

# Villamos alapismeretek

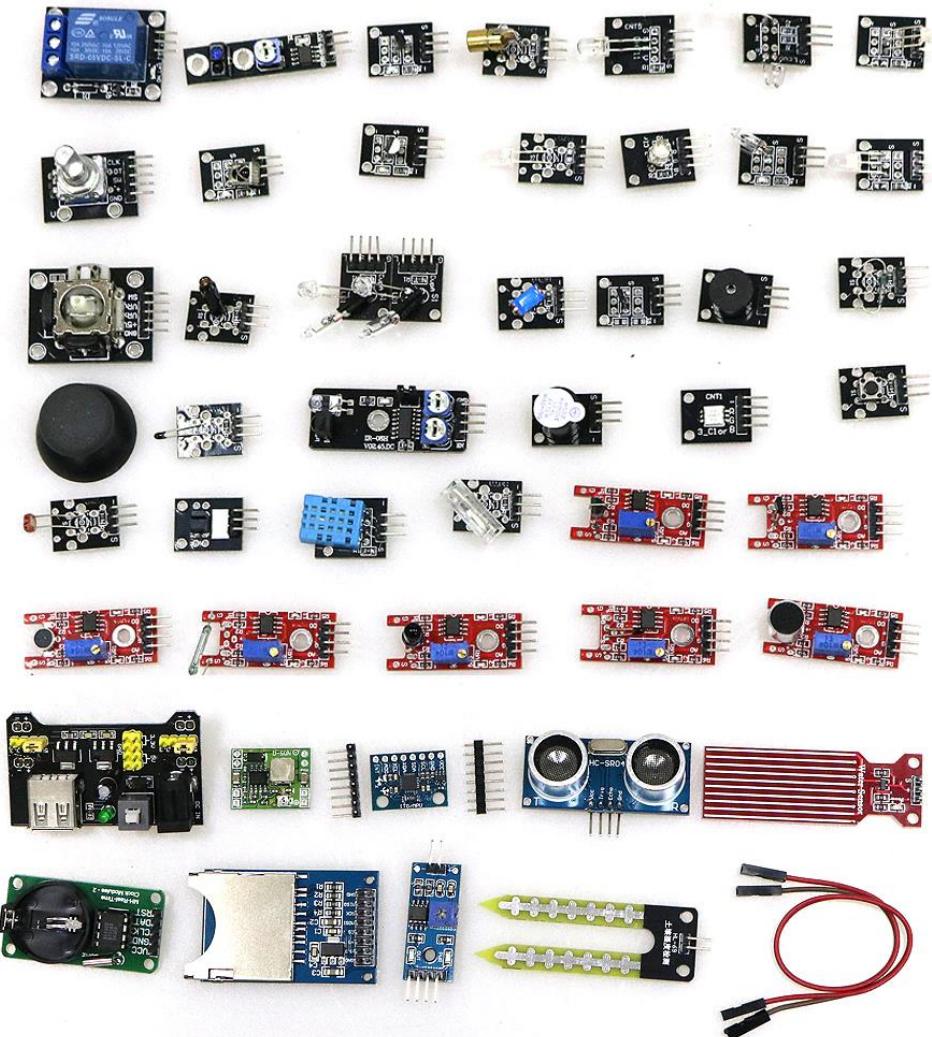
13 - A fizikai valóság érzékelése, szenzorika.

Dr. Géczy Attila, egyetemi docens, BME-ETT

Dr. Dudás Levente, egyetemi adjunktus, BME-HVT

**Legutolsó módosítás: 2024. 12. 18.**

# BEVEZETÉS – DE MI IS AZ A SZENZOR



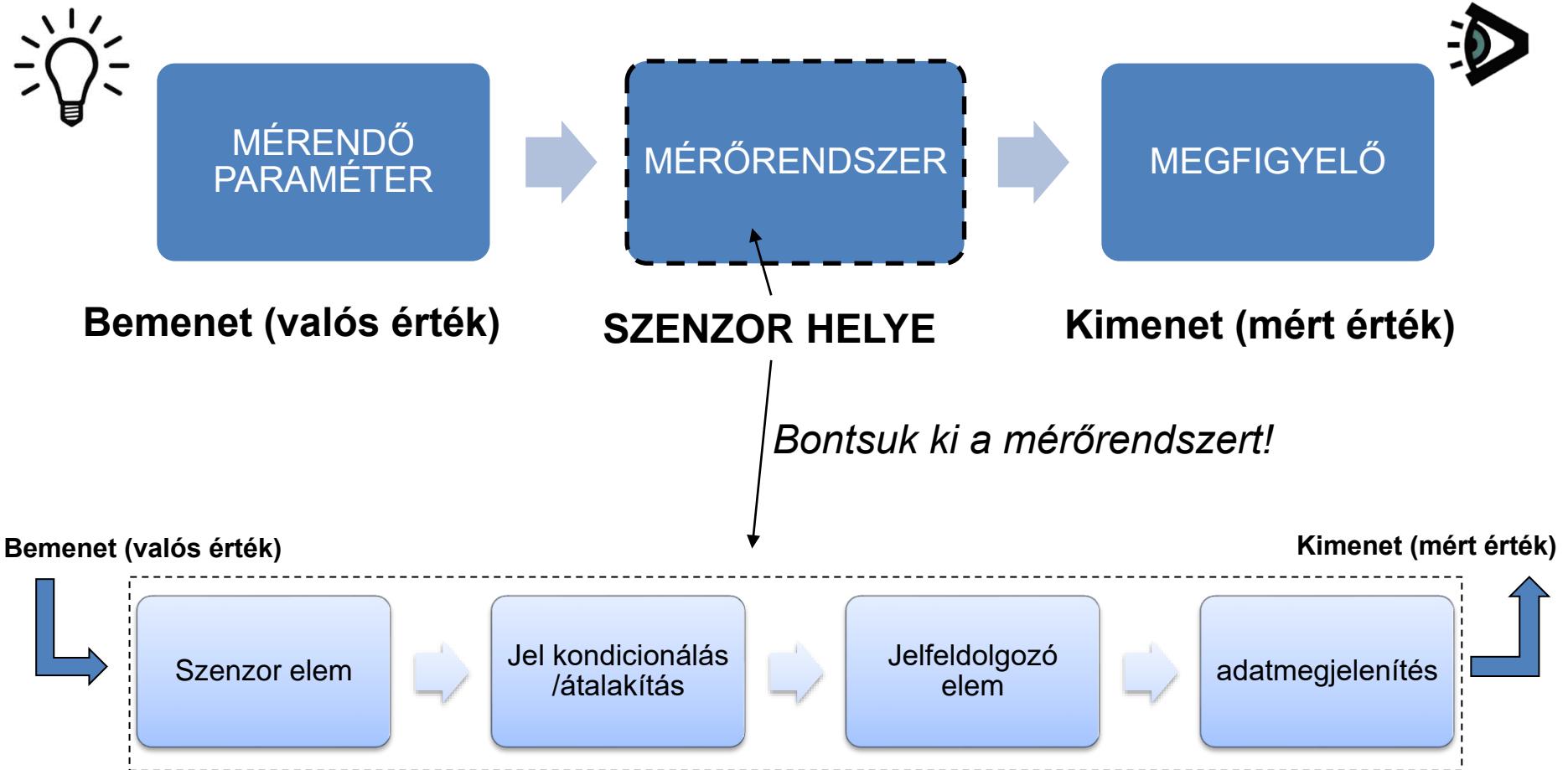
Egy tipikus „legőzös” szenzorcsomag.

45-féle szenzor, kiegészítőkkel.

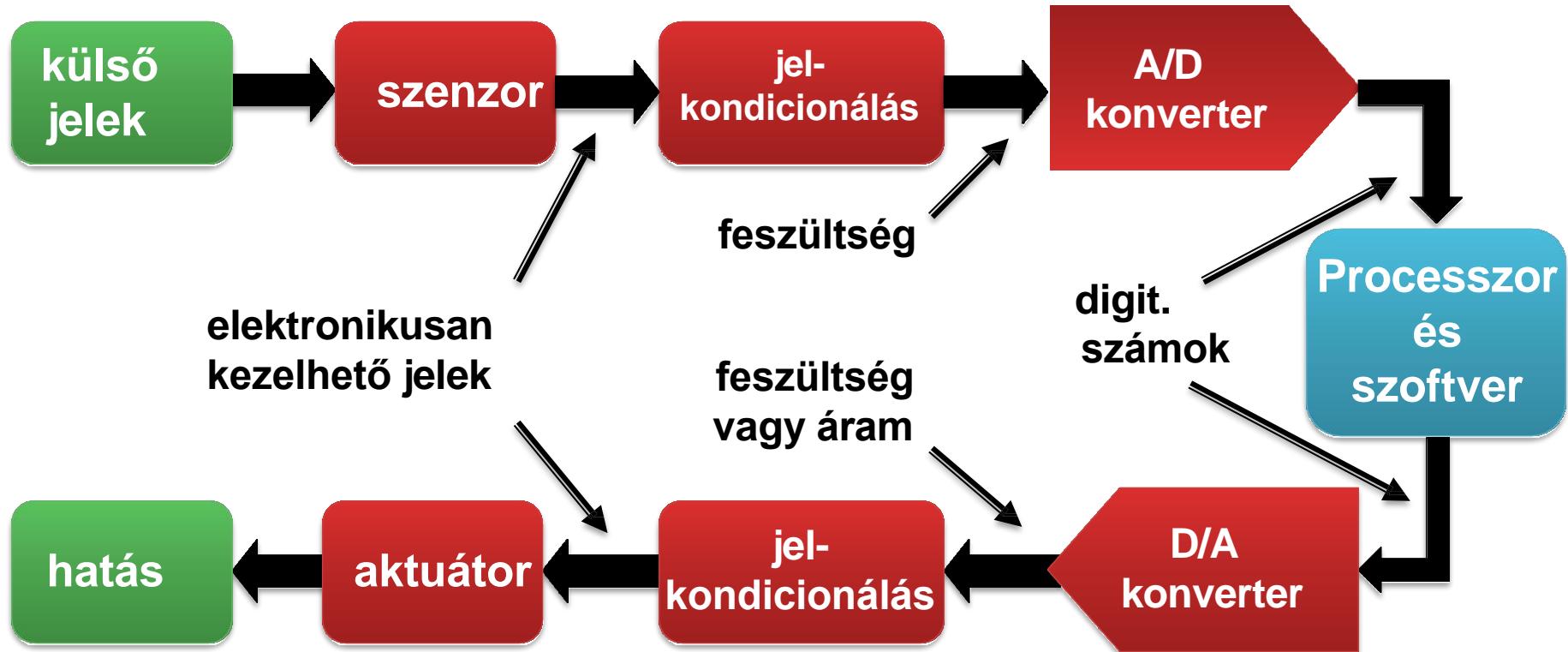
Online webshopból 26 EUR!

A szenzorika mára olcsóvá és elérhetővé vált bizonyos keretek között.

# SZENZOR AZ ELEKTRONIKAI RENDSZERBEN



# AKTUÁTOR AZ ELEKTRONIKAI RENDSZERBEN



# ÉRZÉKELŐK CSOPORTOSÍTÁSA



A szenzor által vizsgált jelenségek lehetnek:

- Mechanikus mennyiségek
- Termikus mennyiségek
- Elektrosztatikus / mágneses mennyiségek
- Sugárzási mennyiségek
- Kémiai mennyiségek
- Biológiai mennyiségek

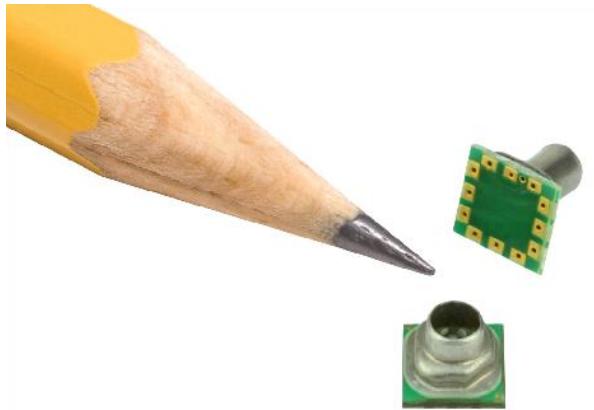
A szenzorokat feloszthatjuk (egy lehetséges felosztás szerint):

- Generátor típusú: pl. feszültség kimenete van
- Modulátor típusú: külső jelet adunk rá, amit „modulál”, azaz megváltoztat

# SZENZOR AZ ELEKTRONIKAI RENDSZERBEN

A szenzor a vizsgált értéket vivőjellé alakítja:

- Elektromos (gyakori);
- Optikai (új trend az utóbbi években);
- Mechanikai (konvencionális berendezésekben);



Micropressure nyomásérzékelő



OMRON optoerősítő

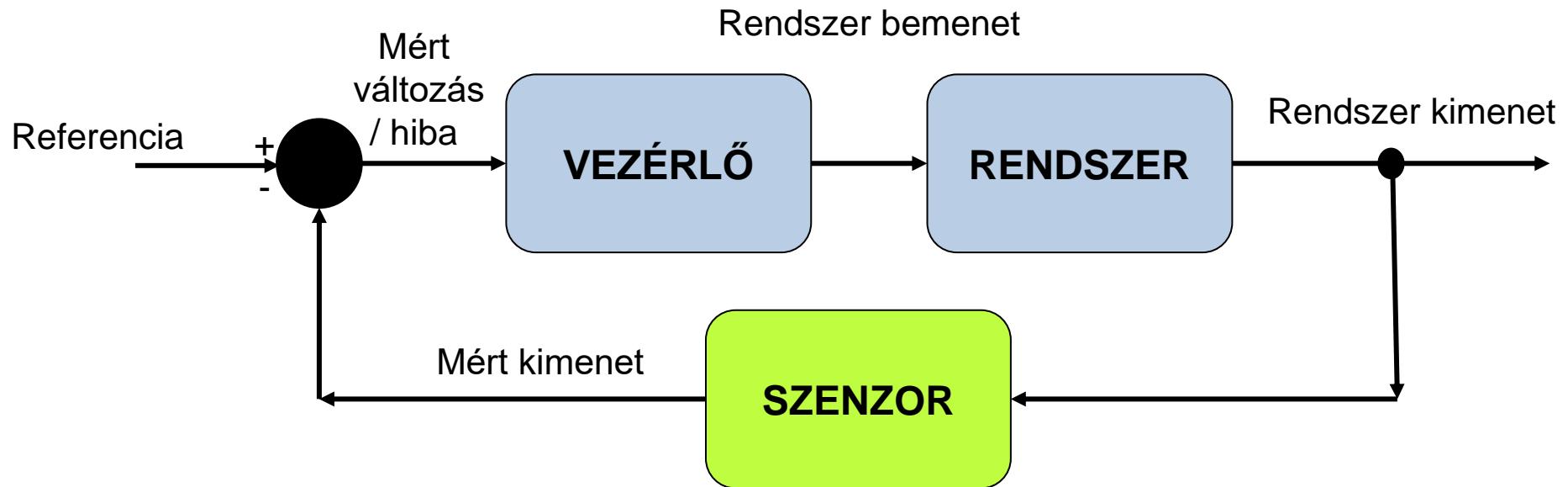


Mechanikus érzékelő

# SZENZOR AZ ELEKTRONIKAI RENDSZERBEN

A mérőrendszer felhasználása:

- Mérési elrendezésben (mért érték leolvasására) – lásd 3. slide
- **Folyamatirányítási elrendezésben** (aktuátor, vezérlőjel) – lásd lent



# SZENZOR AZ ELEKTRONIKAI RENDSZERBEN

Szenzor lehet másik csoportosítás szerint:

## PASSZÍV:

- Anyagi tulajdonságai változnak, reagálnak a környezet változásaira.
- Passzív mint pl. változó ellenállás.
- Rengeteg ilyen alkatrészt használunk.

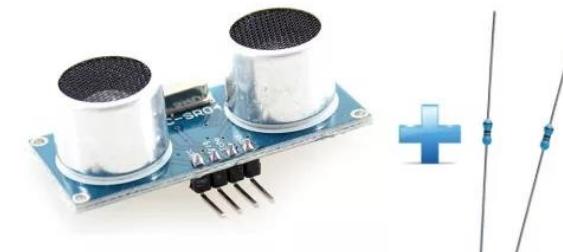


## Termisztor:

- Ellenállása jelentősen változik a hőmérséklet hatására.

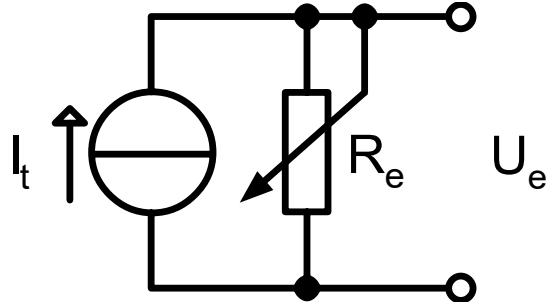
## AKTÍV:

- Külső feszültségforrást igényel
- „aktív” elektronikát tartalmaz
- Kiadhatnak egy jelet (pl. fényt adott hullámhosszal), aminek a visszaverődését értékeli az érzékelő.

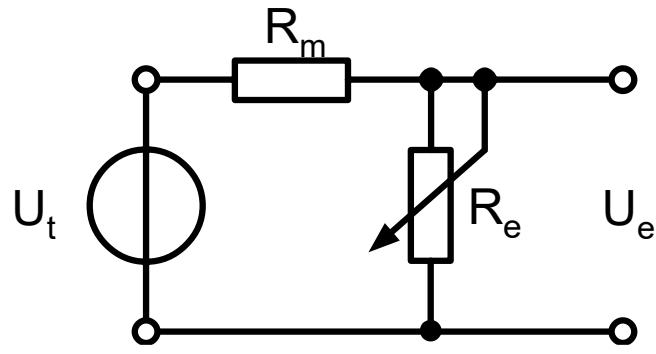


**Ultrahangos  
távolságérzékelő.**

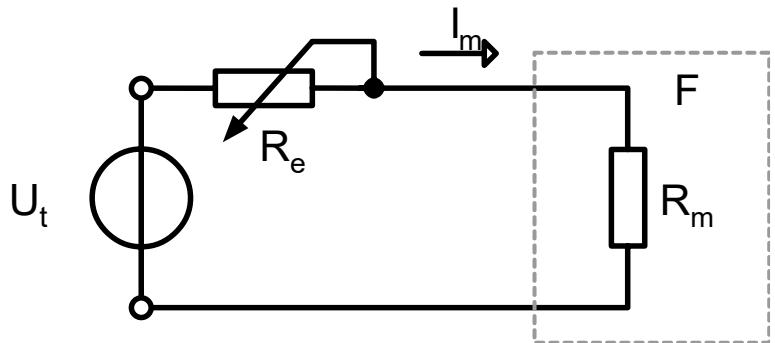
# PASSZÍV ANALÓG SZENZOROK ILLESZTÉSE



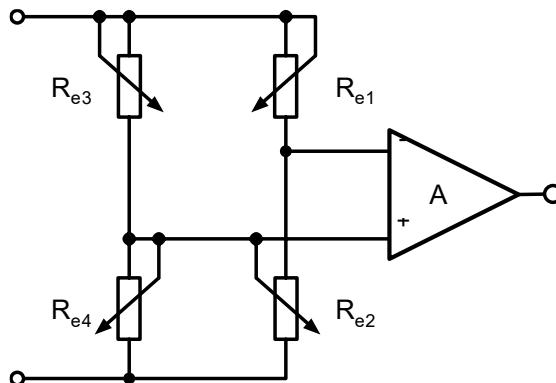
Egyelemes passzív  
érzékelő (áramgenerátor)



Feszültségesosztó típusú passzív  
érzékelő (fesz.táp)

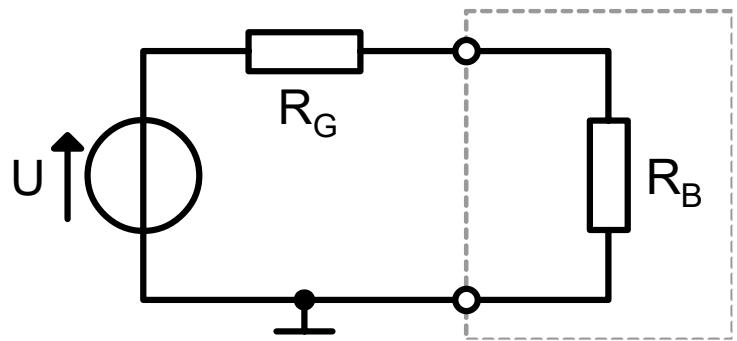


Áramcsatolt passzív  
érzékelő  
illesztés



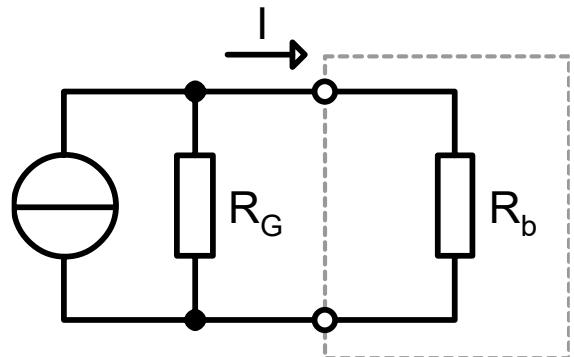
Wheatstone hídkapcsolású illesztés  
(zavarvédet, nagy pontosság)

# AKTÍV ANALÓG SZENZOROK ILLESZTÉSE



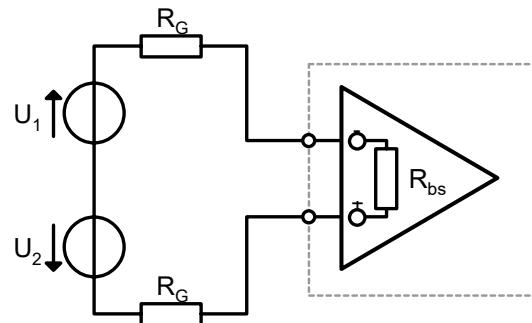
Kis generátorellenállás - magas bemeneti ellenállás;

*Aszimmetrikus jelátvitel  
egyenfeszültséggel*



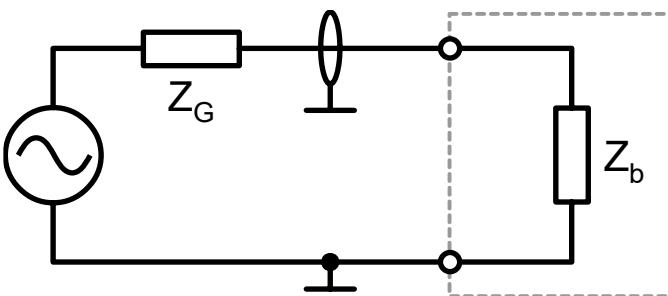
Nagy belső ellenállás - minimális bemeneti ellenállás;

*Jelátvitel egyenárammal*



Differősítő, jó zajelnyomással!

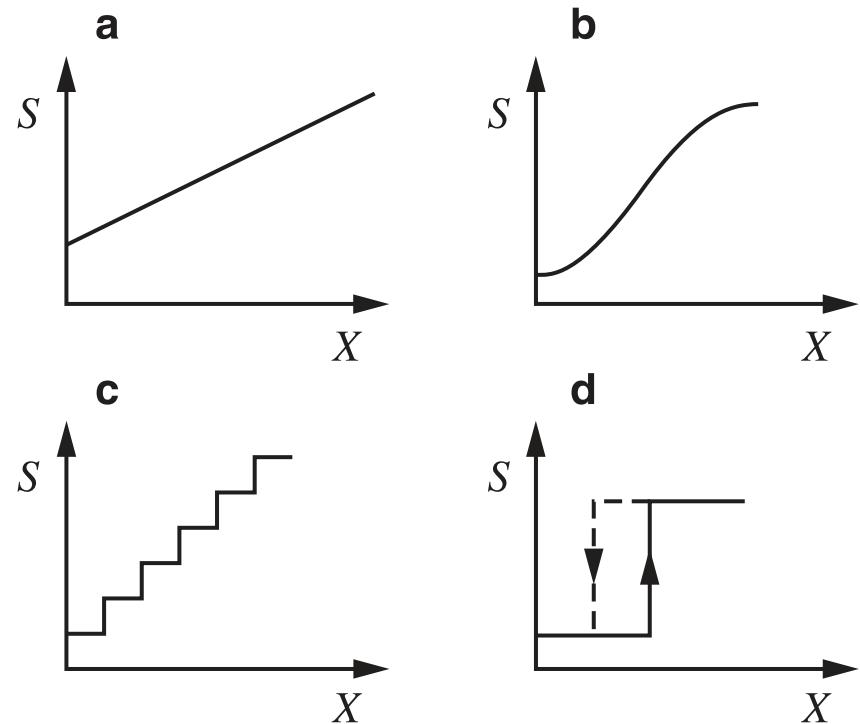
*Szimmetrikus jelátvitel  
egyenfeszültséggel*



Komplex impedancia – koaxiális csatolás, impedancia illesztés;

*Jelátvitel váltakozó  
feszültséggel*

# A SZENZOR JELLEGÖRBÉK



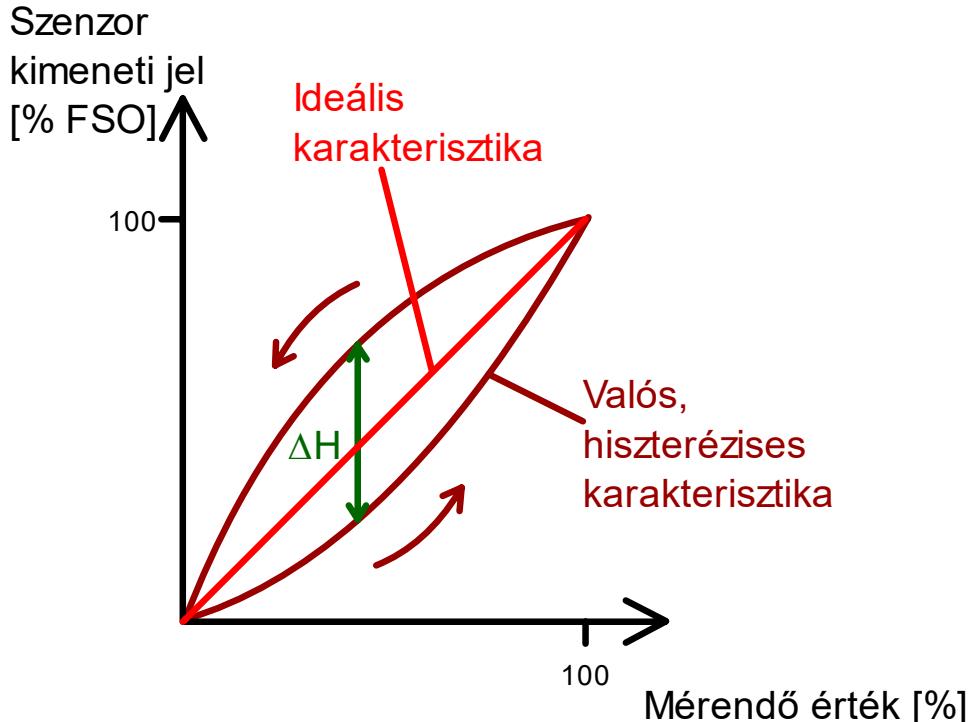
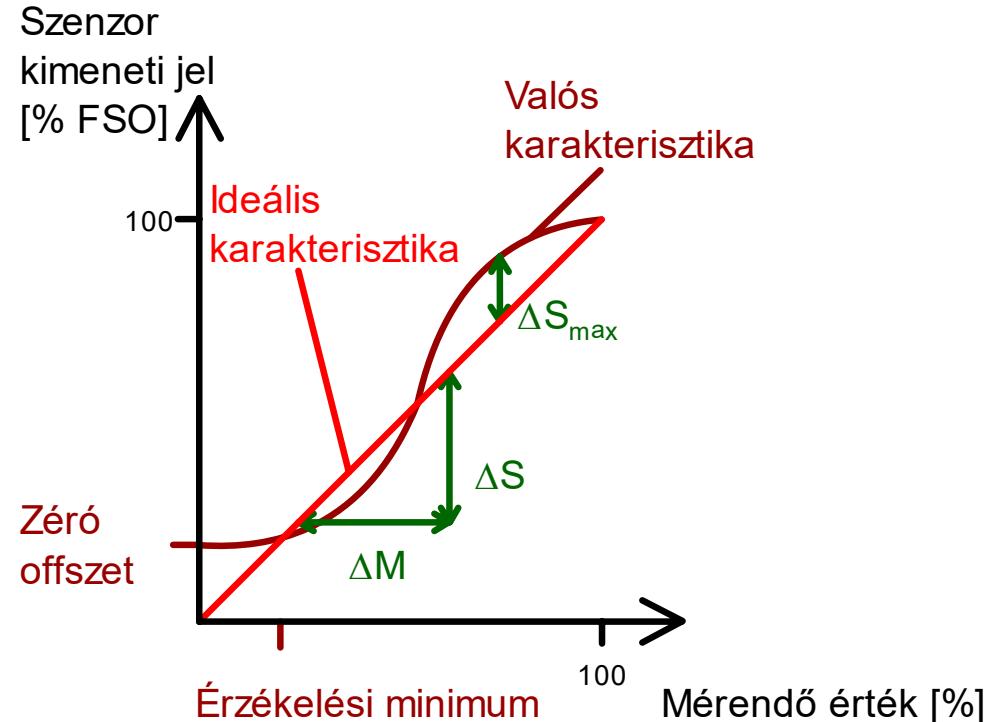
- a) Polyamatos, lineáris,
- b) Polyamatos, nemlineáris,
- c) Polyamatos, többfokozatú,
- d) Polyamatos, kétfokozatú, hiszterézissel.

## JELENTÉSEK:

$S$  - Kimeneti jel,  
 $X$  - Mérhető változó.

Forrás: Bosch - Automotive  
Handbook 11th edition, Wiley, 2022

# STATIKUS ÉS HISZTERÉZISES VISELKEDÉS - RÉSZLETESEN



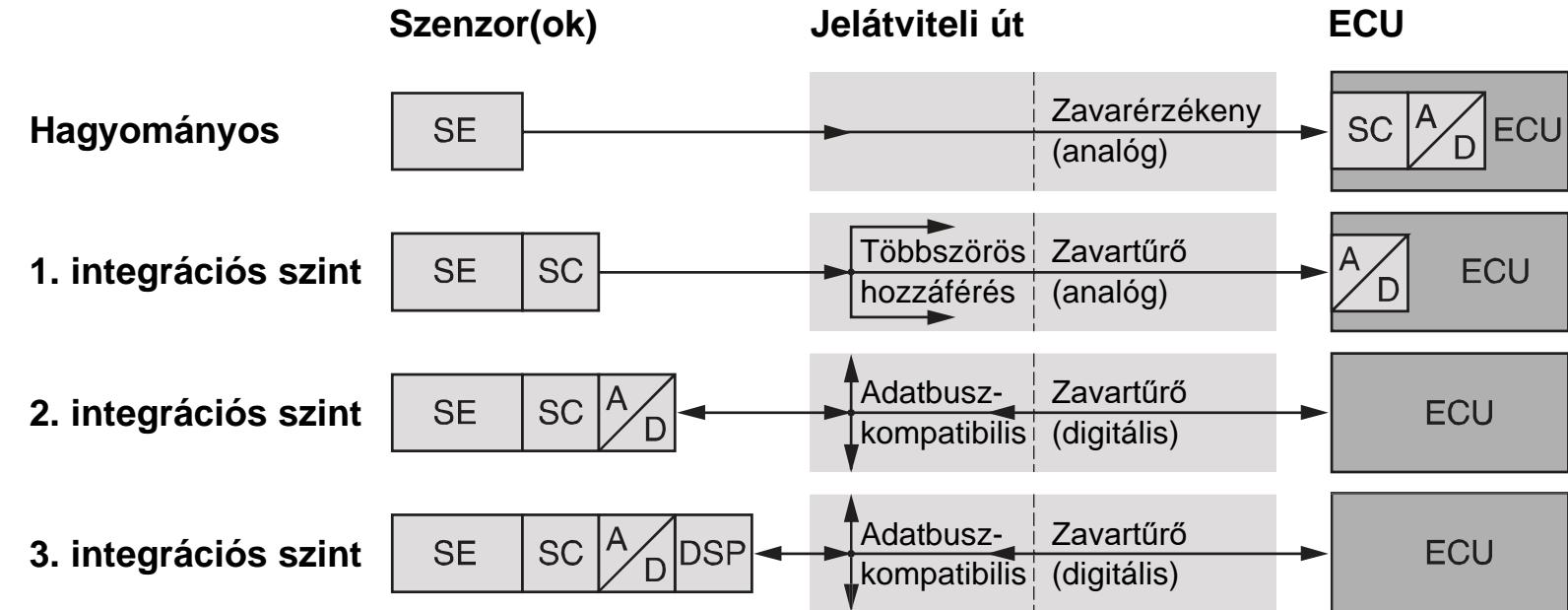
**JELENTÉSEK:**

- FSO - Teljes kimeneti skála
- M - mérendő jel
- S - kimeneti jel
- H - hiszterézis

# INTEGRÁCIÓS SZINTEK

## SMART SZENZOROK – MIT KÍNÁLNAK?

- A vezérlő terhelésének csökkentése,
- Egységes, rugalmas interfész,
- Több érzékelős kialakítás,
- Kis mérési tartományban
- Nagyfrekvenciás viselkedés (helyi megoldások)
- Korrekció a mérési ponton
- Kalibrálás és kompenzáció



### JELENTÉSEK:

SE: Szenzor

SC: Analóg jelkondicionálás

A/D: Analóg digitális átalakítás

DSP: Digitális jelfeldolgozás

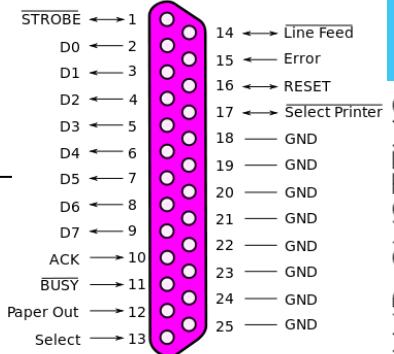
ECU: Elektromos vezérlőegység

Nem feltétlenül hálózati megoldások szempontjából „okos” egy szenzor.

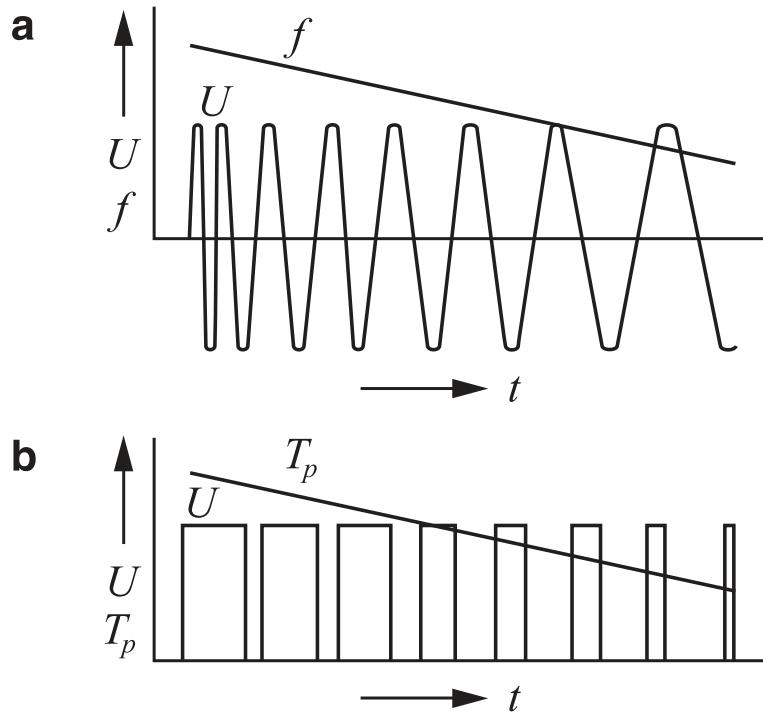
Forrás: Bosch - Automotive Handbook 11th edition, Wiley, 2022

# DIGITÁLIS SZENZOROK ILLESZTÉSE

ELŐNYÖK	Soros jeltovábbítás:
	<ul style="list-style-type: none"><li>- Elegendő két vezeték</li><li>- Modulátor/demodulátor átvitel lehetséges</li><li>- Hálózatba rendszerezhető</li></ul>
HÁTRÁNYOK	Párhuzamos jeltovábbítás:
	<ul style="list-style-type: none"><li>- Gyors</li><li>- Nem kell szinkronizálás</li><li>- Plusz bitekkel hibajavítás implementálható</li></ul> <ul style="list-style-type: none"><li>- Kódoló algoritmusra van szükség</li><li>- Szinkronizálni kell a kommunikációt</li><li>- Zavarérzékenysége magas</li></ul>



# A SZENZOR JELALAKJAI (PÉLDÁK)



## JELENTÉSEK:

U Kimeneti jel,  
t idő.

- a) Frekvencia  $f$ ,
- b) impulzus időtartama  $T_p$ ,

### **ANALÓG kimenet (ábrázolt példák):**

- áram vagy feszültség, vagy a megfelelő Amplitúdó, frekvencia vagy periódus időtartama,
- impulzusidő vagy impulzuskapsolási tényező.

### **DISZKRÉT kimenet:**

- Kétfokozatú (binárisan kódolt),
- többfokozatú - szabálytalan osztás (analóg kódolt),
- többfokozatú - egyenletes távolságra (analóg vagy digitális kódolású).

Forrás: Bosch - Automotive  
Handbook 11th edition, Wiley, 2022

# JELÁTVITELI MÓDSZEREK:

SIMPLEX – egyirányú jelátvitel

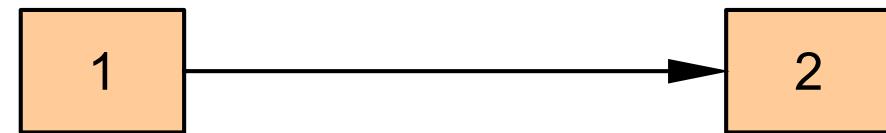
FÉLDUPLEX – megosztott egyirányú átvitel

DUPLEX – kétirányú átvitel

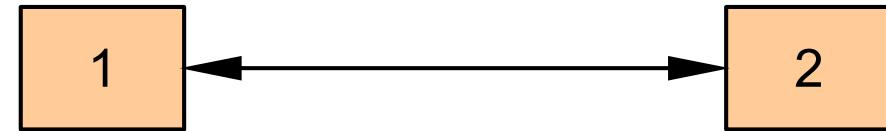
**Alapsávi átvitel:** adott villamos jel, kötött közegben. Általában szimplex. Időosztásos, időmultiplexált megvalósítás lehetséges. Behatárolt sebesség és távolság jellemzi.

**Vivőhullámú átvitel:** Alapsávi mérőjellel (pl. a szenzor mérőjele) vivőhullámot modulálunk. (Később demoduláljuk a feldolgozó egység bemenetén.) Minél szélesebb a vivőhullám frekvenciája, annál nagyobb a sávszélességgel bírunk.

Szimplex



Félduplex



Duplex



# KÓDOLÁSI LEHETŐSÉGEK:

## Folytonos jeleknél:

- AM (amplitúdomoduláció)
- FM (frekvenciamoduláció)
- PAM (pulzus-amplitúdó moduláció)
- QAM (kvadratúramoduláció – kvázi együttes fázis- és amplitúdómoduláció)

(Felsorolás jelleggel!)

## Mintavételezett jeleknél (impulzusokkal moduláljuk a vivőhullámot)

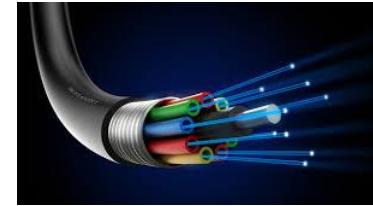
- ASK – amplitúdóeltolásos-billentyűzés
- FSK – frekvenciaeltolásos-billentyűzés
- PSK – fáziseltolásos-billentyűzés
- PWM – pulzusszélesség-moduláció
- PCM – pulzuskód-moduláció

### DIGITÁLIS ESET:

#### Kódmoduláció

(nem közvetlen hordozott információ, hanem bitkombinációhoz rendelhető szimbólum impulzuscsoporthoz!)

# SPECIÁLIS JELÁTVITEL (FÉNY)



Soros adatátvitel ideális közeg - fényhullám.

- Nagy sebességű,
- km-es távolságok áthidalhatók
- EM zavarokkal szemben teljesen biztonságos
- Fény/sötétség (100% amplitúdómoduláció)
- Terepi buszrendserekben alkalmazható
- ADÓ: LED vagy lézerdióda
- VEVŐ: fotodióda, fototranzisztor



lézerdióda

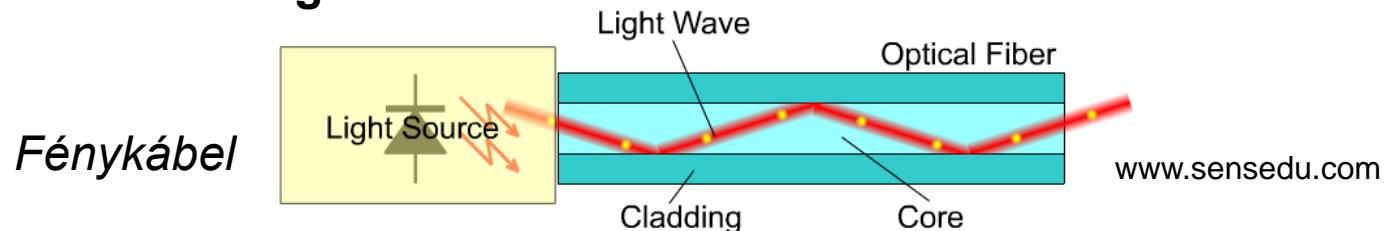


fotodióda

## KÜLÖN SZAKTERÜLET!

*Nem megyünk bele részletesebben!*

### Átviteli közeg:



# TÁVADÓK (TRANSDUCER)

Alapvető jelentése: olyan eszköz, amely egy bizonyos energiát egy másik jellegű energiára (pl. mozgást vagy hőenergiát feszültségre) alakítanak. (Lehet szenzor és aktuátor is).

Speciális rendszerteknikai fogalom is lehet. Lényege, hogy az érzékelő kimeneti jele jelátalakítás után, szabványos formátumban továbbítódik.

Előnye, főbb jellemzői:

- Rendszerbe illeszthető (szabványos)
- Nagyobb távolságokba szállítható a jel
- A jelszállítás módja határozza meg a kategóriáját, nem a szenzor mag típusa, jellemzői

Távadó típusok:

- **Aktív**: átalakítás során feszültséget ad le (nincs szükség tápegységre, elemre)
- **Passzív**: táp nélkül nem működik

Ez rendszerteknikailag kicsit más működés, mint az aktív-passzív szenzorikai értelmezés.



# SPECIÁLIS JELÁTVITEL (RÁDIÓFREKVENCIA)



Adatátvitel – modulált rádiófrekvenciával történik.

Jellemzői: hullámhossz, modulációs mód.

Hullámhossz-használat engedélyhez kötött. Ipari átviteli sávok, kommerciális sávok, szabadon felhasználható sávok...

Rendszerteknikai aspektus: frekvencia pontosság, modulációs módok pontos betartása!

Átviteli közeg: levegő, víz (pl. tengeralatti rendszerek)



Tipikus eset – távadó rádiós jelátvitellel.

(Forrás: Industry Plaza)

# TERMIKUS SZENZOROK - HŐELEM

**Termoelektronos hatás / Seebeck effektus:** elektromos mező keletkezik egy vezető meleg és hideg vége között, ha a vezető gradienssel rendelkező termikus mezőben található.

$$U = \int_{T_1}^{T_2} S(T) dT$$

ahol: U – potenciálkülönbség,  
T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> a vezető két  
végpontjának hőmérséklete,  
S – Seebeck koefficiens

Két különböző vezető, közös melegpont:

$$U = \int_{T_1}^{T_2} S_A(T) - S_B(T) dT$$

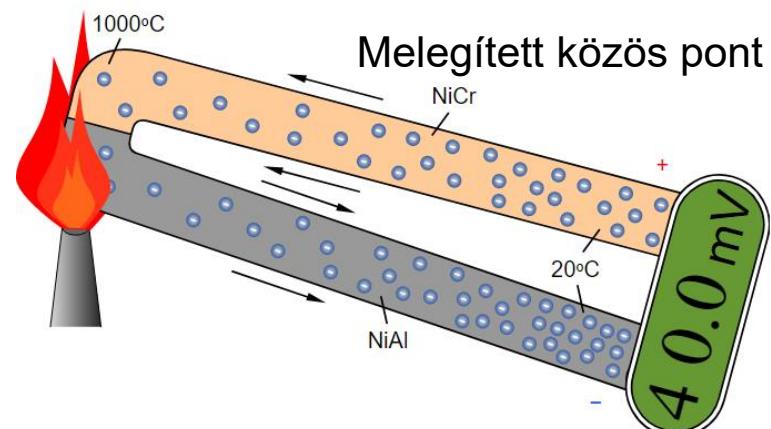
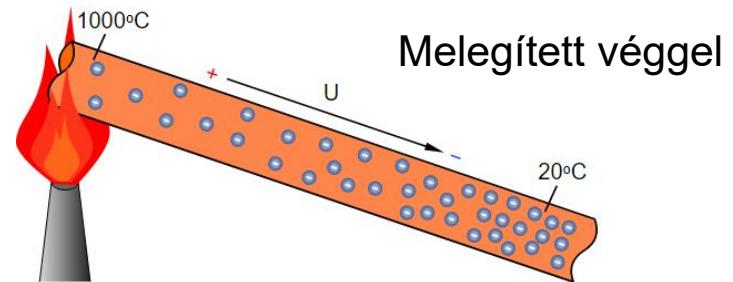
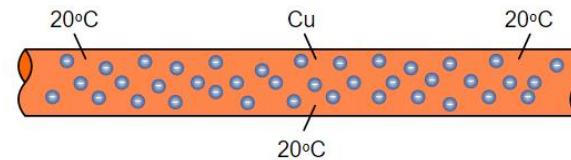
Számolni kell a Seebeck effektus  
nemlinearitásával!



**K-típusú hőelem:**

krómnikkel/nikkel-alumel, chromel-alumel  
Hőmérséklettartomány: -270-től 1260 °C-ig

Homogén hőmérséklet-eloszlás



Két különböző vezető – NiAl vezetőn könnyebben  
mozognak az elektronok, mint a NiCr vezetőn.

# TERMIKUS SZENZOROK - TERMISZTOR

TERMISZTOR – Hőmérsékletre érzékeny ellenállás:

$10^6$  nagyságrenddel érzékenyebb, mint a tiszta fémek.

$$\alpha = \frac{1}{R_T} \cdot \frac{\Delta R_T}{\Delta T}$$

Ellenállás hőmérsékleti együtthatója/koefficiense.

$$R_T = R_{T_0} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Ellenállás változás hőmérsékletváltozás hatására – visszacsatolunk első órára!

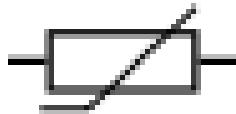


**NTC** – negatív hőmérsékleti koefficiensű termisztorok (pl. szinterelt metál-oxid félvezetők)

**PTC** – pozitív hőmérsékleti koefficiensű termisztorok (pl. adalékolt polikristályos kerámiák, pl. bárium-titanát alapon)

**Szilisztor** – lineáris PTC jellegű hőmérsékletérzékeny szilícium ellenállás

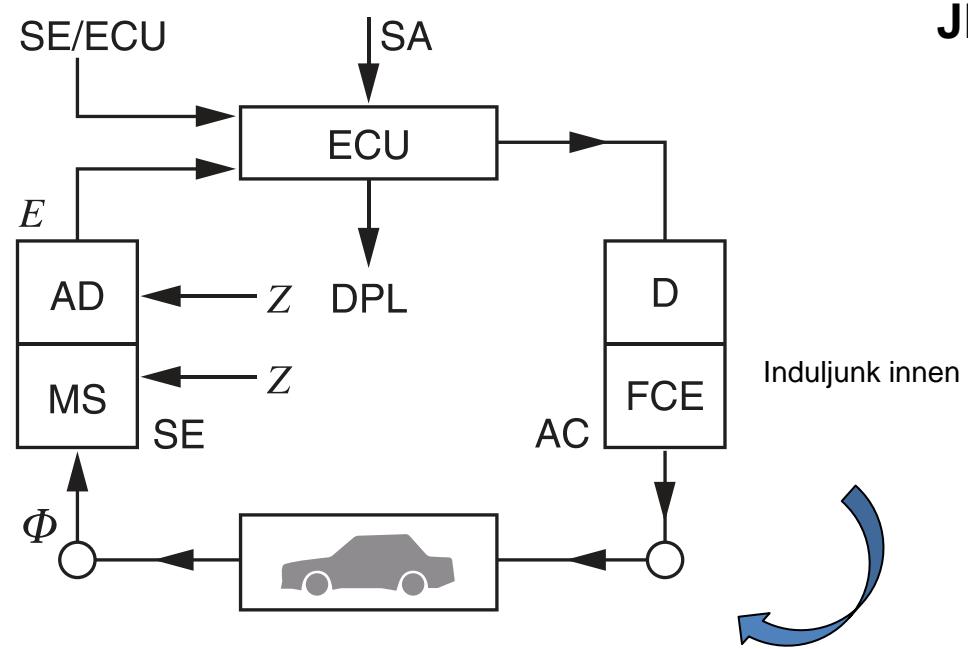
Szimbólum:



Aktív rendszerben érdemes használni.

# AUTÓELEKTRONIKAI PÉLDÁK

Forrás: Bosch - Automotive Handbook 11th edition, Wiley, 2022



## JELENTÉSEK:

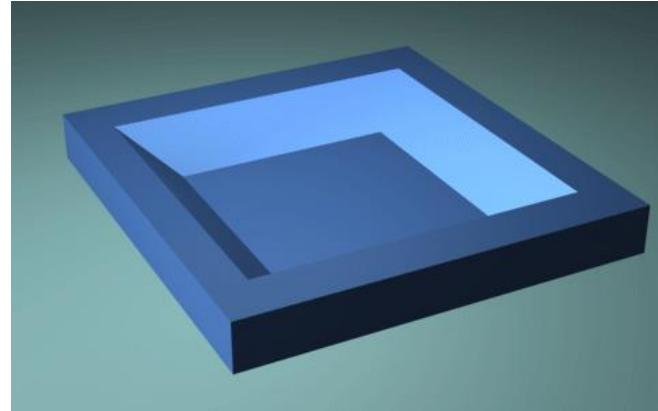
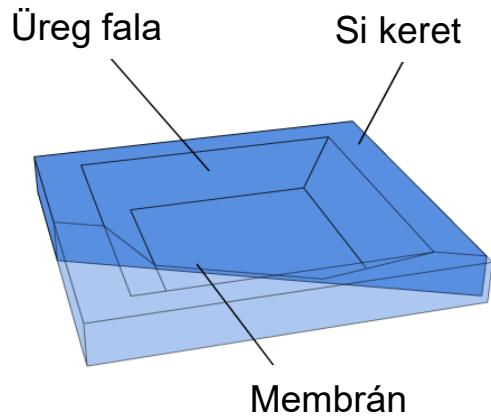
$\Phi$  - Fizikai mennyiség,  
 $E$  - elektromos mennyiség,  
 $Z$  - Zavar.  
AC - működtető,  
AD - adapter áramkör,  
DPL - kijelző,  
MS - Mérőérzékelő,  
SA - Kapcsoló,  
SE - Érzékelő,  
ECU - Elektronikus vezérlőegység,  
FCE - Végső vezérlőelem,  
D - vezető.

## Automotive alkalmazások

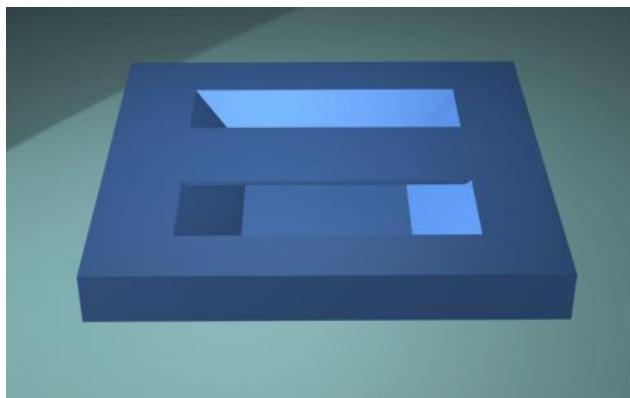
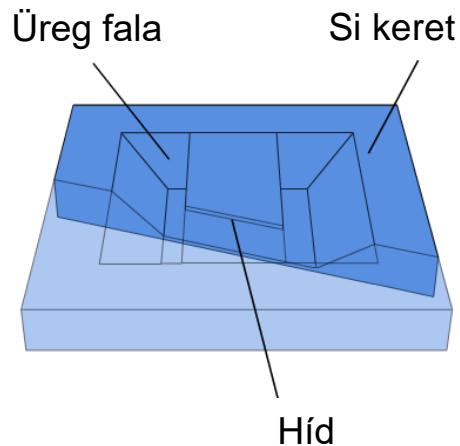
- Funkcionális érzékelők (pl. nyomásérzékelő, hőmérséklet-érzékelő, légtömeg-érzékelő), elsősorban a nyitott és zárt hurokhoz vezérlési funkciókhoz.
- Biztonsági érzékelők (utasvédelem: légsák és menetdinamikai vezérlés) és védelem (lopásgátlás).
- Érzékelők a járműfelügyelethez (fedélzeti diagnosztika, fogyasztás és kopási mennyiségek) és információszolgáltatás a járművezető és az utasok számára.

# MIKROTECHNOLÓGIAI ALAKZATOK

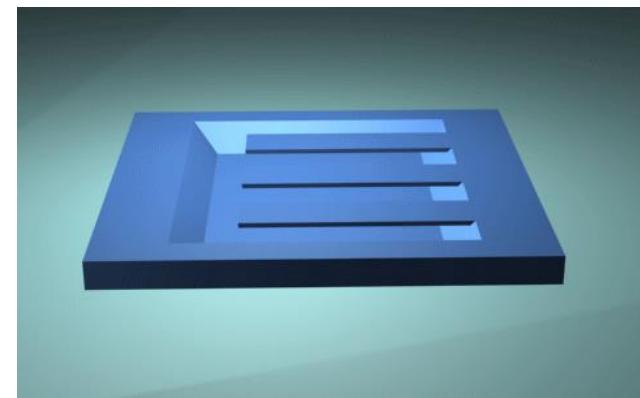
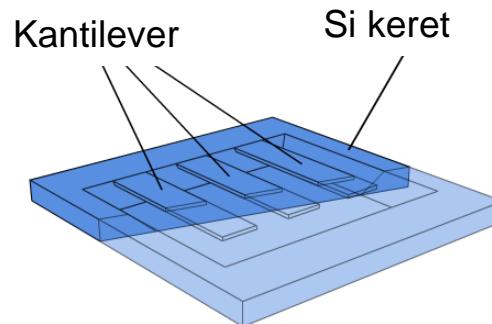
## ÁROK/MEMBRÁN



## HÍD

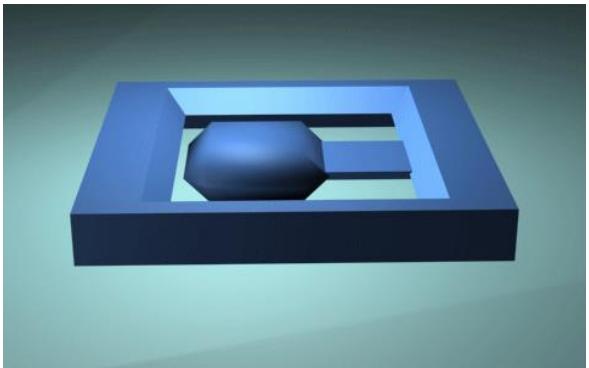
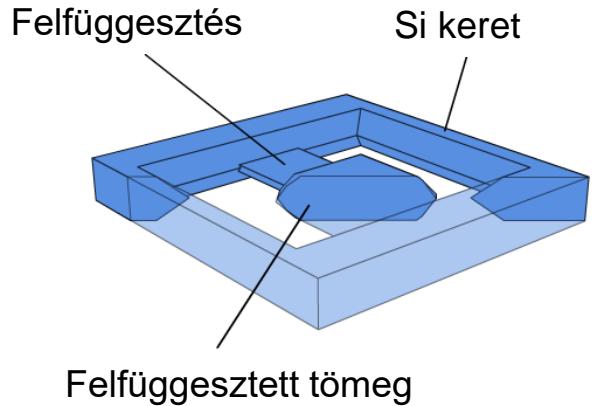


## KONZOL/KANTILEVER

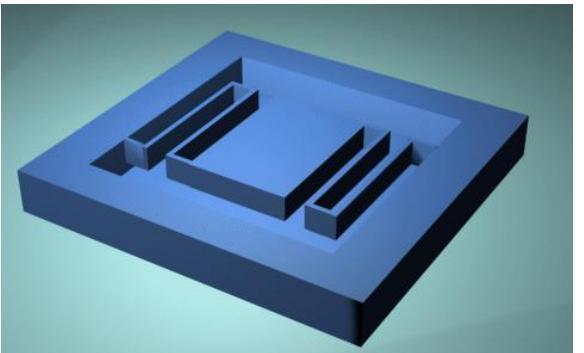
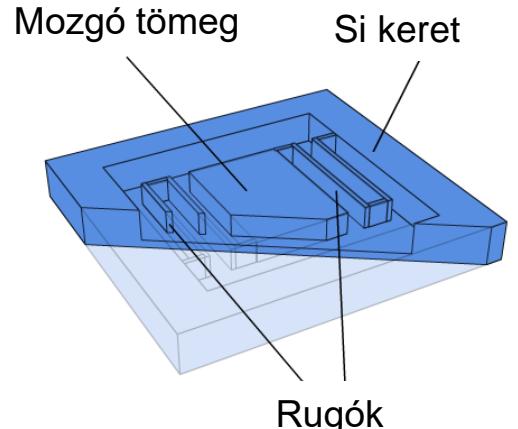


# TÖMBI / FELÜLETI MIKROMECHANIKA

## MOZGÓ TÖMEG FELFÜGGESZTÉSSEL

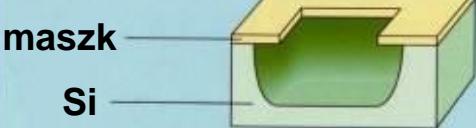


## MOZGÓ TÖMEG RUGÓKKAL



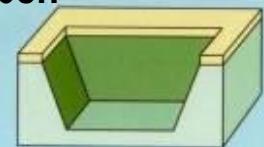
### Nedves kémiai maratás

Izotróp maratás savas  
fürdőben

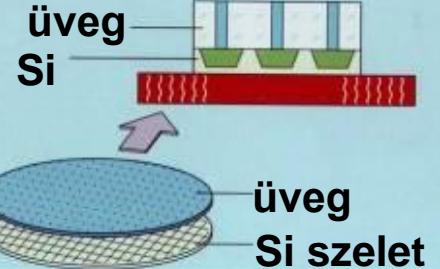
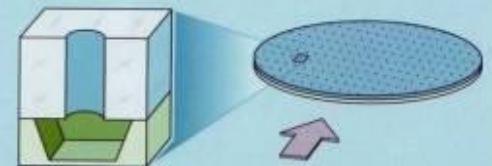


Anizotróp maratás  
lúgos fürdőben

TÖMBI



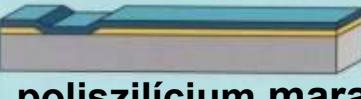
### Anódos bondolás



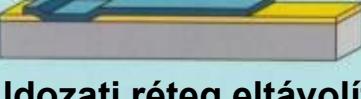
### áldozati réteg felvitele



poliszilícium felvitele



poliszilícium maratása



Áldozati réteg eltávolítása



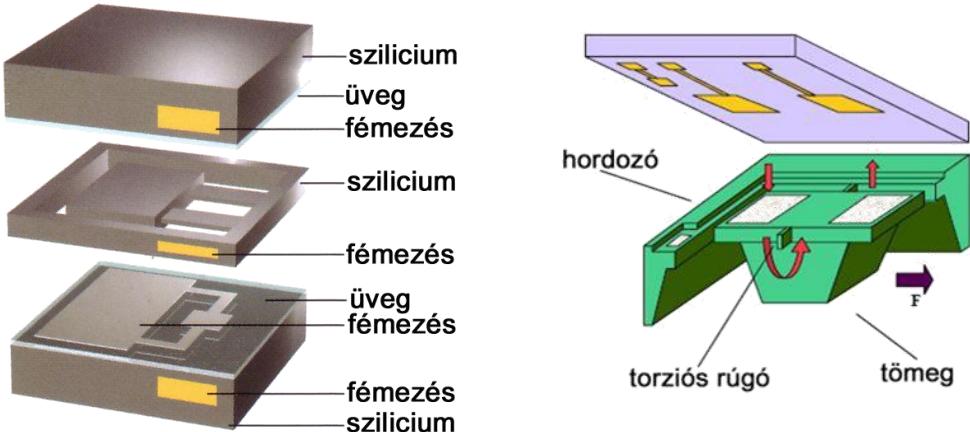
### FELÜLETI



Forrás: Bosch

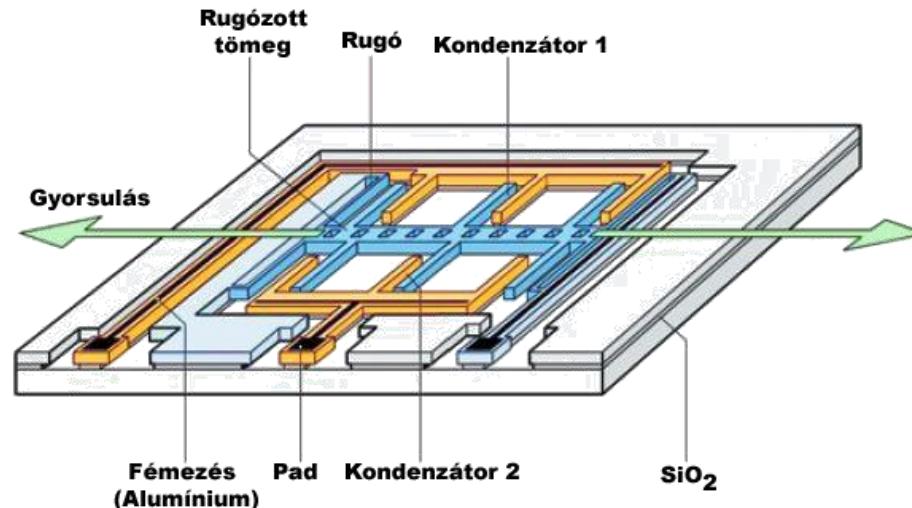
# KAPACITÍV GYORSULÁSÉRZÉKELŐK

## MOZGÓ TÖMEG FELFÜGGESZTÉSSEL



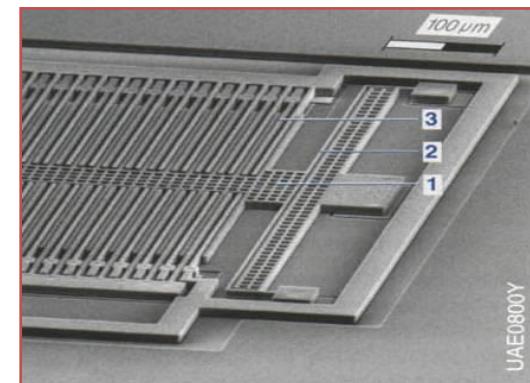
- differenciálkapacitás-változás,
- tömbi mikromechanika,
- összkapacitás kb. 200-400 fF,
- DC mérési lehetőség,
- légcsillapítás.

## MOZGÓ TÖMEG RUGÓKKAL



Forrás: Bosch

- fésűs szerkezet,
- differenciálkapacitás-változás,
- felületi mikromechanika,
- összkapacitás kb. 60 fF,
- DC mérési lehetőség.



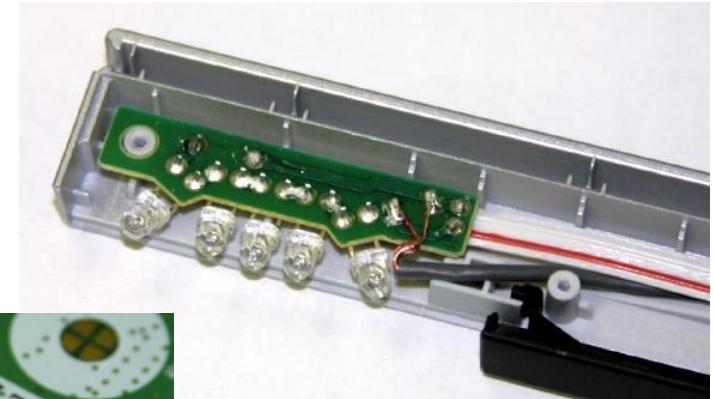
# MOZGÁSÉRZÉKELÉS - WII



Wiimote irányító különböző nézetekből

## Funkciók:

- 3 tengelyes gyorsulásérzékelés
- optikai szenzor beépítve
- hang és rezgés visszajelzés
- bővíthetőség a csatlakozón keresztül
- vezetéknélküli Bluetooth kommunikáció



Sensor Bar (RVL-014) – 10 infra LED

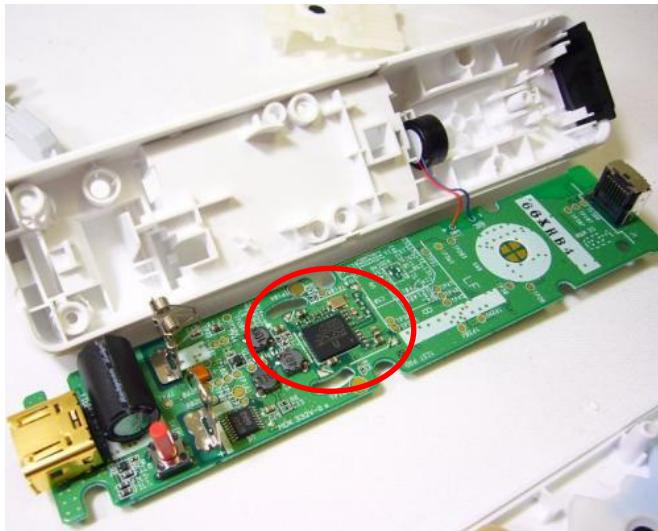
## PixArt IR szenzor

- 128 x 96 pixel felbontás.
- Túlmintavételezés (8x-os): 1024 x 768 felbontás elérés.
- A kamera képes négy IR pont (pl. fentebb mutatott IR ledek) érzékelésére, XY kordináták meghatározására. A kamera képes az IR pontok intenzitását/méretét is meghatározni.
- I2C protokoll.
- Optikai érzékelés háromszöggeléssel.

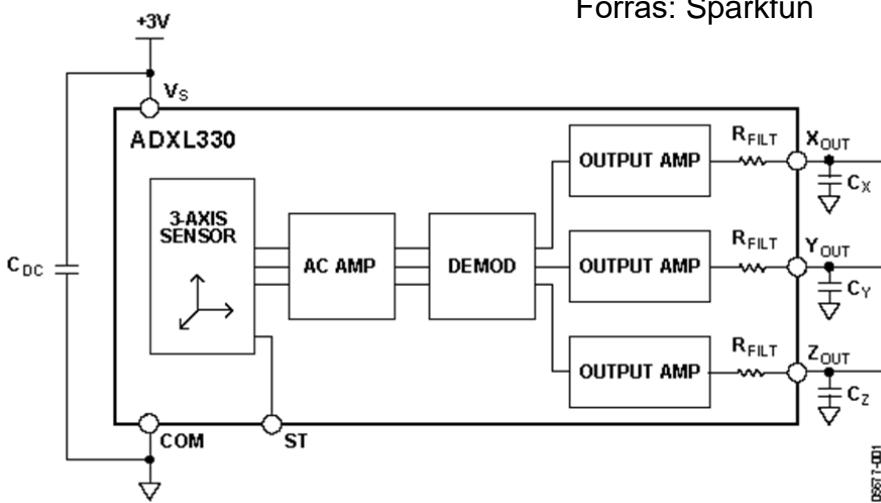
# WIIMOTE - KEZDETLEGES 3DUI ESZKÖZ

- 3D UI – 3D User Interface – térbeli felhasználói felület,
- User Interaction – felhasználói interakció
  
- A szenzor bar fix IR ledjei a televízió alatt rögzített pontként szolgálnak, rögzített szenzortávolsággal.
- A mozgásirányító kamerája a dinamikus pont, ami méri a szenzor bar fix IR pontjainak a távolságát. (limitáció – 5 méter)
- Kezdetleges elfordulás-érzékelésre is képes.
- Térbeli mozdulatok érzékelése. Mélység detektálás lehetséges (3D interfész)
- Problémát okozhat a távolság, a nem megfelelő betekintési szög, a fény útjának a blokkolása.

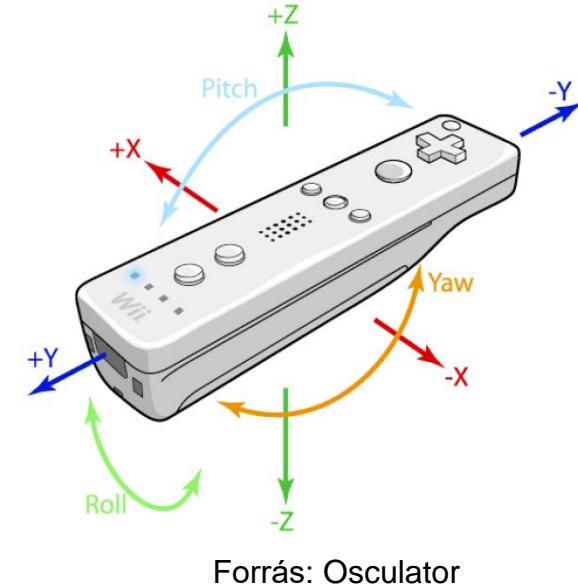
# MOZGÁSÉRZÉKELELÉS - WII



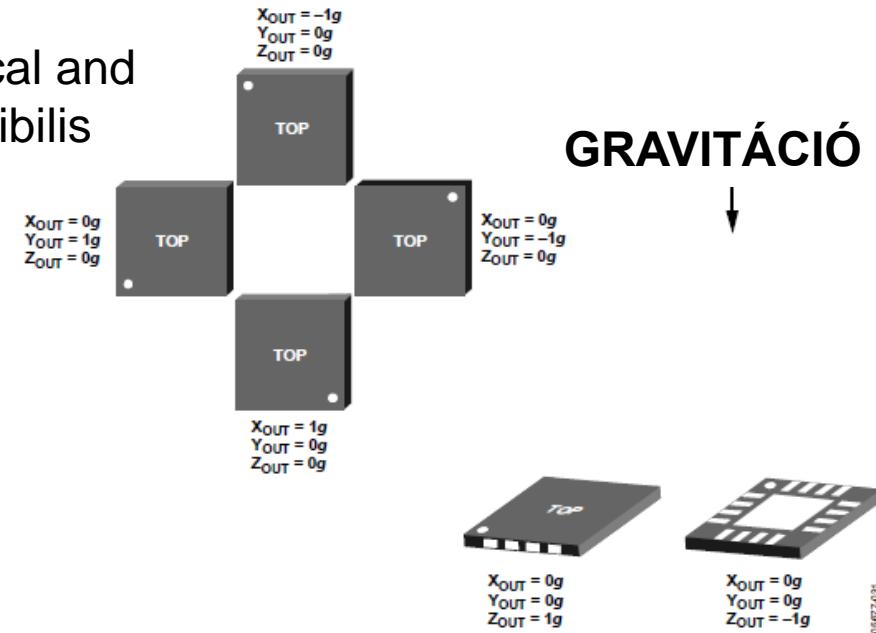
Forrás: Sparkfun



- 3 tengelyes érzékelés
- Kicsi tok:  $4 \times 4 \times 1.45\text{mm}$  LFCSP
- Alacsony áramfelvétel ( $180\mu\text{A}$  at  $1.8\text{V}$  typical) )
- táp  $1.8 - 3.6\text{V}$
- $10,000\text{ g}$  –s rázásnak is ellenáll
- Kiemelkedő hőmérsékleti stabilitás
- BW sávszél beállítás tengelyenként egy kondenzátorral történik
- RoHS/WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) kompatibilis

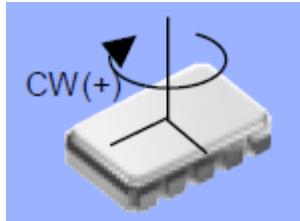
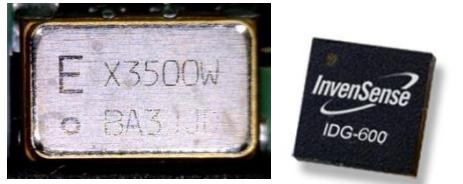


Forrás: Osculator



GRAVITÁCIÓ

# ÚJ MEGOLDÁSOK – MOTION+

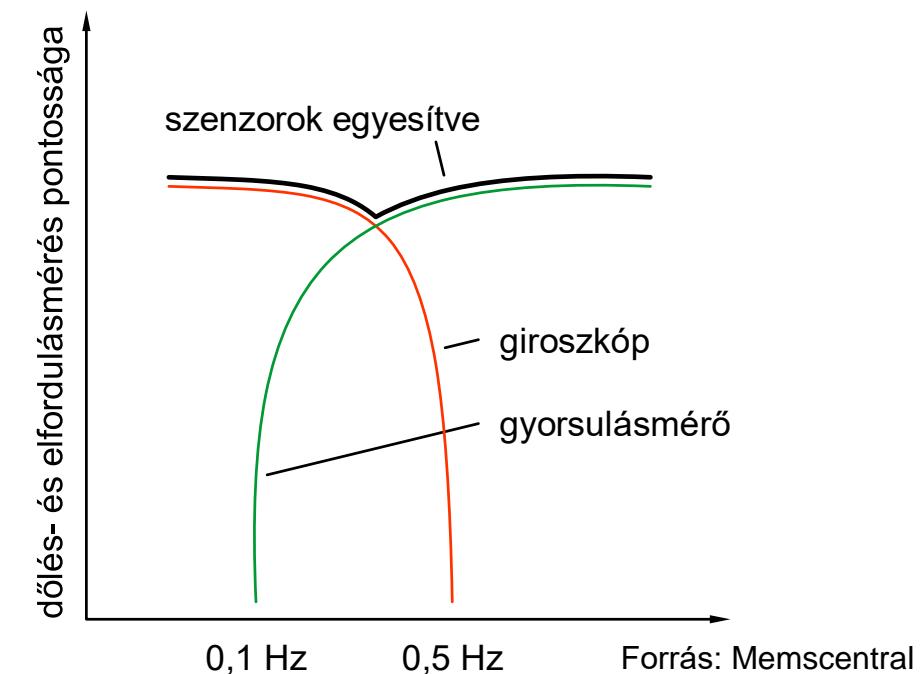


**Segéd IC:** EPSON TOYOCOM X3500W

- Yaw funkció mérésére

Extra kiegészítő egy **IDG-600** IC-vel.

- X és Y tengelyű giroszkóp.
- 500-2000 fok/másodperc
- Beépített erősítővel és aluláteresztő szűrővel
- Tengelyek közötti szigetelés
- 10 000 g rázásnak is ellenáll
- 3 V-os működés
- RoHS
- Rezgetett hangvilla elv. A rezgés rezonanciáját mérjük – coriolis erő változásával változik a rezgés is.
- Pitch, roll funkciók!



Forrás: Memscentral

## Szenzor fúzió:

- Kombinált gyorsulásérzékelő és giroszkóp alkalmazás
- Ezáltal javul a mérési pontosság
- Döntés és elfordulás esetében nyugalmihoz közel állapotban a giroszkóp a pontosabb;
- Hirtelen, sebes mozgásnál a gyorsulás a pontosabb.
- A kettő kombinációja (vezérlés szempontjából) növeli a pontosságot.