

Bevezetés az Edaq530 segítségével végzett fizikai kísérletezésbe

Makra Péter

Szegedi Tudományegyetem
Orvosi Fizikai és Orvosi Informatikai Intézet

2015. január 30.

Változat: 0.0 | Legutolsó frissítés: 2015. január 30.

1 Bevezetés

2 Méréstechnikai alapok

- A virtuális mérés technika
- Szenzorok és jelkondicionálás
- Digitális jelföldolgozás
- Amplitúdóbeli kvantálás
- Időbeli kvantálás

3 Az Edaq 530

- A mérőbemenetek
- A/D-konverzió
- A mikrovezérlő
- Az eszköz telepítése
- A szoftver áttekintése
- Csatornafüggetlen beállítások

- Csatornafüggő beállítások
- Skálázás, kalibrálás
- Szintmetszéses mérések
- Beállítások és adatok mentése

4 Szenzorok, mérések

- Hőmérsékletmérés
 - Termisztor
 - Termoelem
- Kinematikai mérések, fotokapu
- Gyorsulás mérése
- Mágneses mérések
- Nyomásmérés
- pH-mérés
- Pletizmográfia

Mi az Edaq530?

- egy háromcsatornás adatgyűjtő készülék
- különféle szenzorok csatlakoztatásával különféle fizikai mennyiségek mérhetők vele az idő függvényében
- események időpillanatait lehet vele meghatározni $\Rightarrow$ időtartam-mérés, sebességmérés
- kalibrációra alkalmas $\Rightarrow$ a mérések egy fontos módszertani vetületét szemlélteti
- a mért adatokat Excelbe exportálhatjuk vagy szöveges állományba menthetjük

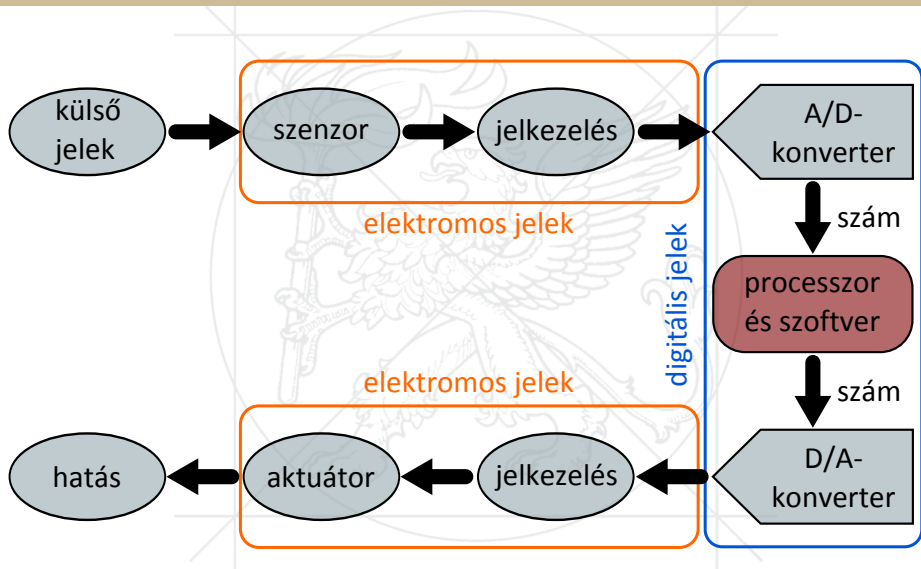
Célkitűzések

- az egy 2010-es továbbképzésre készült; peremföltétel: beleérjen a részvételi díjba egy példány
- egyszerű használat (ne kelljen specializált informatikai ismeret)
- modern, elérhető, fejleszthető, olcsó legyen
- sokoldalúság (egy eszközzel sok mérés)
- általános célú eszköz (egy eszköz, sok mérés)
- megbízhatóság (nyugodtan kiállhassunk a diákok elé)
- hordozhatóság: egy notebook, a műszer, pár szenzor és bárhol mérhetünk
- átláthatóság: a mérési elvek láthatóvá tétele; ne legyen „fekete doboz”

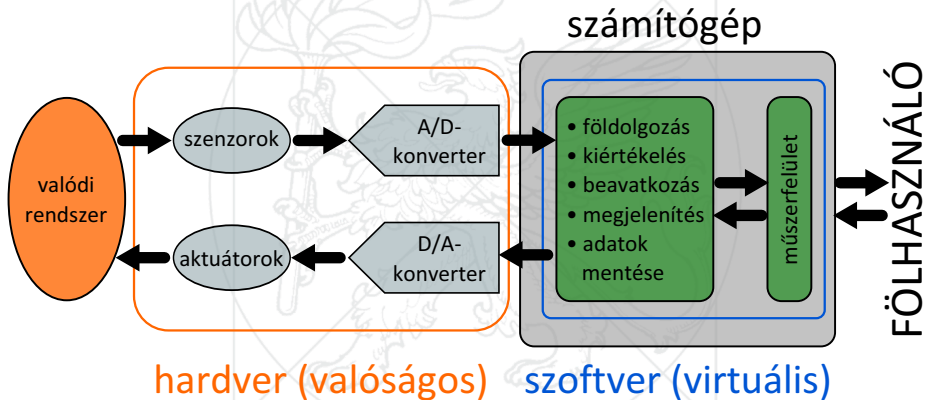
Mi a virtuális mérés?

- **valódi mérés!**
- a műszer legnagyobb része szoftver, ezért a „virtuális” jelző
- a szoftvert könnyű megváltoztatni, és ugyanazt a műszert más feladatra adaptálni
- könnyebb általános célú műszert fejleszteni

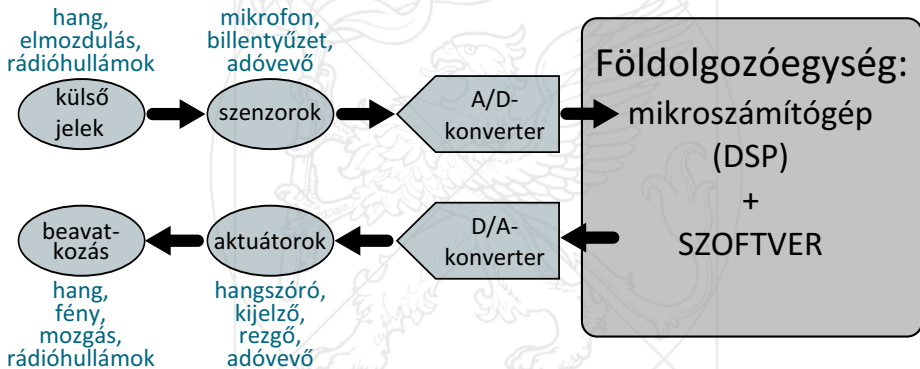
Egy modern műszer



Virtuális műszer



A zsebünkben is van ilyen



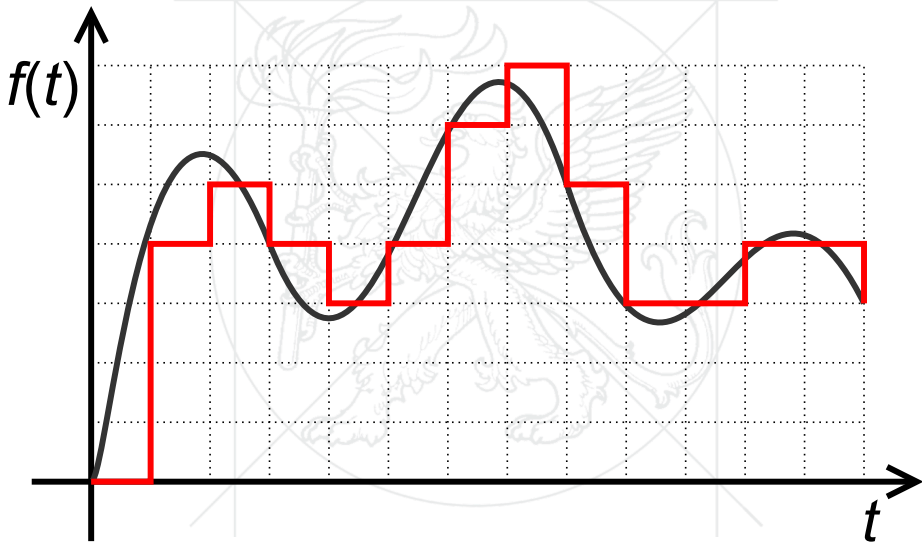
Szenzorok

- feladatuk: különböző fizikai mennyiségek elektronikával kezelhető jelekké alakítása
- kimenetük lehet:
 - feszültség
 - áram
 - ellenállás
 - kapacitás
 - induktivitás
- a szenzor által szolgáltatott elektromos jel és az eredeti fizikai mennyiség kapcsolatát ismerjük
- a digitális földolgozás előnye: nem követelmény, hogy e kapcsolatot leíró egyenlet lineáris legyen

Jelkondicionálás

- az információt feszültséggé alakítjuk
 - áramkimenetű szenzor: egy ellenálláson
 - impedanciakimenetű szenzor: feszültségosztóval
- a méréstartományba (pl 0–3,3 V) konvertáljuk a feszültségjelet
- szűrjük a jelet, ha szükséges

Digitális jelek



Digitális jelábrázolás

- a digitális világban minden mennyiséget diszkrét számokkal reprezentálunk
- ez véges fölbontást jelent mind időben, mind amplitúdóban – kvantálás
- időbeli kvantálás: ***mintavételezés*** – a jelből diszkrét időpillanatokban mintát veszünk, és ezekkel a mintákkal ábrázoljuk a jel időfüggését
- amplitúdóbeli kvantálás: a jel amplitúdója sem vehet föl tetszőleges értéket, csak az ábrázolás pontosságát jellemző legkisebb érték (a ***kvantumnagyság***) egész számú többszörösét

Amplitúdóbeli kvantálás

- **A/D-konverzió:** analóg-digitális átalakítás; a folytonos feszültségértékek digitális számértékekké alakítása
- az átalakítás pontosságát jellemző paraméter az, hogy a rendelkezésre álló feszültségtartományt hány részre osztjuk; ennyi különböző feszültségérték ábrázolható
- ezt kettő hatványaival szoktuk kifejezni (a konverter fölépítése miatt is), pl egy 8-bites konverter esetében az ábrázolható feszültségértékek száma $2^8 = 256$
- **kvantum nagyság:** a legkisebb ábrázolható (de nem nulla) feszültségérték; a fölosztás után kapott tartomány szélessége

$$\Delta U = \frac{U_{\text{ref}}}{2^b},$$

ahol b jelöli a bitek számát, U_{ref} pedig a referenciafeszültség

- a legnagyobb hibát a kvantálás akkor eredményezi, ha a mérendő érték éppen két kvantum közé középre esik

⇒ a **kvantálási hiba** a kvantum nagyság fele

Amplitúdóbeli kvantálás

- az egész számmá alakítás alapja: hányszor van meg (kerekítve) a feszültségkvantum a mérendő feszültségben; az átalakítás után kapott egész szám

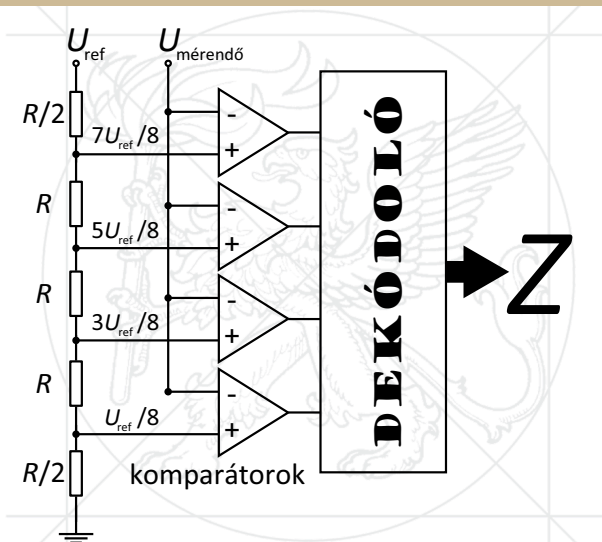
$$Z = \left\lfloor \frac{U}{U_{\text{ref}}/2^b} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{2^b \cdot U}{U_{\text{ref}}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{2^b \cdot U}{U_{\text{ref}}} + 0,5 \right\rfloor,$$

ahol [...] a kerekítést, [...] pedig az alsó egészrész képzését jelöli

- például egy 3 V-os referenciafeszültségű, 3-bites konverternél:
 - az ábrázolható feszültségértékek száma: $2^3 = 8$
 - a kvantumnagyság: $\Delta U = \frac{3\text{V}}{2^3} = 0,375\text{V}$
 - a kvantálási hiba: $\frac{\Delta U}{2} = 0,1875\text{V}$
 - az $U = 2,5\text{V}$ -nak megfelelő számérték:

$$Z = \left\lfloor \frac{2,5\text{V}}{0,375\text{V}} \right\rfloor = [6,66666...] = 7$$

A/D-konverzió: közvetlen átalakítás

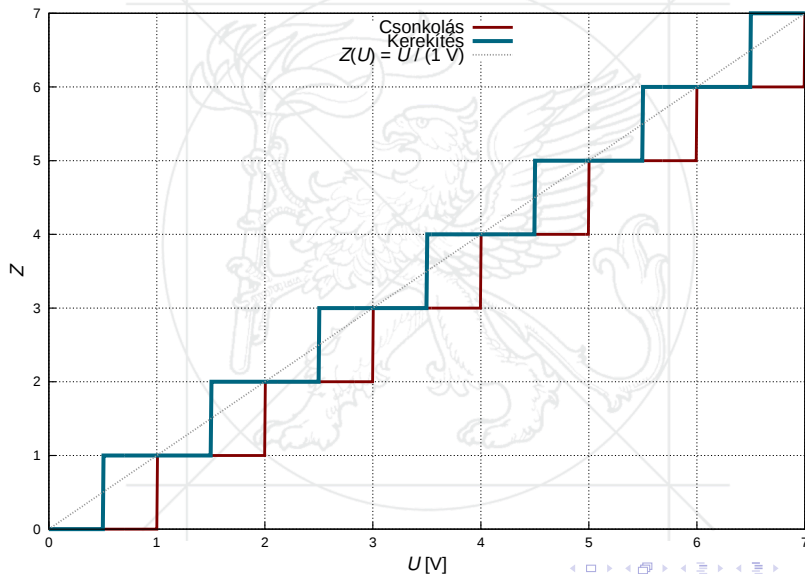


A közvetlen átalakításos A/D-konverter elve 2-bites fölbontásnál

A/D-konverzió: közvetlen átalakítás

- a referenciafeszültség adott törtrészének (pl 3-bites konverternél $2^3 = 8$ -ad részének) egész számú többszöröseit állítjuk elő egy ellenálláslétrával, pontosabban ezt a sorozatot még eltoljuk az adott törtrész felével fölfelé, hogy alsó egészrész képzése helyett kerekítést kapjunk (pl a kvantumnagyság 2,6-szerese ne a 2, hanem a kerekítés szabályai szerint a 3 egész számnak feleljen meg)
- a műveleti erősítővel megvalósított komparátorok a mérendő feszültséget minden ilyen törtrésszel összehasonlítják (pl alacsony kimeneti szintet adva, ha a mérendő feszültség az adott törtrésznél nagyobb)
- a komparátorok jeleit a dekódoló a megfelelő egész számmá alakítja
- pl 3 V-os referenciafeszültségű, 2-bites konverterrel 2,1 V-os feszültséget mérve: $\frac{5}{8} U_{\text{ref}} < 2,1 \text{ V} < \frac{7}{8} U_{\text{ref}} \Rightarrow$ a legfőbb komparátor jele magas, a többié alacsony, ezt a dekóder az 11 bináris számmá, azaz 3-má alakítja
- ez megfelel annak, hogy $\left\lceil \frac{2,1 \text{ V}}{3 \text{ V}/4} \right\rceil = [2.8] = 3$

A kerekítés és a csonkolás összehasonlítása



A mintavételi tétel

- míg az amplitúdóbeli kvantálás csak a jelábrázolás pontosságát befolyásolja, az időbeli kvantálás számos egyéb problémát is fölvet
- ahhoz, hogy ne történjék információvesztés, megfelelő gyakorisággal kell mintavételezni
- ha a mintavételek közt eltelt időtartamot Δt -vel jelöljük, a ***mintavételi frekvencia*** definíciója: $f_s := \frac{1}{\Delta t}$

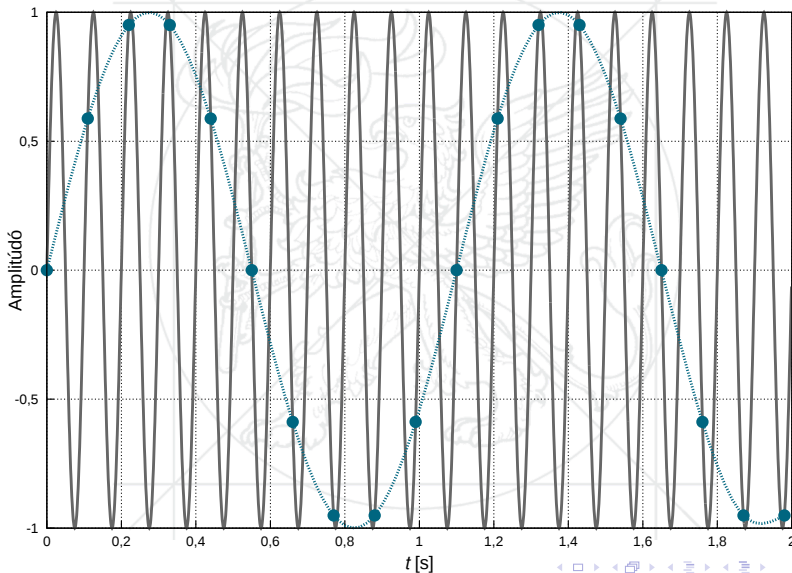
Shannon-féle mintavételi tétel: ha egy jelben előforduló legnagyobb frekvencia f_m , akkor a jel információvesztés nélkül visszaadható az $1 / (2f_m)$ időköznel sűrűbben mintavételezett értékeivel

- másik megfogalmazás: az információvesztés elkerüléséhez a mintavételi frekvenciát a jelben előforduló legnagyobb frekvencia kétszeresénél nagyobbra kell választanunk
- azaz egy periódusból legalább 3 mintát kell venni, hogy ne veszítsünk információt
- hogyan biztosítható a mintavételi tételben foglalt követelmény? → ***mintavételi szűrő:*** kiszűrjük azokat az összetevőket, amelyeknek túl nagy a frekvenciája

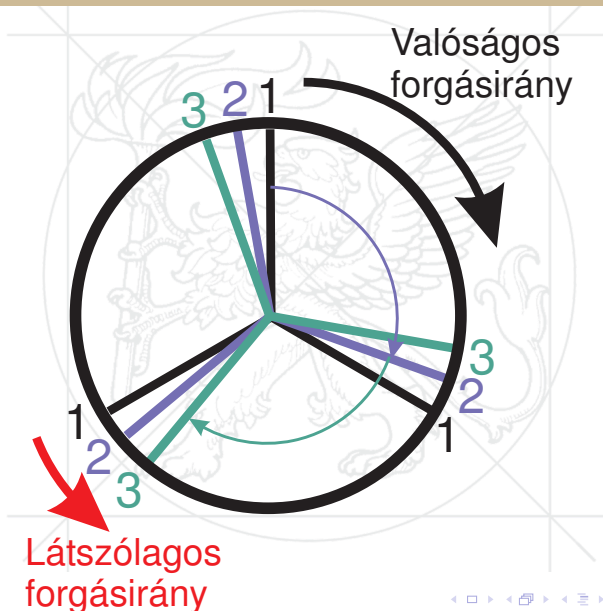
A mintavételi tétel megsértése

- ha a mintavételi tétel követelményét megsértjük (azaz a mérendő jelben a mintavételi frekvencia felénél nagyobb frekvenciájú összetevők is előfordulnak), hamis információt kapunk: ezen nagyfrekvenciás összetevők a mintavételi frekvencia fele alatti tartományon jelennek meg
- ezt a jelenséget hívjuk **aliasing**nek
- példa: a visszafelé forgó kerék a régi filmekben – 24 Hz-es mintavételezés, két képkocka között a kerék majdnem egy teljes fordulatot megtesz, az agy viszont a kisebb változás irányába értelmezi a képsort
- **aliasing** nem csak mintavételezésnél, hanem eleve diszkrét adatsoroknál is fölléphet, ha például Excelben akarunk szinuszjelet készíteni, de az időlépést túl nagynak választjuk
- nemcsak időbeli, hanem térbeli mintavételezésnél is fölléphet ez az anomália: ha térben periodikus képet túl kicsi fölbontással (hosszegységenkénti pixelszámmal, dpi-vel) ábrázolunk

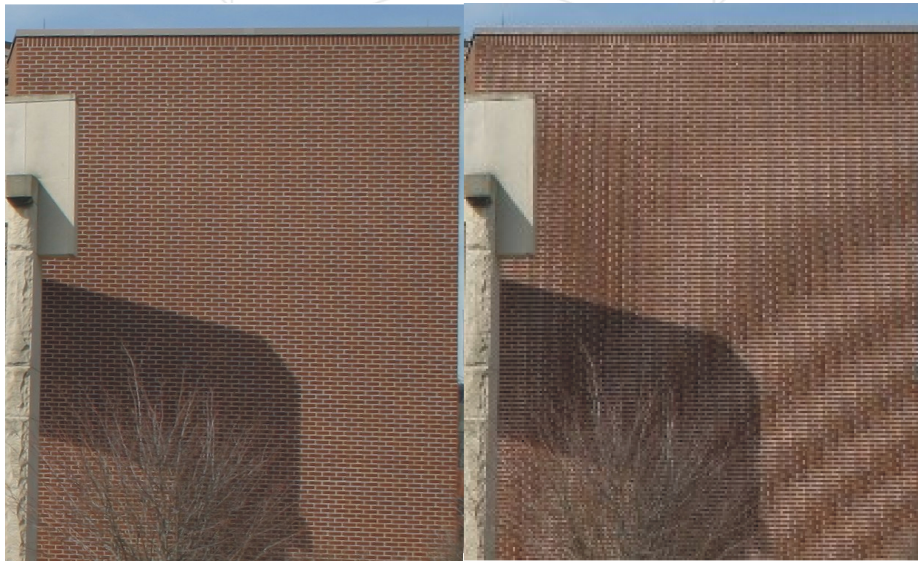
A mintavételi tétel megsértése



A visszafelé forgó kerék



Térbeli *aliasing*



Az Edaq530 bemenetei

- univerzális bemenetek különféle szenzorok fogadására
- feszültség, áram vagy ellenállás mérése
 - feszültség: közvetlenül
 - áram: ellenálláson eső feszültség
 - ellenállás: ellenállásosztóval (az újabb, Edaq530C jelzésű változatban beépített ellenállás kapcsolható be)
- a bemeneti méréstartomány 0–3,3 V (a legrégebbi változatoknál 0–5 V)
- az A/D-konverter 12-bites, így a fölbontás

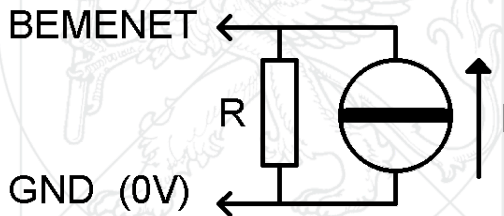
$$\Delta U = \frac{3,3\text{V}}{2^{12}} = \frac{3,3\text{V}}{4096} \approx 0,8\text{mV}$$

- a bemeneti ellenállás 10 M Ω

Áram mérése

ismert ellenálláson eső feszültség méréseivel:

$$I = \frac{U}{R}$$



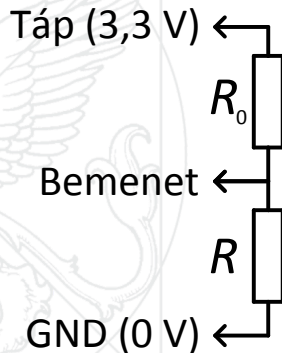
Ellenállás mérése

ismert R_0 ellenállással ellenállásosztót képezünk

$$I = \frac{U_{\text{ref}}}{R + R_0}$$

$$U = R \cdot I = U_{\text{ref}} \cdot \frac{R}{R + R_0}$$

$$R = R_0 \cdot \frac{U / U_{\text{ref}}}{1 - U / U_{\text{ref}}}$$



A bemenetek csatlakozói

- 3 egyforma csatlakozó
- kivezetések:
 - 3,3 V
 - jel
 - föld (GND)
- milyen csatlakozó kell hozzá:
 - H2510-03
 - cikkszám: 53-12-57
 - beszerzés: pl www.ret.hu

3,3 V
Bemenet
0 V (GND)



3,3 V
Bemenet
0 V (GND)



3,3 V
Bemenet
0 V (GND)



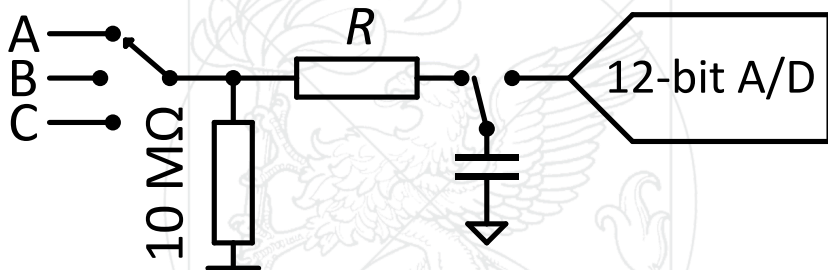
A csatornák elnevezései



Az A/D-konverter tulajdonságai

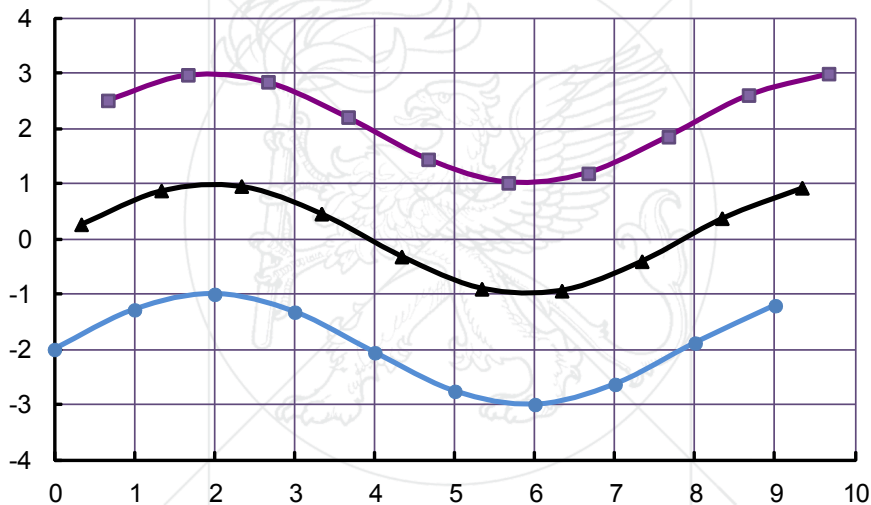
- 12-bites fölbontás
- $2^{12} = 4096$ különböző feszültség szint ábrázolható
- $1/4096 = 0,0244\%$ -os fölbontás
- a kvantum nagyság $3,3\text{V}/4096 \approx 0,8\text{mV}$
- a mintavételi ráta legfőbb $1000 / \text{s}$
- egy A/D-konverter van a műszerben, a három csatornát fölváltva méri

A konverter megosztása a csatornák között



- a mintavételezés a 3 csatornán nem szimultán
- egyetlen A/D-konverter bemenetét kapcsolgatjuk a 3 csatorna között
- emiatt a csatornák között a mintavételi idő harmadának megfelelő időeltolódás van

Időeltolódás a kapcsolgatás miatt



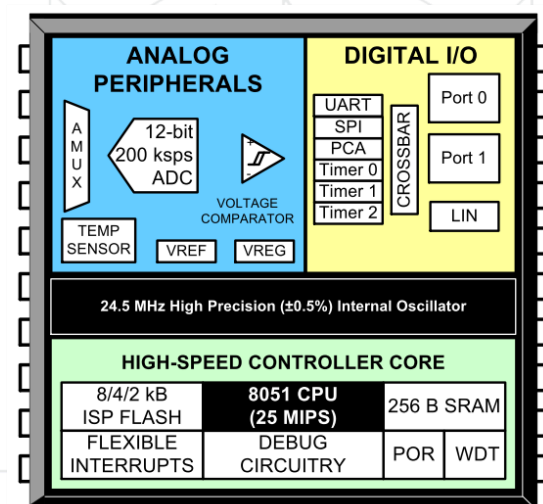
Gondot okoz-e az időeltolódás?

- a mintavételi időköz $\Delta t = 1/f_s$
- az időeltolódás a csatornák között: $\Delta t/3$
- például:
 - $f_s = 100 \text{ Hz}$, azaz $\Delta t = 10 \text{ ms}$
 - időeltolódás: $3,33 \text{ ms}$
 - a képernyőn 1 s időablak esetén esetén a csúszás $0,333\%$
- csak akkor észrevehető, ha nagyon kevés a mért pont
- pontosan ismert a mértéke, azaz korrigálhatunk, ha szükséges

Átlagolás a műszerben

- magában a műszerben beállítható átlagolás (tehát még a számítógépre való fölküldés előtt)
- ilyenkor a hardver több adatot mér és összeadja; az átlagértéket küldi föl a számítógépnek
- 1, 4, 8 vagy 16 adat átlagolható
- a mintavételi ráta nem változik (a műszer gyorsabban mér átlagoláskor)
- a fölbontás javul
- a véletlenszerű zaj segít
- a determinisztikus hiba ellen az átlagolás nem véd!

A mikrovezérlő



A mikrovezérlő

- az Edaq530 lelke egy Silicon Laboratories C8051F530A mikrovezérlő (memóriát tartalmazó kompakt mikroprocesszor)
- a mikrovezérlő feladata: futtatja az eszköz „BIOS”-át – azt a programot, amelynek a feladata, hogy a mérést ütemezze és a számítógéppel kommunikáljon
- ez a vezérlőprogram C nyelven íródott; frissíthető, új feladatokhoz illeszthető
- ezzel a vezérlőprogrammal kommunikál a számítógépen futó mérőprogram
- a kommunikáció módja: az USB-porton leküldött szöveges parancsok
- például @f <mintavételi frekvencia> a mintavételi frekvenciát állítja be

A telepítés lépései

① Telepítsük az USB-chip vezérlőprogramját:

- a chip gyártója az FTDI (Future Technology Devices International Ltd)
- a vezérlőprogram a <http://www.ftdichip.com/Drivers/D2XX.htm> oldalról tölthető le (érdemes a „Setup executable” formátumot választani)
- a jelenlegi legfrissebb vezérlőprogram közvetlen elérési útja
http://www.ftdichip.com/Drivers/CDM/CDM20824_Setup.exe
- először az **Edaq530 csatlakoztatása nélkül** futtassuk a letöltött telepítőt (nem kérdez semmit)
- majd csatlakoztassuk az eszközt, és várjuk meg az üzenetet: „A hardver használatra kész.”

② Telepítsük a .NET keretrendszer 2.0-ás vagy annál frissebb változatát:

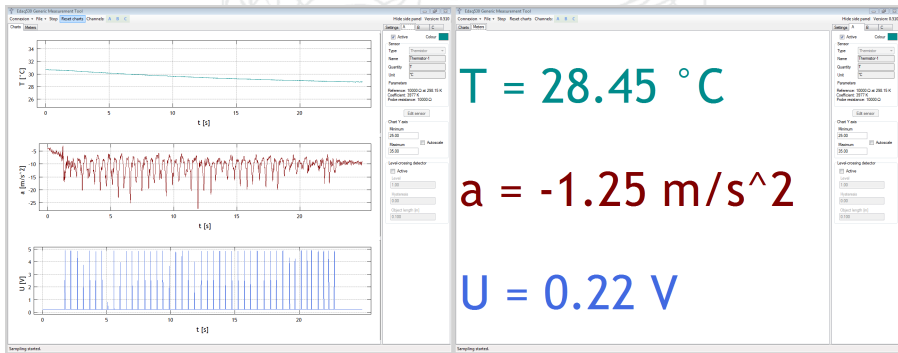
- Windows XP-ben operációsrendszer-frissítéssel föltelepíthető, a választható összetevők között
- Windows Vista és Windows 7 esetén az operációs rendszer része, **nem kell telepíteni**
- közvetlen elérési út: <http://www.microsoft.com/downloads/hu-hu/details.aspx?FamilyID=DOE5DEA7-AC26-4AD7-B68C-FE5076BBA986>

③ Hozzunk létre egy mappát az Edaq530 szoftverének és másoljunk oda minden Edaq530-hoz tartozó állományt (.exe, .dll és .xml állományokat)

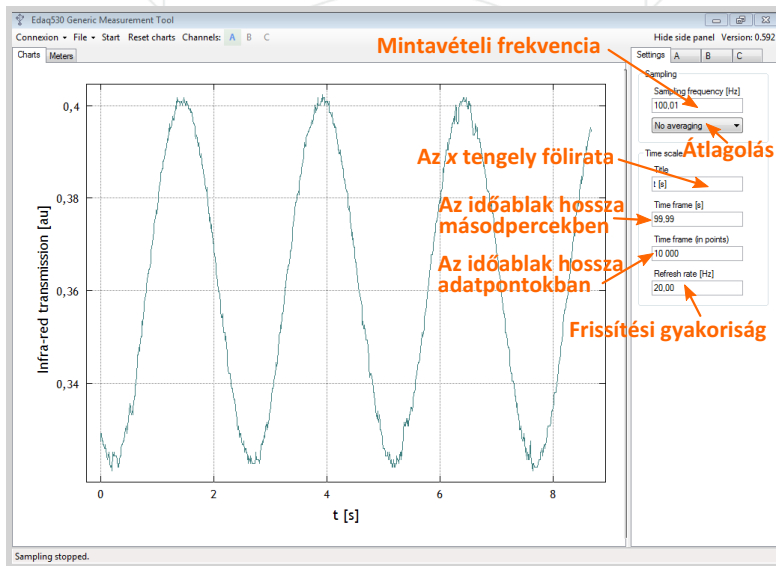
Milyen méréseket támogat a szoftver?

- a szoftver C# nyelven íródott (ezért szükséges hozzá .NET keretrendszer); nyílt forráskódú
- három jel egyenletes mintavételezésű mérését teszi lehetővé
- a mért adatok valós időben jelennek meg, amplitúdó-idő grafikonokon
- a mért adat megjeleníthető számmal is, onnan aktuális értéke vágólapra másolható
- a jelek skálázhatók (lineáris, termisztor)
- szintmetszések detektálhatók, így időtartamok és sebesség is mérhetők

A szoftver kétféle üzemmódja



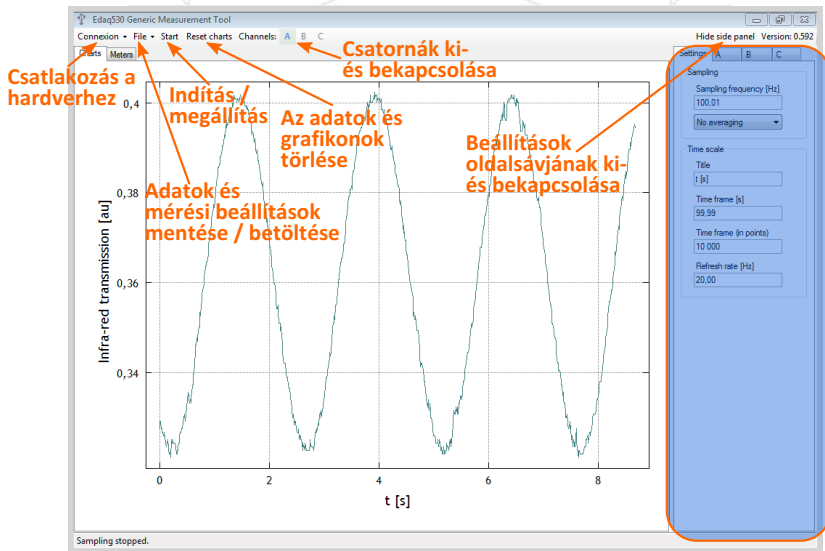
Csatornafüggetlen beállítások



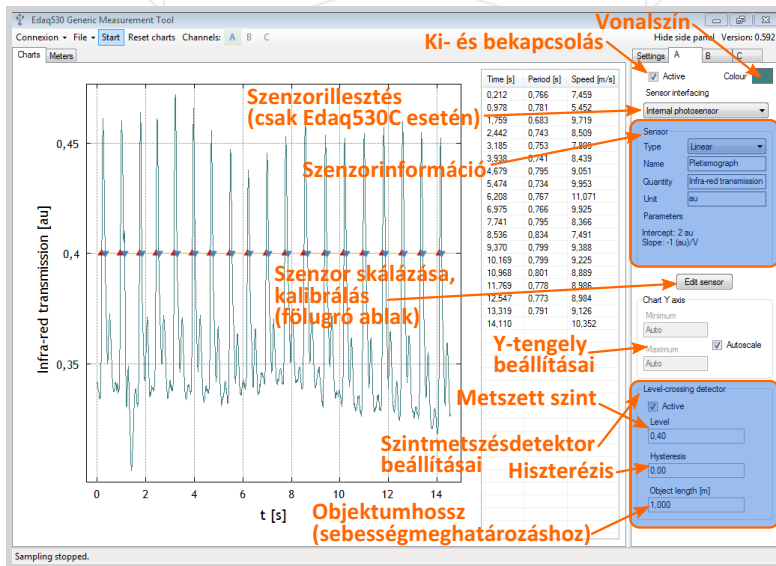
Csatornafüggetlen beállítások

- **mintavételi frekvencia**
 - minimum 11, maximum 1000 Hz
 - a mérési feladathoz válasszuk (pl ejtőlétrához elengedhetetlen a lehető legnagyobb mintavételi ráta)
 - a magas mintavételi ráta jobban megterheli a számítógépet
- **átlagolások száma**
 - 1, 4, 8 vagy 16 lehet
 - a mintavételi frekvenciát nem csökkenti
- **az időablak hossza**
 - kifejezhető másodpercben vagy adatpontban is
 - a kettő össze van kapcsolva, bármelyiket változtatva változik a másik is
 - legföljebb 10 000 adatpont hosszú ablak engedélyezett
- **frissítési gyakoriság**
 - hányszor frissítse másodpercenként a képernyőt
 - ha nem bírja a gépünk, ezt érdemes csökkenteni

A menüsáv



Csatornafüggő beállítások



Skálázások

- a szenzorinformáció tükrözi a fizikai mennyiség és az eszköz által mért feszültség kapcsolatát
- kétféle skálázást kezel a szoftver: **lineáris** és **termisztorskálázást**
- **lineáris skálázás** esetén a ϕ fizikai mennyiség kiszámolása a mért feszültségből:

$$\phi(U) = \phi_0 + a \cdot U$$

- a legtöbb szenzor esetén alkalmazható
- a termisztor ellenállása exponenciálisan függ a hőmérséklettől, ott nem alkalmazható a lineáris skálázás:

$$R(T) = R_0 e^{B(1/T - 1/T_0)}$$

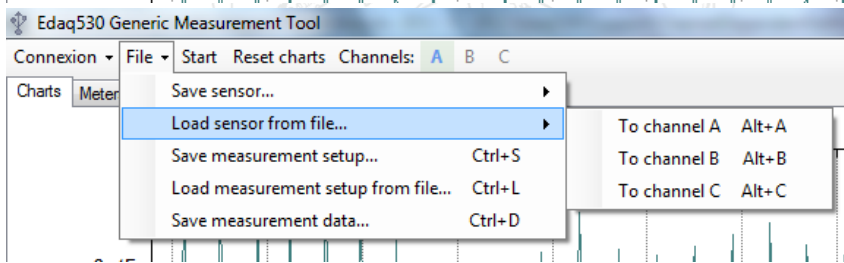
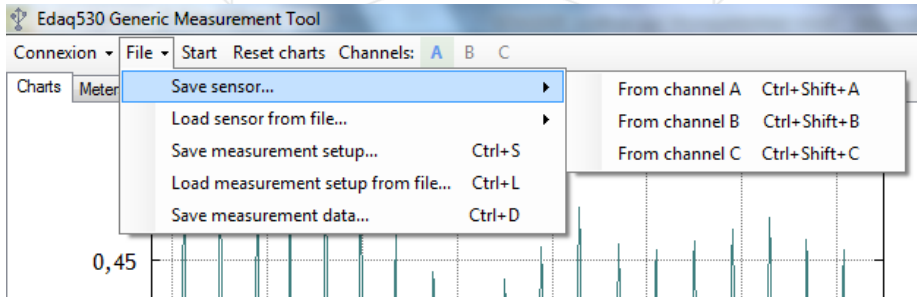
- ebből átalakítással kapjuk a **termisztorskálázást**:

$$T(R) = \frac{1}{\frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right)}$$

Skálázások

- a szenzorok elnevezhetők
- a szenzorinformációhoz beírt mennyiségnév és egység jelenik meg az y-tengelyen
- a szenzorinformáció megjeleníti a skálázási paramétereket, ügyelve a mértékegységek helyes fölűntetésére (didaktikus haszna lehet)
- a skálázások elmenthetők csatornánként különálló állományokba, megoszthatók, újrahasználhatók, átvihetők más csatornákra
- a skálázási paraméterek fölugró ablakban állíthatók
- kalibráció is lehetséges

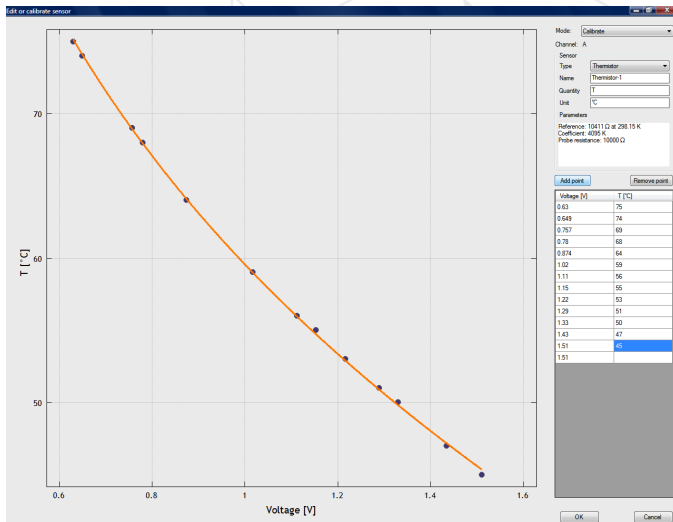
Skálázások mentése és betöltése



Kalibráció

- a kalibrációs ablaknak kétféle üzemmódja van:
 - ① a skálázási beállítások közvetlen beírása
 - ② kalibráció egyenesillesztéssel
- kalibráció esetén kis táblázatban rendelhetjük egymáshoz a feszültség és a mért fizikai mennyiség értékeit
- a függvénykapcsolat rögtön meg is jelenik grafikonon, a kiugró adat törölhető
- a paramétereket egyenesillesztés útján kapjuk meg; ez linearizálás után ugyanúgy alkalmazható termisztorskálázásra is

Kalibráció



Edaq or calibrate sensor

Mode: Edit

Channel: B

Sensor Type: Thermistor

Name: Thermistor-2

Quantity: T

Unit: °C

Parameters

Reference: 10000 Ω at 298.15 K

Coefficient: 3977 K

Probe resistance: 10000 Ω

Add point Remove point

Parameter	Value
Reference resistance [Ω]	10000
B coefficient [K]	3977
Probe resistance [Ω]	10000

OK Cancel

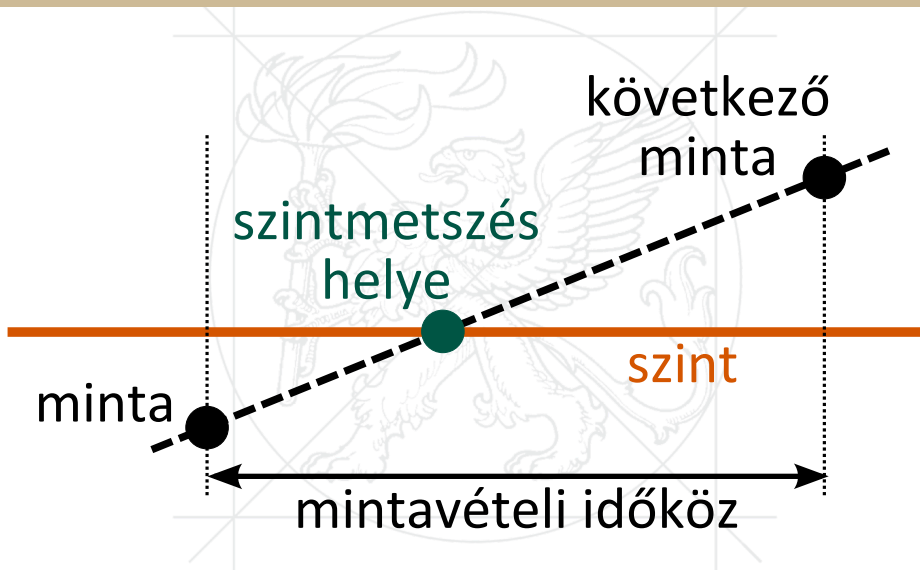
Szenzorillesztés (csak Edaq530C esetén)

- a hardver újabb változatai többféle szenzorillesztést képesek megvalósítani
- a „**Sensor interfacing**” vezérlő a szoftver újabb változataiban
 - ① **feszültségkimenetű („Voltage output”)**: minden csatornán; a hagyományos mérési elv
 - ② **ellenálláskimenetű („Resistance output”)**: minden csatornán; bekapcsol egy referenciaellenállást a műszeren belül, nem kell kívül megvalósítani
 - ③ **belső fotoszenzor („Internal photosensor”)**: az **A** csatornán; bekapcsolja a beépített fotoszenzort és annak a jelét jeleníti meg az **A** csatornán
 - ④ **feszültségkülönbség („Voltage difference”)**: a **B** csatornán; differenciális mérés a **B** és **C** csatornák között (pl termoelemhez)
 - ⑤ **Wheatstone-híd („Wheatstone bridge”)**: a **B** csatornán; Wheatstone-hídkapcsolás a **B** és **C** bemenetek között; egyes szenzorokhoz, pl egyes nyomásmérőkhöz

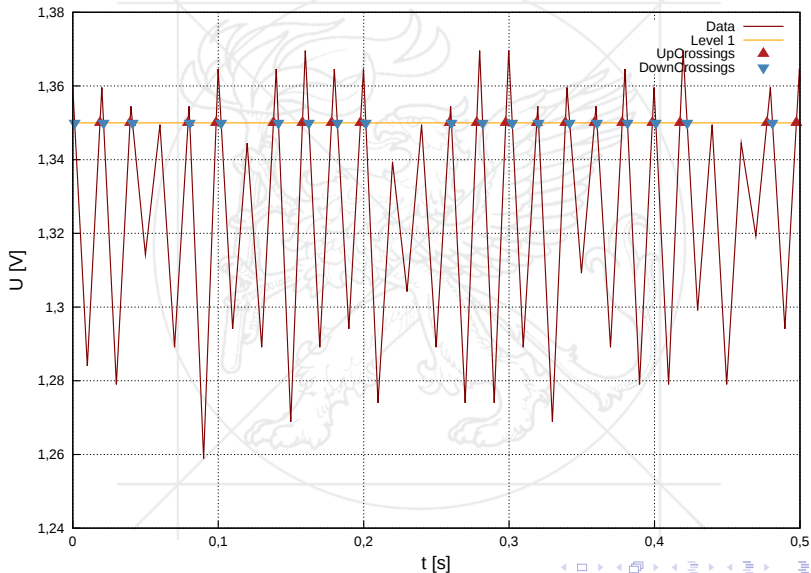
Szintmetzéses mérések

- az események gyakran egy jel szintmetzéseikhez köthetők, például:
 - fotokapu jele a fény kitakarásakor vált
 - a gyorsulás értéke periodikus mozgáskor
 - a hőmérséklet értéke lehűléskor
- időtartamok és akár sebesség is mérhető
- a program rögzíti a fölfutó és lefutó élekkel történő szintmetzéseket
- periódusidőt számol két fölfutó élű szintmetzés közti időtartamból
- ha megadjuk a fotokapu előtt áthaladó test méretét („Object length”), a fölfutó és lefutó szintmetzés távolságából sebességet számol
- a szintmetzés helyét interpolációval számolja, ami javítja az időbeli detektálás pontosságát
- a zaj okozta véletlen szintmetzések kiküszöbölésére hiszterézist is meg lehet adni
- minden csatornára függetlenül végezhetünk szintmetzés-detektálást

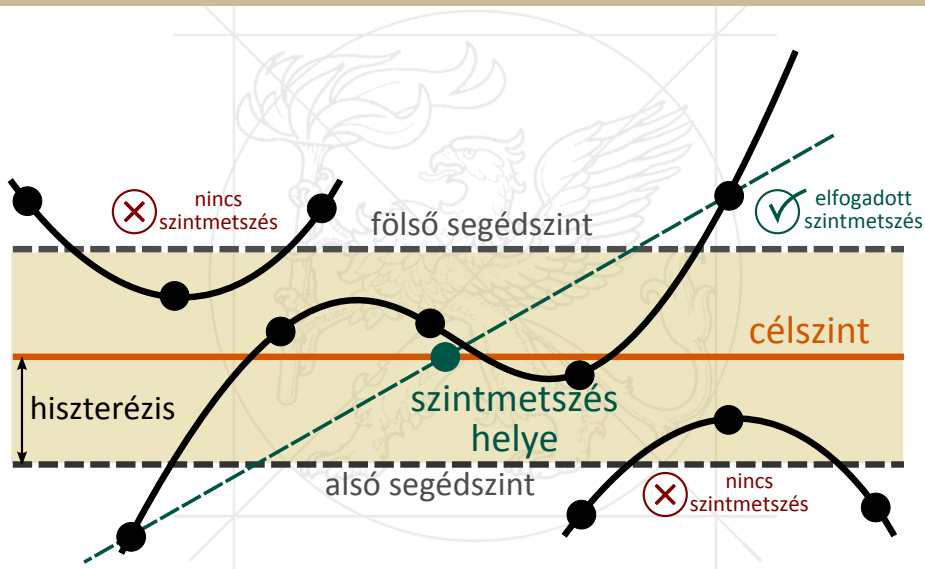
Egyszerű szintmetszési séma



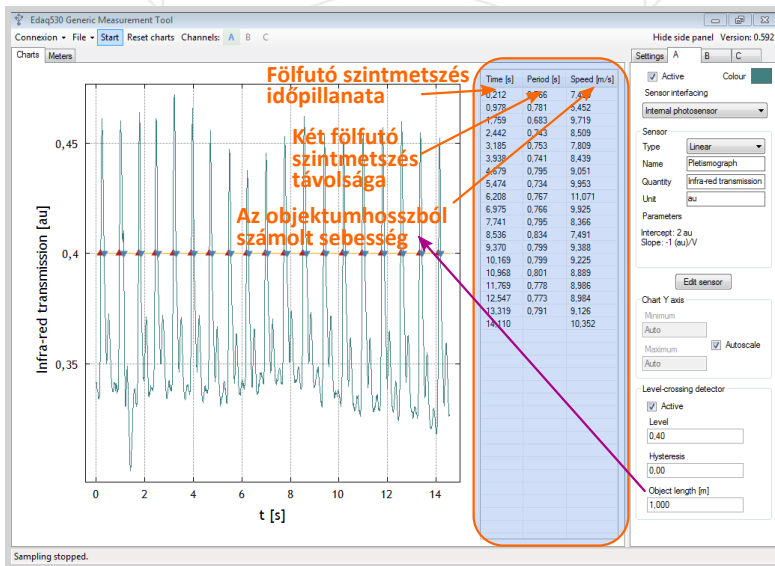
Probléma: zajos szintmetzés



Histerézises szintmetszési séma



A szintmetzési táblázat



Mérési beállítások mentése

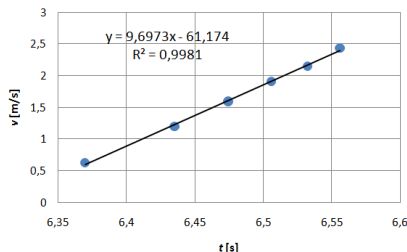
- nemcsak a szenzorkálázások, de a teljes mérési beállítások is menthetők és betölthetők
- minden beállítás – a mintavételi frekvencia, az átlagolás, az időablak szélessége, a csatornák láthatósága, az egyes csatornák skálázásai és a szintmetszésdetektorok beállításai – egyetlen .xml állományba kerül és onnan egy kattintással betölthető
- megoszthatunk méréseket, előkészíthetjük őket és válthatunk menet közben mérési elrendezések között
- kilépéskor a program automatikusan elmenti a beállításokat
- indításkor a legutolsó beállításokat tölti vissza

Mérési adatok mentése fájlba és vágólapra

- a program a háttérben a legutolsó 100 000 mérési adatot eltárolja
- ezt elmenthetjük szöveges állományba
- a grafikonok és a szintmetszési táblázatok tartalma vágólapra tehető, és átvihető más alkalmazásokba, pl Excelbe
- a grafikon jobbklikkre bitmapes állományba (pl .jpgg vagy .png) menthető; a program újabb változatai vektoros ábrázolást lehetővé tevő GnuPlot-scriptbe is tudnak menteni

The left graph shows position x [cm] versus time t [s]. The data points are fitted with a quadratic equation: $y = 4,7777x^2 - 60,411x + 190,95$ with $R^2 = 1$.

The right graph shows velocity v [m/s] versus time t [s]. The data points are fitted with a linear equation: $y = 9,6973x - 61,174$ with $R^2 = 0,9981$.



Az Edaq530-at bemutató cikk

- K Kopasz, P Makra and Z Gingl, 'Edaq530: a transparent, open-end and open-source measurement solution in natural science education,' *European Journal of Physics* **32** (2011): 491–504
- ArXiv: <http://arxiv.org/abs/1009.0432>
- DOI: [10.1088/0143-0807/32/2/020](https://doi.org/10.1088/0143-0807/32/2/020)

Termisztor

Termisztor

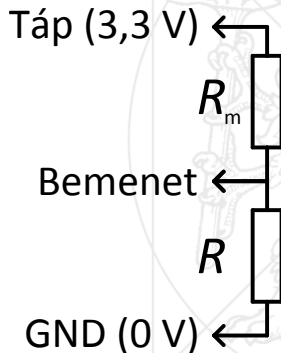


$$R(T) = R_0 e^{B(1/T - 1/T_0)}$$

$$T(R) = \frac{1}{\frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right)}$$

- $T_0 = 25^\circ\text{C} \Rightarrow R_0 = 10\text{ k}\Omega \pm 5\%$
- $B = 3977\text{ K}$
- egy új termisztor létrehozásakor a fentiek az alapbeállítások a szoftverben
- amire ügyeljünk:
 - beállási idő
 - önfűtés
 - az érintkezőket védjük
 - jó hőkontaktus

A termisztor bekötése



$$I = \frac{U_{\text{ref}}}{R + R_m}$$

$$U = R \cdot I = U_{\text{ref}} \cdot \frac{R}{R + R_m}$$

$$R = R_m \cdot \frac{U / U_{\text{ref}}}{1 - U / U_{\text{ref}}}$$

$$R_m = 10\text{k}\Omega \pm 1\%$$

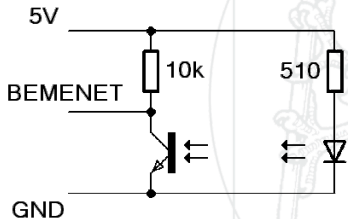
- mérési tartomány: $-40^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C}$
- érzékenység: $0,02^\circ\text{C}$
- kalibrálás nélkül is pontos lehet
- kalibrálás: folyadékban, hiteles külső hőmérővel

Termoelem



- a Seebeck-effektuson alapul: ha két különböző fémből készült vezető két forrasztási pontja közt hőmérsékletkülönbség van, a két pont között potenciálkülönbség is föllép
- erősítés szükséges
- két vezetéknél a műszerhőmérséklet a hidegpont
- három vezetéknél külső hidegpont
- a feszültség nullpontját el kell tolnunk, hiszen nincs negatív feszültségünk

Fotokapu



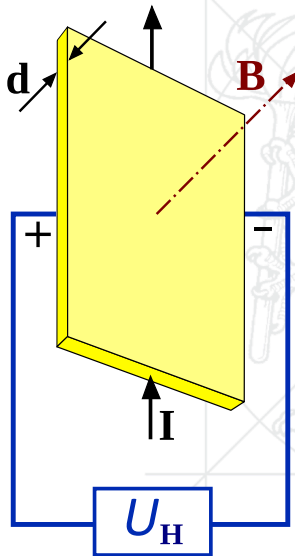
- ha a fényút zárt, nagyobb feszültség
- ha nyitott, kisebb feszültség mérhető
- forrás: infra LED (LD274)
- detektor: fototranzisztor (BPV11F)

Gyorsulásszenzor



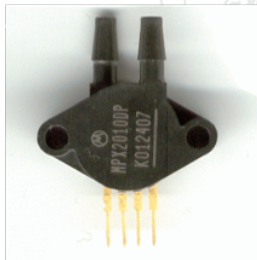
- többtengelyű lehet
- működési elv: lehet kapacitív, amikor a tehetetlenségi erő egy kondenzátor fegyverzetét deformálja, vagy egy gáz sűrűségeloszlása változik a tehetetlenségi erők függvényében (ekkor erősen hőmérsékletfüggő lehet!)
- általában a szabadon eső koordináta-rendszerhez viszonyított gyorsulást adják meg, az álló szenzor g-t jelez
- a többtengelyű szenzorok szög mérésére is alkalmasak lehetnek

Hall-szenzorok



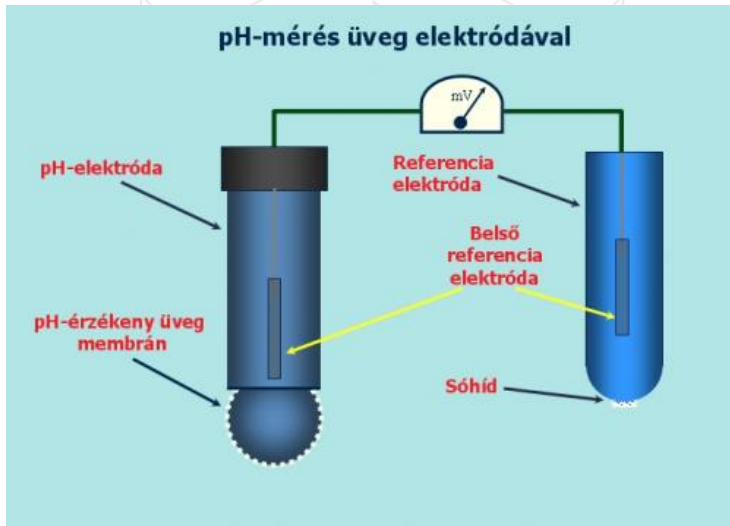
- Hall-effektus: az áramra merőleges mágneses tér a töltéseket eltéríti, így feszültség alakul ki a vezetőben az áramra merőleges irányban
 - a feszültség nagysága a mágneses indukcióval arányos
- ⇒ mágneses indukció mérésére alkalmas
- számos helyen használják távolságmérésre, pozícióérzékelésre (pl autókban)

Nyomásszenzorok



- egy membrán deformációja a nyomáskülönbséggel arányos
- a mérési elv lehet piezorezisztív, kapacitív, induktív, piezoelektromos és optikai
- lehet abszolút és relatív nyomásmérő

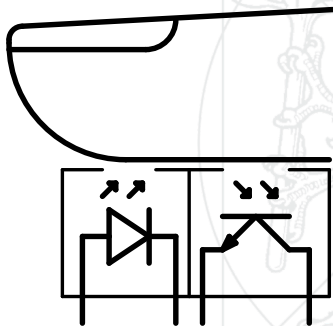
pH-mérő elektróda



pH-mérés

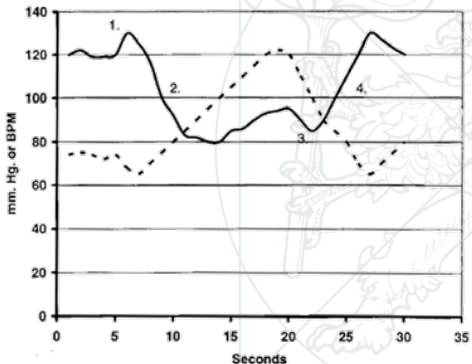
- két elektróda közül egyik közülük pH-érzékeny
- ez az üvegmembránnal ellátott pH-elektroda
- a másik viszont stabil értéket mutat bármilyen pH-értékű oldatban (ez a referenciaelektroda)
- a két elektróda között a pH-értékkel változó potenciálkülönbség alakul ki, amelyet mérhetünk
- pufferoldatokban kell kalibrálni

Pletizmográfia



- infravörös jeladó és detektor, az infravörös transzmissziót méri az ujjbegyen
- a transzmisszió az ujjbegyen lévő vörösvértest-koncentrációval, így közvetve a vérnyomással arányos
- a vérnyomás hiteles mérésére nem alkalmas, viszont a pulzus pontosan kinyerhető belőle, ha szintmetszés-detektálást alkalmazunk

Valsalva-manőver



- erőltetett kilégzés megkísérlése zárt légutak ellenében
- a megnövekedett mellűri nyomás kihajtja a vért a szívből, és akadályozza a visszatérését
- a verőtérfogat lecsökken, a szívritmus megnő