



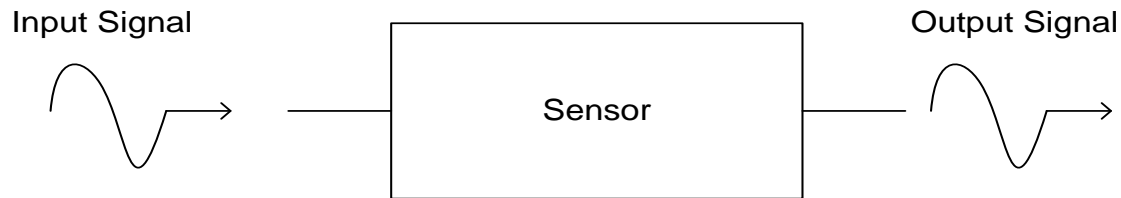
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

IT eszközök technológiája

13. előadás
Szenzorok

- Szenzorok alapvető tulajdonságai
 - Szenzorok csoportosítása
 - Szenzor transzfer karakterisztikája, alapvető tulajdonságai
 - A transzfer karakterisztika modellezési lehetőségei
 - Intelligens szenzorok
- A mobil számítástechnika szenzorai
 - Hőmérséklet,nyomás
 - Gyorsulás, szögsebesség
 - Mágneses tér, közelség érzékelés
 - Érintésérzékelés
 - Rezisztív és kapacitív érintőképernyő
 - CapSense

Érzékelő / Szenzor



- A szenzor egy eszköz, amely **információ hordozó** jellé alakítja a mérendő mennyiséget.
- Az esetek nagyon nagy részében **elektromos jel**.
 - (optikai ill. mechanikai jellé átalakítás is elképzelhető)
- Elektromos jel:
 - Minden, ami elektronikus eszközökkel feldolgozható
 - Feszültség, áram, töltés
 - Feldolgozva: amplitúdó, polaritás, frekvencia, fázis stb.
 - Végül: digitális kód.
- Szenzor: energia átalakító
 - Az érzékeléshez energiatranszfer szükséges

■ Átalakítás módja szerint

- Direkt szenzor
 - a mérendő mennyiséget közvetlenül alakítja át elektromos jellé
- Komplex szenzor
 - Több, egymást követő átalakítás történik, melynek végén egy közvetlen szenzor áll.

■ Energiaellátás módja szerint

- Passzív szenzorok
 - A mérendő mennyiség energiáját közvetlenül alakítják át elektromos jellé
 - Általában direkt szenzorok
- Aktív szenzorok
 - Külső energiát igényel

■ Referencia szerint

- Abszolút: a kimenet arányos a mért mennyiség fizikai értékével
- Relatív: egy adott referenciához képest mér különbséget

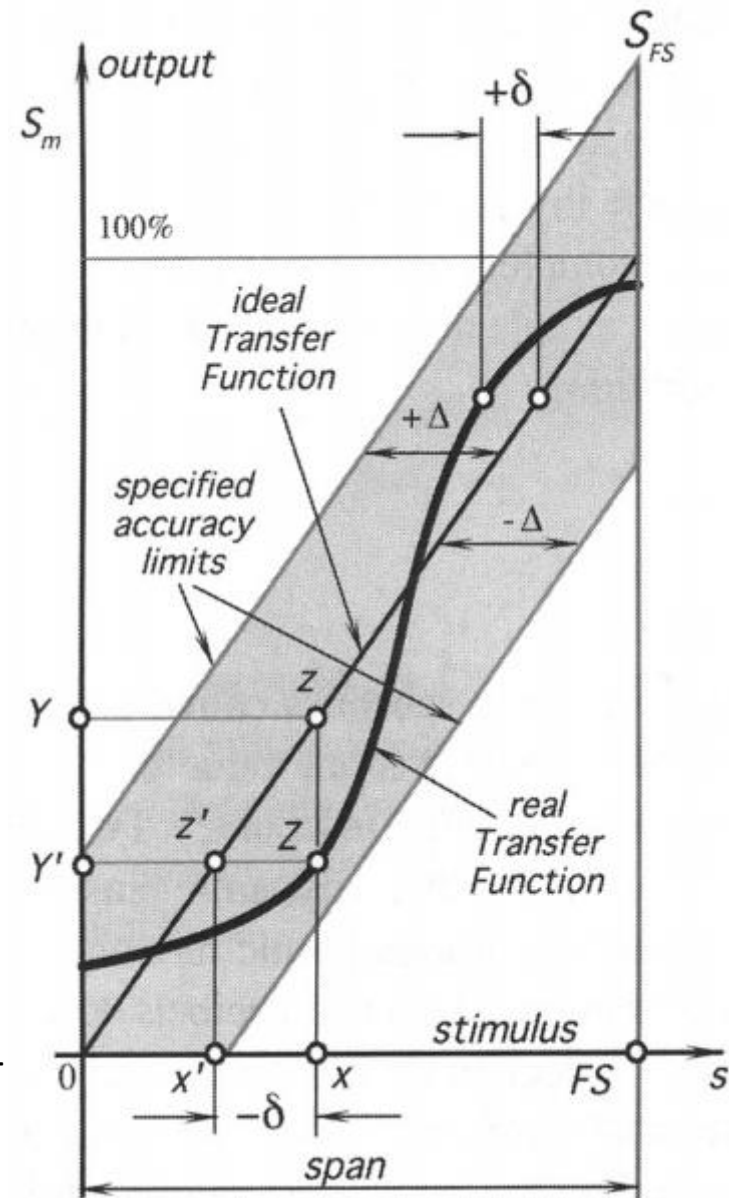
Átlagos mobiltelefon szenzorai



- Érintőképernyő
- Gyorsulásmérő
 - Mindhárom irányban
- Giroszkóp
 - Szög elfordulás mérése, a tér három irányában
- Mágneses tér
- Hőmérséklet
- Fényerősség
- Légnyomás

Transzfer karakterisztika

- Az $S = f(s)$ függvény
 - Azaz az összefüggés a kimeneti jel (S) és a mérendő jel (s) között.
- Érzékenység
 - Mennyire érzékeny a szenzor a mérendő jel megváltozására?
- Érzékelési határ
 - A legkisebb mérhető mennyiség
- Bemeneti teljes tartomány (span, input full-scale, FS)
 - Amilyen tartományban a szenzor képes mérni a mérendő mennyiséget
- Kimeneti teljes tartomány
 - Analóg v. digitális szenzornál is a kimenet maximum-minimum értéke



Főbb tulajdonságok

■ Felbontás

- A legkisebb változás a mérendő jelben, ami detektálható. Digitális szenzornál bitben adjuk meg, pl. 12 bit.

■ Válaszidő

- A szenzor kimenetén mennyi idő múlva jelenik meg a változás. Néha a reciprokát használjuk

■ Offset

- Gerjesztetlen bemenet esetén a kimeneti jel értéke

■ Linearitás

- Mennyire tér el a szenzor kimenete a „kívánatos (?)” lineáris választól

■ Hosszú távú stabilitás

- Változatlan körülmények között hosszú távon is ugyanazt az értéket kellene szolgáltatnia

Bosch BMP280 nyomásérzékelő

Tulajdonság	
Bemeneti érzékelési tartomány	300 – 1100 hPa (9000m .. -500m)
Pontosság	1hPa
Felbontás	Max. 20 bit, 1.6Pa
Offset	1,5Pa/K
Zaj	1,3Pa
Hosszútávú stabilitás	±1hPA, 12 hónap alatt
Max. frekvencia	182Hz

A transzfer karakterisztika modellezése

■ Lineáris szenzor

- $S = As + B$

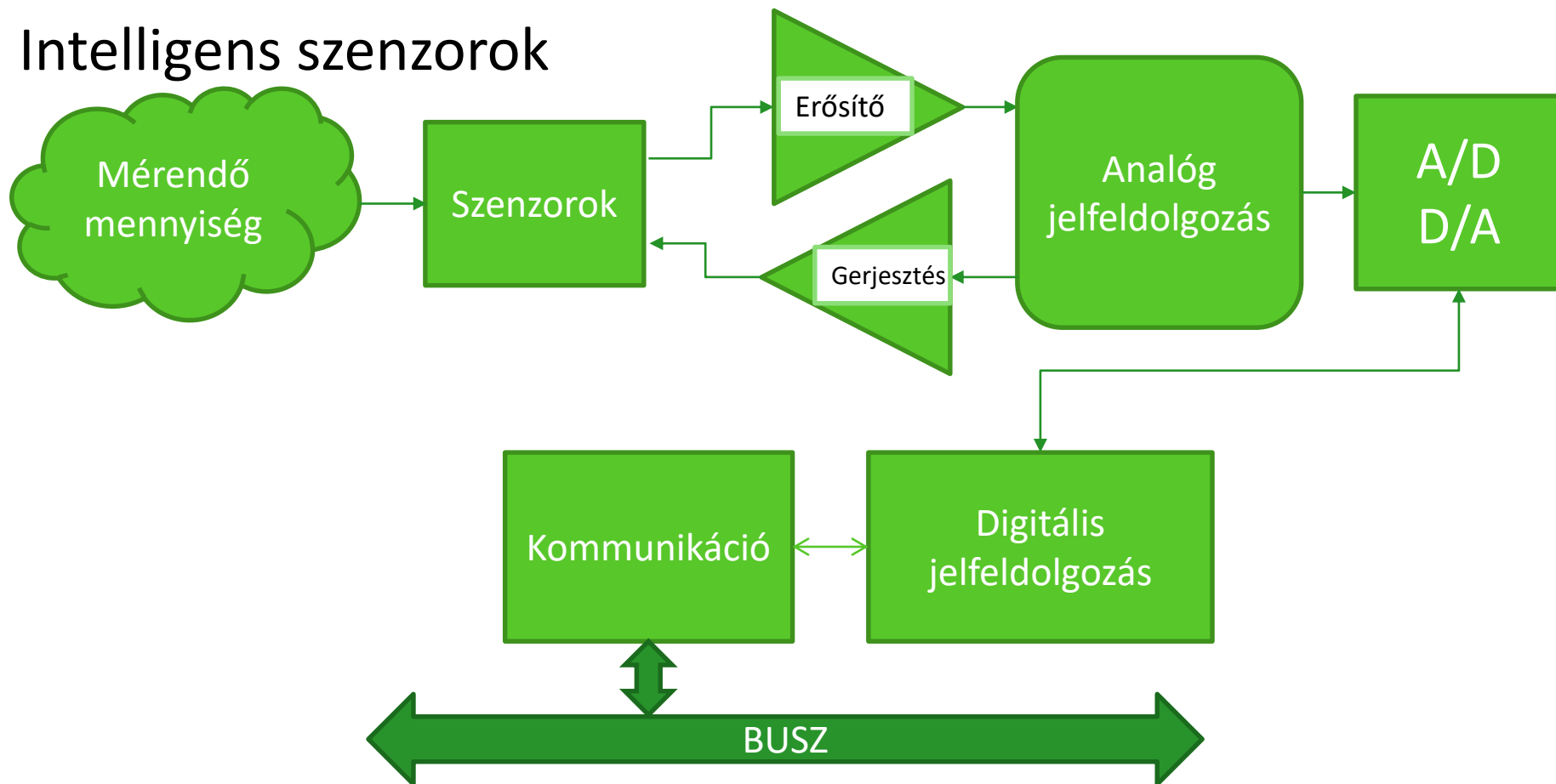
■ Nemlineáris szenzor

- Ha tudunk valamilyen fizikai modellt alkotni, akkor a fizikai modell alapján
 - Pl. exponenciális, logaritmikus, hatványfüggvény
- Ha ilyet nem tudunk, akkor közelítést alkalmazunk
 - Polinomiális
 - Lineáris vagy köbös interpoláció biz. pontok között.

■ Kalibráció

- A szenzor transzfer karakterisztikájának mérése
 - Pontosabb szenzort igényel, mint a mérendő!
- A mért karakterisztika alapján a modell paramétereinek meghatározása

Intelligens szenzorok



- Egy rendszerbe integrálja az érzékeléstől a mért eredmény digitális kommunikációjáig a teljes jelfeldolgozást.
- A gyakorlatban a busz egy egyszerű soros busz, SPI vagy I2C

Követelmények

- Egykoron
 - Linearitás, kis offset, hőmérsékletfüggetlenség, hosszú távú stabilitás
- Az intelligens szenzorok esetén azonban ezek nem a legfontosabb tényezők
 - Hiszen a felsoroltak jelfeldolgozással kezelhetők
 - A nemlineáris karakterisztika linearizálható
 - A hőmérséklettel, más hatásokkal a mért érték korrigálható
 - Akár működés közben is a szenzor újralibrálható
- Ehelyett a legfontosabb követelmények
 - CMOS kompatibilitás, azaz integrált áramkörüi környezetbe integrálható
 - Tömeggyárthatóság (valójában az előzőből következik)
 - Olcsó ár (szintén az előző kettőből következik.)
 - Lehetőség szerint a legkevesebb külső alkatrész!
- **MEMS – Micro-Electro-Mechanical Systems**
 - A szilícium technológia eszközkészletével épített kisméretű elektromechanikai rendszerek
 - A szilícium jó alapanyag kis méretekben.



Gyakran alkalmazott érzékelők

(még véletlenül sem teljes a felsorolás, nem is lehet az...)

Elsősorban a mobil számítástechnikára koncentrálva

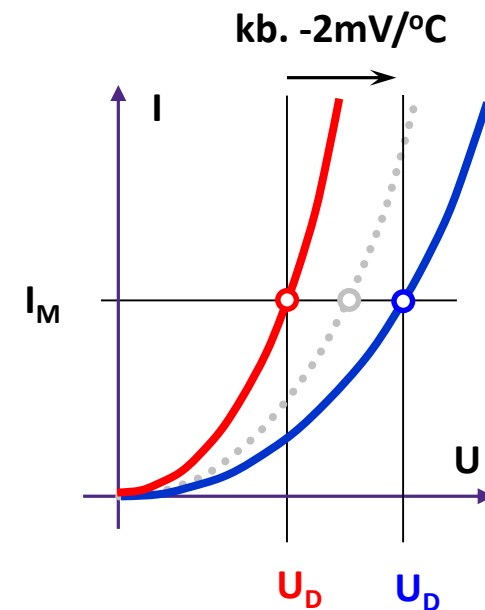
Hőmérséklet érzékelés

- Az egyik legfontosabb paraméter
- Nemcsak önmagában érdekes
 - A szenzorok nagy részének hőmérsékletfüggő a karakterisztikája
 - Azaz ismerni kell a szenzor hőmérsékletét is, hogy a mért értéken a hőmérsékletfüggő korrekciót el tudjuk végezni.
 - Emiatt a legtöbb integrált érzékelő tartalmaz hőmérőt is.
- Mivel minden fizikai jelenség hőmérsékletfüggő, ezért az érzékelés módjai is változatosak
- Példaképpen a legfontosabb módokat bemutatjuk
 - Modern eszközökben azonban nagyrészt az integrált áramkörben használható megoldások találhatók

Példaképpen egy áttekintés a hőmérsékletmérés lehetőségeiről

- Hőtágulás
 - Folyadék hőmérő, bimetál stb.
- Termoelem
 - Két különböző fém összehegesztésével. A kontakt potenciálkülönbség miatt kb. $10\text{-}50\mu\text{V/K}$ feszültség mérhető
- Ellenállásmérés
 - NTC – negatív hőmérsékleti együttható, a hőmérséklet növelésével csökken az ellenállás.
 - PTC – pozitív hőmérsékleti együttható
- Infravörös sugárzás mérők
 - $700\text{nm} - 1\text{mm}$ hullámhossz
- Folyadékkristályos hőmérők
 - Az LCD állapota megváltozik, pl. fázisváltás
- Hőérzékeny anyagok, pl. festékek
- Rezgés frekvenciájának változása
- **Félvezető, pn átmeneten alapuló hőmérséklet mérés**
- **És ami még nem fért fel ide...**

A pn átmenet hőmérsékletfüggése



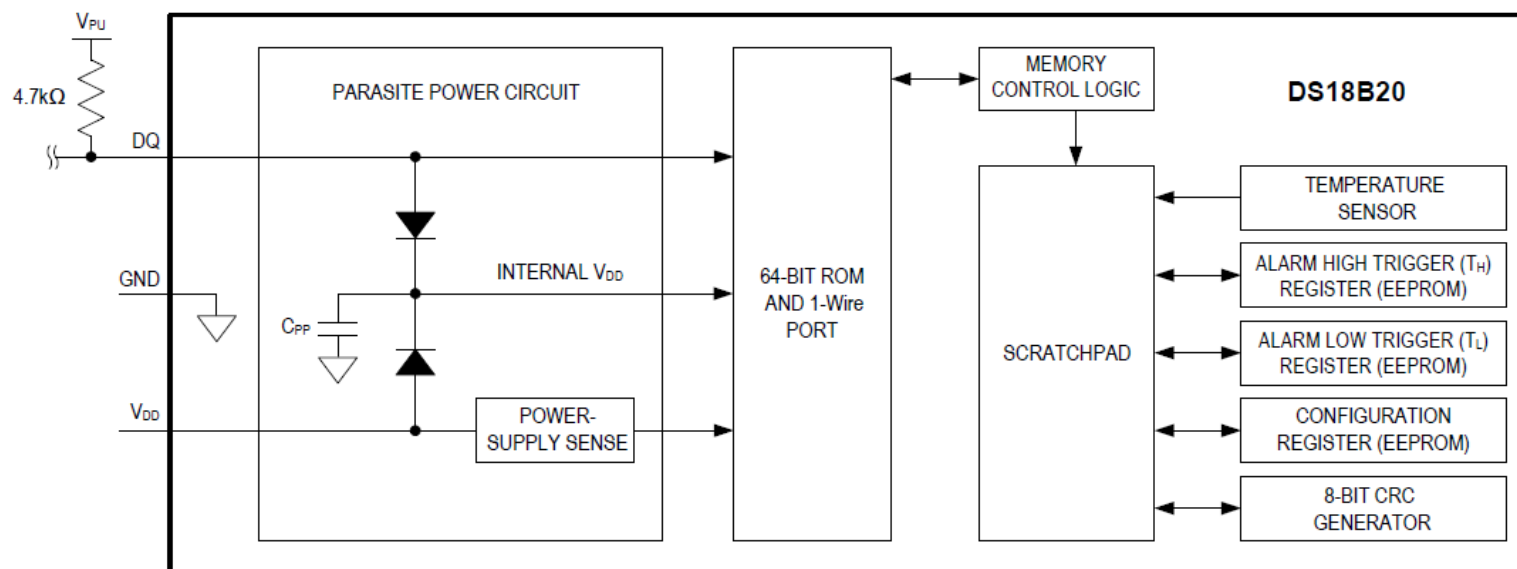
- Adott áram mellett a pn-átmenet feszültsége kb. 2mV-ot csökken 1°C hőmérsékletnövekedés hatására.
- Mivel a szilícium jó hővezető, ez lehetőséget teremt arra, hogy a chip hőmérsékletét közvetlenül mérjük.
 - (az ún. **junction temperature**)
- Széles hőmérséklettartományokban lineárisnak tekinthető
 - Nem szükséges általában korrekció

Abszolút hőmérséklet mérése

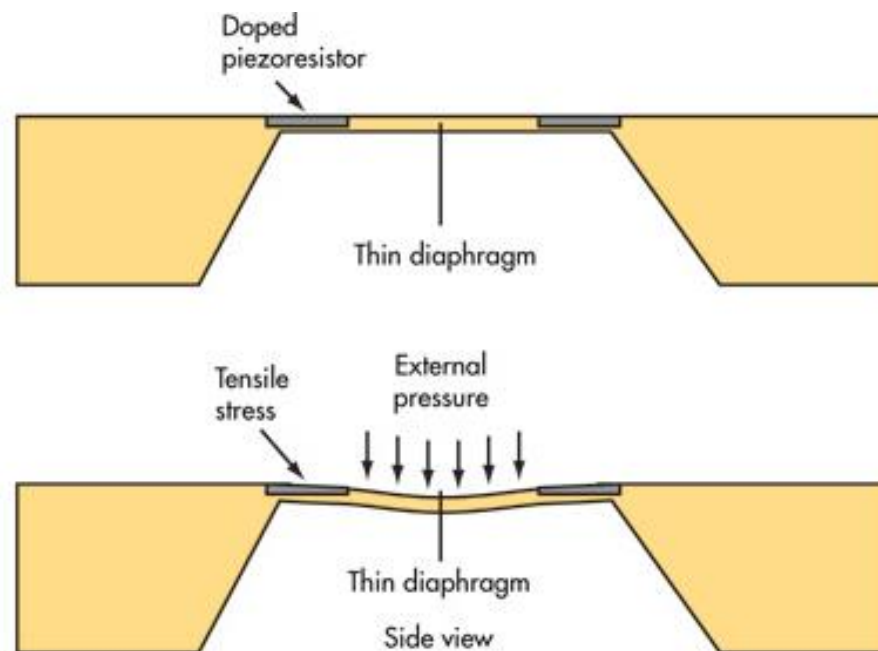
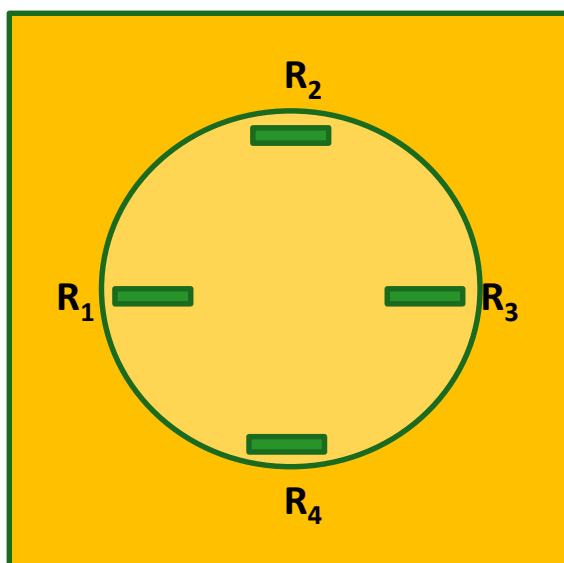
- Az előzően bemutatott megoldás hátránya, hogy pontos áram előállítás igényel.
 - Mivel az áramgenerátor is alapesetben hőmérsékletfüggő, ez nem egyszerű feladat
- Egy ravasz kapcsolással az áramfüggést ki lehet iktatni.
 - Egy pn átmenet árama a feszültség függvényében:
 - $$I = I_0 \left(e^{\frac{U}{nU_T}} - 1 \right)$$
 - Ebben az összefüggésben a szaturációs áramkonstans egyenesen arányos a felülettel. Ha két pn átmenetre, aminek a felületének aránya N ugyanazt az áramot kapcsoljuk, akkor
 - $$\Delta U = U_T \ln N = \frac{kT}{q} \ln N$$
 - Ami az abszolút hőmérséklettel egyenesen arányos

Dallas DS18B20

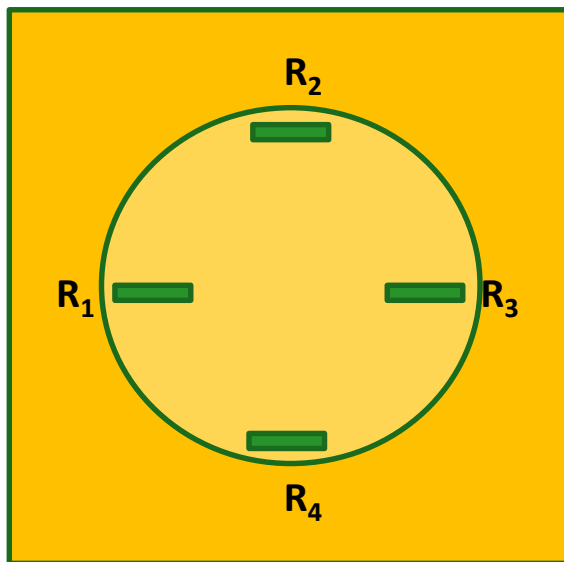
- Pontosság: $0,5^{\circ}\text{C}$
 - Felbontás: 9 vagy 12 bit (konverziós idő vs. pontosság)
 - Drift: $0,2^{\circ}\text{C}$ 1000h alatt
- Busz: 1-Wire
 - Egy adat és egy föld összeköttetést igényel
 - Half-duplex soros kommunikáció, lehetséges a szenzor táplálása adatvonalon keresztül.



Nyomásérzékelés



- Egyik legrégebbi szenzortípus, 1970-es évek vége óta gyártják
- A szilíciumot elvékonyítják, egy membránt alakítanak ki
 - A Si nagy nyomást elvisel, jól deformálódik, az alakváltozás rugalmas
 - Adalékolással mérőellenállásokat alakítanak ki, p – típusú szilíciumból



$$R_1 = R_0 - \Delta R$$

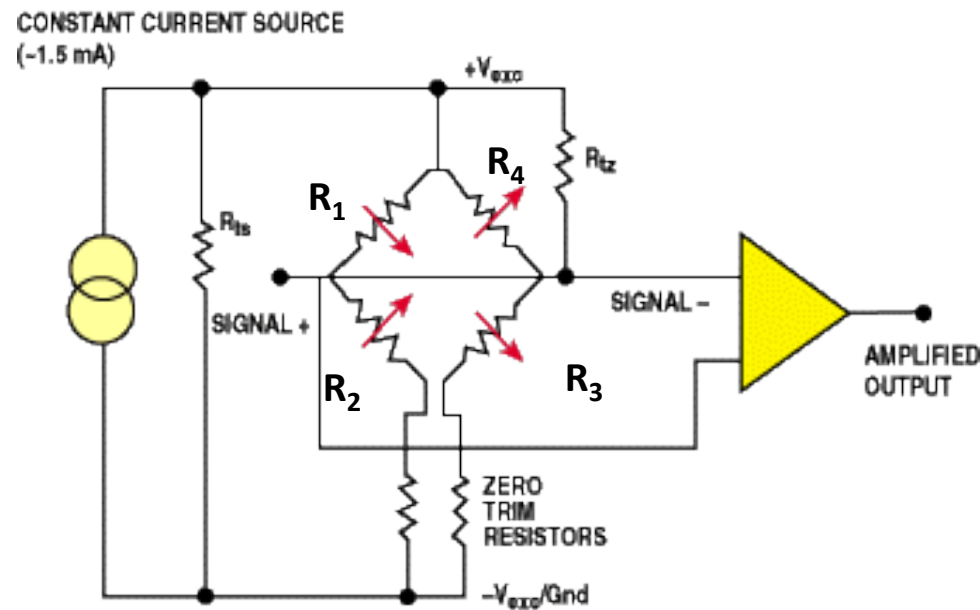
$$R_2 = R_0 + \Delta R$$

$$R_3 = R_0 - \Delta R$$

$$R_4 = R_0 + \Delta R$$

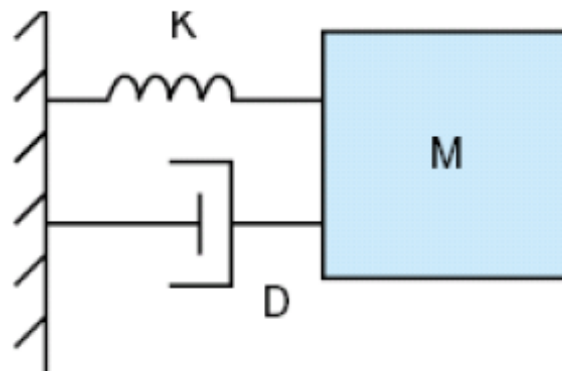
■ Az ellenállások piezo-rezisztívek

- azaz mechanikai feszültség hatására (nyúlás vagy összenyomódás) az ellenállásuk megváltozik, még hozzá irányfüggően.
- Az ellenállásváltozás függ az orientációtól, a hőmérséklettől és a
- $\Delta R = R_0(1 \pm S(T)P)$
- Mindenféleképpen hőmérséklet-kompenzációt igényel.



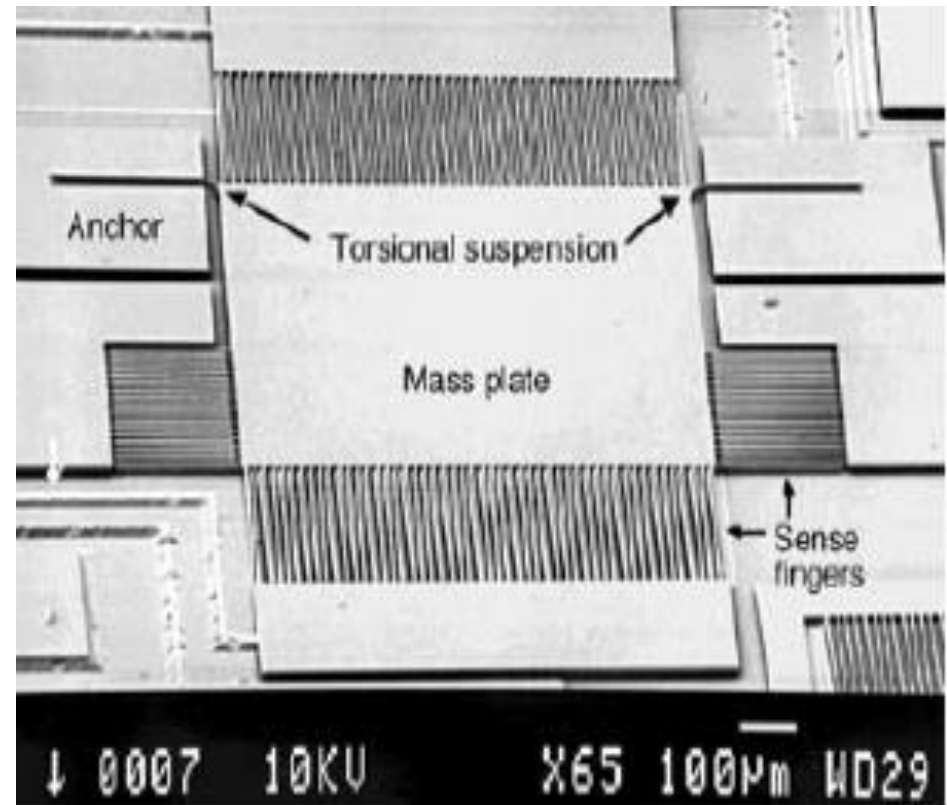
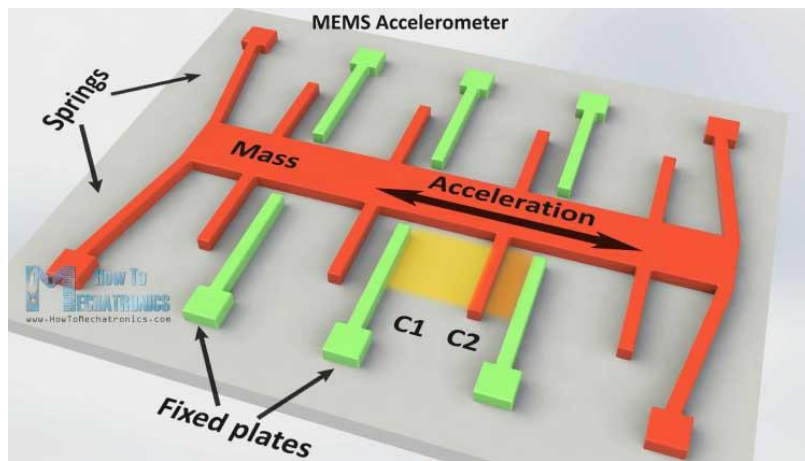
- Kiolvasáshoz a négy ellenállást Wheatstone hídbe kapcsolják.
- A mért feszültség: $V_{WB} = V_{EX} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) = 2V_{EX} \Delta R / R_0$
 - (abszolút érték)

Gyorsulásmérő



- A rendszer modellje: mozgó tömeg, egy csillapított rugós felfüggesztésen.
- Ha a csillapítást elhanyagoljuk:
- $Ma = Kx$
- (x az egyensúlytól vett eltérés)
- x ismeretében a gyorsulás meghatározható

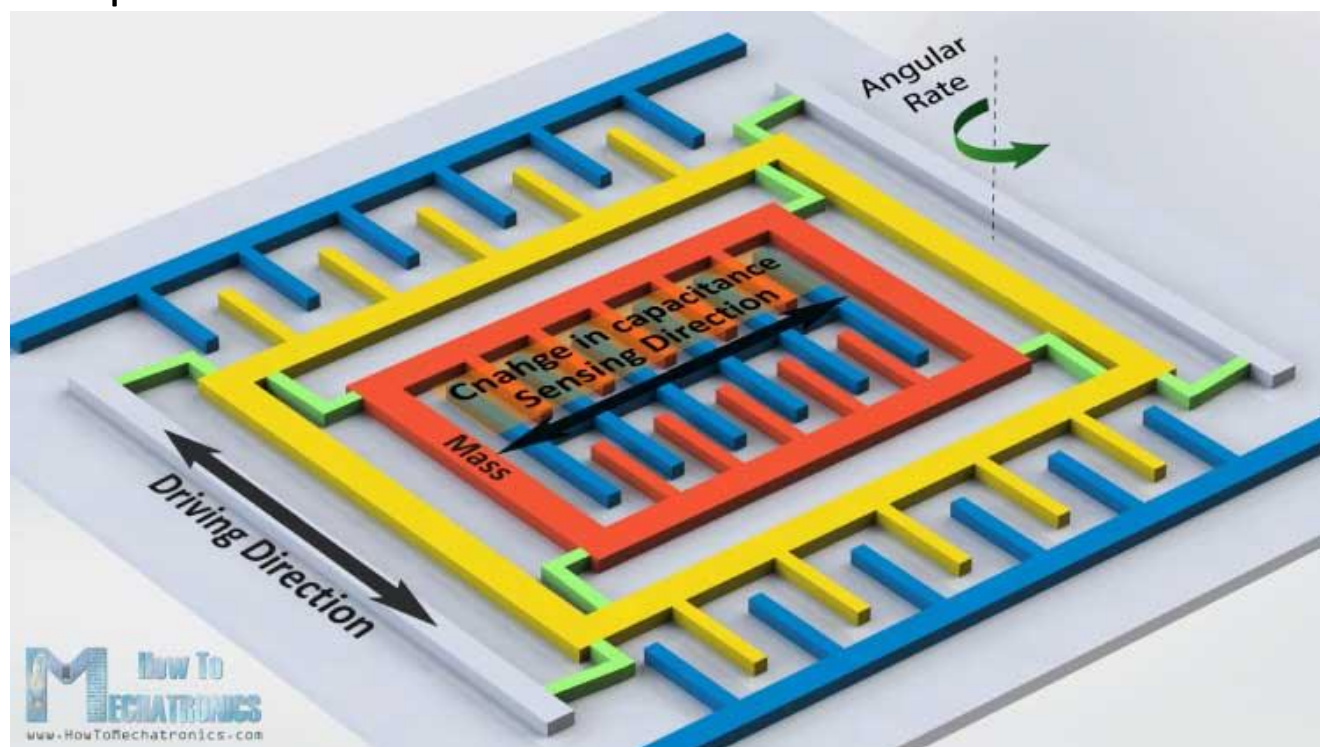
Kiolvasás kapacitív úton



- Az elmozdulást kapacitív úton meg lehet mérni.
- Így a gyorsulás meghatározható.

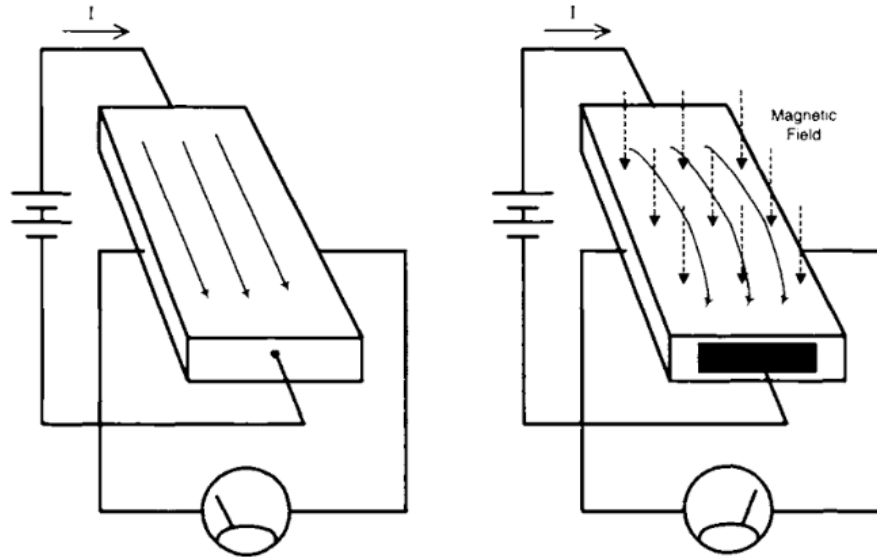
Giroszkóp

- Szögsebesség mérésére
- A Coriolis erő hat egy elektrosztatikus térrel mozgatott tömegre.
 - $F_C = -2m\omega \times v$
 - A kiolvasás kapacitív



Mágneses tér érzékelése

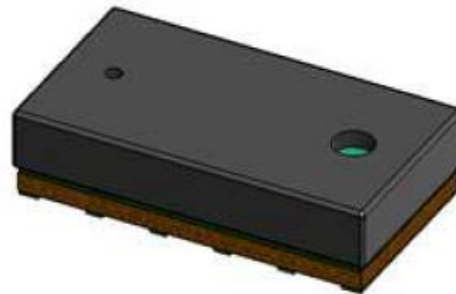
- Magnetorezisztivitás vagy Hall-effektus mérése a tér 3 irányában.
- Hall effektus



- Általában Wheatstone-híd segítségével.
- Ennek a szenzornak az egyszerűbb 1 bites változata alkalmas pl. a tablet tok jelenlétének detektálására

Közelség érzékelés

- Infravörös fénnel (pl. 940nm) történő megvilágítás után méri a legközelebbi tárgy távolságát.
 - Felhasználó detektálása
 - Mobiltelefonban pl. a képernyő kikapcsolása beszélgetéskor.
 - Kézetektálás (mosdó, szappanadagoló)
 - Autofókusz fényképezéskor



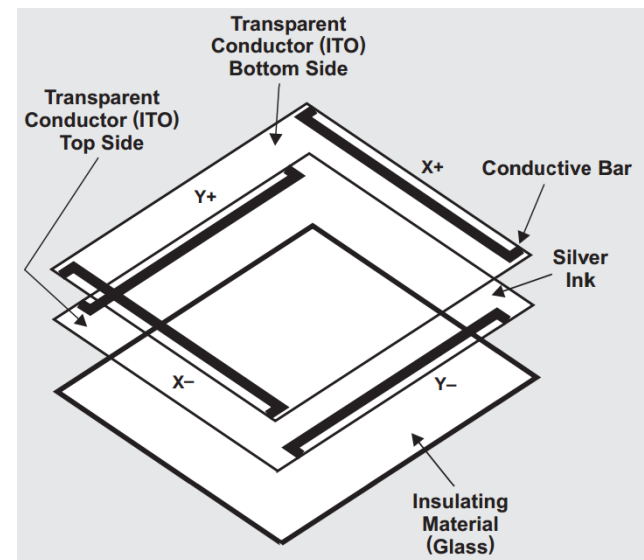
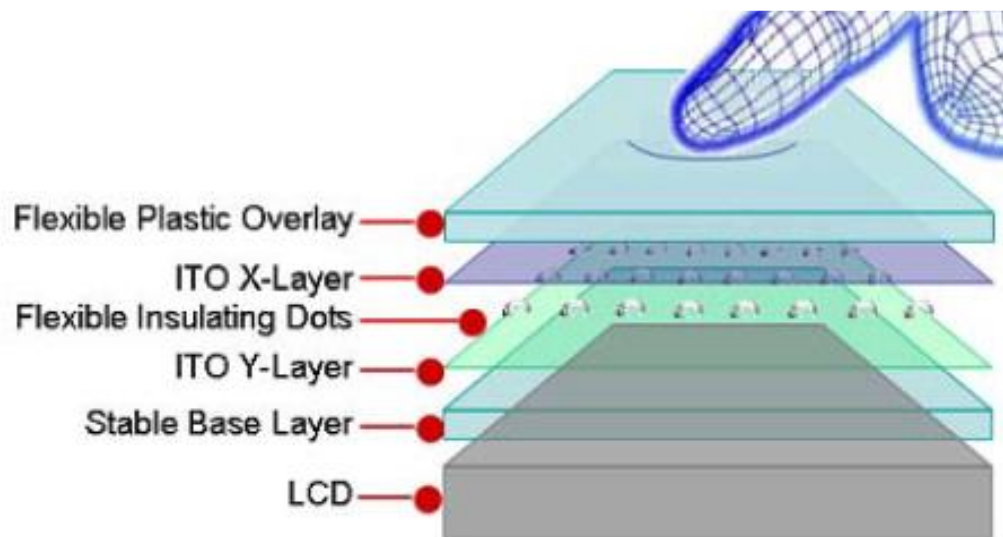


Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

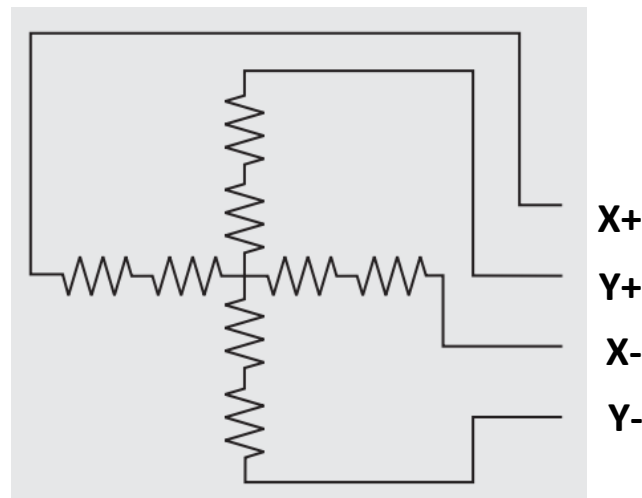
Érintésérzékelés

Ellenállásváltozáson alapuló
Kapacitásváltozáson alapuló

Rezisztív érintőképernyő



- ITO = indium-ón-oxid. Átlátszó vezető anyag.
 - Megnyomáskor a két vezető réteg összeér, az X és az Y között.
 - Két lépcsőben történik a kiolvasás, irányonként
 - (valójában egy ellenállásmérés történik...)



- Először az X rétegre feszültséget kapcsolva az Y vezetéken a X koordináta leolvasható (feszültségosztás)
- Utána ugyanezt megismételve az Y rétegre, most az Y koordináta határozható meg feszültségméréssel.
- Ezt gyorsan egymásután végezve a megnyomás (X,Y) koordinátája könnyen előállítható.

Rezisztív érintőképernyő

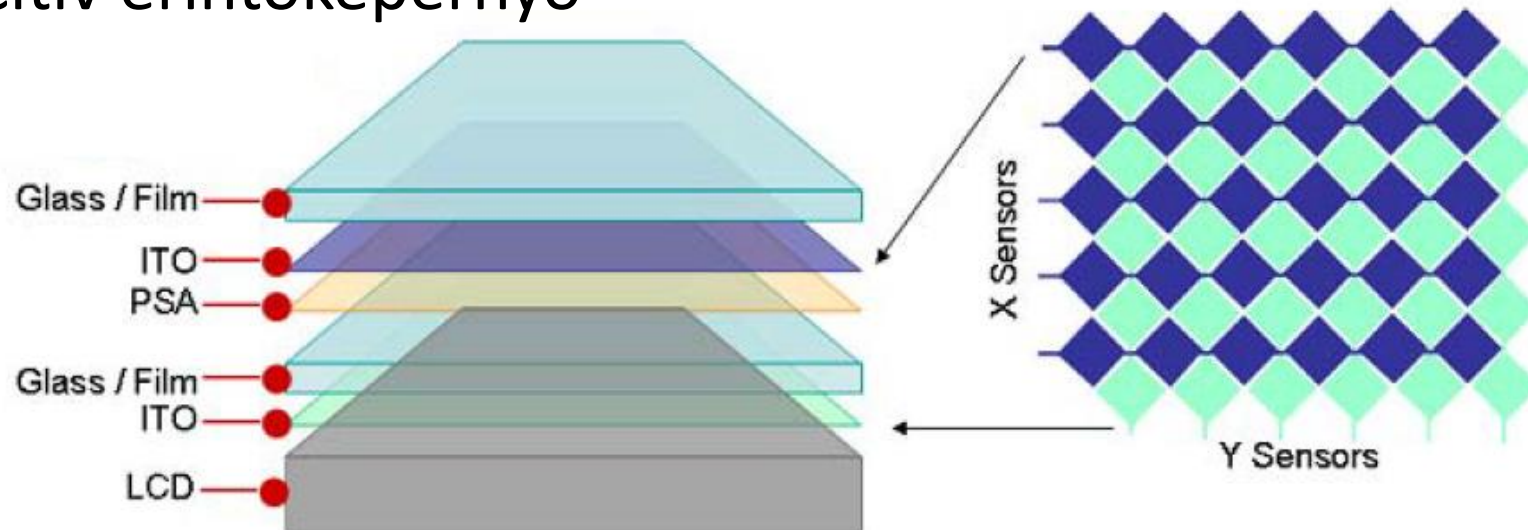
■ Előnyök

- Nagyon egyszerű felépítés.
- Kesztyűvel, más tárggyal nyomva is működik
- Szennyeződés nem befolyásolja a működést
- (ipari környezet, közforgalmú berendezések stb...)

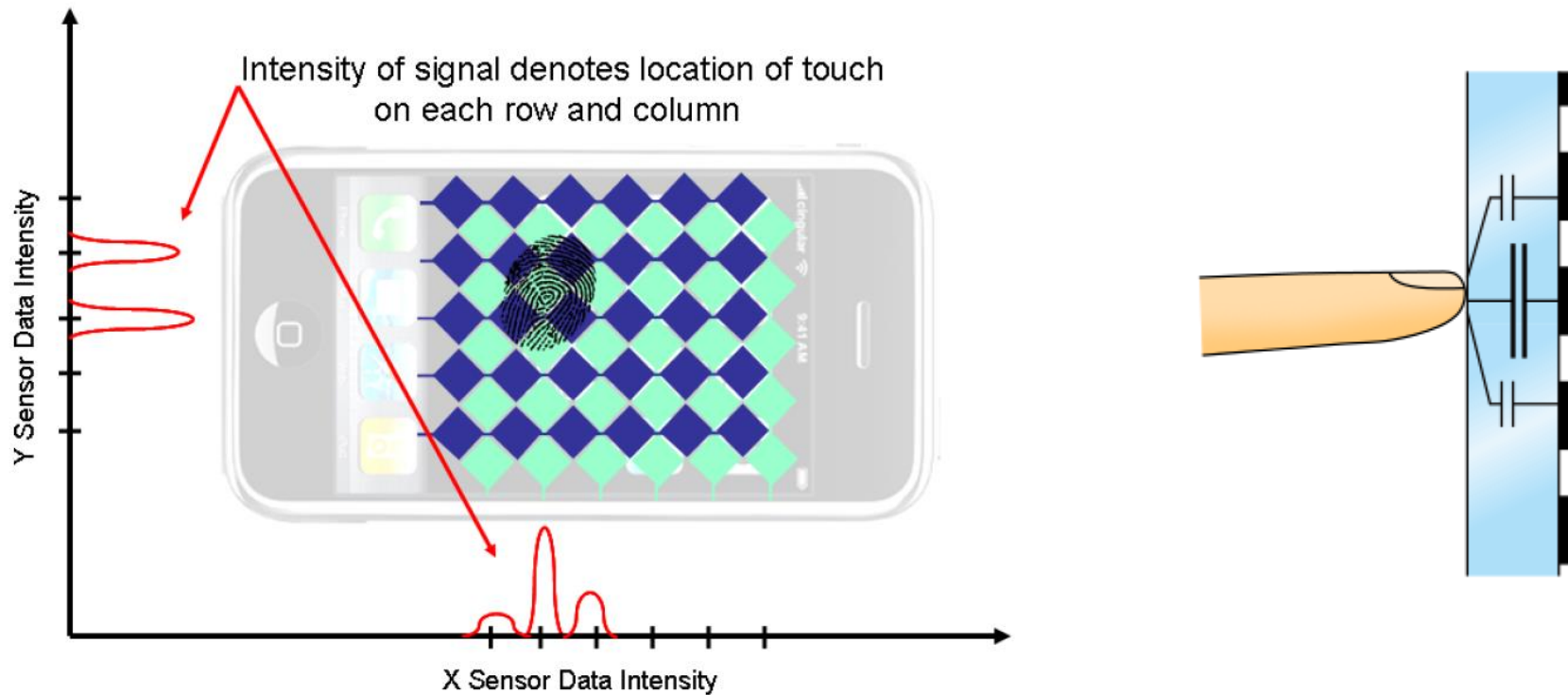
■ Hátrányok

- Bár az ITO réteg vékony, az átlátszóság 75-80%.
- Ha az ITO réteg nem teljesen egyenletes vagy sérül, nem lesz lineáris a feszültségesés, így a kiolvasás hibás lehet.
- Nagy pontosságú feszültségmérés szükséges, min. 10-12 bit
- A fedőréteg megsérülhet
- Felépítésből adódóan nincs lehetőség többszörös érintésre (multitouch...)

Kapacitív érintőképernyő



- (ún. projected capacitance)
- Az x és y szenzorok egyesével címezhetők, kapacitásuk kb. 10-20pF.
 - Az emberi ujj érintésére a kapacitás kb. 0.5pF-ot megváltozik
 - Mérésük: gyors feltöltés, majd egy adott ellenálláson a kisütési idő mérése.
- A vezérlő folyamatosan letapogatja és méri a pixeleket



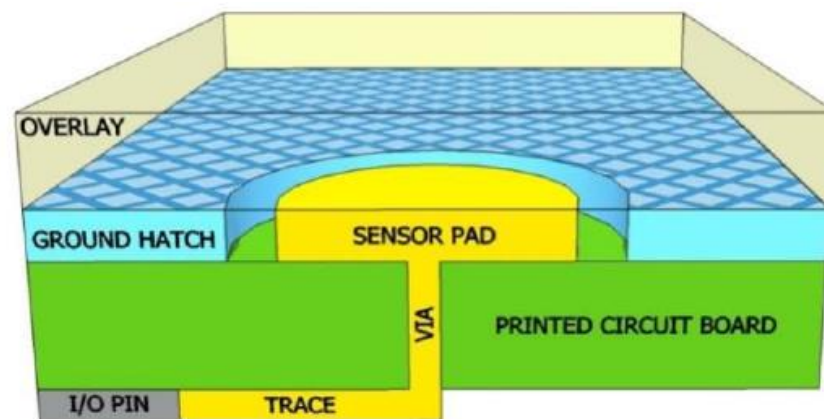
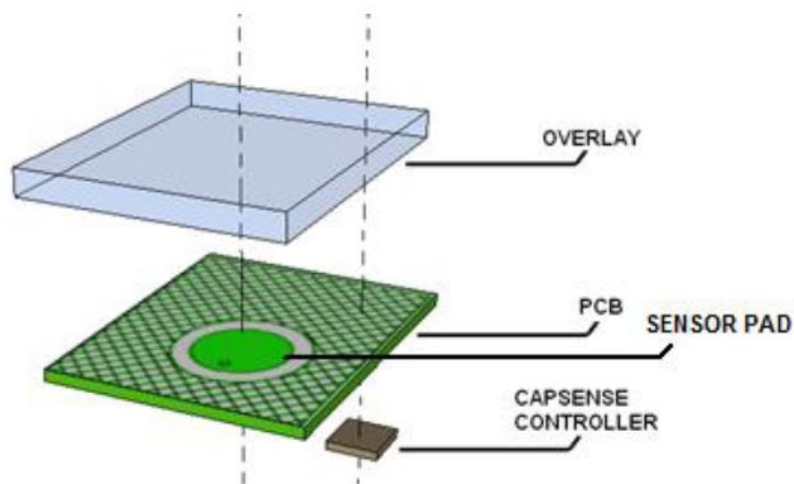
- Az X és Y szenzorok intenzitásának átlagolásával pontosabb koordináta érhető el.
- Jóval kisebb felbontás elegendő

Kapacitív érintőképernyő

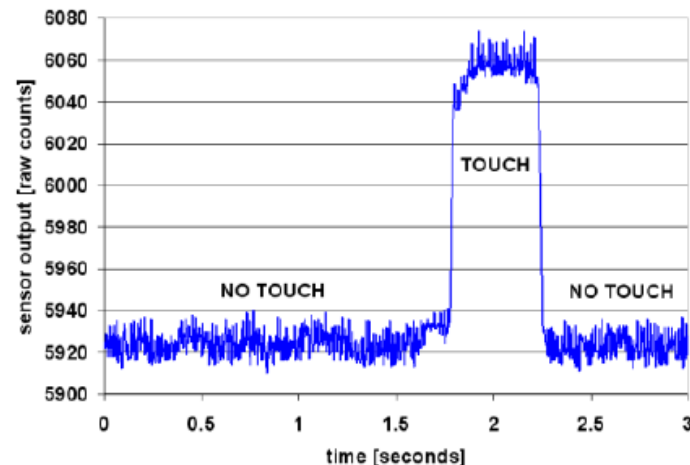
- Előnyök
- Jó átlátszóság > 90%
- Szennyeződésre kevésbé érzékeny
- Többszörös érintés kezelhető (multitouch)
- Vékony kesztyű használható
 - (orvosi alkalmazások, gumikesztyűt pl. nagyon fontos, hogy lehessen használni.)

Kapacitív érzékelés (CapSense)

- Nagyon olcsó és egyszerű megoldás felhasználói inputra
 - Nyomógombok, jeladók helyett.
- A nyomtatott huzalozáson alakítják ki az alakzatokat, amelyek kapacitását az emberi ujj érintéskor megváltoztatja.

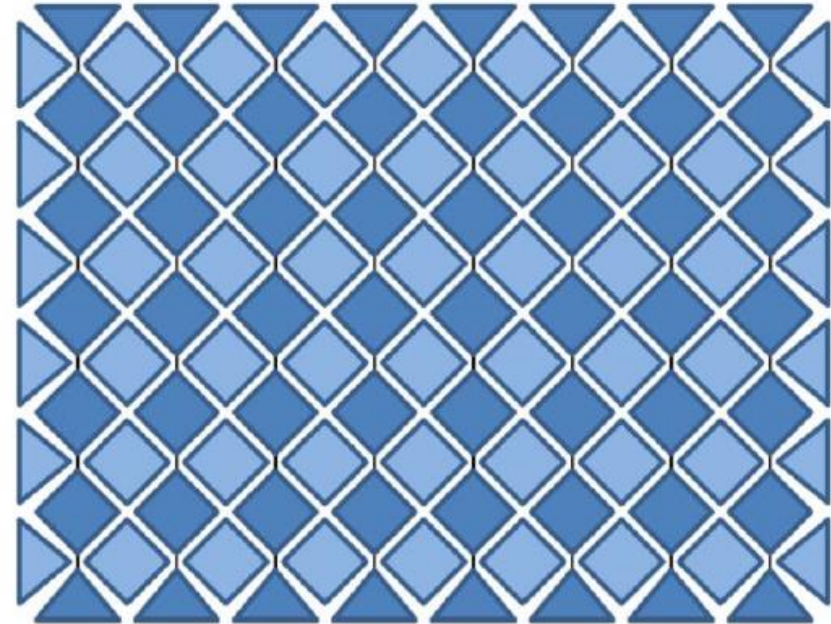
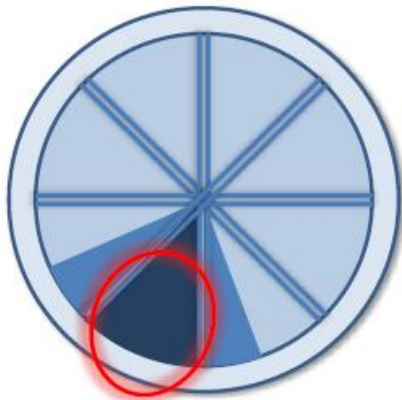
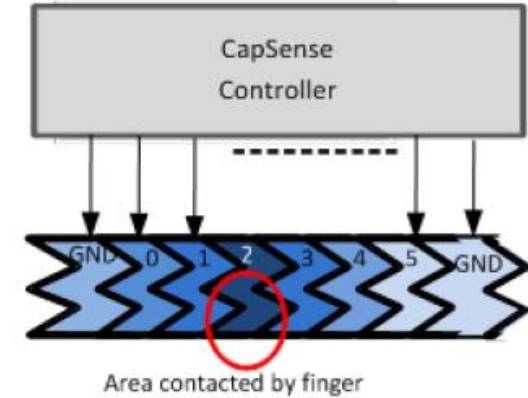


- A mérés nagyon egyszerű: a kapacitás kisütési idejét kell mérni.
 - Sok mikrokontroller támogatja, van ilyen periféria (touch sensing controller) beépítve



- A legegyszerűbb mikrokontrollerekkel pedig egy impulzus késleltetését lehet megmérni (sw úton)

- Példák: nyomógomb, forgó vagy vízszintes jeladó leváltása, touchpad





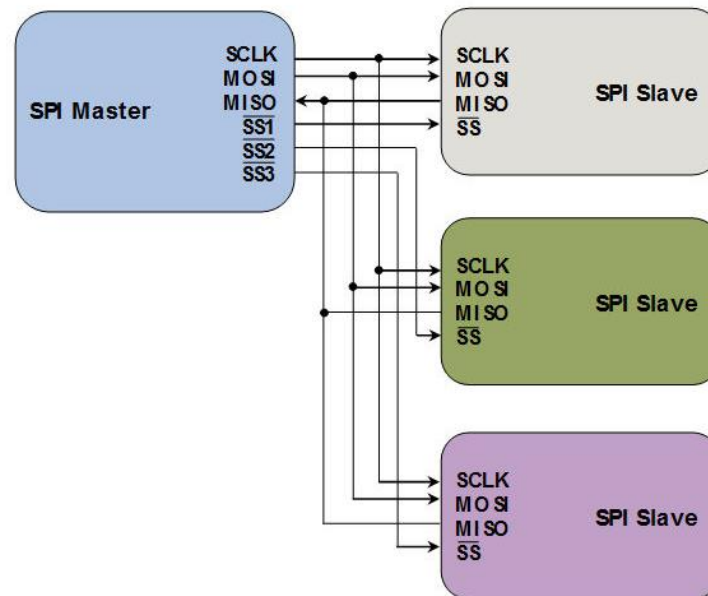
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

Szenzorok rendszerbe integrálása

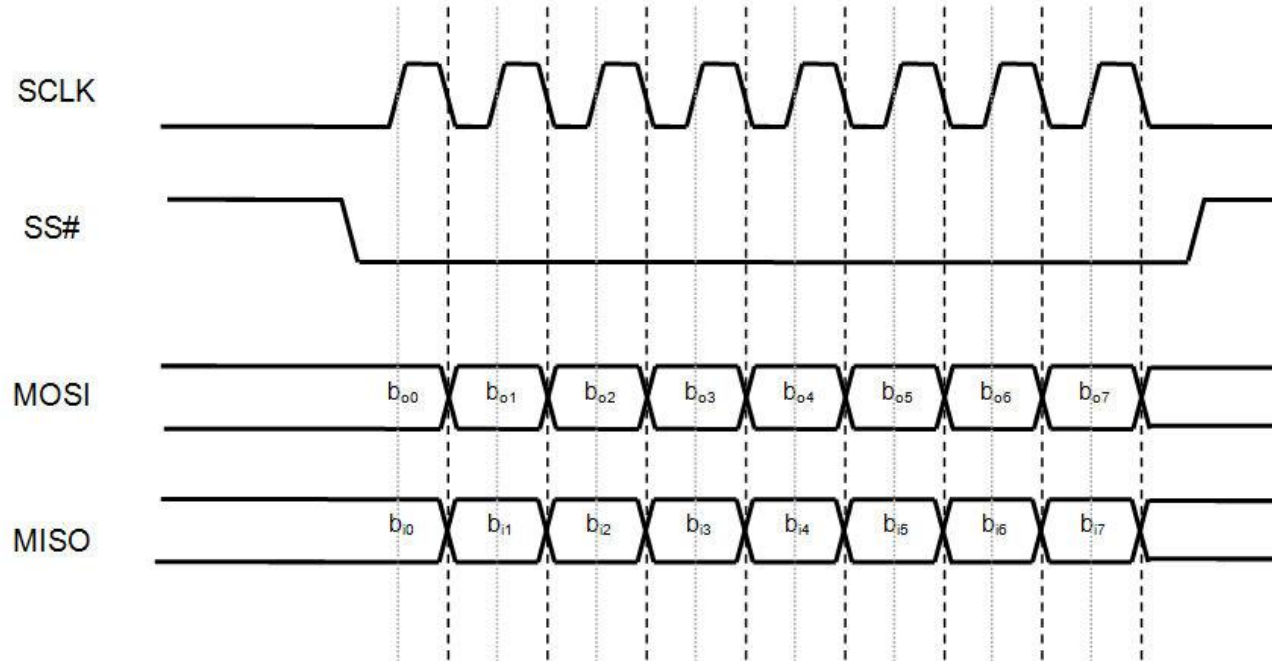
Szenzorok rendszerbe integrálása

- Nagyrészt soros interfésszel, I2C vagy SPI rendelkeznek.
 - A sávszélesség nem kritikus
- Sok szenzor esetén van on-chip FIFO, így nem szükséges a pontos, periodikus kiolvasás.
- Sok szenzor tud határértékek átlépésekor megszakítást kérni
 - Így megoldható az, hogy a rendszer alvó állapotban van, csak a szenzor működik, és eseményre fel tudja ébreszteni a rendszert
- Bonyolultabb rendszerekben a szenzorokat nem a fő alkalmazásprocesszor kezeli, hanem érdemes egy ún. szenzor hub-ot használni, amelyik dedikáltan a szenzorok adatait gyűjti
 - Ez egy sok soros perifériával rendelkező, kisméretű mikrokontroller általában

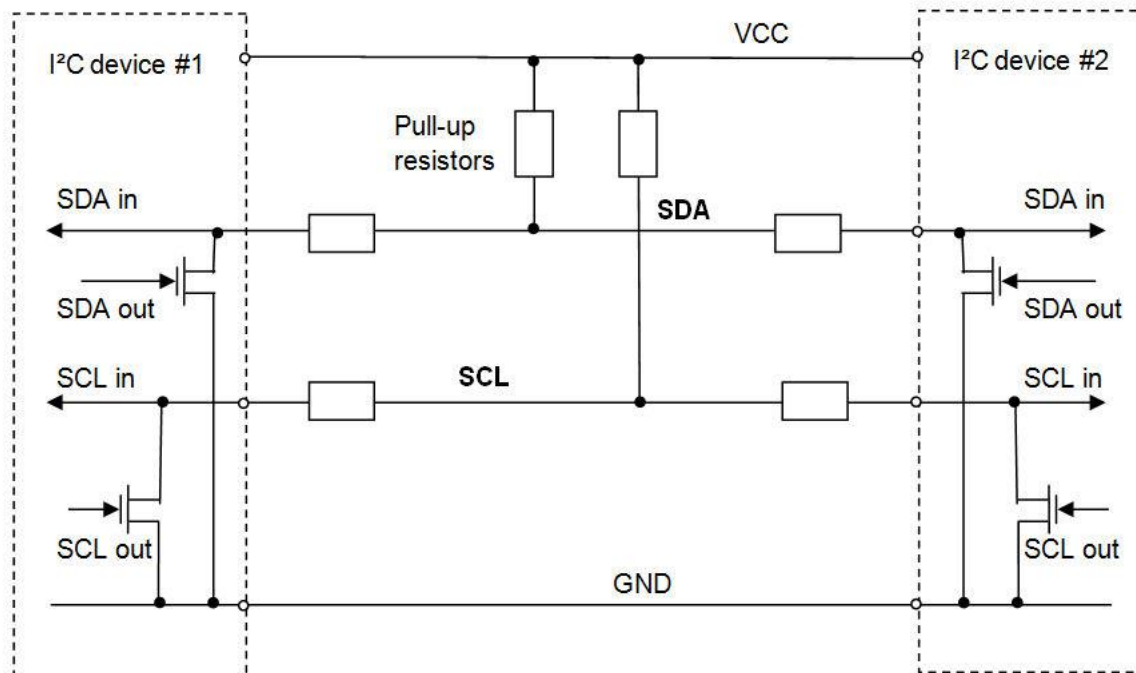
SPI



- Három vezeték: órajel (SCK) , be (MISO) és kimenő adat (MOSI)
- Slave eszközönként egy aktiváló vonal, a SS.
- Az SPI master aktiválja a megfelelő slave-et és sorosan beírja az információt, miközben olvassa a slave adatait.
 - Mintha egy nagy shiftregisztert forgatnánk körbe.



- Az, hogy használaton kívül az SCK magas vagy alacsony, illetve az SCK melyik élénél történik a mintavételezés, állítható.
- Nincs szabványosítva a bitsorrend sem (LSB, MSB)
- Nincs szabványosítva a max. transzfer. Általában 8-16 bit.
- Nincs szabványos sebesség.

I²C

- Multimaster bus
- Két vezetékot használ
 - SDA – adat, kétirányú, half-duplex
 - SDC - órajel
- In-band címzés, a protokoll bonyolultabb.
 - Eredetileg 7, később 10 bites címzés