



# Hardvertervezési szeminárium

2024. szeptember 13.

Balogh Attila, Gótz Márton, Nagy Ákos, Kiss Domokos



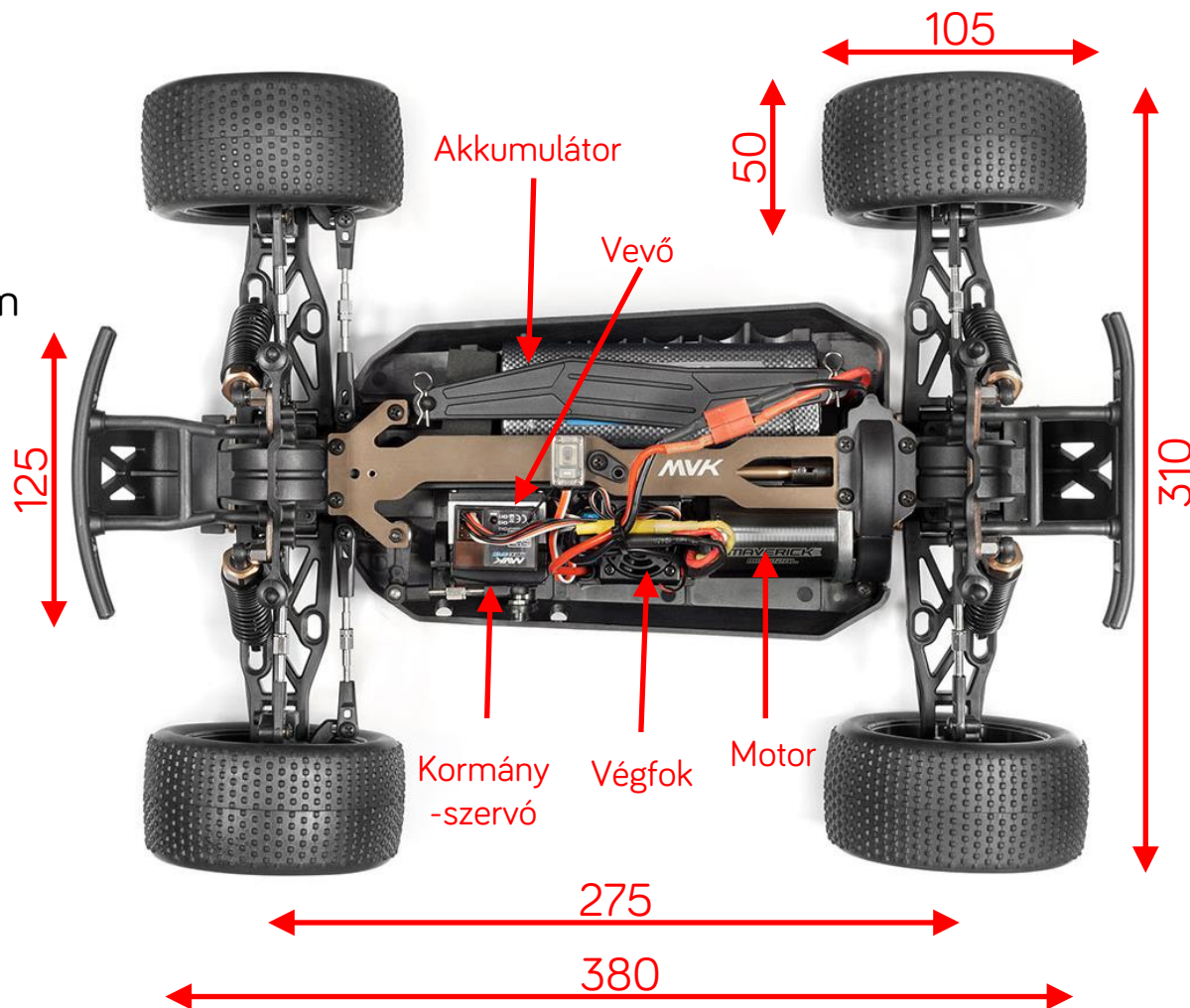
Automatizálási és  
Alkalmazott  
Informatikai Tanszék



# Az autó mechanikai felépítése

## Főbb paraméterek:

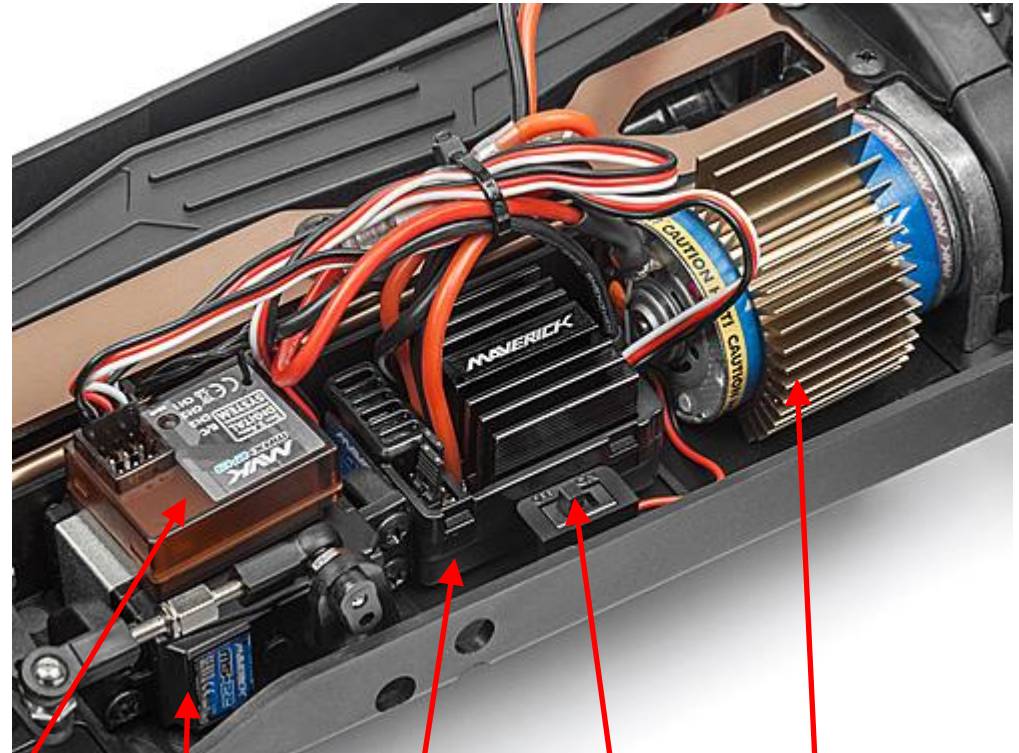
- Hosszúság: 380 mm
- Szélesség: 310 mm
- Tengelytáv: 275 mm
- Alaplemez szélesség: 125 mm
- Kerékátmérő: 105 mm
- Kerék vastagság: 50 mm
- Hasmagasság:
  - Változtatható
  - Rugózása kimerevíthető



# Az autó mechanikai felépítése

## Főbb paraméterek:

- Hosszúság: 380 mm
- Szélesség: 310 mm
- Tengelytáv: 275 mm
- Alaplemez szélesség: 125 mm
- Kerékátmérő: 105 mm
- Kerék vastagság: 50 mm
- Hasmagasság:
  - Változtatható
  - Rugózása kimerevíthető



RF Vevő

Kormány  
szervó

Végfok

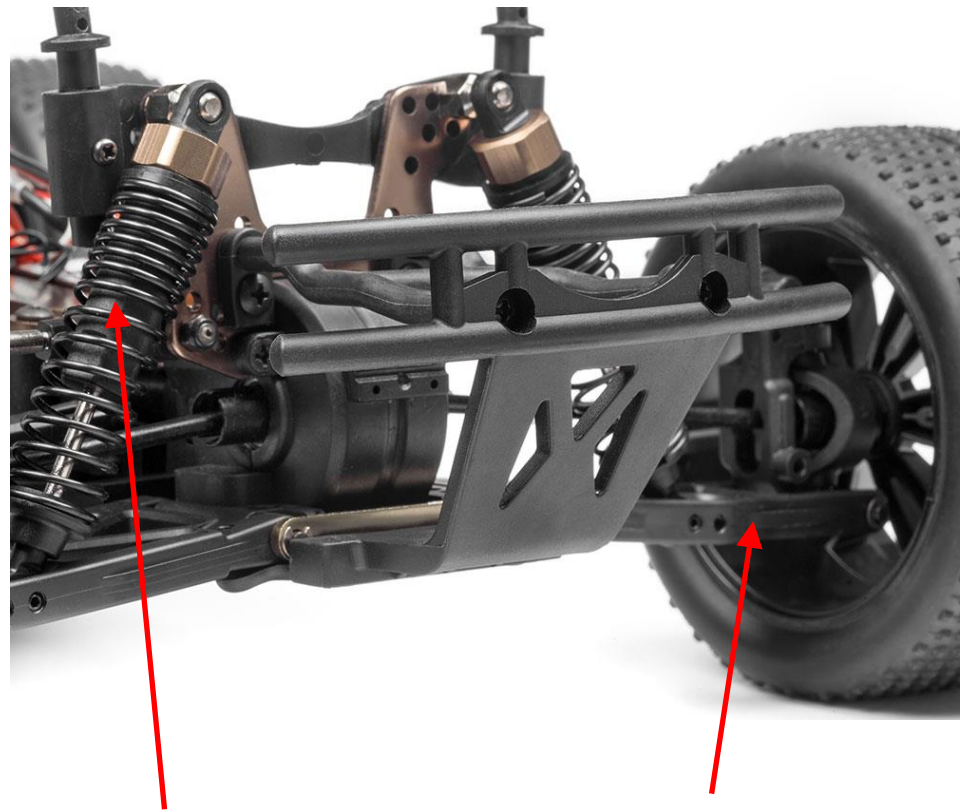
Kapcsoló

Motor

# Az autó mechanikai felépítése

## Főbb paraméterek:

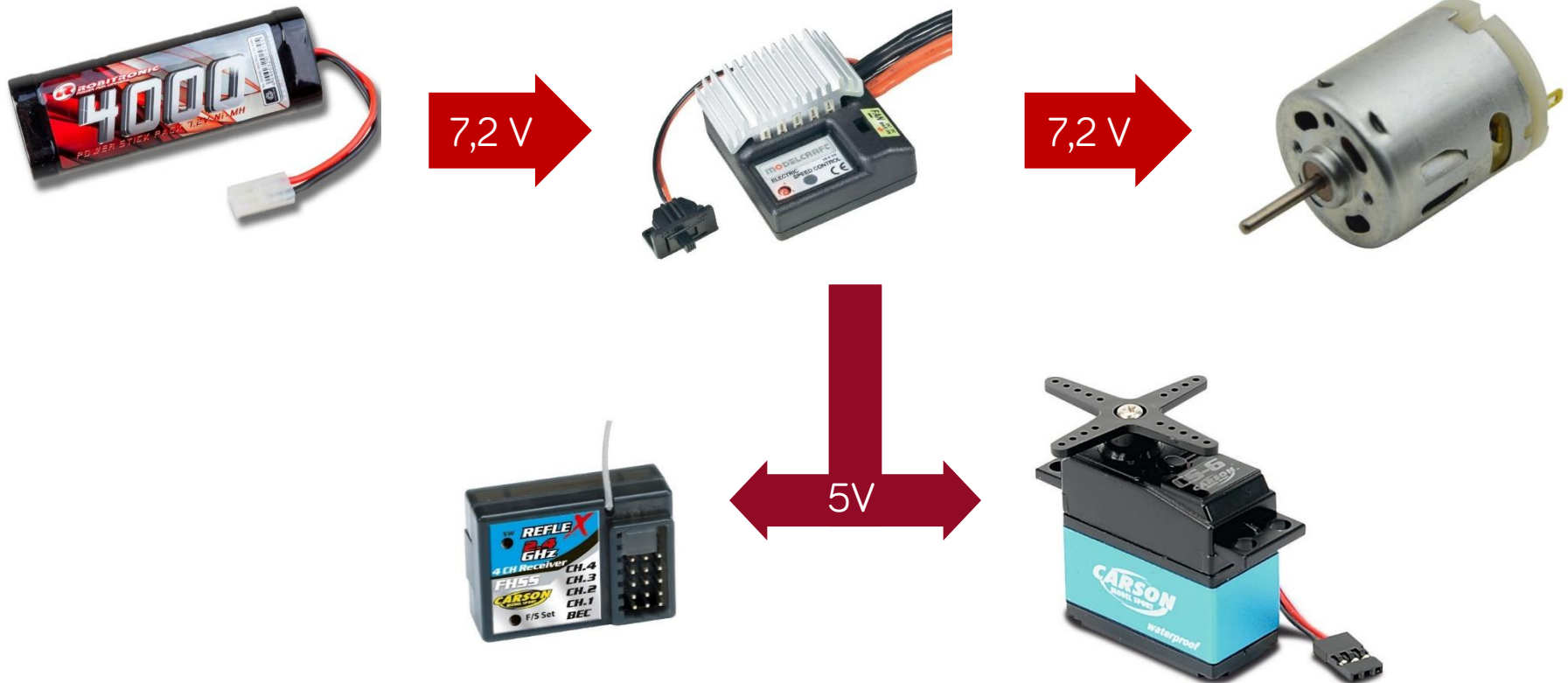
- Hosszúság: 380 mm
- Szélesség: 310 mm
- Tengelytáv: 275 mm
- Alaplemez szélesség: 125 mm
- Kerékátmérő: 105 mm
- Kerék vastagság: 50 mm
- Hasmagasság:
  - Változtatható
  - Rugózása kimerevíthető



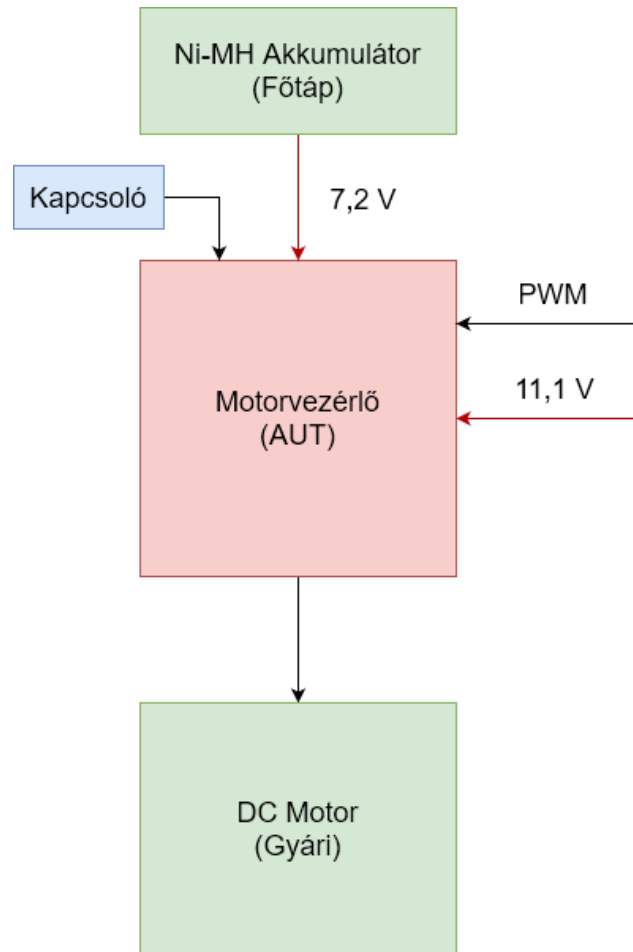
Lengéscsillapító

Lengőkar

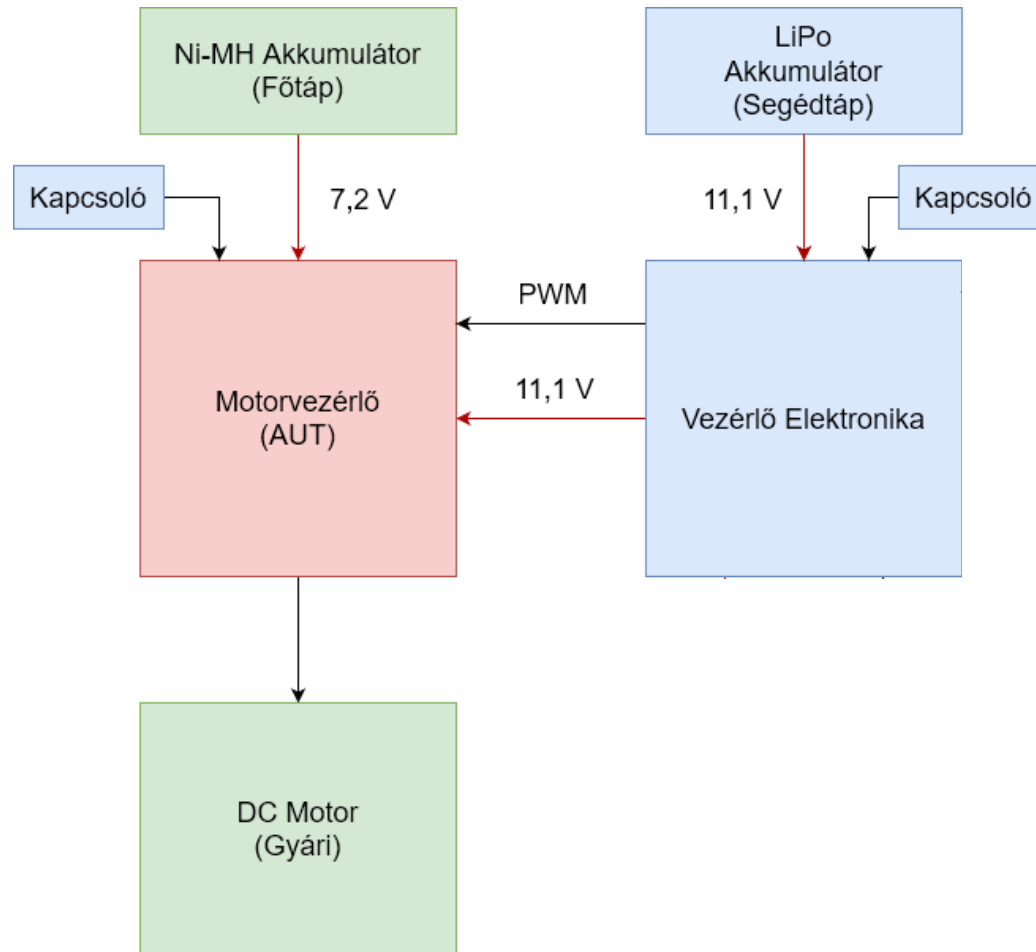
# Az autó funkcionális felépítése



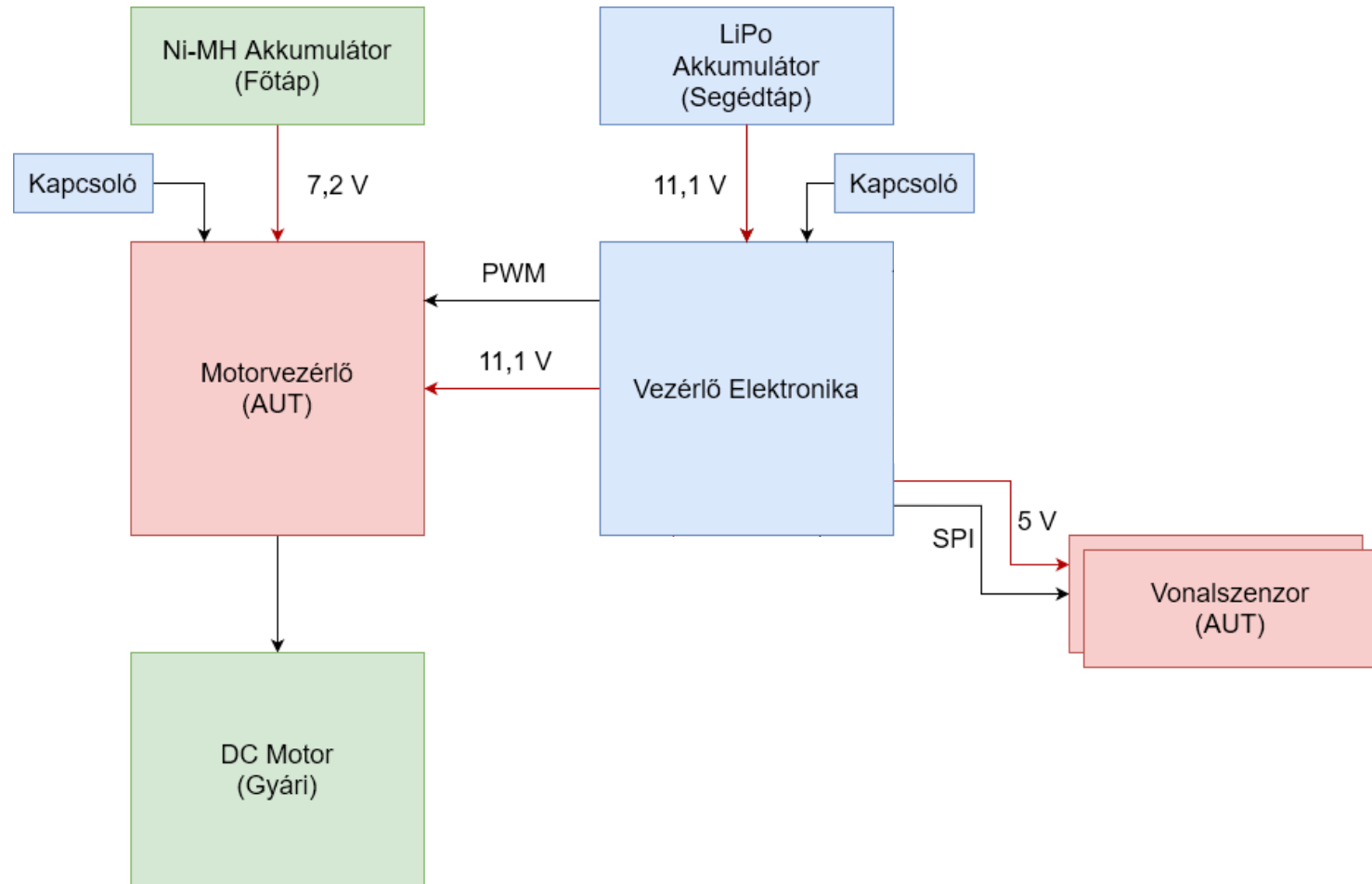
# Javasolt felépítés átalakítás után



# Javasolt felépítés átalakítás után

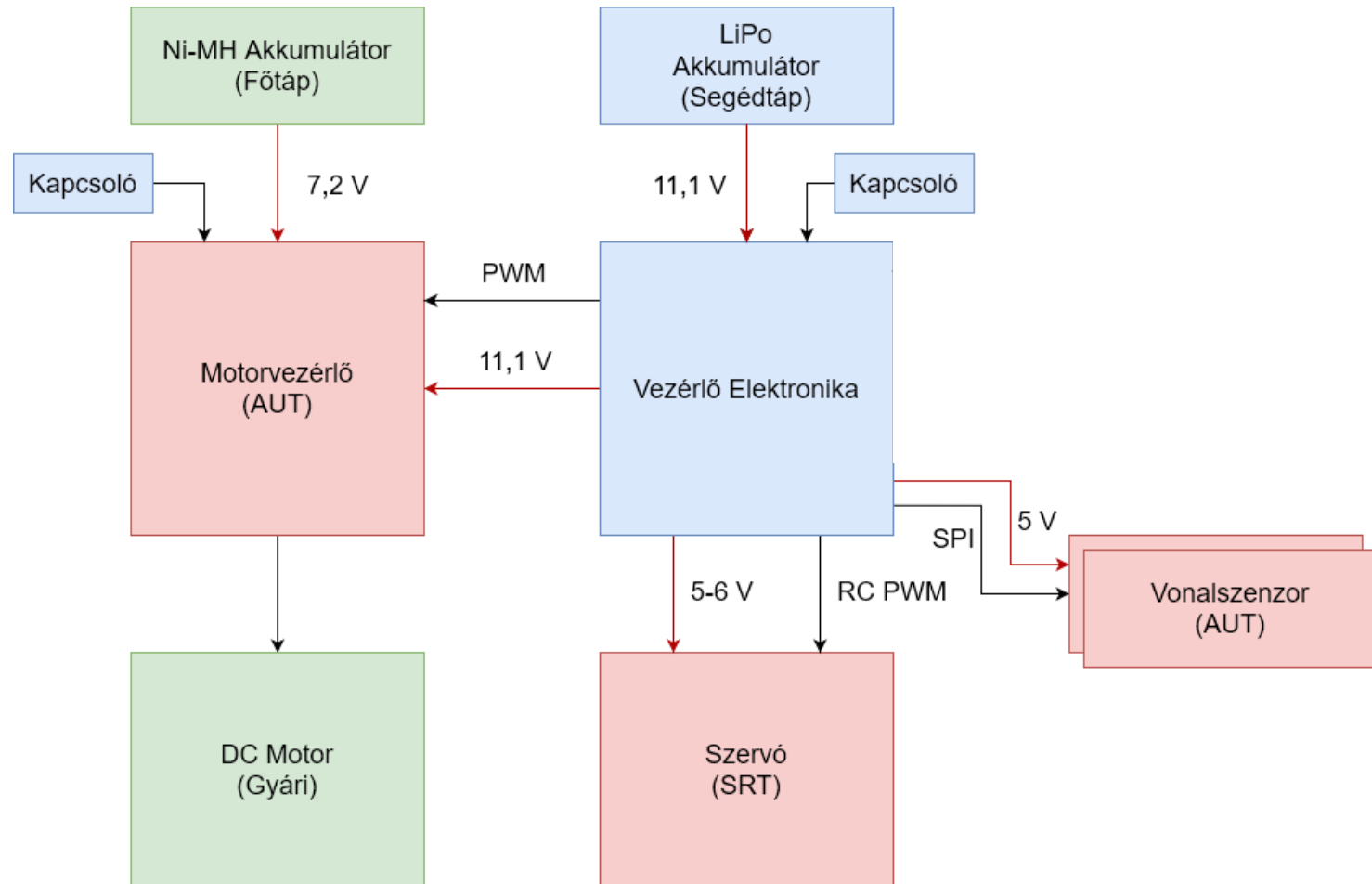


# Javasolt felépítés átalakítás után

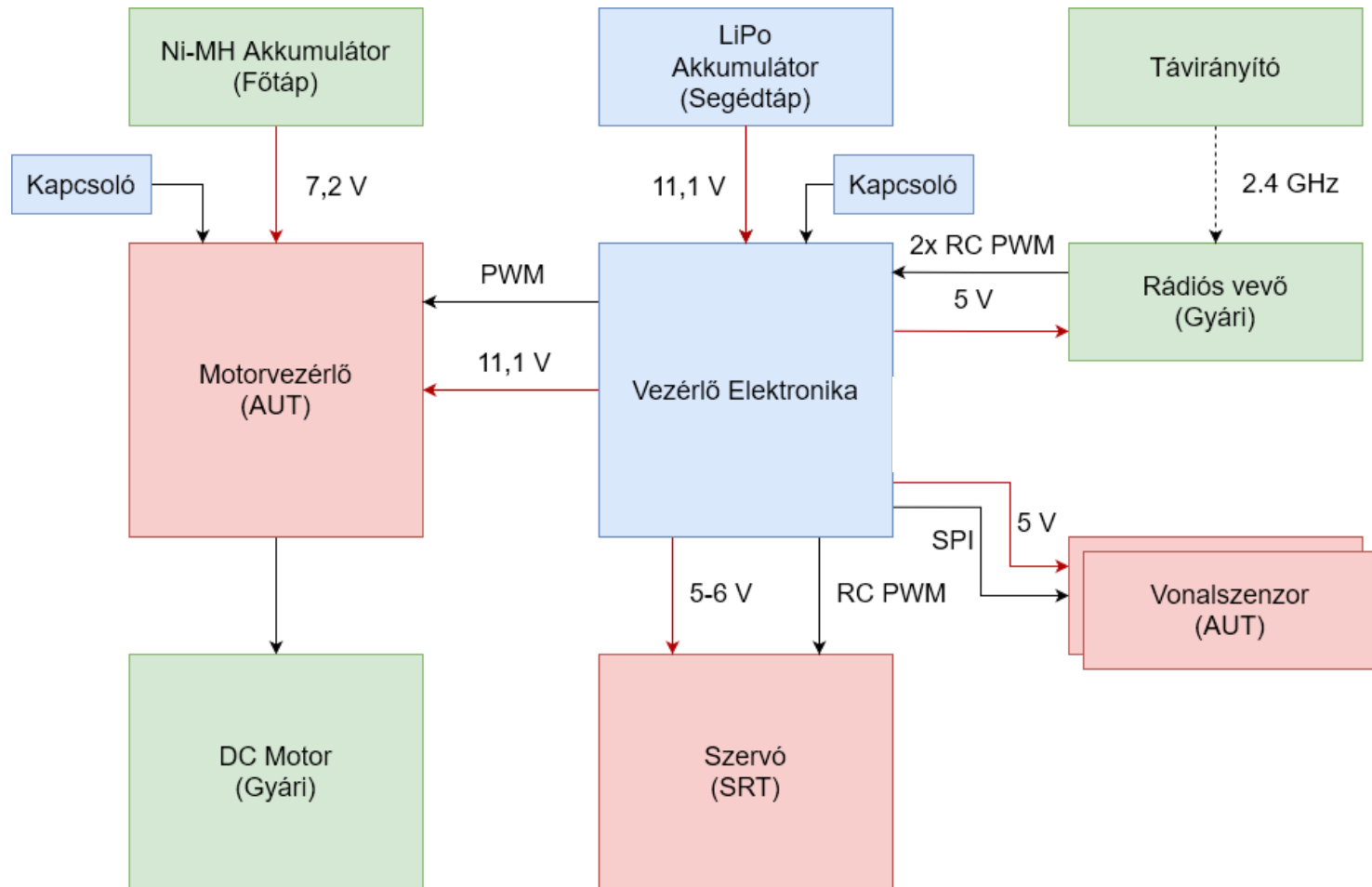




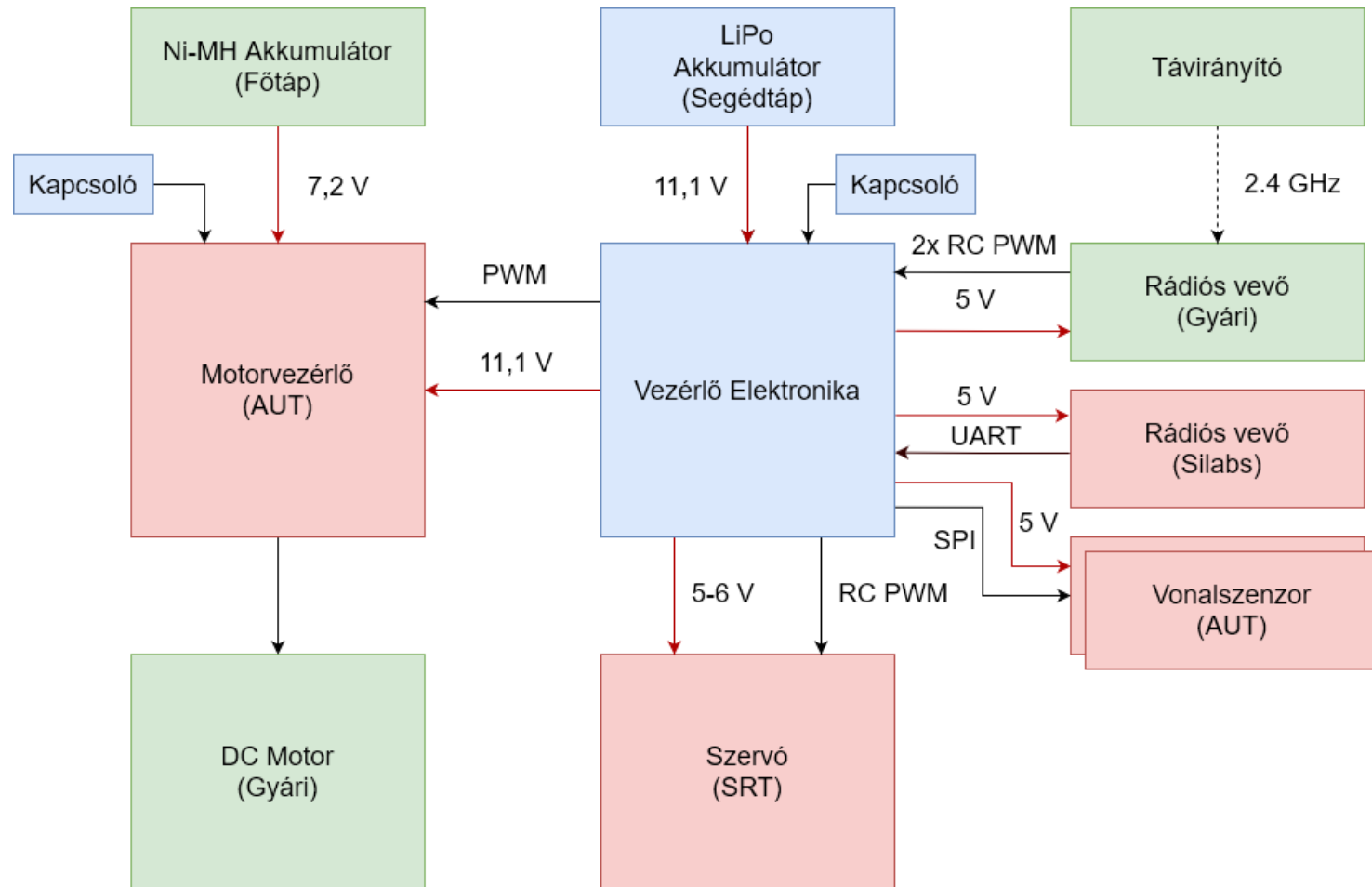
# Javasolt felépítés átalakítás után



# Javasolt felépítés átalakítás után



# Javasolt felépítés átalakítás után



# Mechanika

- Felmerülő mechanikai kérdések:
  - > Alaplemez felépítése
    - "Szimmetrikus" kialakítás
  - > Hátsó kormányzás előkészítése
  - > Lengéscsillapítás
  - > 3D nyomtatási lehetőség a csapatoknak
    - PLA 10Ft/cm<sup>3</sup>
    - Stratasys ABS/ASA 57Ft/cm<sup>3</sup>
      - Vegyszerrel oldható támaszanyag 57Ft/cm<sup>3</sup>

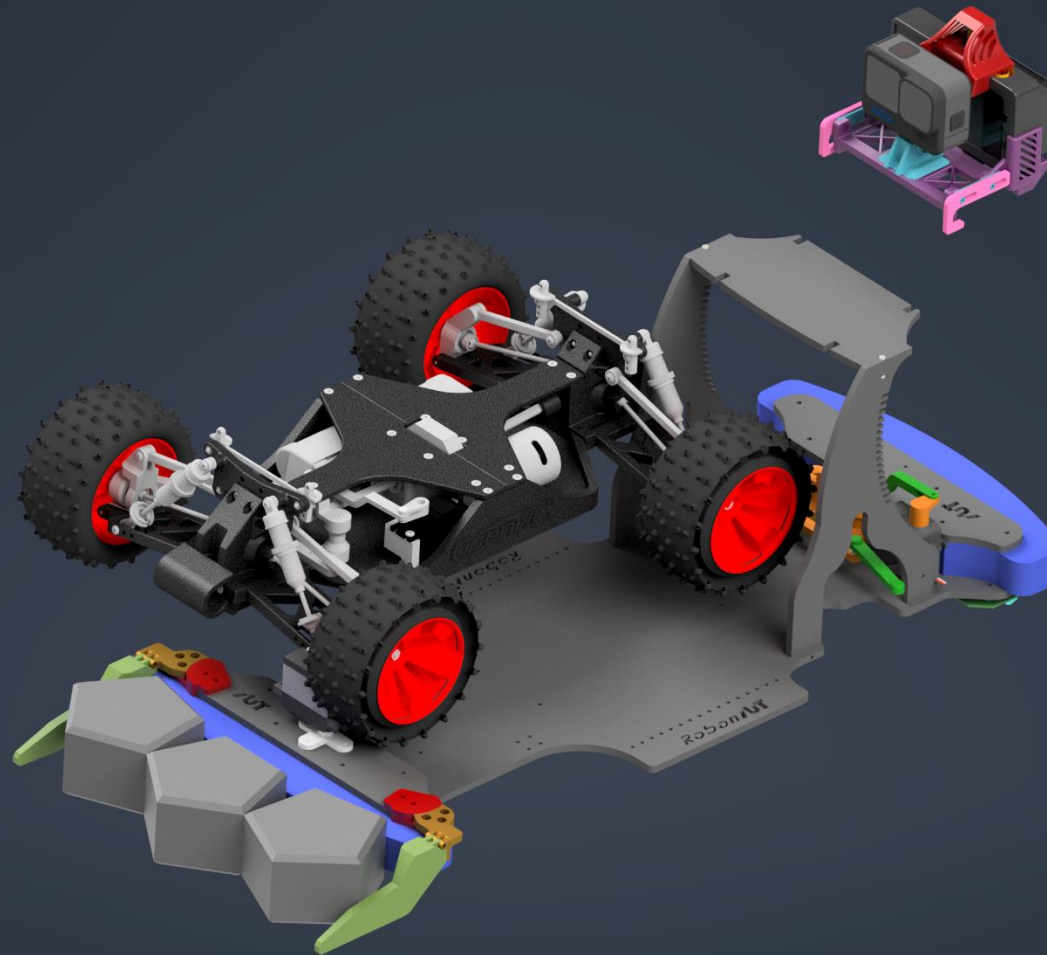
# Mechanika



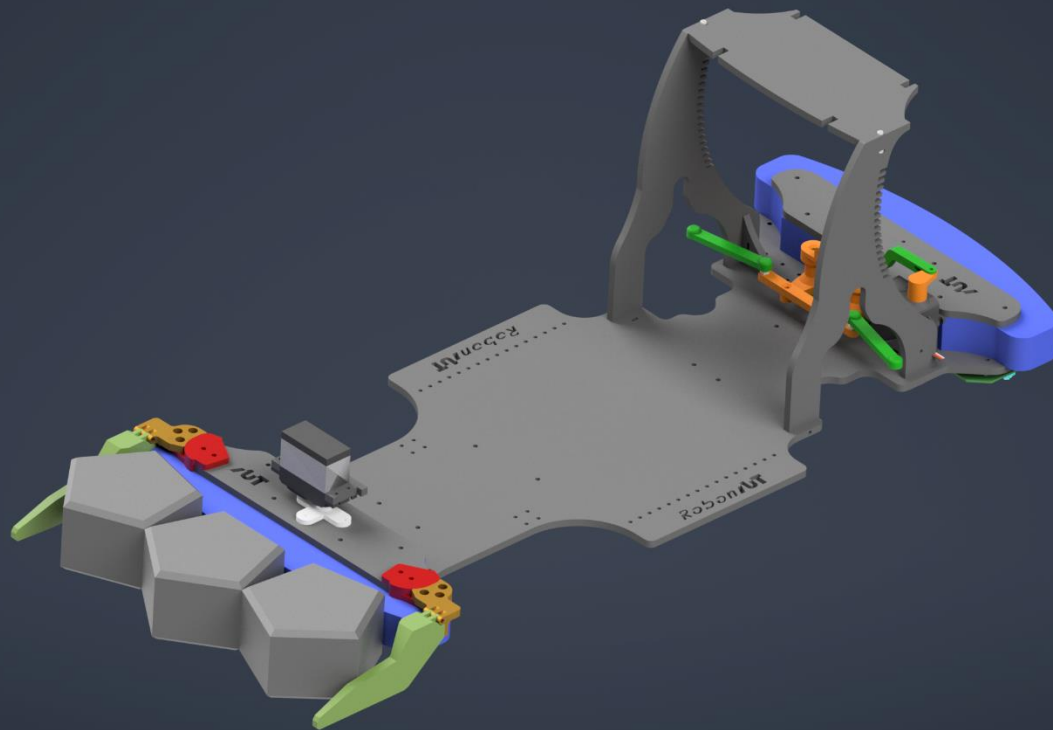
# Mechanika



# Mechanika

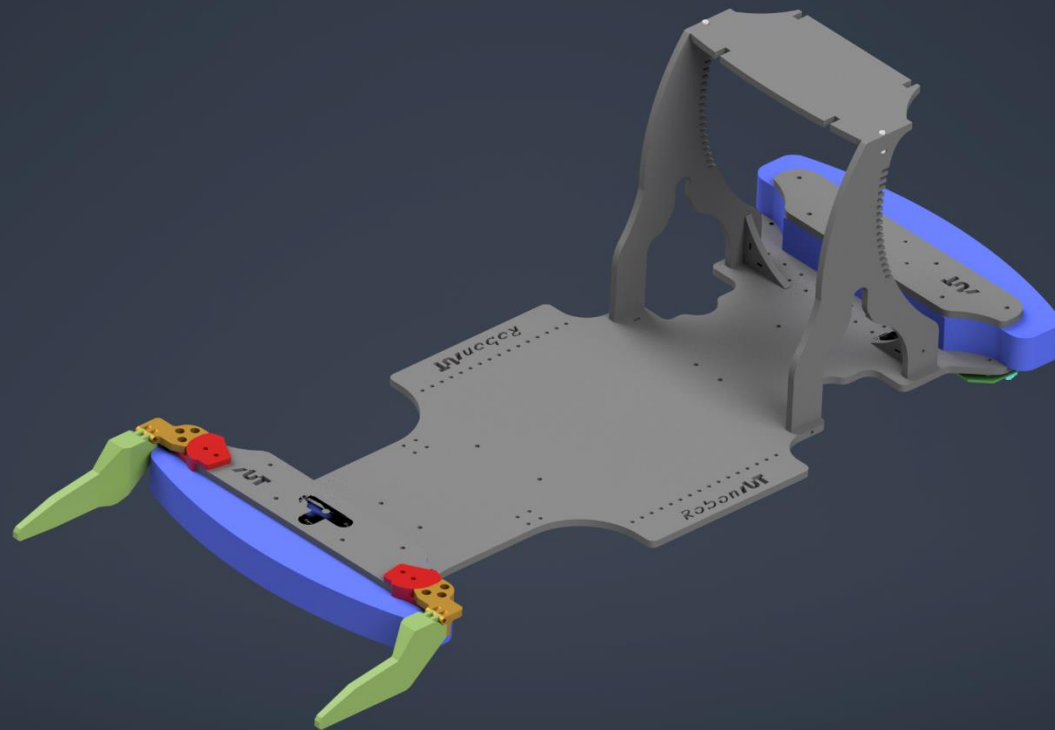


# Mechanika





# Mechanika



# Megoldandó feladatok

## Beavatkozás

- Motorvezérlés
- Modellszervó(k)

## Érzékelés

- Vonalérzékelés
- Inerciális szenzorok
- Távolságmérés
- Sebességmérés

## Kommunikáció

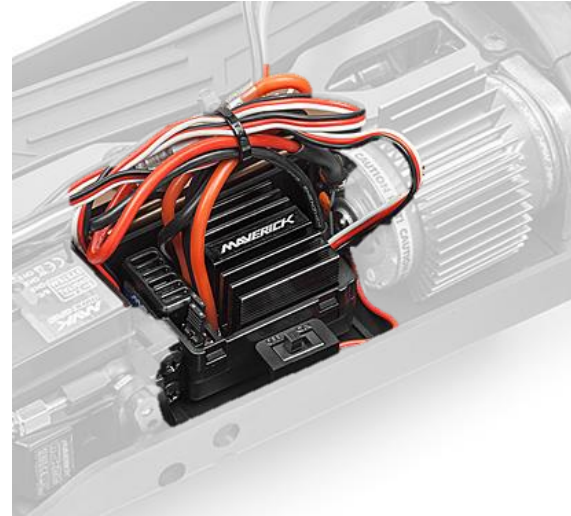
- Rádiós indítás, kapukhoz
- Fejlesztéshez



# Gyári főáramkör

## Mért motor adatok

- $R = 106 \text{ m}\Omega$ ;  $L = 51,3 \text{ }\mu\text{H}$
- $I_{\text{start-elmélet}} = 68 \text{ A}$
- $I_{\text{reverz-elmélet}} = 136 \text{ A}$
- $I_{\text{start-valós}} = 52 \text{ A}$  (NiMH akku)
- $I_{\text{reverz-valós}} = 104 \text{ A}$

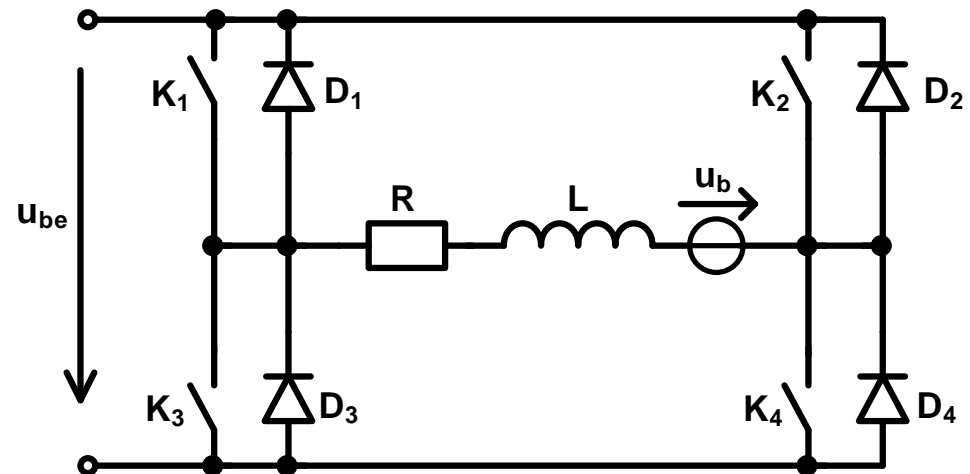


## Mért vezérlési adatok

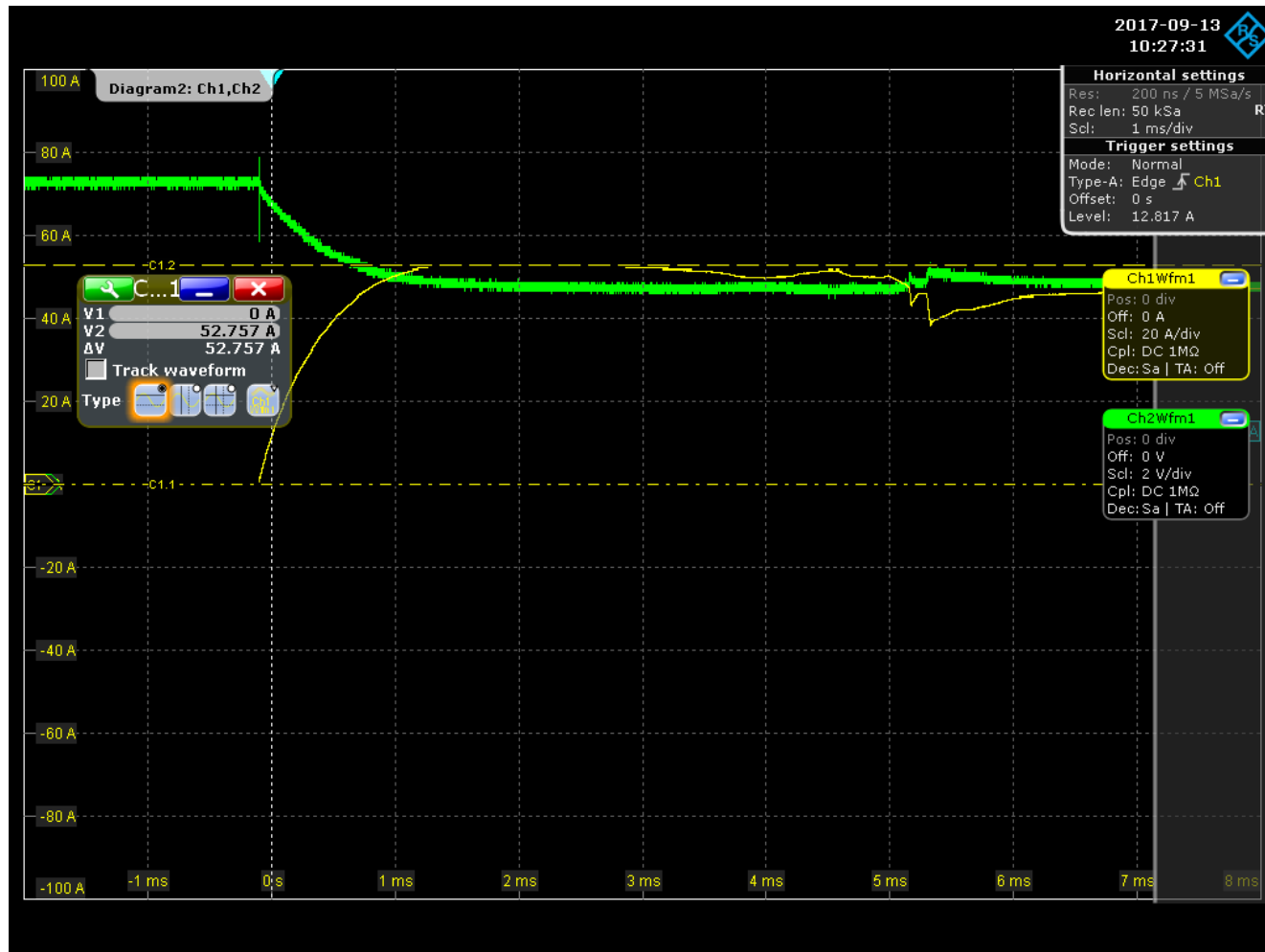
- $f_{\text{kapcs}} = 961 \text{ Hz}$
- $T_{\text{be-FET}} = 1 \text{ }\mu\text{s}$

## Mért félvezető adatok

- $U_{d0} = 0,5 \text{ V}$ ;  $r_d = 35 \text{ m}\Omega$
- $r_{\text{dson}} = 55 \text{ m}\Omega$

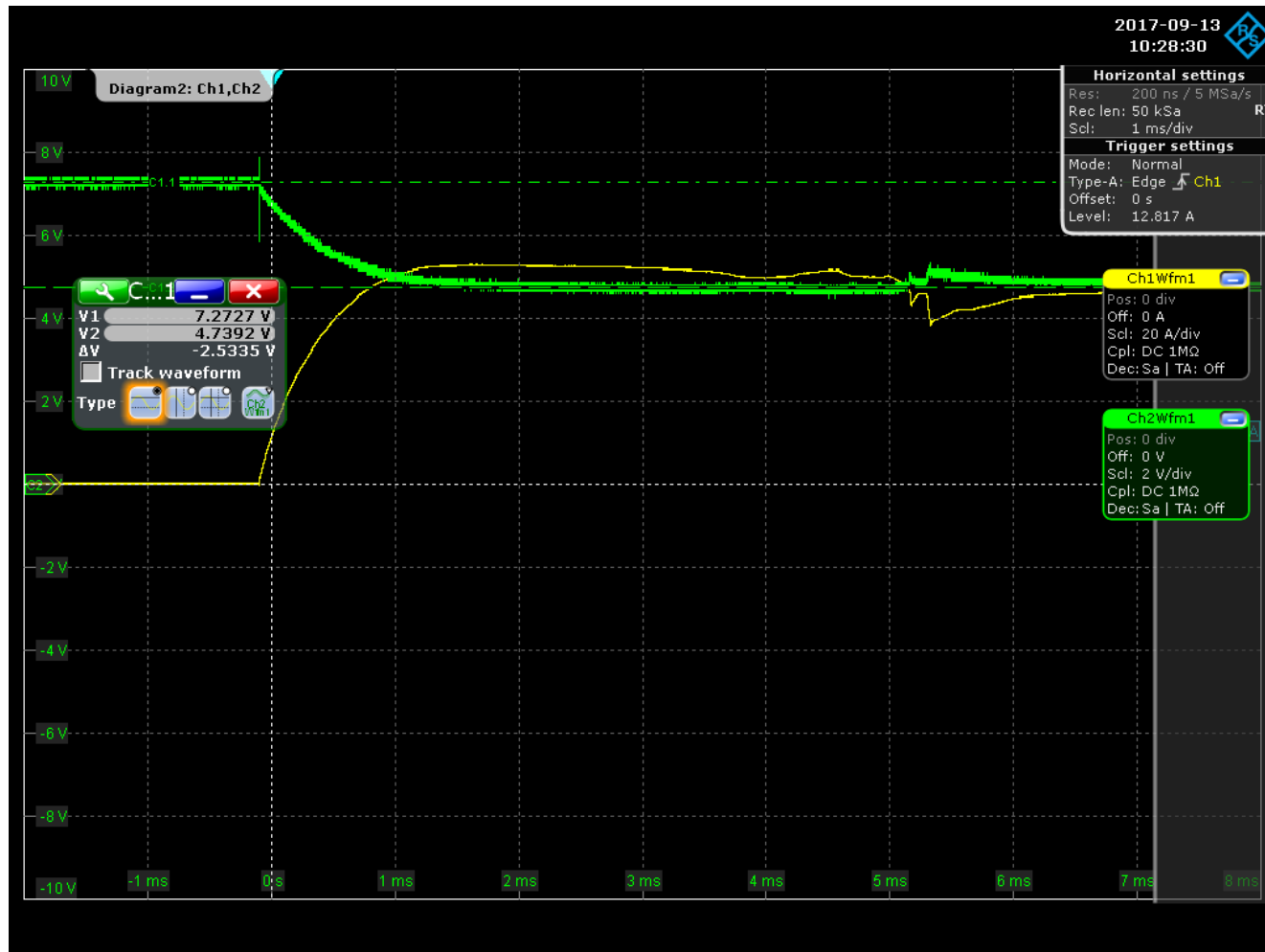


# Motor direkt indítás 1



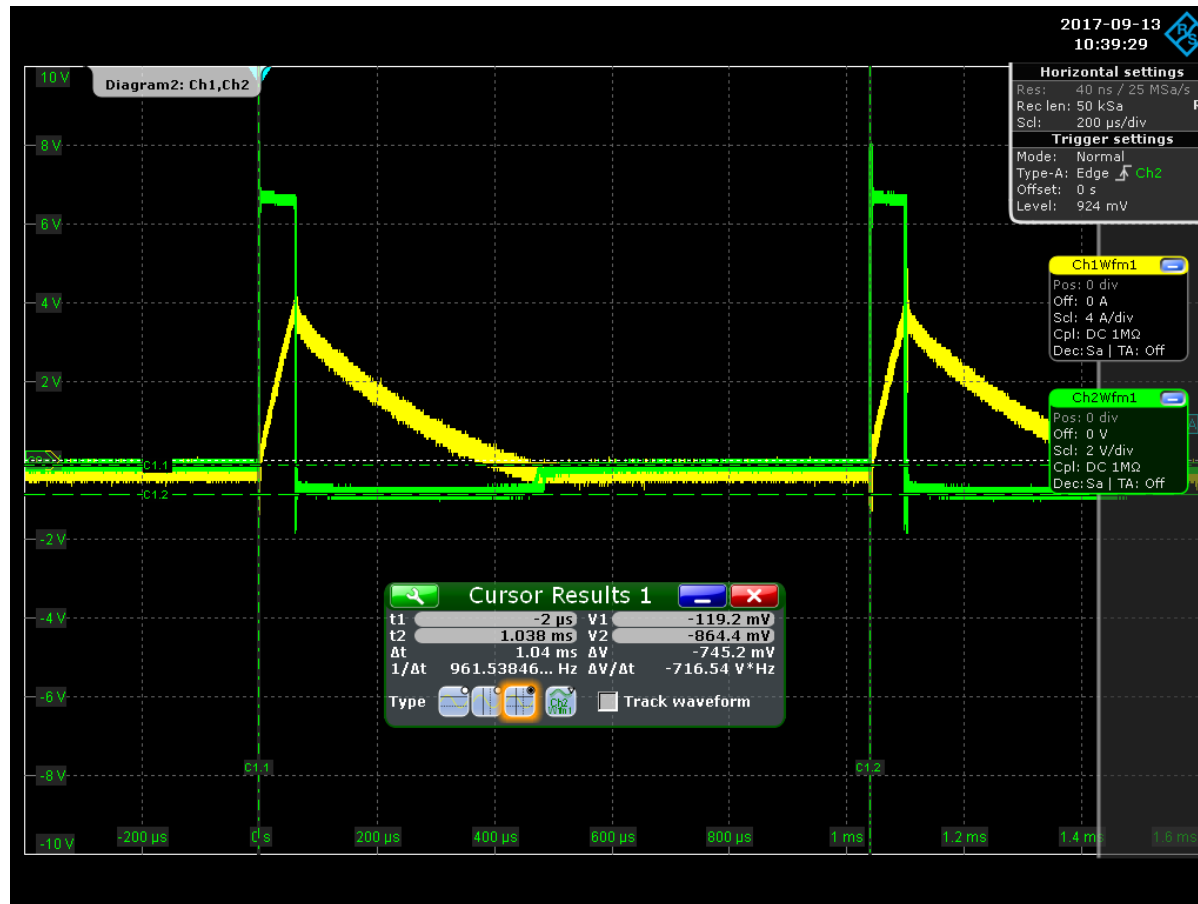
Maximális indítóáram: 53A

# Motor direkt indítás 2



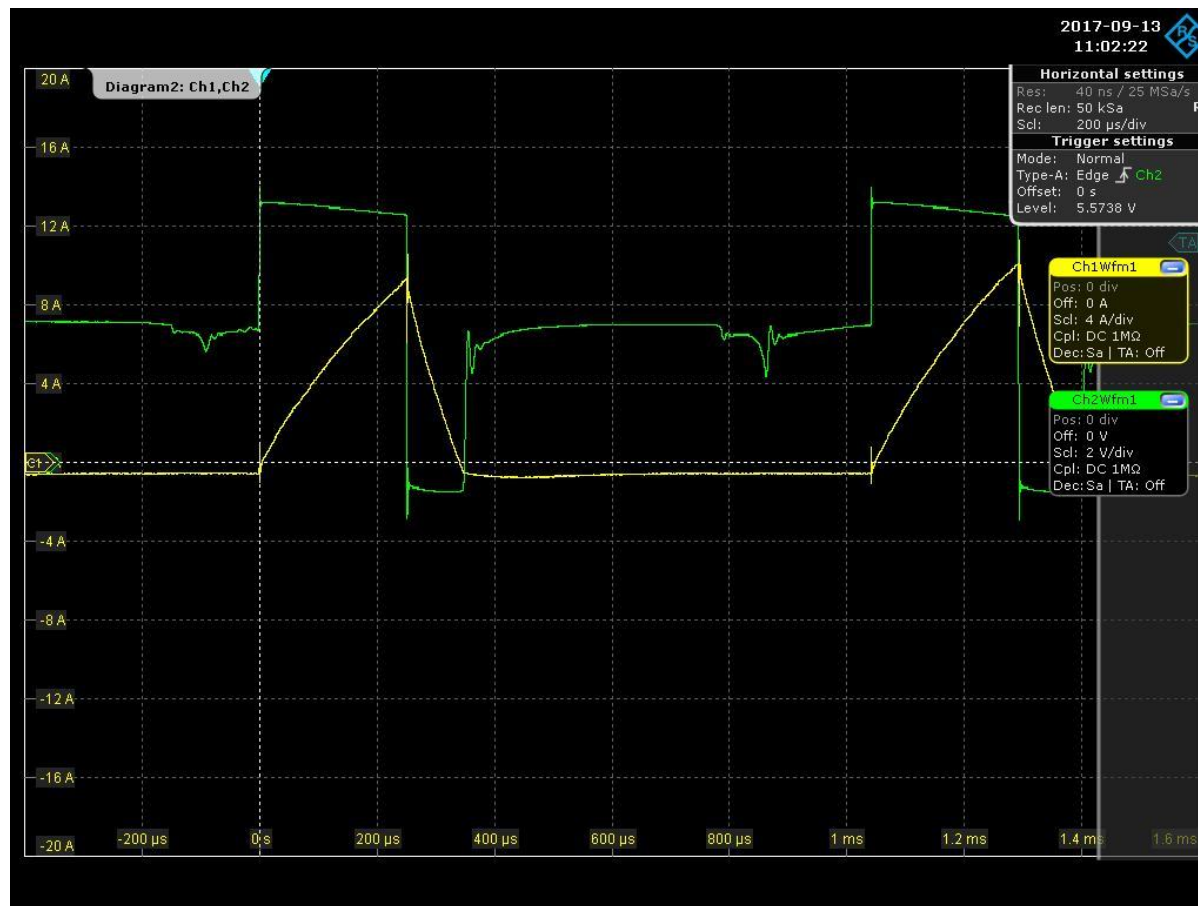
Akkumulátor feszültsége: 7.2V → 4,7V

# Gyári áramkör modulációja, kis sebesség



- Felső FET irány kijelölés, alsó FET PWM
- Kis  $U_b$  esetén a diódák hosszú ideig vezetnek, sok a disszipáció

# Gyári áramkör modulációja, nagy sebesség

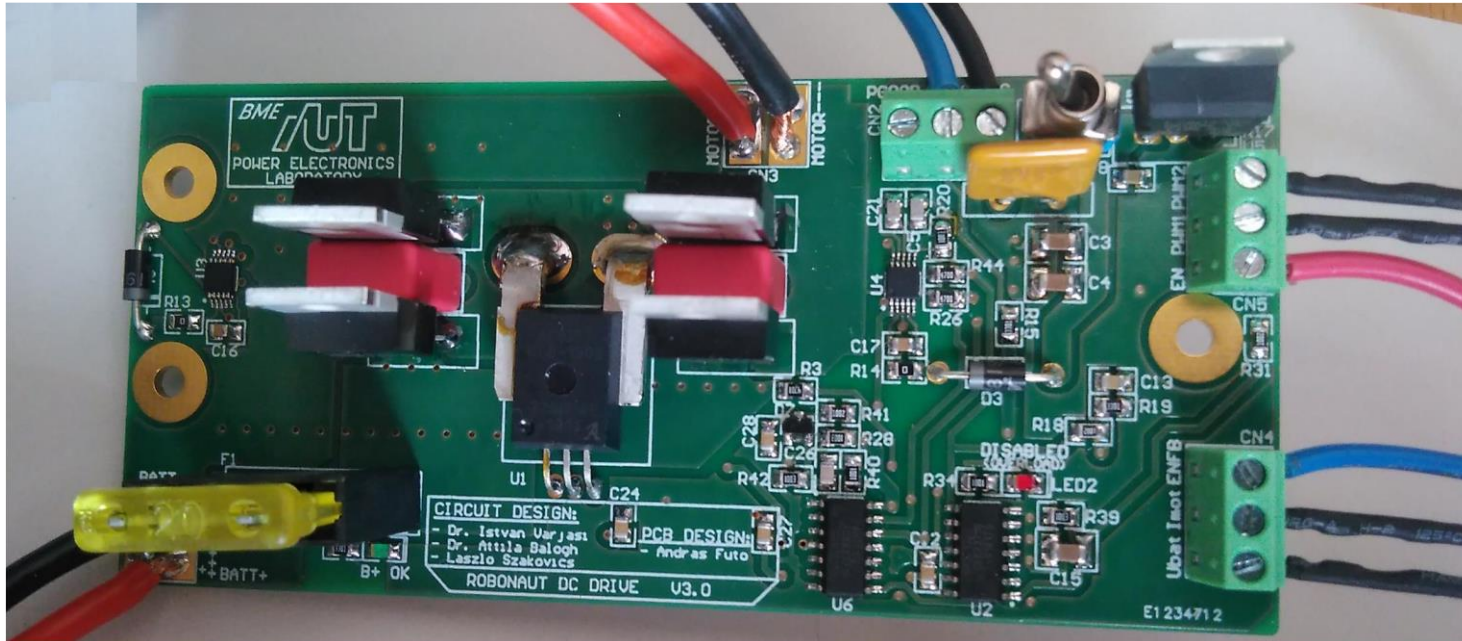


- Felső FET irány kijelölés, alsó FET PWM
- Nagy  $U_b$  esetén a diódák rövid ideig vezetnek, kevés a disszipáció

# Saját régi motorvezérlő elektronika

Motor

Segéd Akku (3Li cella)



PWM 1.hídág (10-30kHz)

PWM 2.hídág (10-30kHz)

Engedélyezés (0-3,3V)

Állapot visszajelzés (0-3,3V)

Motoráram (0-3,3V)

Akku feszültség (0-3,3V)

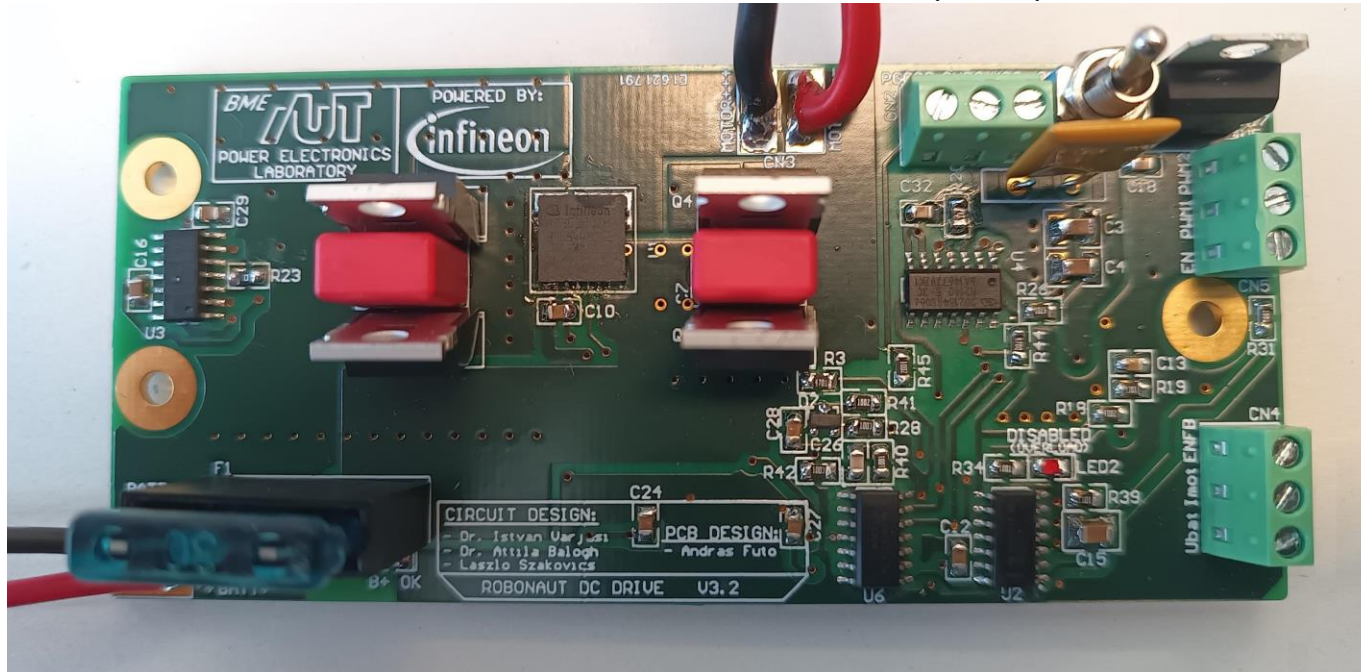
Akkumulátor  
Motorhoz



# Saját új motorvezérlő elektronika

Motor

Segéd Akku  
(3Li cella)



PWM 1.hídág (10-30kHz)  
PWM 2.hídág (10-30kHz)  
Engedélyezés (0-3,3V)

Állapot visszajelzés (0-3,3V)  
Motoráram (0-3,3V)  
Akku feszültség (0-3,3V)

Akkumulátor  
Motorhoz

# Saját motorvezérlő elektronika

- Hídkapcsolású főáramkör
- Integrált Bootstrap félvezető meghajtó áramkör
- UVLO (Régi:7V, Új:9V)
- Összegyújtás elleni védelem (500ns holtidő)
- Főáramköri olvadóbiztosító (20A)
- Akkumulátor feszültségmérés (MH-18,8V)
- Motoráram mérés

Régi:  $1,66V \pm 8,86mV/A$

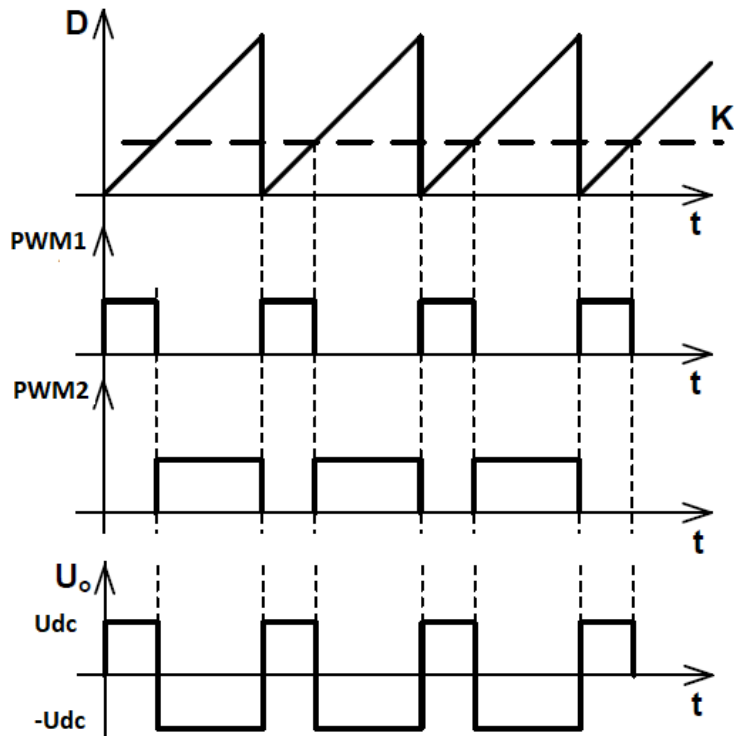
Új:  $1,66V \pm 14,56mV/A$

# Saját motorvezérlő elektronika

- Külső engedélyező jel (magas aktív)
- Állapot visszajelzés (0V-Nem aktív)
- 2 PWM csatorna
- CBC áramkorlátozás @ 60A
  - ☐ PWM letiltása 1 periódusra (áram csökken)
  - ☐ Külső PWM felfutó él visszaengedélyez (áram nő)
- Nincs hűtőborda -> 30A tartós áram a megengedett!
- Nincs DC köri ELKO -> Tápegységről üzemelni tilos!
- Kapcsolási rajz és NYÁK terv elérhető.
  
- Fékezési megoldások
- NiMH <---> Li akkumulátor

# Saját motorvezérlő elektronika

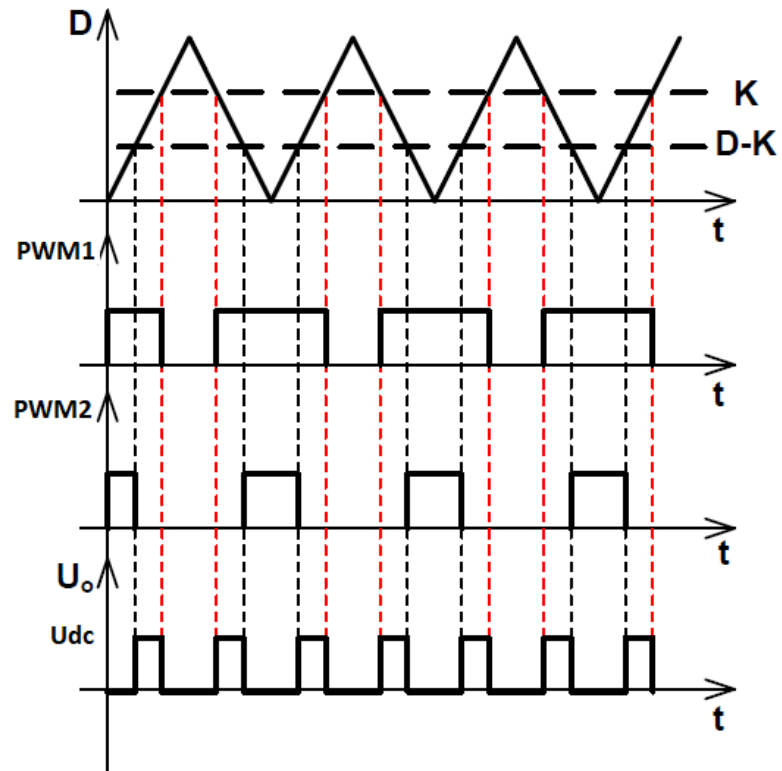
- Ellenütemű vagy eltolt vezérlés megvalósítható a 2 PWM-el



$f_{\text{motor}} = f_{\text{sw}}$  (20-30kHz)

Álló állapotban AC-t kap a motor!

$$U_{\text{mAVG}} = U_{\text{akku}} * (2d-1), d=t_{\text{be}}/T$$



$f_{\text{motor}} = 2 * f_{\text{sw}}$  (40-60kHz)

Közel DC áram, egyenletes járás!

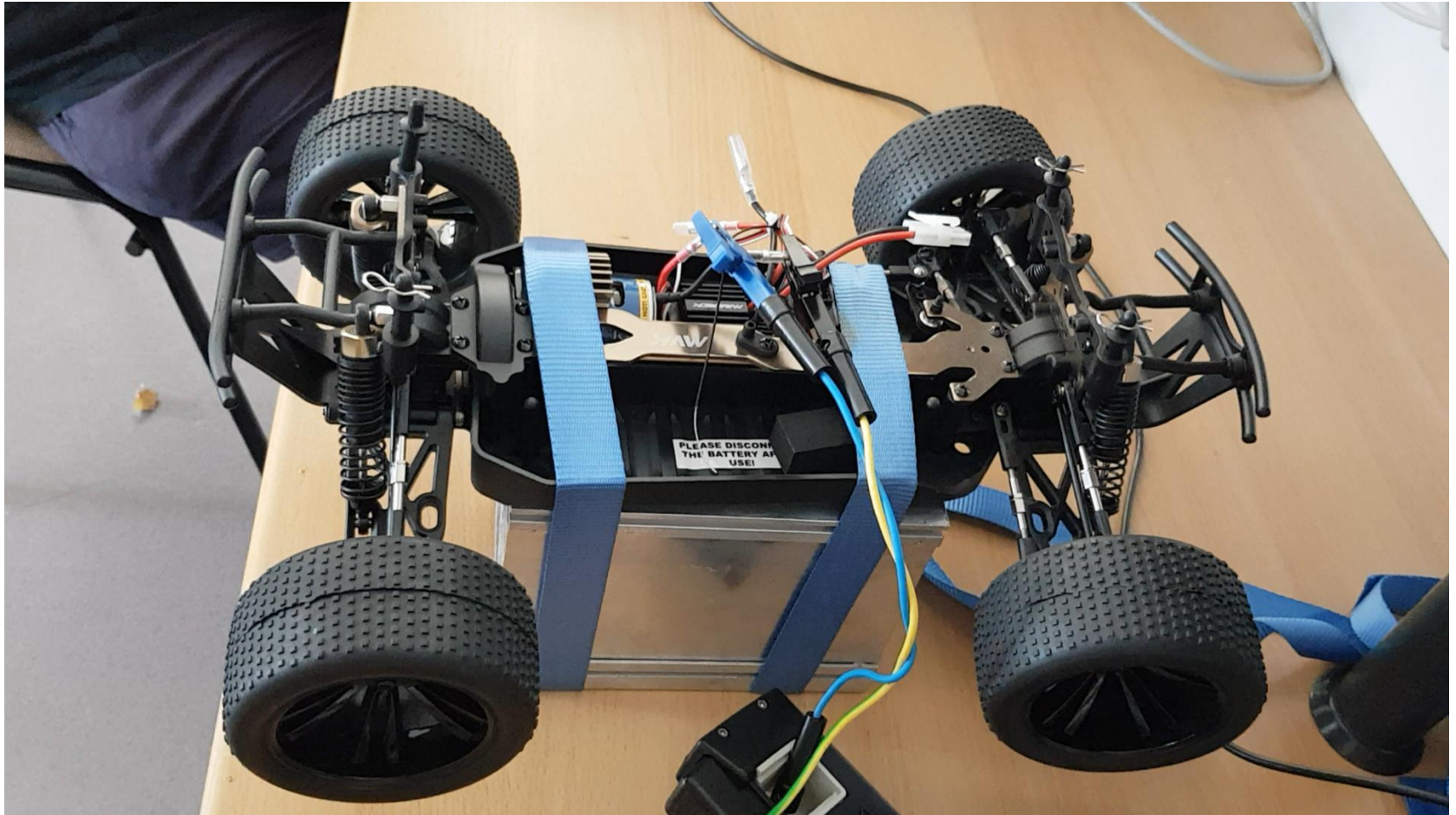
Bootstrap:  $0,05 < d < 0,95$  !!!

# Motor fékezése - Mérés





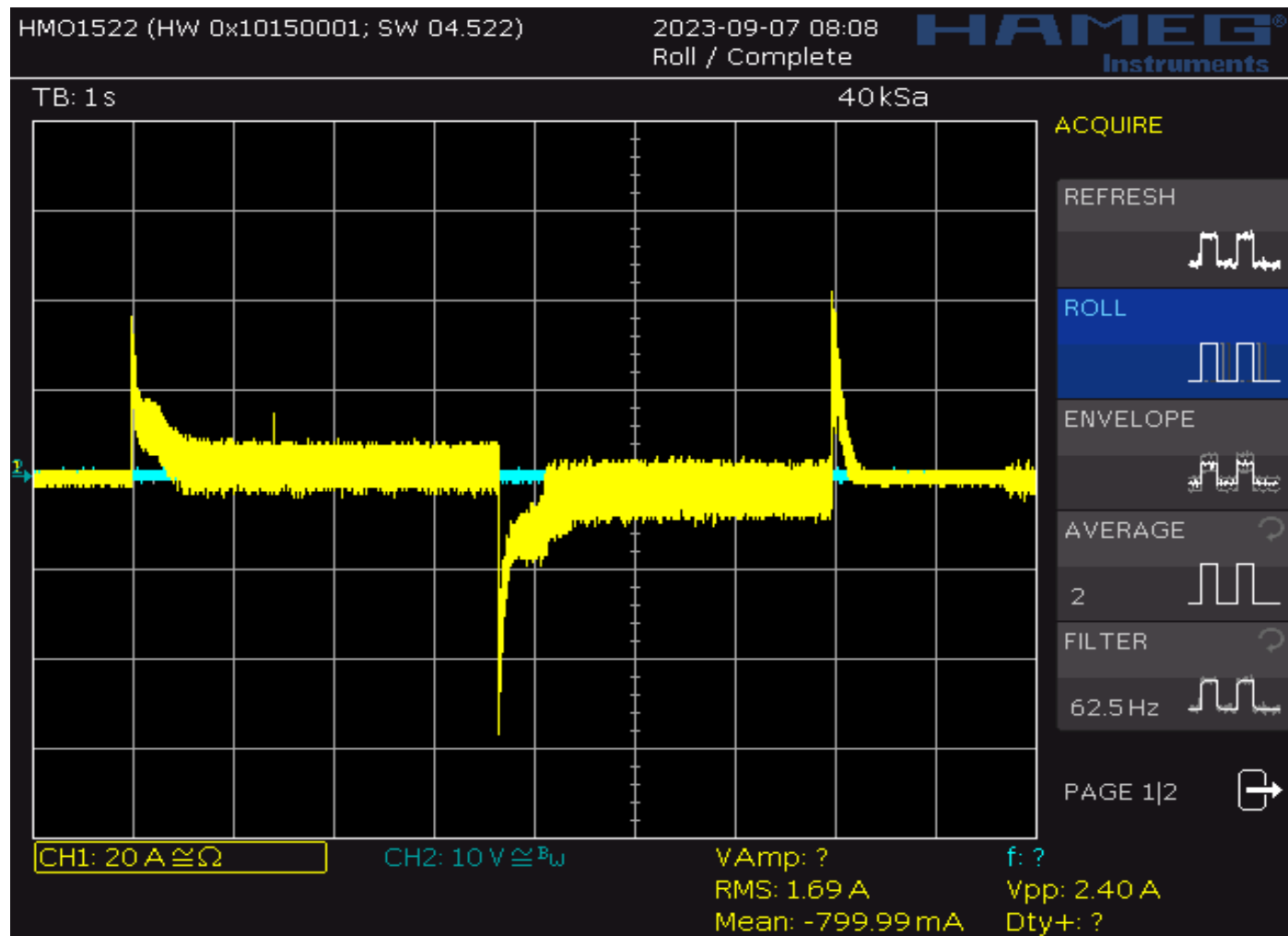
# Motor fékezése - Mérés



# Motor fékezése - Mérés



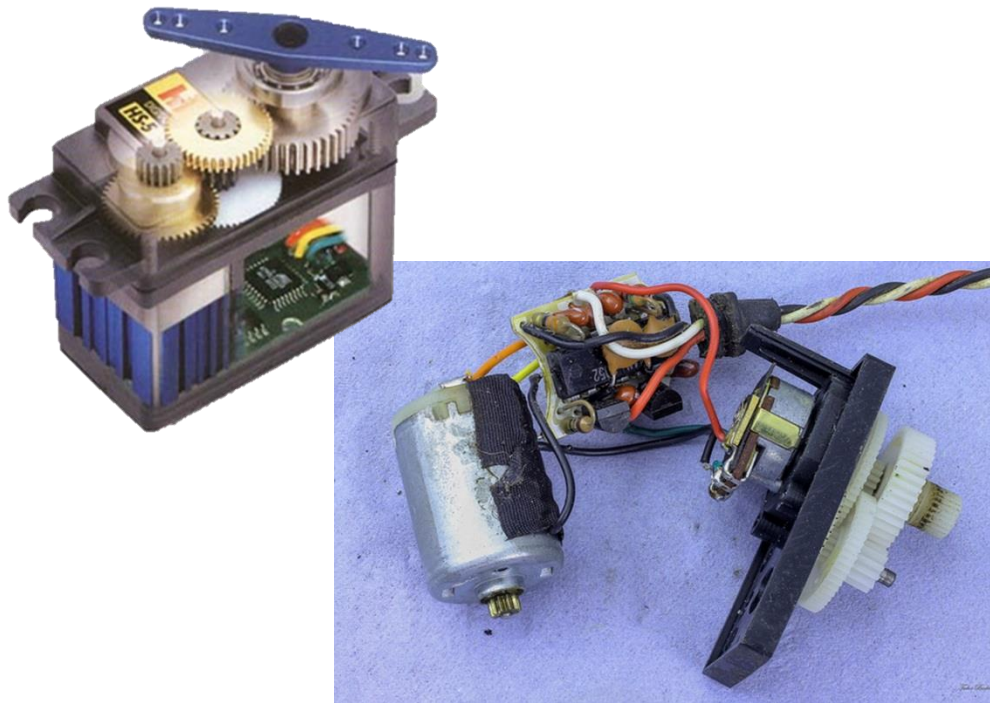
# Motor fékezése - Mérés





# Modellszervók

- Saját belső pozíció visszacsatolás (Potméter)
- Nem feltétlenül van adatlapjuk
- 5–6V tápfeszültség, kb. 120°-os szögtartomány (6V-on nagyobb nyomaték és beállási sebesség)



## Common Servo Connectors

### Hitec

Black -  
Red +  
Yellow Signal



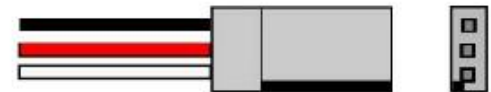
### JR Radio's

Black -  
Red +  
Orange Signal



### Futaba J

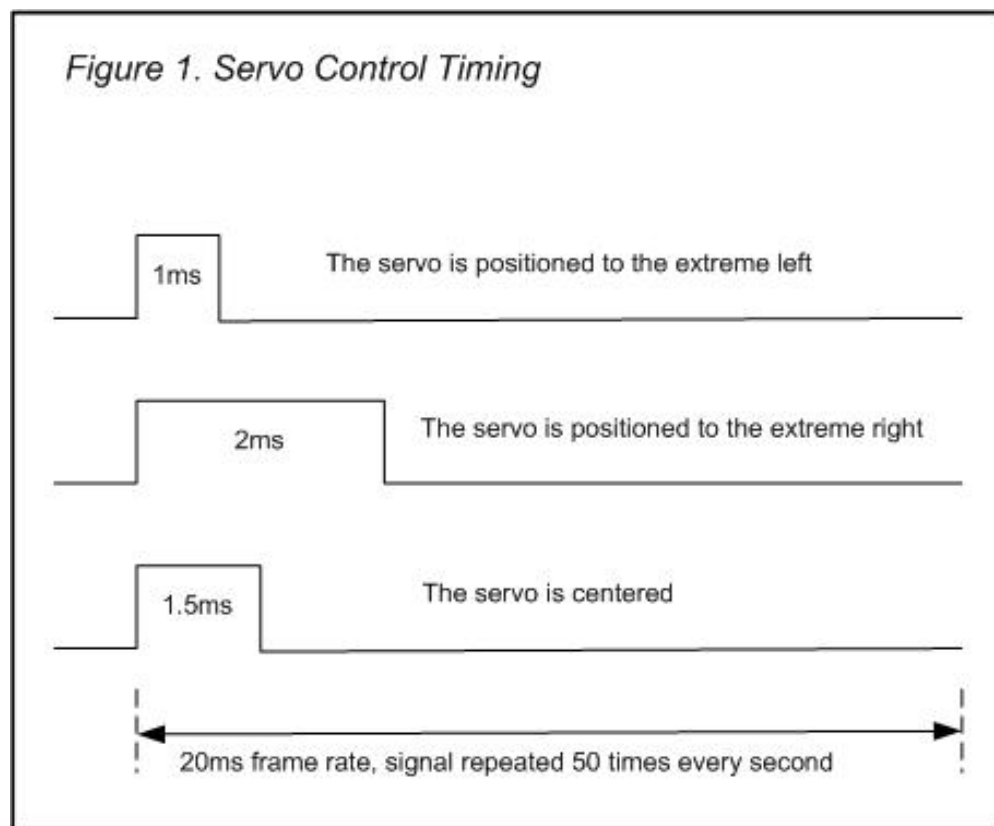
Black -  
Red +  
White Signal



# Modellszervók

## RC PWM

- Kb. 1-2 ms-os impulzushossz
- Analóg szervó
  - 20 ms-os frissítési idő
- Digitális szervó
  - Akár 3 ms-os frissítési idő
- TTL jelszintről megy
  - 3,3 V jellel is vezérelhető
- Kézzel lehetőleg ne forgassuk:
  - Műanyag fogaskerekesek könnyen megadják magukat
- Általános PWM-mel ne vezéreljük!



# Modellszervók

## SRT BH922S szervó

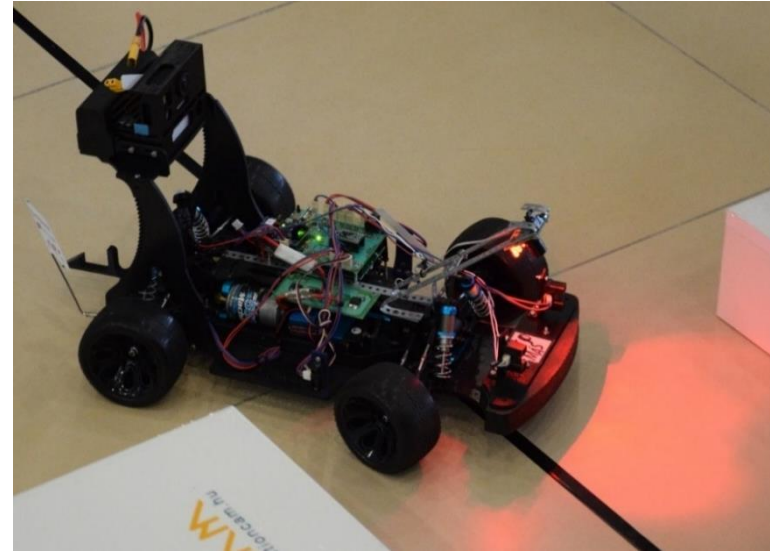
- Ingyen biztosítjuk
- Digitális, fém fogaskerekes
- Brushless motor
- 3 ms frissítési idő (330 Hz)
- Tápfeszültség: 6.0 V - 8.4 V
- Beállási idő:
  - 6.0 V: 80 ms/60°
  - 7.4 V: 60 ms/60°
  - 8.4 V: 55 ms/60°



# Hogyan érzékeljük az előírt pályát?

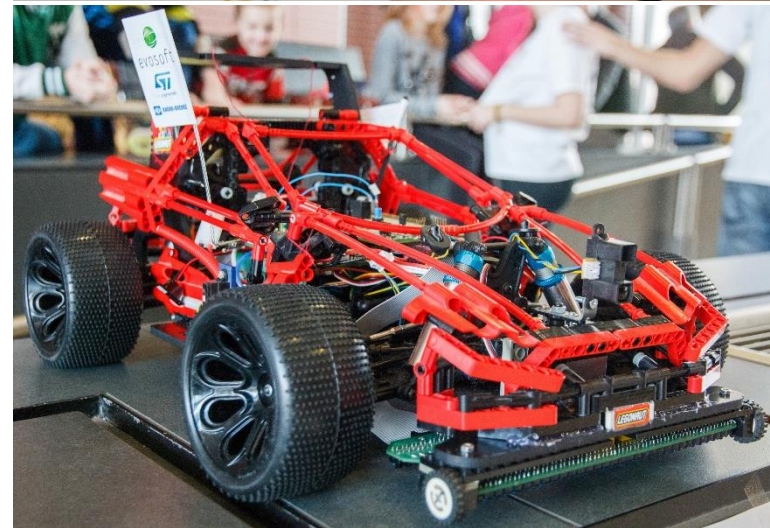
## Kamera

- Működőképes
- Messzebb lehet látni, mint egy reflexiós szenzorsorral
- Kamerás tapasztalat szükséges



## Reflexiós szenzorsor

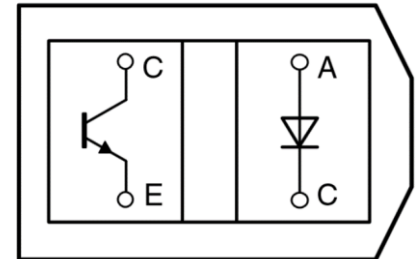
- 16-48 szenzor, érdemes többet
- Mechanikai elhelyezés, felütközés
- Feldolgozás (külső AD/uC/MUX)



# Reflexiós szenzorsor

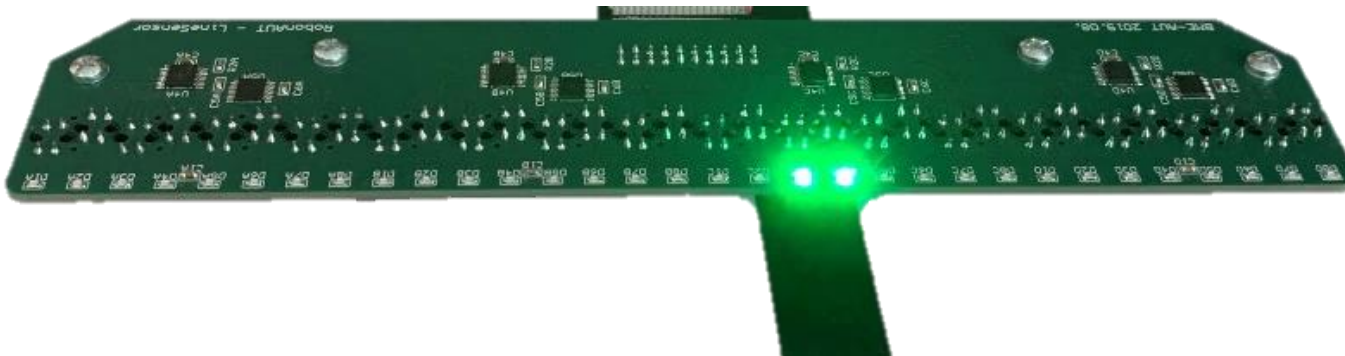
## Tanszék által fejlesztett szenzorsor:

- 32 db TCRT5000, 32 db visszajelző LED
- Dedikált 4 db ADC (ST ADC120)
- 2 db SPI kapcsolat: érzékelés, LED meghajtás (infra, visszajelző)
- Tápfeszültség: 5 – 15 V
- Első, hátsó szenzorsorhoz is alkalmas (orientáció becslés)

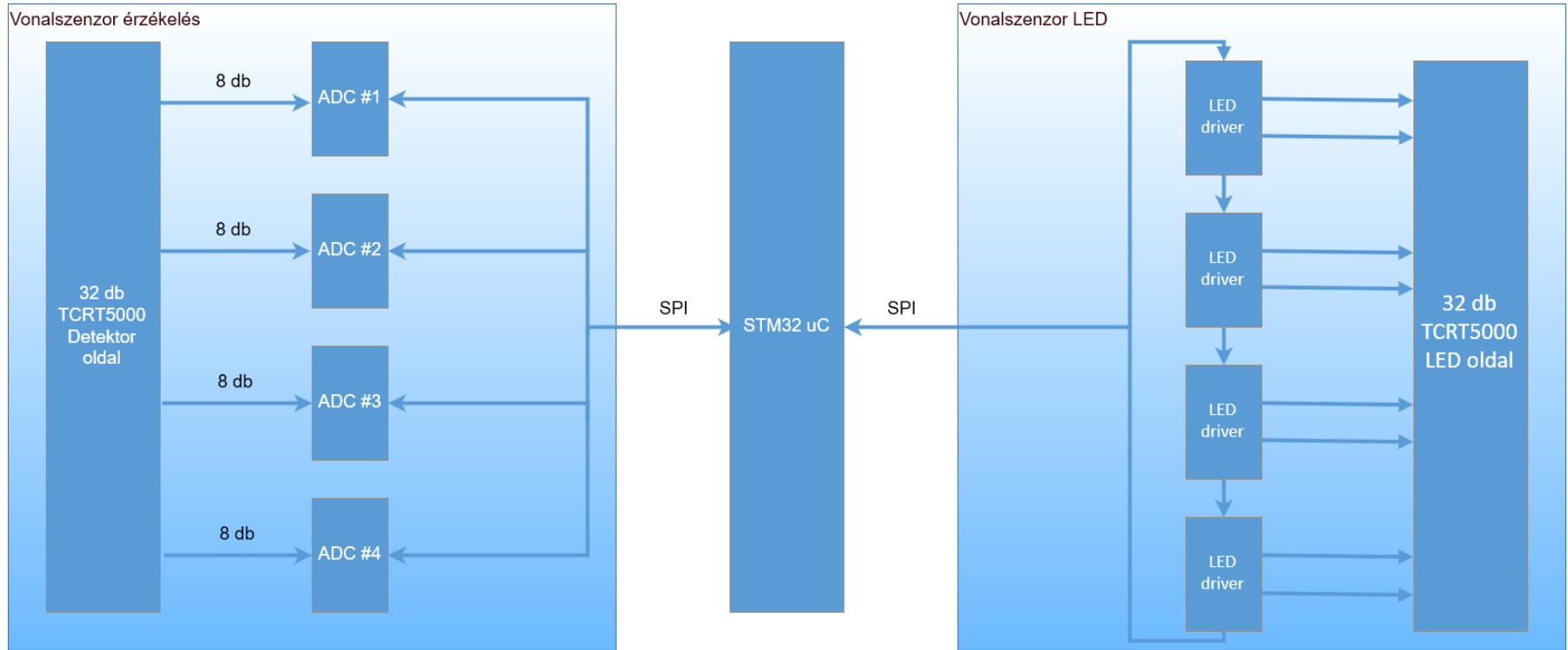


Top view

19156\_1



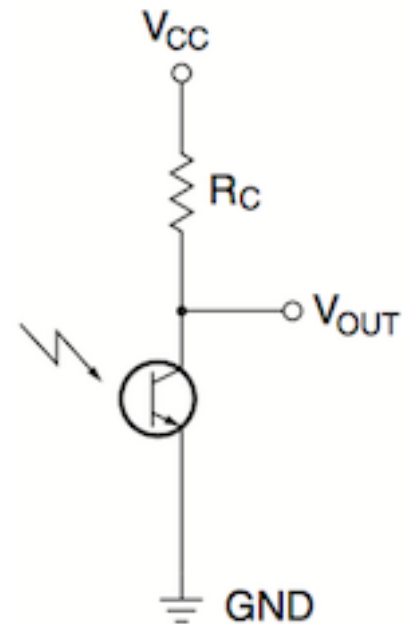
# Reflexiós szenzor működés



# TCRT5000 reflexiós szenzor

## Analóg érzékelés

- $R_C = 15\text{ k}\Omega$
- $I_F = 20\text{ mA}$  ( $I_{F\max} = 60\text{ mA}$ )
- $V_{CC} = 3.3\text{ V}$
- Távolság függvényében hogy alakul a mért jel
- Fekete szigetelőszalag, fényes fa felület, fehér lap



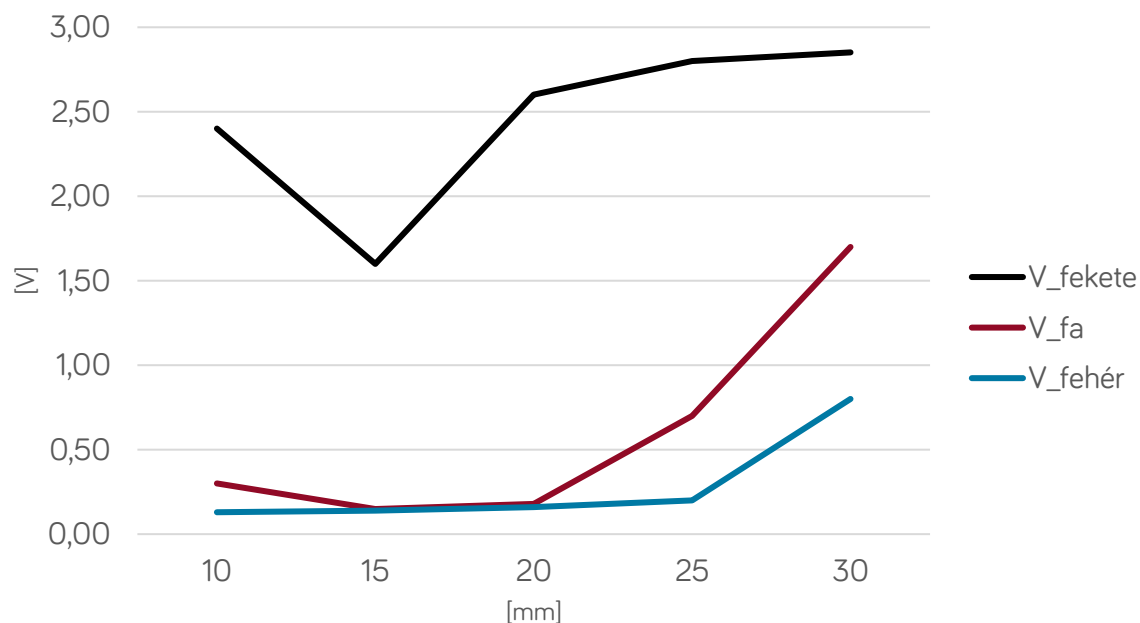
Távolság [mm]	$V_{out}$ [V] (fekete)	$V_{out}$ [V] (fa)	$V_{out}$ [V] (fehér)
10	2,4	0,3	0,13
15	1,6	0,15	0,14
20	2,6	0,18	0,16
25	2,8	0,7	0,2
30	2,85	1,7	0,8



# TCRT5000 reflexiós szenzor

## Analóg érzékelés

- $R_C = 15 \text{ k}\Omega$
- $I_F = 20 \text{ mA}$
- $V_{CC} = 3.3 \text{ V}$



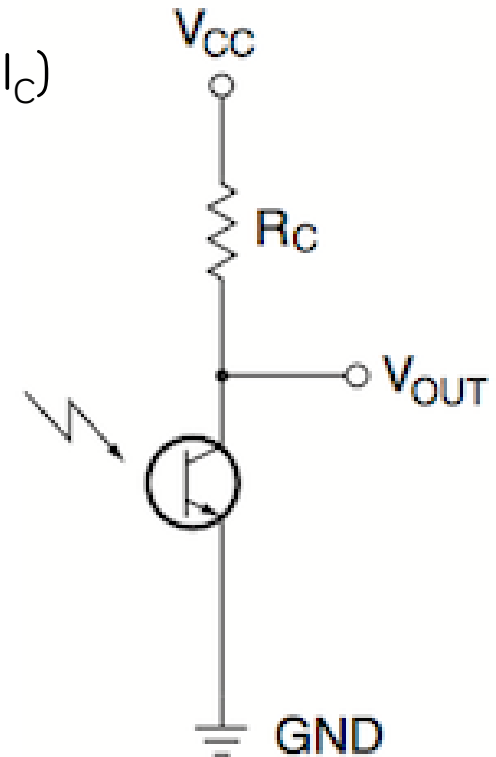
Távolság [mm]	$V_{out}$ [V] (fekete)	$V_{out}$ [V] (fa)	$V_{out}$ [V] (fehér)
10	2,4	0,3	0,13
15	1,6	0,15	0,14
20	2,6	0,18	0,16
25	2,8	0,7	0,2
30	2,85	1,7	0,8



# TCRT5000 reflexiós szenzor

## $R_C$ meghatározása

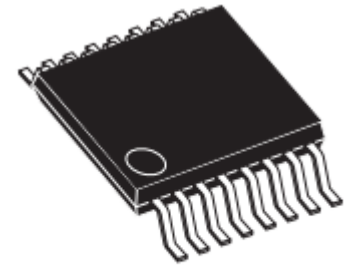
- $R_C$  hatása:
  - Befolyásolja a jelszintet ( $V_{OUT} = V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C$ )
  - Felfutási, lefutási időkre is hatással van ( $t_R, t_F$ )
- $R_C$  csökkentése:
  - Jelszint csökken
  - $t_R, t_F$  csökken
- $R_C$  növelése:
  - Jelszint nő
  - $t_R, t_F$  nő



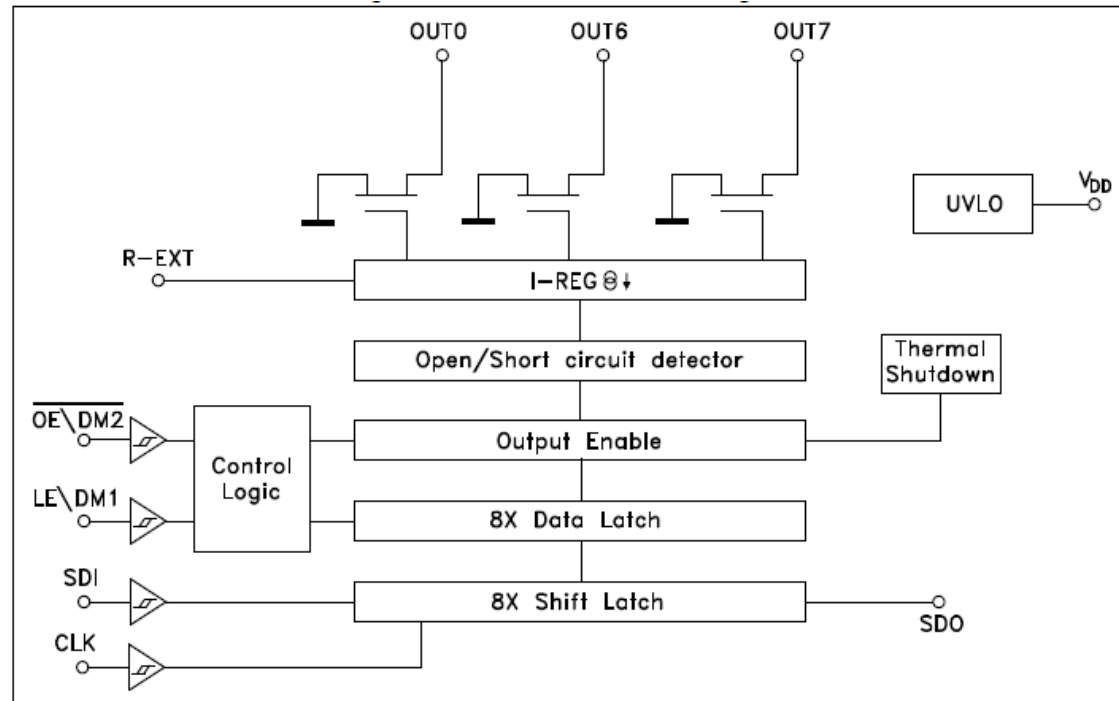
# LED meghajtó

## STP08DP05TTR

- Ennél a típusnál alul nincs PAD
  - TSSOP16
- Kaszkádosisítható
  - Shift-regiszter
- Áramkorlát (1 ellenállás)
- Logikai táp: 3,3 V vagy 5 V
- Kimeneteket földre húzza le
- OE bemenet:
  - PWM-mel vezérelhető  
(pl. visszajelző LED sorhoz)



**TSSOP16**

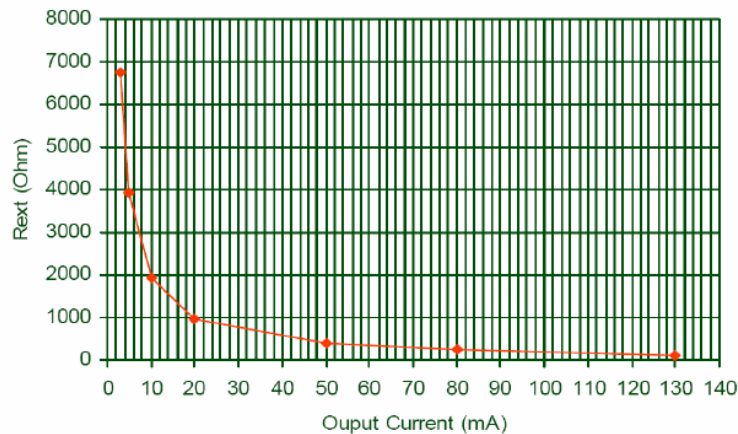


# LED meghajtó

## STP08DP05TTR

- Görbe alapján áramkorlát
- Max. 100 mA csatornánként
- TSSOP, termál pad nélkül:  
Max. 125°C

Figure 11. Output current- $R_{EXT}$  resistor



$T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{drop} = 0.3\text{ V}$ ; 1.2 V,  $I_{set} = 3\text{ mA}$ ; 5 mA; 10 mA; 20 mA; 50 mA; 80 mA, Max

Table 10. Output current- $R_{EXT}$  resistor

Output current (mA)	3	5	10	20	50	80	130
$R_{ext} (\Omega)$	6740	3930	1913	963	386	241	124

Table 5. Thermal data

Symbol	Parameter	DIP-16	SO-16	TSSOP-16	TSSOP-16 <sup>(1)</sup> (exposed pad)	Unit
$R_{thJA}$	Thermal resistance junction-ambient	90	125	140	37.5	$^\circ\text{C/W}$

Table 4. Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{DD}$	Supply voltage $I_{GND}$	0 to 7	V
$V_O$	Output voltage	-0.5 to 20	V
$I_O$	Output current	100	mA
$I_{GND}$	GND terminal current	800	mA
$f_{CLK}$	Clock frequency	50	MHz
$T_{OPR}$	Operating temperature range	-40 to +125	$^\circ\text{C}$
$T_{STG}$	Storage temperature range	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

# LED meghajtó

## STP08DP05TTR

$$P_D = V_{DD} \cdot I_{DD} + \sum V_{o,i} \cdot I_{CH,i}$$

$$V_{DD} = 3,3 \text{ V}$$

$$I_{DD} = 5 \text{ mA (max)}$$

$$I_{CH,i} = 20 \text{ mA}$$

$$V_{LED} = 3,3 \text{ V}$$

$$V_F = 1,1 \text{ V (ld. ábra)}$$

$$V_{o,i} = V_{LED} - V_F = 2,2 \text{ V}$$

8 LED-re:

$$P_D = 3,3 \text{ V} \cdot 5 \text{ mA} + 8 \cdot 2,2 \text{ V} \cdot 20 \text{ mA} = 368,5 \text{ mW}$$

$$\Delta T = \theta_{ja} \cdot P_D = 140 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \cdot 0,3685 \text{ W} = \mathbf{51,59^{\circ}\text{C}}$$

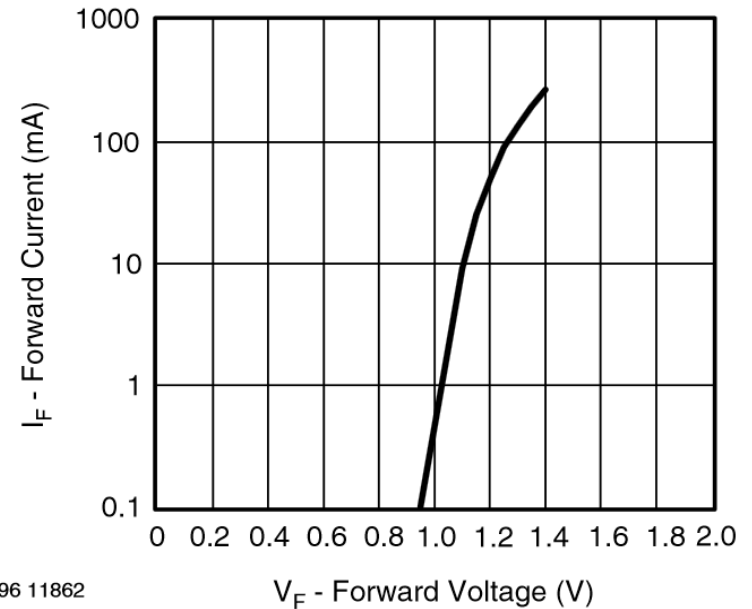
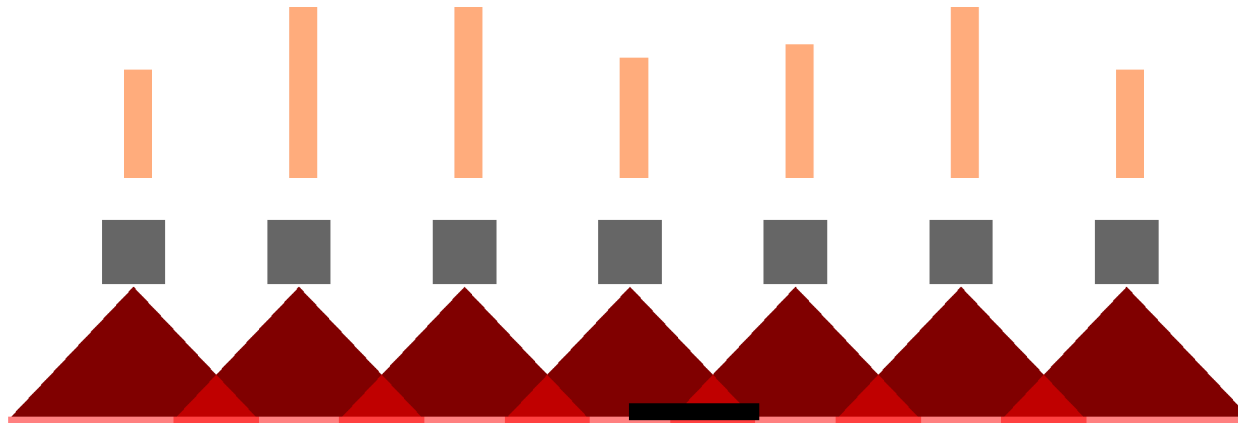


Fig. 4 - Forward Current vs. Forward Voltage

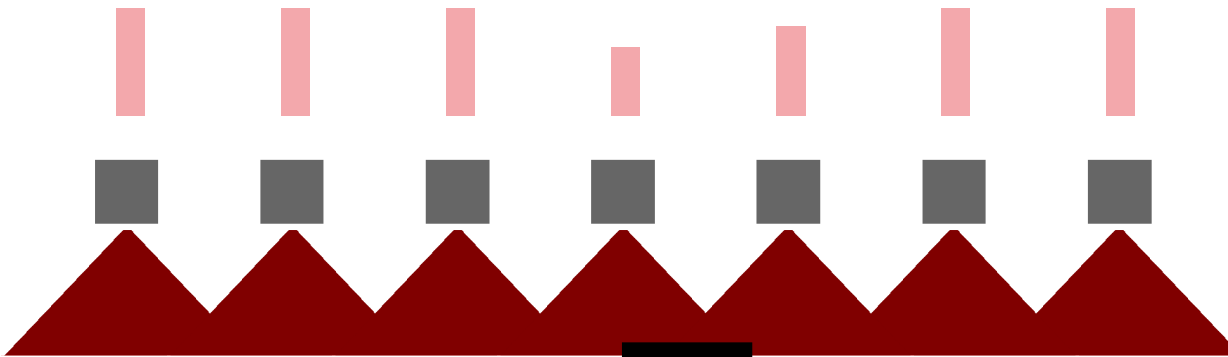
TCRT5000

# TCRT5000 reflexiós szenzor

**Felváltva világítás**



Egyszerre világító LED-ek



Felváltva világító LED-ek

# TCRT5000 szenzoros példa

## AD átalakító tulajdonságai – ADC120

- 8 csatorna összesen
- 12 bit
- SPI interfész, SPI CLK ütemezi a konverziót
- Mintavétel 50 kps és 1 Msps között (órajel 0.8 MHz és 16 MHz között)
- Konverzió 16 órajel, max. 20  $\mu$ s

## 32 db szenzor – TCRT5000

- $t_R = 140 \mu$ s
- $t_F = 140 \mu$ s

# TCRT5000 szenzoros példa

## LED meghajtó – STP08DP05TTR

- $t_{PLH1} = 50 \text{ ns}$
- $t_{CLK} = 4 * 8 * 1 \mu\text{s} = 32 \mu\text{s}$  (kaskádosítás)
- $t_{DRV} = t_{PHL1} + t_{CLK} = 32 \mu\text{s}$

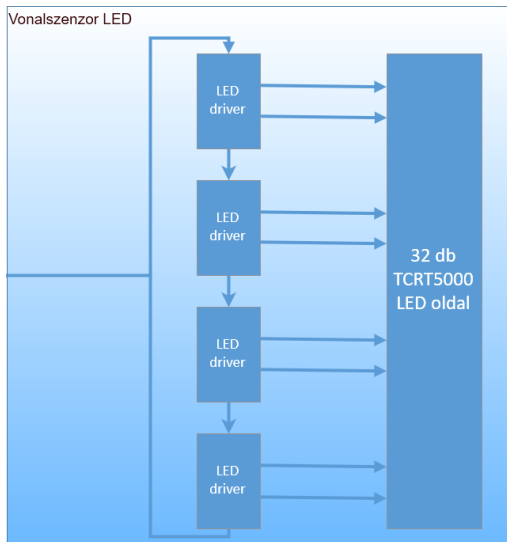
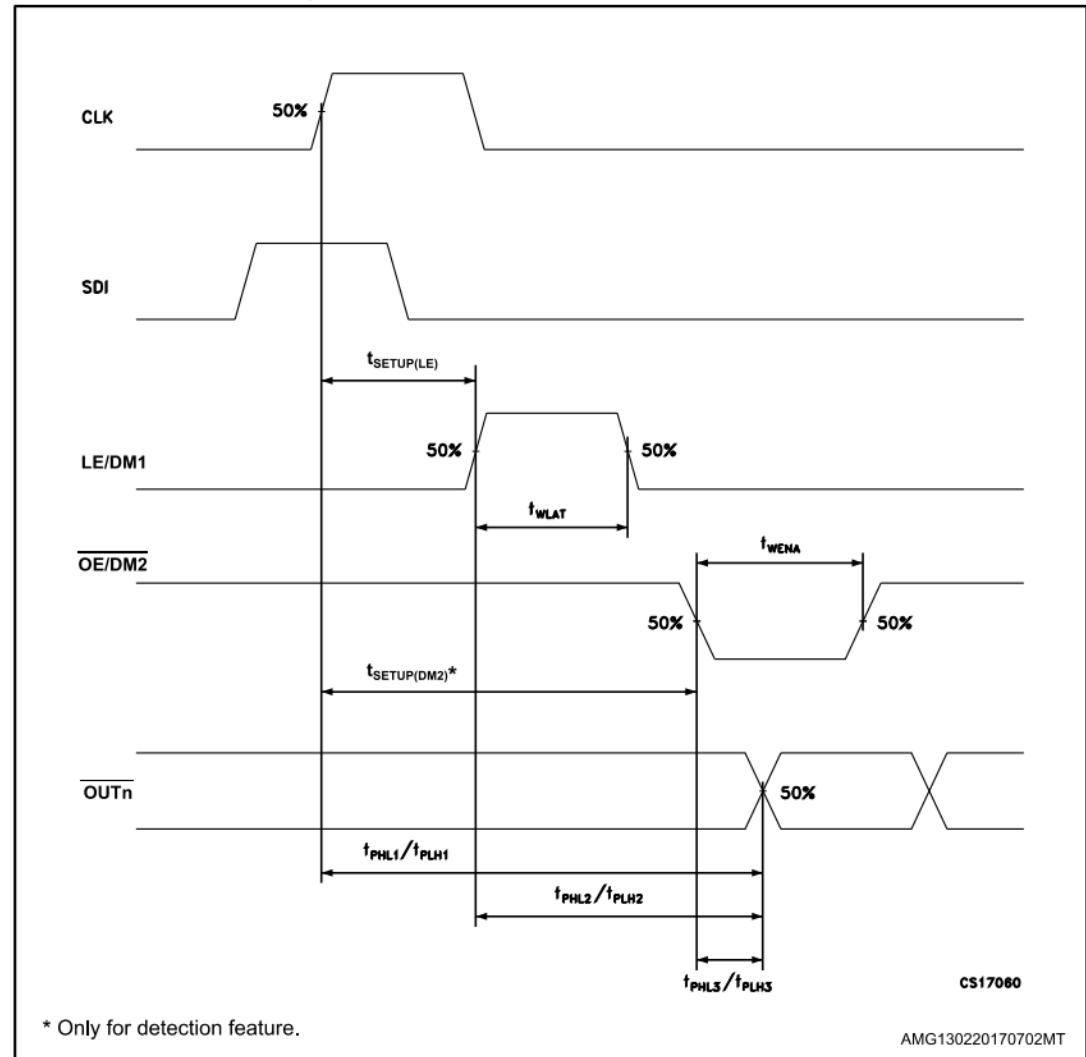


Figure 9: Clock, serial-in, latch, enable, outputs





# TCRT5000 szenzoros példa

## LED meghajtó - STP08DP05TTR

- $t_{drv} = 32 \mu s$

## Szenzor - TCRT5000

- $t_f = 140 \mu s$

## A/D konverter

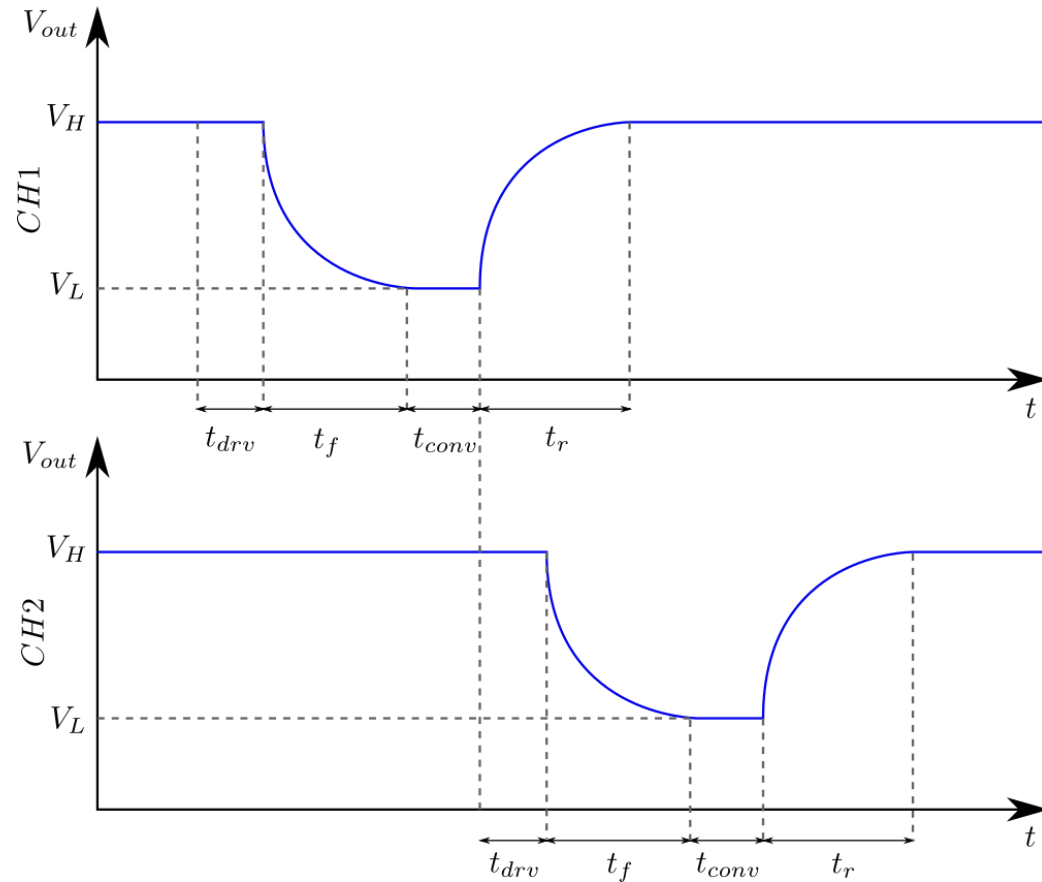
- $t_{conv} = 2 \cdot 20 \mu s$

## Szenzorok beolvasása egyesével

$$t_p = 32 \cdot (t_{drv} + t_f + t_{conv})$$
$$\approx 6,5 ms$$

## Szenzorok beolvasása négyesével

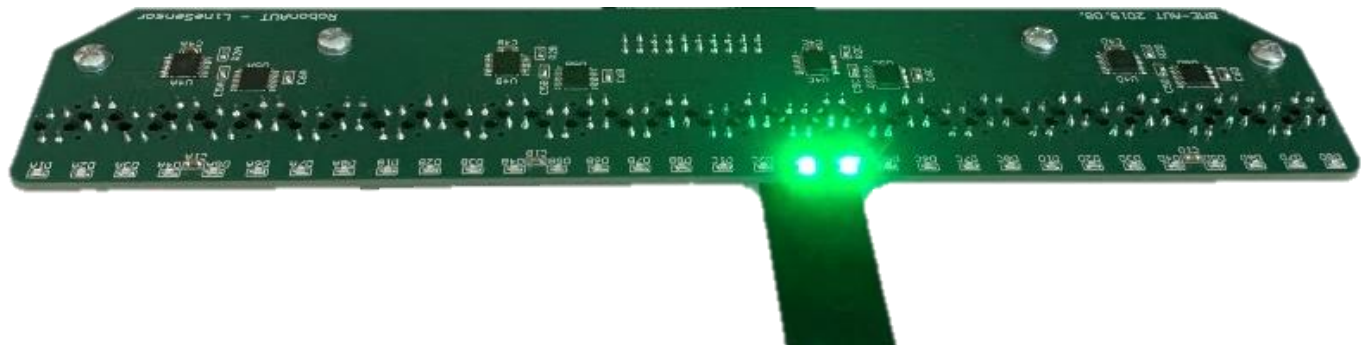
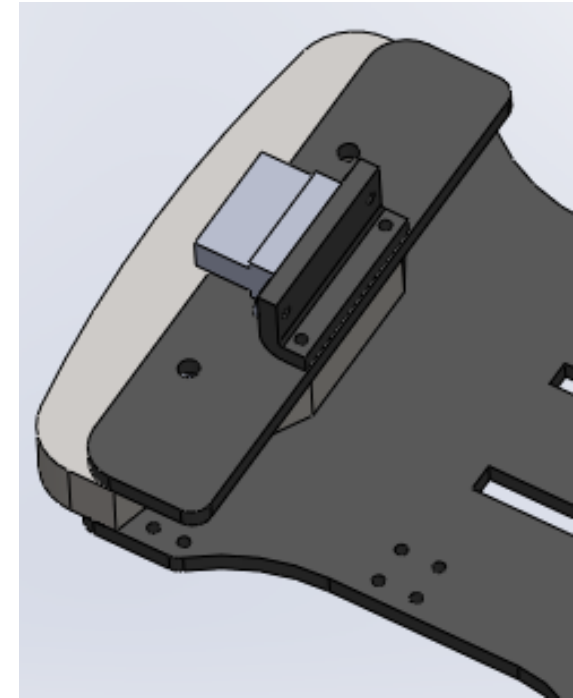
$$t_p = 8 \cdot (t_{drv} + t_f) + 32 \cdot t_{conv}$$
$$\approx 2,7 ms$$



# Vonalérzékelés

## Összefoglalva:

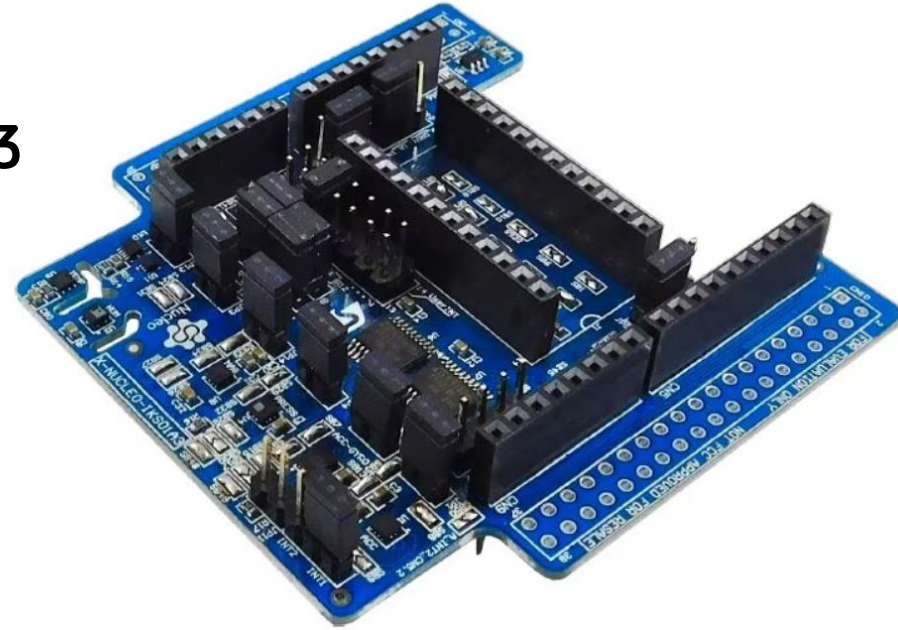
- Ciklusidőt ellenőrizzék
- Adaptív küszöbözés
- Mechanikai rögzítés, védelem (bumpert biztosítunk)
- Mechanika megfelelő kimerevítése
  - Az autó gyorsulás közben változtatja a hasmagasságát!



# Inerciális modul

## Pontos típus - X-NUCLEO-IKS01A3

- Rátehető a Nucleo kártyára
- Számtalan MEMS szenzor (IMU, magnetométer, nyomás, hőmérséklet, pára)
- I2C interfész



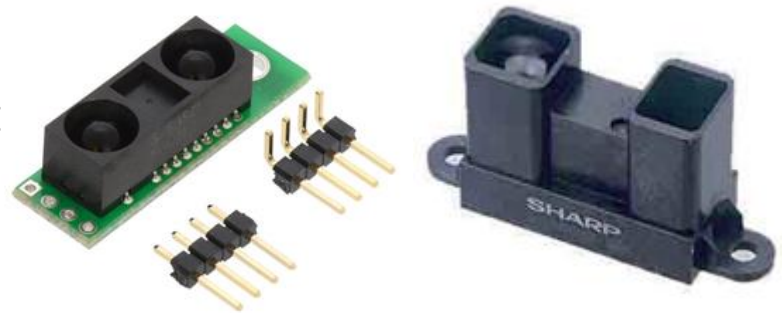
## LSM6DSO giroszkóp, gyorsulásmérő

- Ügyességi feladatok: relatív lokalizáció, libikóka
- Gyorsasági pályán kisodródás detektálásra is jó lehet
- Integrálás – kumulatív hiba!
  - Bekapcsoláskor kalibrálás az offset-re sok minta átlagából (**több sec**)
  - Megfelelő helyen újrakalibrálás

# Sharp infravörös távolságszenzor

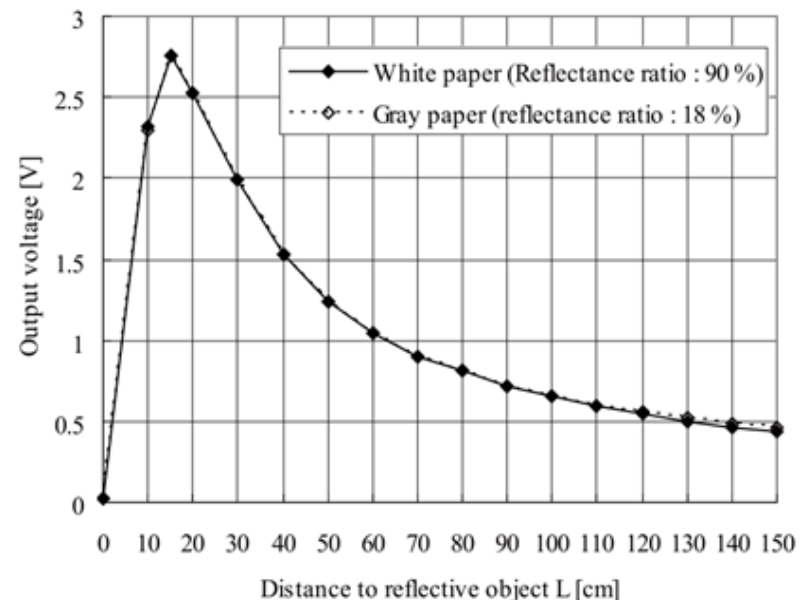
## Többféle változat (analóg szenzorok):

- GP2Y0A02YK0F: 20 – 150 cm
- GP2Y0A41SK0F: 4 – 30 cm
- GP2Y0A60SZLF: 10 – 150 cm (nehezebben beszerezhető)
- Ingyen biztosítunk 2 + 2 db-ot



## Nehézségek:

- Íves, fényes akadályok megzavarják
- Visszaforduló karakterisztika
- Számít a szenzor orientációja



# Ultrahangos távolságszenzor

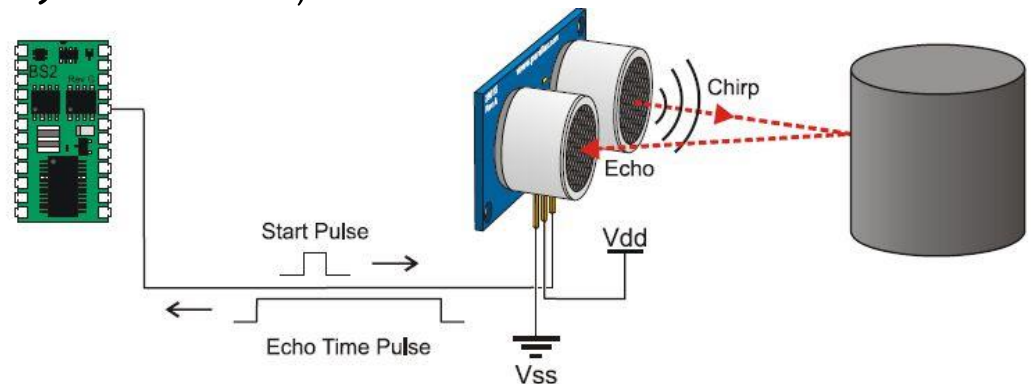
## Parallax PING :

- Méréshatár: 2 cm – 3 m
- Digitális kimenet (impulzus)



## Nehézségek:

- Reflexiók miatt hibás mérések
- Eredeti szenzor drága (~ 15 ezer Ft)
- Kínai változat (HC-SR04) 500 Ft, hivatalos adatlap nincs



# ST távolságszenzor

**VL53L1X/VL51L0X** Time-of-Flight szenzor:

- I2C interfész (0x52-es cím, változtatható)
- API elérhető
- Mérési távolság:
  - VL53L1X: max. 4 m
  - VL53L0X: max. 2 m
- Hosszú kábellel lehetnek problémák
- I2C és mérési problémák
- Más típusú eszköz ne legyen az I2C buszon

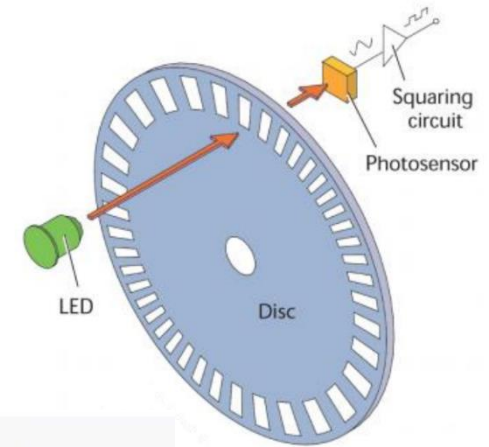




# Inkrementális adók

## Optikai enkóder

- Fototranzisztor + LED
- Akár régi egérből is kisedhető
- Elhelyezés: motor vagy főtengely
- Nehéz robusztusra megcsinálni



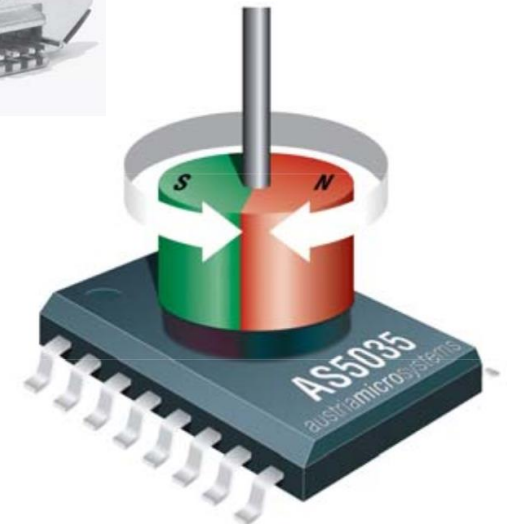
## Kapacitív enkóder

- AMT103
- Átmenő tengelyes -> főtengelyre
- ~10 ezer Ft



## Mágneses enkóder

- Radiális (diametrikus) mágnes + szenzor
- Motortengelyre
- Következőket biztosítjuk:
  - Allegro A1333LLETR-T 15 bites szenzor
  - Adapter nyák
  - Mágnes





# Szenzorok összefoglalása

- **Távolságszenzor**

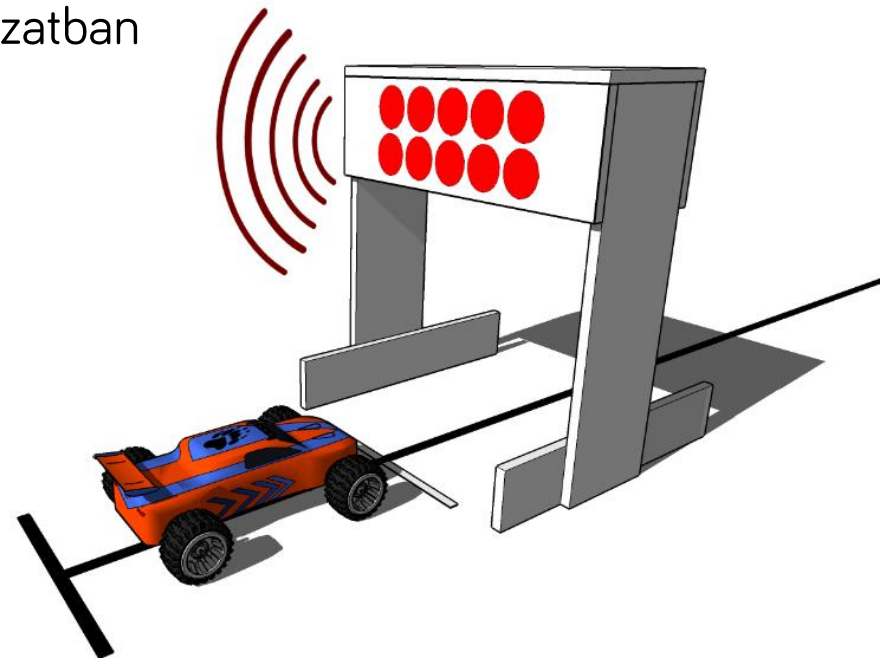
- Kalóz robot miatt: nem szabad ütközni vele
- Safety car miatt: követés, előzés, érzékelés (előttem van a Safety car?)
- Forgatni vagy előre 3 szenzort rakni

- **Inkrementális adó**

- Sebességvisszacsatolás szükséges
- Megfelelő felbontás (enkóderes példa RRT előadáson lesz)
- Mechanikai rögzítés

# Rádiós modul

- 2 db előre programozott Silicon Labs **xG24-DK2601B**
- Vevő az autó indításához, kalóz robot helyzetéhez
- Adó teszteléshez: gombokon vagy USB-n
- UART kommunikáció a robot felé
- Pontos protokoll, lábkiosztás a szabályzatban



# Felügyeleti kommunikáció

## Bluetooth SPP

- SPP (Serial Port Profile) profil
  - PC-n virtuális soros portként
  - Eszköznél UART-on
  - > Egyszerűen használható
- Saját antennás modul, pl. *BTM-112*
- Pár ezer Ft
- Class 1 esetén a legnagyobb a hatótáv



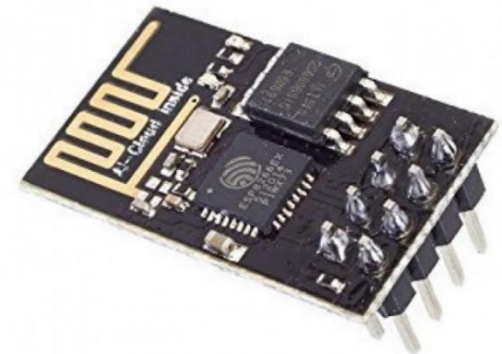
## Bluetooth LE

- SPP kezd eltűnni
- Bonyolultabb kommunikáció
- PC-n is bonyolultabb
- SPP-szerű megoldások (pl. Silabs LE Cable Replacement)

# Felügyeleti kommunikáció

## WiFi megoldás

- Használata:
  - Kapcsolódni kell: Station vagy Access Point mód
  - TCP vagy UDP kapcsolat szükséges
- Saját antennás modul, pl. *ESP-01*
- Nagyobb áramigény: 400 mA felett (Bluetooth 30 mA)
- Pár ezer Ft
- AT parancsok a konfigurációhoz, adatátvitelhez
- ESP modulokhoz rengeteg leírás, példa



# Hardvertervezési, beszerzési tudnivalók

- Nincs közös beszerzési kör, de érdemes tartani az ütemtervet:
  - Kiegészítő kártya gyártásba leadva: **2024. október 21.**
  - Mentorral konzultálni a beszerzésekről és gyártásról
- Szabadon felhasználható költségkeret:
  - Max. 80 eFt
  - Utófinanszírozás, feltétele a Q2 és Q3 teljesítése
- Hardvertervezési segédlet:
  - Ajánlott beszállítók (Lomex, Chipcad, Farnell, ingyenes gyártói minták)
  - Tervezési szabályok, tanácsok (kapcsolási rajz, nyomtatott áramkör)
  - Tervezési segédanyagok
  - Laborfoglalás menete

# Tanszéki holnap, részletes versenyleírás

- Tanszéki honlap:
  - Segédletek:
    - HW tervezés
    - UART üzenetek csomagolása
  - Szeminárium anyagai
  - Dokumentációk
  - Szabályzat
- Szabályzat:
  - **Mindenki olvassa el!**
  - Versenyfeladatok
  - Pontozás, időpontok
  - Rádiós kommunikáció
  - Műszaki rajzok

