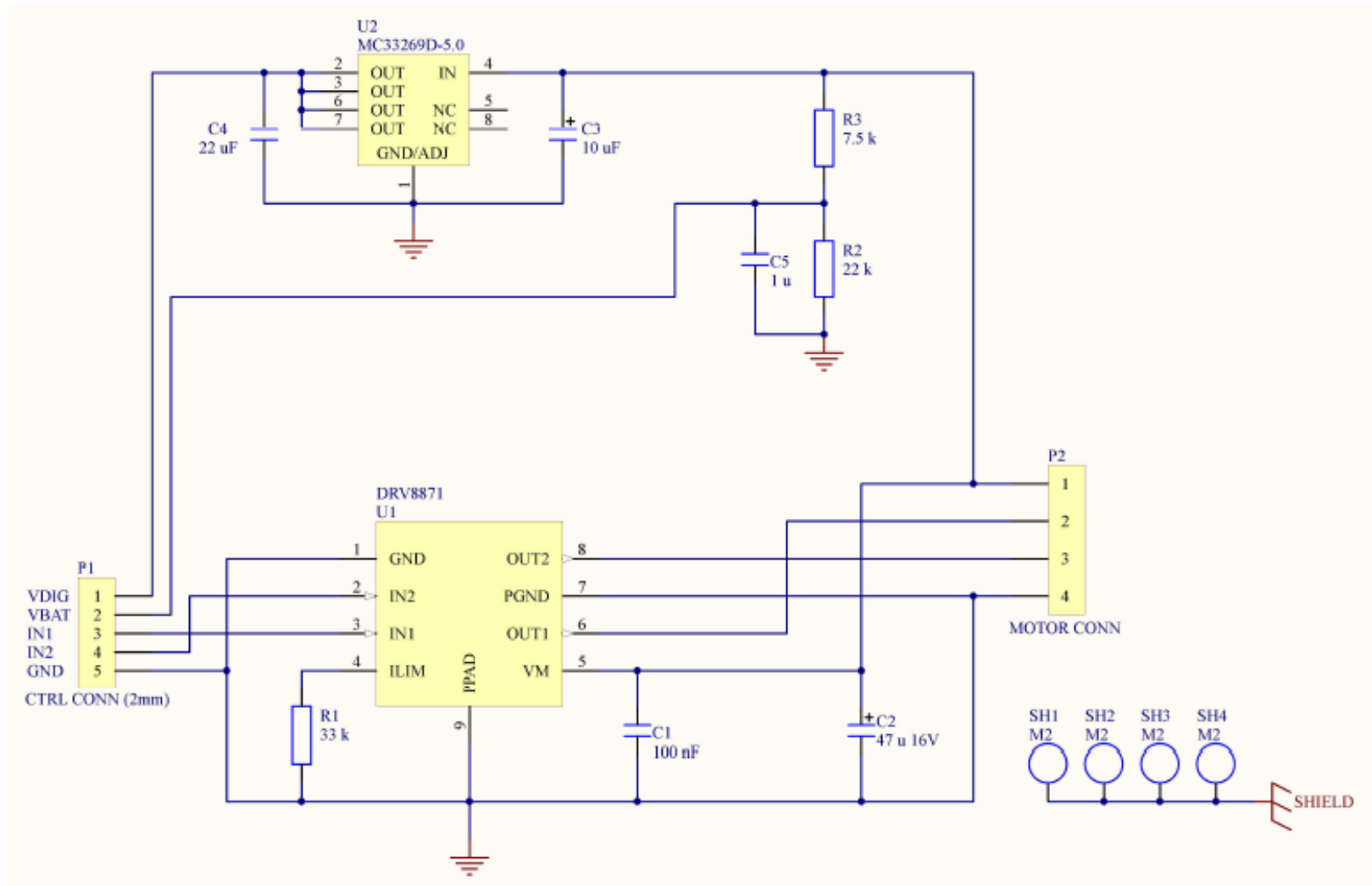
Egy határnál magasabb réteg-hőmérséklet (175 °C 30 °C hiszterézissel) esetén lekapcsolódik a hídvezérlés.





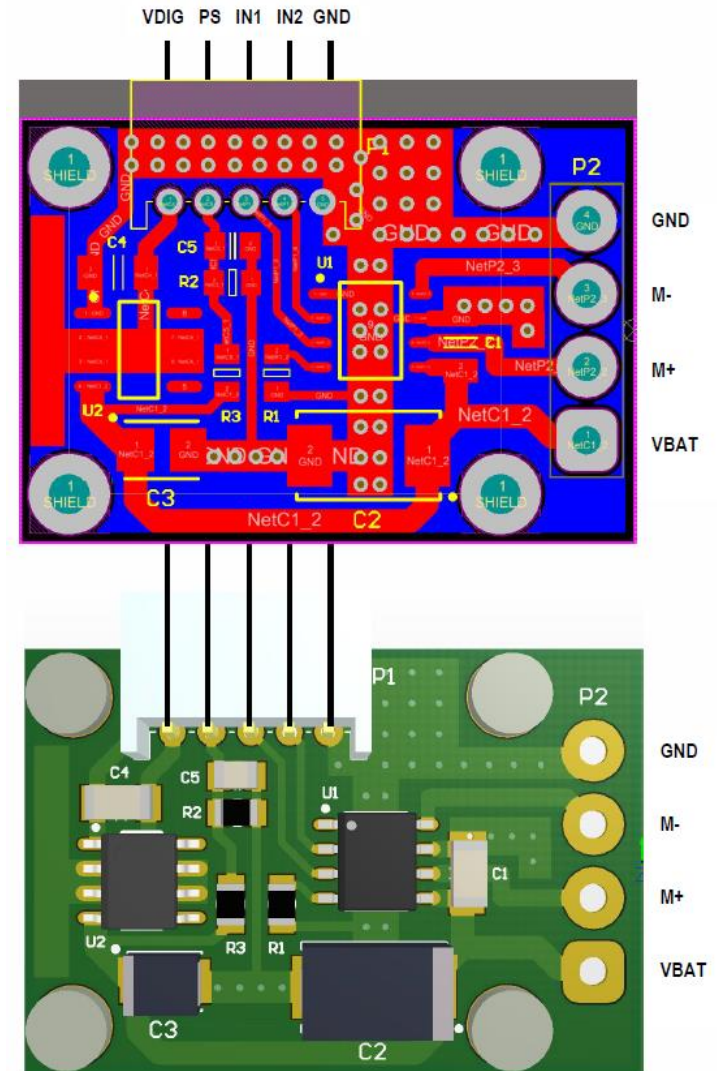
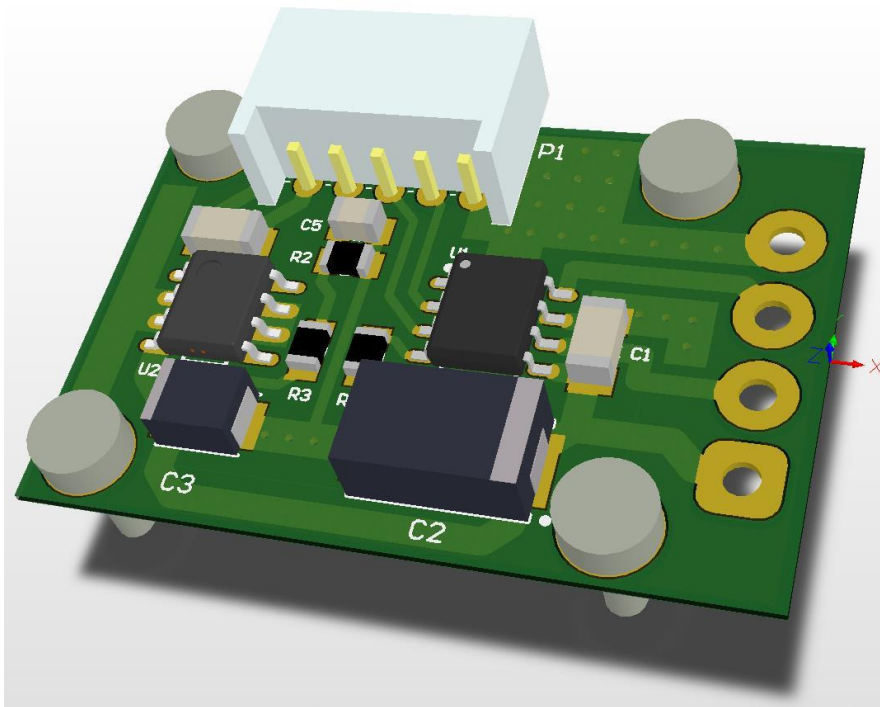
# Integrált DC Motor vezérlő – DRV8871

## Áramköri realizáció - példa



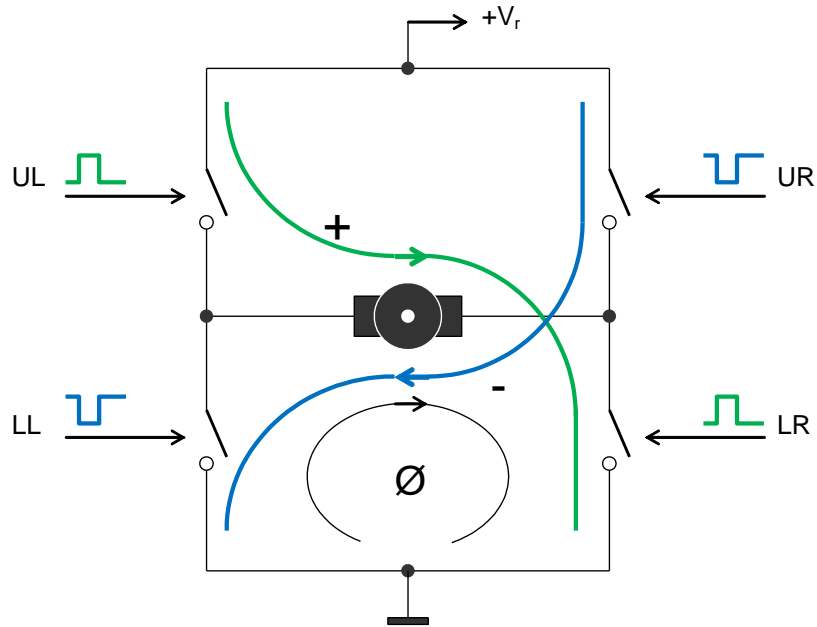
# Integrált DC Motor vezérlő – DRV8871

## Áramköri realizáció - példa



# Vezérlési modellek

## Ellenütemű vezérlés:

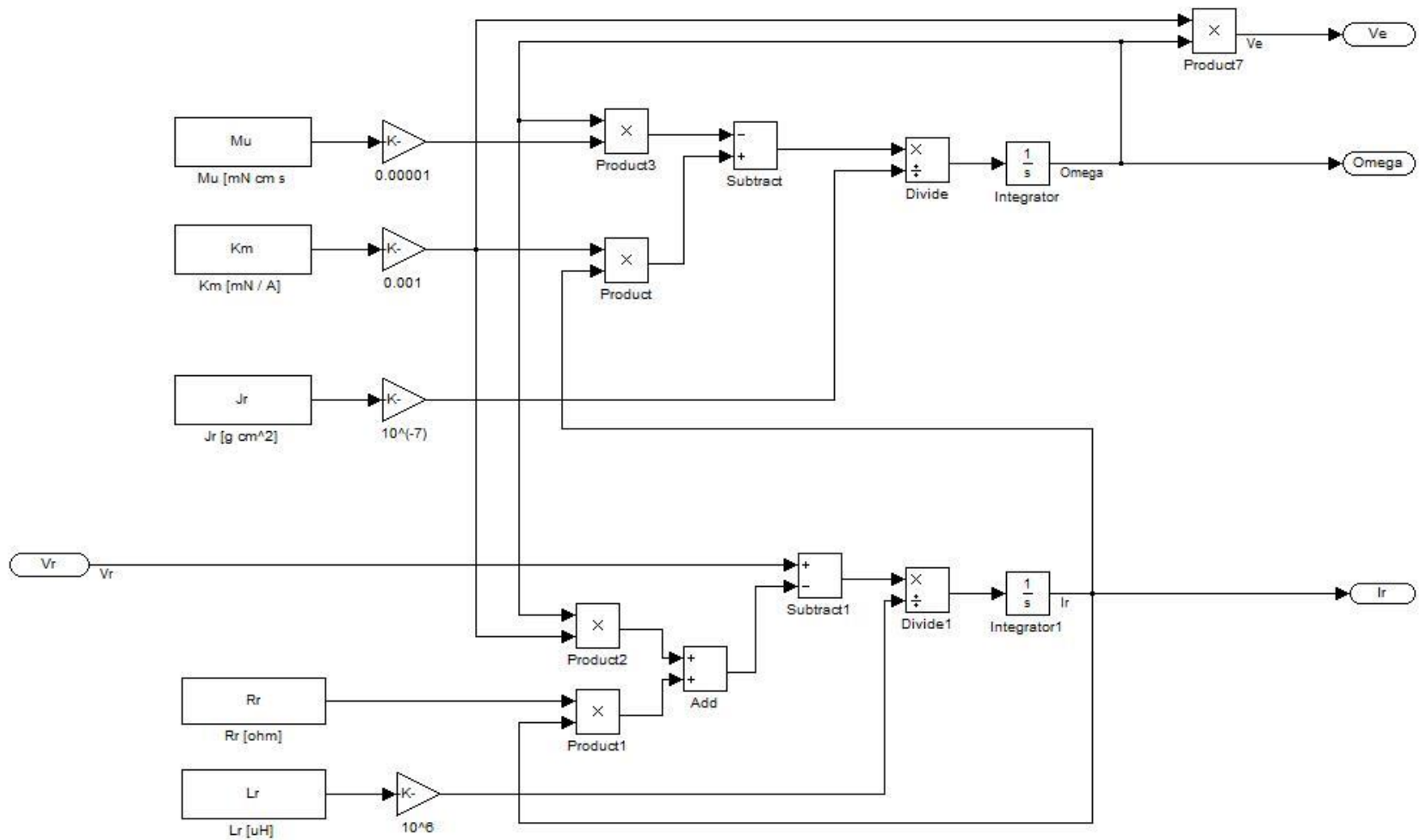


A motor  $+V_r$  vagy  $-V_r$  tápfeszültséget kap

$V_e$  soha nem jelenik meg  
EMF nem mérhető

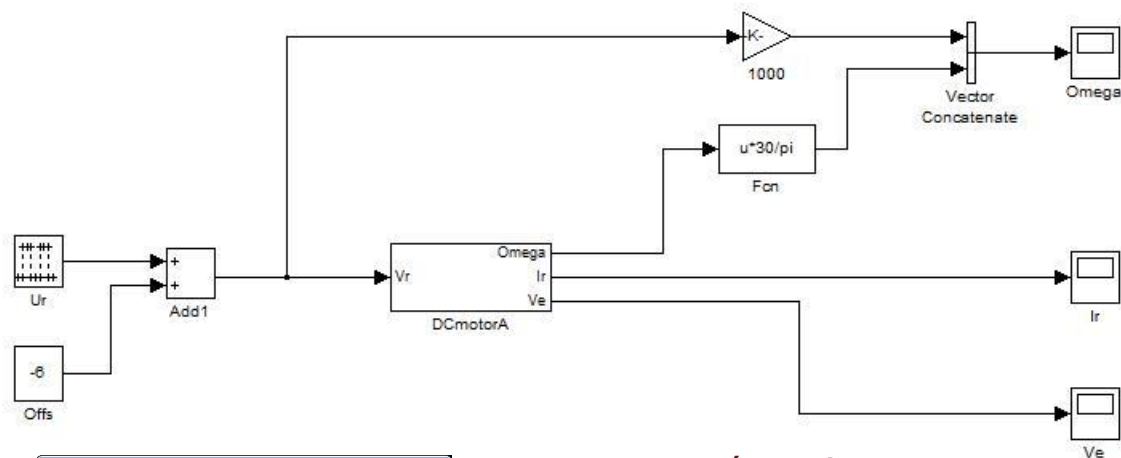


# Simulink modell



# Simulink modell

## Szimuláció:



## PWM generálás:

Szimmetrikus (bipoláris)  
vezérlés:  
amplitudó / 2 offset-tel

## PWM periódusidő:

$0.0000004 \text{ s} \times 2500 = 0.001 \text{ s}$

PWM frekvencia: 1 kHz

Impulzusszélesség: 2000

## Motor paraméterek:

Source Block Parameters: Ur

Pulse Generator

Output pulses:

```
if (t >= PhaseDelay) && Pulse is on
    Y(t) = Amplitude
else
    Y(t) = 0
end
```

Pulse type determines the computational technique used.

Time-based is recommended for use with a variable step solver, while Sample-based is recommended for use with a fixed step solver or within a discrete portion of a model using a variable step solver.

Parameters

Pulse type: Sample based

Time (t): Use simulation time

Amplitude: 12

Period (number of samples): 2500

Pulse width (number of samples): 2000

Phase delay (number of samples): 0

Sample time: 0.0000004

Interpret vector parameters as 1-D

OK Cancel Help Apply

Function Block Parameters: DCmotorB

Subsystem (mask)

Parameters

Km [mNm / A] 6.59

Rr [ohm] 3.40

Lr [uH] 750

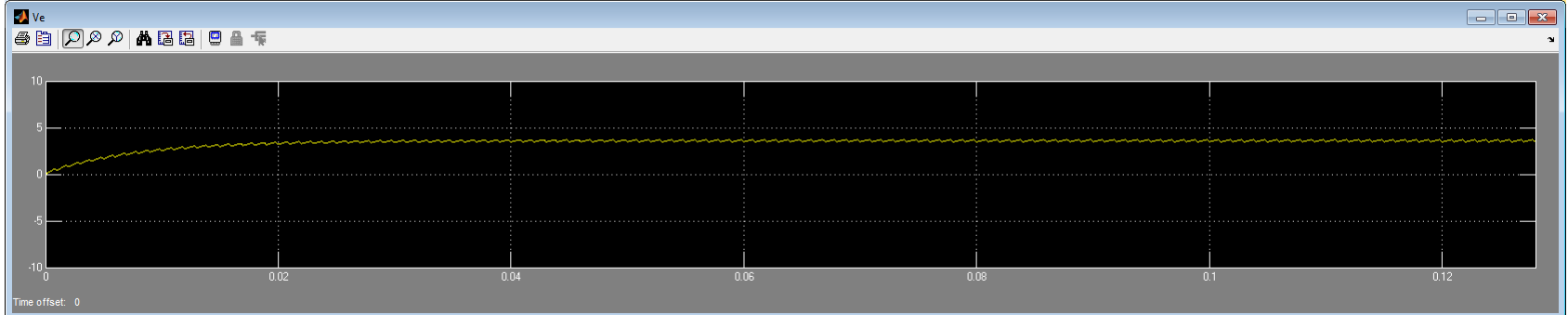
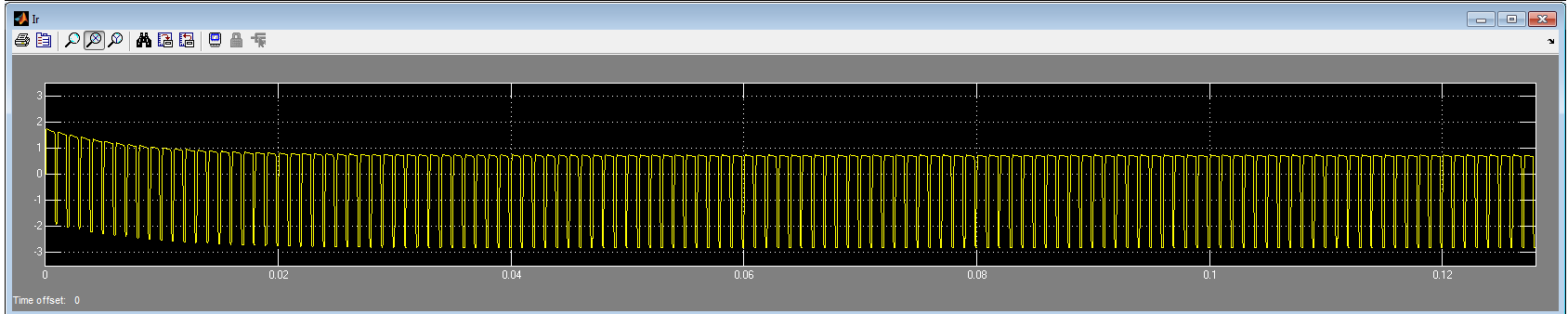
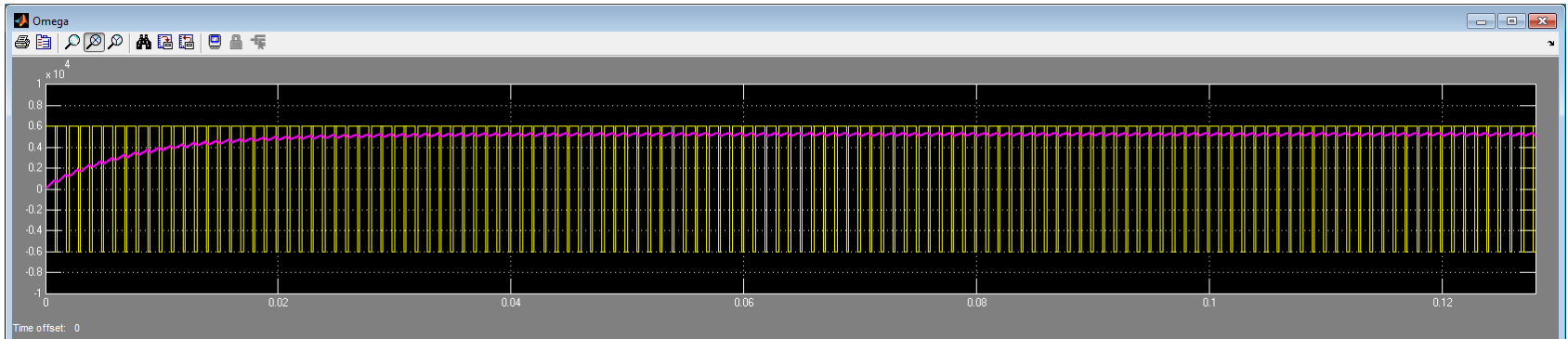
Jr [g cm<sup>2</sup>] 1

Mu [mN cm s] 0.0002

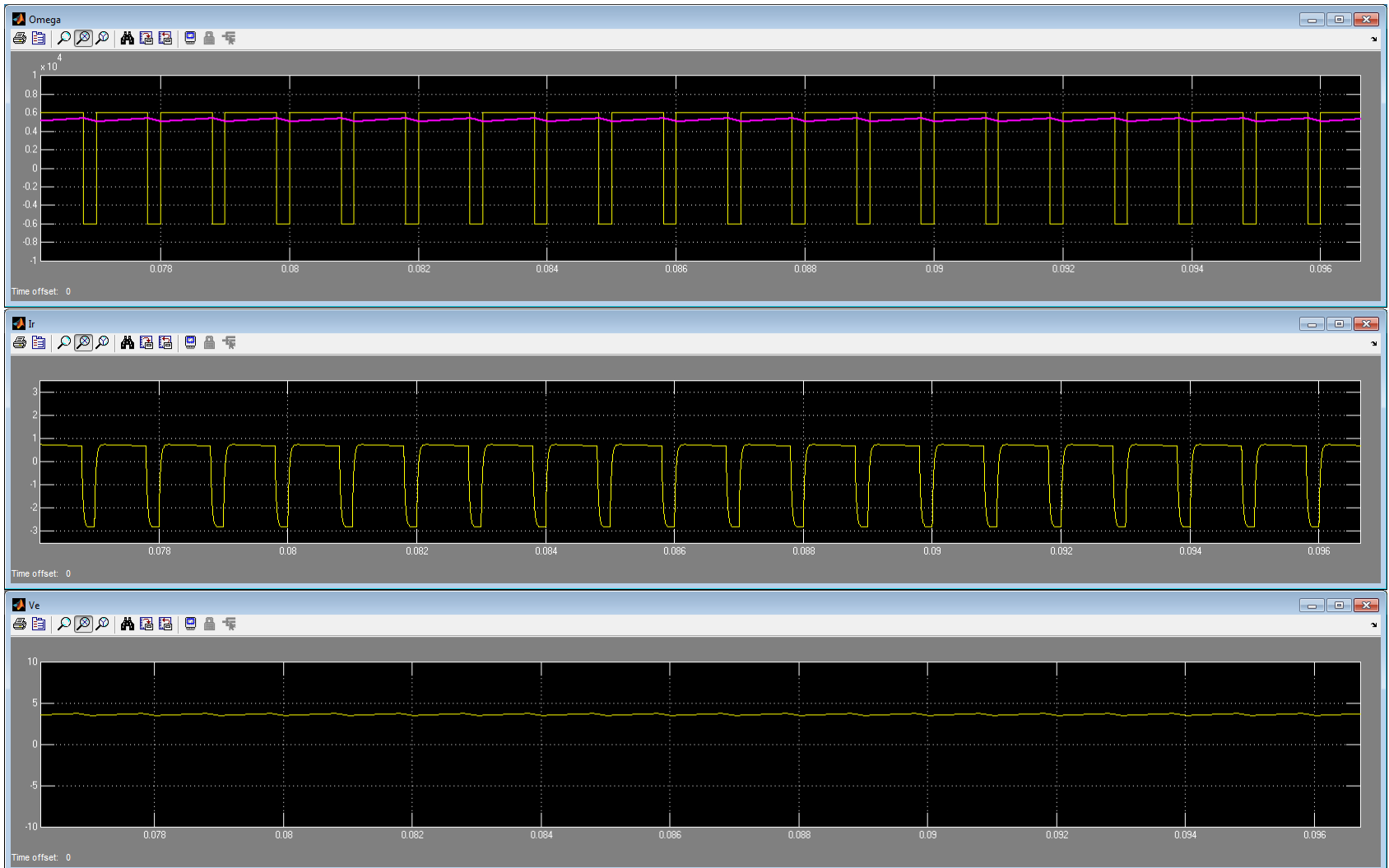
OK Cancel Help Apply



# Szimuláció



# Szimuláció - zoom

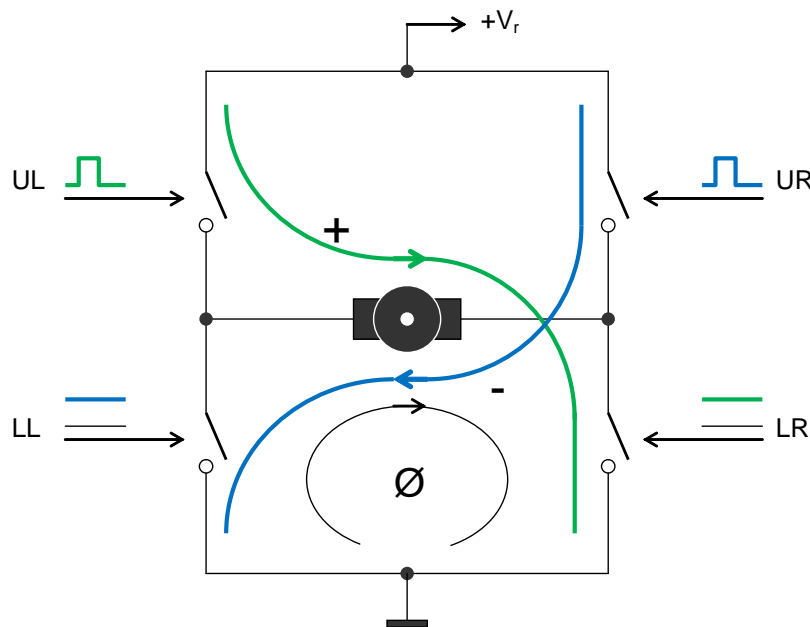


# Vezérlési modellek

## Unipoláris vezérlés mindkét forgási irányban

- “szabadonfutás” állapoton keresztül

A motor az impulzusok szüneteiben nem csatlakozik a tápfeszültséghez -, „lebeg”, szünet támad a vezérlésben.



$V_e$  megjelenik a kivezetésein  
EMF (fordulatszám) az impulzusok szüneteiben mérhető

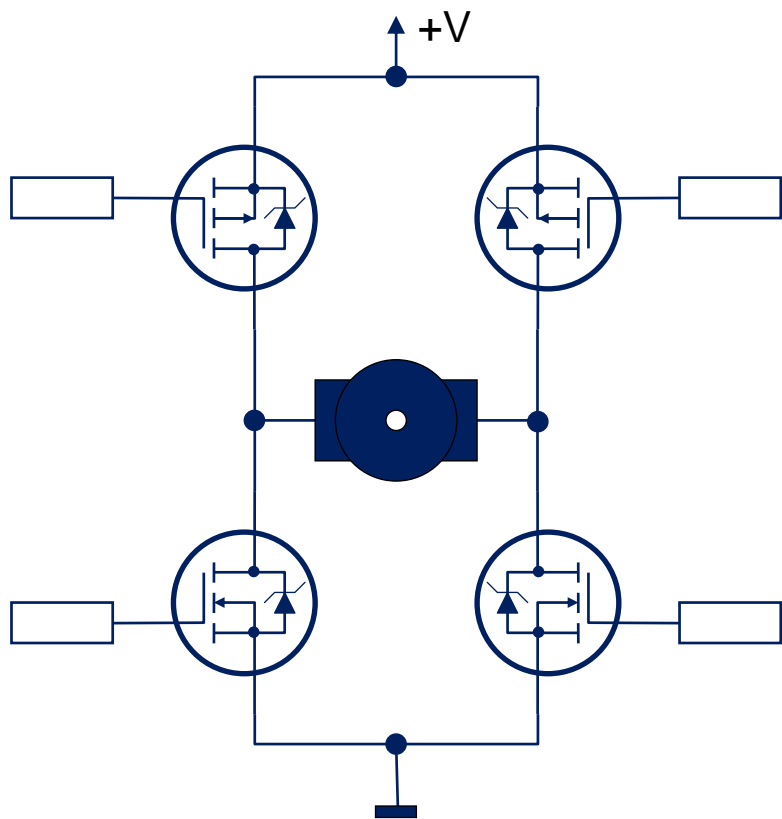




# MOS-FET alapú H-híd

A MOS-FET-ekben konstrukcióból eredő „parazita” diódák vannak

- itt pozitív szerepet játszanak



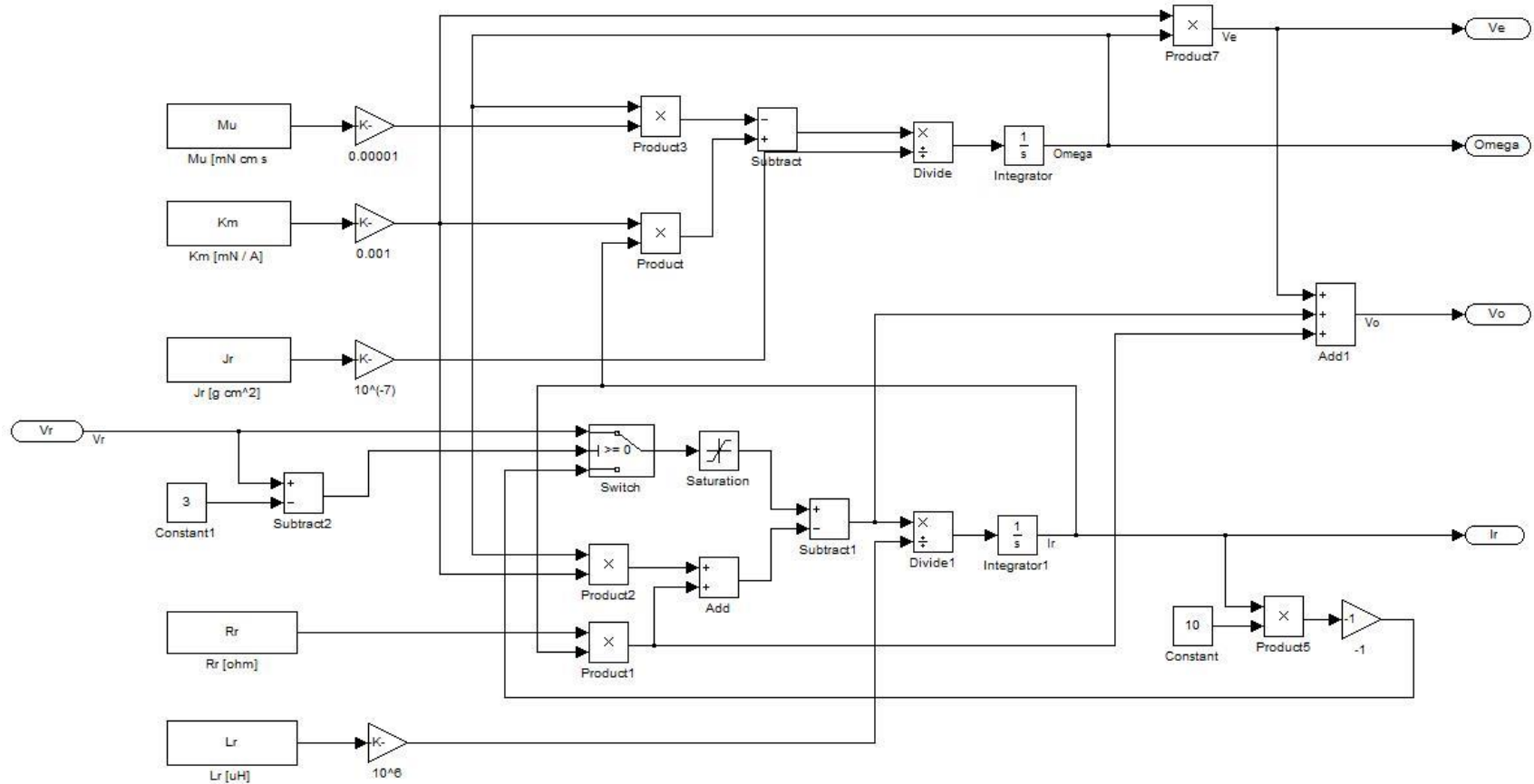
A tápfeszültség kikapcsolásakor (PWM impulzusok közötti szünetek) a motor induktivitásán nagy ellentétes irányú feszültség indukálódik -

$+V + 0.6 V$  (dióda nyitófeszültsége) meghaladása, vagy ellentétes irányban  $GND - 0.6 V$  túllépése esetén

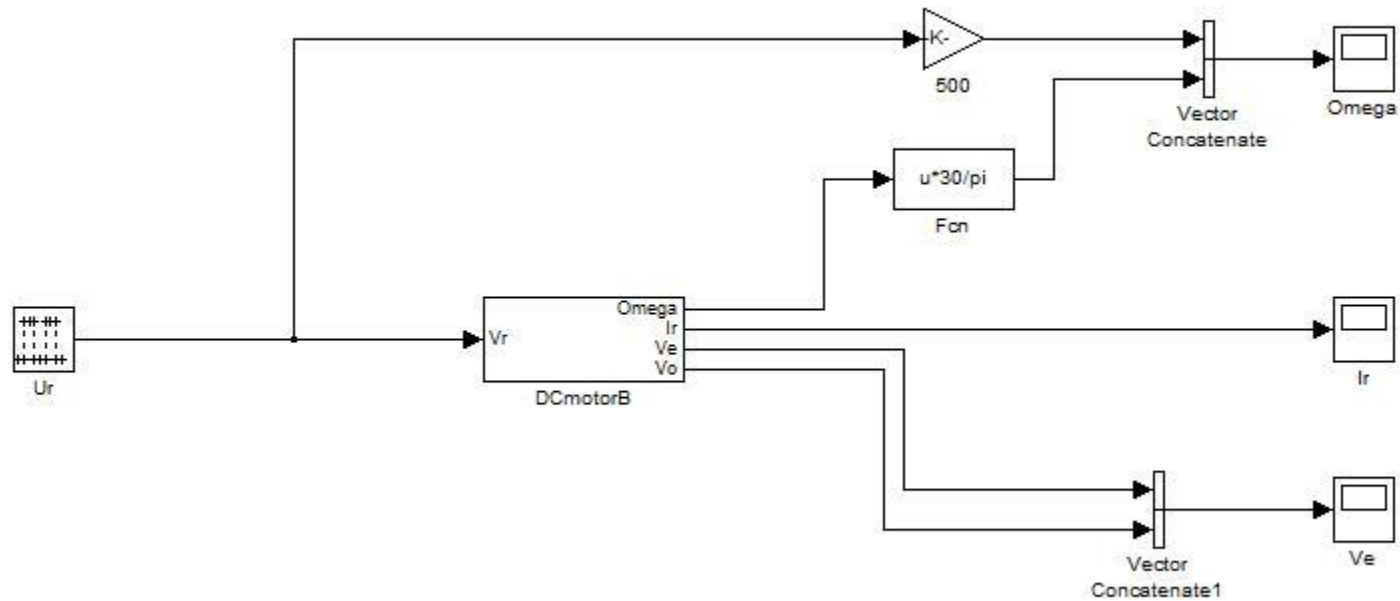
A megfelelő diódák kinyitnak - korlátozzák a feszültséget levezetik az keletkező áramot



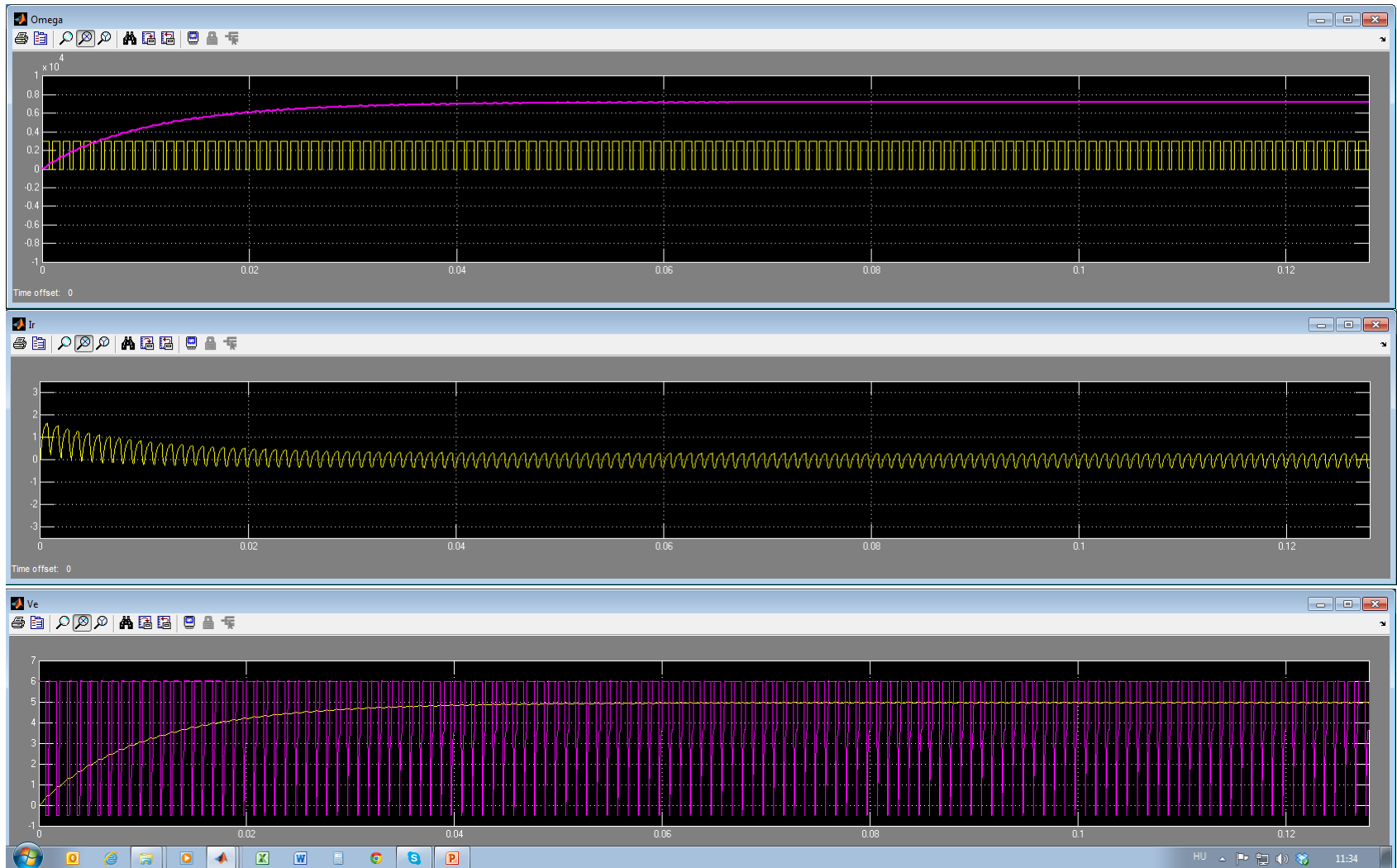
# Simulink modell



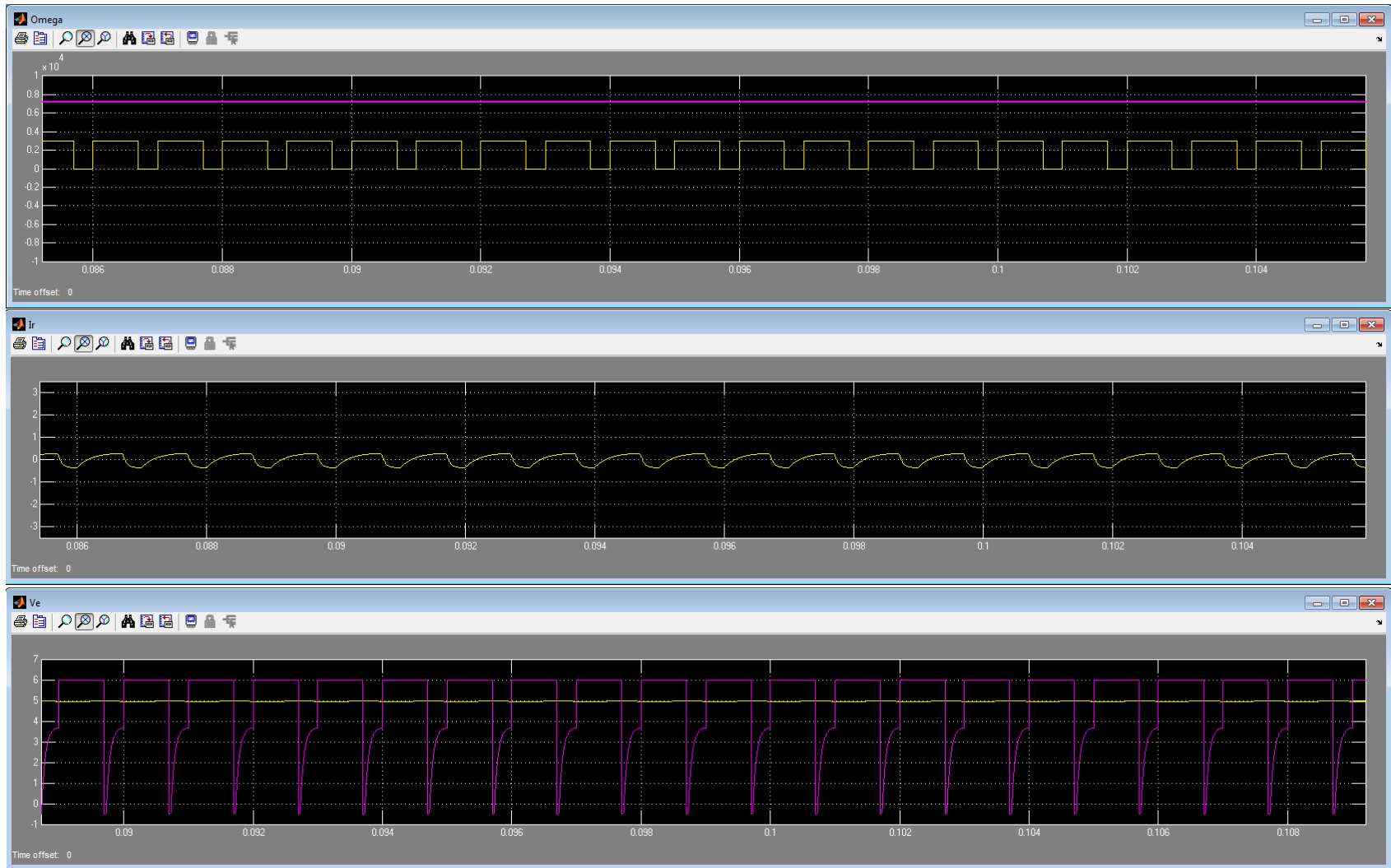
# Simulink modell



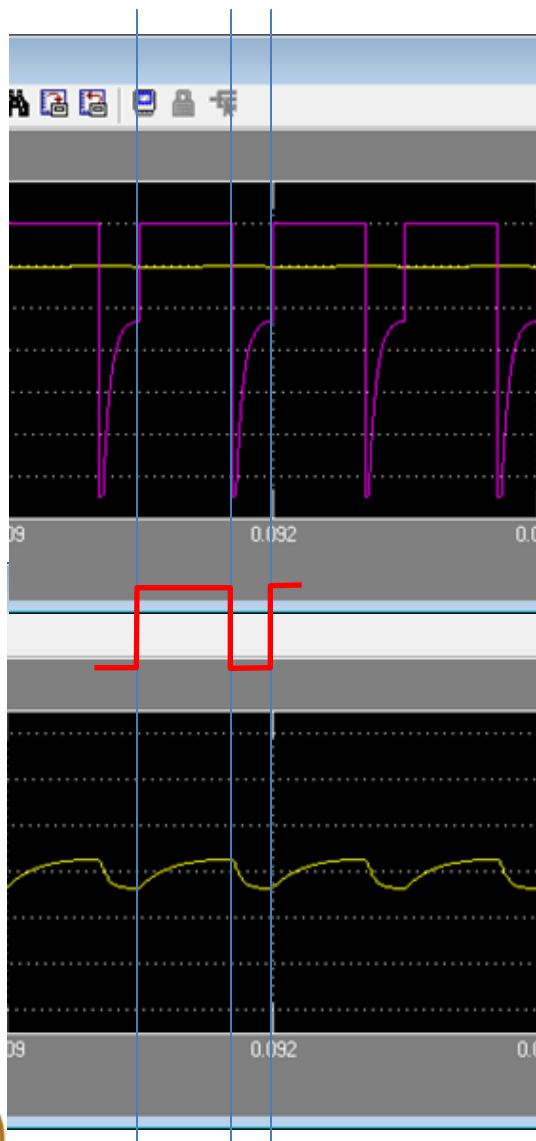
# Szimuláció



# Szimuláció



# EMF és árammérés



EMF mérés:  
A PWM pulzus szüneteiben  
a tranziens lefolyása után

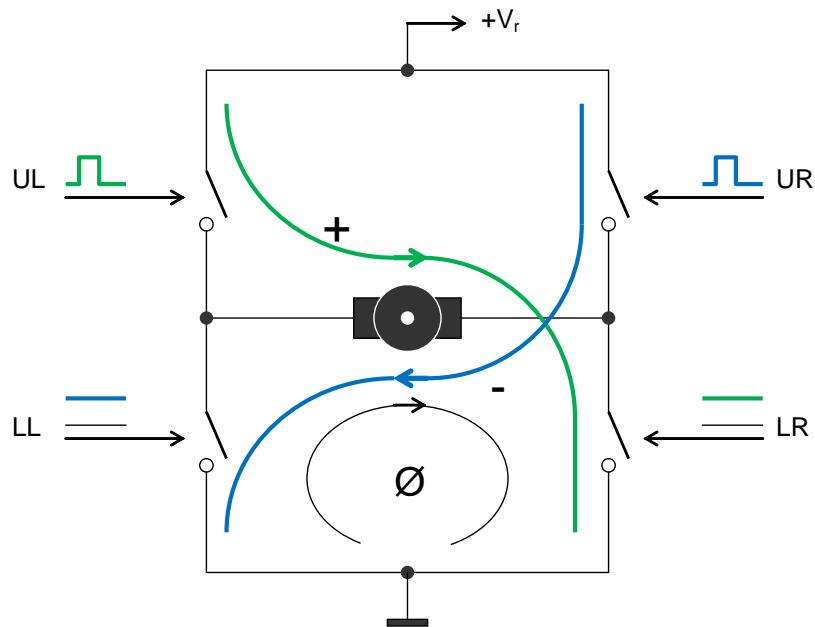
Árammérés:  
A PWM pulzus aktív tartományában  
a tranziens lefolyása után

# EMF és árammérés

Unipoláris vezérlés  
mindkét forgási  
irányban

- “fékezés”  
állapoton keresztül

A motor az impulzusok  
szüneteiben rövidrezárt  
állapotba kerül - fékezés.



Ténylegesen  $+V$ ,  $0$  és  $-V$   
feszültségek között  
kapcsolgatunk, nincs szünet,  
EMF nem mérhető.



# PWM stratégia

---

## Unipoláris vezérlés:

- PWM kitöltési tényező:
  - 0% - áll a motor
  - 100% maximális fordulatszám
- Forgásirány:
  - a két hídághoz tartozó kapcsolók állapotának változtatásával

## Ellenütemű vezérlés:

- PWM kitöltési tényező:
  - 50% (szimmetrikus pulzus) - áll a motor
  - 0% maximális fordulatszám az egyik irányban
  - 100% maximális fordulatszám a másik irányban

(A gyakorlatban 100%-nál kisebb kitöltési tényezőket alkalmazunk.)



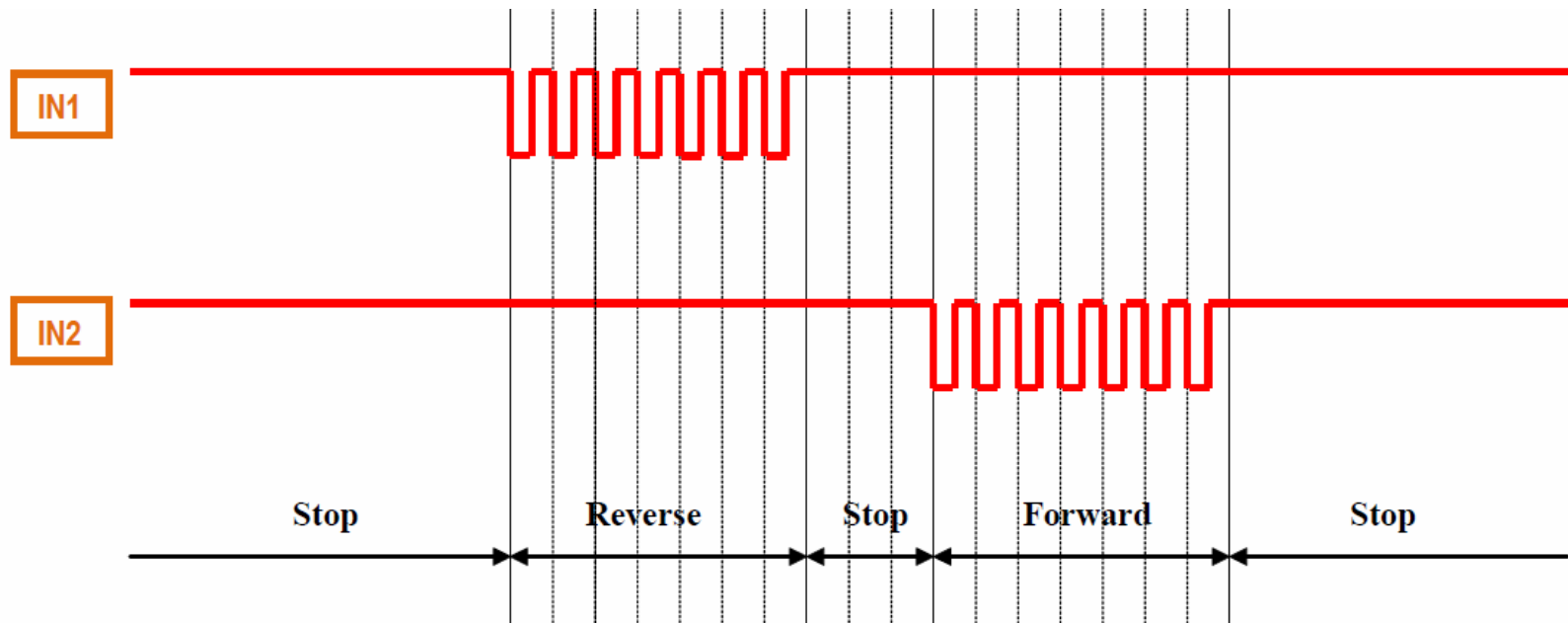


# Integrált DC Motor vezérlő – DRV8871

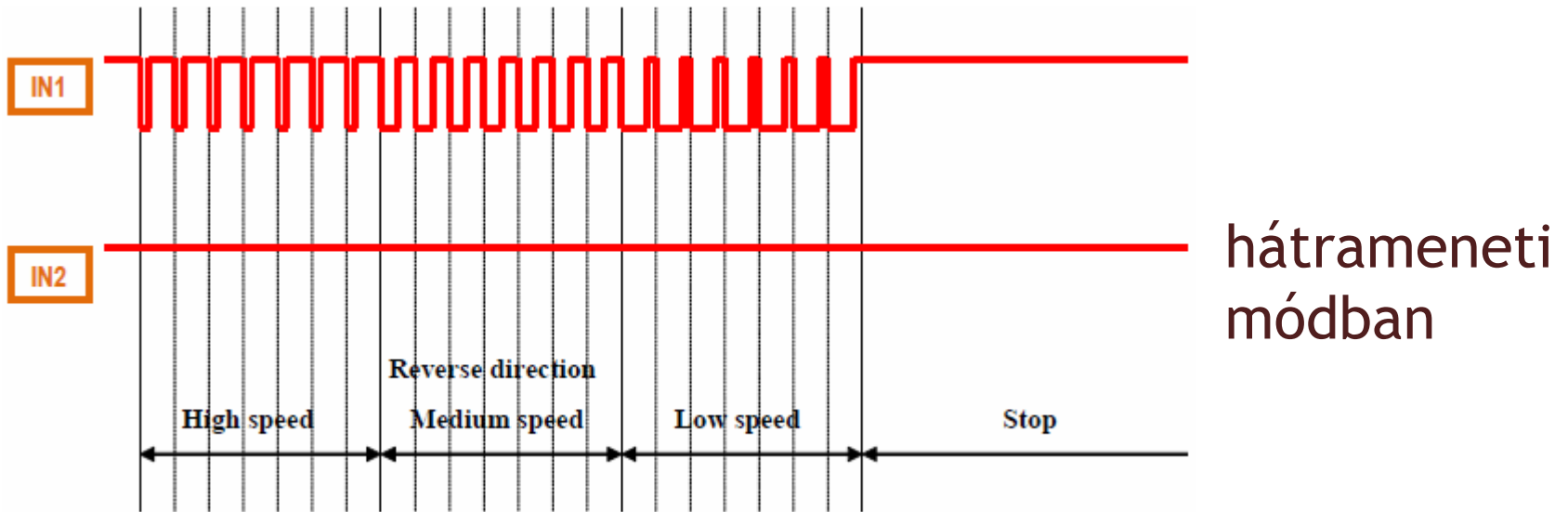
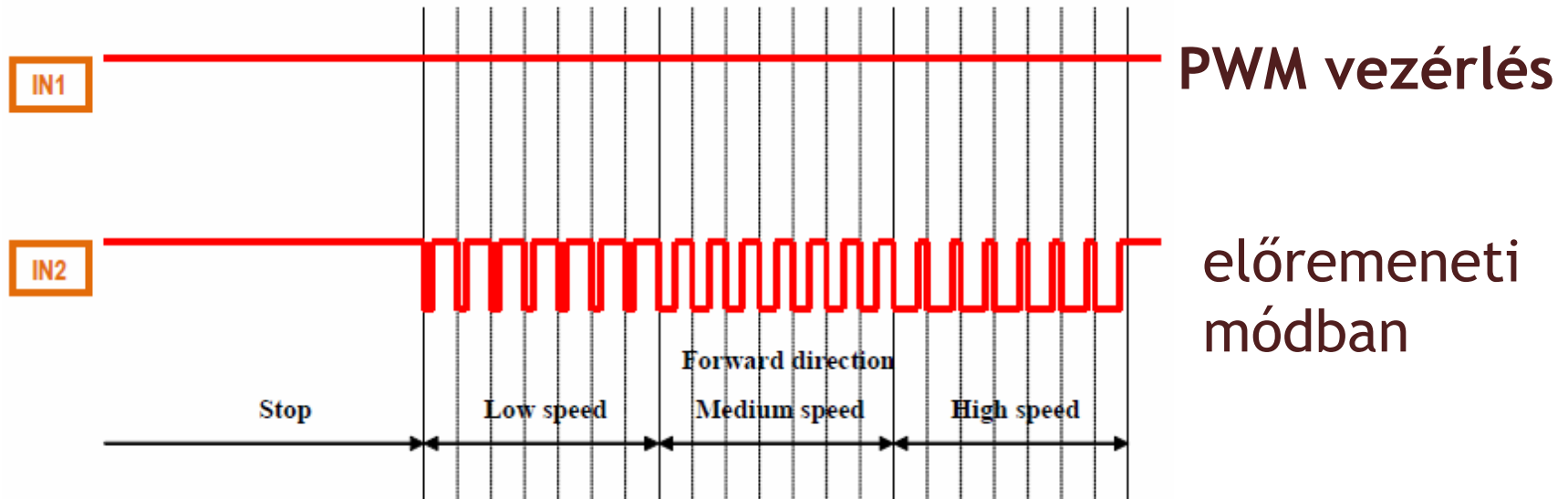
Ajánlott vezérlési séma:

unipoláris vezérlés a fékezési állapoton keresztül

IN1	IN2	OUT1	OUT2	DESCRIPTION
0	0	High-Z	High-Z	Coast; H-bridge disabled to High-Z (sleep entered after 1 ms)
0	1	L	H	Reverse (Current OUT2 → OUT1)
1	0	H	L	Forward (Current OUT1 → OUT2)
1	1	L	L	Brake; low-side slow decay



# Integrált DC Motor vezérlő – DRV8871



# Motorvezérlés példa: a motor

Cytron Technologies **SPG30-30K**  
hajtóműves motor

Névleges feszültség: 12 VDC

Üresjárási fordulatszám: 7000 RPM

Induló nyomaték: 23.5 mNm

Induló áram: 1.8 A

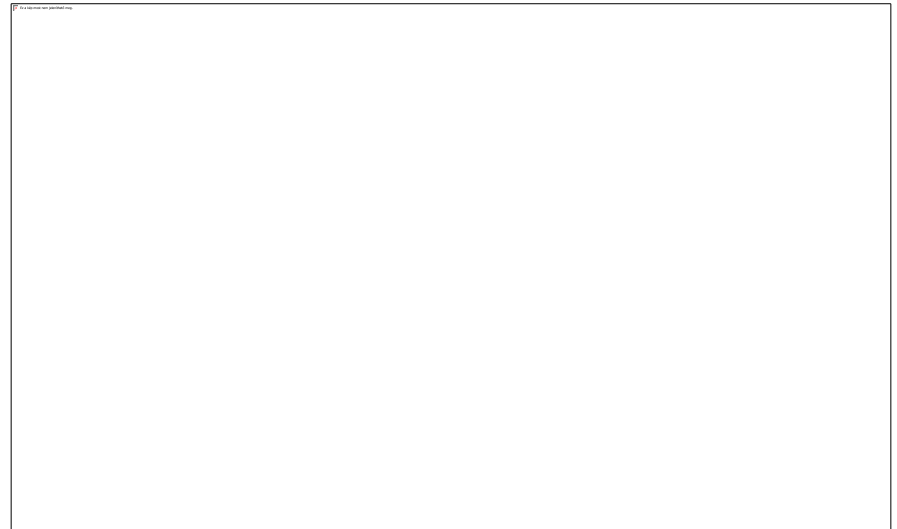
Névleges teljesítmény: 1.1 W

5200 RPM fordulatszám mellett

- Nyomaték: 5.88 mNm
- Áram: 410 mA

Hajtómű

- Áttételi arány: 1:30



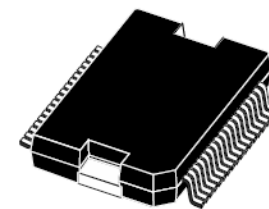
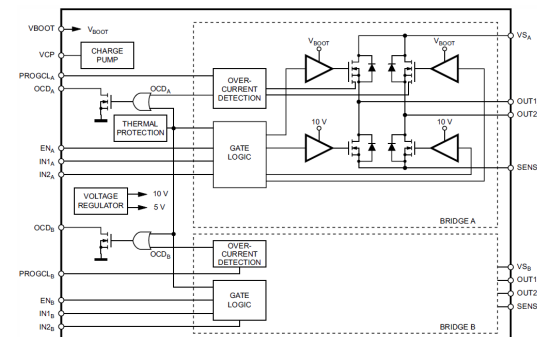
# Az alkalmazott motorvezérlő



## 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

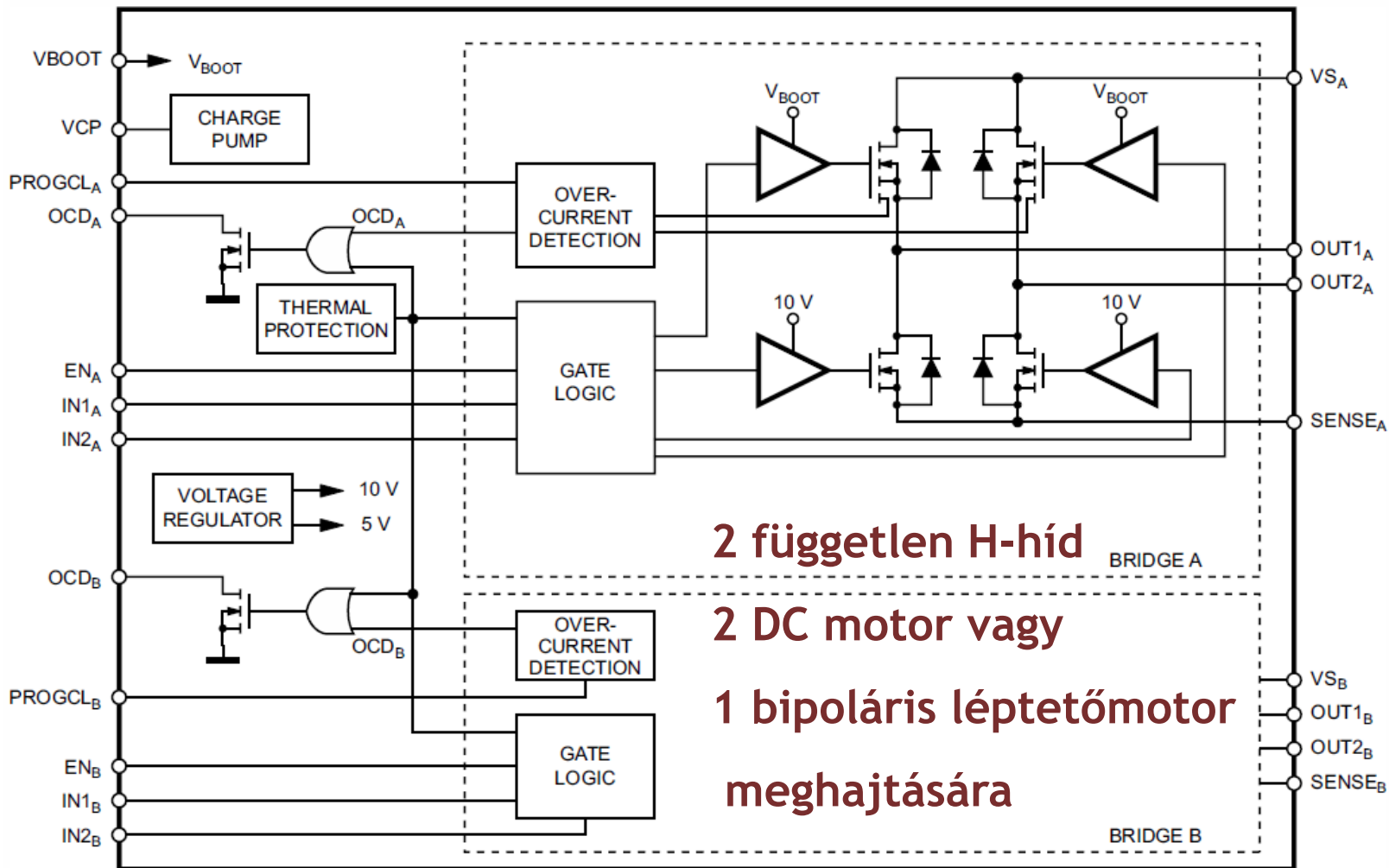


PowerSO36



# Az alkalmazott motorvezérlő

L6202



# Az alkalmazott motorvezérlő

L6202 vezérlési séma: mindkét H-hídra külön-külön

Inputs			Outputs	
EN	IN1	IN2	OUT1	OUT2
L	X <sup>(1)</sup>	X <sup>(1)</sup>	High Z <sup>(2)</sup>	High Z <sup>(2)</sup>
H	L	L	GND	GND
H	H	L	Vs	GND
H	L	H	GND	Vs
H	H	H	Vs	Vs

1. X = don't care.
2. High Z = high impedance output.

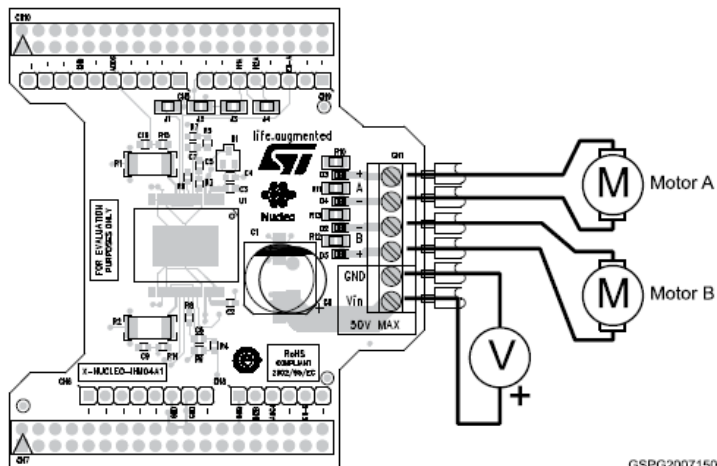


# Az alkalmazott motorvezérlő

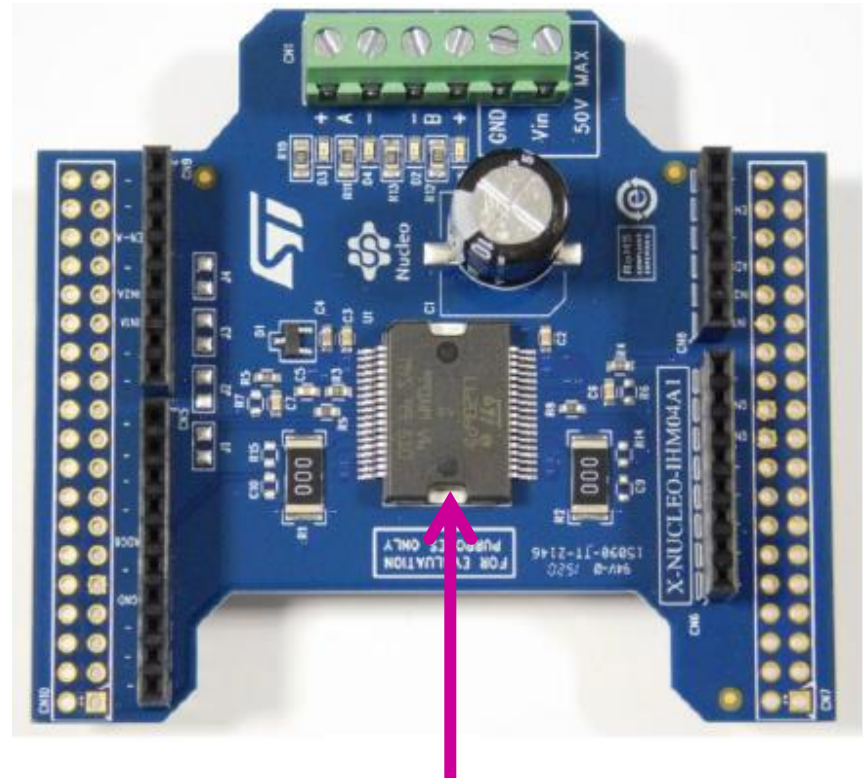
L6202 alkalmazás:

X-NUCLEO-IHM04A1 panel

NUCLEO-64-es  
mikrovezérlő platformmal



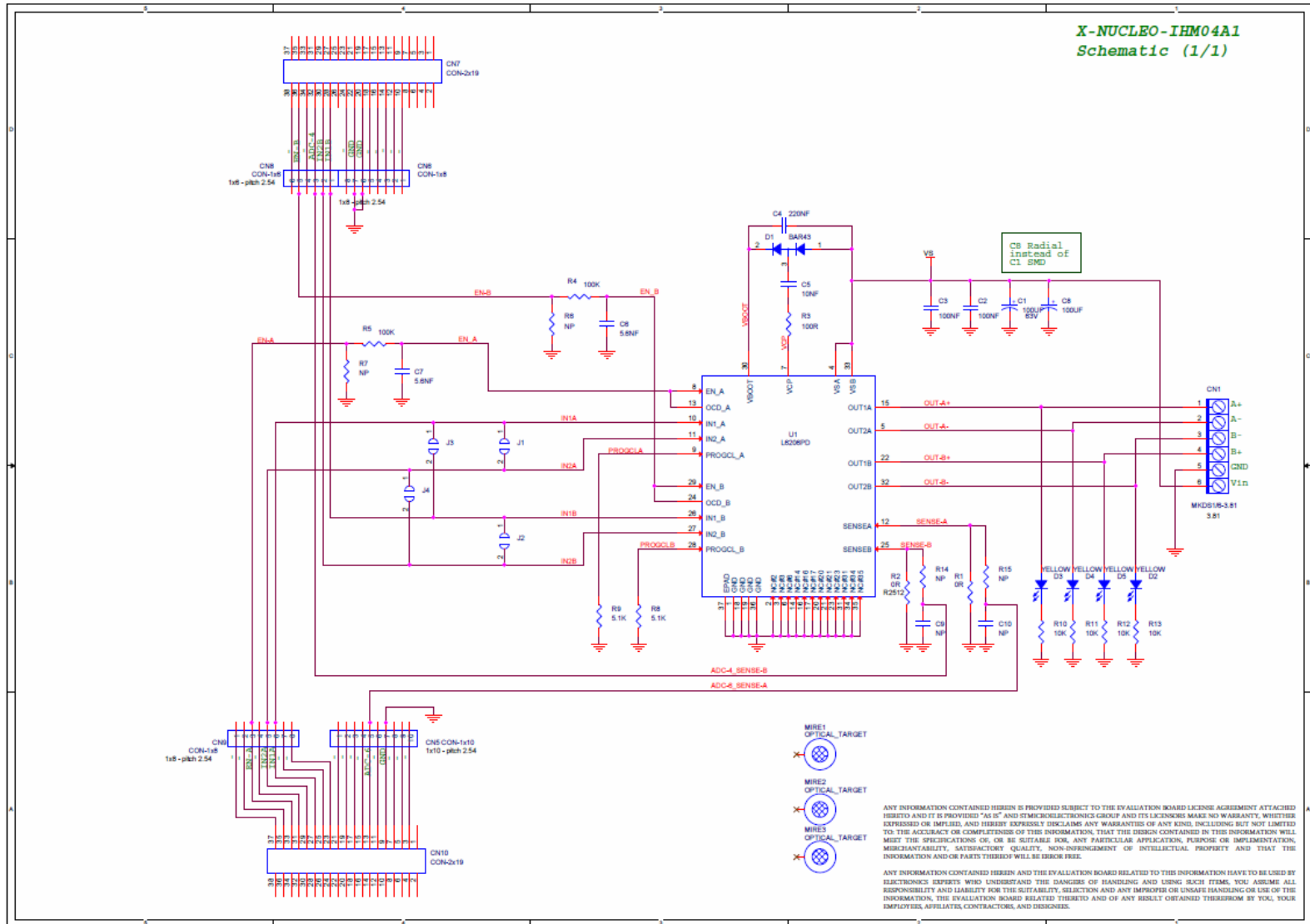
2 DC motor kétirányú vezérléssel



L6202 motorvezérlő

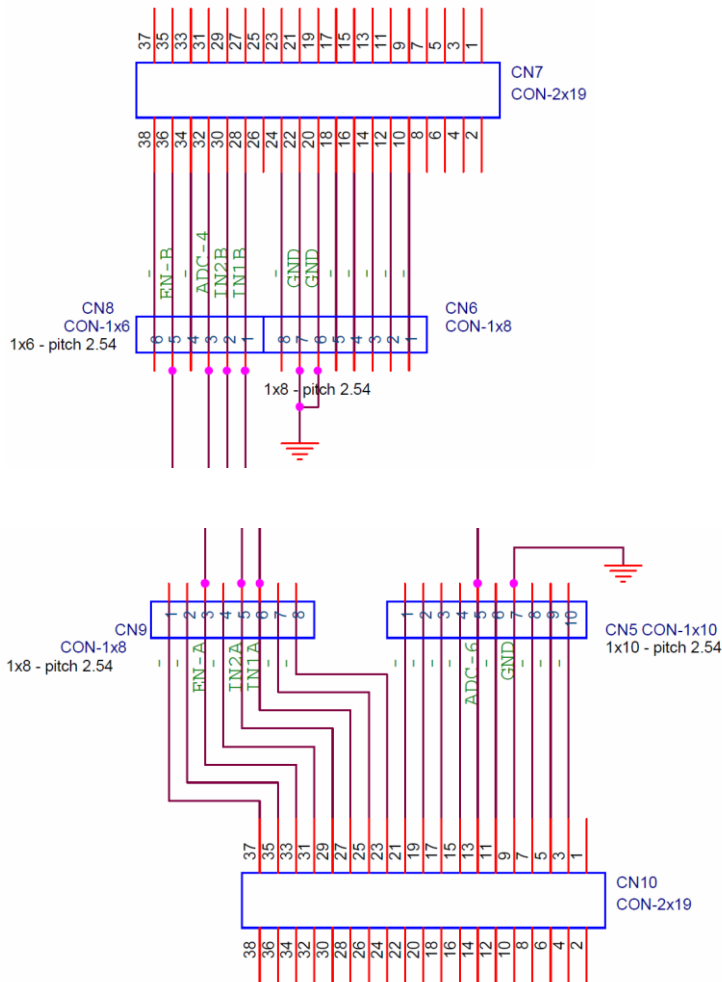


# Az alkalmazott motorvezérlő





# Az alkalmazott motorvezérlő



A „B” H-hídhoz tartozó jelek

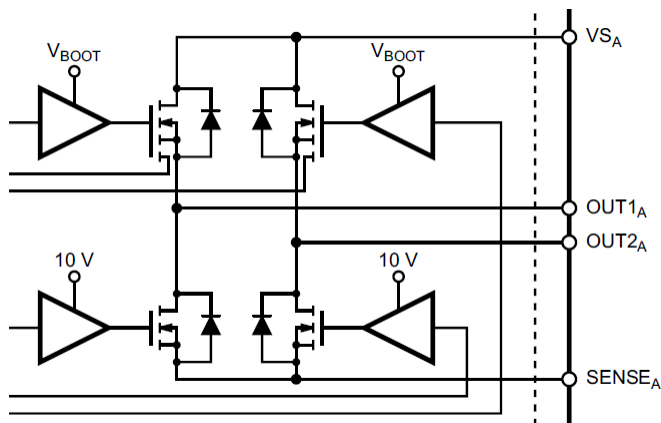
- EN\_B – PC1
- IN1\_B – PA0 – TIM5\_CH1
- IN2\_B – PA1 – TIM5\_CH2
- SENSE\_B – PA4 – ADC-6

Az „A” H-hídhoz tartozó jelek

- EN\_A – PA10
- IN1\_A – PB4 – TIM3\_CH1
- IN2\_A – PB5 – TIM3\_CH2
- SENSE\_A – PA6 – ADC-6

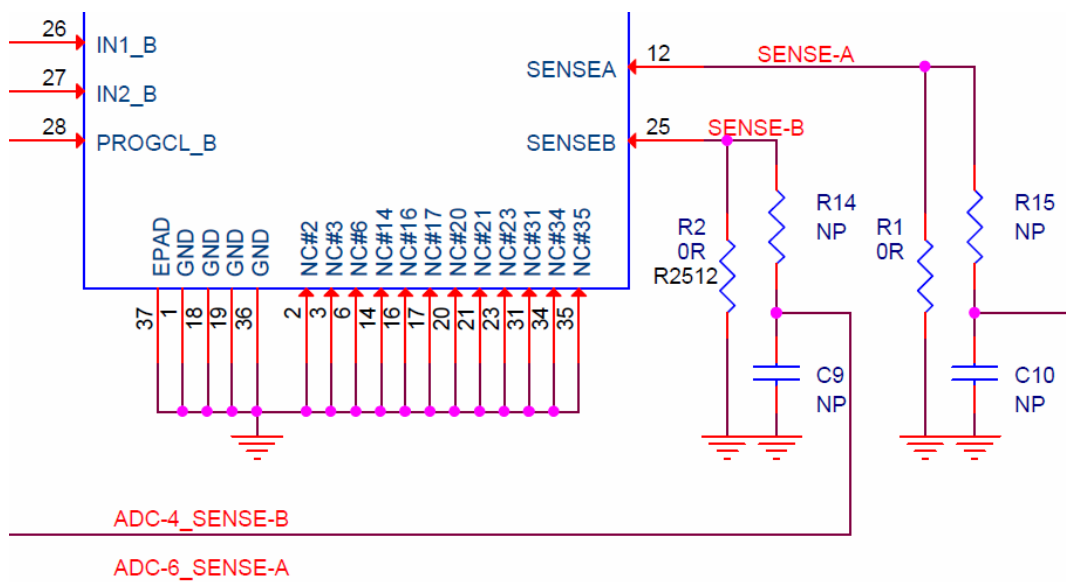


# Az alkalmazott motorvezérlő



SENSE (A-B) kimenet:

- A H-híd alsó közös pontja
- Kis értékű ellenálláson keresztül földre köthető (R1-2).
- gyári állapot:  $0\Omega$  ellenállással földpotenciálón

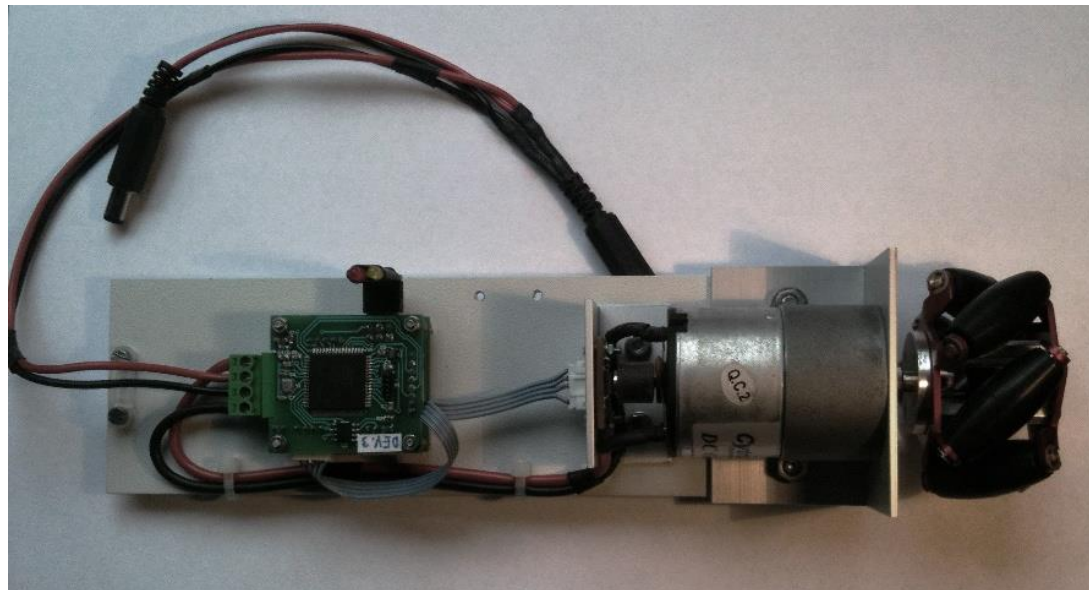
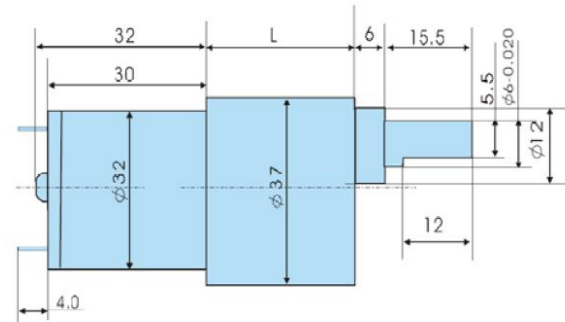
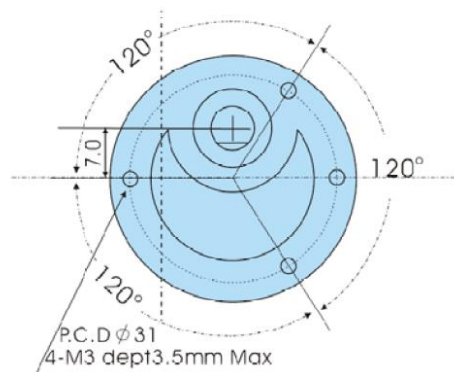


- A hídáram ezen a ponton keresztül folyik el a föld felé
- Kis értékű (pl.  $100\text{ m}\Omega$ ) ellenállással mérhető a hídáram.
- R14-C9 ill. R15-C10 egy RC aluláteresztő szűrőt valósít meg – zajszűrés.



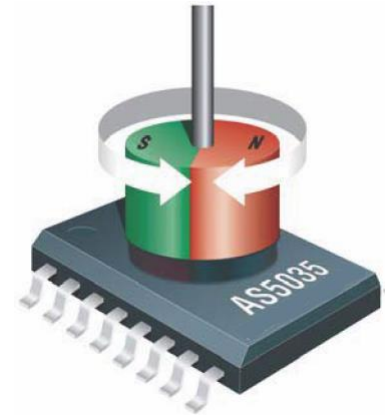
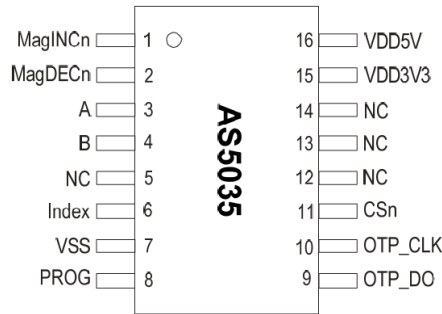
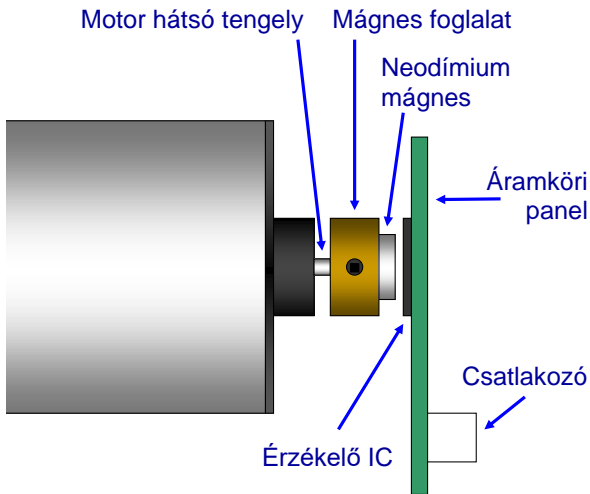
# Motorkísérlet

Cytron Technologies **SPG30-30K** hajtóműves motor



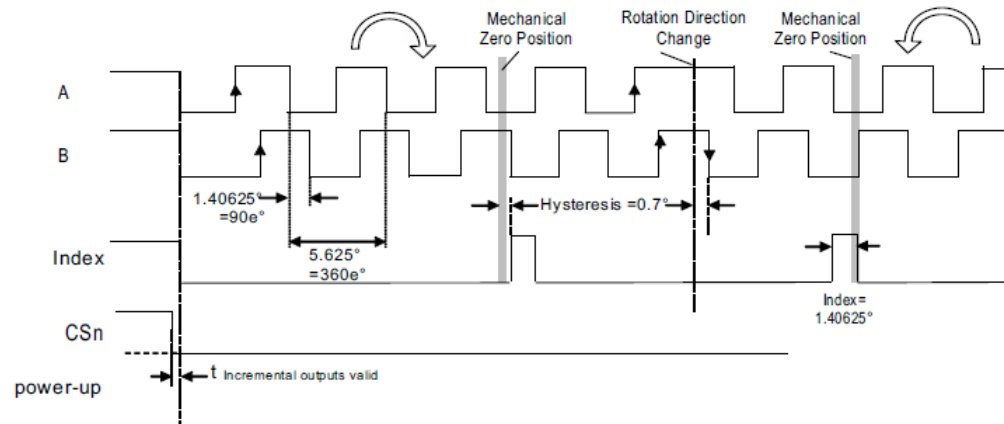
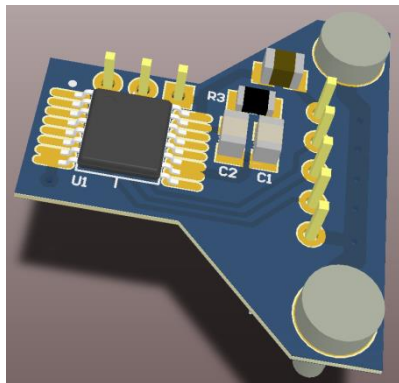
# Fordulatszám mérés

## Austria Microsystems (AMS) AS-5035



### A-B kvadratúra jelek + I index

- A és B jelek: fordulatonként 64 impulzus
- A és B között 90° eltolás: forgási irány
- I index: fordulatonként egy impulzus



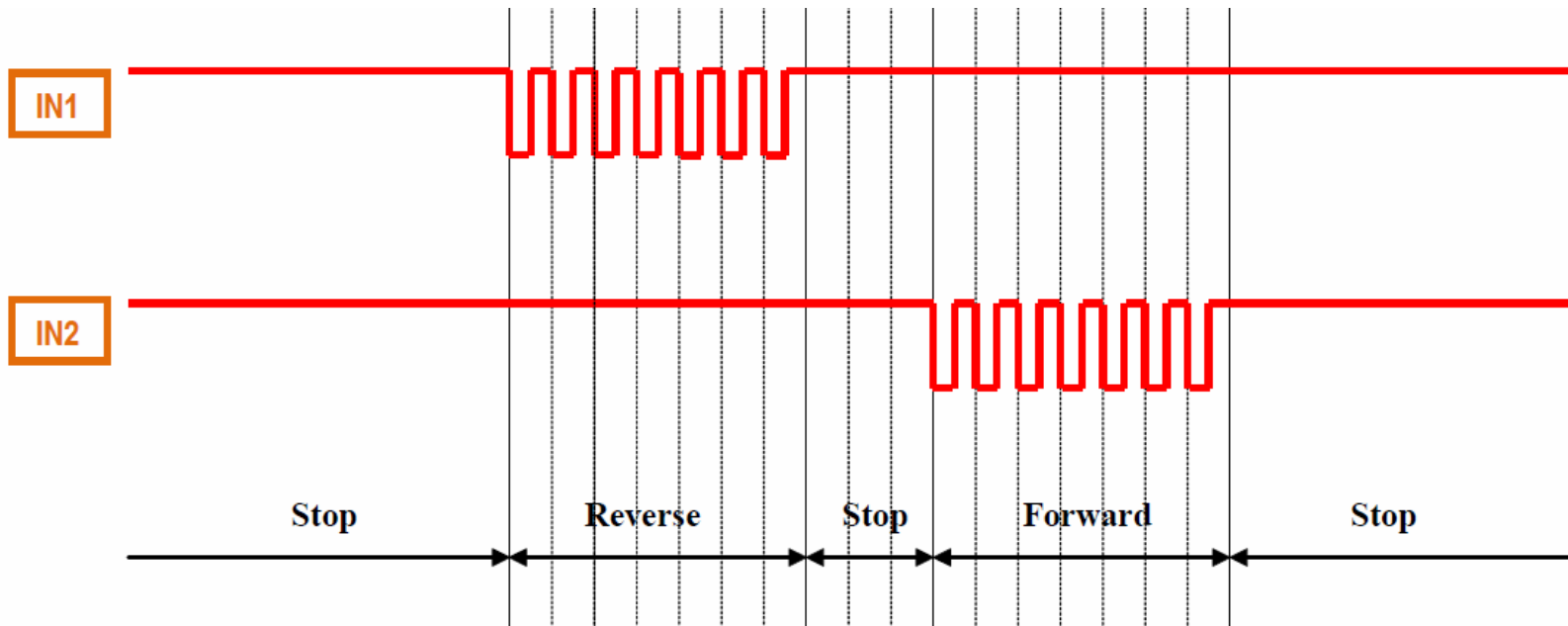
# PWM vezérlés

Ajánlott vezérlési séma:

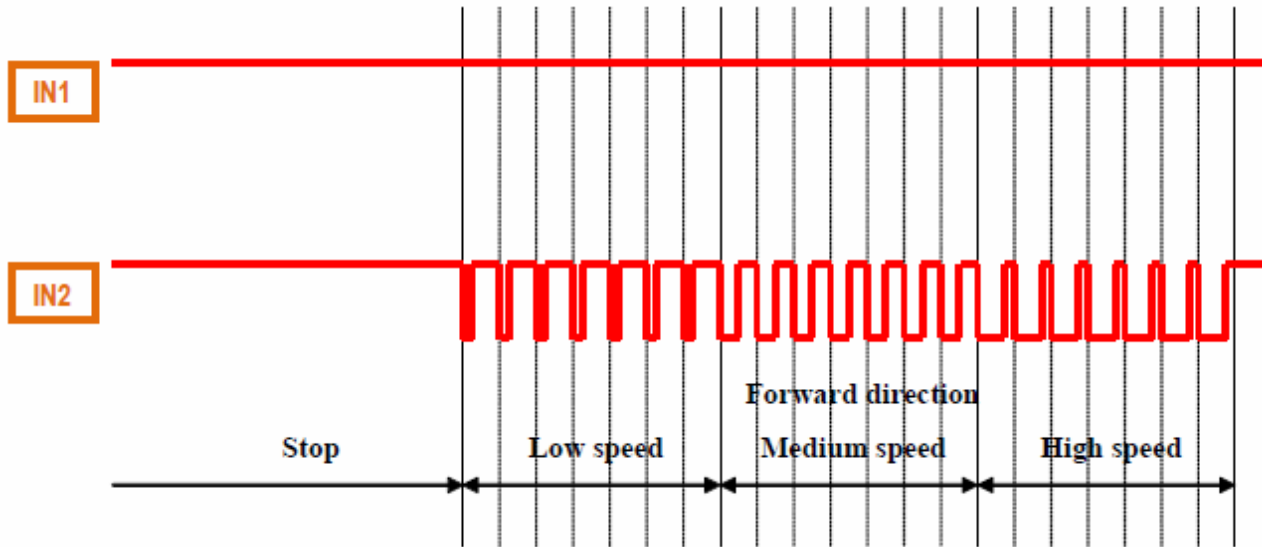
unipoláris vezérlés a  
fékezési állapoton keresztül

Inputs			Outputs	
EN	IN1	IN2	OUT1	OUT2
L	X <sup>(1)</sup>	X <sup>(1)</sup>	High Z <sup>(2)</sup>	High Z <sup>(2)</sup>
H	L	L	GND	GND
H	H	L	V <sub>s</sub>	GND
H	L	H	GND	V <sub>s</sub>
H	H	H	V <sub>s</sub>	V <sub>s</sub>

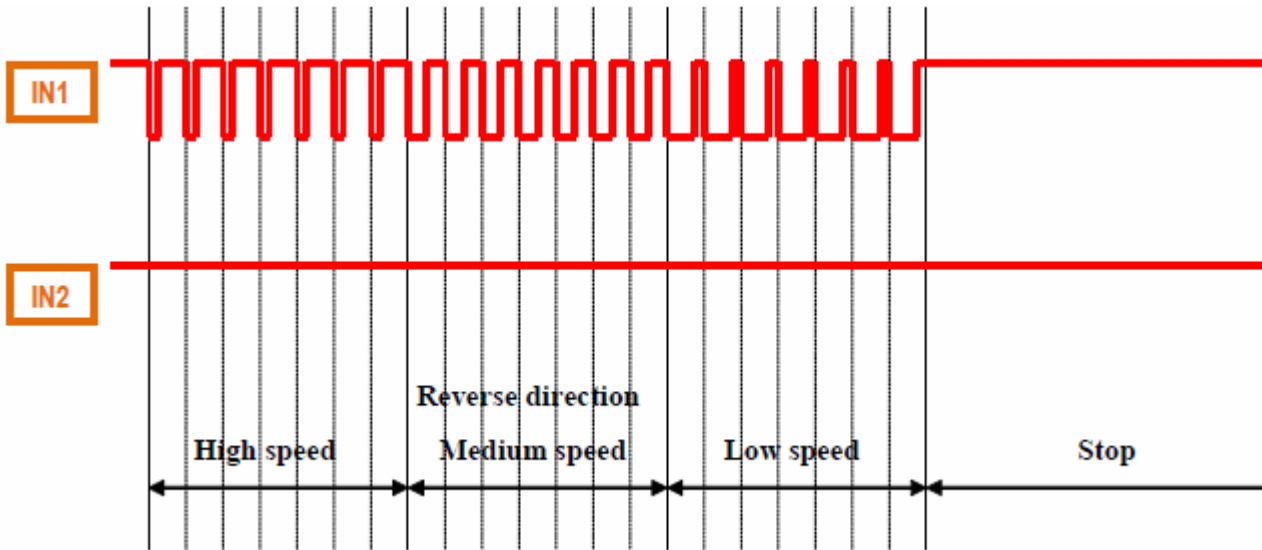
1. X = don't care.
2. High Z = high impedance output.



# PWM vezérlés



előremeneti  
módban



hátrameneti  
módban



# 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**