

Villamos alapismeretek

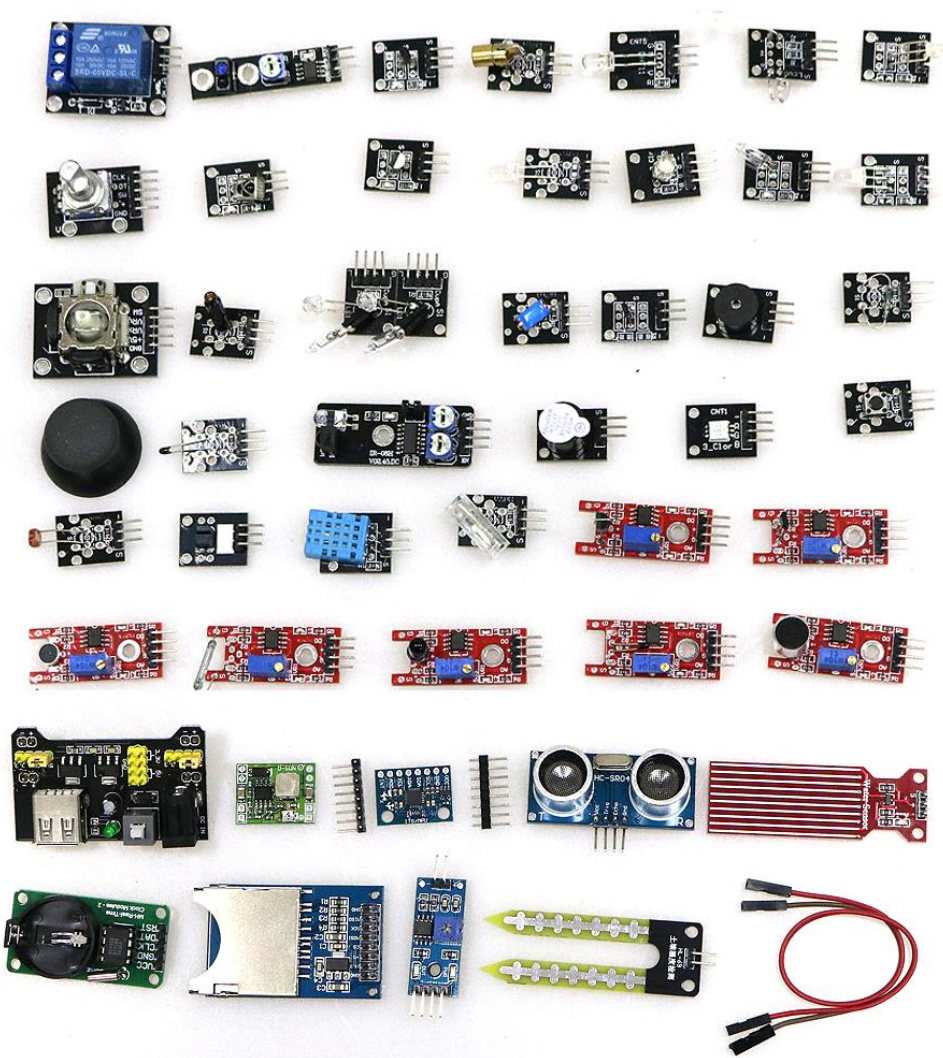
13 - A fizikai valóság érzékelése, szenzorika.

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



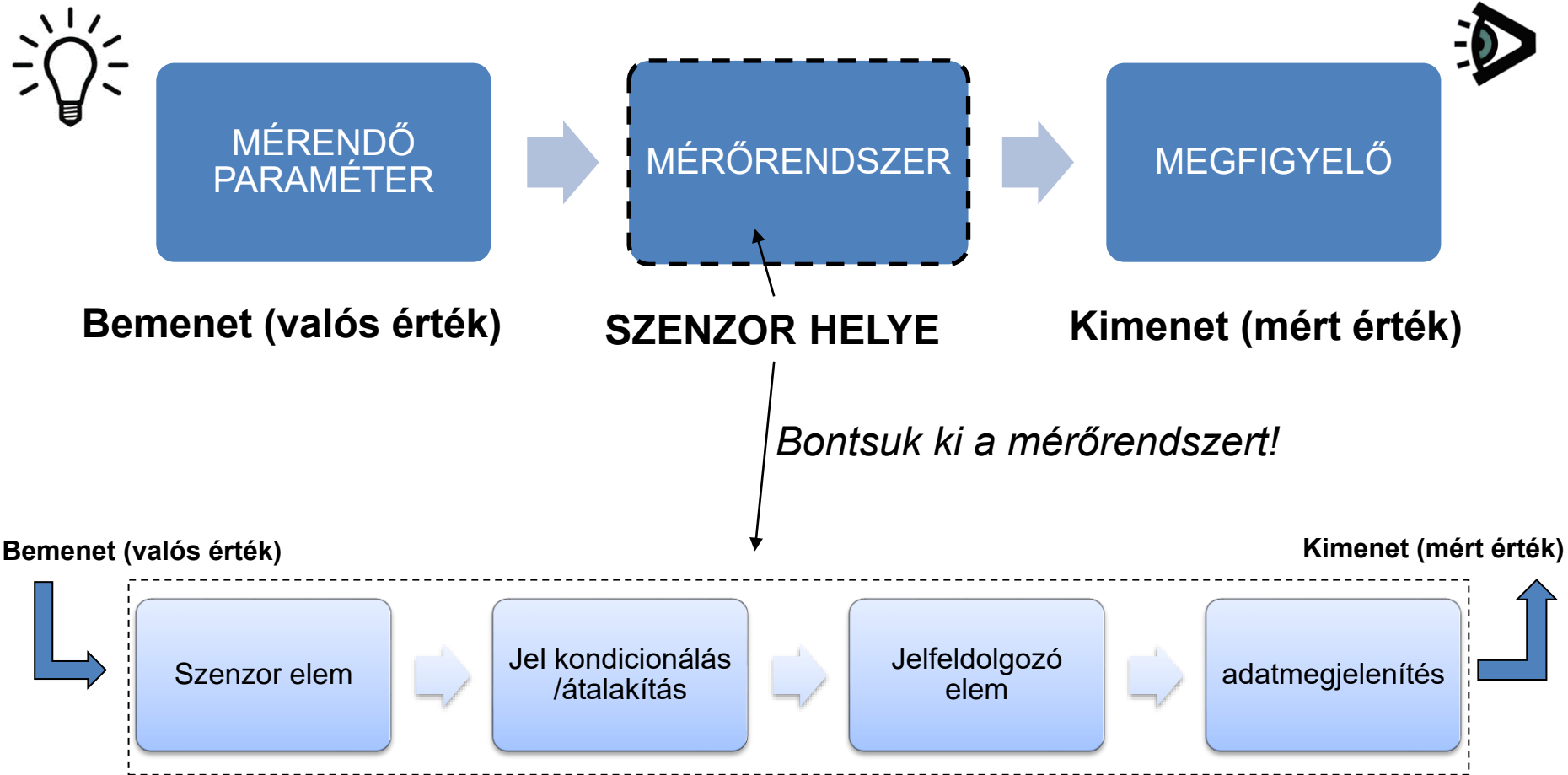
Egy tipikus „legózós” szenzorcsomag.

45-féle szenzor, kiegészítőkkel.

Online webshopból 26 EUR!

A szenzorika mára olcsóvá és elérhetővé vált bizonyos keretek között.

SZENZOR AZ ELEKTRONIKAI RENDSZERBEN



ÉRZÉKELŐK CSOPORTOSÍTÁSA



A szenzor által vizsgált jelenségek lehetnek:

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

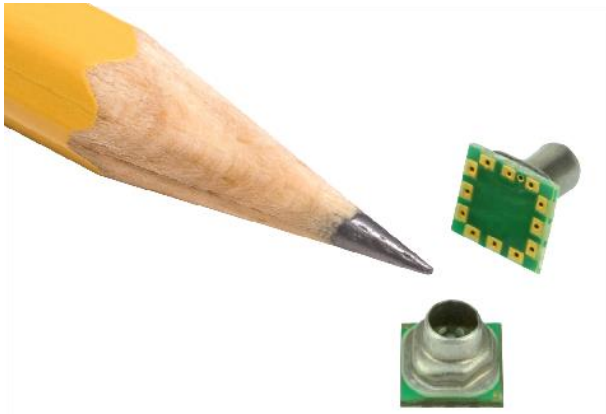
A szenzorokat feloszthatjuk (egy lehetséges felosztás szerint):

- 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

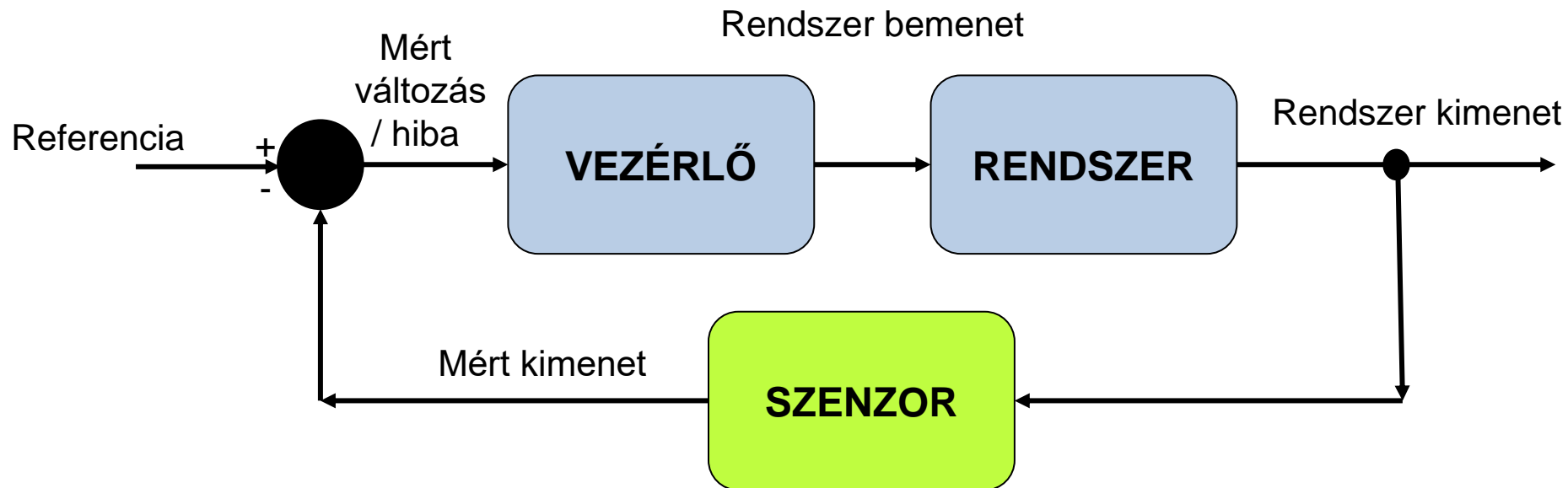


Mechanikus érzékelő

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.

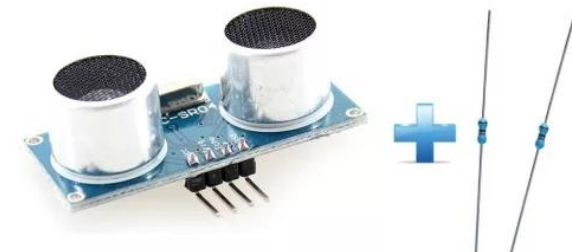


Termisztor:

- Ellenállása jelentősen változik a hőmérséklet hatására.

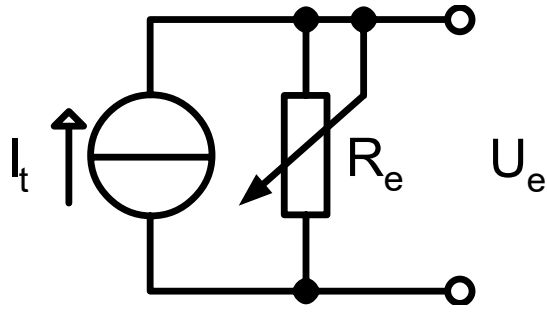
AKTÍV:

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

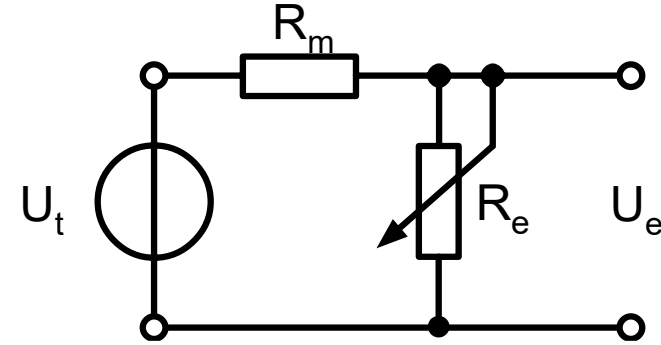


Ultrahangos
távolságérzékelő.

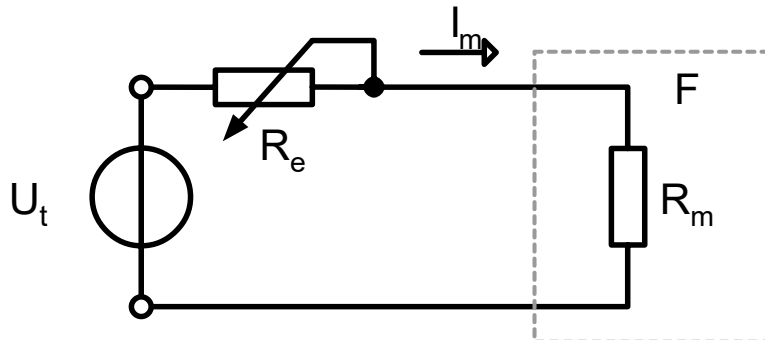
PASSZÍV ANALÓG SZENZOROK ILLESZTÉSE



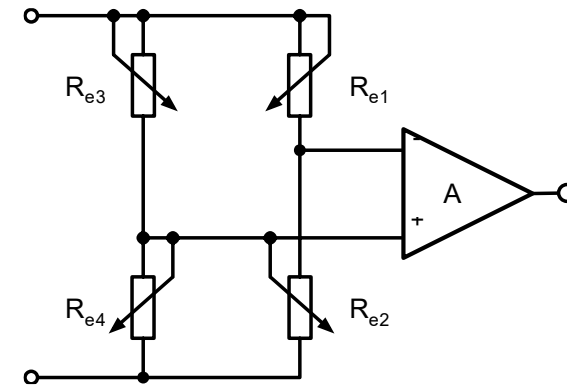
*Egyelemes passzív
érzékelő (áramgenerátor)*



*Feszültségosztó típusú passzív
érzékelő (fesz.táp)*

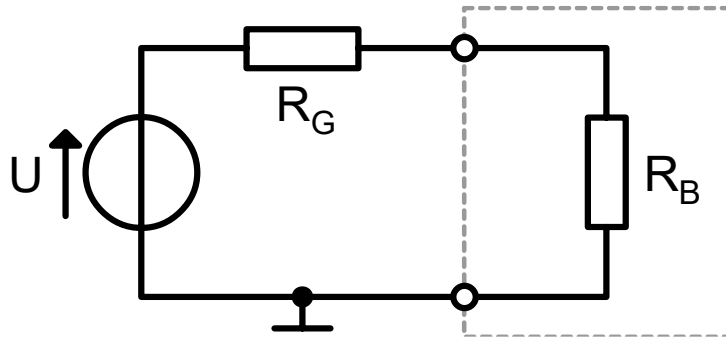


*Áramcsatolt passzív
érzékelő
illesztés*



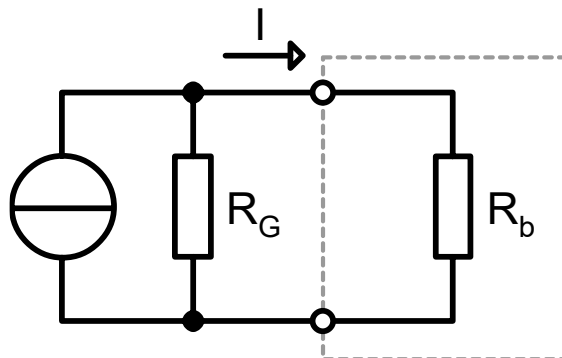
*Wheatstone hídkapcsolású illesztés
(zavarvédett, nagy pontosság)*

AKTÍV ANALÓG SZENZOROK ILLESZTÉSE



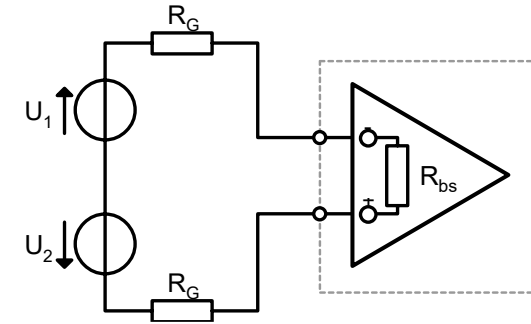
Kis generátorellenállás - magas bemeneti ellenállás;

*Aszimmetrikus jelátvitel
egyenfeszültséggel*



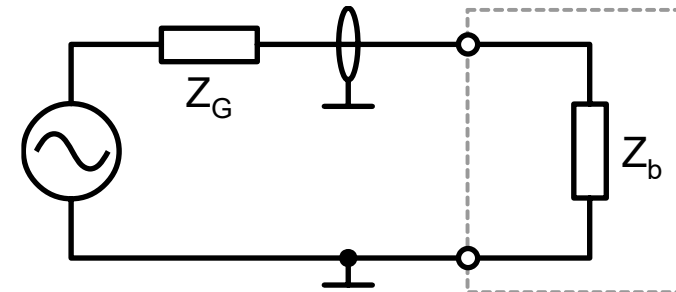
Nagy belső ellenállás - minimális bemeneti ellenállás;

Jelátvitel egyenárammal



Differősítő, jó zajelnyomással!

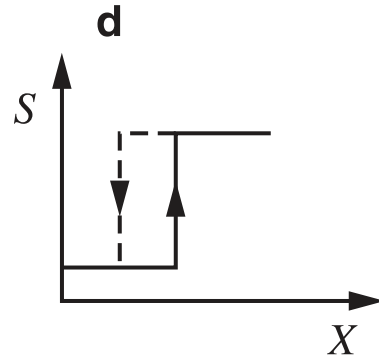
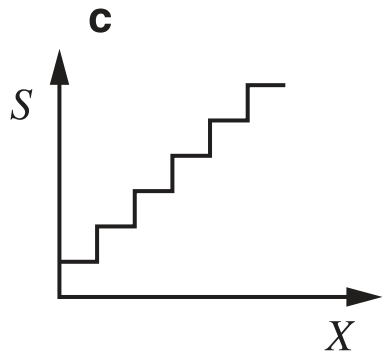
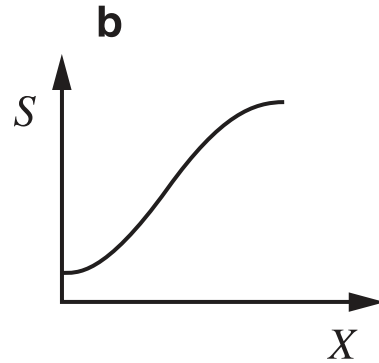
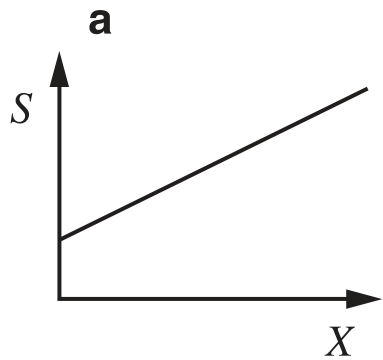
*Szimmetrikus jelátvitel
egyenfeszültséggel*



Komplex impedancia – koaxiális csatolás, impedancia illesztés;

*Jelátvitel váltakozó
feszültséggel*

A SZENZOR JELLEGÖRBEK



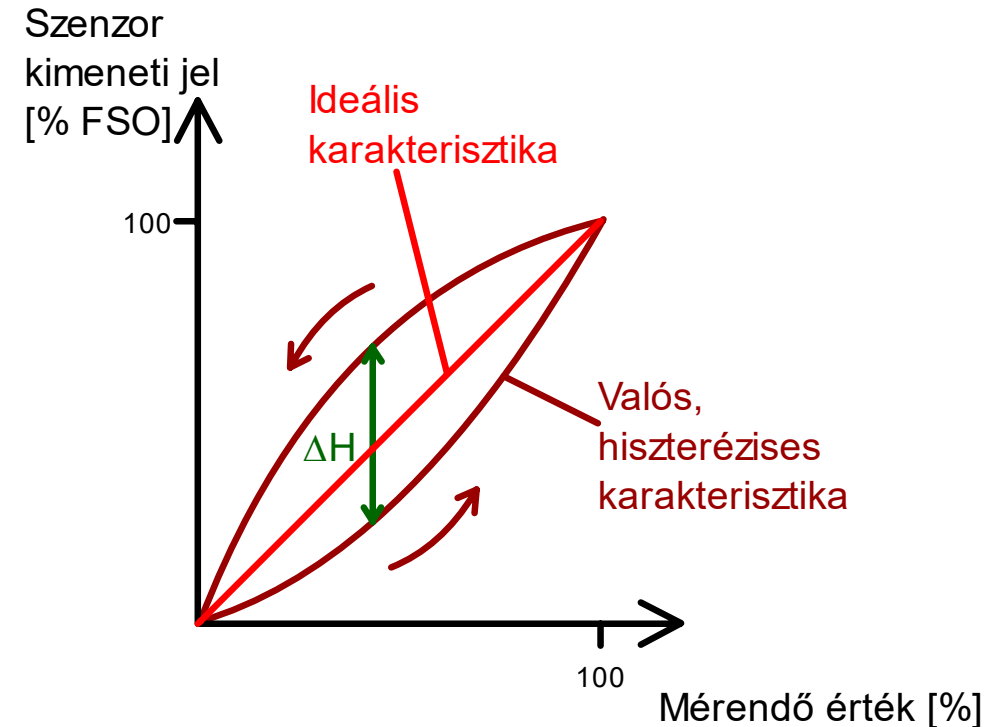
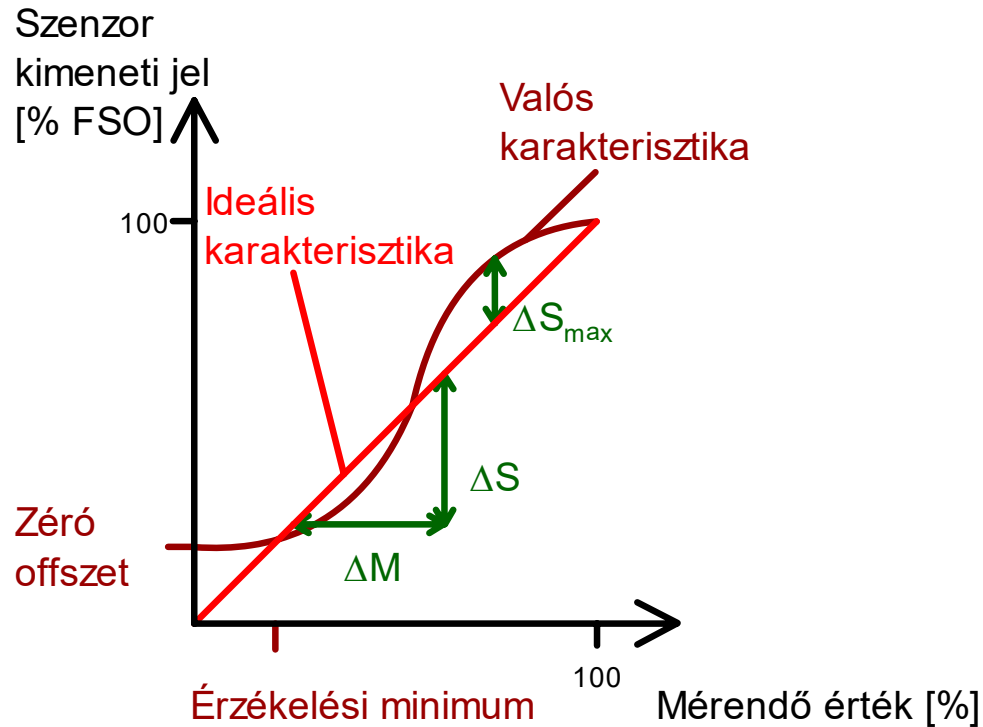
- a) Folyamatos, lineáris,
- b) Folyamatos, nemlineáris,
- c) Folyamatos, többfokozatú,
- d) Folyamatos, kétfokozatú, hiszterézissel.

JELENTÉSEK:

S - Kimeneti jel,
 X - Mérhető változó.

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

STATIKUS ÉS HISZTERÉZISES VISELKEDÉS - RÉSZLETESEN

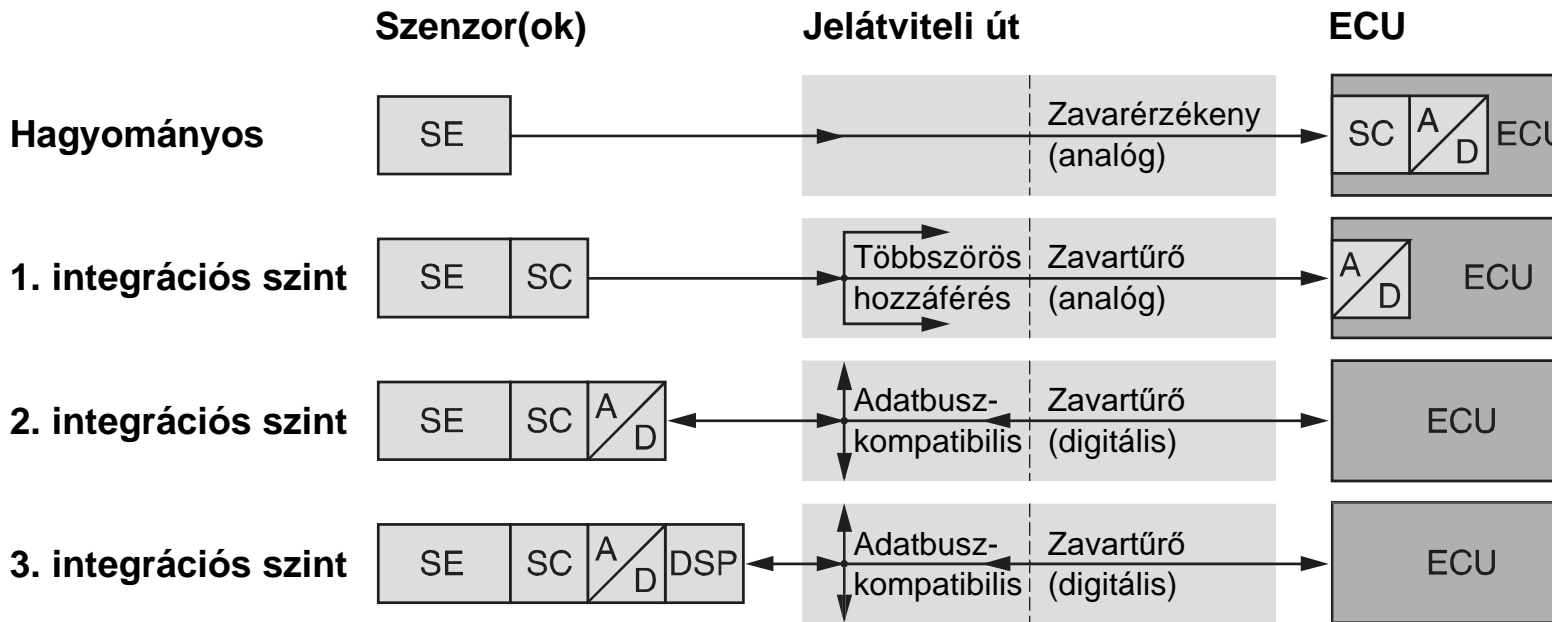


JELENTÉSEK: *FSO* - Teljes kimeneti skála
M - mérendő jel
S - kimeneti jel
H - hiszterézis

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 kompenzálása



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:

- Elegendő két vezeték
- Modulátor/demodulátor átvitel lehetséges
- Hálózatba rendszerezhető

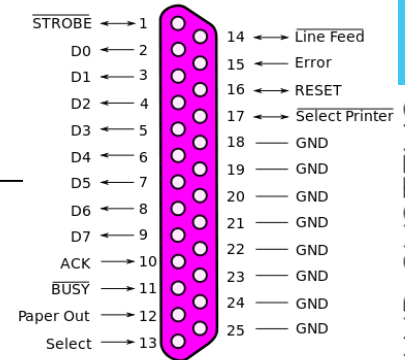
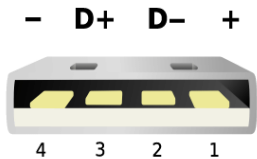
Párhuzamos jeltovábbítás:

- Gyors
- Nem kell szinkronizálás
- Plusz bitekkel hibajavítás implementálható

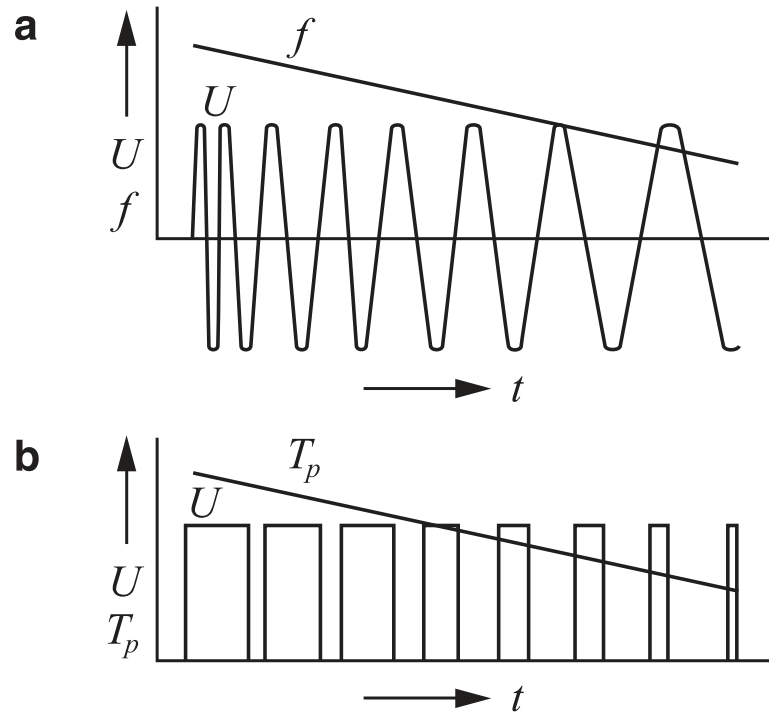
HÁTRÁNYOK

- Kódoló algoritmusra van szükség
- Szinkronizálni kell a kommunikációt
- Zavarérzékenysége magas

- Sok vezetékre van szükség
- Csatornaáthallás lehetséges
- Plusz bitekkel hibajavítás implementálható



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 impulzuskapcsolási 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

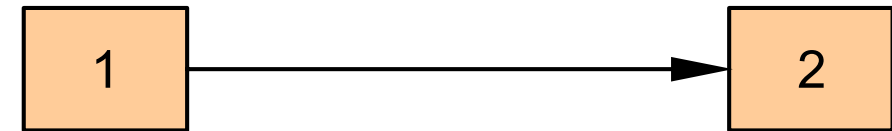
FÉLDUPLEX – megosztott egyirányú átvitel

DUPLEX – kétirányú átvitel

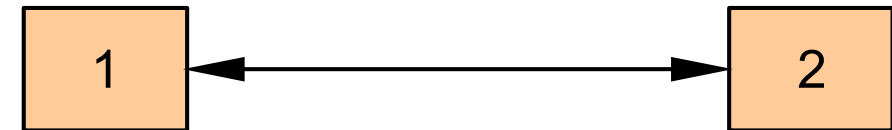
Alapsávi átvitel: adott villamos jel, kötött közegben. Általában szimplex. Időosztásos, időmultiplexált megvalósítás lehetséges. Behatárolt sebesség és távolság jellemzi.

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)

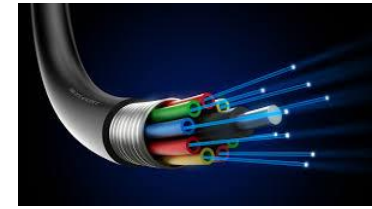
- *ASK – amplitúdóeltolásos-billentyűzés*
- *FSK – frekvenciaeltolásos-billentyűzés*
- *PSK – fáziseltolásos-billentyűzés*
- *PWM – pulzusszélesség-moduláció*
- *PCM – pulzuskód-moduláció*

DIGITÁLIS ESET:

Kódmoduláció

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

SPECIÁLIS JELÁTVITEL (FÉNY)



Soros adatátvitel ideális közege - fényhullám.

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



lézerdióda

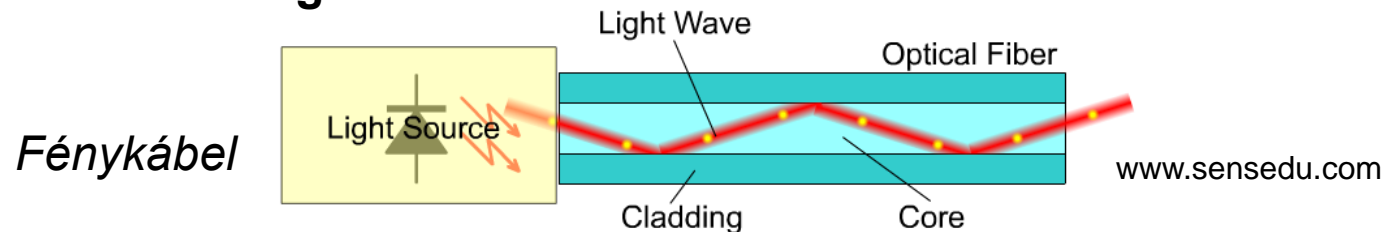


fotodióda

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 rendszertechnikai 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 rendszertechnikailag 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...

Rendszertechnikai 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

Termoelektromos 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_1, T_2 a vezető két végpontjának hőmérséklete,
 S – Seebeck koefficiens

Két különböző vezető, közös melegpont:

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

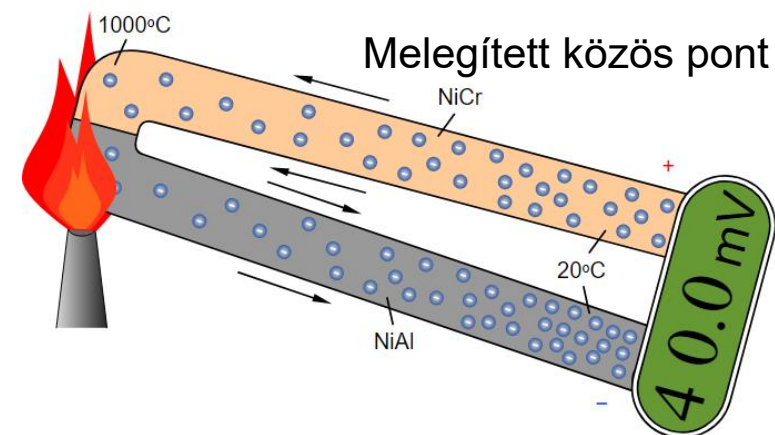
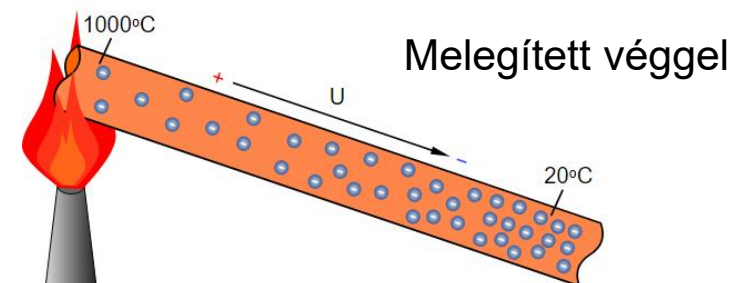
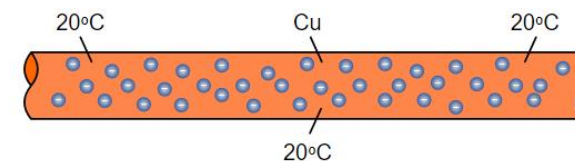
Számolni kell a Seebeck effektus nemlinearitásával!



K-típusú hőelem:

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

Homogén hőmérséklet-eloszlás



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

TERMIKUS SZENZOROK - TERMISZTOR

TERMISZTOR – Hőmérsékletre érzékeny ellenállás:
10⁶ nagyságrenddel érzékenyebb, mint a tiszta fémek.

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

Ellenállás hőmérsékleti együtthatója/koefficiense.

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

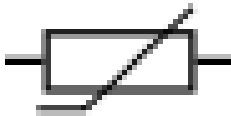
Ellenállás változás hőmérsékletváltozás hatására – visszacsatolunk első órára!

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:

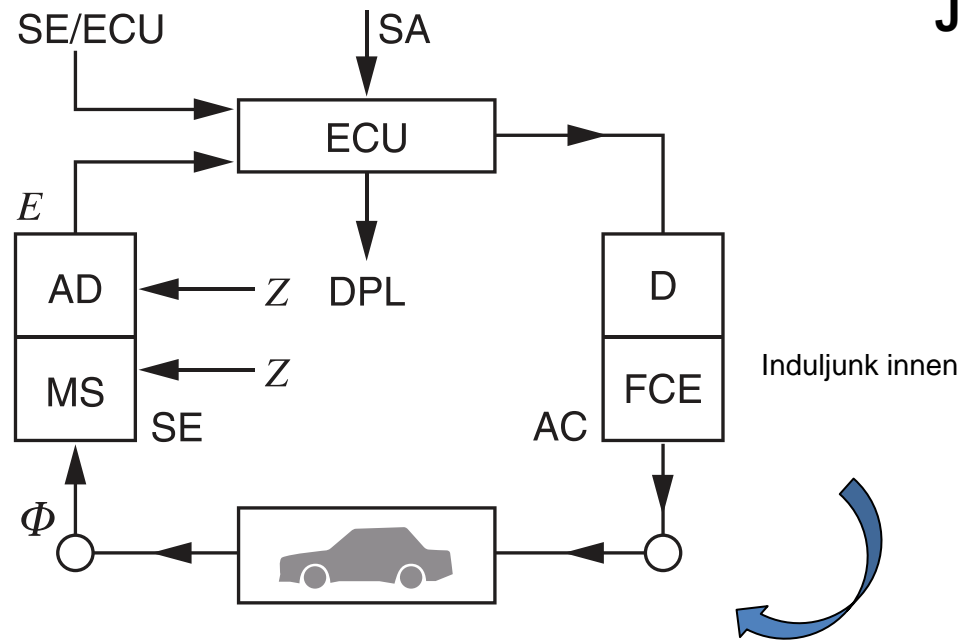


Aktív rendszerben érdemes használni.



AUTÓELEKTRONIKAI PÉLDÁK

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



JELENTÉSEK:

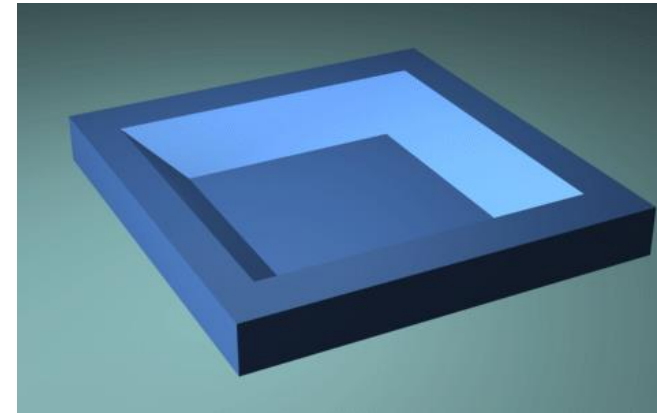
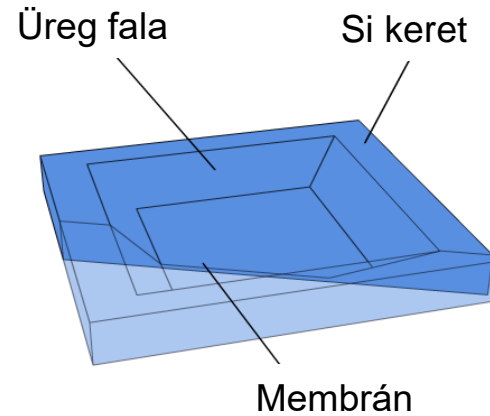
Φ - Fizikai mennyiség,
E - elektromos mennyiség,
Z - Zavar.
AC - működtető,
AD - adapter áramkör,
DPL - kijelző,
MS - Mérőérzékelő,
SA - Kapcsoló,
SE - Érzékelő,
ECU - Elektronikus vezérlőegység,
FCE - Végso vezérlőelem,
D - vezető.

Automotive alkalmazások

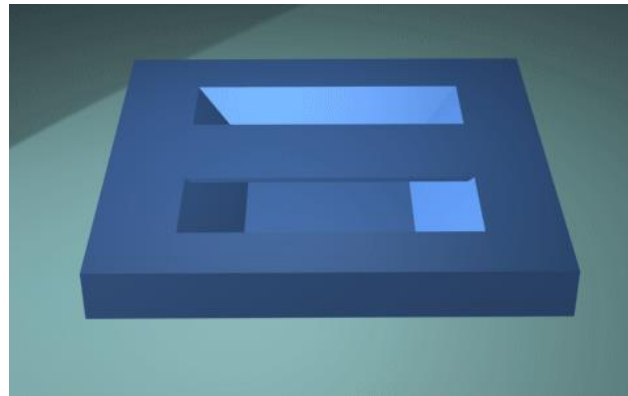
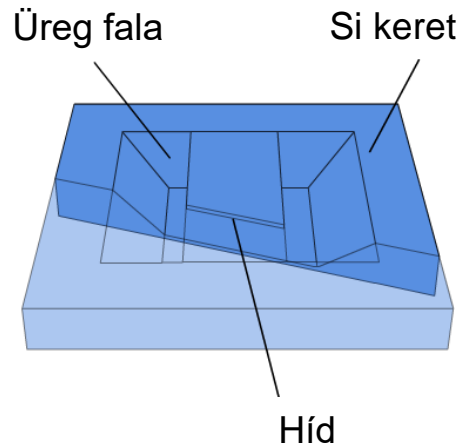
- Funkcionális érzékelők (pl. nyomásérzékelő, hőmérséklet-érzékelő, légtömeg-érzékelő), elsősorban a nyitott és zárt hurokhoz vezérlési funkciókhoz.
- Biztonsági érzékelők (utasvédelem: légzsák és menetdinamikai vezérlés) és védelem (lopásgátlás).
- Érzékelők a járműfelügyelethez (fedélzeti diagnosztika,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

MIKROTECHNOLÓGIAI ALAKZATOK

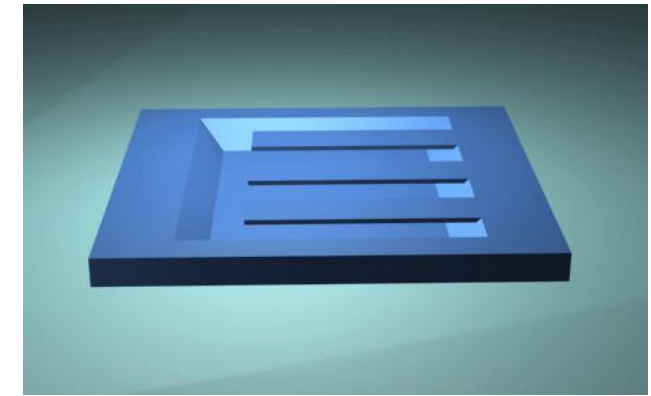
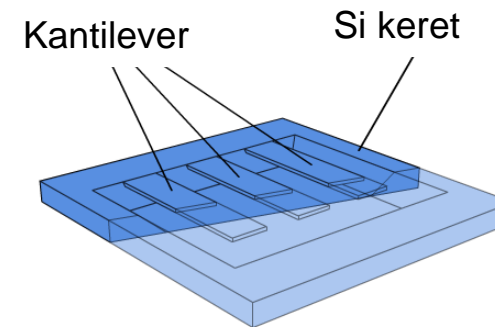
ÁROK/MEMBRÁN



HÍD

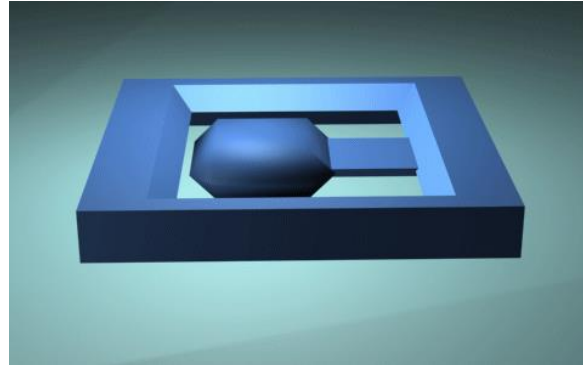
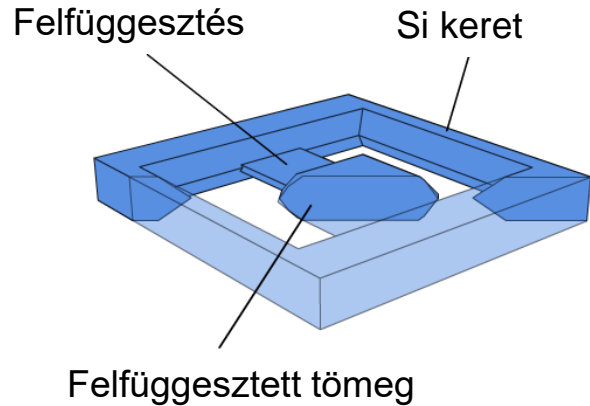


KONZOL/KANTILEVER

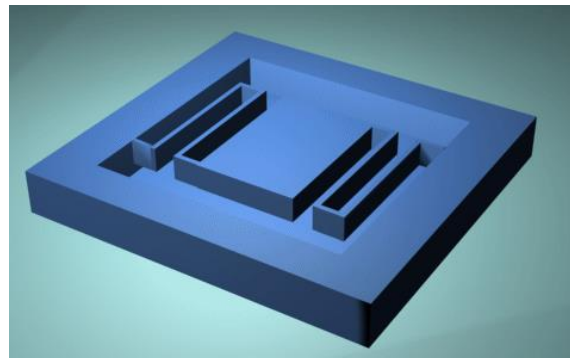
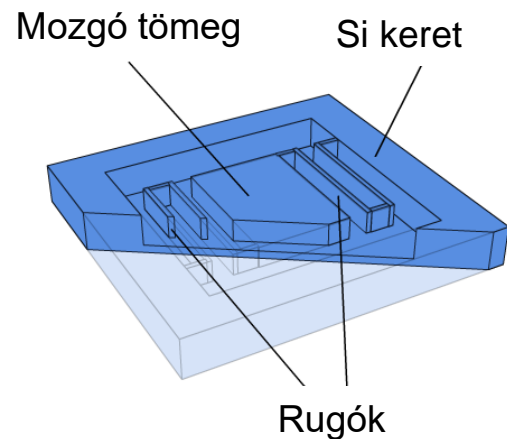


TÖMBI / FELÜLETI MIKROMECHANIKA

MOZGÓ TÖMEG FELFÜGGESZTÉSSEL



MOZGÓ TÖMEG RUGÓKKAL



Nedves kémiai maratás

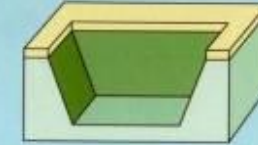
Izotróp maratás savas
fürdőben

maszk
Si

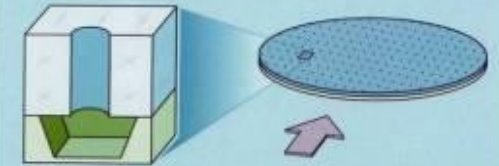


Anizotróp maratás
lúgos fürdőben

TÖMBI



Anódos bondolás



üveg
Si



üveg
Si szelet

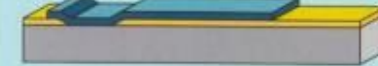
áldozati réteg felvitele



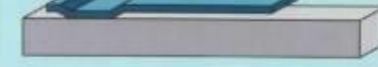
poliszilícium felvitele



poliszilícium maratása



Áldozati réteg eltávolítása



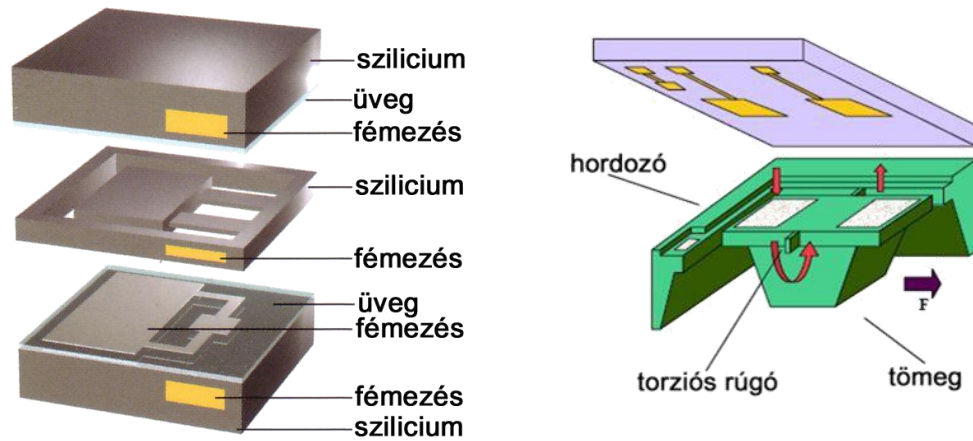
FELÜLETI



Forrás: Bosch

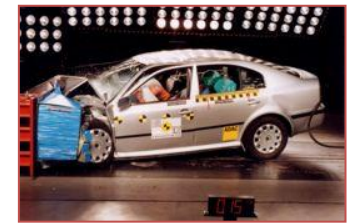
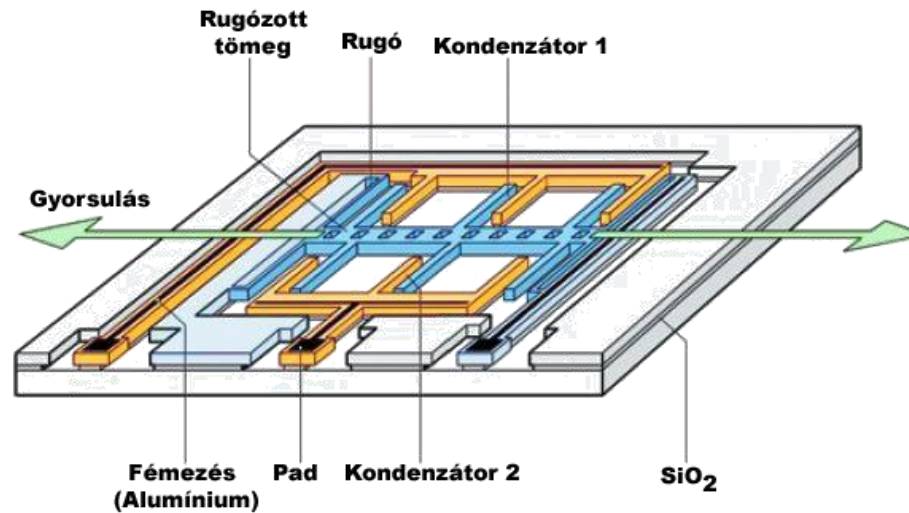
KAPACITÍV GYORSULÁSÉRZÉKELŐK

MOZGÓ TÖMEG FELFÜGGESZTÉSSEL



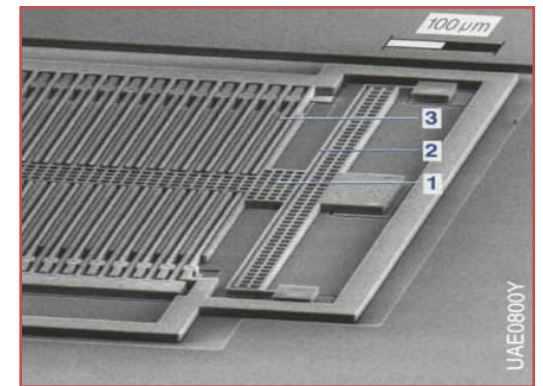
- differenciálkapacitás-változás,
- tömbi mikromechanika,
- összkapacitás kb. 200-400 fF,
- DC mérési lehetőség,
- légcsillapítás.

MOZGÓ TÖMEG RUGÓKKAL



Forrás: Bosch

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



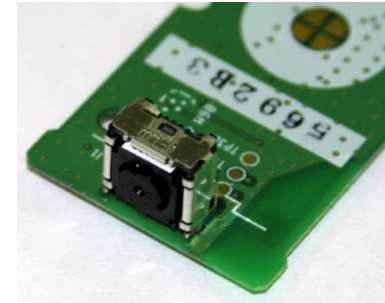
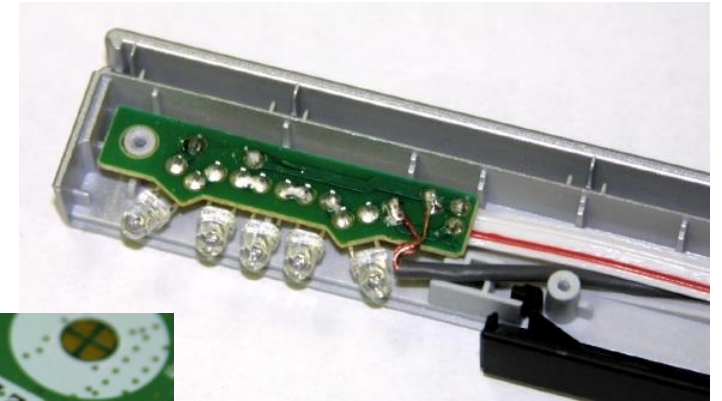
MOZGÁSÉRZÉKELEÉS - WII



Wiimote irányító különböző nézetekből

Funkciók:

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



PixArt IR szenzor



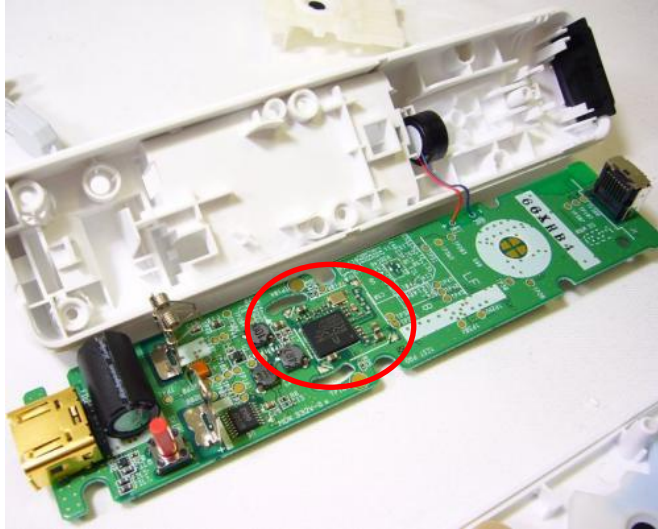
Sensor Bar (RVL-014) – 10 infra LED

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

WIIMOTE - KEZDETLEGES 3DUI ESZKÖZ

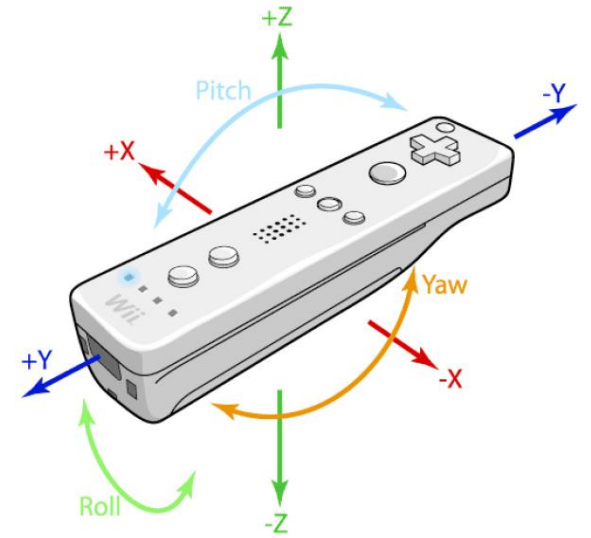
- 3D UI – 3D User Interface – térbeli felhasználói felület,
- User Interaction – felhasználói interakció
- A szenzor bar fix IR ledjei a televízió alatt rögzített pontként szolgálnak, rögzített szenzortávolsággal.
- A mozgásirányító kamerája a dinamikus pont, ami méri a szenzor bar fix IR pontjainak 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.

MOZGÁSÉRZÉKELÉS - WII

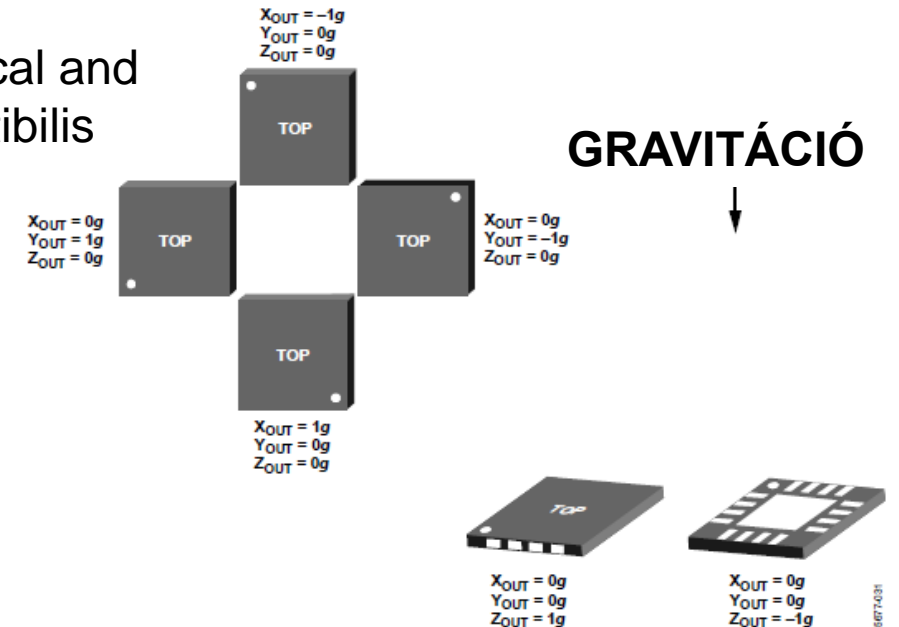
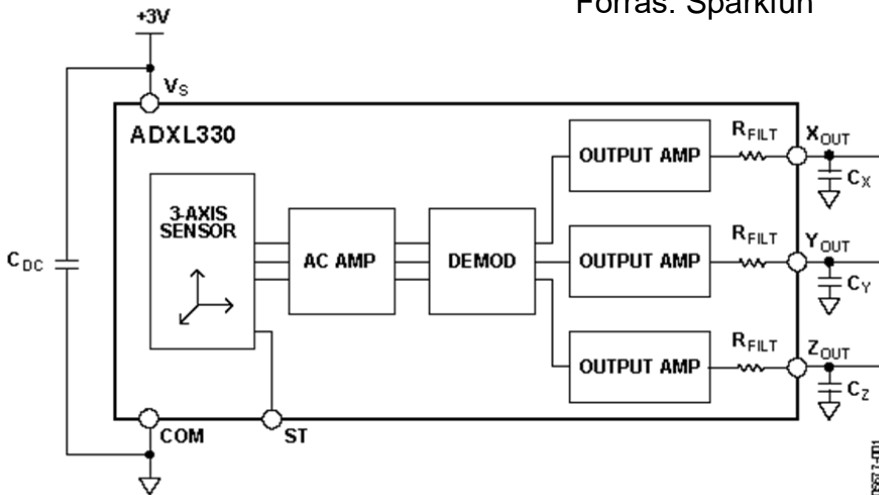


Forrás: Sparkfun

- 3 tengelyes érzékelés
- Kicsi tok: 4×4×1.45mm LFCSP
- Alacsony áramfelvétel (180μA at 1.8V (typical))
- táp 1.8 - 3.6V
- 10,000 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



ÚJ MEGOLDÁSOK – MOTION+

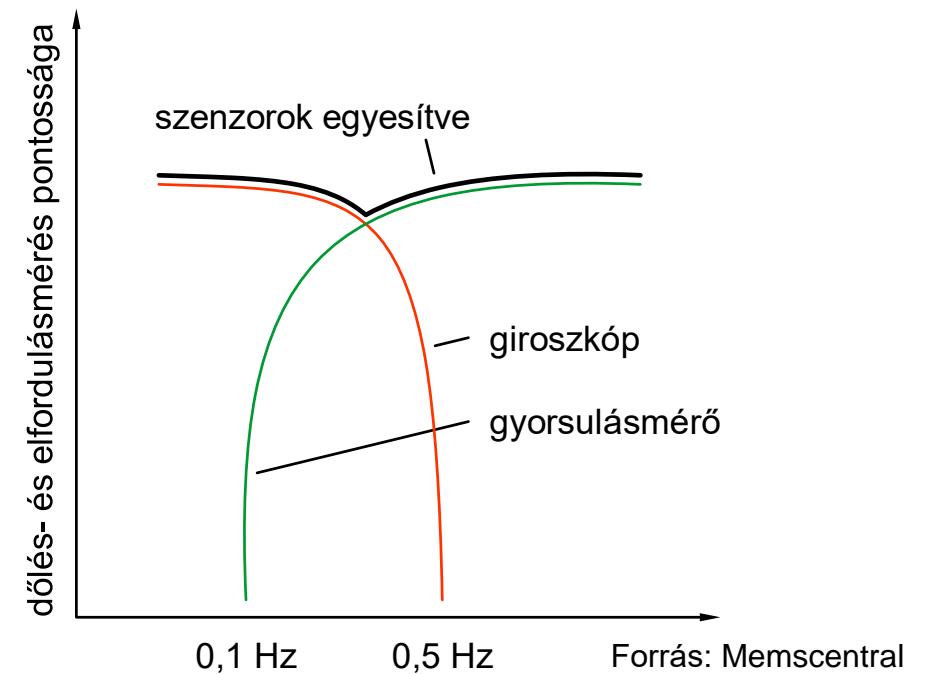
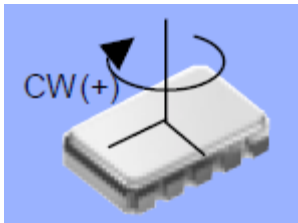


Extra kiegészítő egy **IDG-600** IC-vel.

- 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!

Segéd IC: EPSON TOYOCOM X3500W

- Yaw funkció mérésére



Szenzor fúzió:

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