

Elmozdulás-, közelítés- és szintérzékelők

Programozható irányítóberendezések
és szenzorrendszerek

KOVÁCS Gábor
gkovacs@iit.bme.hu

Elmozdulásérzékelők

- Elmozdulás (*displacement*): a helyzet megváltozása
 - Transzlációs (lineáris) – a pozíció megváltozása, elmozdulás
 - Rotációs – a szöghelyzet (orientáció) megváltozása, elfordulás
 - Egy adott szögű elfordulás egy kör kerületén végzett elmozdulásnak felel meg – az alkalmazott érzékelők nagyon hasonlóak!

Mértékegységek

- Méter - m
 - SI alapegység
 - Fénysebesség alapján definiált
 - Jól használható további egységek
- Angolszász egységek
 - Hüvelyk (inch, ") – $1'' = 2.54 \text{ cm}$
 - Láb (foot, ') – $1' = 12' = 0.3048 \text{ m}$
 - Yard (yd) – $1 \text{ yd} = 3' = 91,4 \text{ cm}$



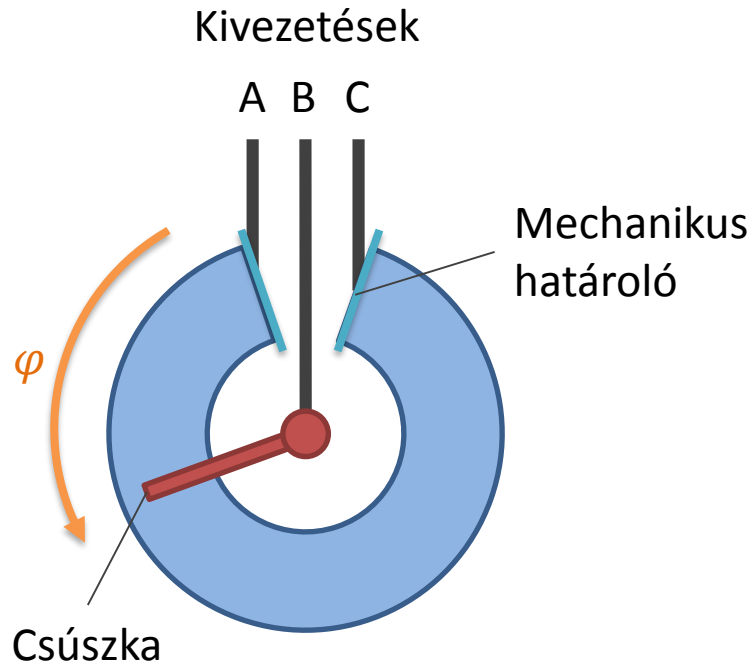
Rezisztív elmozdulásérzékelők

- Ellenálláson mozgó csúszka – potenciométer
- Az ellenállás a pozíció függvénye
- Régóta használt, kiforrott technika



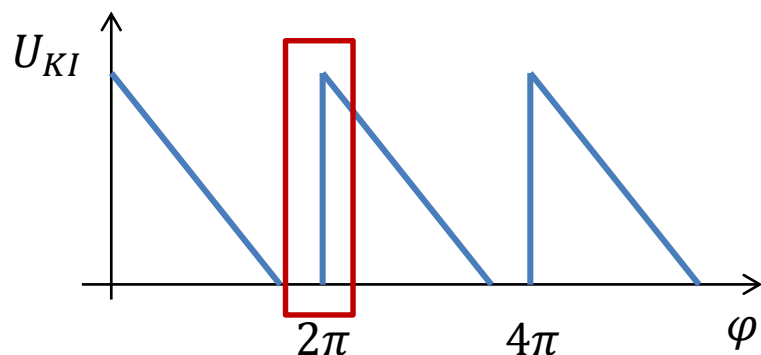
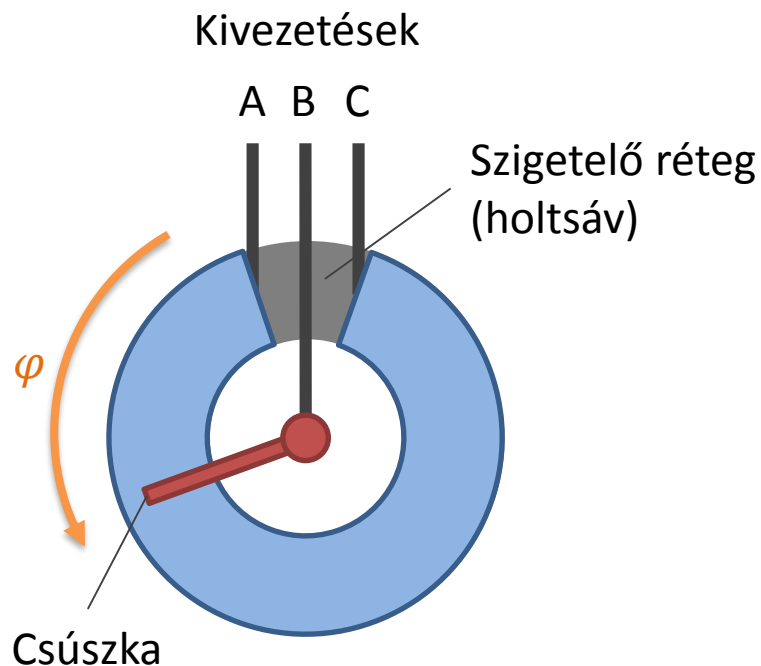
Forgó potenciométer

(Rotary potentiometer)



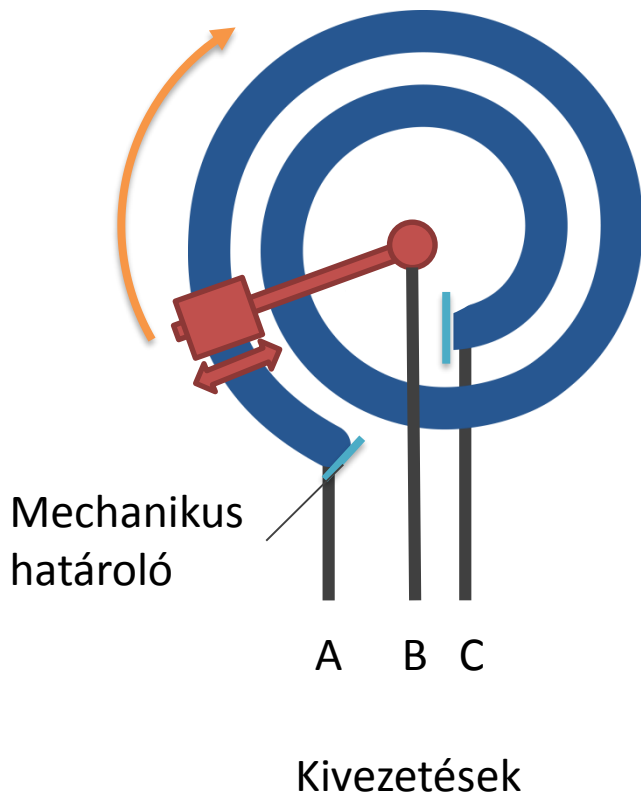
- Az ellenállás az elfordulás arányában nő
- Kivezetések bekötésétől függően óramutató járásával megegyező vagy ellentétes irány

Több fordulatú potenciométer



- A mechanikai határoló hiányzik, a csúszka tetszőlegesen körbefordulhat
- Szigetelő holtsáv: végtelen ellenállás – nulla feszültség
- Szigetelő és ellenállás sáv határ átlépésekor fel- vagy lefutó él
- Éleket számlálva a körfordulások száma meghatározható
- Probléma: nullpont meghatározása

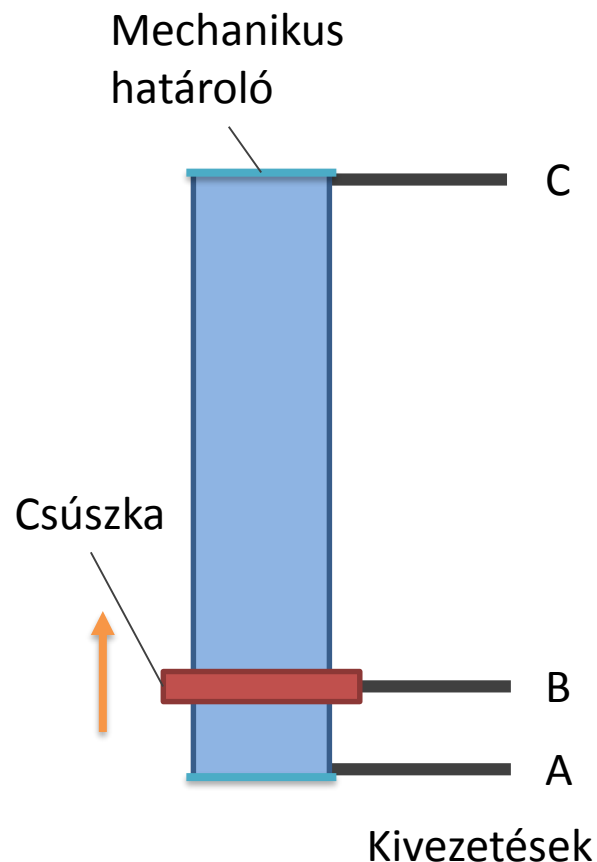
Helikális potenciométer



- A csúszka spirális pályán mozog
- Több teljes körülfordulást is megtehet
- Megfelelő kialakítással lineáris karakterisztika
- A körülfordulások száma nem végtelen
- Abszolút elfordulás-információ

Lineáris potenciométer

(Linear potentiometer)

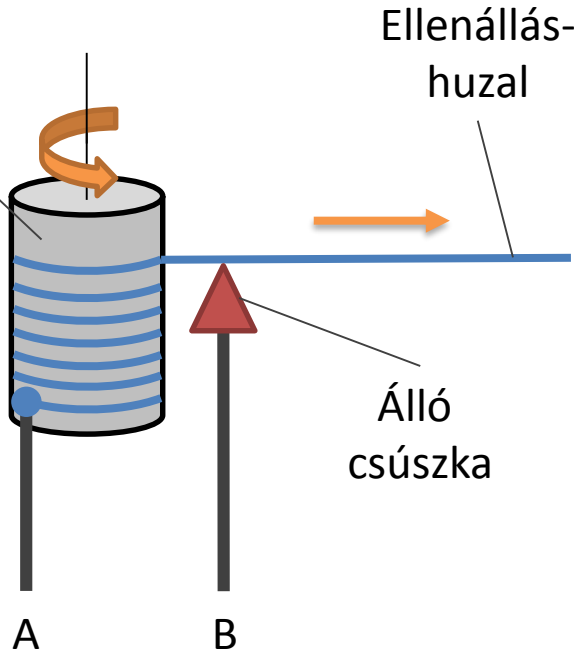


- Az ellenállás a transzlációs elmozdulás függvénye
- Lineáris mellett akár más függvény is lehet (pl. logaritmikus)
- Hossz: akár 400mm

Mérőhuzalos potenciométer

(String potentiometer, yo-yo pot)

Rugós vissza-
csévéléses dob



- A csúszka stabil, az ellenállás a dobra csévélt ellenálláshuzal hosszának függvénye
- Akár 100 méteres elmozdulás



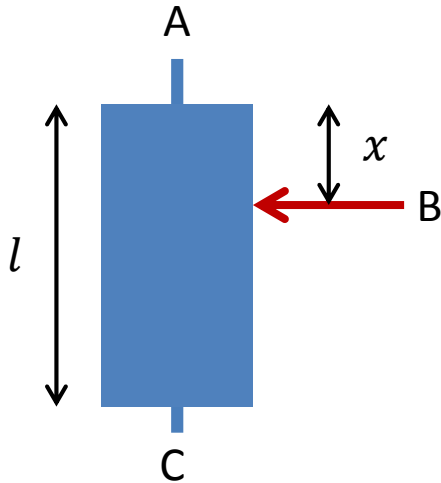
Potenciométerek ellenállás-elemeinek kialakítása

- Huzal potenciométerek
 - Korlátozott felbontás
 - Nagy teljesítmény (disszipáció)
- Réteg potenciométerek
 - Végtelen kis felbontás
 - Korlátozott teljesítmény
 - Környezetre érzékeny
- Cermet: kerámia-fém kompozit
 - Végtelen kis felbontás
 - Nagy teljesítmény, kis zaj
 - Környezetre érzékeny
- Karbon kompozit
 - Olcsó
 - Környezetre rendkívül érzékeny



Huzal potenciométer

Potenciométerek bekötése



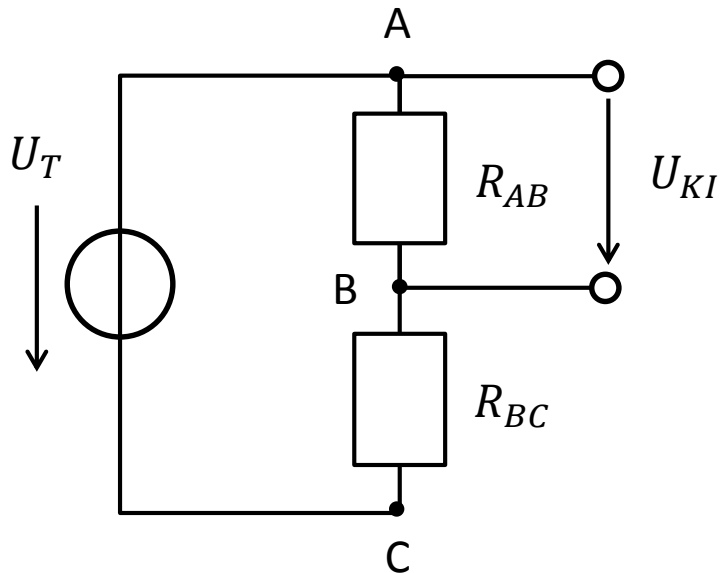
- Teljes ellenállás (ρ : adott keresztmetszetű vezető fajlagos ellenállása [Ω/m]):

$$R_0 = R_{AC} = \rho l$$

- Az elmozduláshoz tartozó ellenállás:

$$R = R_{AB} = \rho x$$

$$\Rightarrow \frac{R}{R_0} = \frac{x}{l}$$

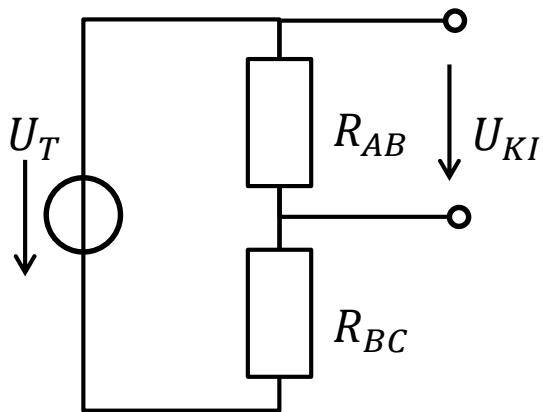


- A mérendő feszültség:

$$U_{KI} = U_{AB} = \frac{R_{AB}}{R_{AB} + R_{BC}} U_T = \frac{R}{R_0} U_T$$

$$U_{KI} = \frac{x}{l} U_T$$

A hőmérsékletváltozás és mechanikai feszültség hatása

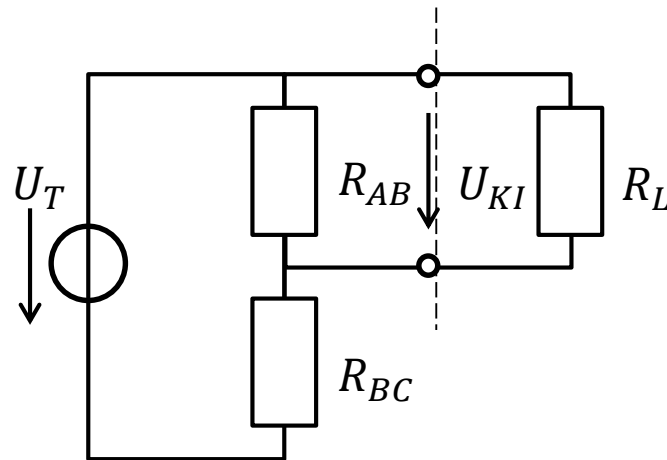
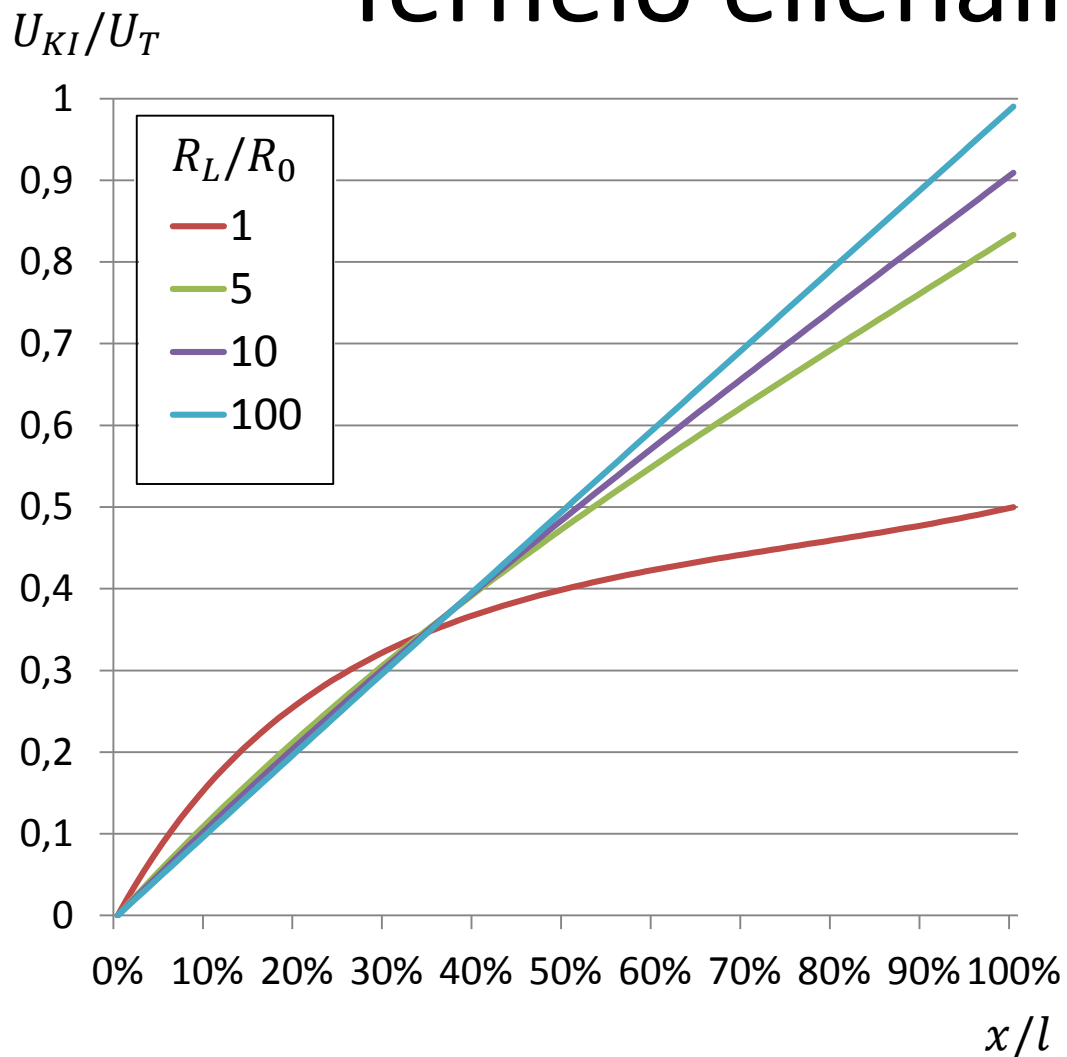


$$U_{KI} \Big|_{\vartheta=\vartheta_0, \sigma=0} = \frac{R_{AB}}{R_{AB} + R_{BC}} U_T = \frac{R_{AB}}{R_{AC}} U_T = \frac{x}{l} U_T$$

Hőmérsékletváltozás és mechanikai feszültség hatására (piezorezisztivitás):

$$U_{KI} = \frac{\rho_0(1 + \pi\sigma)(1 + \alpha\Delta\vartheta)x}{\rho_0(1 + \pi\sigma(1 + \alpha\Delta\vartheta))l} U_T = \frac{x}{l} U_T$$

Terhelő ellenállás hatása



- $$U_{KI} = \frac{\frac{R_{AB}R_L}{R_{AB}+R_L}}{R_{BC} + \frac{R_{AB}R_L}{R_{AB}+R_L}}$$
- Használjunk végtelen nagy terhelést: erősítő

Rezisztív elmozdulásérzékelők

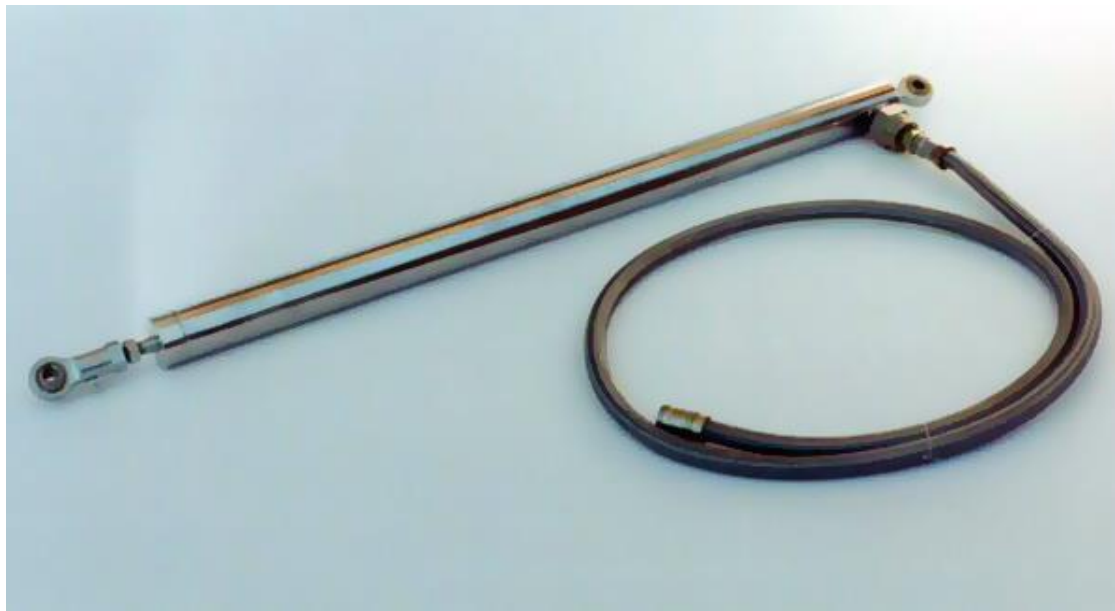
- Jelentős probléma: mechanikai kontaktus
 - Súrlódás – akadályozza a mért elmozdulást
 - Histerézis (kotyogás)
 - Rezgésérzékenység
- Élettartam: 1-10 millió ciklus
 - 1 ciklus / másodperc
 - 86400 ciklus / nap
 - 10 millió ciklus \approx 115 nap!

Rezisztív elmozdulásérzékelők

- + Egyszerű felépítés
- + Alacsony ár
- + Zavarokra nem érzékeny
- + Egyszerű illesztő áramkör
- Mechanikai kontaktus igénye
- Súrlódás
- Rövid élettartam
- Kis pontosság

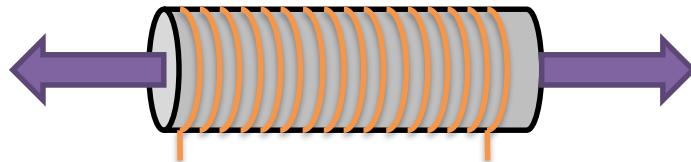
Induktív elmozdulásérzékelés

- Elektromágneses induktivitáson alapul
- Kontaktusmentes technológia
- Nagy mérési tartomány



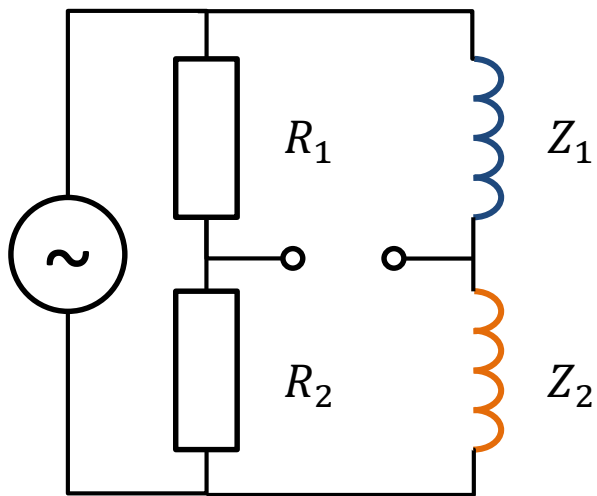
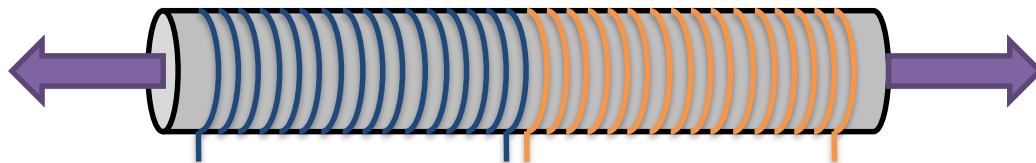
Nyílt mágneses hurkú átalakító

(Linear variable inductor)



- A ferromágneses mag mozgatásával a tekercs induktivitása megváltozik
- Az induktivitás változása érzékelhető
- Probléma: nemlinearitás, jelentős hőmérsékletfüggés, kis érzékenység

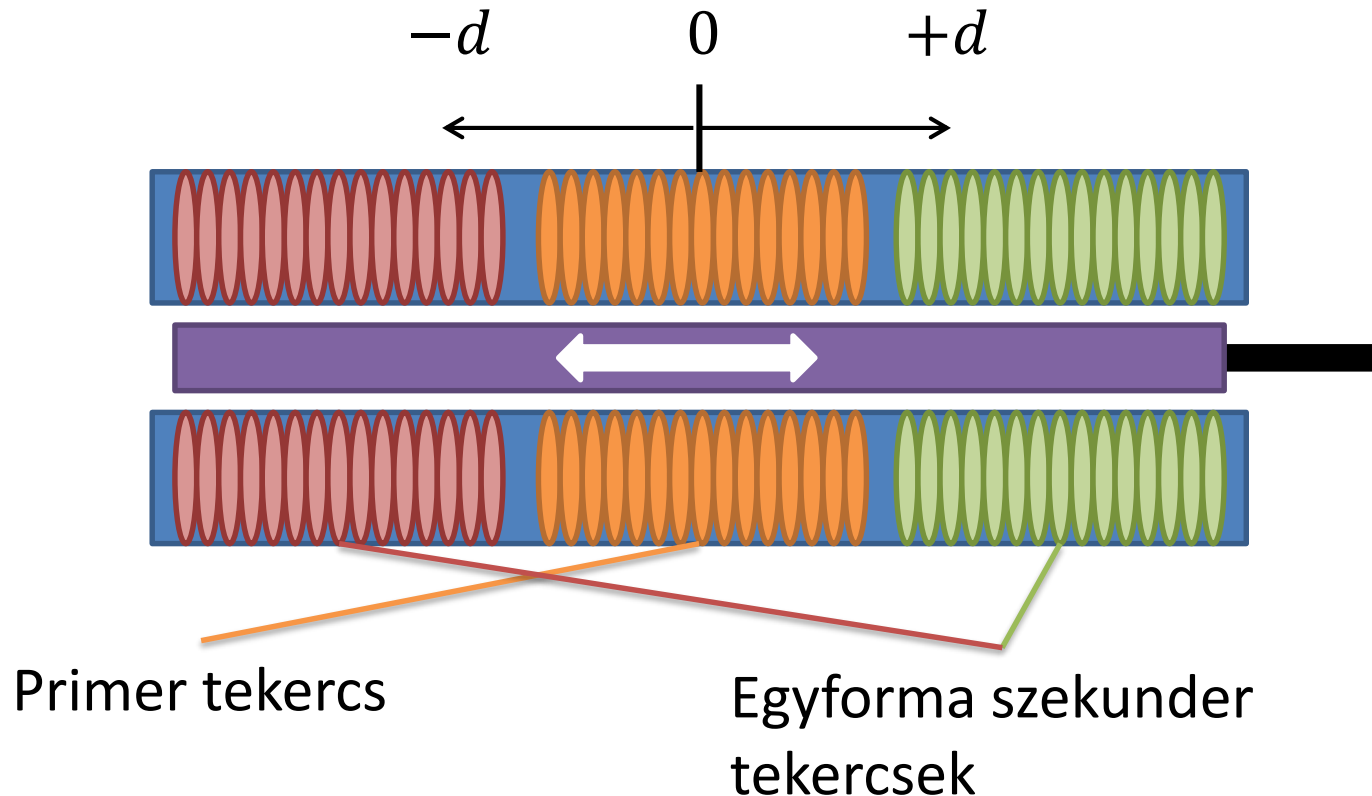
Nyílt mágneses hurkú átalakító



- A hídkapcsolással az érzékenység jelentősen javul
- Jó méretezéssel viszonylag tág linearitási tartomány
- Egyszerű konstrukció
- A hőmérsékletfüggés jelentős
- Kb. 1%-os pontosság

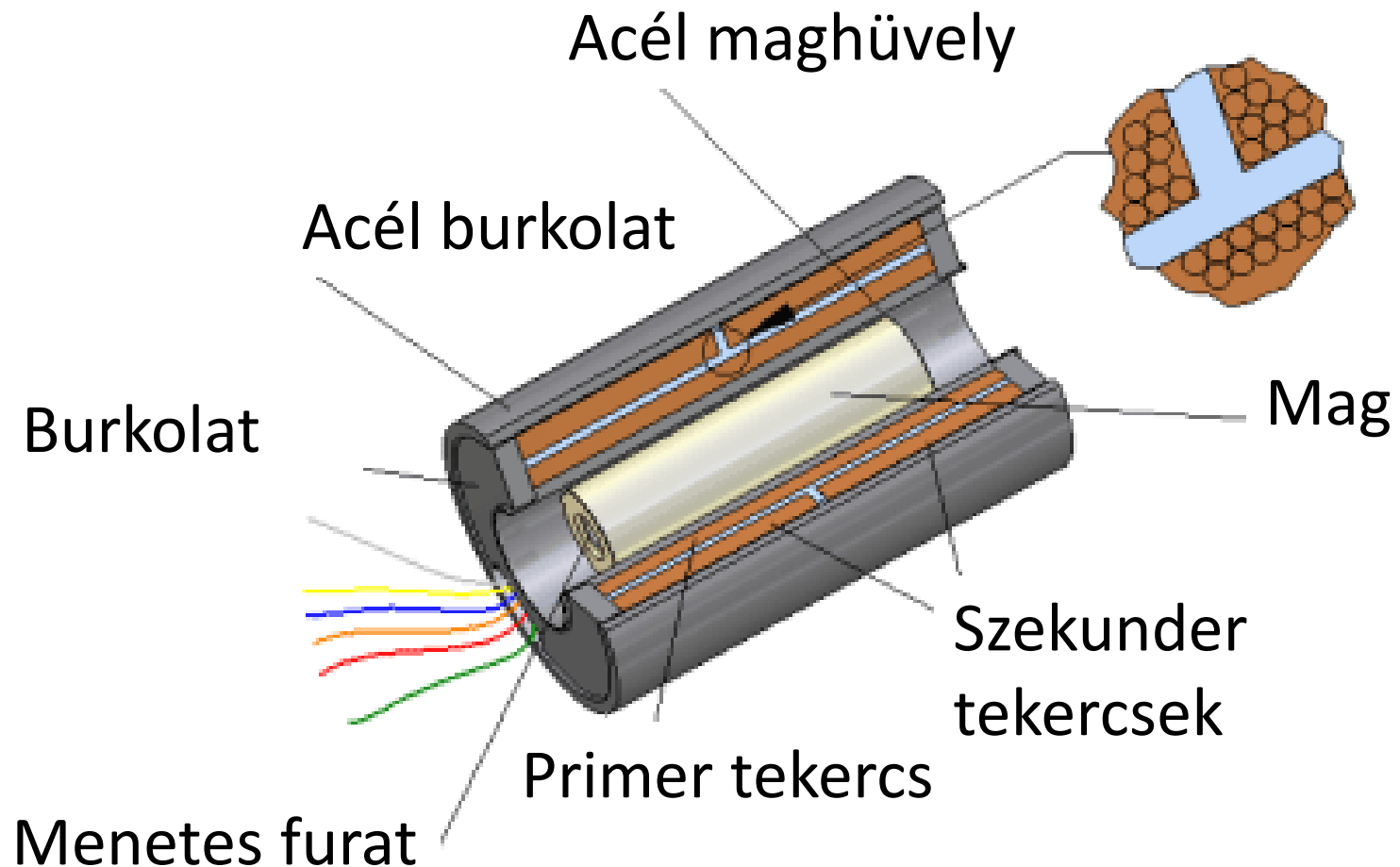
Lineáris differenciál-transzformátor – LVDT

(Linear Variable Difference Transformer)



Lineáris differenciál-transzformátor – LVDT

(Linear Variable Difference Transformer)

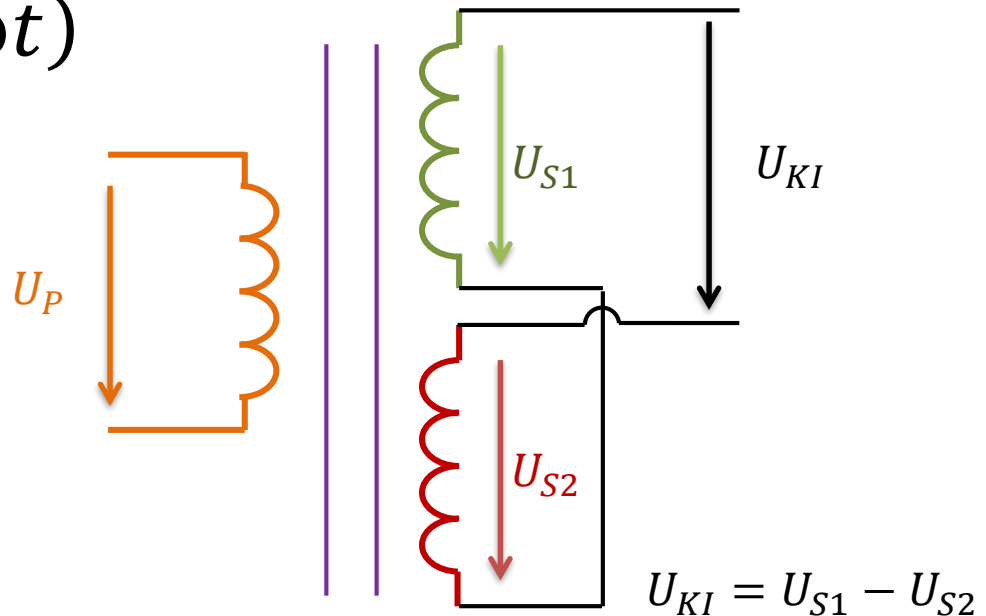


LVDT

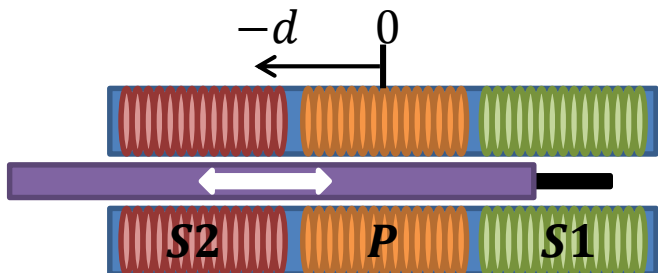
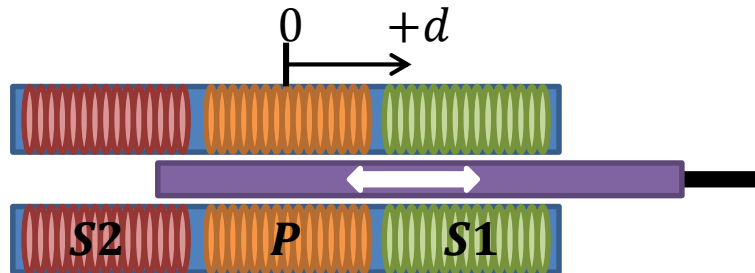
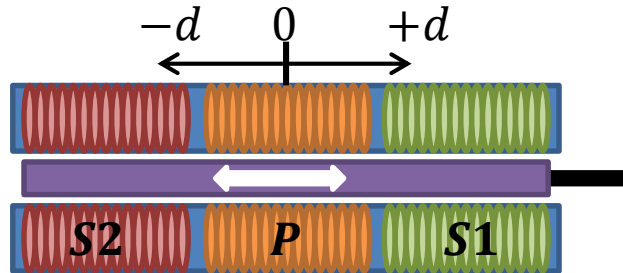
- $U_P = U \sin(\omega t)$
- $U_{S1} = \frac{N_1}{N} U \sin(\omega t)$
- $U_{S2} = \frac{N_2}{N} U \sin(\omega t)$

N : a primer tekercs
menetszáma

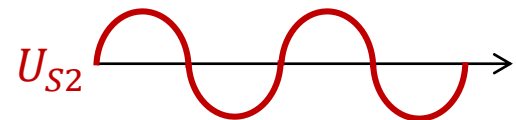
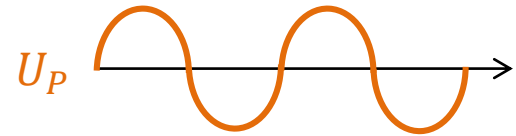
N_1, N_2 : a szekunder
tekercsek effektív
menetszáma



LVDT

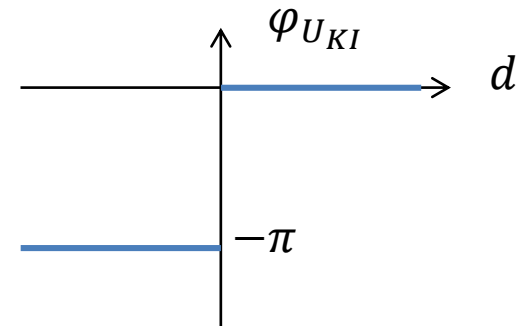
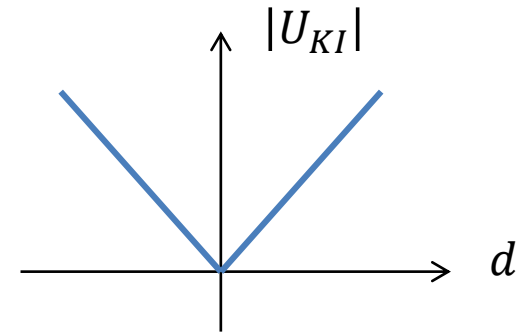


$$U_{KI} = U_{S1} - U_{S2}$$

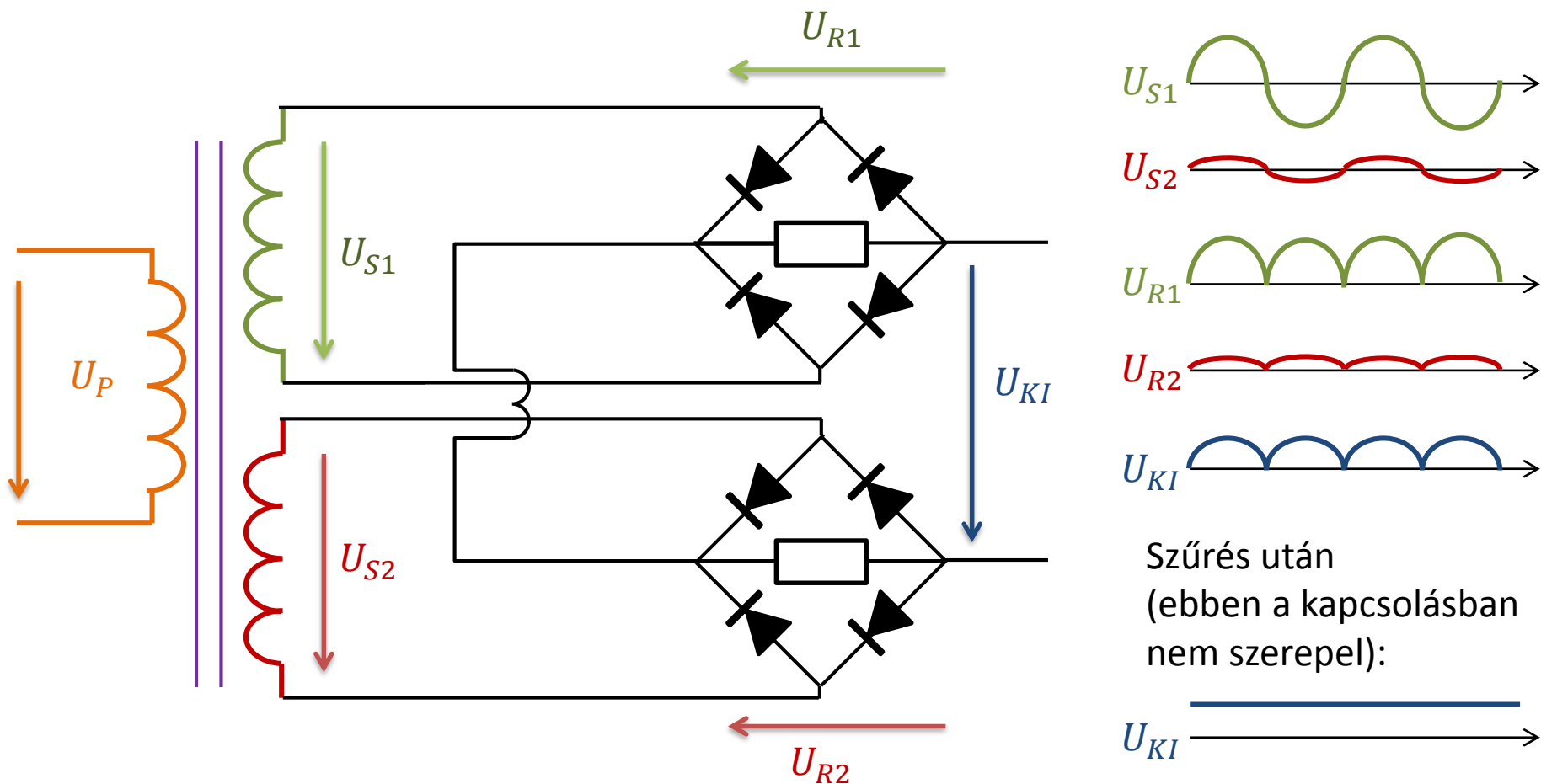


LVDT

- Középhelyzet
 - $N_1 = N_2 \Rightarrow U_{KI} = 0$
- Pozitív elmozdulás
 - $N_1 > N_2 \Rightarrow U_{KI} = \frac{N_1 - N_2}{N} U \sin(\omega t)$
- Negatív elmozdulás
 - $N_1 < N_2 \Rightarrow U_{KI} = \frac{N_1 - N_2}{N} U \sin(\omega t) < 0$
 - $U_{KI} = (N_1 - N_2) U \sin(\omega t - \pi)$
- A kimeneti feszültség
 - $|U_{KI}| = \frac{|N_1 - N_2|}{N} U$
 - $\varphi_{U_{KI}} = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \geq 0 \\ -\pi & \text{ha } x < 0 \end{cases}$



Fázisérzékeny demodulátor

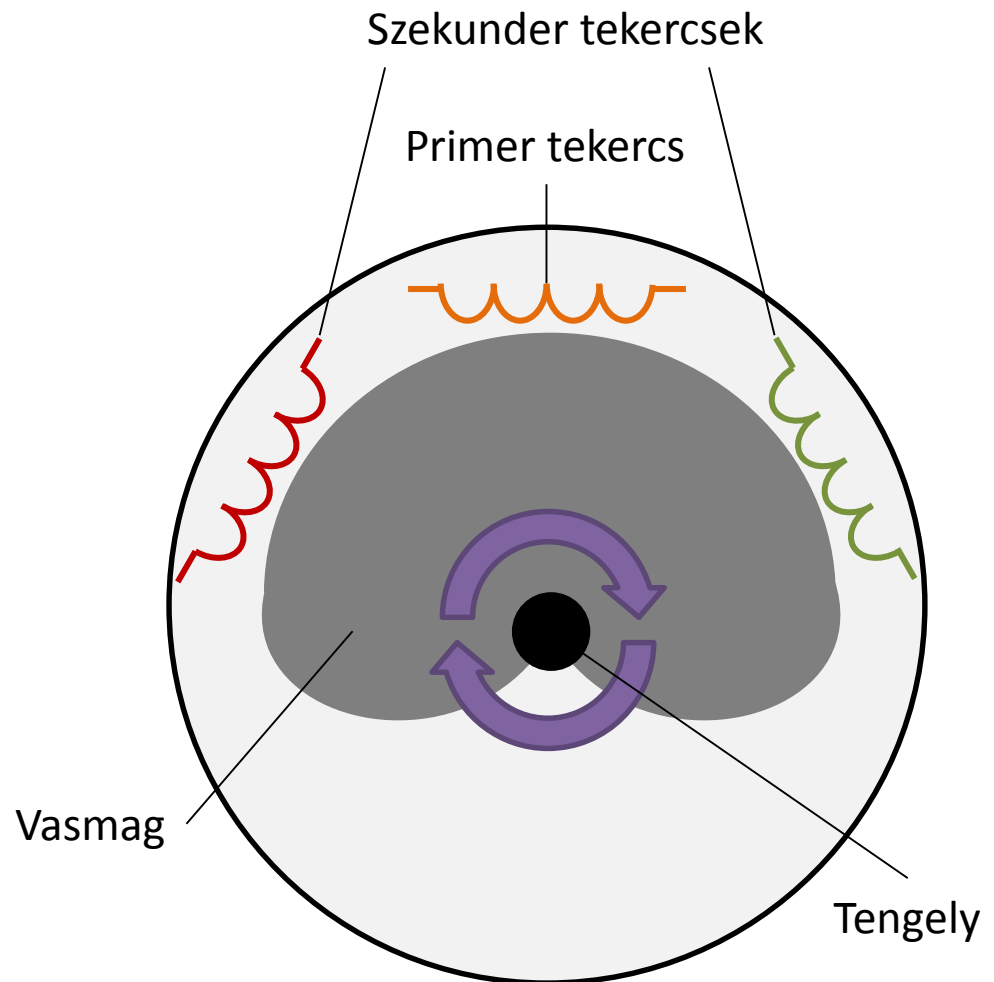


Az egyenirányított feszültségek (U_{R1} és U_{R2}) iránya ellentétes!

Forgó differenciáltranszformátor – RVDT

(Rotary Variable Difference Transformer)

- Működési elve és módja az LVDT-vel azonos
- Speciális kialakítású tekercsek és vasmag
- Csak korlátozott szögelfordulást (kb. $\pm 40^\circ$) érzékel



LVDT - gerjesztés

- AC gerjesztést igényel
- Általában DC bemenet + oszcillátor
- Gerjesztés frekvenciája
 - Minél gyorsabb elmozdulást mérünk, annál nagyobb frekvenciára van szükség
 - 50Hz – 10kHz
 - Tipikus: 250Hz-1kHz
 - Lassú mozgás esetén hálózati váltófeszültséggel is üzemeltethető (50Hz)

Induktív elmozdulásérzékelők

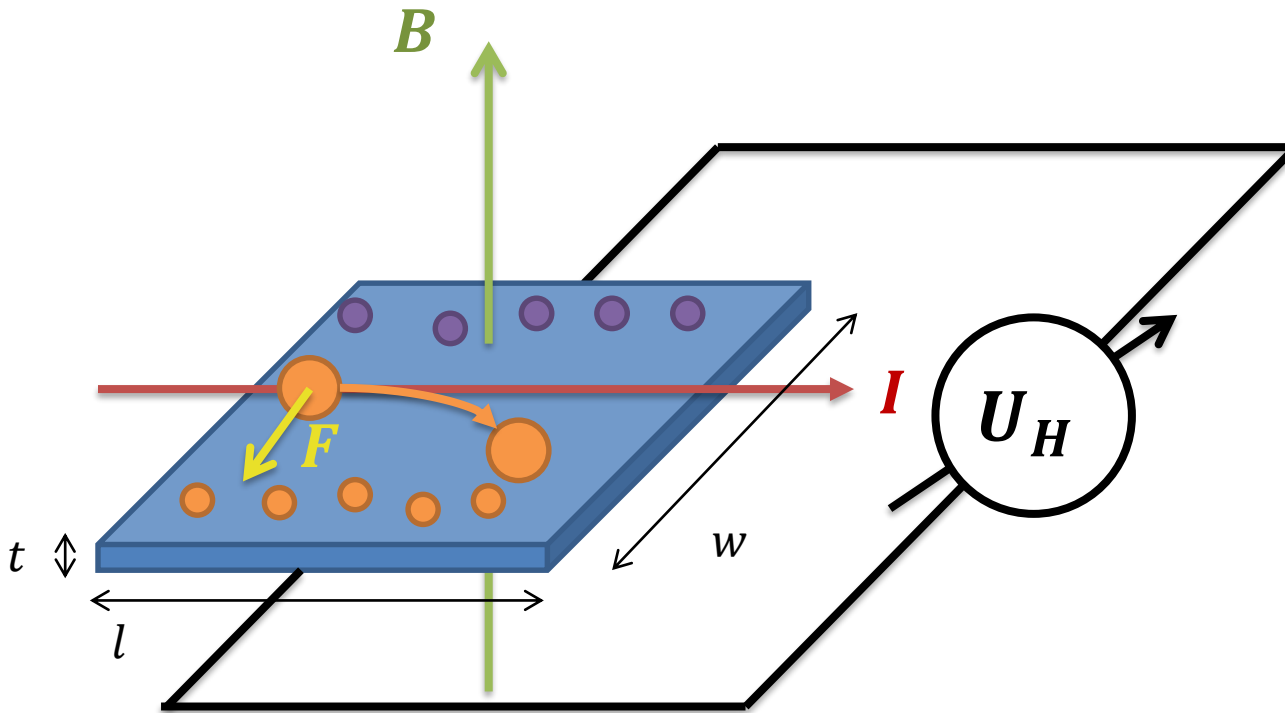
- + Robusztus felépítés
- + Kontaktus nélküli érzékelés
- + 0.2-0.5%-os pontosság
- + Vibrációra érzéketlen
- + Végtelen kis felbontás
- AC gerjesztés igénye
- Komplex elektronika
- Korlátozott mérési tartomány (tipikusan 500mm alatt)

Mágneses elmozdulásérzékelők

- Állandó mágnes használatát igényelik
- A mágneses térhez kapcsolódó különféle jelenségeket használják ki



Hall effektus



- Lorentz-erő: $F = q(E + v \times B)$
- $E = \frac{U_H}{w}$
- $v = \frac{l}{T}$
- $I = \frac{Q}{T}$
- $Q = l \cdot w \cdot t \cdot n \cdot e$
- $U_H = -\frac{IB}{n \cdot t \cdot e}$
- $R_H = -\frac{1}{nte}$
- $U_H = R_H IB$

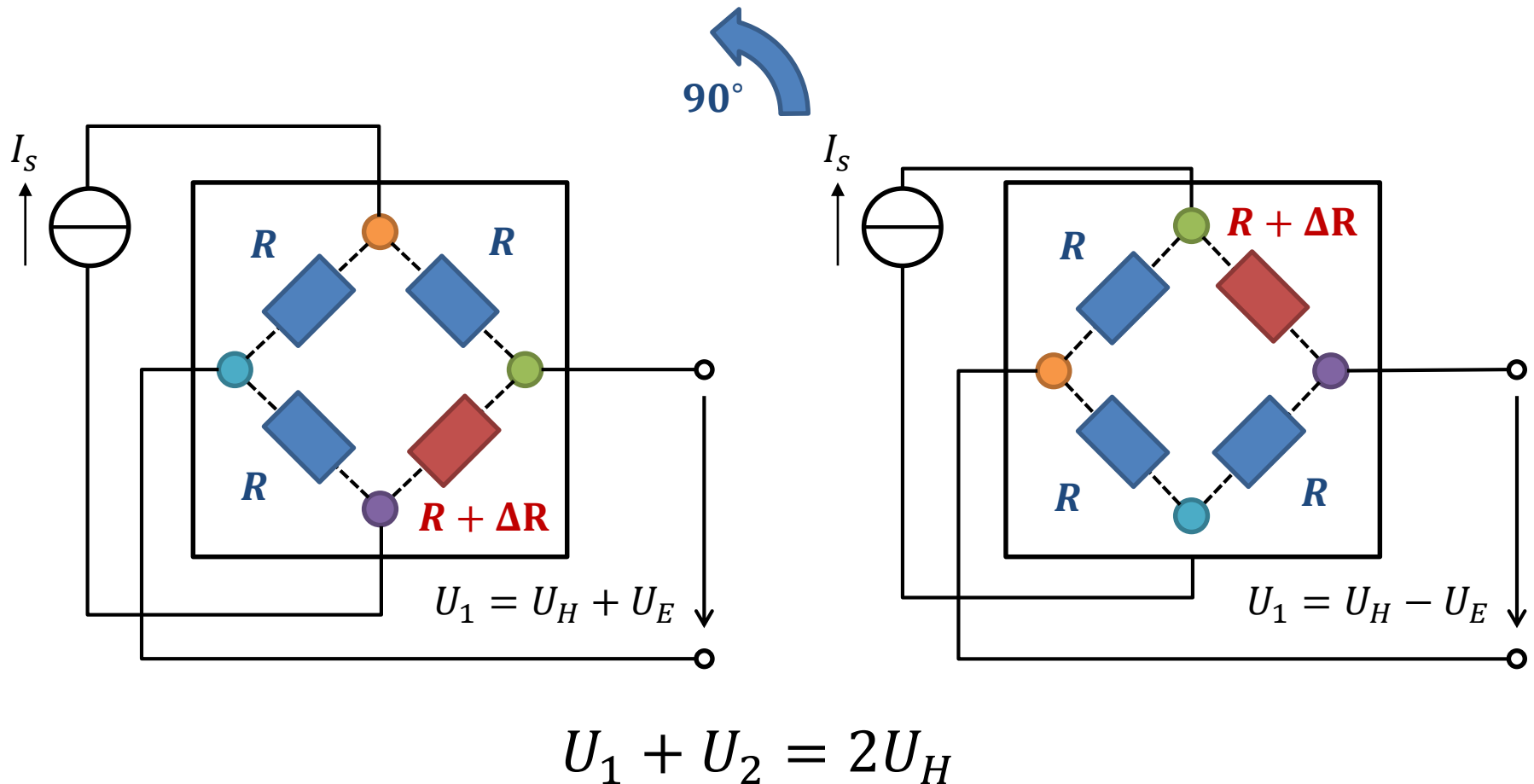
- n : töltéshordozó-sűrűség
- e : elemi töltés

Hall érzékelő

(Hall effect sensor, Hall sensor)

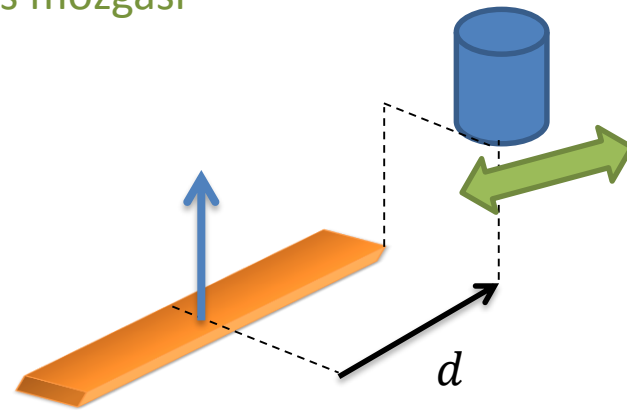
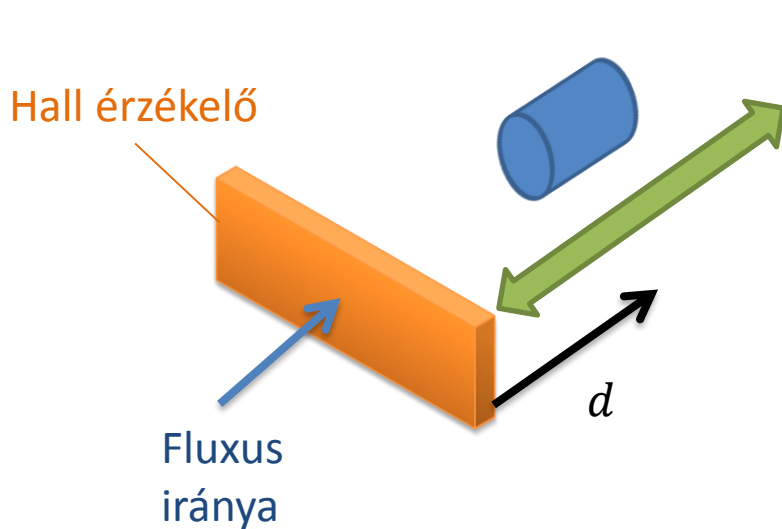
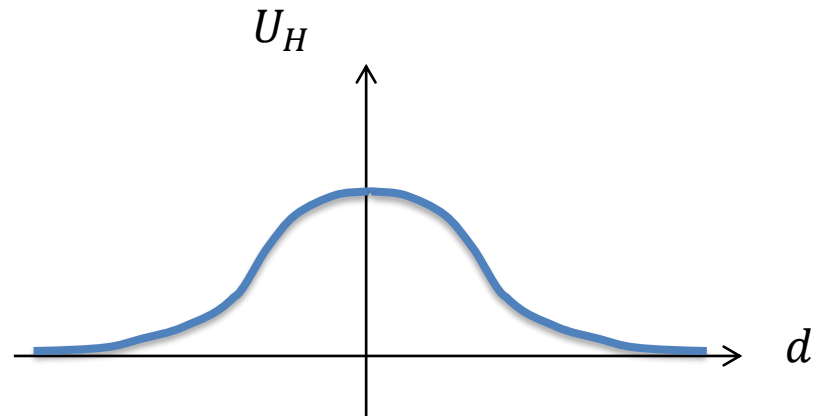
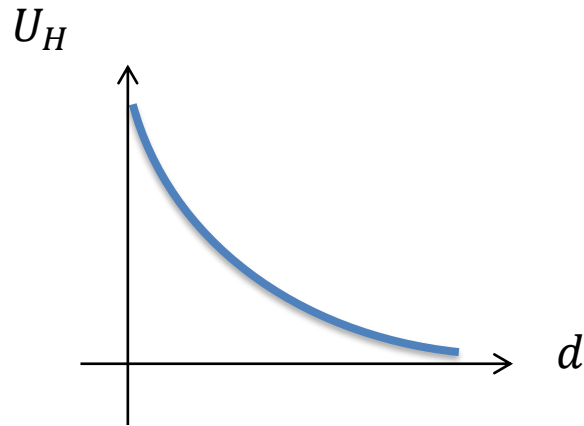
- Egyszerű félvezető lap
- Problémák:
 - Hőmérsékletfüggés
 - Mechanikai feszültségből eredő piezorezisztív hatás
- Offszethiba
 - A Hall-feszültséghez adódik, értéke nem ismert
 - A szenzort akár hídként is tekinthetjük, így az offszetet magyarázhatjuk annak kiegyensúlyozatlanságával

Offszethiba kompenzálása

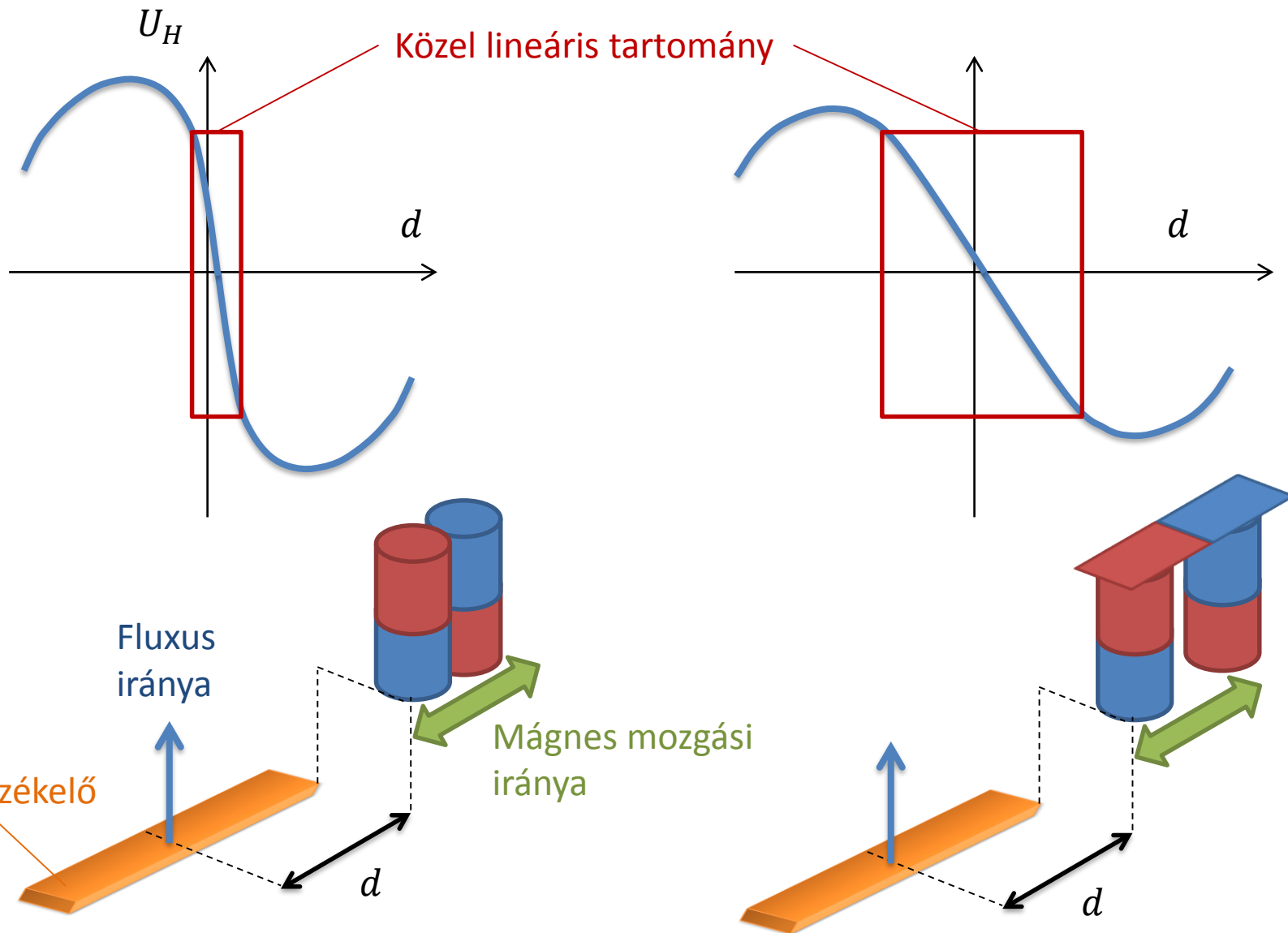


Két, egymáshoz képest 90° -os szögben elforgatott Hall-szenzort használva az offszethiba kompenzálható.

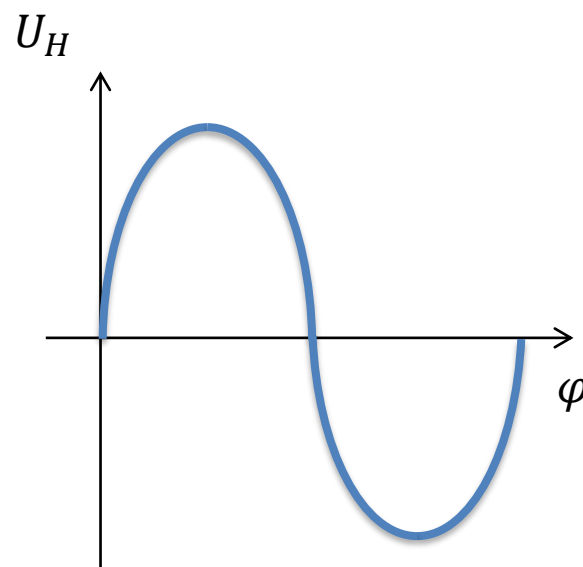
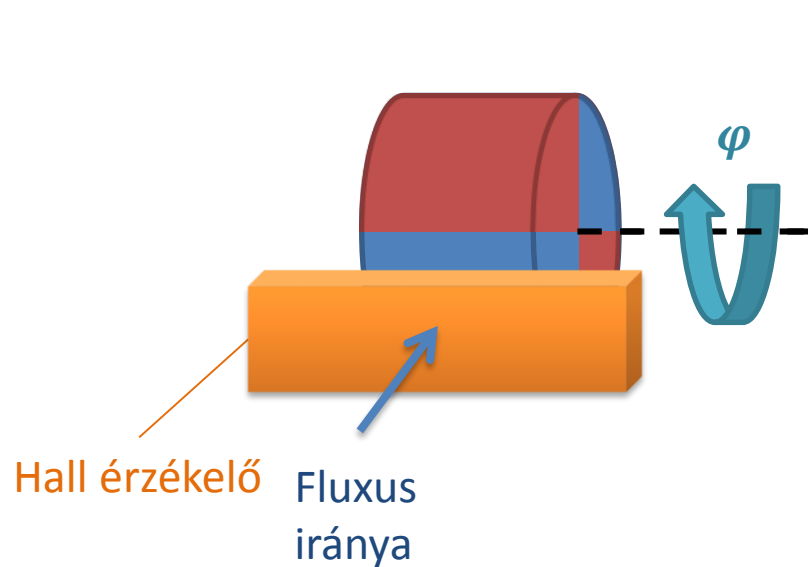
Hall érzékelő unipoláris térben



Hall érzékelő bipoláris térben

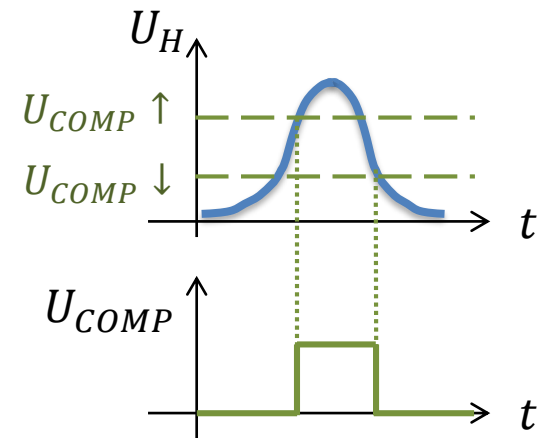
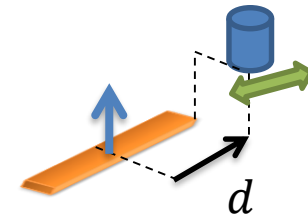
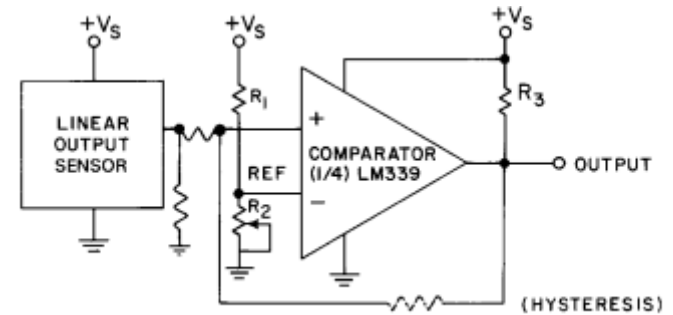


Hall szenzoros elfordulás-érzékelés



Hall érzékelők alkalmazása

- Végálláskapcsolóként
 - Hiszterézis komparátor
 - Mozgó tárgyon elhelyezett állandó mágnes
 - Tipikus alkalmazás: pneumatikus munkahenger
- Diszkrét pozíciók mérésére
 - Több Hall-szenzor elhelyezése a pálya mentén



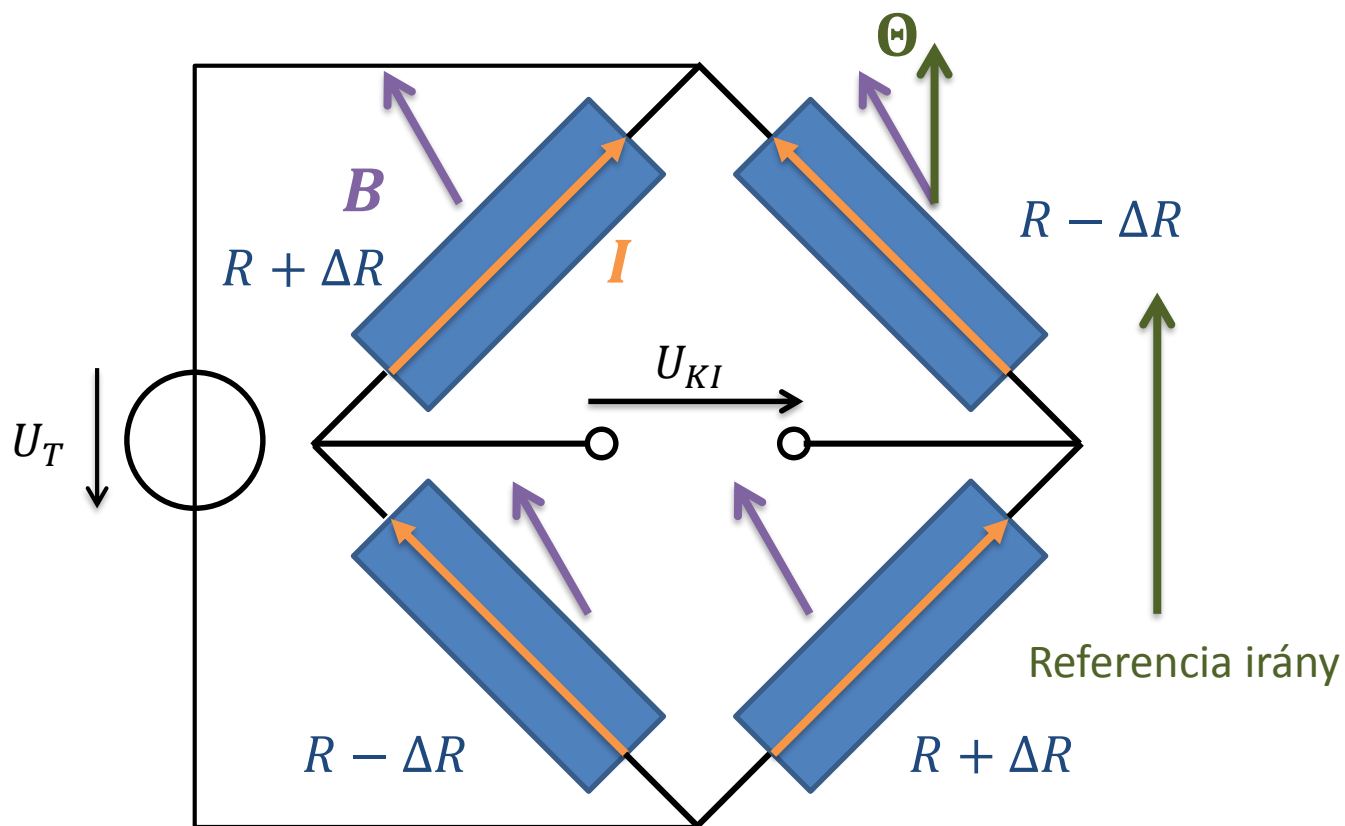
Hall érzékelők

- + Egyszerű és robusztus felépítés
- + Teljesen kontaktus nélküli érzékelés
- + Egyszerű illesztés
- + Rendkívül olcsó
- Kis mérési tartomány (20mm)
- Nemlineáris karakterisztika
- Kis pontosság (3-5%)

Magnetorezisztív érzékelők

- AMR – anisotropic magnetoresistance
- Permalloy (81Ni-19Fe)
- $\rho(\varphi) = \rho_{\perp} + (\rho_{\parallel} - \rho_{\perp}) \cos^2 \varphi$
 - φ : az áram és a mágneses térerősség irányának különbsége
 - ρ_{\perp} : ellenállás $\varphi = 90^\circ$ esetén
 - ρ_{\parallel} : ellenállás $\varphi = 0^\circ$ esetén
- Amennyiben a mágneses térerősség elég nagy, hogy az érzékelőt telítésbe vigye (kb. 30-50 Gauss), az ellenállásváltozás a mágneses tér nagyságától nem, csak az irányától függ!

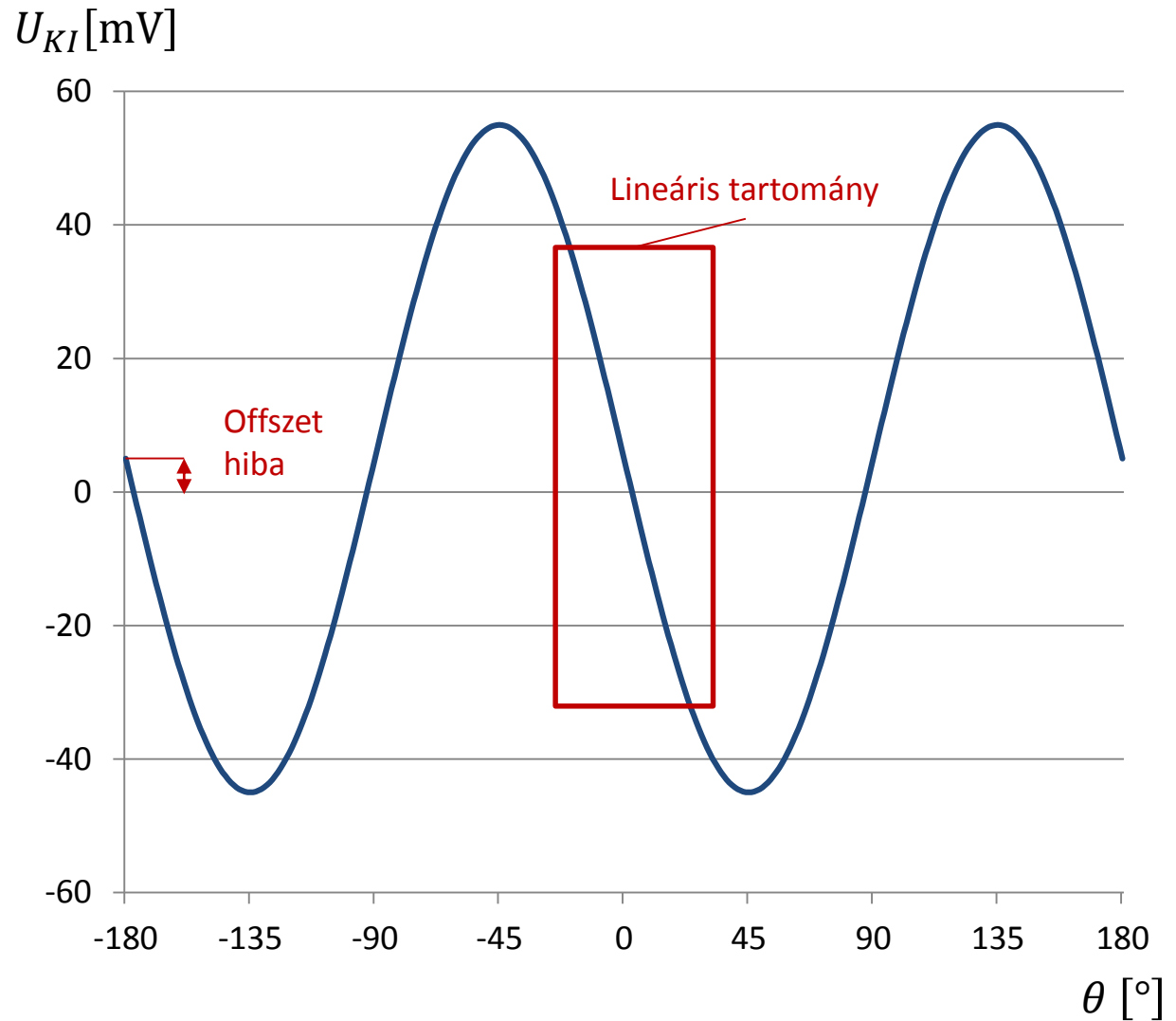
Magnetorezisztív híd



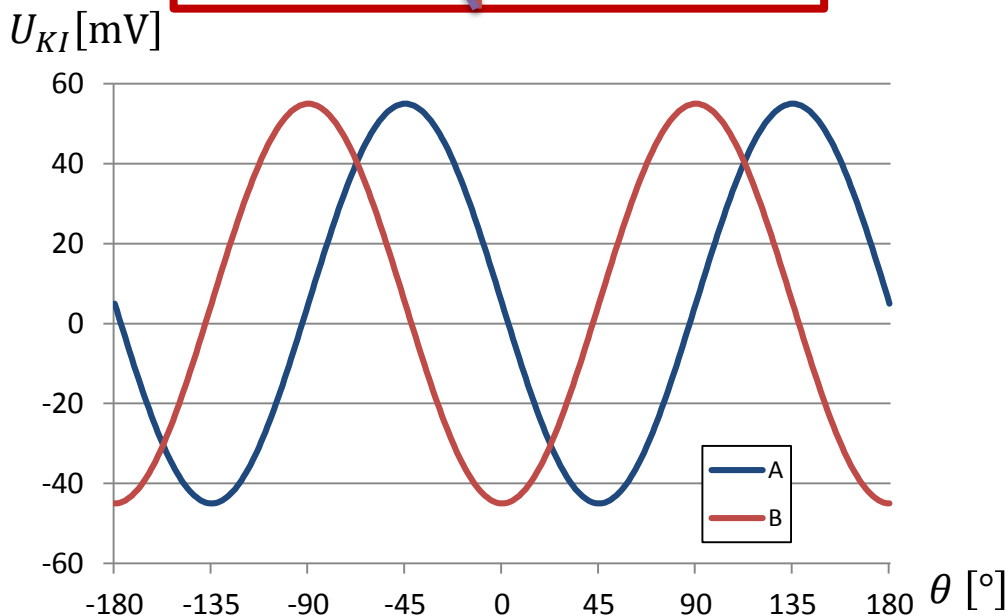
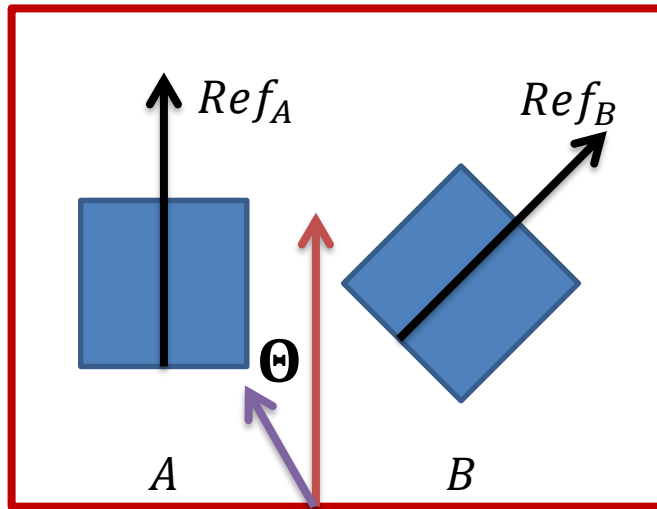
$$U_{KI} = -U_T S \sin(2\Theta)$$

Magnetorezisztív híd

- Érzékelési tartomány: $\pm 45^\circ$
- Jó linearitás $\pm 30^\circ$ -os tartományban 0° körül

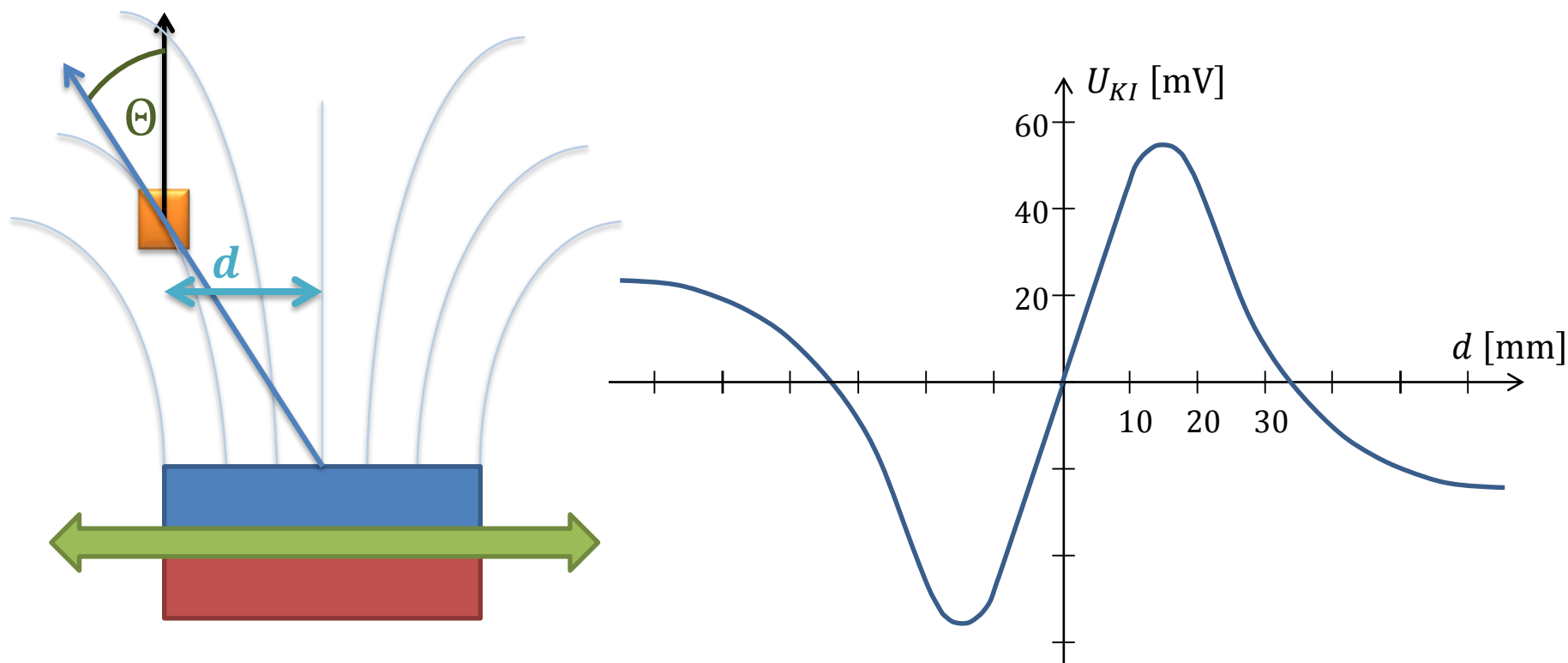


Magnetorezisztív hidak



- Két azonos híd 45° -ban elforgatva
- $U_{KI,A} = -U_T S \sin(2\Theta)$
- $U_{KI,B} =$
 $= -U_T S \sin(2(\Theta - 45^\circ)) =$
 $= -U_T S \cos(2\Theta)$
- A mérési tartomány $\pm 90^\circ$ -ra nő
- A linearitási tartomány szinte teljes
- $\Theta = 0.5 \operatorname{atan} \frac{U_{KI,A}}{U_{KI,B}}$

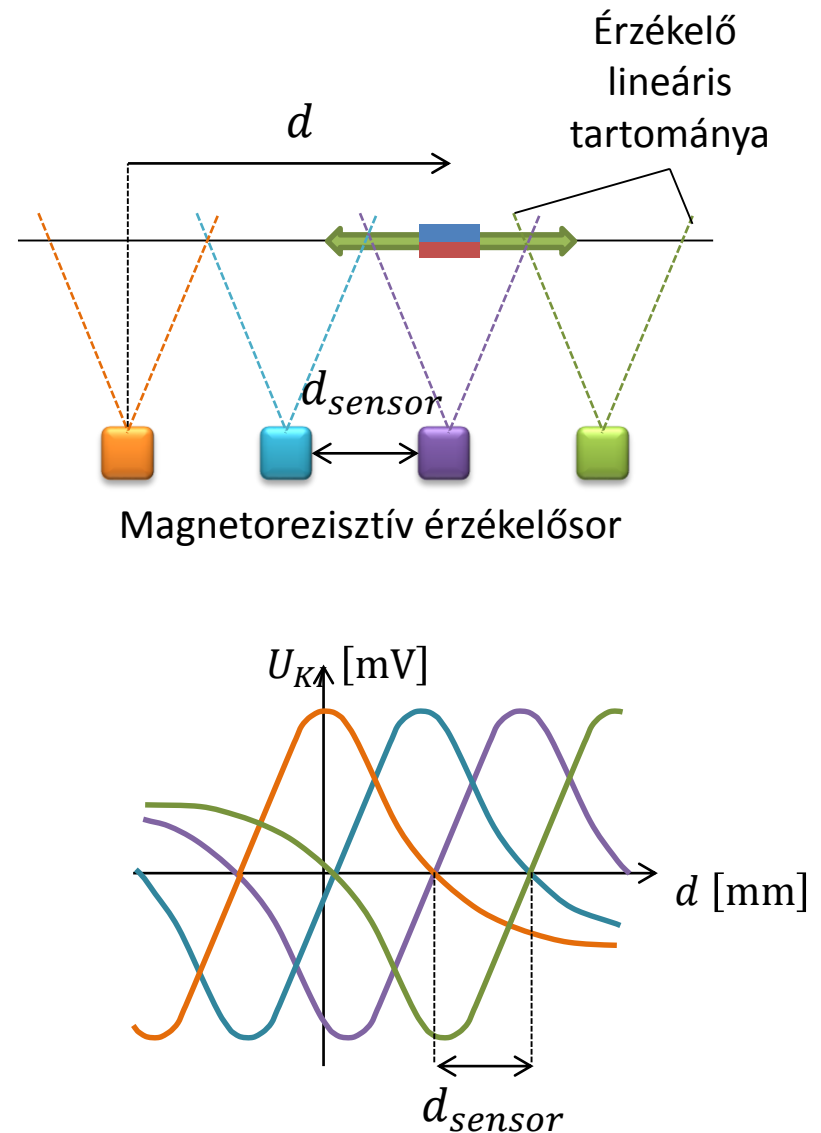
Magnetorezisztív érzékelés



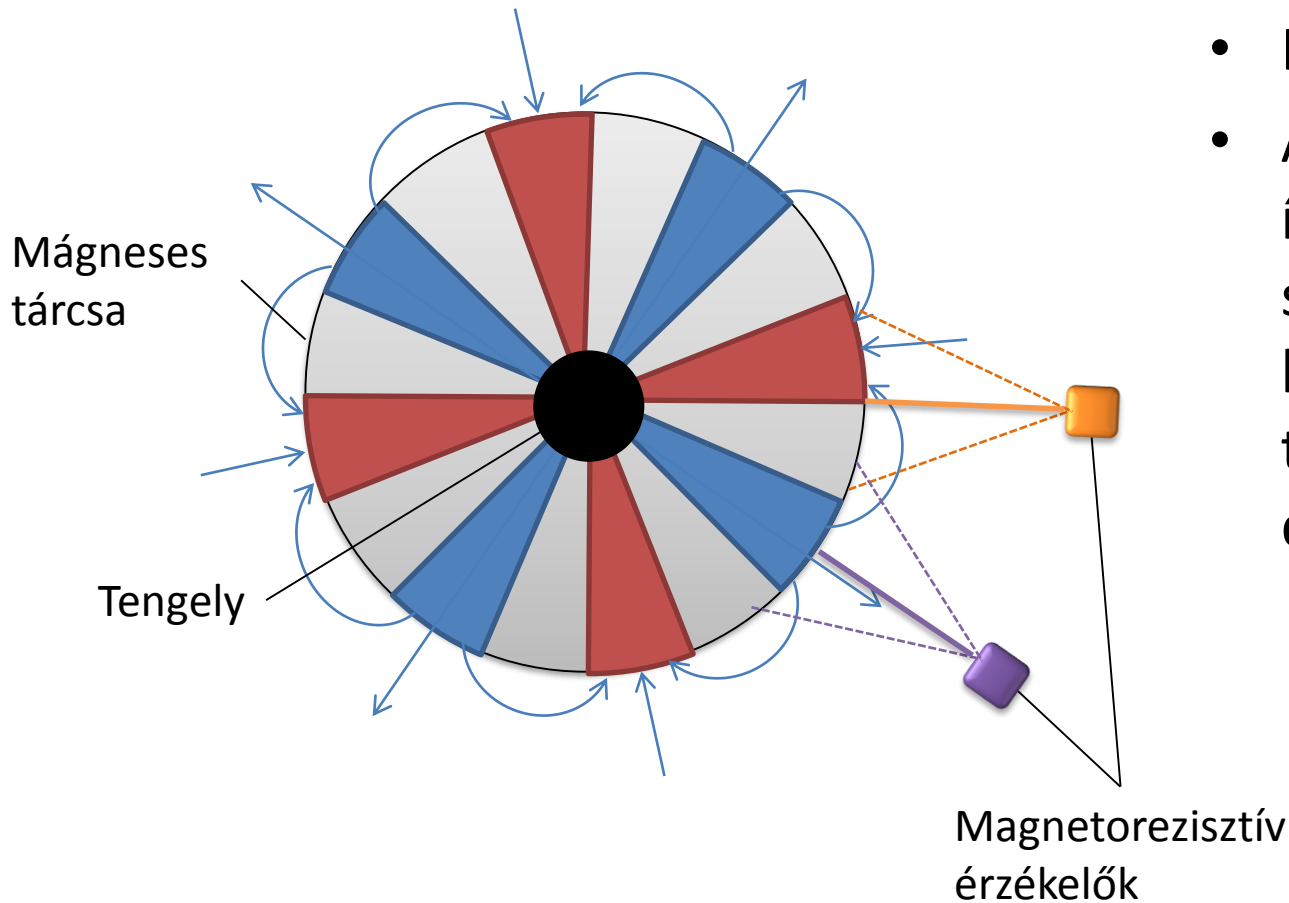
Kis elmozdulás ($\approx \pm 15\text{mm}$) esetén közel lineáris $d - U_{KI}$ összefüggés

Magnetorezisztív érzékelés

- Érzékelési tartomány növelése: egymástól kb. 15mm-re elhelyezett érzékelők sora
- Érzékelés a szenzorok jelei alapján
 - Elmozdulás okozta jelszintváltozásokat figyelve meghatározható, melyik érzékelő közelében van a mágnes
 - Az adott érzékelő lineáris kimeneti jeléből a szenzorhoz képesti pozíció meghatározható



Magnetorezisztív elfordulás-érzékelés

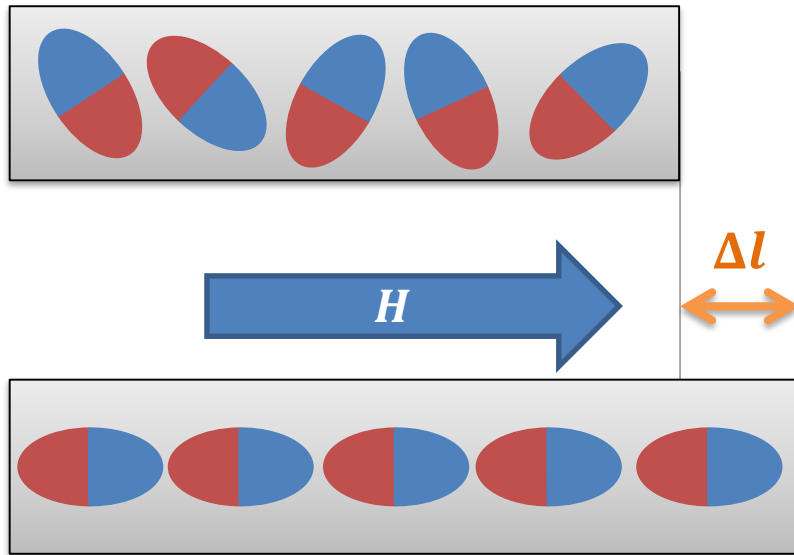


- Két érzékelő
- Átfedő elhelyezés, így valamelyik szenzor mindig a lineáris érzékelési tartományban dolgozik

Magnetorezisztív érzékelők

- + Egyszerű és robusztus felépítés
- + Teljesen kontaktus nélküli érzékelés
- Kis mérési tartomány (25mm)
- Illesztése nem kézenfekvő
- Kis pontosság (3-5%)

Magnetostrikció

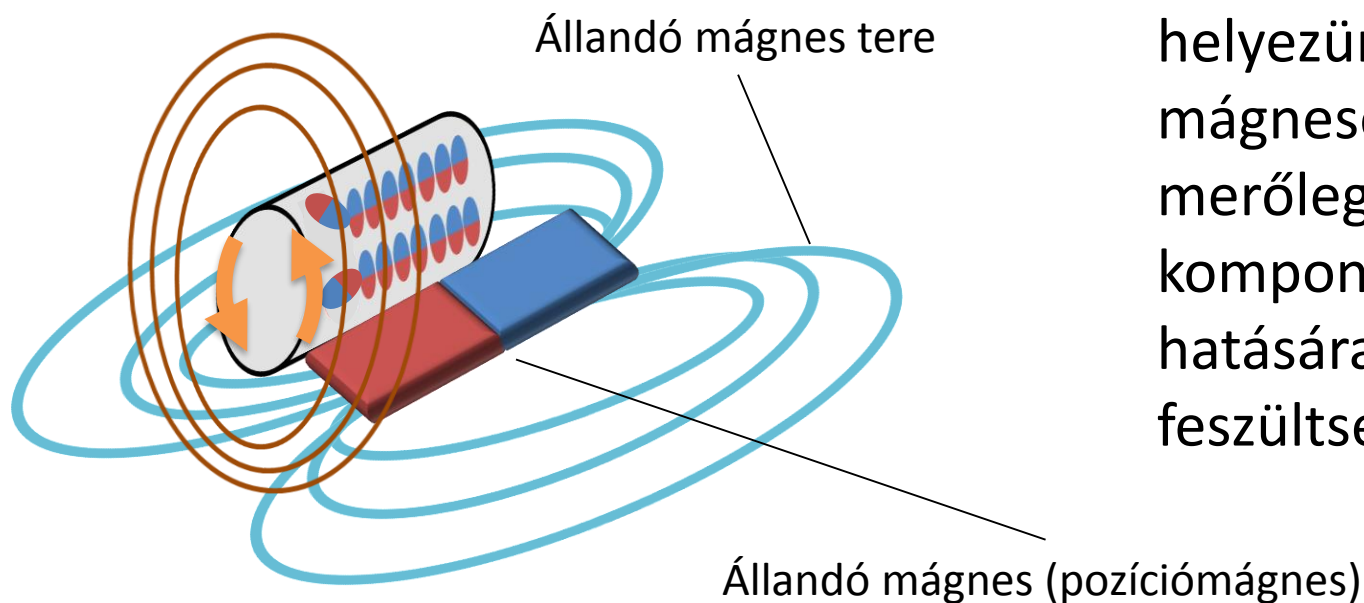
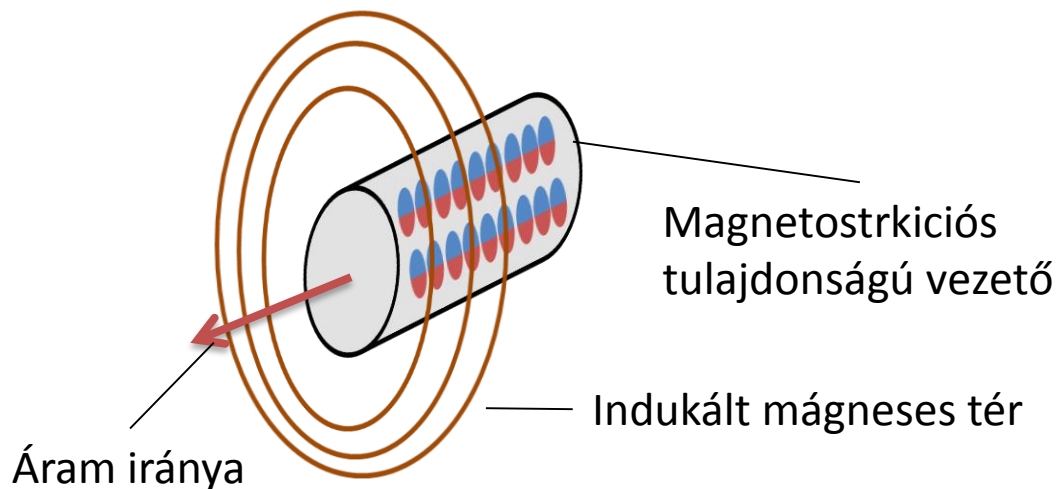


- Domainedek rendeződése mágneses tér hatására
- Ferromágneses anyagokban
- Népszerű anyagok:
 - Terfenol-D: Terbium-Vas-Diszprózium
 - Metglas

Magnetostríkiós effektusok

- Villari-effektus: egy magnetostríktív anyagra ható mechanikai feszültség megváltoztatja annak mágneses tulajdonságait (permeabilitás, szuszceptibilitás)
- Wiedemann-effektus: ha egy magnetostríktív rúdon áram folyik és axiális (a rúd tengelyével megegyező irányú) mágneses térbe helyezzük, akkor ott torziós feszültség keletkezik.

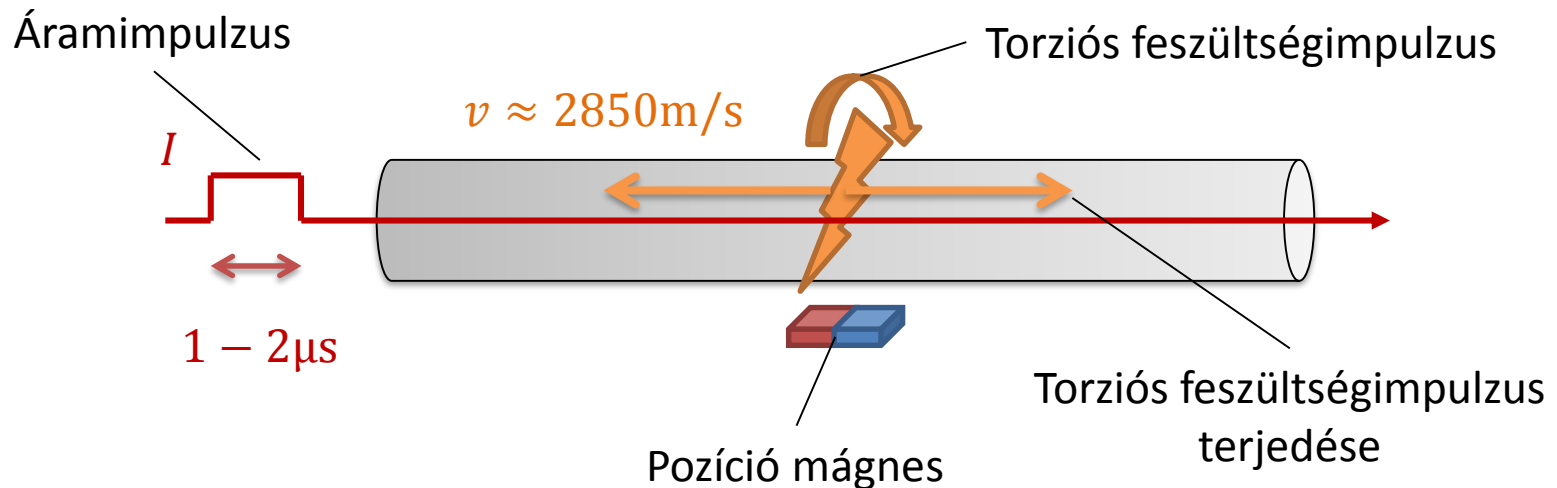
Magnetostríktív érzékelő



Ha magnetostríktív vezetőn áramot vezetünk át, akkor mellette megfelelő orientációval egy állandó mágneset helyezünk el, akkor a mágneses terek merőleges komponenseinek hatására a rúdra torziós feszültség hat

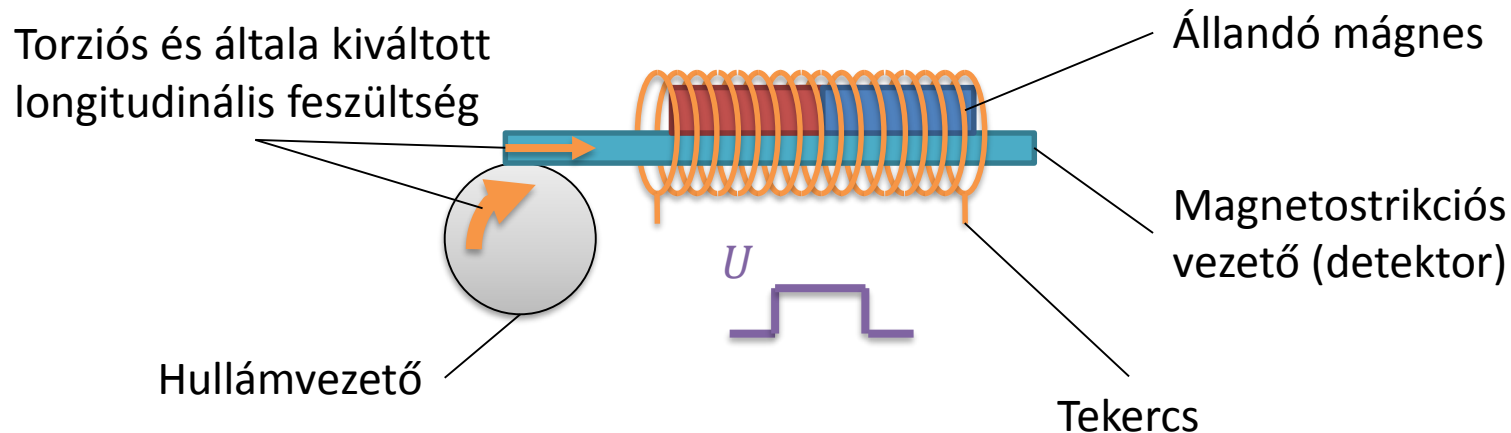
Magnetostríkcións érzékelő

Ha az áram csak impulzusszerű, akkor a torziós feszültség is csak egy impulzus, mely hullámként terjed a rúd (hullámvezető) mentén



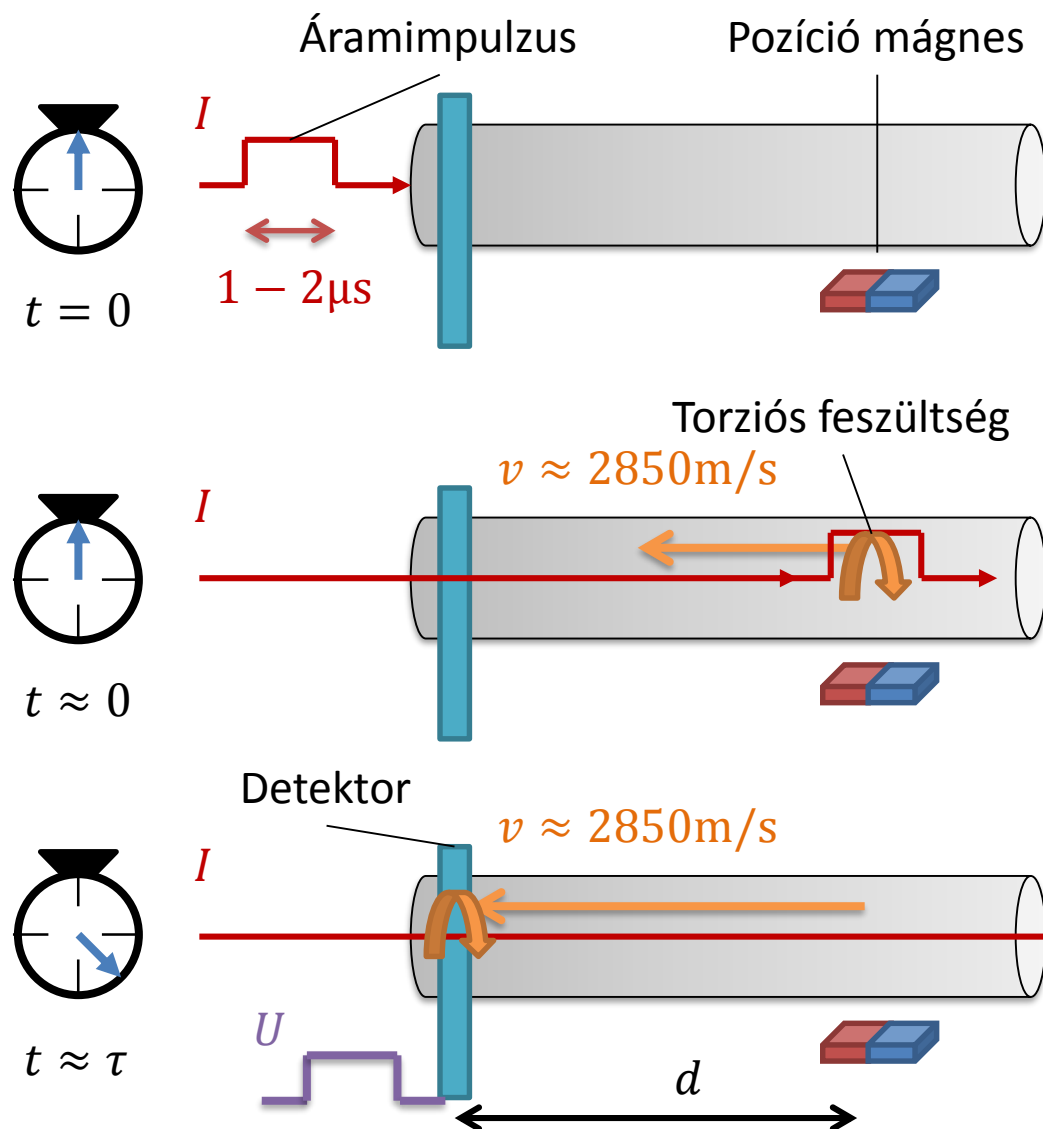
Magnetostríkiós érzékelő

- A torziós feszültség hullámának megérkezését a hullámvezető végén elhelyezett detektor érzékeli a Villari-effektust kihasználva: a mechanikai feszültség hatására megváltoznak a mágneses tulajdonságai, így villamos feszültség indukálódik a tekercsben
- A hullámvezető másik végén csillapítás, így nincs visszavert második hullám

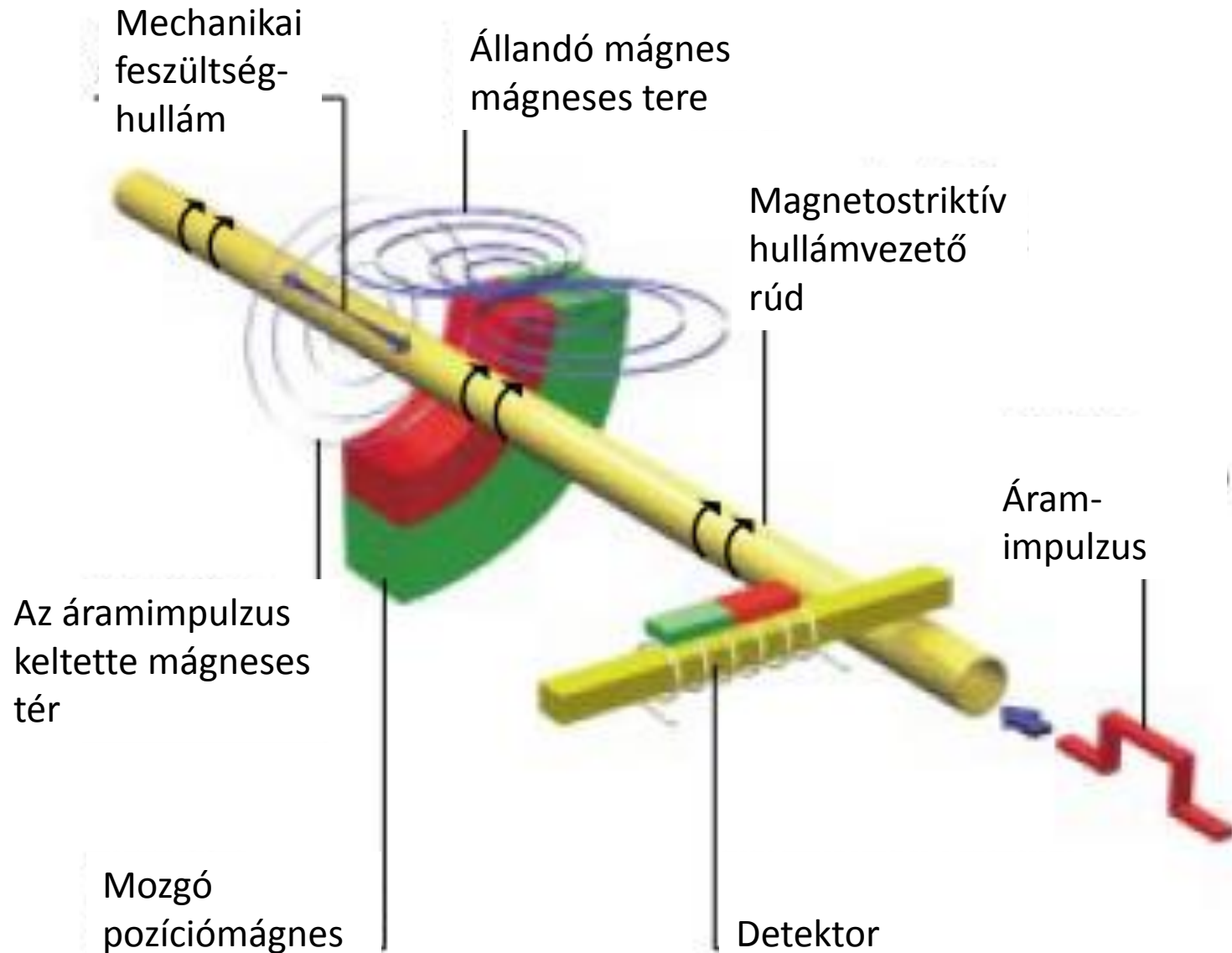


Magnetostríkcións érzékelő

- MÉRJÜK az áramimpulzus és a feszültség hullám megérkezése közti időt
- Az áramimpulzus fénysebességgel halad, így terjedési ideje elhanyagolható
- Az idő és a hullámvezetőre jellemző hullámterjedési sebesség alapján a torziós feszültség keletkezésének helye (a pozíciómágnes helyzete) számítható: $d = \tau / v$



Magnetostríkcións érzékelő felépítése



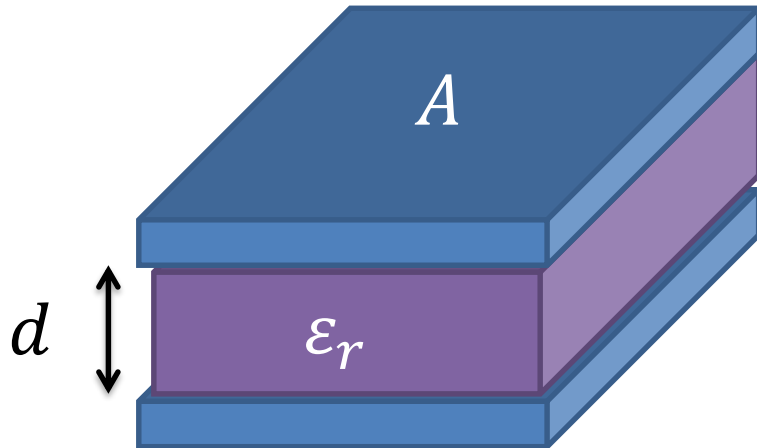
Magnetostrikciós érzékelők

- + Teljesen kontaktus nélküli érzékelés
- + Környezeti zavarokra és vibrációra érzéketlen
- + Akár 4kHz-es frekvencia
- + 0.1% alatti hiba
- + Akár 20m-es átfogás
- Komplex felépítés
- Magas ár

Kapacitív elmozdulásérzékelők

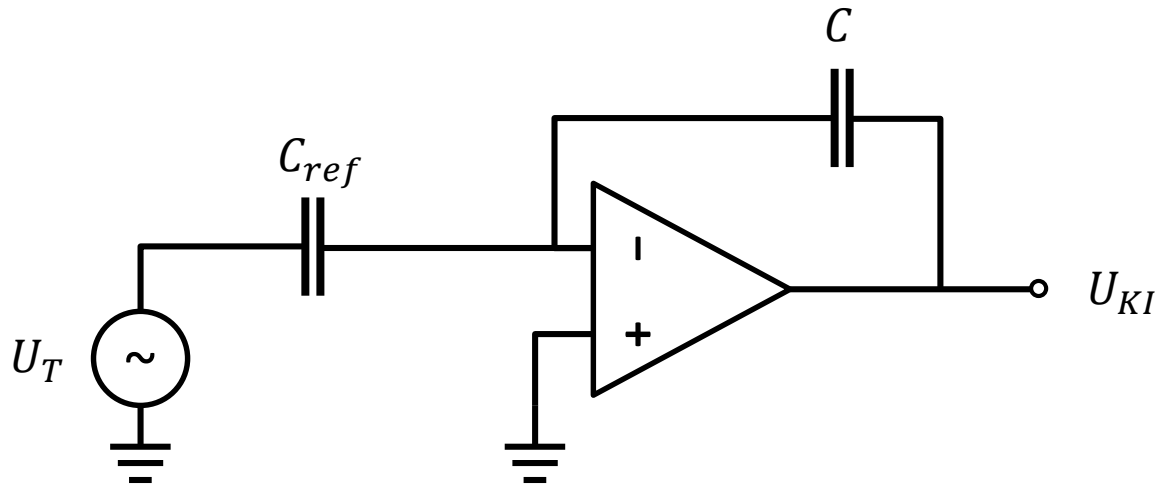


Kapacitív elmozdulásérzékelők



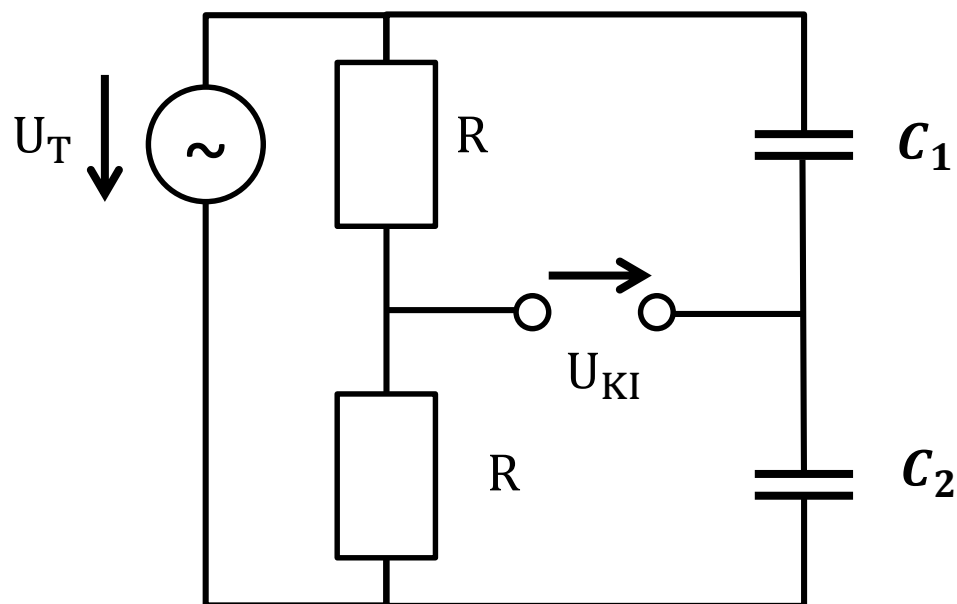
- $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$
- ϵ_0 : vákuum dielektromos állandója
- ϵ_r : dielektrikum relatív dielektromos állandója
- A : fegyverzetek felülete
- d : fegyverzetek távolsága

Kapacitás mérése



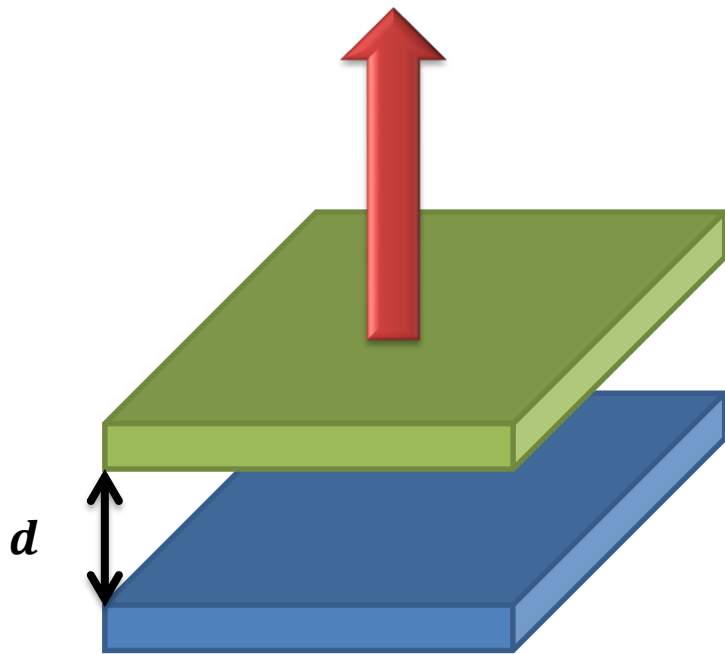
- $$U_{KI} = -U_T \frac{Z}{Z_{ref}} = -U_T \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C_{ref}}} = -U_T \frac{C_{ref}}{C}$$
- A kapacitás egy fix referencia-kapacitáshoz relatívan meghatározható

Kapacitás mérése – AC híd



- $$U_{KI} = \frac{U_T}{2} - U_T \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{U_T}{2} \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{U_T}{2} \frac{C_2 - C_1}{C_2 + C_1}$$

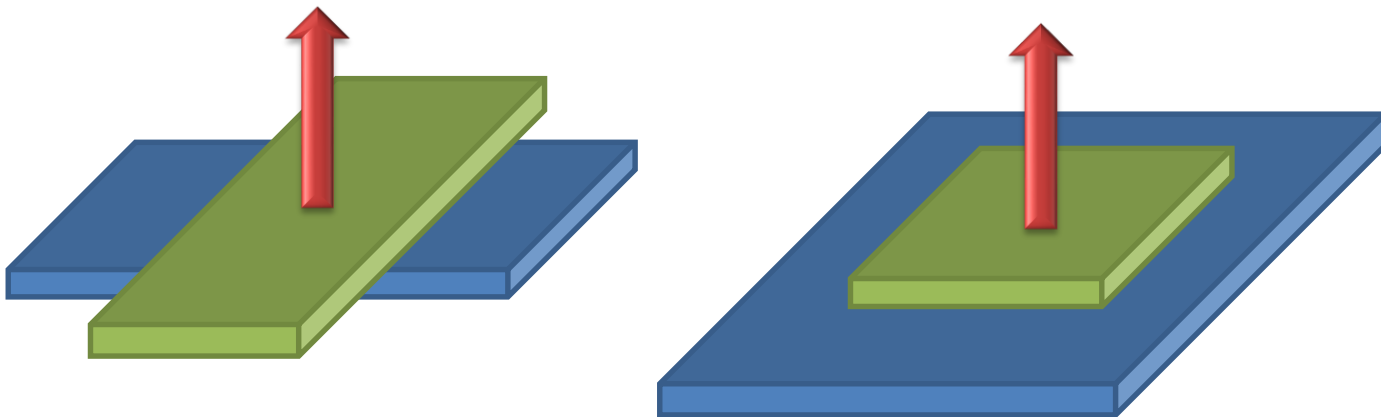
Fegyverzetek távolságán alapuló érzékelés



- Kapacitás:
 - $C = \frac{\varepsilon A}{d}$
 - Az elmozdulás nemlineáris függvénye
- Impedancia:
 - $Z = \frac{d}{j\omega\varepsilon A}$
 - Az elmozdulás lineáris függvénye

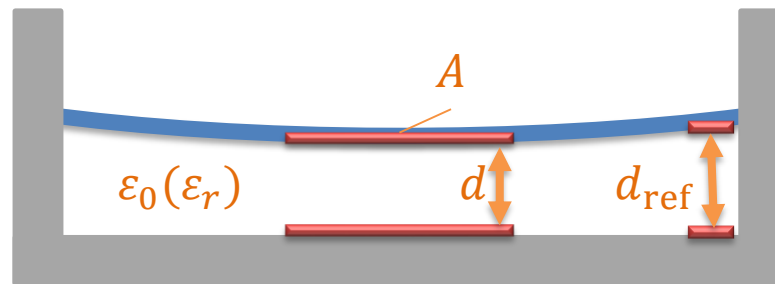
Fegyverzetek távolságán alapuló érzékelés

- Problémák
 - Billegés
 - X és Y irányú elmozdulás – megoldás: átlapolódó fegyverzetek

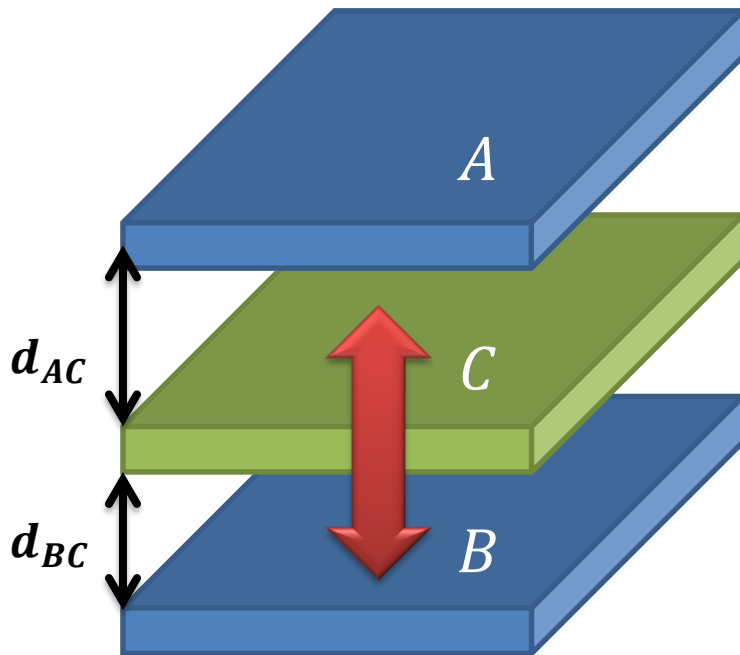


Tipikus alkalmazás

- Erő- és nyomásmérés



Három fegyverzetes kialakítás



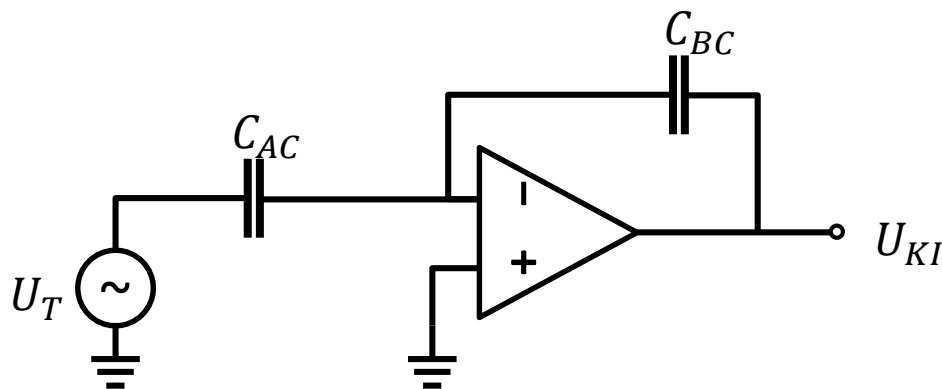
- Kapacitás:

- $C_{AC} = \frac{\varepsilon A}{d_{AC}}$

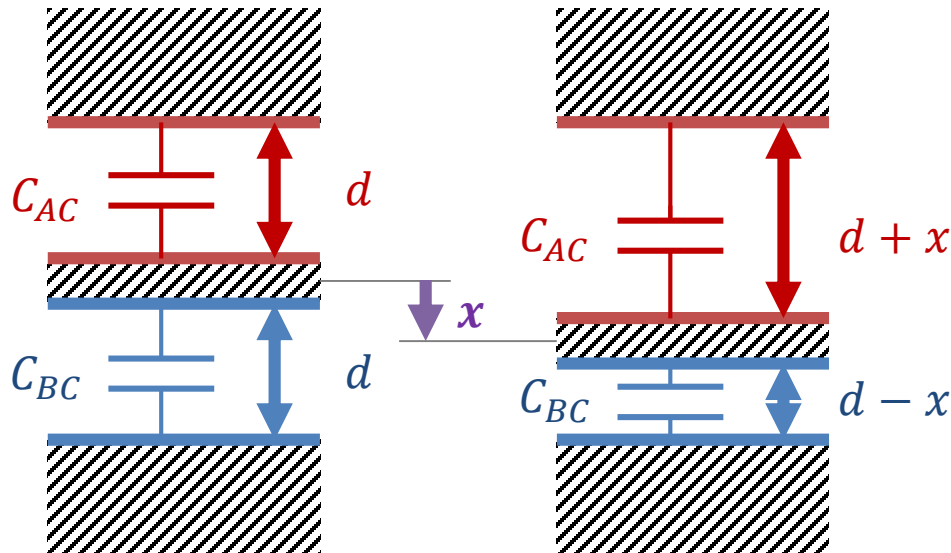
- $C_{BC} = \frac{\varepsilon A}{d_{BC}}$

- Kimeneti feszültség:

$$U_{KI} = -U_T \frac{C_{AC}}{C_{BC}} = -U_T \frac{d_{BC}}{d_{AC}}$$

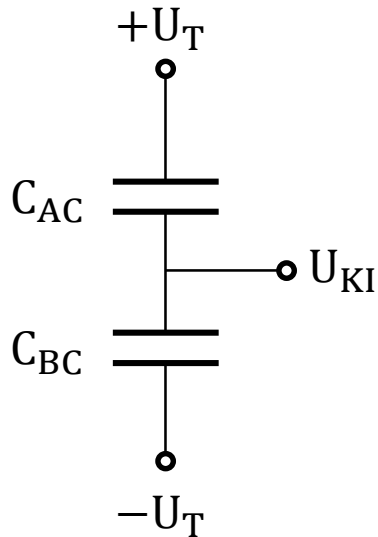


Három fegyverzetes kialakítás



- A fegyverzetek felülete és a dielektromos állandók megegyeznek
- $C_{AC} = \frac{\epsilon A}{d+x}$
- $C_{BC} = \frac{\epsilon A}{d-x}$

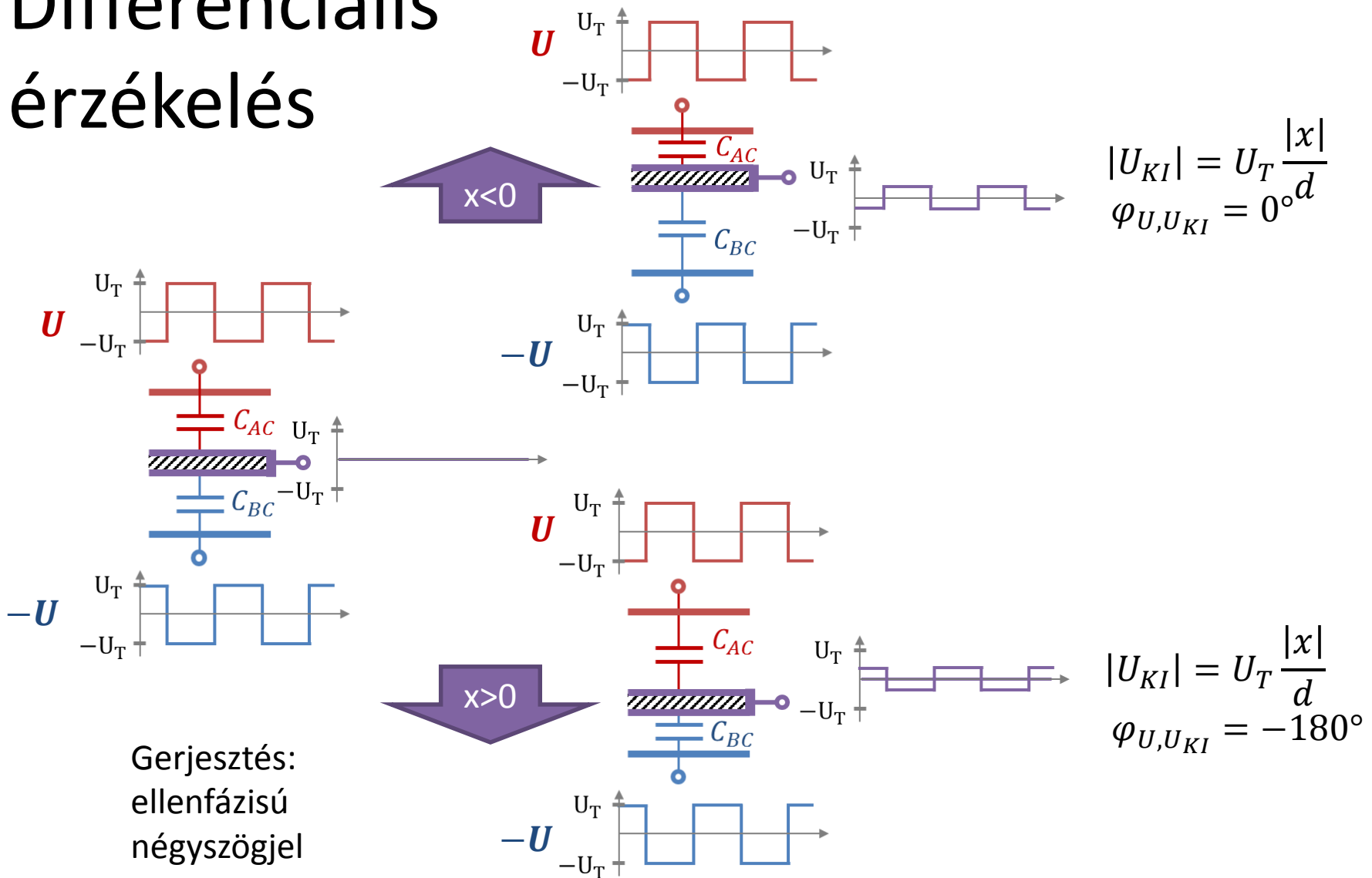
Differenciális érzékelés



$$\begin{aligned}
 \bullet \quad U_{KI} &= -U_T + (U_T - (-U_T)) \frac{Z_{BC}}{Z_{AC} + Z_{BC}} = \\
 &= U_T \left(2 \frac{Z_{BC}}{Z_{AC} + Z_{BC}} - 1 \right) = U_T \frac{Z_{BC} - Z_{AC}}{Z_{BC} + Z_{AC}} = \\
 &= U_T \frac{\frac{1}{\frac{C_{BC}}{\varepsilon A}} - \frac{1}{\frac{C_{AC}}{\varepsilon A}}}{\frac{1}{\frac{C_{BC}}{\varepsilon A}} + \frac{1}{\frac{C_{AC}}{\varepsilon A}}} = U_T \frac{C_{AC} - C_{BC}}{C_{AC} + C_{BC}}
 \end{aligned}$$

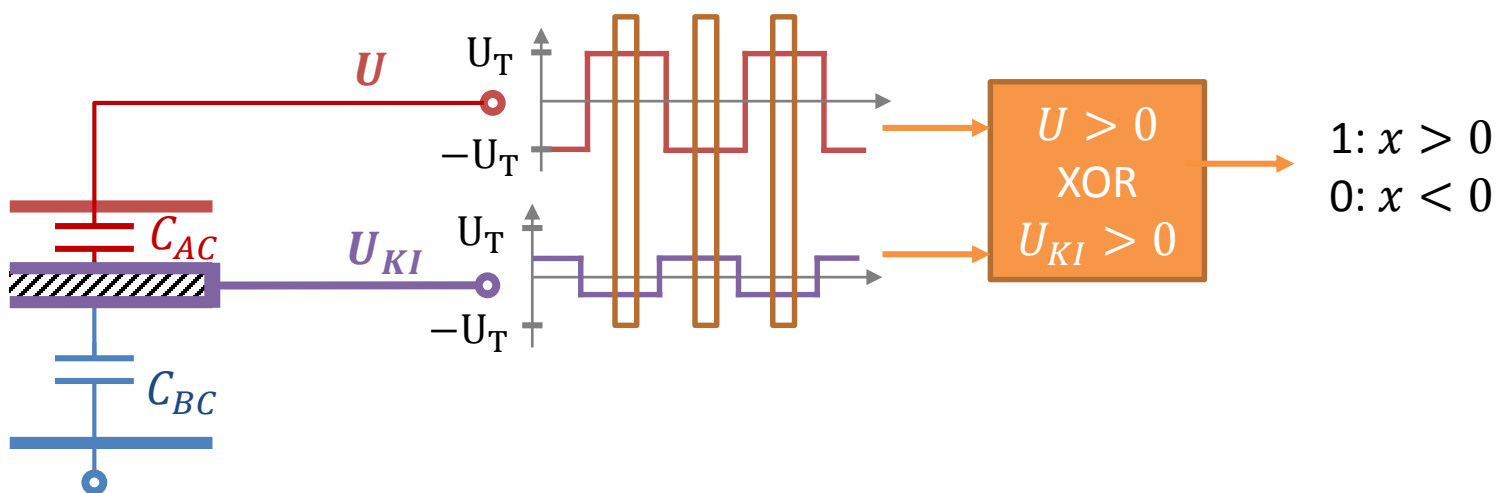
$$U_{KI} = U_T \frac{\frac{\varepsilon A}{d+x} - \frac{\varepsilon A}{d-x}}{\frac{\varepsilon A}{d+x} + \frac{\varepsilon A}{d-x}} = U_T \frac{(d-x) - (d+x)}{(d-x) + (d+x)} = -U_T \frac{x}{d}$$

Differenciális érzékelés

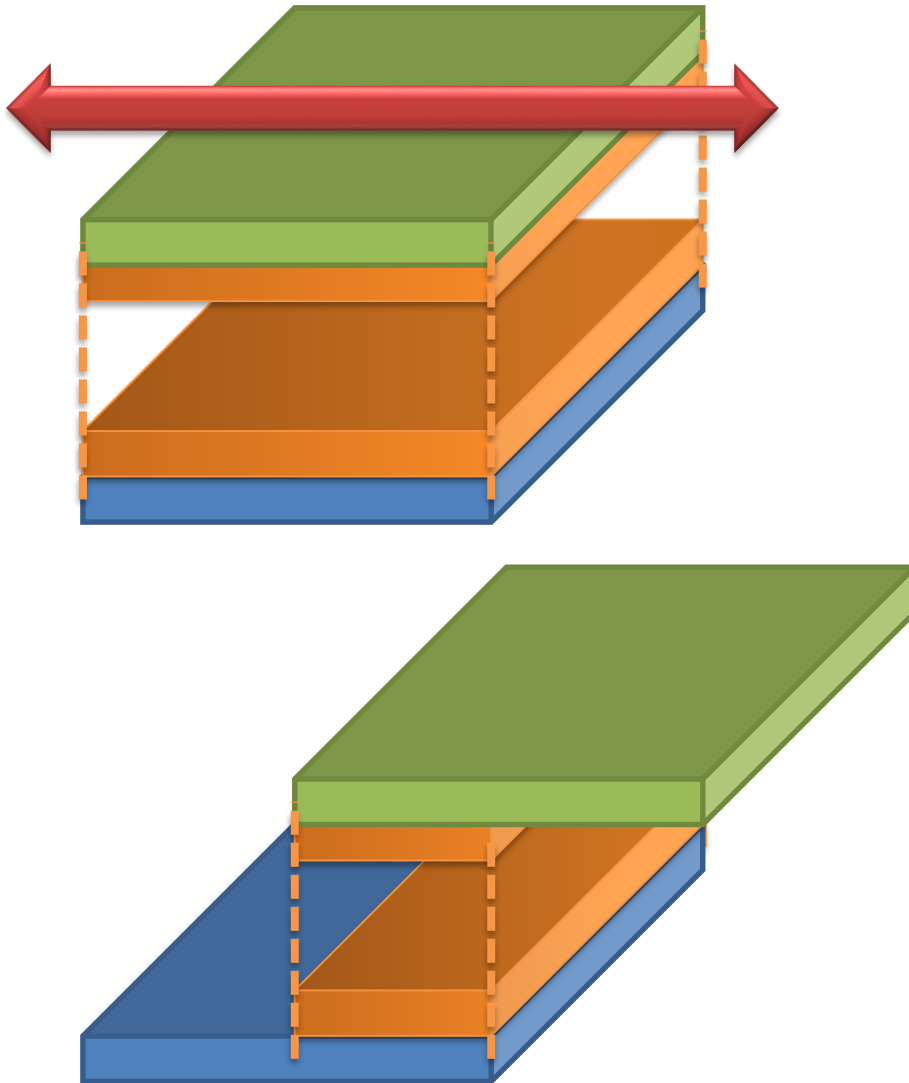


Differenciális érzékelés

- $|U_{KI}| = U_T \frac{x}{d}$ - csúcsegyenirányító
- $\varphi_{U,U_{KI}} = \begin{cases} -180^\circ & : x > 0 \\ 0^\circ & : x < 0 \end{cases}$ - fázisdetektor (XOR)

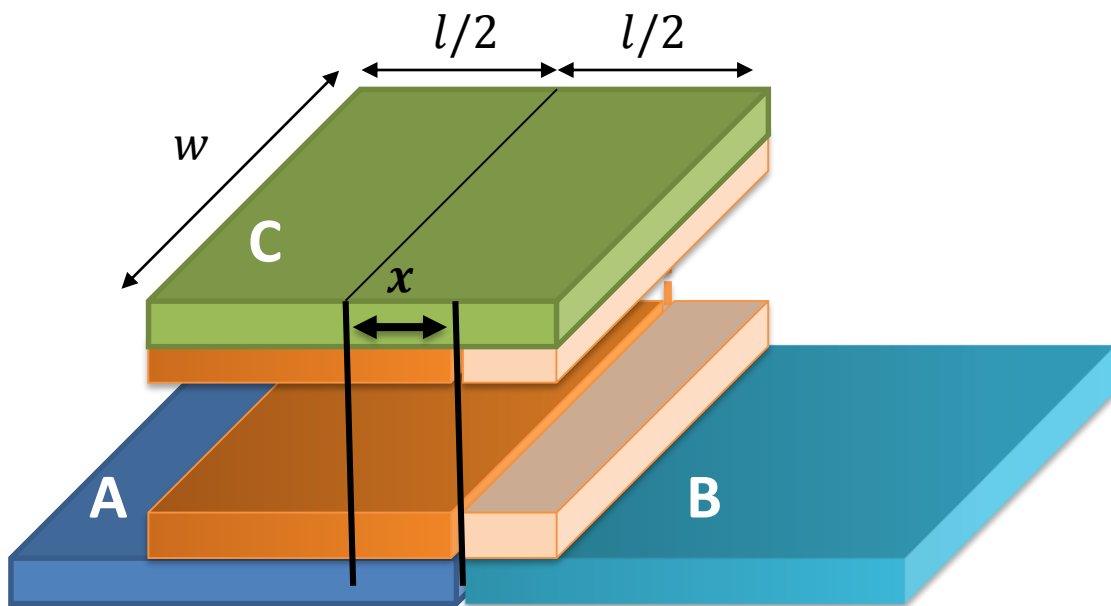


Felületváltozáson alapuló érzékelés



- Kapacitás:
 - $C = \frac{\epsilon A}{d}$
 - Az elmozdulás lineáris függvénye
- Impedancia
 - $Z = \frac{d}{j\omega\epsilon A}$
 - Az elmozdulás nemlineáris függvénye

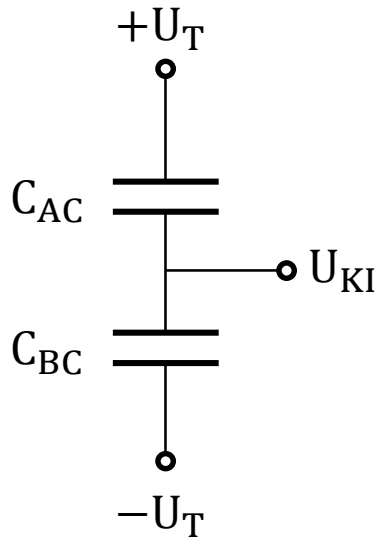
Három fegyverzetes kialakítás



- $A_{AC} = (l/2 + x)w$
- $A_{BC} = (l/2 - x)w$
- $d_{AC} = d_{BC}$
- $\varepsilon_{AC} = \varepsilon_{BC}$

$$\frac{C_{AC}}{C_{BC}} = \frac{A_{AC}}{A_{BC}} = \frac{l/2 + x}{l/2 - x}$$

Differenciális érzékelés



- $$U_{KI} = -U_T + (U_T - (-U_T)) \frac{Z_{BC}}{Z_{AC} + Z_{BC}} ==$$

$$U_T \left(2 \frac{Z_{BC}}{Z_{AC} + Z_{BC}} - 1 \right) = U_T \frac{Z_{BC} - Z_{AC}}{Z_{BC} + Z_{AC}} ==$$

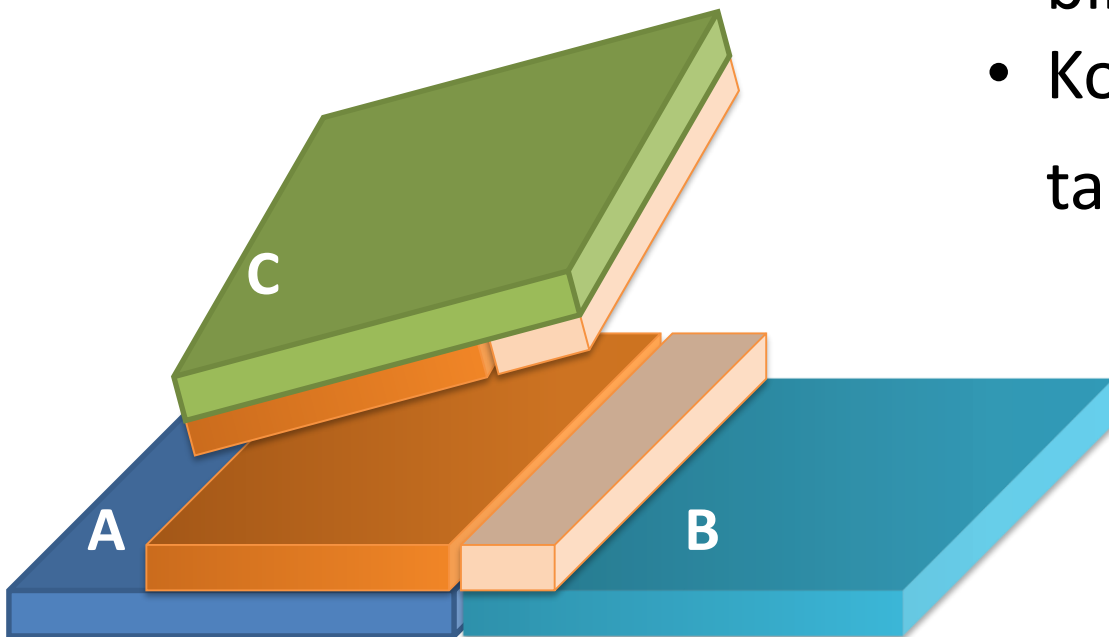
$$U_T \frac{\frac{1}{C_{BC}} - \frac{1}{C_{AC}}}{\frac{1}{C_{BC}} + \frac{1}{C_{AC}}} = U_T \frac{C_{AC} - C_{BC}}{C_{AC} + C_{BC}}$$

- $$U_{KI} = U_T \frac{\frac{\varepsilon(\frac{l}{2} + x)w}{d} - \frac{\varepsilon(\frac{l}{2} - x)w}{d}}{\frac{\varepsilon(\frac{l}{2} + x)w}{d} + \frac{\varepsilon(\frac{l}{2} - x)w}{d}} =$$

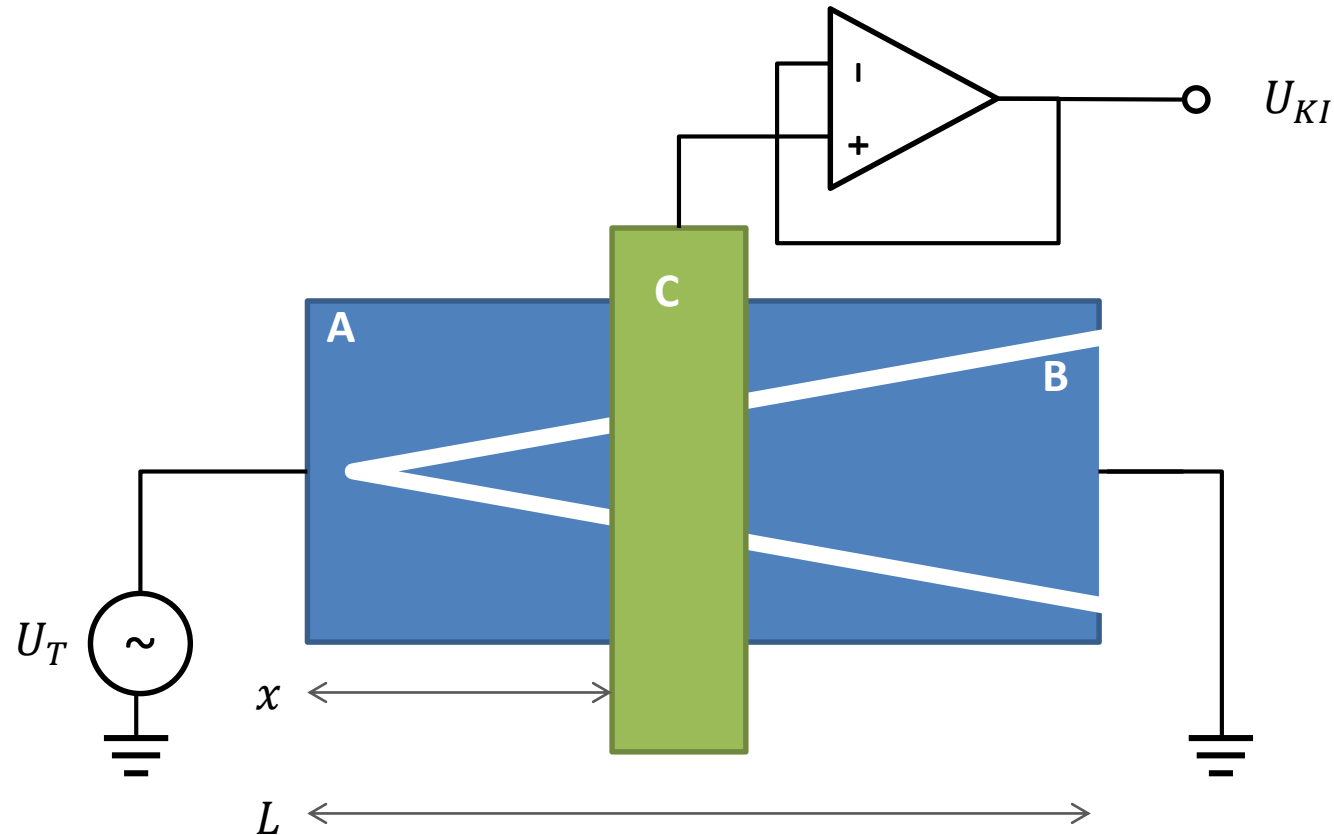
$$U_T \frac{\left(\frac{l}{2} + x\right) - \left(\frac{l}{2} - x\right)}{\left(\frac{l}{2} + x\right) + \left(\frac{l}{2} - x\right)} = U_T \frac{2x}{l}$$

Probléma a háromfegyverzetes kialakítással

- Mozgó fegyverzet billenése, elfordulása
- Korlátozott mérési tartomány: $x \leq \frac{l}{2}$

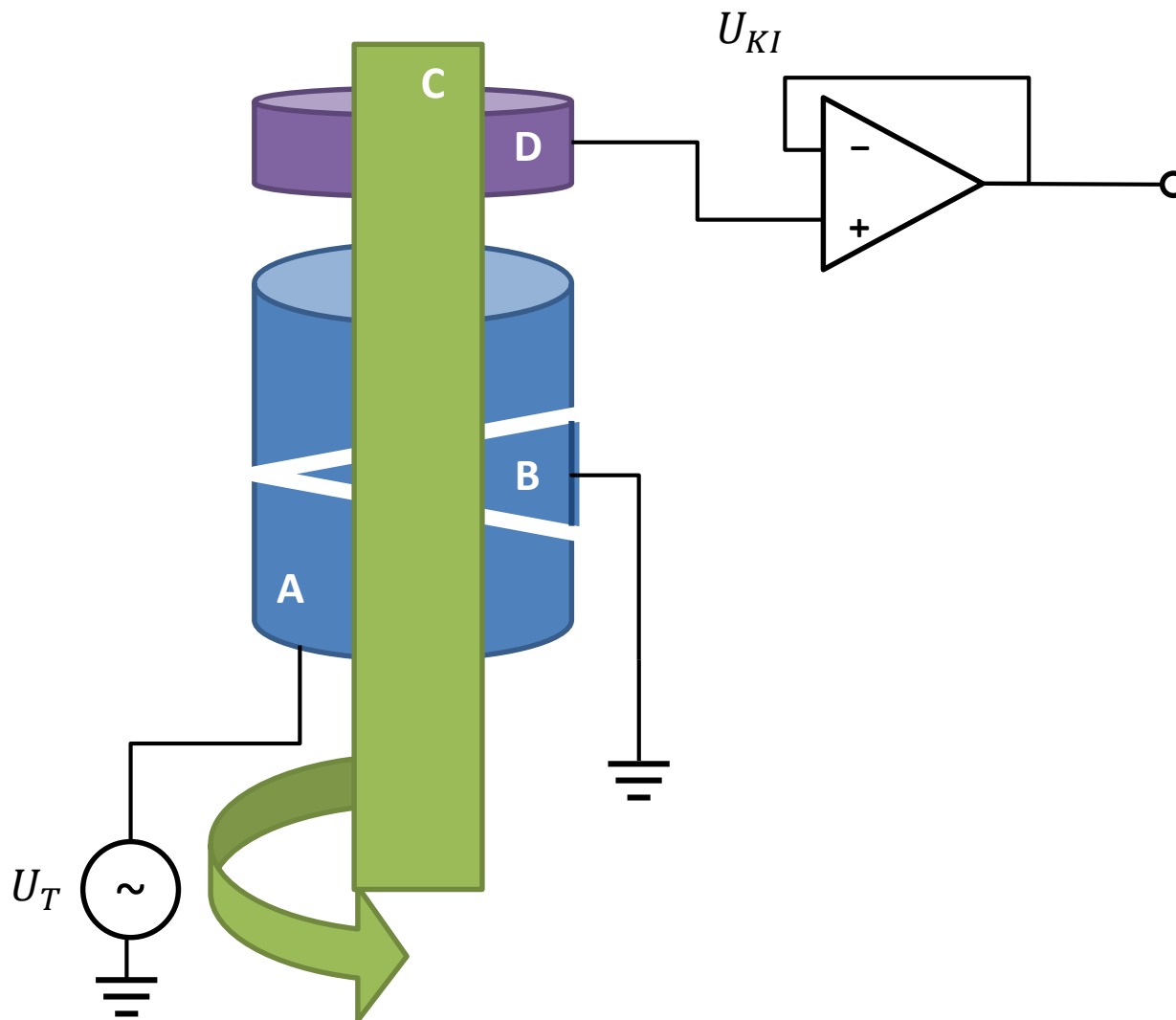


Fegyverzetek kialakítása – V alak

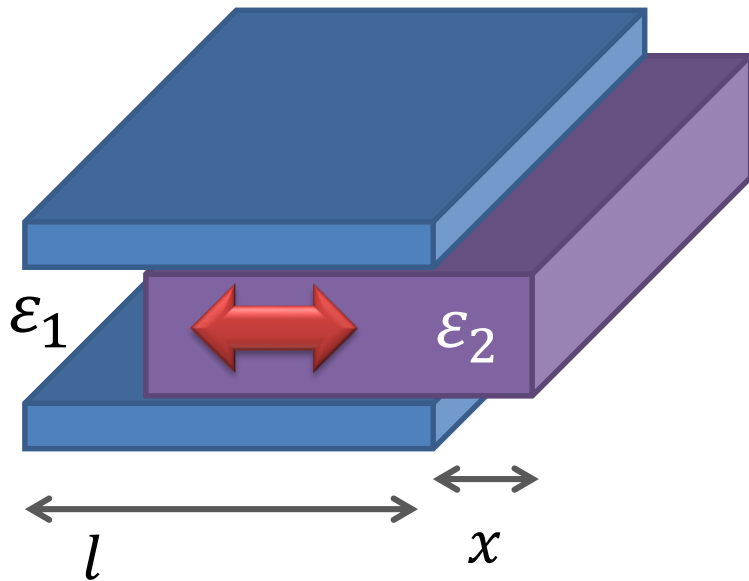


- A végpontokon kívül lineáris kimenet
- Billenésre, fordulásra érzéketlen

Vezeték nélküli kialakítás



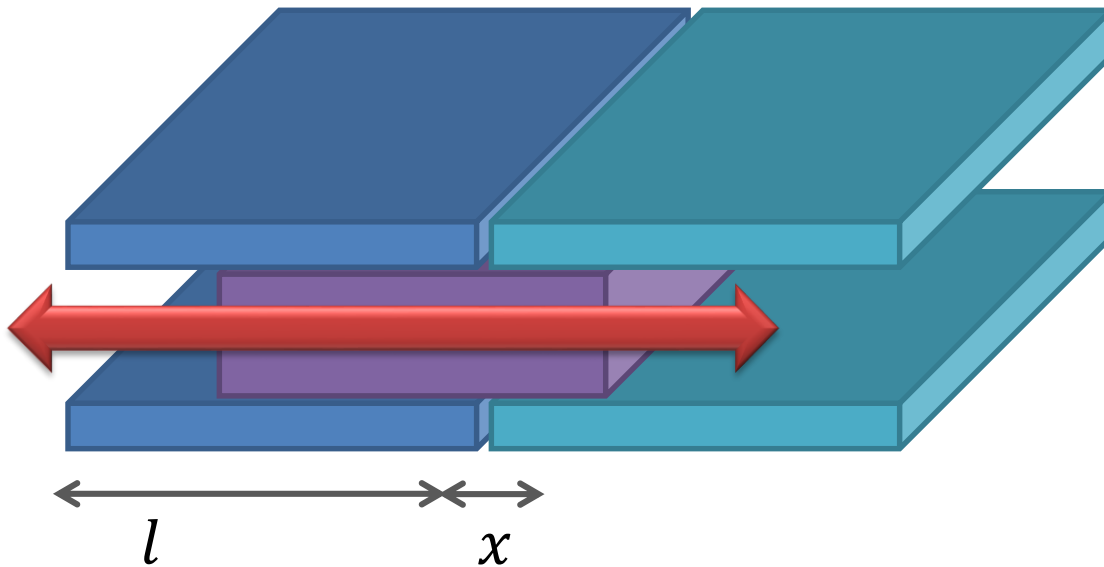
Dielektrikum változásán alapuló érzékelés



- Párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok

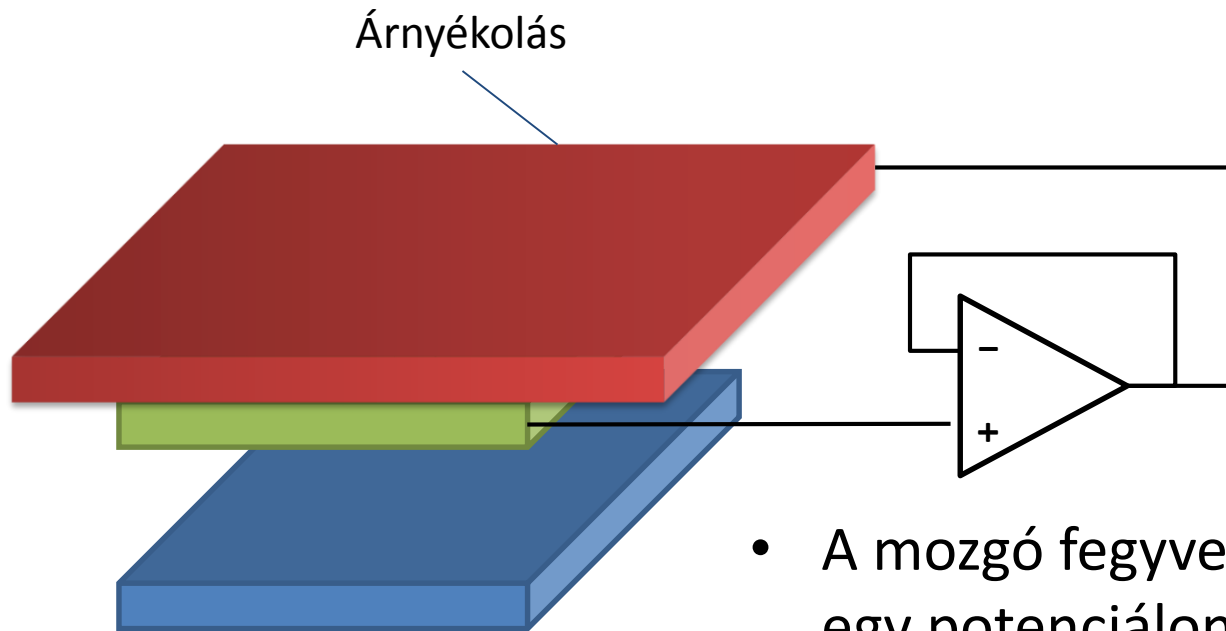
- $$C = \frac{\left(\epsilon_1 \frac{x}{l} + \epsilon_2 \frac{l-x}{l}\right) A}{d}$$

Dielektrikum változásán alapuló érzékelés



- $C_1 = \frac{\left(\varepsilon_1 \frac{x}{l} + \varepsilon_2 \frac{l-x}{l}\right) A}{d}$
- $C_2 = \frac{\left(\varepsilon_1 \frac{l-x}{l} + \varepsilon_2 \frac{x}{l}\right) A}{d}$
- Ha $\varepsilon_1 \approx \varepsilon_0$:
- $C_1 = \varepsilon_0 \left(\frac{x}{l} + \varepsilon_r \frac{l-x}{l}\right) \frac{A}{d}$
- $C_2 = \varepsilon_0 \left(\frac{l-x}{l} + \varepsilon_r \frac{x}{l}\right) \frac{A}{d}$

Kapacitív érzékelők árnyékolása



- A mozgó fegyverzet és az árnyékolás egy potenciálon
- Köztük nem folyik áram
- A szórt kapacitásokat jelentősen csökkenti

Kapacitív érzékelők

- + Teljesen kontaktus nélküli érzékelés
- + Környezeti zavarokra és vibrációra érzéketlen
- + 0.1% alatti hiba
- + Akár szubmikronos pontosság
- Zavarérzékenység
- Kis átfogás (0-10mm)
- Magas ár

Kódadóók (Encoder)



Kódadók típusai

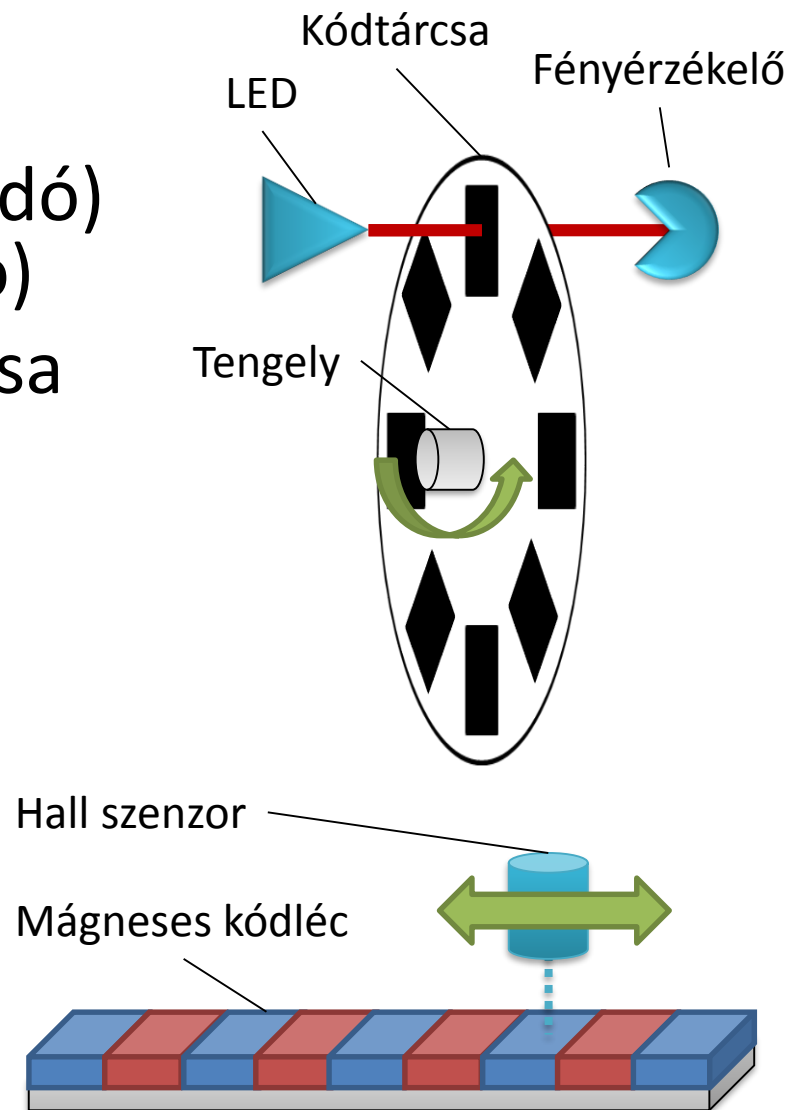
- Transzlációs kódadó (*linear encoder*)
 - Mozgás egy egyenes mentén
 - A mozgás jól meghatározott véghelyzetekkel rendelkezik
 - A végállásokban az abszolút pozíció egyszerűen érzékelhető (pl. kapcsolókkal)
- Elfordulás-adó (*rotary encoder*)
 - Szöghelyzetet (elfordulást) mér
 - Abszolút pozícióinformáció csak 360°-os tartományon (egy körülfordulás) belül határozható meg egyértelműen
 - Egy körülforduláson belül „kiterítve” megfelel egy transzlációs kódadónak

Kódadók típusai

- Abszolút adó
 - Magát az abszolút helyzetet méri
- Inkrementális adó
 - Elmozdulást mér, ezeket összegezve kapható meg a helyzet
 - Relatív pozíciót mér
 - Csak a bekapcsolás (vagy nullázás) óta történt elmozdulás ismert

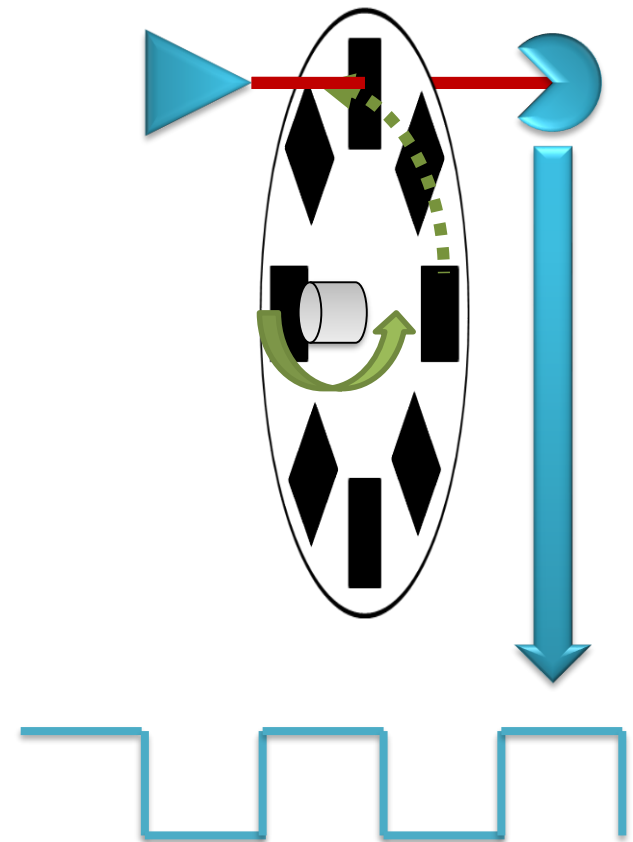
Kódadók működési elve

- Jól elkülöníthető sávokkal ellátott tárcsa (rotációs kódadó) vagy lécz (transzlációs kódadó)
- Elkülöníthető sávok kialakítása
 - Mágneses / nem mágneses
 - Átlátszó / átlátszatlan
 - Fehér vagy tükröző / fekete
- Sávokat figyelő szenzor
 - Mágneses (Hall)
 - Fénykapu
 - Visszavert fény érzékelése



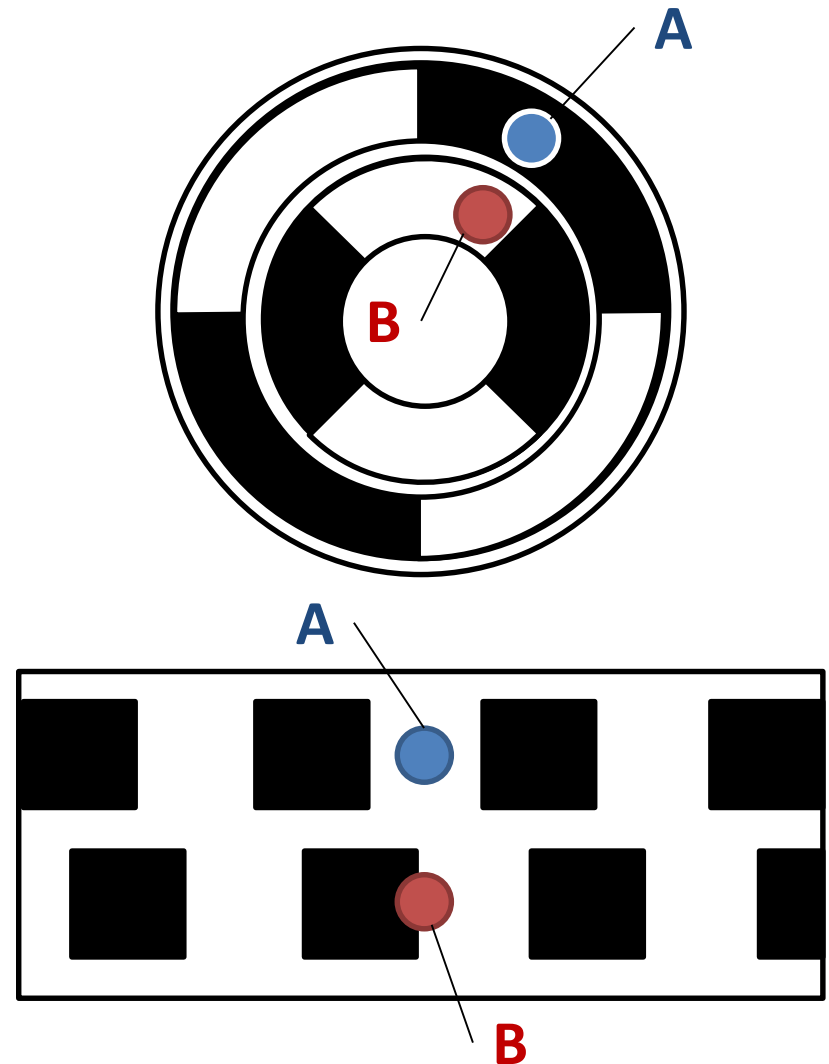
Inkrementális adó

- Az érzékelő kimenete a váltakozó (mágneses / nem mágneses, világos / sötét stb.) sávok következtében komparálás után egy négyszögjel
- A négyszögjel felfutó éleit számolva az elfordulás meghatározható
- Ha a tárcsán n sávpárt helyezünk el, akkor egy felfutó élhez $360^\circ/n$ elfordulás tartozik
- Ha a lefutó éleket is számláljuk, akkor az azonos mechanikai kialakítású szenzor felbontása $360^\circ/2n$ - kétszeres felbontás
- Probléma: a forgásirány nem meghatározható

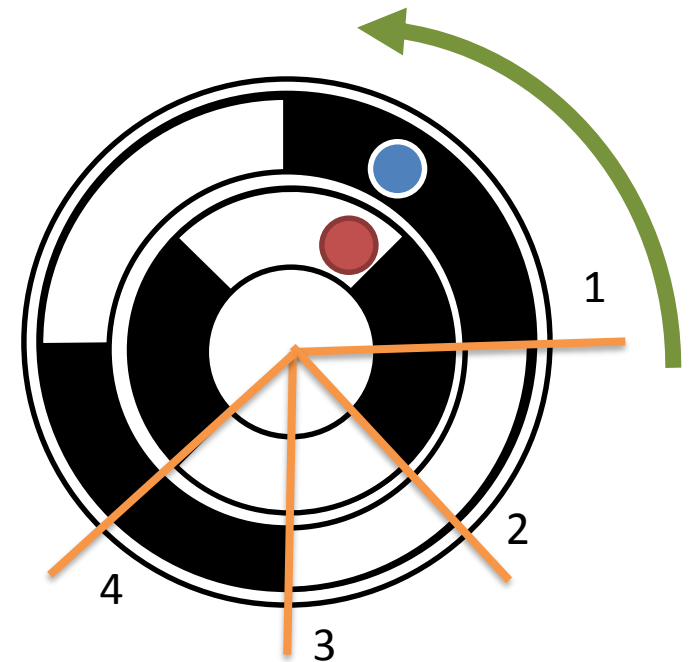
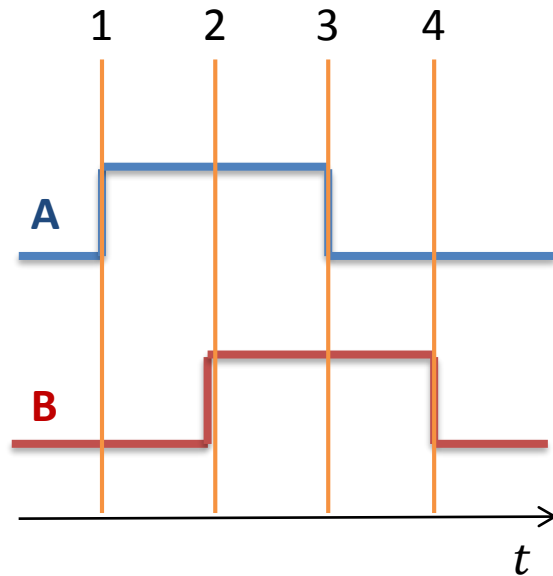


Kvadratúra enkóder

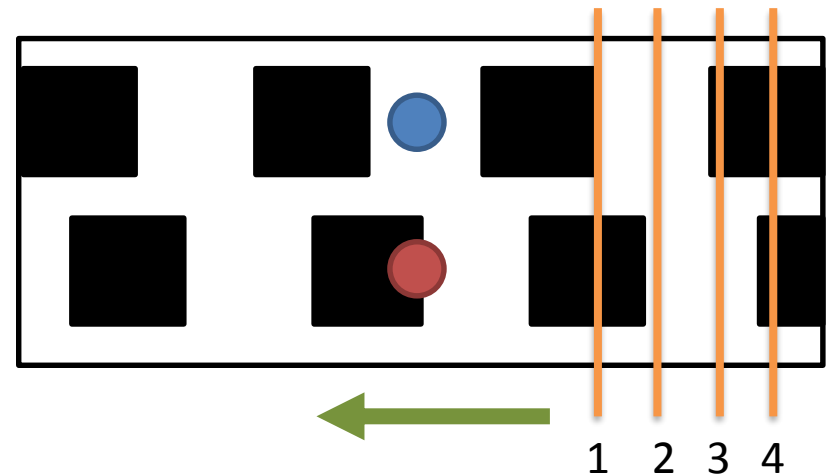
- Helyezzünk el egy második sávsortozatot, az elsőhöz képes negyed fázis (tárcsa esetén $360/4n^\circ$ -os) eltolással!
- A két érzékelő (A és B) legyen egy vonalban (sugárirányban)
- Az érzékelők fel- és lefutó éleit mindkét sávsortozaton számlálva négyszeres felbontás érhető el
- A jelek fázisa alapján a mozgásirány meghatározható



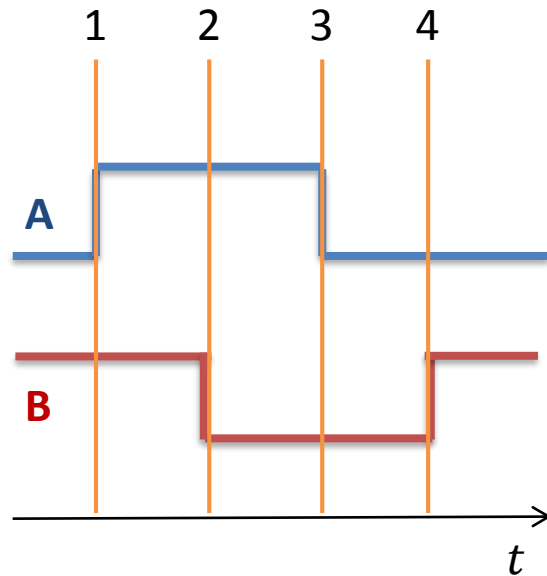
Mozgásirány meghatározása



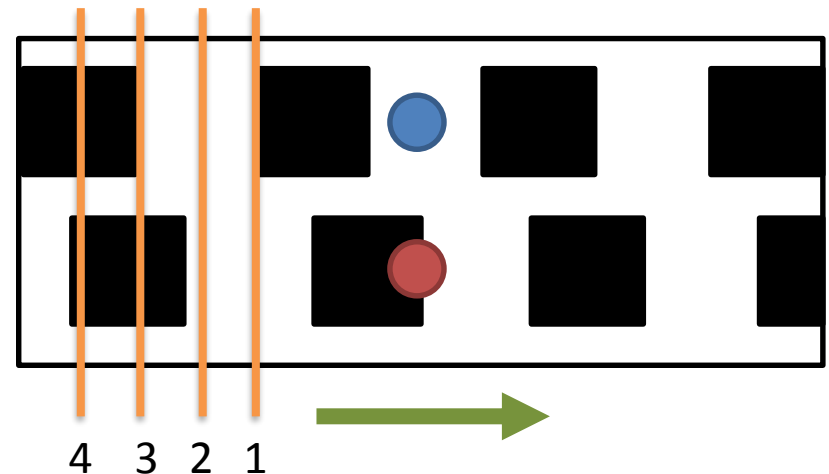
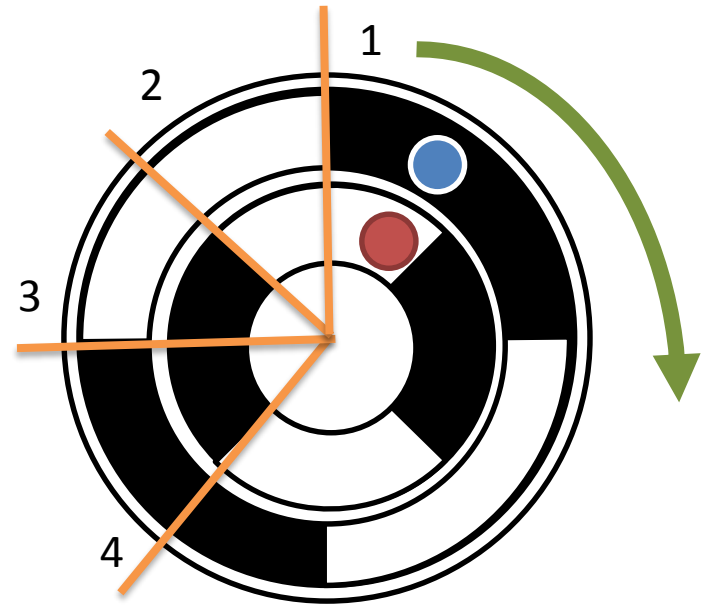
- Óramutató járásával ellentétes forgás:
 - B felfutó éle A pozitív szintje alatt
 - A felfutó éle B negatív szintje alatt



Mozgásirány meghatározása

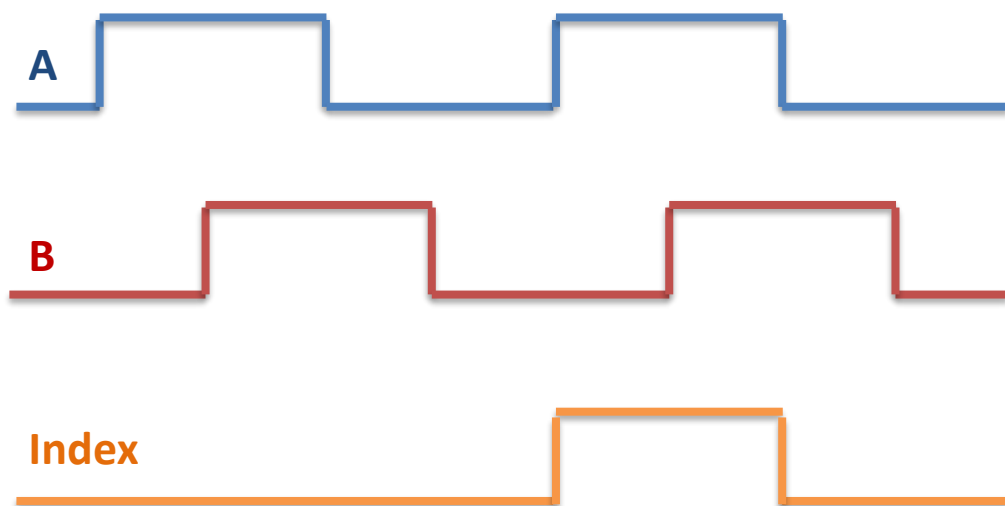
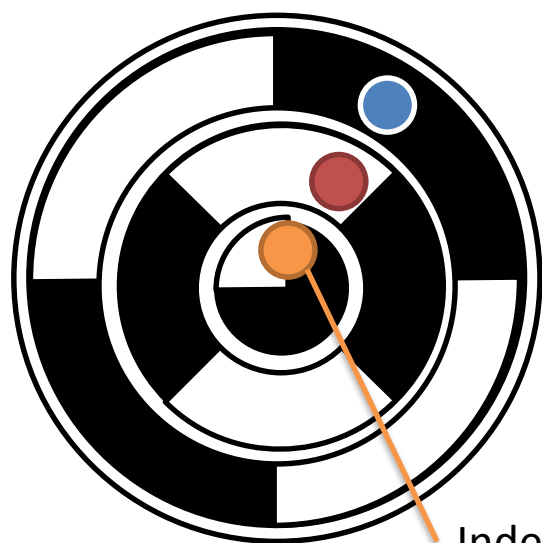


- Óramutató járásával ellentétes forgás:
 - B felfutó éle A negatív szintje alatt
 - A felfutó éle B pozitív szintje alatt



Rotációs kódadó indexjele

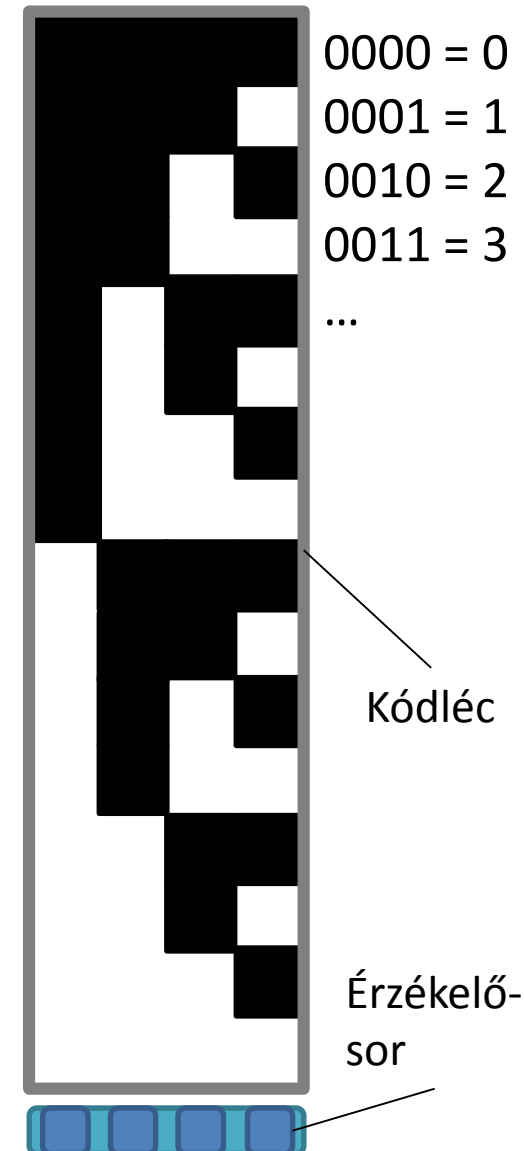
- A kódtárcsa kiegészítése egy plusz sávval: indexjel (*index channel, Z channel*)
- Egyetlen 1 értékű sáv a kerület mentén
- Az indeximpulzus (nullimpulzus) egy fordulaton belül abszolút helyzetmeghatározást tesz lehetővé



Index érzékelő

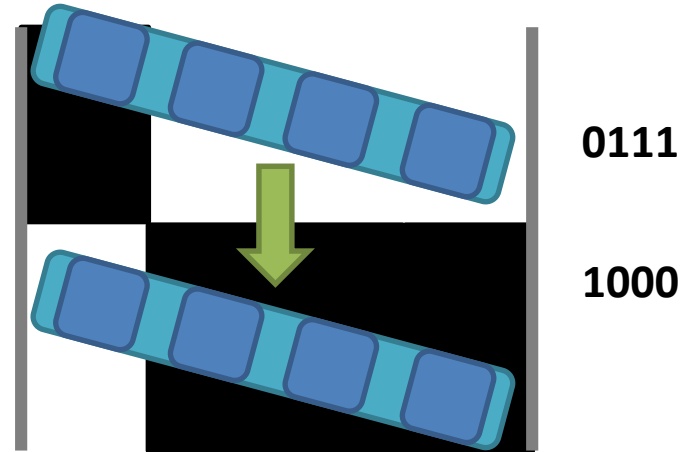
Abszolút kódadó

- Egy tárcsára vagy lécre kettőnél több sáv sorozat is elhelyezhető
- A sávok együttesen egy bináris kódot határoznak meg
- A bináris kód abszolút pozíciót ad meg
- Minél több csatorna, annál jobb felbontás (pl. 8 csatorna: 1/256 felbontás)



Abszolút kódadó

- Probléma: tranziensek
- Ha több csatornán nem egyszerre történik meg a jelváltás, akkor rövid időre hamis pozícióinformációt kapunk
- Megoldás: mindig csak egy csatorna jele váltson (Gray-kód)

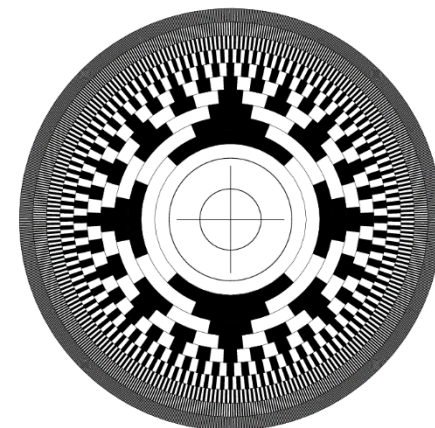
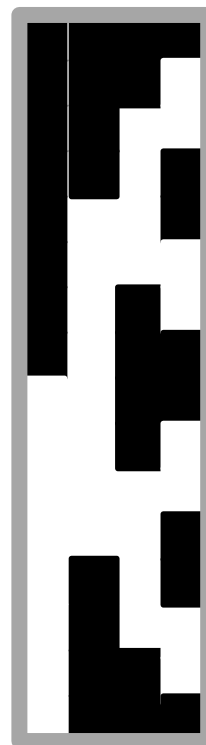


0111
0110
0100
0000
1000

*Hibás
pozíciójel*

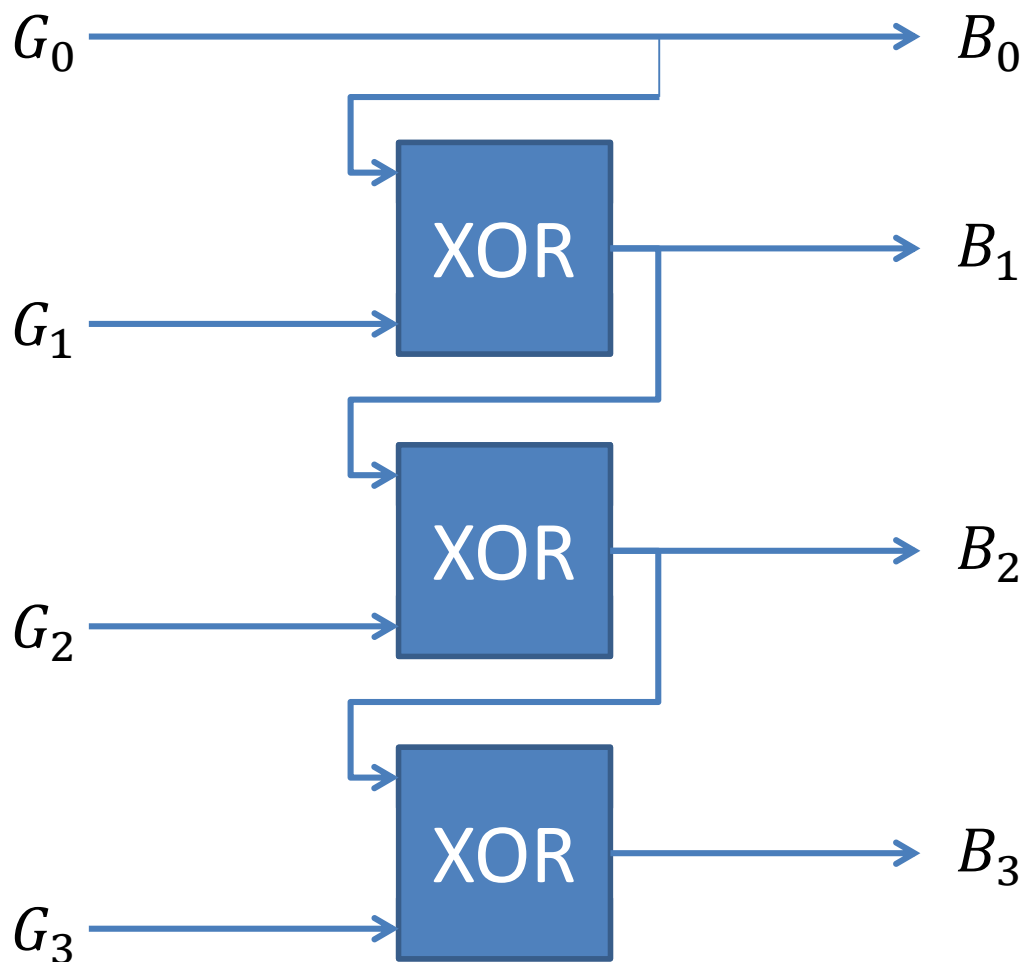
Decimális	Bináris	Gray
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

Gray kód



Gray-bináris konverzió

MSB



LSB

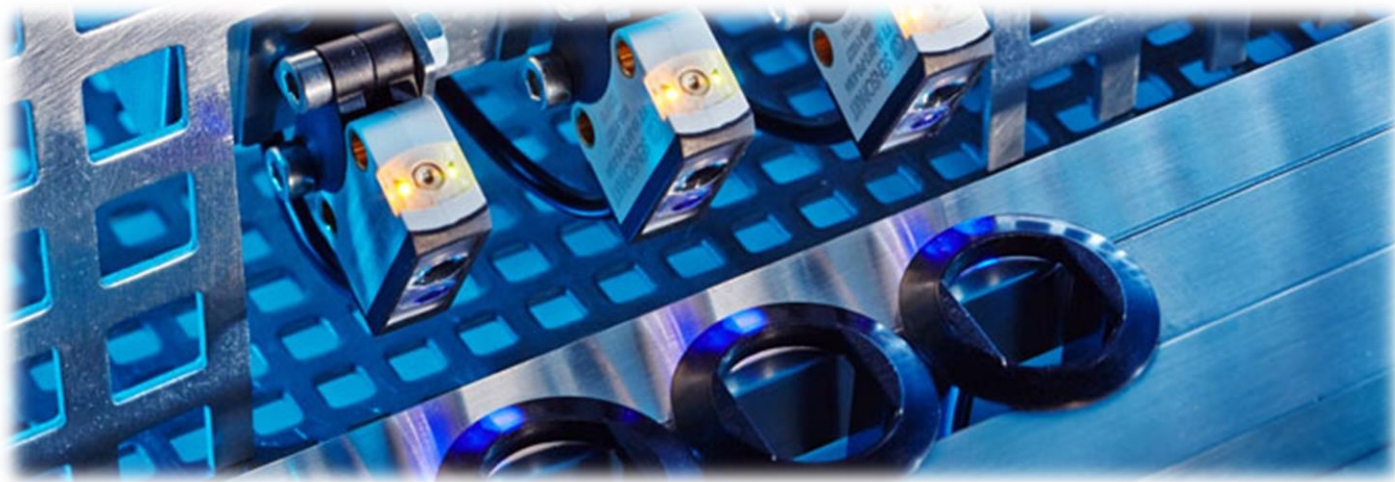
- Szokásos még: look-up-table
- Nagy bitszám esetén gyorsabb lehet

Kódadók

- + Teljesen kontaktus nélküli érzékelés
- + Elektromágneses zavarokra érzéketlen
- + Nagy pontosság
- + Közvetlen digitális kimenet
- Abszolút adónál korlátozott felbontás
- Relatív adónál nem áll rendelkezésre abszolút információ
- Vibrációra, mechanikai behatásokra érzékeny

Közelítésérzékelők

- Nem egy adott tárgy pontos helyzetéről adnak információt, hanem arról, hogy egy helyen jelen van-e egy tárgy
- Elsősorban gyártásautomatizálásban használt érzékelők



Végálláskapcsolók

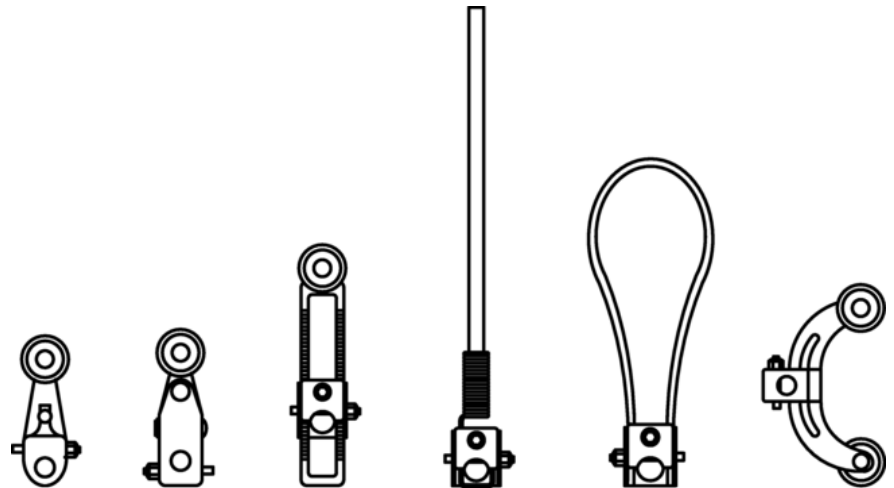
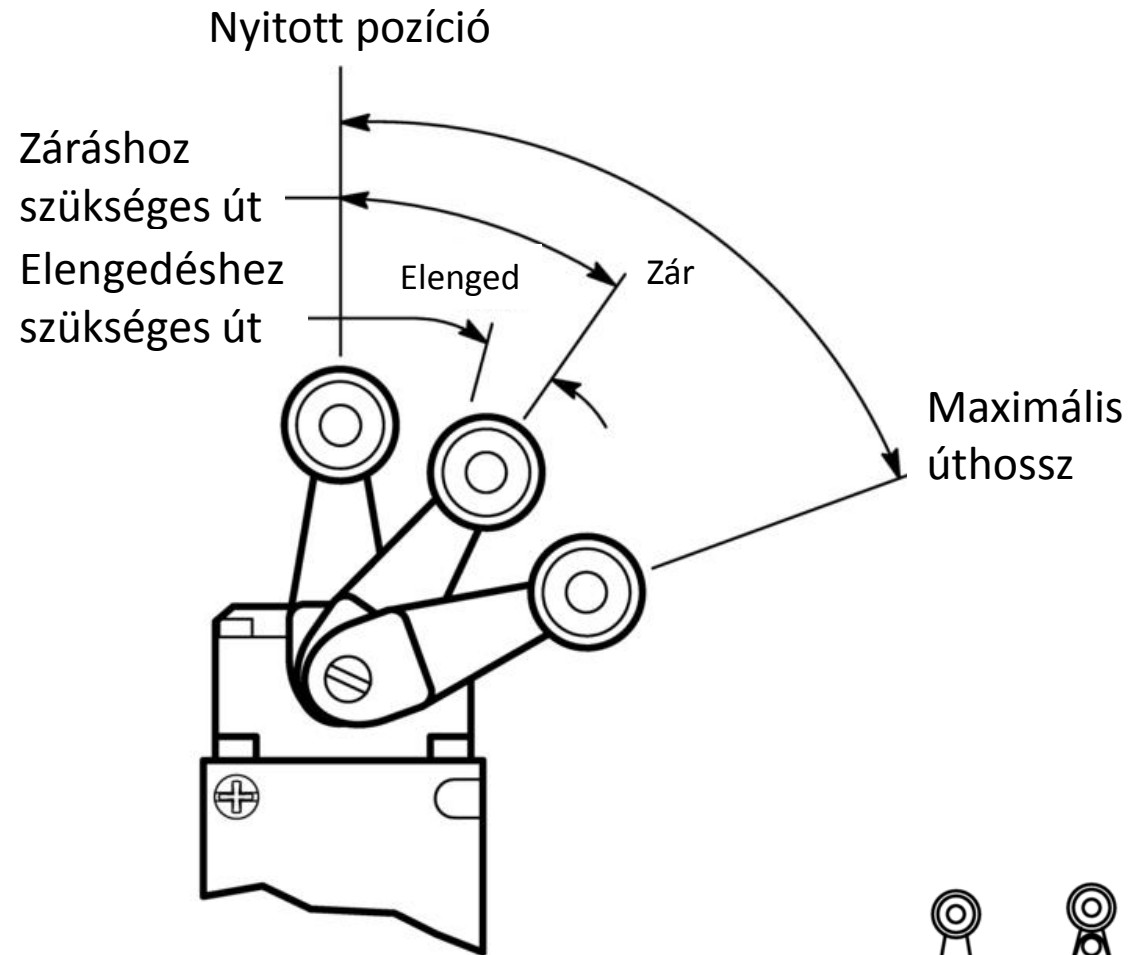
(Limit switch)

- A közelítő tárgy mechanikus kapcsolót aktivál
- Többféle kivitel
- Nyitó, záró és nyitó-záró kapcsolók



Karos - görgős végálláskapcsoló

(Side rotary)

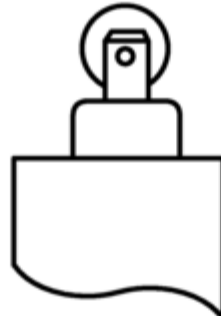


Ütközős (nyomógombos) végálláskapcsolók

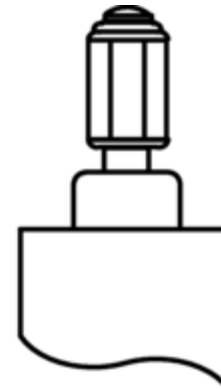
(Side / Top push)



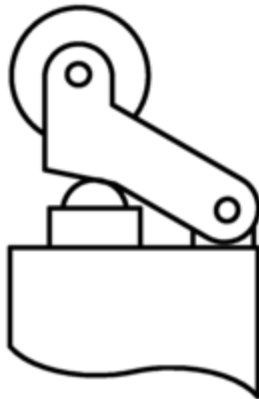
Felső nyomógombos



Felső nyomógörgős



Állítható
nyomórudas



Görgős-
nyomórudas



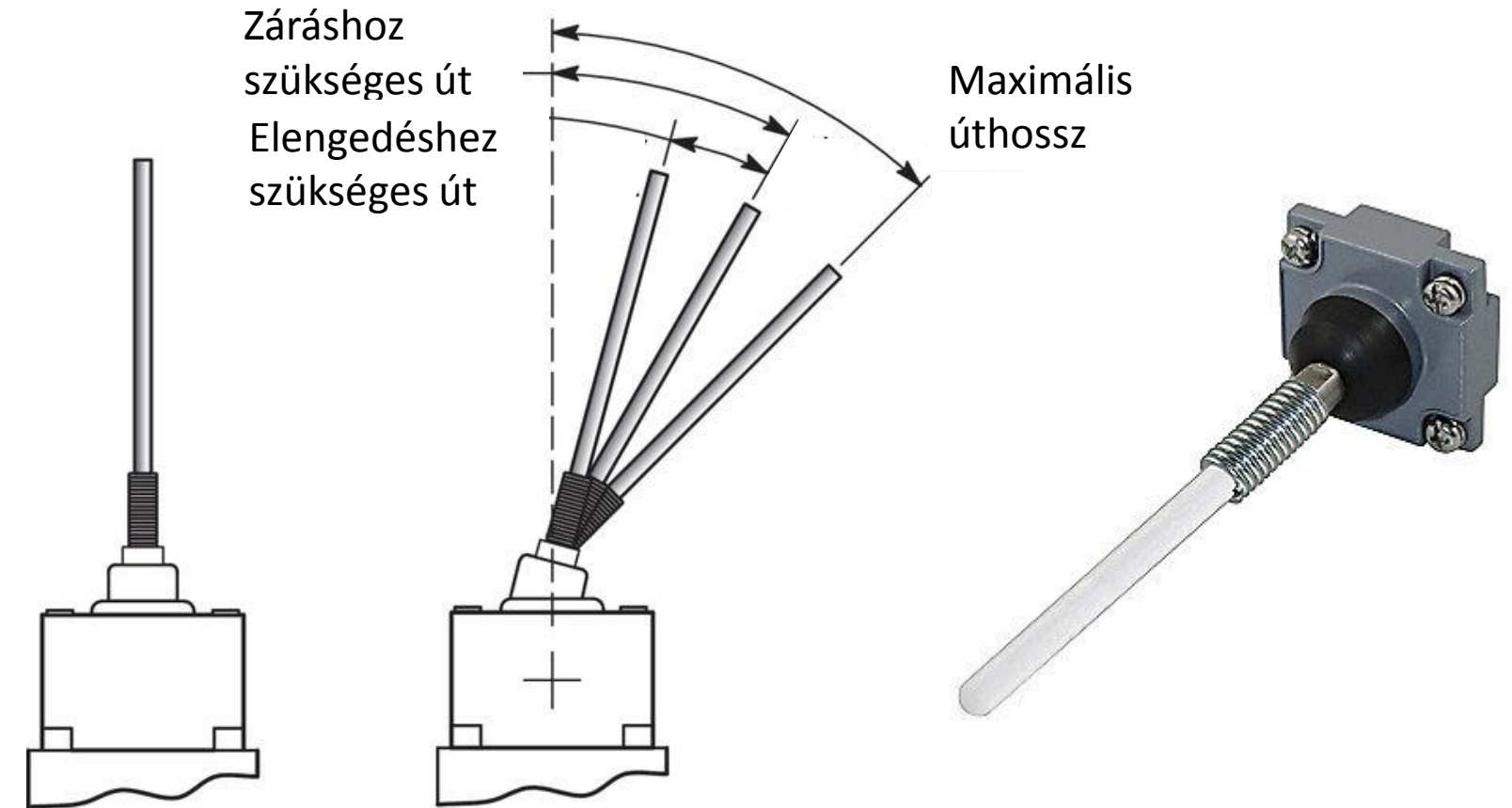
Oldalsó
nyomórudas



Oldalsó nyomógörgős

Rugószáras végálláskapcsoló

(Wobble stick / cat whisker)



Tetszőleges irányba billentve kapcsol

Végálláskapcsolók

- + Egyszerű felépítés
- + Alacsony ár
- + Környezeti paraméterekre érzéketlen
- + Zajokra érzéketlen
- + Tetszőleges jelet képes kapcsolni (AC, DC, nagyfeszültség)
- Mechanikai kontaktust igényel
- Az érzékelt tárgy mozgására jelentős hatással lehet
- Rövid élettartam
- Karbantartásigényes

Fotoelektromos érzékelők

(Photoelectric proximity switch)

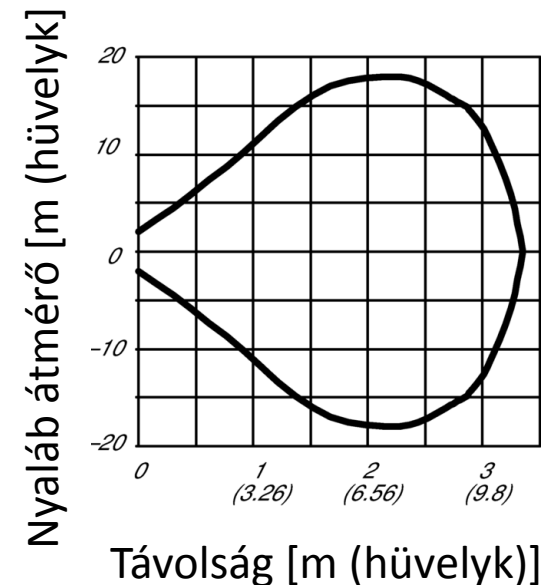
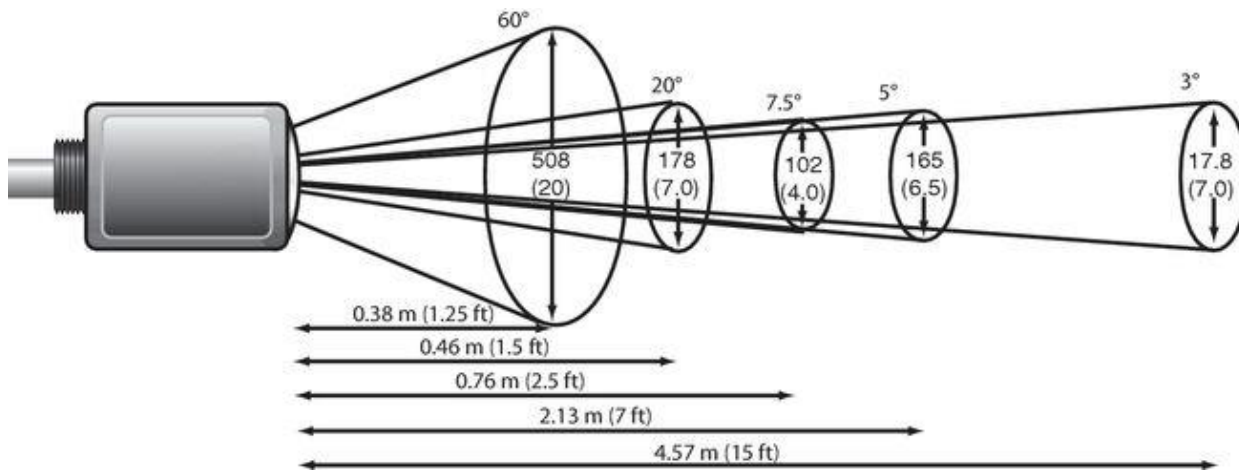


Fotoelektromos érzékelők

- Fényforrás: LED
 - Látható (ált. vörös) vagy infravörös fény
 - Lézer
 - Modulálás (PWM) a melegedés elkerülésére
- Fényérzékelő
 - Fotodióda vagy fototranzisztor
 - Spektrális érzékenység
- Optika
 - Fényforrás és fényérzékelő oldalán is

Érzékenység

- Az érzékenység nagyban függ a fényforrás vetítési képétől
- A vetítési kép optika használatával befolyásolható

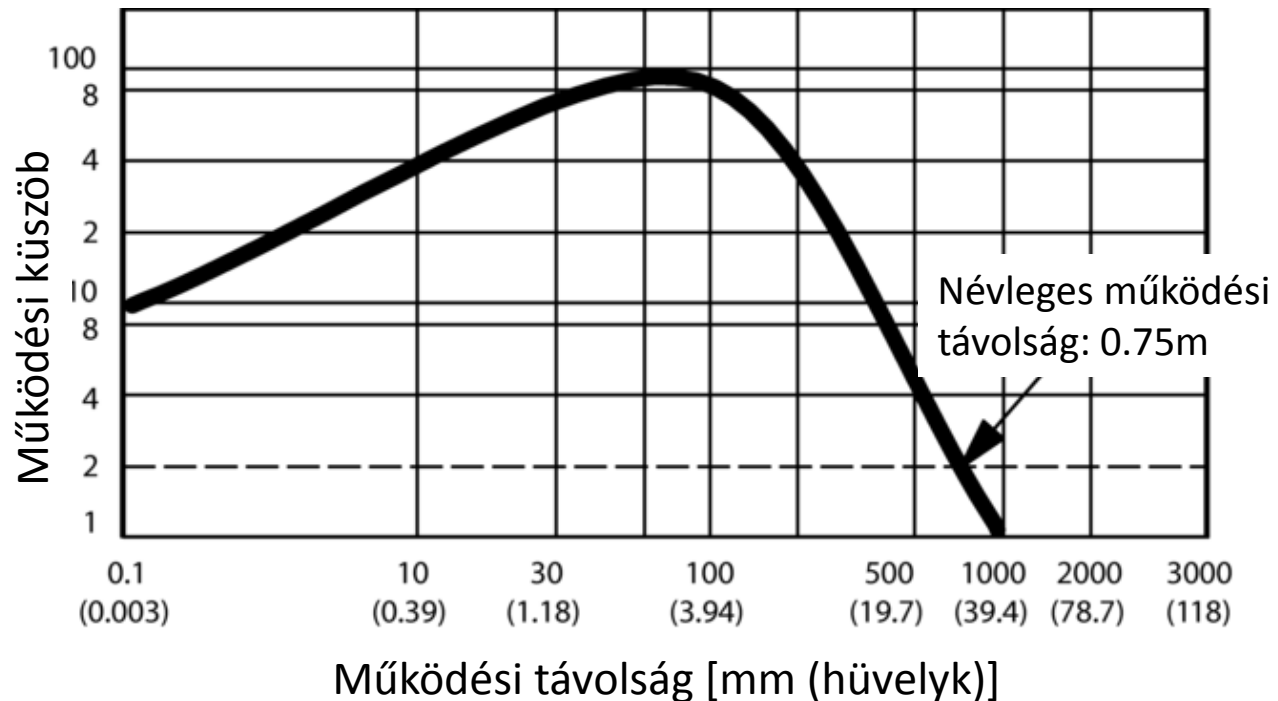


Érzékenység

- Működési küszöb (*operating margin*):

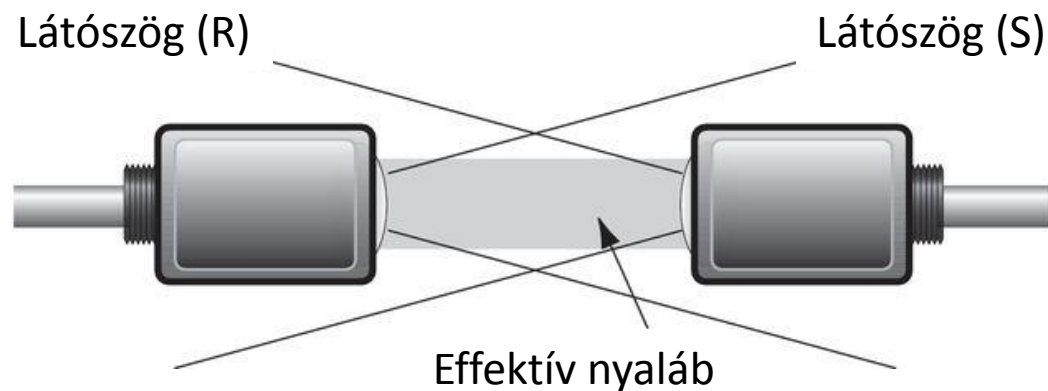
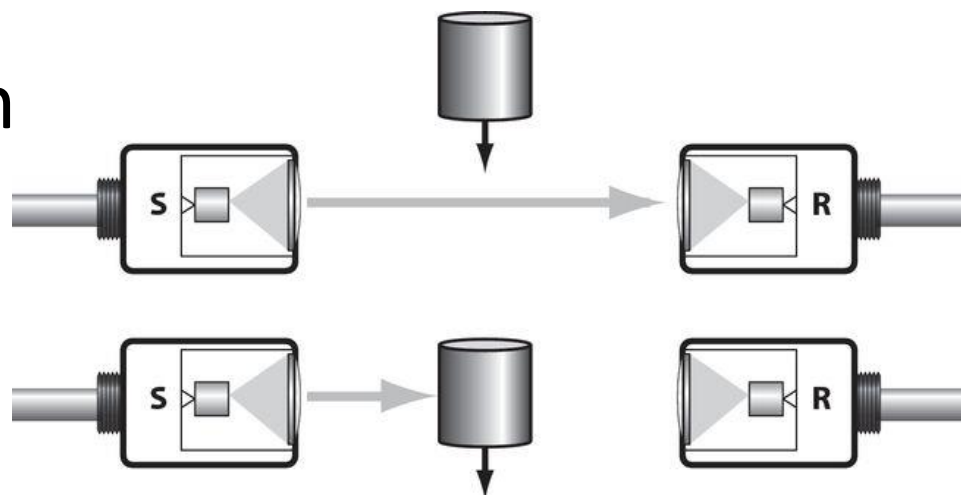
érezelt fénymenyiség

kapcsoláshoz szükséges minimális fénymenyiség



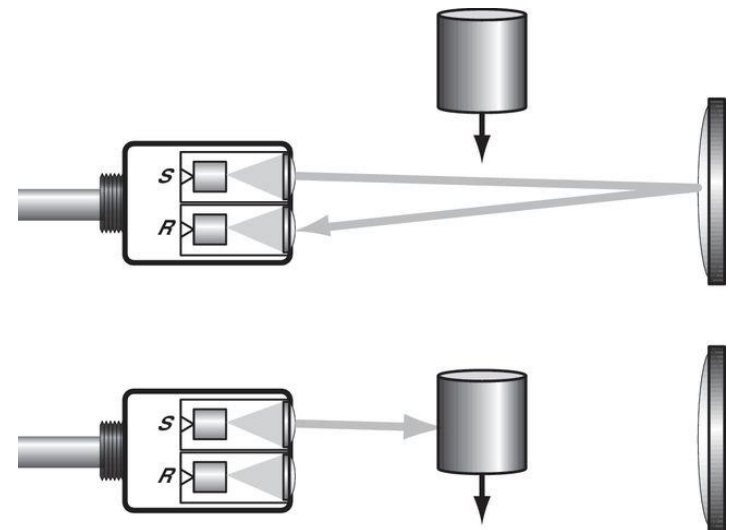
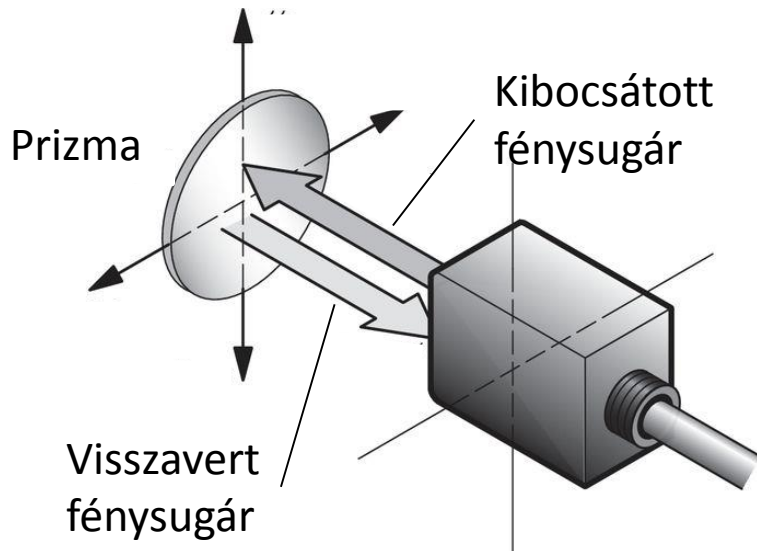
Közvetlen fényérzékelők

- Fényforrás (S) és fényérzékelő (R) külön egységben
- Nagy távolságú érzékelést tesz lehetővé
- Rálátás biztosítása problémás lehet



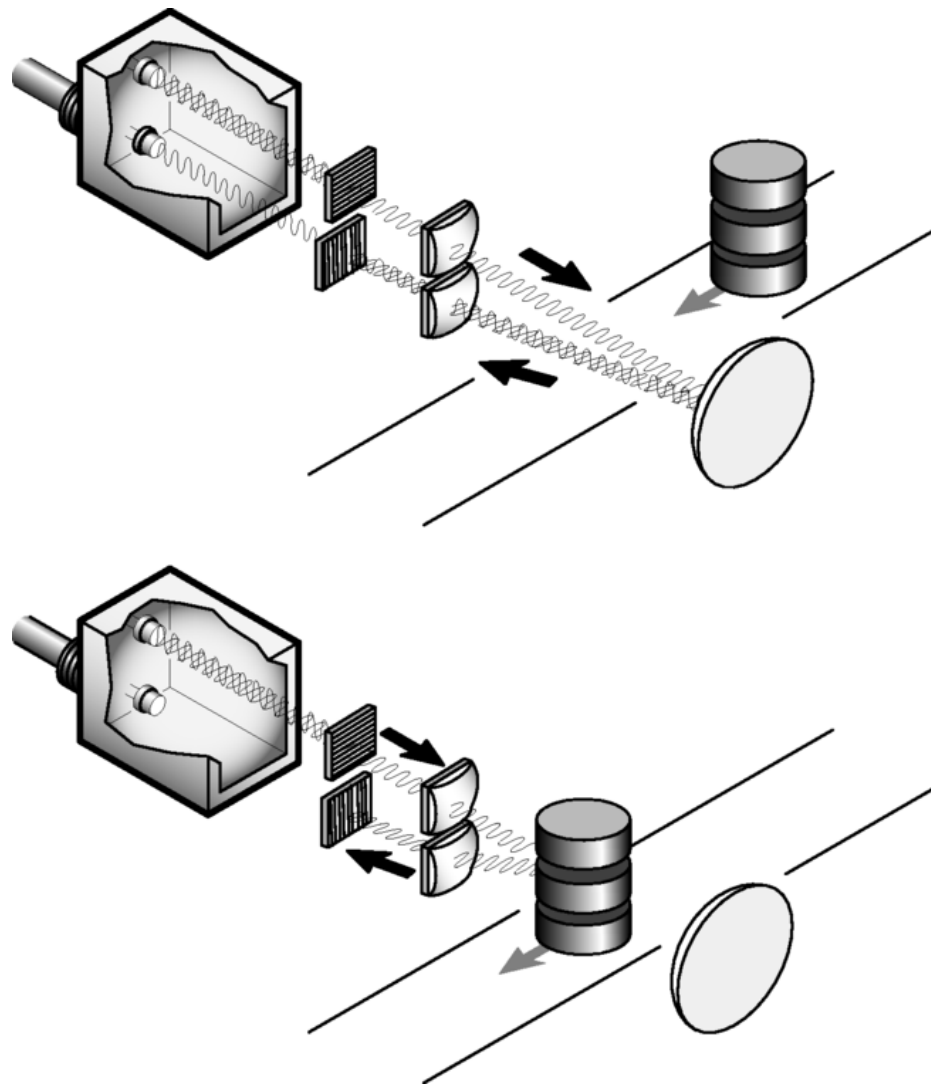
Reflektív érzékelők

- Fényforrás és fényérzékelő egy házban
- Fényvisszaverő a szenzorral szemben ($\pm 15^\circ$)
- Olcsóbb, egyszerűbb vezetékezés
- Csillogó tárgyak becsaphatják



Polarizált reflektív érzékelők

- Polárszűrő a fényforrás és az érzékelő előtt
- Speciális prizma: megváltoztatja a fénysugár polaritását
- Csillogó tárgyat is érzékel: arról azonos polaritású fény verődik vissza, amit a szenzor nem érzékel



Fotoelektromos érzékelők

- + Egyszerű felépítés
- + Kontaktusmentes
- + Alacsony ár
- + Zajokra érzéketlen
- + Közvetlen digitális kimenet
- + Nagy érzékelési tartomány
- Környezeti hatásokra érzékeny
- Fényviszonyokra érzékeny
- Karbantartásigényes (tisztítás)

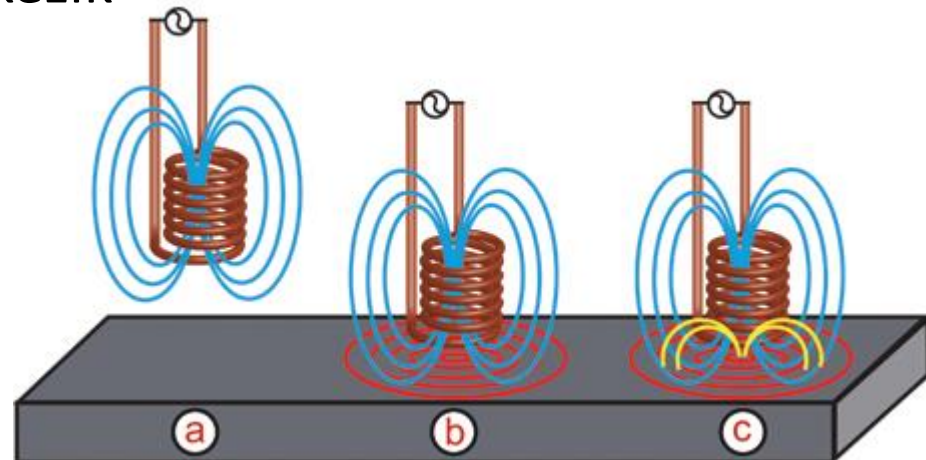
Induktív közelítésérzékelők

(Inductive proximity switch)



Örvényáram

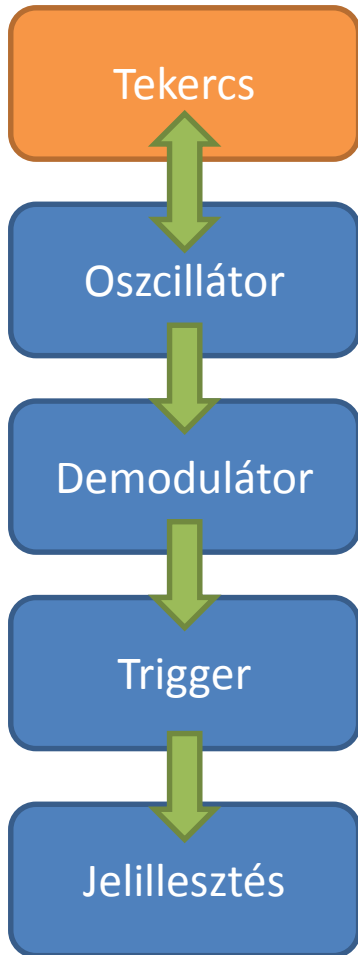
- Akkor keletkezik, amikor egy vezető és a mágneses tér között relatív elmozdulás lép fel
 - A vezető mozog statikus mágneses térben
 - A mágneses tér változik
- A Lorentz-erő hatására áram indukálódik
- A Lenz-törvény értelmében ez úgy örvénylik, hogy az őt kiváltó térrel ellentétes irányú legyen
- Rezisztív veszteségként jelentkezik



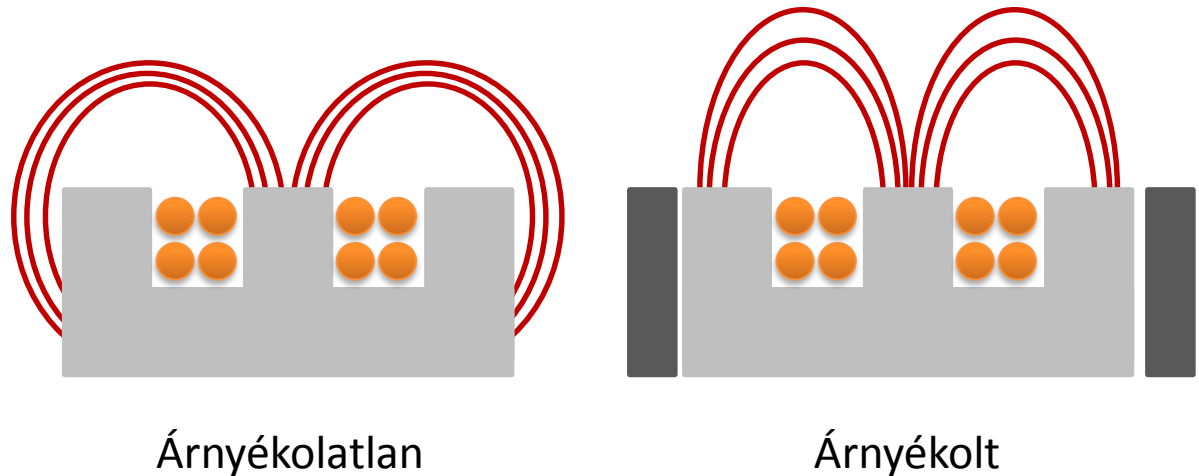
Örvényáram

- Nagysága függ
 - A mágneses térerősség nagyságától
 - A frekvenciától
 - A vezető fajlagos ellenállásától
 - A hőmérséklettől
- Visszahat az őt gerjesztő mágneses térre: veszteséget okoz

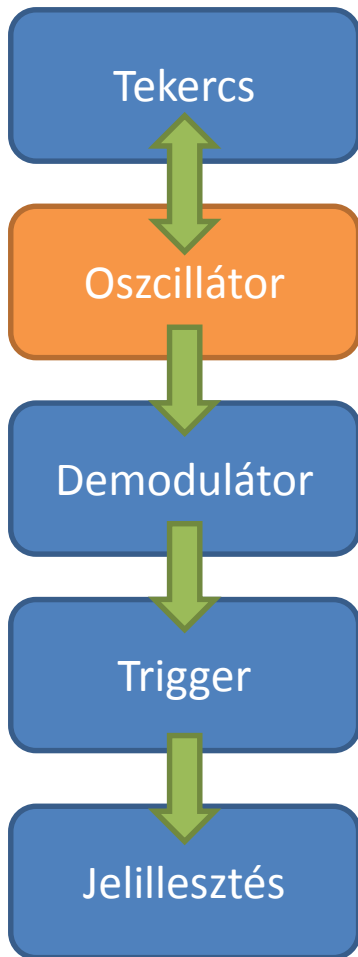
Induktív közelítésérzékelők felépítése



- A mágneses teret egy tekercs hozza létre
- Árnyékolt és árnyékolatlan kivitel



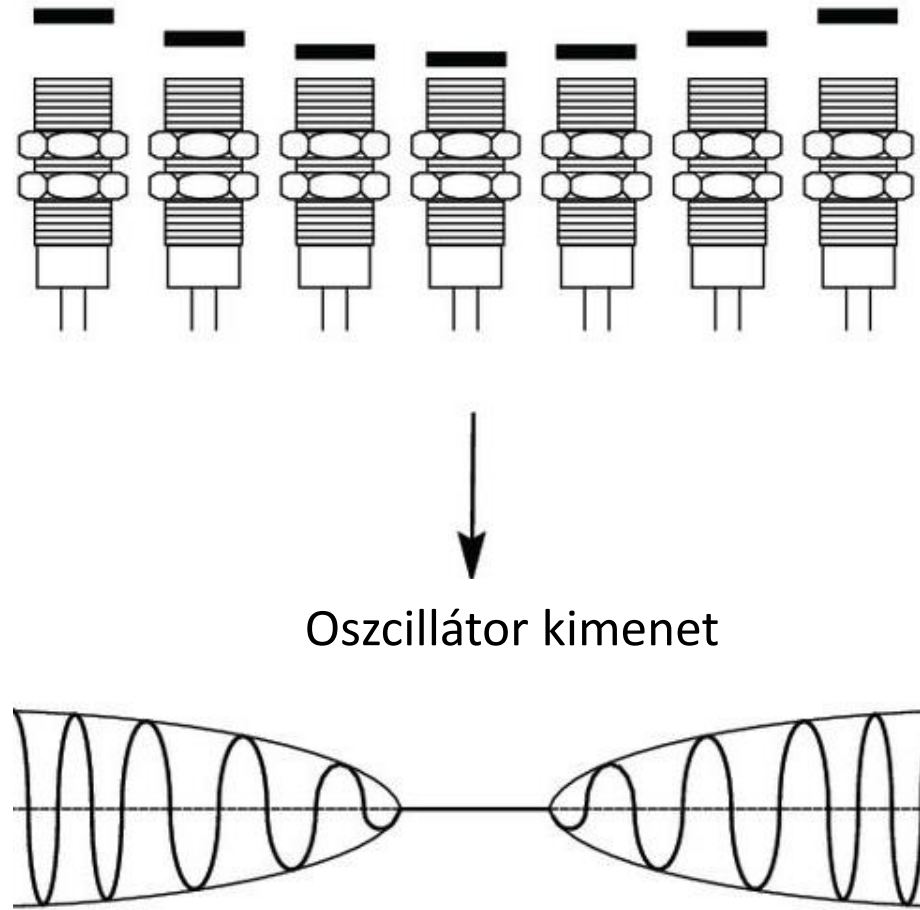
Induktív közelítésérzékelők felépítése



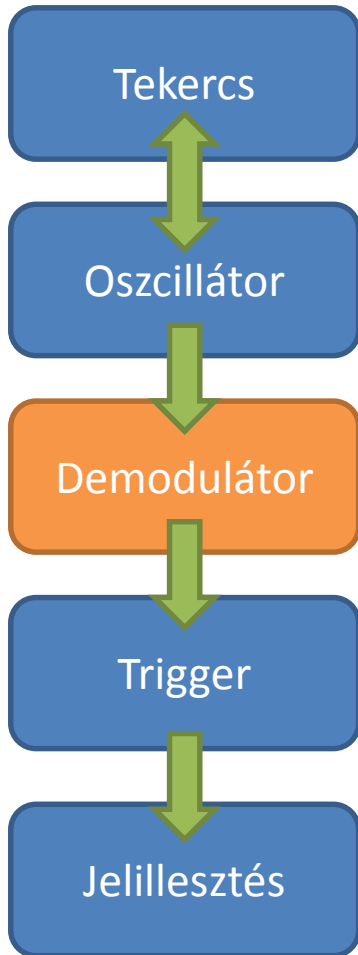
- A tekercs táplálásáért az oszcillátor felelős
- Az oszcillátor szinuszos kimenetét egy LC-kör részeként a tekercs alakítja ki

Az érzékelés elve

- A tekercs terébe egy vezető kerül
- A vezetőben örvényáram indukálódik
- Az örvényáram az oszcillátor LC-körében rezisztív terhelésként jelentkezik
- Az oszcillátor csillapítása megnő
- Az oszcillátor kimenetének frekvenciája és amplitúdója csökken, majd az oszcillátor leáll

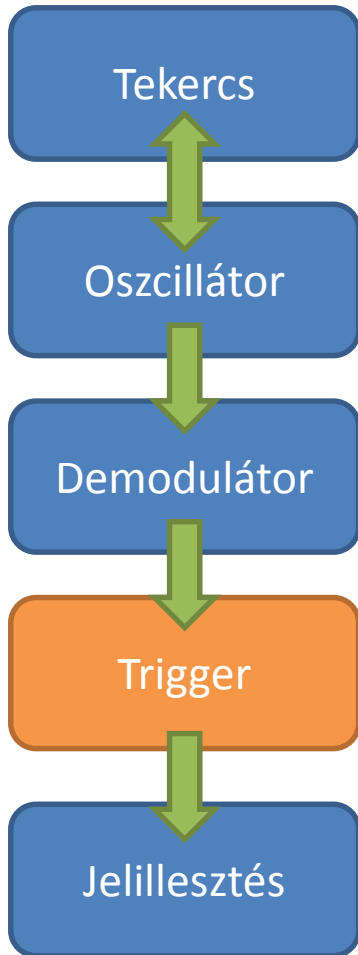


Induktív közelítésérzékelők felépítése

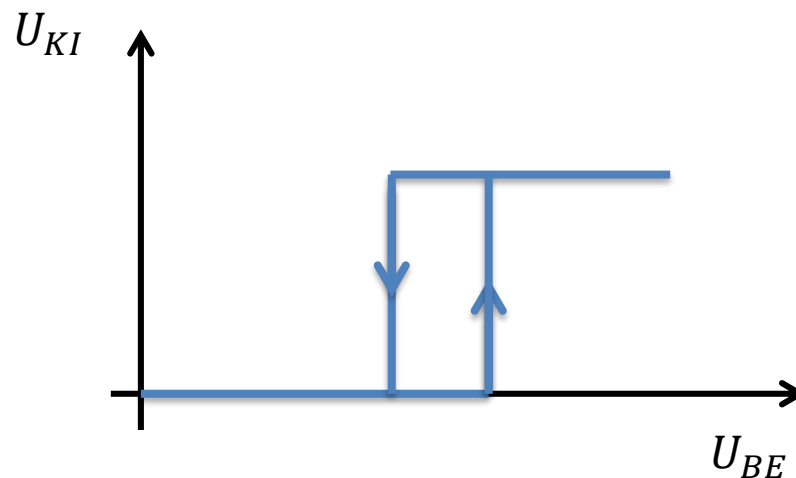


- A demodulátor feladata az oszcillátor AC kimenetéből DC feszültség előállítása
- Felépítés
 - Egyenirányító
 - Aluláteresztő szűrő

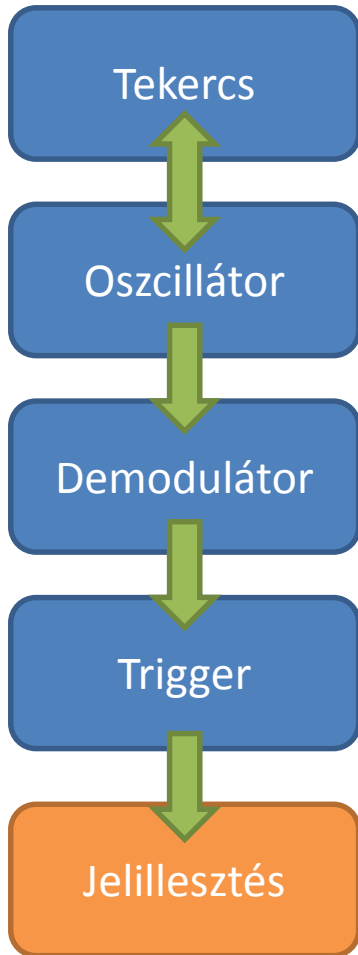
Induktív közelítésérzékelők felépítése



- Trigger: a DC feszültség szintjének figyelése
- Histerézis
- Schmitt-trigger



Induktív közelítésérzékelők felépítése



- Tápfeszültség biztosítása a többi modul számára
- Trigger kimenet jelillesztése
- Ritka: analóg kimenet

Induktív közelítésérzékelők érzékenysége

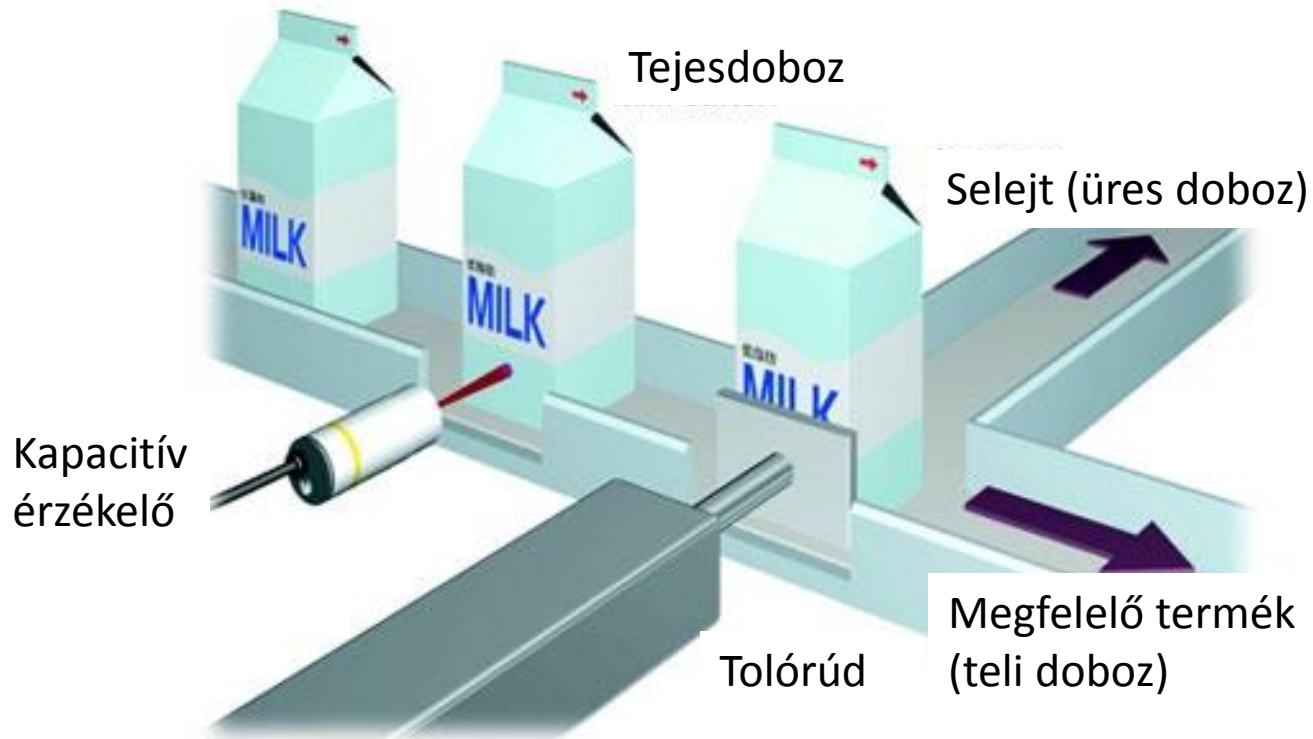
- Függ
 - Gerjesztési frekvencia (2kHz – 10MHz)
 - Árnyékolás
 - Érzékelt tárgy anyaga
- Adatlapon: általában acél érzékelési távolsága
- Egyéb anyagokra: korrekciós tényező
 - Rozsdamentes acél: 0.9
 - Bronz: 0.5
 - Réz: 0.4
- Ökölszabály: az adatlapon megadott érték felével dolgozzunk
- Érzékelési távolság: 1-100 mm (ökölszabály: kb. a szenzor átmérője)

Induktív közelítésérzékelők

- + Kontaktusmentes
- + Hosszú élettartam
- + Környezeti paraméterekre érzéketlen
- + Közepes érzékelési távolság
- + Alacsony ár
- **Csak vezető anyagokat érzékel**
- Fémes környezetben a zavarokra ügyelni kell

Kapacitív közelítésérzékelők

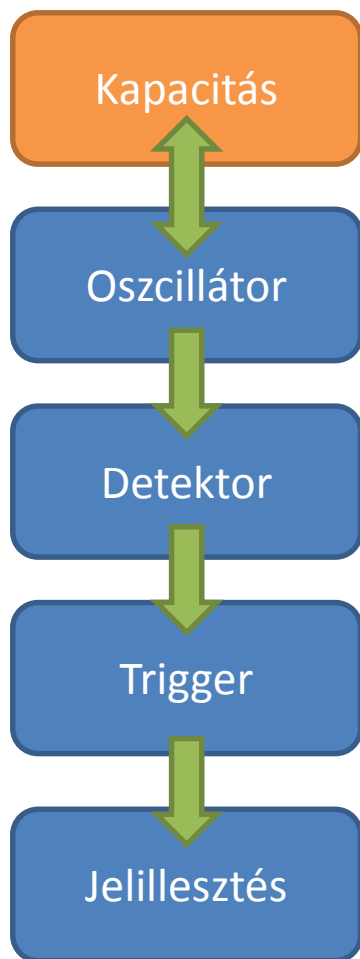
(Capacitive proximity switch)



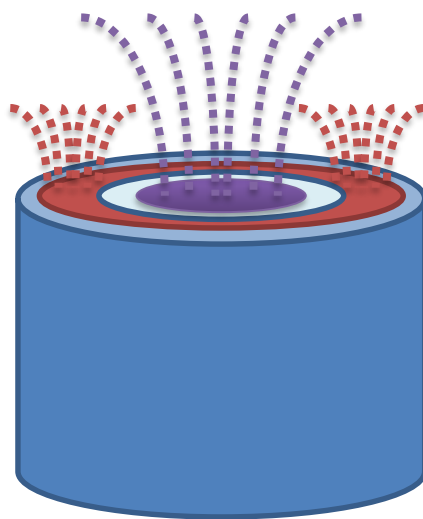
Kapacitív közelítésérzékelők

- Az érzékelés elve: kapacitásváltozás
- Fegyverzetek:
 - Szenzor
 - Érzékelendő tárgy
- Az érzékelés függ
 - A tárgy távolságától
 - A tárgy nagyságától
 - A tárgy anyagától
 - A környezeti hatásoktól

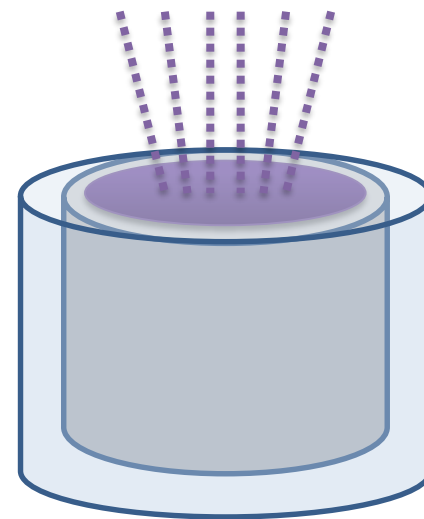
Kapacitív közelítésérzékelők felépítése



- A kapacitás egyik fegyverzete a szenzoron
- Árnyékolt és árnyékolatlan kialakítás

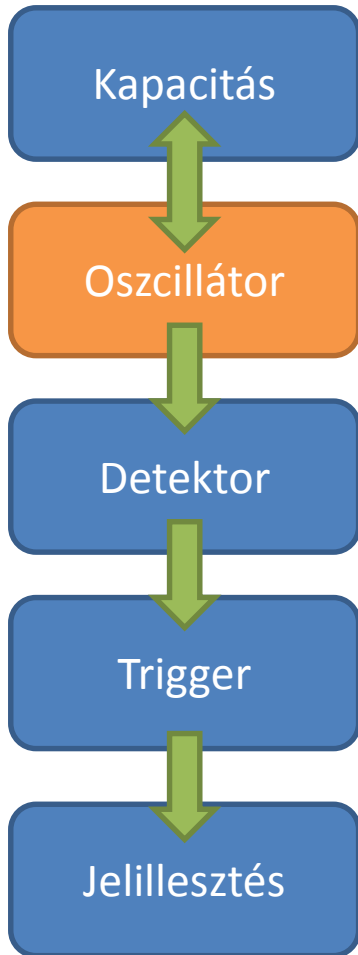


Árnyékolatlan



Árnyékolt

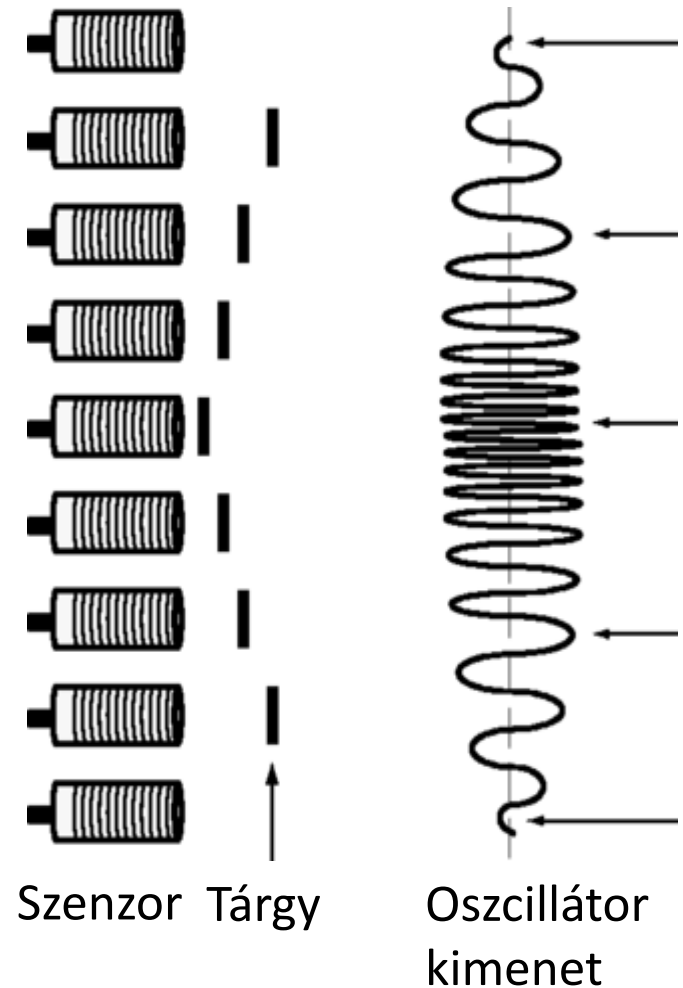
Kapacitív közelítésérzékelők felépítése



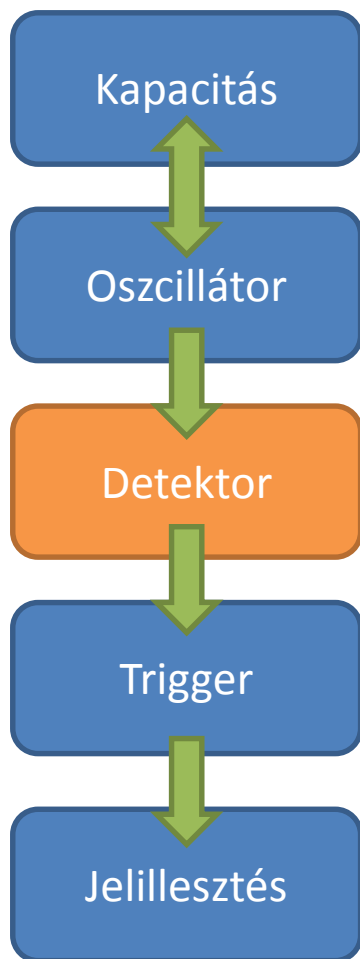
- Az oszcillátor szinuszos kimenetét egy RC-kör részeként a kondenzátor alakítja ki

Az érzékelés elve

- Amíg nincs tárgy a szenzor közelében, addig a kondenzátor kapacitása nulla, az oszcillátor nem működik
- A tárgyat közelítve a kapacitás egyre nő
- A növekvő kapacitás növeli az oszcillátor frekvenciáját és amplitúdóját

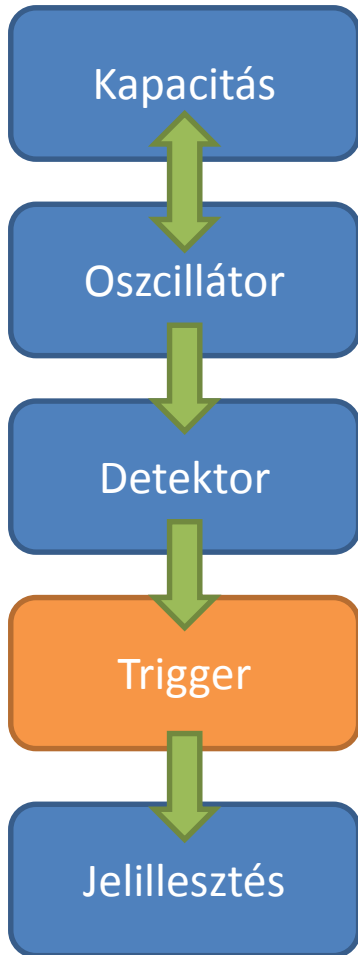


Kapacitív közelítésérzékelők felépítése



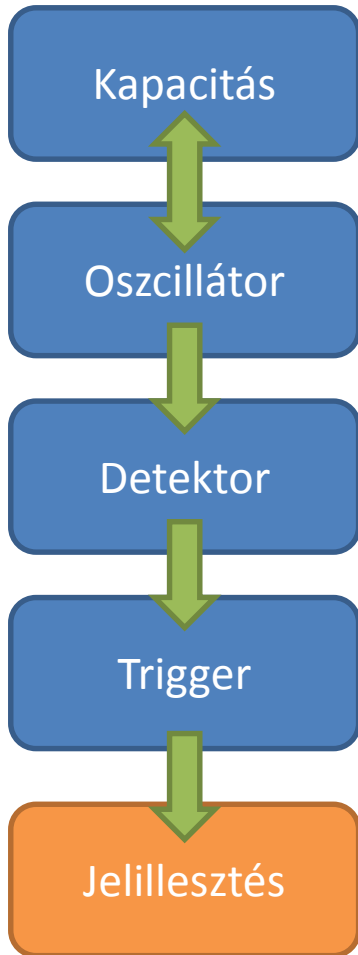
- A detektor feladata az oszcillátor AC kimenetéből DC feszültség előállítása
- Felépítés
 - Egyenirányító + aluláteresztő szűrő
 - Frekvencia – feszültség átalakító
 - Frekvencia kimenet

Kapacitív közelítésérzékelők felépítése



- Trigger: a DC feszültség szintjének figyelése vagy frekvencia-komparálás
- Histerézis
- A trigger szint egyes típusoknál állítható (anyaghoz igazítás)

Kapacitív közelítésérzékelők felépítése



- Tápfeszültség biztosítása a többi modul számára
- Trigger kimenet jelillesztése
- Ritka: analóg kimenet

Kapacitív közelítésérzékelők

- + Kontaktusmentes
- + Vezető és nem vezető, mágneses és nem mágneses tárgyakat is érzékel
- + Hosszú élettartam
- + Megfelelő beállítás esetén képes „átlátni” egyes anyagokon (ld. tejesdoboz)
- Kis érzékelési távolság (2-10mm)
- Környezeti hatásokra (pl. páratartalom) különösen érzékeny
- Költséges

Szintérzékelők

(level sensors)



Szintérzékelés

- Érzékelendő közegek
 - Tiszta folyadék
 - Szennyezett folyadék
 - Iszap
 - Szemcsés anyag
 - Határfelületek
- Extrém tulajdonságok
 - Magas hőmérséklet
 - Korrozív anyag
 - Robbanásveszély
 - Szilárd szennyeződések



Szintérzékelés

- Feladat
 - Szintjelzés
 - Szintszabályozás (állásos/analóg)
 - Készletezés, receptúra
- Érzékelés típusa
 - Logikai
 - Diszkrét
 - Folytonos

Szintkapcsolók

(Level switch)

- Logikai kimenetű érzékelők
- Egy adott szint elérésekor kapcsolnak/engednek el
- Egyszerűbb szintszabályozási feladatokra
- Vészjelzésre

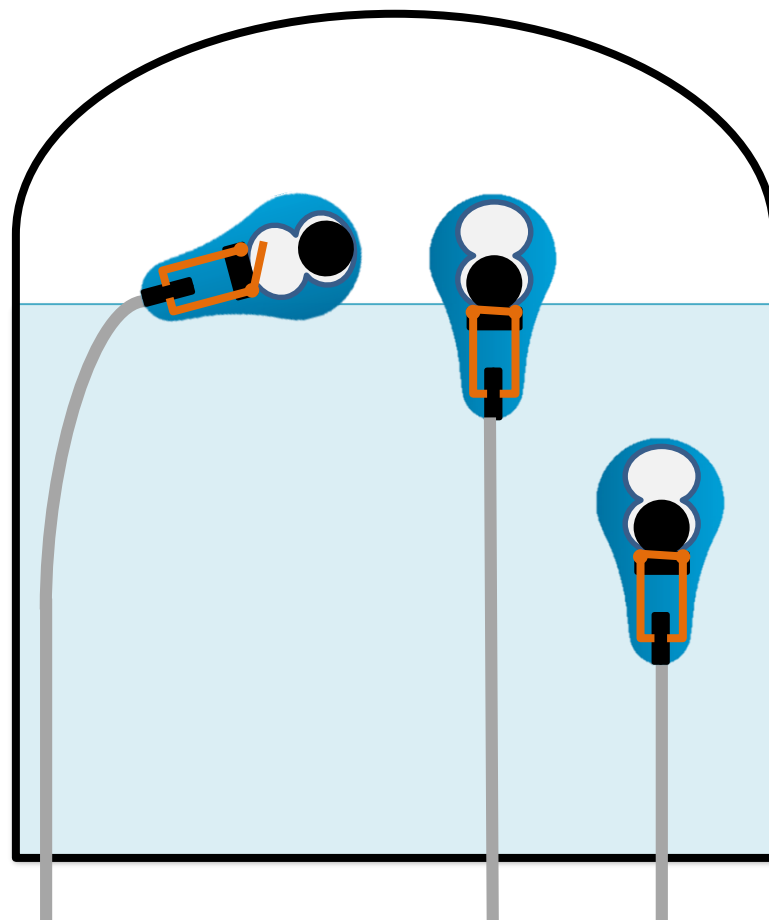
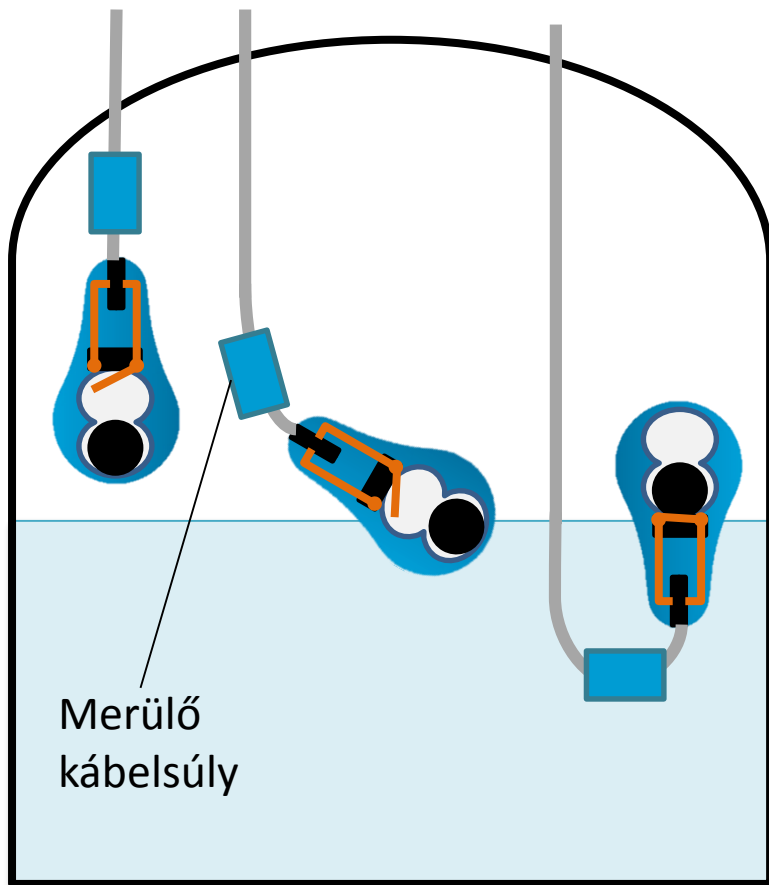
Mechanikus szintkapcsolók

(Float switch)

- Hermetikusan zárt műanyag burkolat
- Orientációtól függően záró/nyitó mechanikus kapcsoló
- Nagy teljesítmény kapcsolására is képes



Mechanikus szintkapcsolók



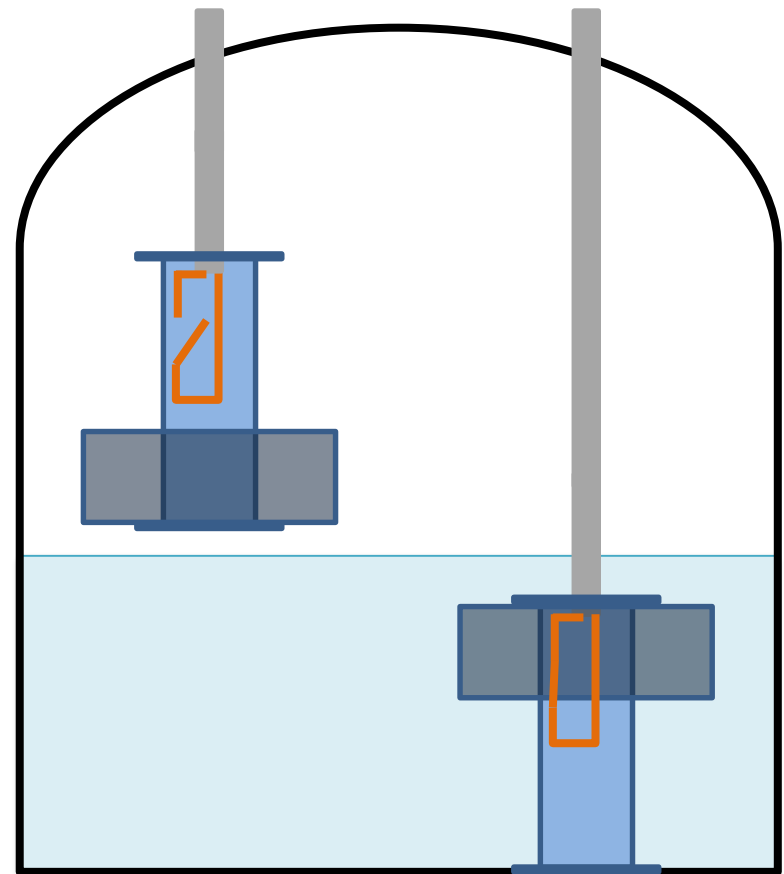
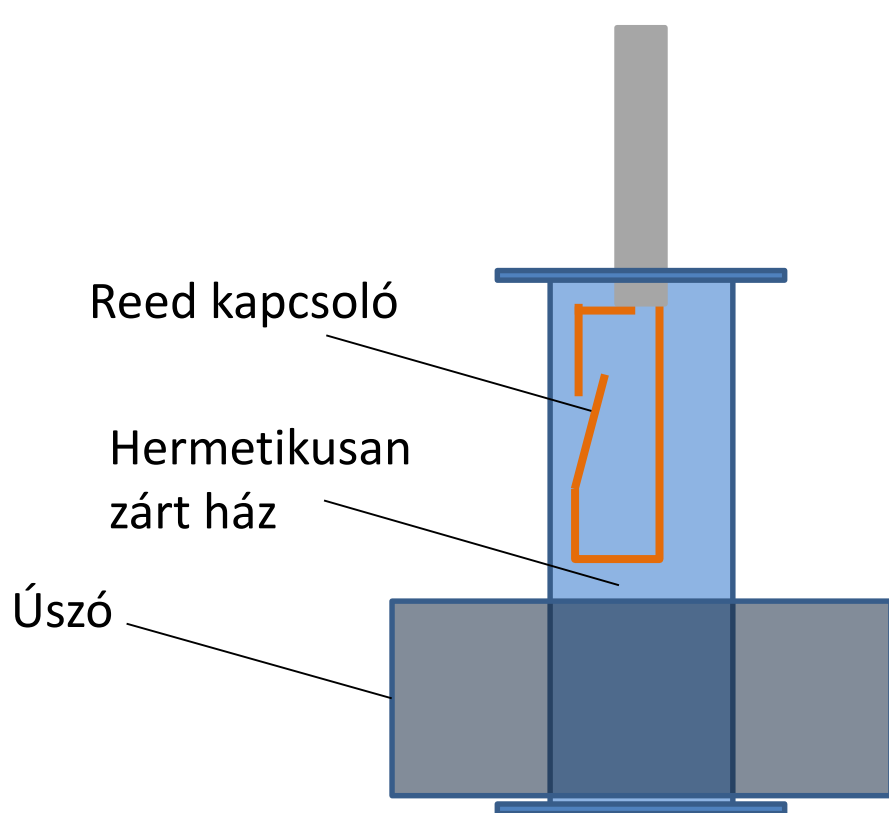
Úszós szintkapcsolók

(Displacer switch)

- Működés alapja: reed kapcsoló
 - Inert gázzal töltött kapszulában átlapolódó ferromágneses kontaktusok
 - Mágneses tér hatására zár
 - Csak korlátozott teljesítményt képes kapcsolni
- Villamos rész hermetikusan zárt
- A reed kapcsolót a mágneses úszó működteti



Úszós szintkapcsolók



Úszós szintkapcsolók

Felszerelési irány szerint

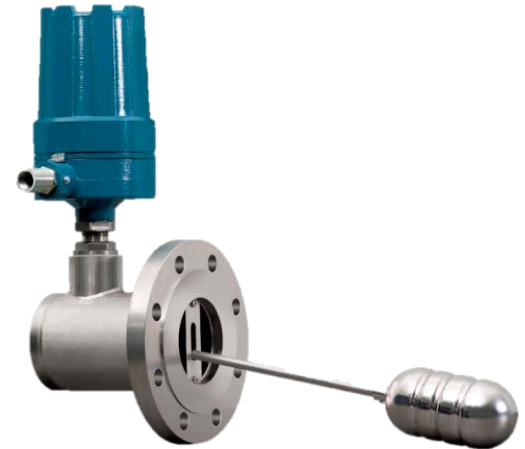
- Horizontális
- Vertikális

Felszerelés helye alapján

- Oldalsó
- Felső
- Alsó

Rögzítés helye alapján

- Belső
- Külső
- Lebegő



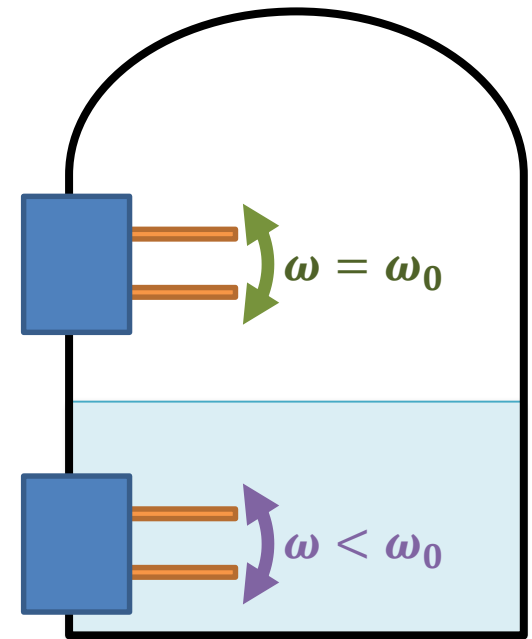
Úszós és mechanikus szintkapcsolók

- + Rendkívül egyszerű felépítés
- + Megbízható érzékelés
- + Nagy nyomáson is üzembiztos
- + Alacsony ár
- Közegbe merített érzékelő
- Egyes kialakításoknál a jelvezeték is a közegbe merül
- Darabos szennyeződésekre érzékeny
- Sűrű (viszkózus) folyadékok esetén megszorulhat
- Csak folyadékszint érzékelésére használható

Rezgővillás szintkapcsoló

(Vibrating fork level switch)

- Levegőben sajátfrekvenciáján rezgetett villa
- A közeg megváltoztatja a rezgés frekvenciáját, amit a detektor érzékel
- A rezgés frekvenciája a sűrűségtől függ (minél sűrűbb az anyag, annál kisebb)
- Rezgés következtében lerakódásra kevésbé érzékeny



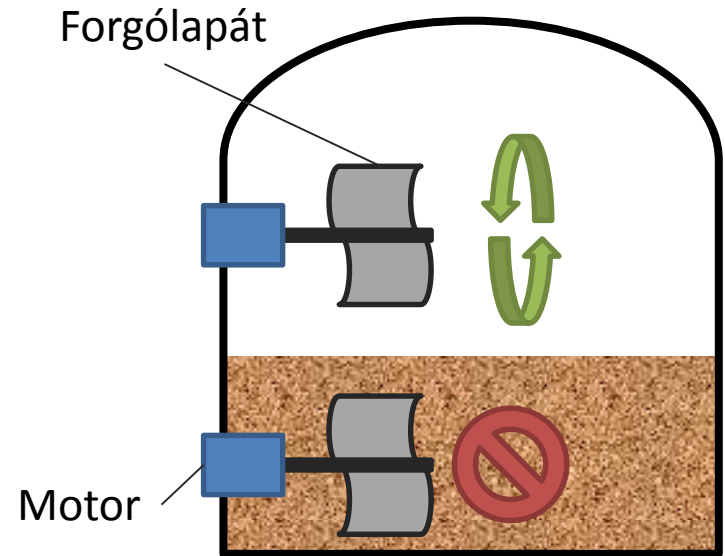
Rezgővillás szintkapcsoló

- + Mozgó alkatrész nélküli felépítés
- + Nagy nyomáson és hőmérsékleten is üzemeltethető
- + Áramlásra, buborékképződésre, közeg paramétereinek változására érzéketlen
- Úszós kapcsolókhoz képest magasabb ár
- Közegbe merített érzékelő
- Sűrű (viszkózus) folyadékok lerakódást okozhatnak a villán, meghamisítva az érzékelést
- Csak folyadékszint érzékelésére használható

Forgólapátos szintérzékelő

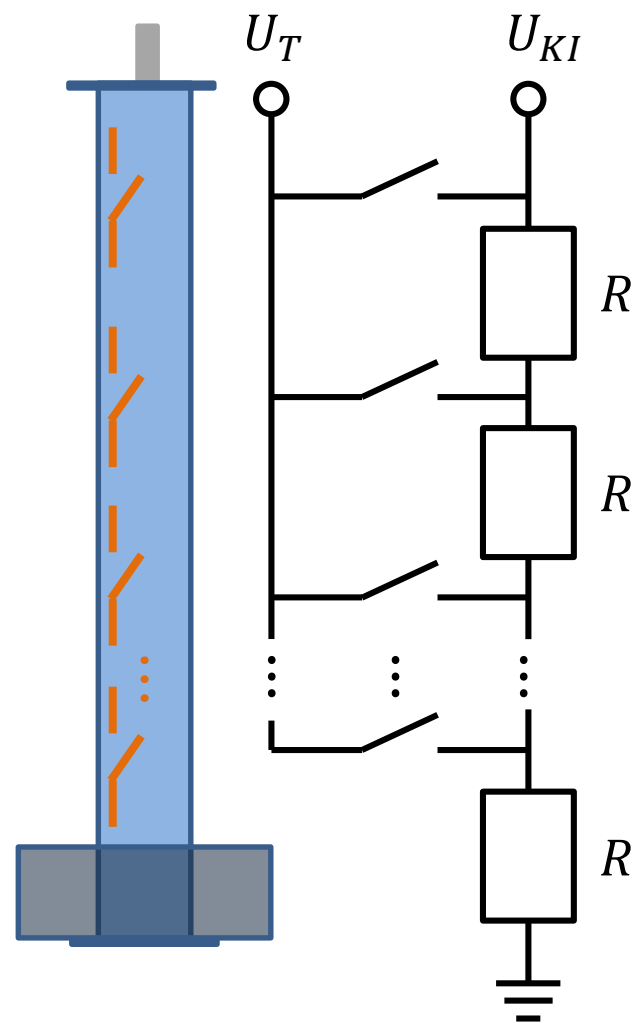
(Rotary paddle level switch)

- Szemcsés anyagok szintérzékelésére
- Alacsony nyomatékú és sebességű motor forgólapátot forgat
- Ha az anyag szintje eléri az érzékelőt, a motor lelassul illetve megáll
- Ezt figyelve a szint elérése jelezhető



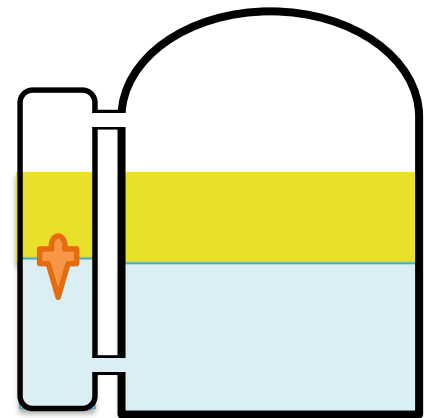
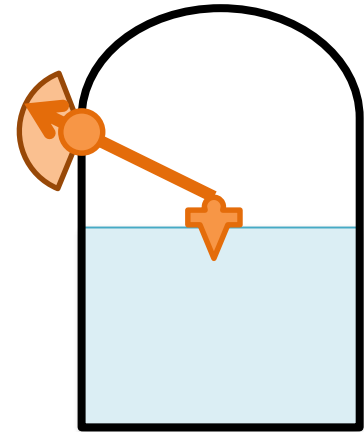
Diszkrét szintérzékelő

- Szintkapcsoló-sor (általában úszós)
- Ellenállás-létra fokait kapcsolja, így diszkrét feszültségértékeket szolgáltat az egyes szinttartományokhoz
- Rendkívül korlátozott felbontás



Úszós szintérzékelők

- Feladat: lebegő úszó helyzetének mérése
- A villamos részeket el kell szigetelni a közegtől
- Kulcs: megfelelő jelátalakító
- Probléma: kicsatolás, jelátalakító közegbe merülő része jelentős zavarást jelenthet
- Előny: megfelelő úszó használatával határfelület szintje is mérhető



Erőmérésen alapuló úszós szintérzékelő

(Displacer level transmitter)

- A testre ható felhajtóerő:

$$F_f = \rho g V' = \gamma V'$$

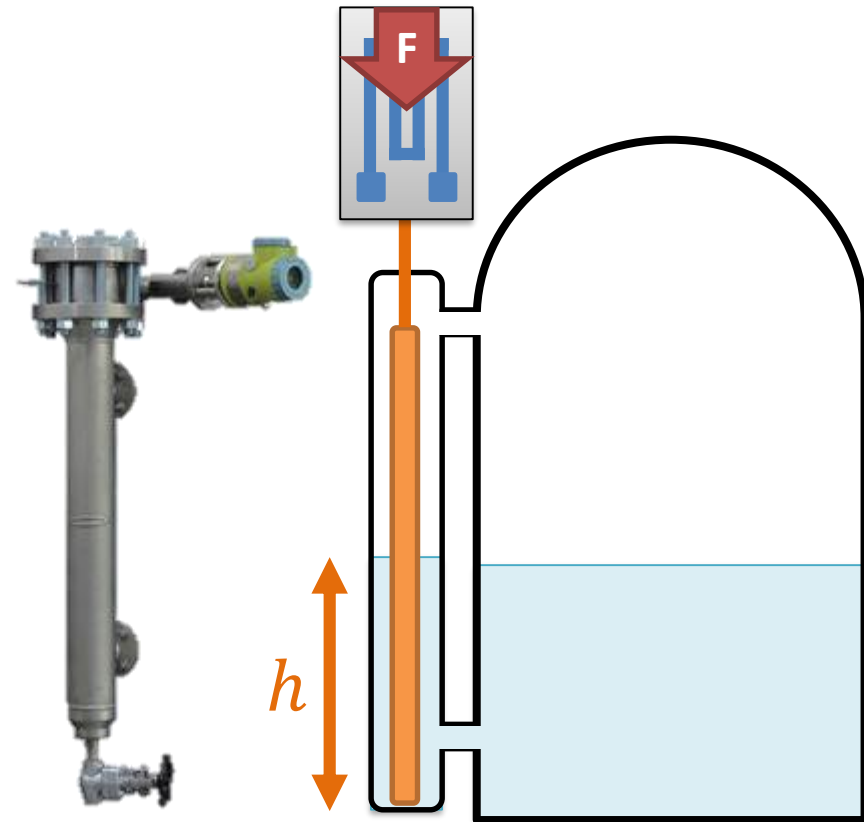
- ρ : a közeg sűrűsége
- g : nehézségi gyorsulás
- V' : a közegbe merülő térfogat
- γ : közeg fajsúlya

- Mért erő:

$$F = mg - F_f = mg - \rho g V'$$

- Szint:

$$V' = Ah \Rightarrow h = \frac{mg - F}{\rho A}$$



Erőművésezen alapuló úszós szintérzékelő

- + Nagy nyomáson és hőmérsékleten is üzemeltethető
- + Emulzív rétegek jelenléte esetén is alkalmazható
- Közegbe merített érzékelő
- Csak állandó és ismert sűrűség esetén alkalmazható
- Kalibrálást igényel
- Karbantartásigényes
- 5m feletti szintváltozás esetén nehézkesen alkalmazható
- Csak folyadékszint érzékelésére használható
- Szennyeződésre érzékeny

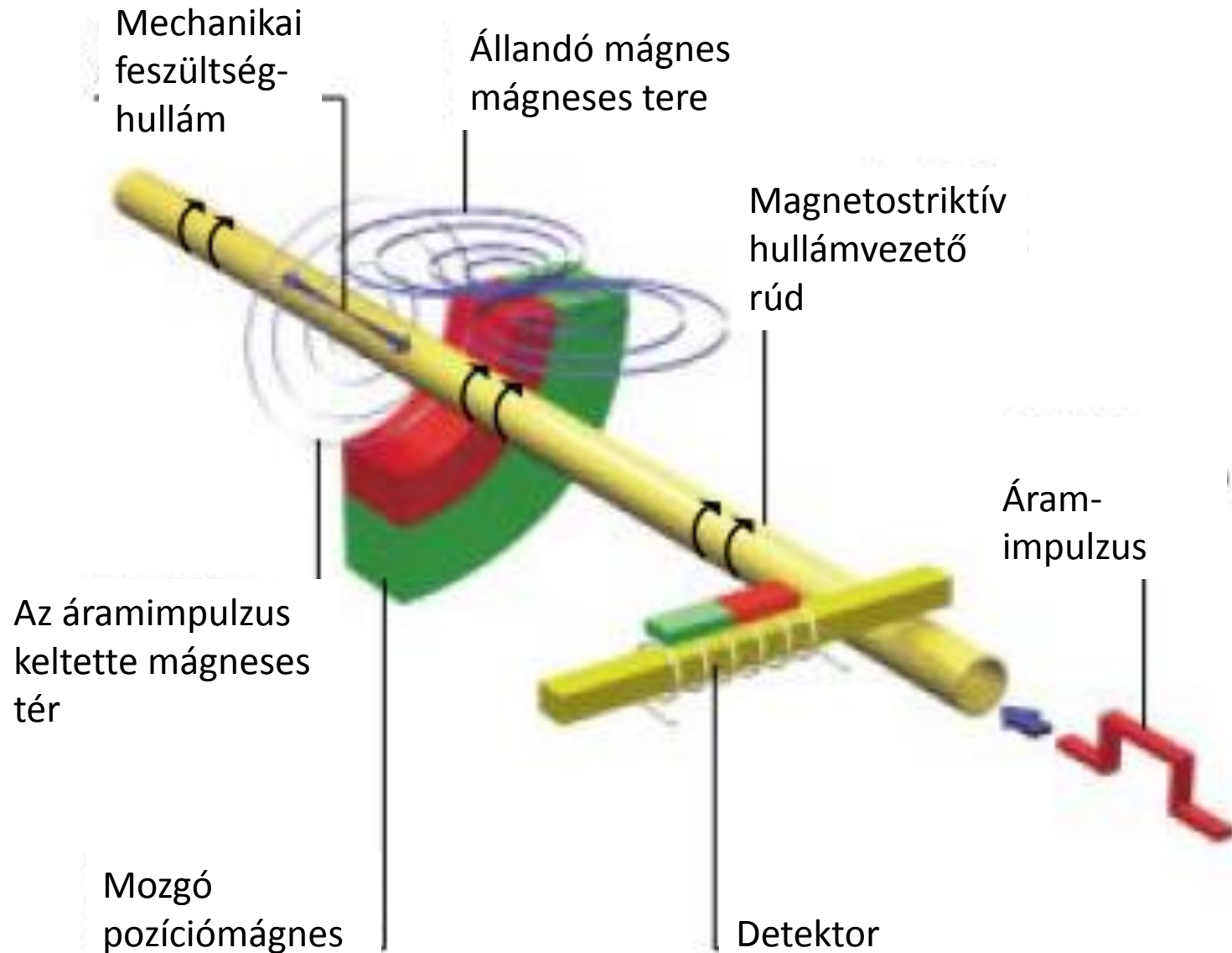
Magnetostrikciós szintérzékelő

(magnetostrictive level sensor)

- Magnetostrikciós hullámvezető a közegbe merítve, villamosan szigetelve
- Az úszóban merőlegesen elhelyezett állandó mágnes
- A mágnes pozíciója pontosan érzékelhető



Magnetostrikciós érzékelő felépítése



Magnetostrikciós szintérzékelő

- + Kimagasló pontosság (akár 1 mm)
- + Közeg sűrűségétől független mérés
- + Nagy átfogás (akár 20m)
- Közegbe merített érzékelő
- Hosszú hullámvezető turbulenciára érzékeny
- Csak folyadékszint érzékelésére használható
- Magas hőmérsékleten és nyomáson nem alkalmazható
- Szennyeződésre érzékeny (fémes szennyeződést összegyűjti)

Hidrosztatikai nyomás

- Hidrosztatikai nyomás: $P = \rho gh = \gamma h$

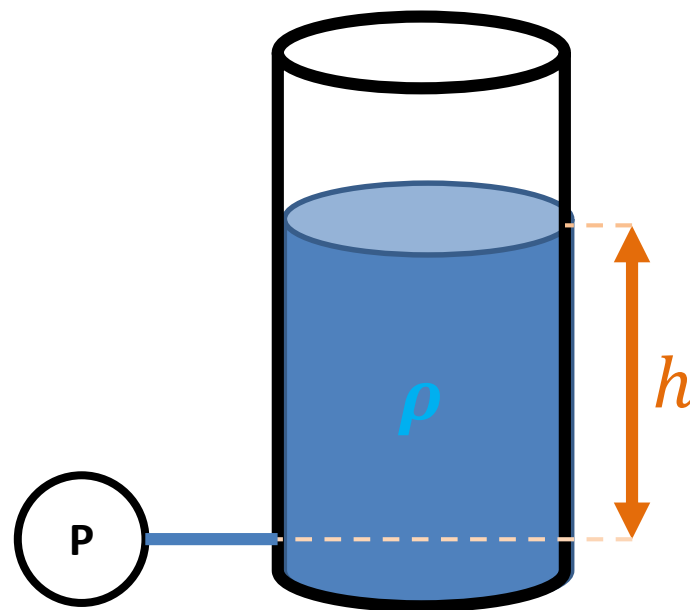
ρ : közeg sűrűsége

h : folyadékoszlop magassága

g : nehézségi gyorsulás

γ : közeg fajsúlya

- Relatív (légköri nyomáshoz viszonyított) nyomásérték
- Csak nyitott tartályra igaz



Hidrosztatikai nyomás zárt tartályban

- Hidrosztatikai nyomás:

$$P = \rho gh + P_v = \gamma h + P_v$$

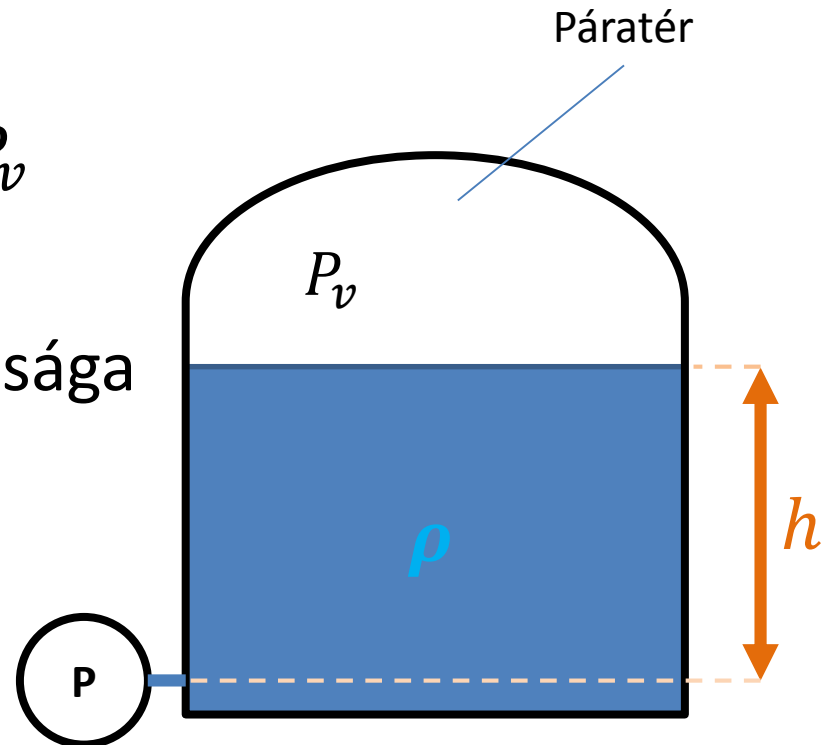
ρ : közeg sűrűsége

h : folyadékoszlop magassága

g : nehézségi gyorsulás

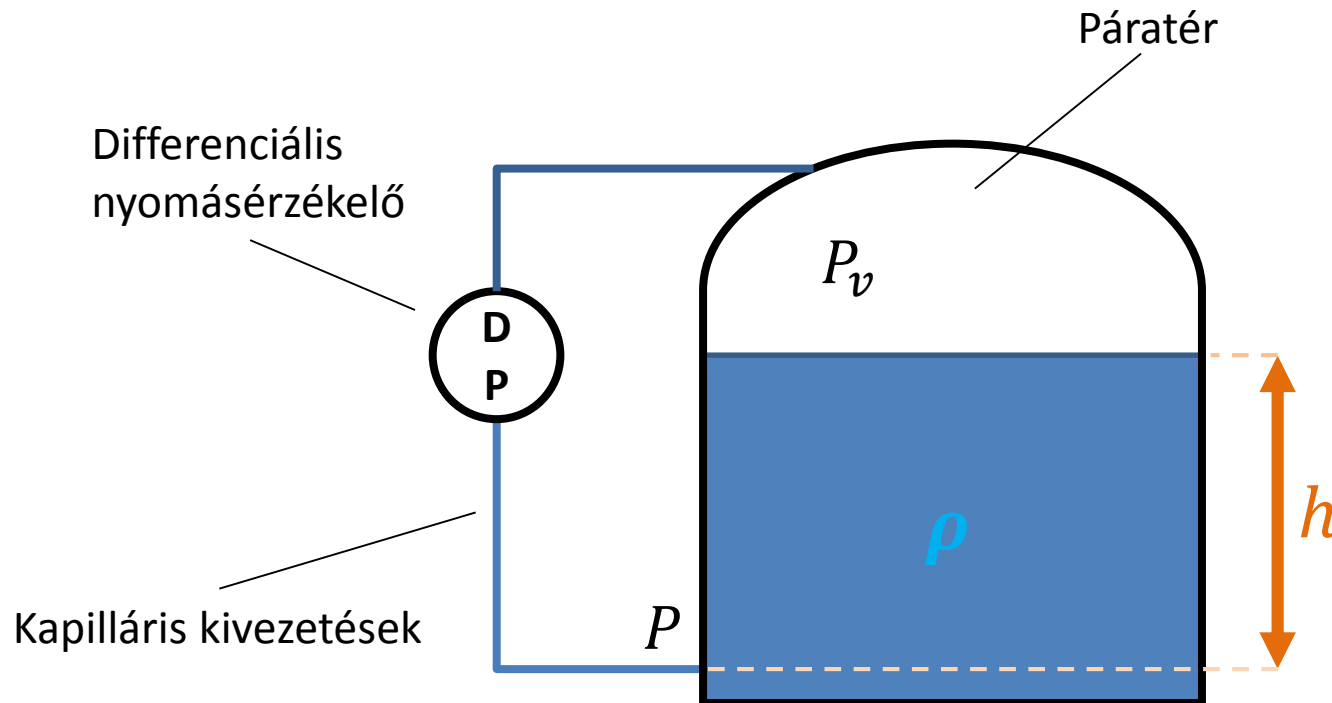
P_v : páratér nyomása

γ : közeg fajsúlya



Nyomáskülönbségen alapuló szintérzékelés

(Differential pressure, dP)



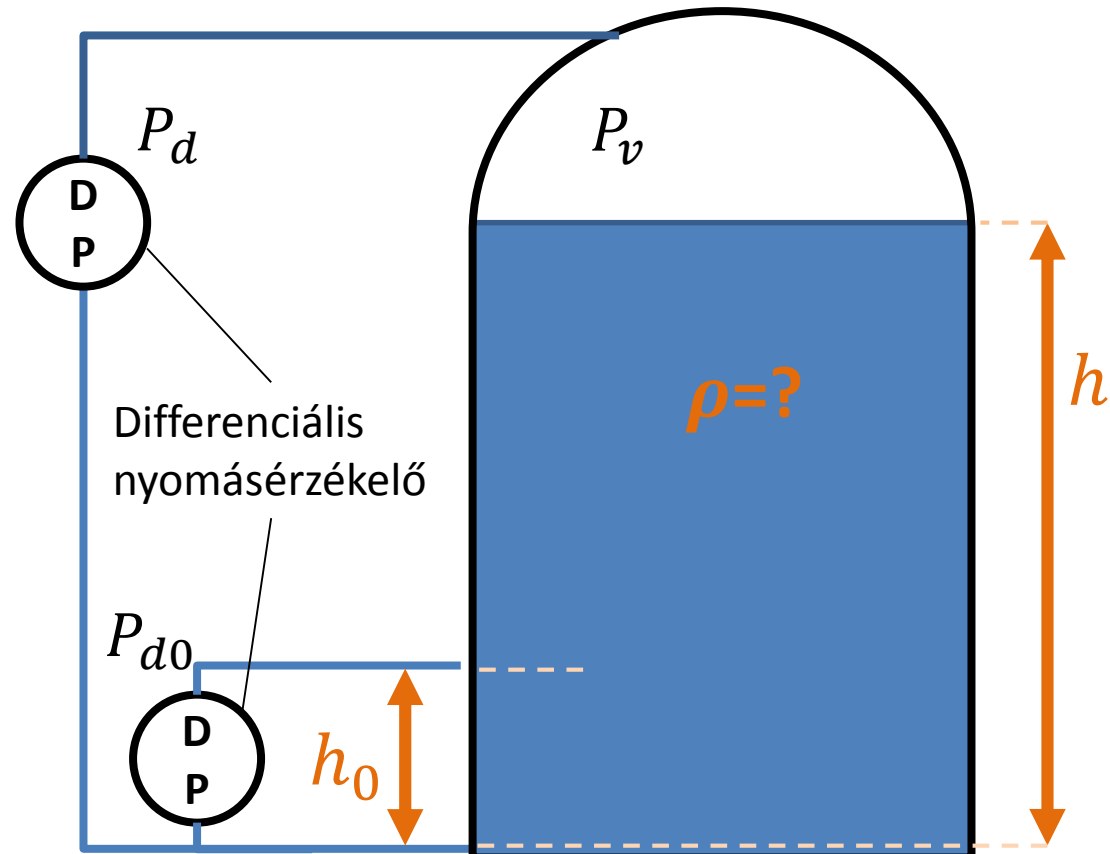
$$P_d = P - P_v = (\rho g h + P_v) - P_v = \rho g h = \gamma h$$

$$h = \frac{P_d}{\rho g} = \frac{P_d}{\gamma}$$

Ismeretlen sűrűségű közeg mérése

- $P_d = (\rho g h + P_v) - P_v = \rho g h = \gamma h$
- $P_{d0} = (\rho g h + P_v) - (\rho g (h - h_0) + P_v) = \rho g h_0 = \gamma h_0$
- h_0 pontosan ismert
- $\frac{P_d}{P_{d0}} = \frac{h}{h_0}$

Csak h_0 -t meghaladó szintek mérésére alkalmazható!

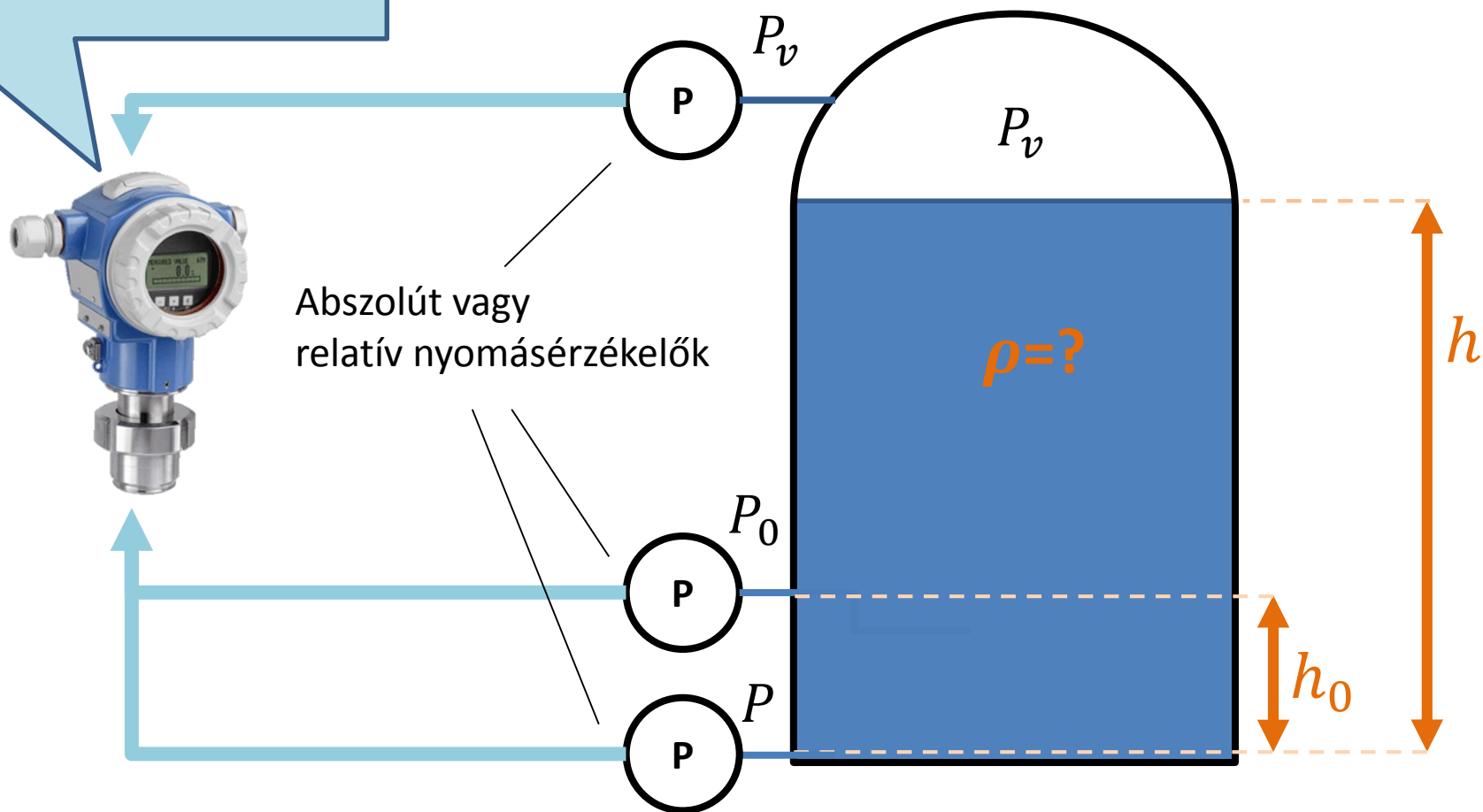


Nyomáskülönbségen alapuló szintérzékelés problémái

- Nagy tartályok esetén hosszú kapilláris kivezetésekre van szükség
- A kapilláris szennyeződés hatására eltömődhet
- Jelentősen eltérő közeg- és környezeti hőmérséklet esetén fagyásveszély a kapillárisban

Digitális korrekció

$$\rho = \frac{P - P_0}{gh_0}$$
$$h = \frac{P - P_v}{\rho g}$$

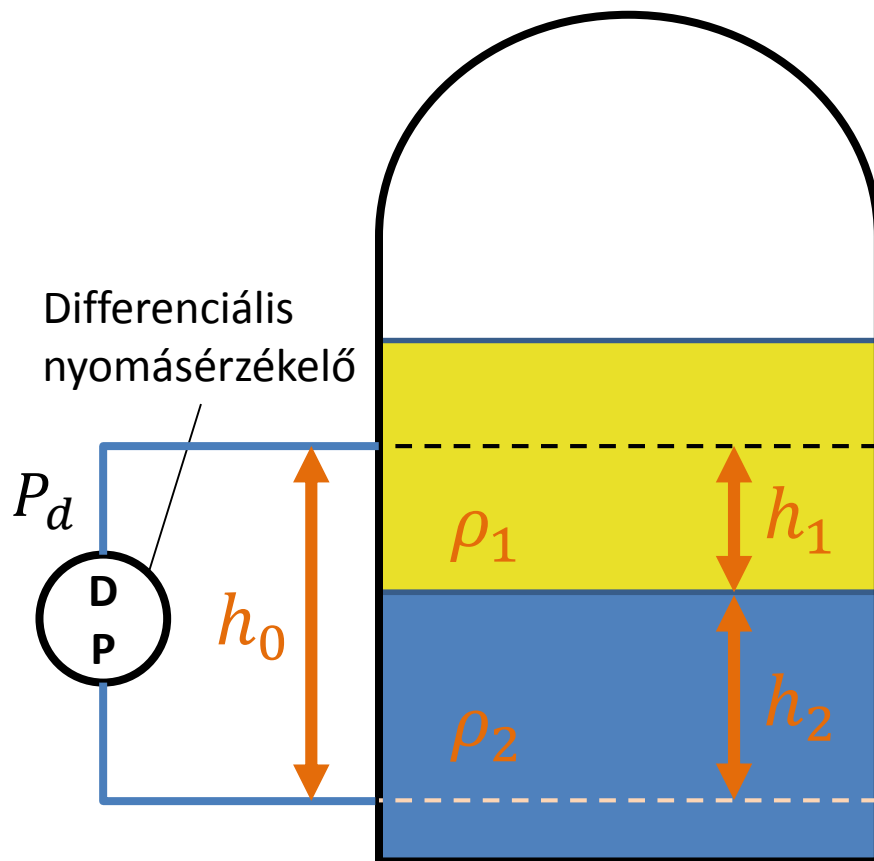


Határfelület szintjének mérése

$$\begin{aligned} P_d &= \rho_1 h_1 g + \rho_2 h_2 g = \rho_1 h_1 g + \rho_2 (h_0 - h_1) g \\ &= h_1 (\rho_1 - \rho_2) g + \rho_2 h_0 g = h_1 (\gamma_1 - \gamma_2) + h_0 \gamma_2 \end{aligned}$$

Ha $\rho_1 g$ és $\rho_2 g$ (γ_1 és γ_2)
ismert (differenciális
nyomásméréssel
mérhető!), akkor

$$\begin{aligned} h_1 &= \frac{P_d - h_0 \rho_2 g}{\rho_1 g - \rho_2 g} \\ &= \frac{P_d - h_0 \gamma_2}{\gamma_1 - \gamma_2} \\ h_2 &= h_0 - h_1 \end{aligned}$$

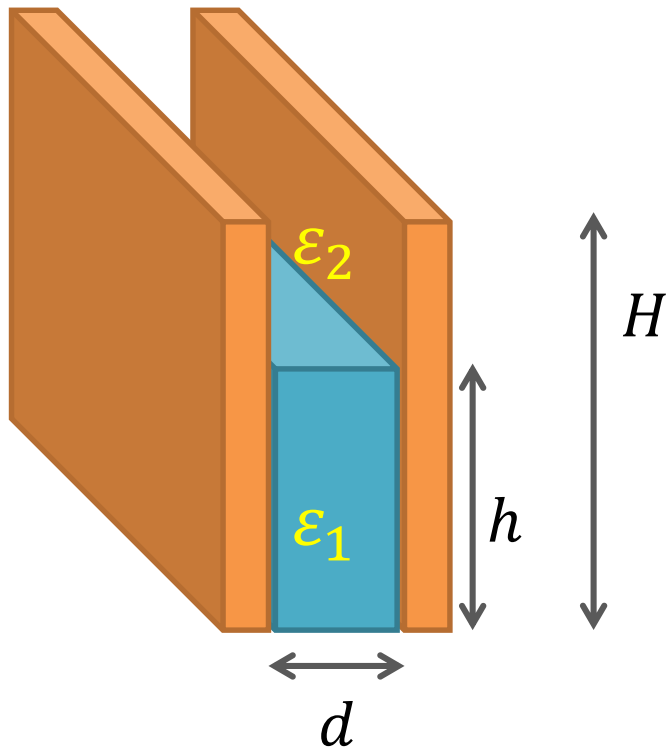


Nyomáskülönbségen alapuló szintérzékelés

- + Tág hőmérséklet- és nyomástartományban üzemeltethető
- + Nagy átfogás
- + Nincs közegbe merülő alkatrész
- + Tartály kialakításától függetlenül használható
- + Tetszőleges folyadékra alkalmazható (iszapra is)
- + Határfelületek érzékelésére alkalmas
- + Habképződésre és turbulenciára érzéketlen
- Egyszerű kialakításokban a sűrűségváltozás problémát okozhat
- Szilárduló közegek mérése nem lehetséges
- Kapilláris kivezetésekben a hőtágulás mérési hibát okozhat
- Csak folyadékszint érzékelésére használható

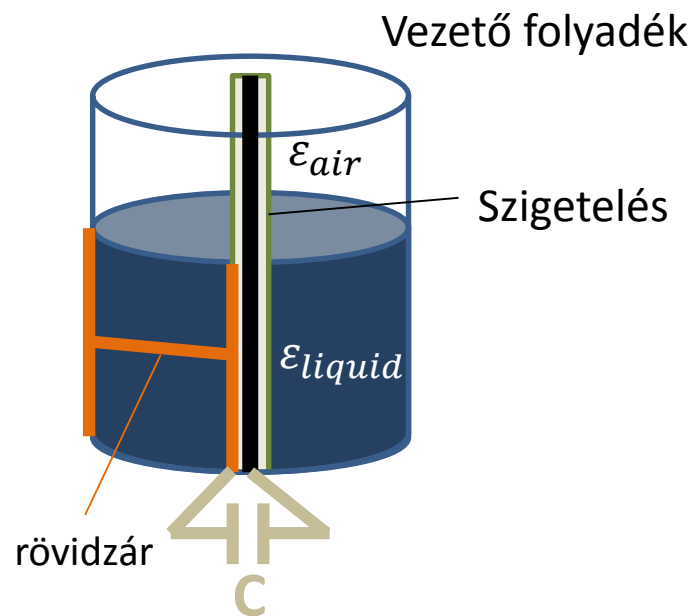
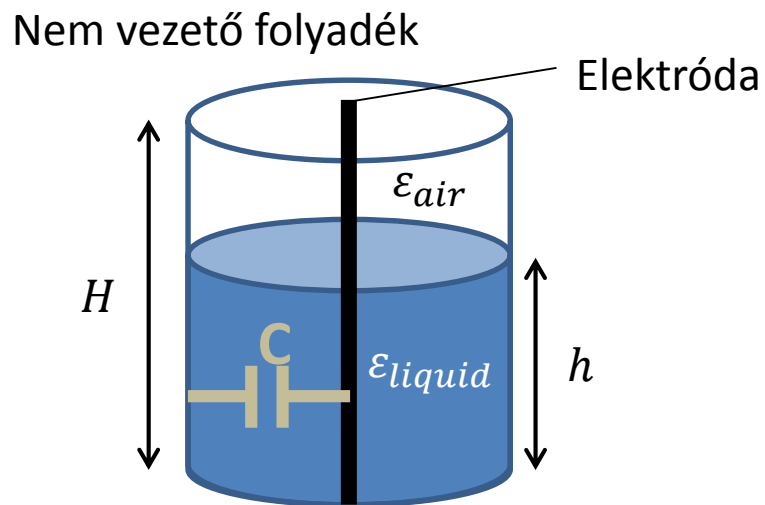
Kapacitív szintérzékelők

(Capacitance level sensors)



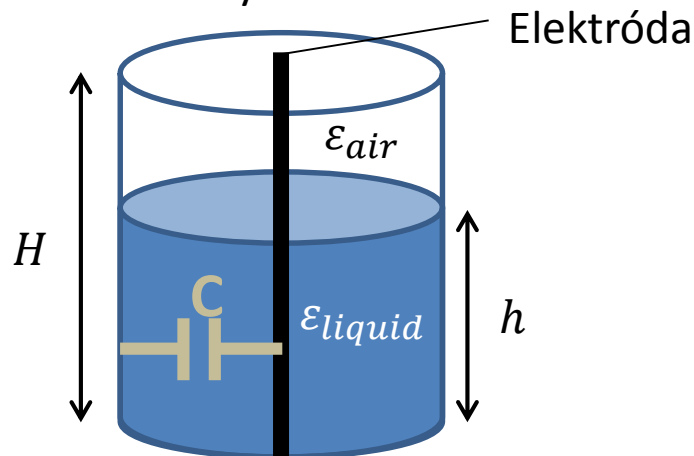
- $$C = \frac{\left(\epsilon_1 \frac{h}{H} + \epsilon_2 \frac{H-h}{H}\right) A}{d}$$
- ϵ_1 : közeg dielektromos állandója
- ϵ_2 : levegő vagy inert gáz dielektromos állandója
- h : folyadékszint
- H : tartály teljes magassága
- A : elektródák felülete
- d : elektródák távolsága

Kapacitív szintérzékelés

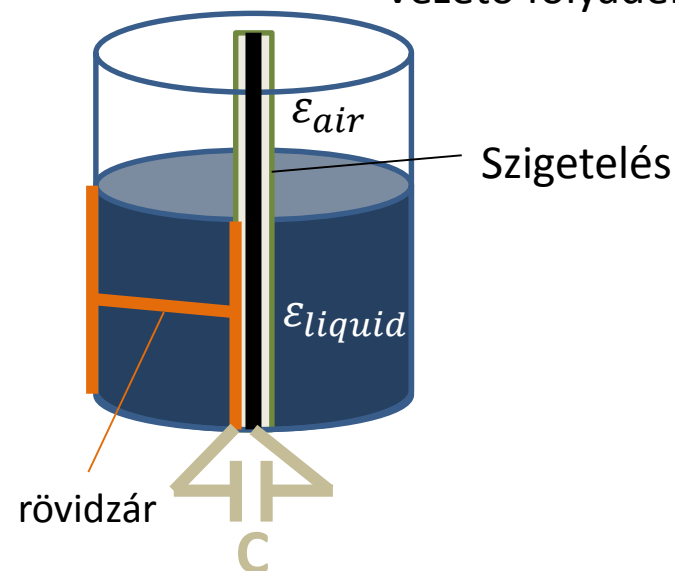


Kapacitív szintérzékelés

Nem vezető folyadék



Vezető folyadék



- Kalibrálás:

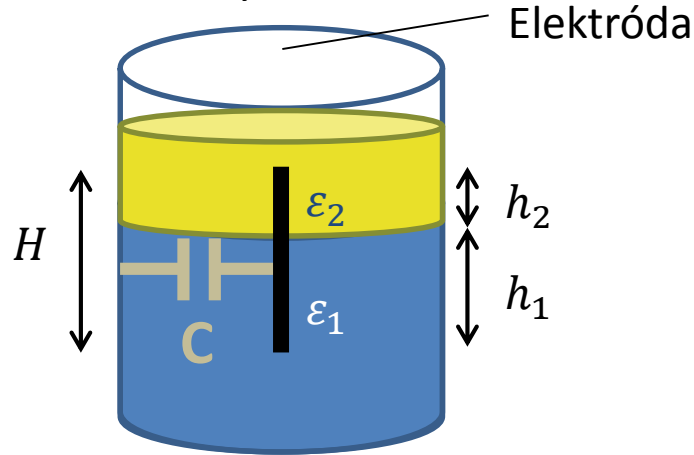
- $C_{empty} = C|_{h=0} = H\epsilon_{air}\alpha$
- $C_{full} = C|_{h=H} = H\epsilon_{liquid}\alpha$

- Mérés:

- $C = \alpha(h\epsilon_{liquid} + (H - h)\epsilon_{air}) = \frac{h}{H}C_{full} + C_{empty} - \frac{h}{H}C_{empty} = C_{empty} + \frac{h}{H}(C_{full} - C_{empty})$
- $h = H \frac{C - C_{empty}}{C_{full} - C_{empty}}$

Határfelület érzékelése

Nem vezető folyadékok



- Kalibrálás:

- $C_1 = C|_{h_1=H} = H\epsilon_1\alpha$
- $C_2 = C|_{h_2=H} = H\epsilon_2\alpha$

- Mérés:

- $C = \alpha(h_1\epsilon_1 + (H - h_1)\epsilon_2) = \frac{h_1}{H}C_1 + C_2 - \frac{h_1}{H}C_1 = C_1 + \frac{h_1}{H}(C_2 - C_1)$
- $h_1 = H \frac{C - C_1}{C_2 - C_1}$

Kapacitív szintérzékelés

- + Tág hőmérséklet- és nyomástartományban üzemeltethető
- + Nagy átfogás
- + Mozgó alkatrész nélküli kialakítás
- + Tetszőleges folyadékra és szemcsés anyagra alkalmazható
- + Határfelületek érzékelésére alkalmas
- + Alacsony ár
- Helyszíni kalibrációt (és gyakori újrakalibrációt) igényel
- Közeg dielektromos állandójának változása mérési hibát okoz
- Elektródákon lerakódó közeg vagy szennyeződés mérési hibát okoz

Ultrahangos szintérzékelők

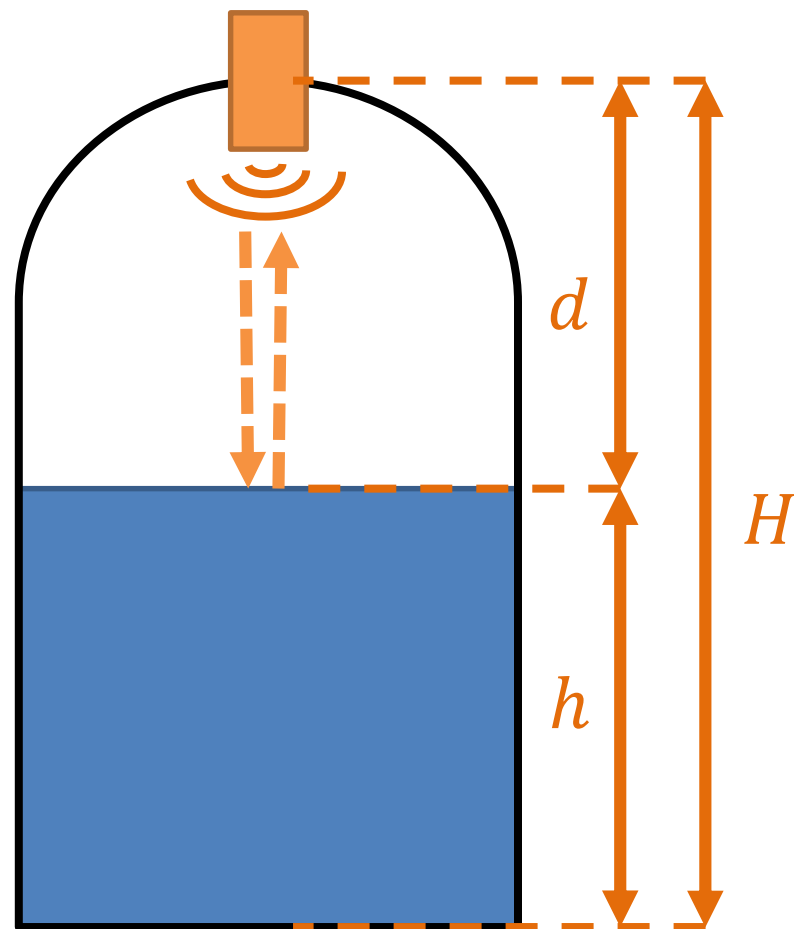
(Ultrasonic level sensors)

- Ultrahang-forrás a tartály tetején
- Az ultrahang-hullámok a közegről visszaverődnek
- Mérjük a hullám kibocsátása és a visszavert hullám érkezése között eltelt időt



Ultrahangos szintérzékelők

- $\tau = \frac{2d}{v}$, ahol v a hangsebesség
- $d = \frac{\tau v}{2}$
- $h = H - d$
- H beépítéskor a szenzorral mérhető



Ultrahangos szintérzékelők problémái

- Visszaverődés
 - Jelentős hab- és páráképződés mérési hibát okozhat
 - Jelentős hullámszórás mérési hibát okozhat
 - A tartályban lévő akadályokról (keverőlapát, merevítések, csővezeték) visszaverődő hullámok mérési hibát okozhatnak – intelligens szenzorok kalibráció során felveszik a tartály karakterisztikáját és kiszűrik ezeket a méréseket
 - A mérési tartományt a sugárzási szög behatárolja
- Hangterjedés
 - Vákuumos környezetben nem használható
 - A hangsebesség függ a hőmérséklettől – digitális hőmérsékletkompenzáció

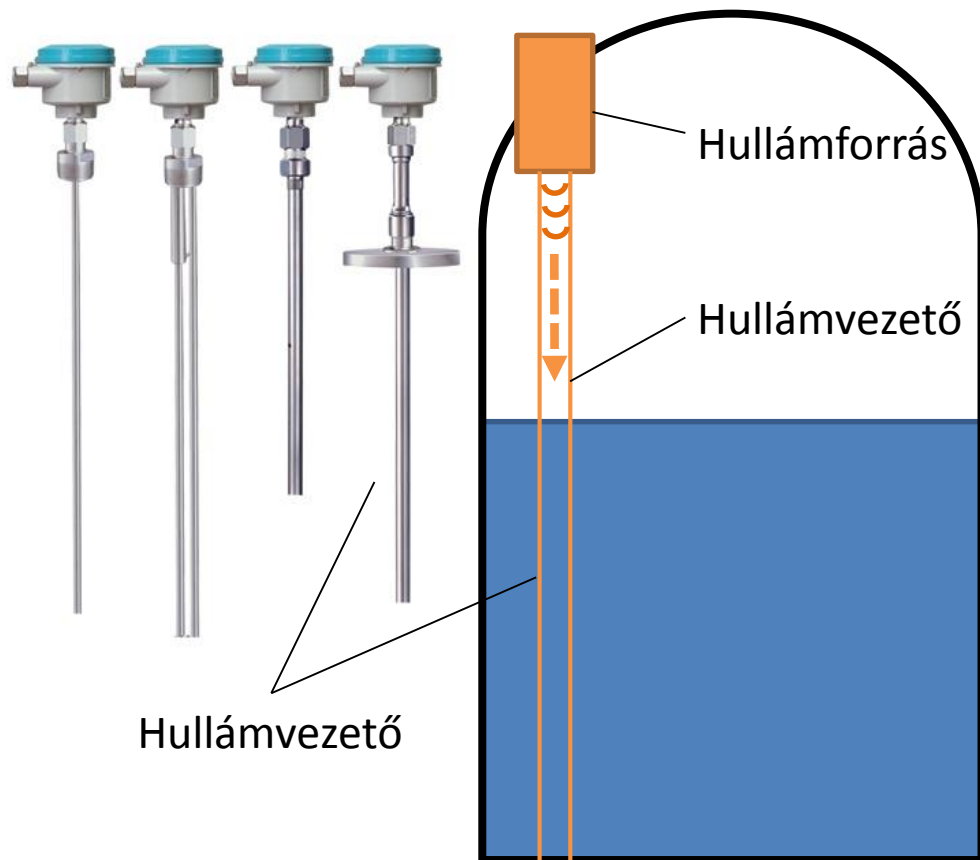
Ultrahangos szintérzékelés

- + Kontaktusmentes, mozgó alkatrész nélküli érzékelés
- + Nagy átfogás
- + Közeg paramétereinek változására érzéketlen
- + Tetszőleges folyadékra és szemcsés anyagra alkalmazható
- + Egyszerű beüzemelés
- Magas ár
- Szűk hőmérséklet- és nyomástartományban használható
- Közeg felszínének minősége befolyásolja a mérést
- Komplex elektronikát igényel

Vezetett radaros (mikrohullámú) szintérzékelők

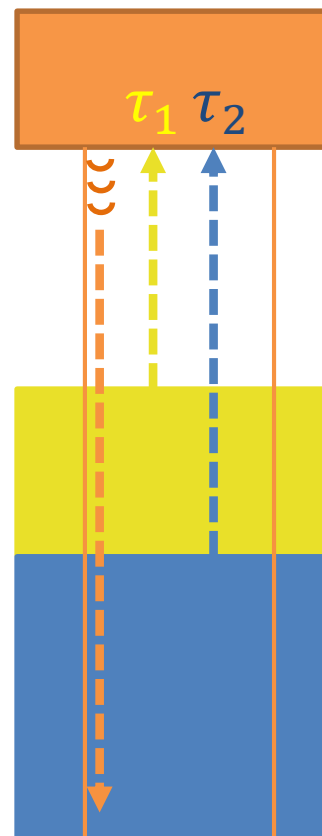
(Guided wave radar sensors, GWR)

- A tartály tetején elhelyezett forrástól a radarhullám-impulzusok a hullámvezetőben haladnak a tartály feneké felé
- A vezetőknek köszönhetően nincs szóródás
- A hullámok egy része a folyadék határfelületéről visszaverődik
- Szintmérés a visszaverődés ideje alapján



Határfelületek mérése

- A radarhullámok egy része a felső közeghatárról visszaverődik
- A tovább haladó hullámok egy része a határfelületről verődik vissza
- A visszaverő hullámok idejének különbségéből a határfelület helyzete számítható



Sugárzott radaros (mikrohullámú) szintérzékelők

(Non-contacting radar level sensors)

- A tartály tetejéről indított radarhullám szabadon terjed
- Impulzus üzemű radar
 - Rövid hullámimpulzusok kiadása
 - Visszaverődés idejének mérése
- Frekvenciamodulált radar (FMCW)
 - Folyamatos, változó frekvenciájú hullámkibocsátás
 - Visszavert hullám keverése az éppen kibocsátottal, visszaverődés ideje a frekvenciakülönbséggel arányos



Radaros szintérzékelés

- + Részben/teljesen kontaktusmentes, mozgó alkatrész nélküli érzékelés
- + Nagy átfogás
- + Közeg paramétereinek változására érzéketlen
- + Tetszőleges folyadékra és szemcsés anyagra alkalmazható
- + Egyszerű beüzemelés
- Magas ár
- Alacsony dielektromos állandójú folyadékok elnyelik a radarhullámokat
- Hullámvezetőben lerakódás léphet fel
- Hullámvezető elhelyezése nehézkes lehet
- Sugárzott radaros megoldásnál az akadályok és a hullámzás meghamisíthatják a mérést

Egyéb megoldások

- Súlymérésen alapuló szintérzékelés
- Nukleáris szintérzékelés
- Vezetőképességen alapuló szintérzékelés
- Lézeres szintérzékelés