

Eksperimenti sa sistemom za merenje Edaq530

Péter Makra and Júlia Tandori
Version 0.0, 26thMarch 2015

prevod: Tóth Árpád i Olivera Klisurić



Hungary-Serbia
IPA Cross-border Co-operation Programme

**Non-Standard Forms of Teaching
Mathematics and Physics**



The project is co-financed by the
European Union

Sadržaj

Eksperimenti sa sistemom za merenje Edaq530	1
Sistem za merenje Edaq530	3
1.1 Uvod.....	3
1.2 Sadržaj seta	3
1.3 Uputstvo za upotrebu	5
1.3.1 Ulazni konektori.....	5
1.3.2 Program za merenje: pokretanje i osnovne funkcije	6
1.3.3 Nezavisna podešavanja kanala.....	7
1.3.4 Zavisna podešavanja kanala.....	9
1.3.5 Detekcija presecanja nivoa.....	10
1.3.6. Skaliranje i kalibracija	13
1.4 Senzori	15
1.4.1. Fotokapija	15
1.4.2 Ugrađeni fotosenzor.....	16
1.4.3 Termistor.....	16
1.4.4 Hall senzor	17
1.4.5 Senzor pritiska	17
1.4.6 Fotootpornik.....	18
Publikacije.....	19

Sistem za merenje Edaq530

1.1 Uvod

Ovih dana teško da neko može ukazati na sve nove mogućnosti koje se otvaraju upotrebom računara u edukaciji u prirodnim naukama, širenjem granica eksperimenata koje uključuju fenomene koji su bili teški za demonstraciju kao i upotrebom računara kao motivacionog faktora. Proteklih godina, forme edukacije koje podstiču studentske eksperimente su značajno porasle: učenje bazirano na istraživanju (IBL - *enquiry-based learning*, uzimajući u obzir američki pravopis “inquiry”) dobilo je prednost nad tradicionalnom formom edukacije – predavanja, frontalno učenje koje teži da načini studente pasivnim prijemnicima informacija.

Kako bi ove eksperimentalne metode postale uspešne, moderne, praktične, potrebni su eksperimentalni uređaji koji su laki za upotrebu. Iako proizvođači nastavnih sredstava nude nekoliko odličnih rešenja, oni nisu skrojeni za budžet Centralno evropskih škola, i ne obezbeđuju uvek fleksibilnost kako bi kreativan i agiln nastavnik mogao da sprovede svoje ideje.

Sistem za merenje Edaq530 razvijen je u proleće 2010. kako bi odgovarao gore navedenim zahtevima. Prvobitno je distribuiran učesnicima nastavnog treninga, i od tad je postao veoma popularan među nastavnicima fizike koji imaju afinitet ka eksperimentima.

1.2 Sadržaj seta

Glavni element seta je jedinica za akviziciju podataka Edaq530. Ovo je praktično trokanalni uređaj za registraciju napona sa opsegom merenja od 0 - 3.3 V koji se može povezati sa računarom. Uređaj koristi sopstevni drajver, koji interpretira podešavanja merenja napravljena u programu na računaru (Edaq530.exe), sakuplja izmerene podatke i prenosi ih do programa za merenje.

Moderni uređaji za merenje mogu samo da mere direktno napon. To podržava samo mali deo mogućih eksperimenata, ali većina fizičkih veličina se može pretvoriti u napon ili električnu veličinu koja je direktno povezana sa naponom (kao što je struja, otpornost ili kapacitivnost) uz pomoć adekvatnog senzora, i stoga postaje dostupno za ove vrste merenja. Na osnovu formule koja opisuje konverziju veličine u napon, program za merenje koji se koristi na računaru, računa vrednost veličine koju želimo da izmerimo i prikazuje je na ekranu. Ovo je ključ svestranosti digitalnih uređaja: ako želimo da merimo drugu veličinu, potrebno je samo da zamenimo senzor i nekoliko podešavanja u programu, dok uređaj za merenje ostaje isti.

Set za merenje sadrži nekoliko senzora, uz pomoć kojih možemo meriti brzinu, period oscilovanja, magnetno polje, osvetljenost, pritisak i temperaturu. Sadržaj seta je detaljno izložen u tabeli 1.1. Opisaćemo upotrebu pojedinačnih senzora i adekvatnih podešavanja u narednim poglavljima.

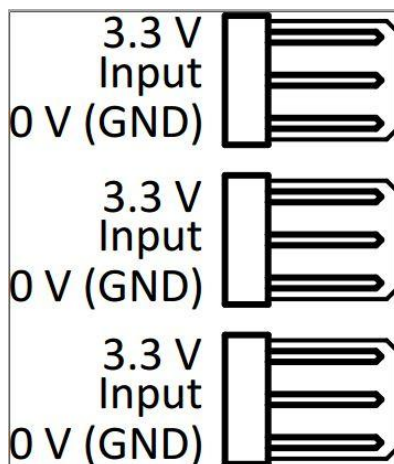
Slika	Uređaj	Količina
	Trokanalni Edaq530 sa USB povezivanjem	1
	USB kabl	1
	Fotokapija	2
	Terimistor	3
	Hall senzor	1
	Senzor pritiska	1
	Fotootpornik	1
	Produžni kabl za senzore	3

Tabela 1.1. Sadržaj seta

1.3 Uputstvo za upotrebu

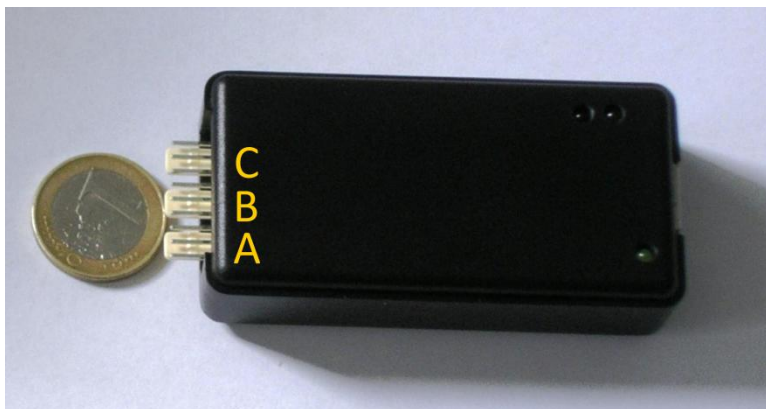
1.3.1 Ulazni konektori

Uređaj za merenje poseduje tri ulazna konektora. Igljice konektora prikazane su na slici 1.1: od tri iglice, jedna predstavlja uzemljenje, druga je napajanje od 3.3 V i treća je ulaz čiji se napon meri. Ulazni signal je napon između 0 i 3.3 V. Senzori u setu su povezani prema rasporedu iglica, ali u slučaju da se koristi neki drugi senzor mora se voditi računa o pravilnom rasporedu konekcija. Kako bi obezbedili pravilnu konekciju, konektori se mogu priključiti samo u određenoj orijentaciji, zbog plastične ivice ispod iglica. Budite svesni ovoga i nemojte gurati na silu konektore ako nisu pravilno orijentisani.



Slika 1.1 Ulazni konektori

Tri ulazna kanala nazvana su A, B i C. Njihov raspored prikazan je na slici 1.2 – kanal A je smešten sa iste strane kao i LED indikator.



Slika 1.2 Raspored kanala

Sa ovim rasporedom kanala možemo meriti naponski signal direktno. Nekoliko senzora (npr. termistor ili fotootpornik) međutim, ne obezbeđuju napon na izlazu, već se njihova otpornost menja u

funkciji merene veličine. U tom slučaju, spajamo senzor u razdelnik napona zajedno sa sondom poznate otpornosti R_p i merimo napon V na krajevima senzora (vidi sliku 1.3).

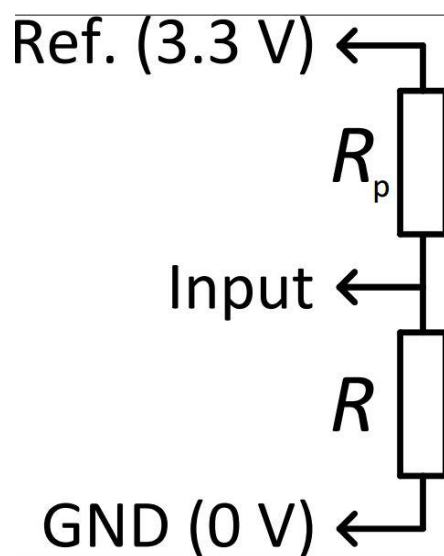
Iz ovog napona V , poznavanjem vrednosti referentnog napona V_{ref} (3.3 V u našem slučaju) i otpornost sonde R_p , možemo odrediti otpornost R senzora:

$$V = V_{ref} \frac{R}{R + R_p} \quad (1.1)$$

$$V(R + R_p) = V_{ref} R \quad (1.2)$$

$$VR + VR_p = V_{ref} R \quad (1.3)$$

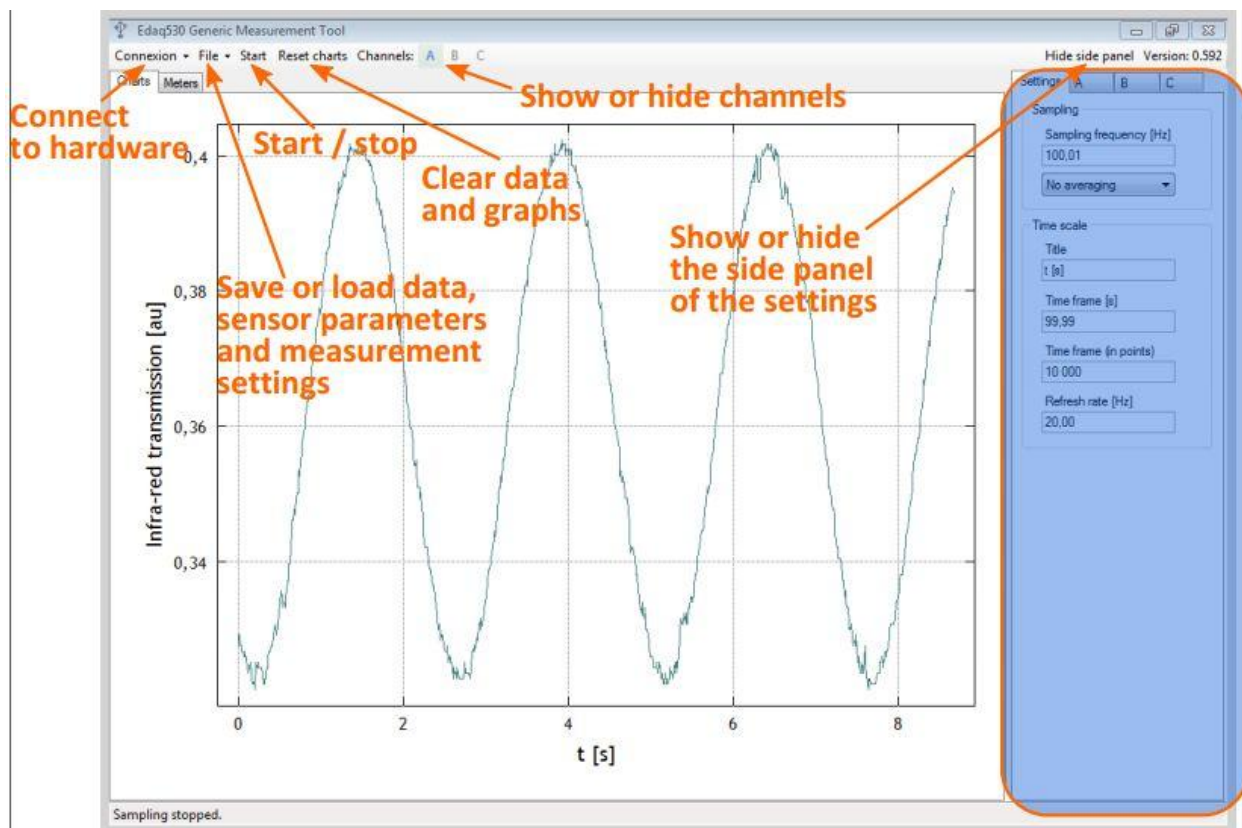
U prethodnim verzijama seta za merenje, sonda otpora R morala je da se spoji eksterno u kolo za merenje, ali u trenutnoj verziji ona je inkorporirana u jedinicu za akviziciju podataka i može spojiti u kolo odabirom opcije *Resistance output* (vidi 1.3.4).



Slika 1.3 Merenje otpora uz pomoć razdelnika napona

1.3.2 Program za merenje: pokretanje i osnovne funkcije

Nakon instalacije potrebnih komponenti, pokrenite fajl Edaq530.exe. Beleška: pre pokretanja programa prvi put, sačekajte da Windows završi instalaciju potrebnih drajvera, jer ćete u suprotnom dobiti poruku o grešci. Sačekajte da se na status baru jedinice za akviziciju pojavi tekst sa sledećim sadržajem (npr. EDAQ530C © 30/06/2010 www.noise.physx.u-szeged.hu). Ako konekcija uređaja nije uspela, isključite USB kabl iz uređaja, pa ga ponovo priključite i odaberite opciju Rescan devices iz menija Connexion (vidi sliku 1.4) ili pritisnite CTR+R. Ako se informacija o verziji pojavi na status baru, konekcij uređaja je ostvarena i spreman je za merenje.



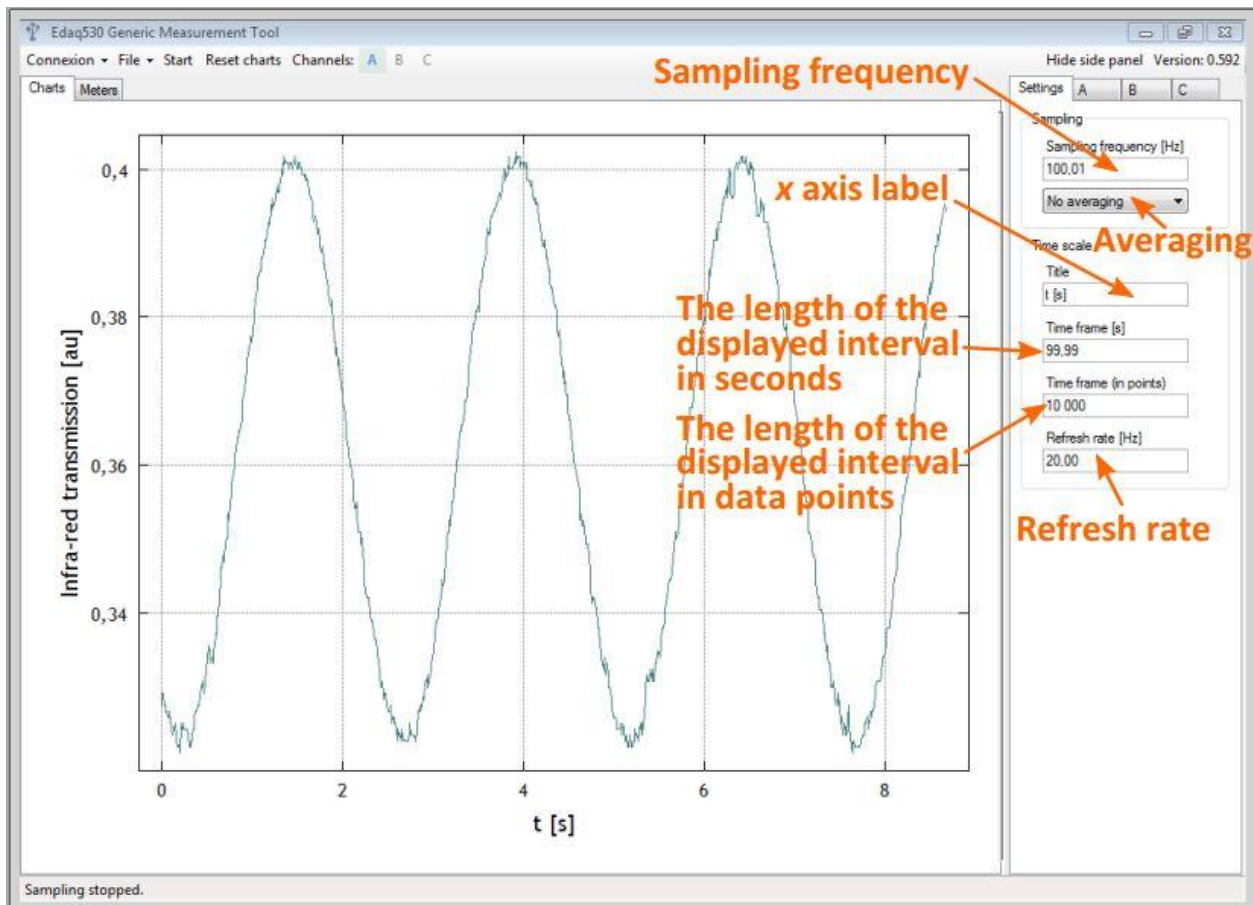
Slika 1.4. Glavni meni

Korišćenjem opcija koje se nalaze u File meniju (vidi sliku 1.12) mogu se eksportovati informacije o skaliranju senzora (Save sensor...) i importovati (load sensor from file...). U istom meniju, postoji opcija da se sačuvaju (save measurment setup...) i da se učitaju (load measurment from file...) podešavanja merenja kao xml file. Podaci merenja (tačnije, 100 000 izmerenih tačaka po kanalu) mogu se sačuvati kao tekstualni fajl korišćenjem opcije Save measurment data... . Dugme Reset charts briše sadržaj i nivo preseka tabela svih kanala bez zaustavljanja merenja. Dugmad pored Channels koriste se za odabir kanala za prikazivanje. Kanal je aktivan ako je oznaka plava na zelenoj pozadini. Dugme Hide/Show side panel sakriva ili prikazuje panel sa strane koji sadrži podešavanja.

Indikator koji zauzima najveći deo ekrana može se koristiti u obliku grafika (Charts) ili u obliku metra (Meters). Željeni mod se može odabrati klikom na odgovarajući tab. Prikazani kanali mogu se selektovati u glavnom meniju kao što je objašnjeno gore, klikom na oznaku željenog kanala.

1.3.3 Nezavisna podešavanja kanala

Dok se interfejs senzora, skaliranje i izgled individualnih kanala podešavaju nezavisno, postoji veliki broj podešavanja, kao što je vreme uzorkovanja, oznaka i osobine x ose i vreme osvežavanja ekrana, koji se primenjuju na sve kanale simultano. Ova podešavanja se mogu naći u Settings tabu na bočnom panelu sa desne strane (vidi sliku 1.5).



Slika 1.5 Nezavisna podešavanja kanala

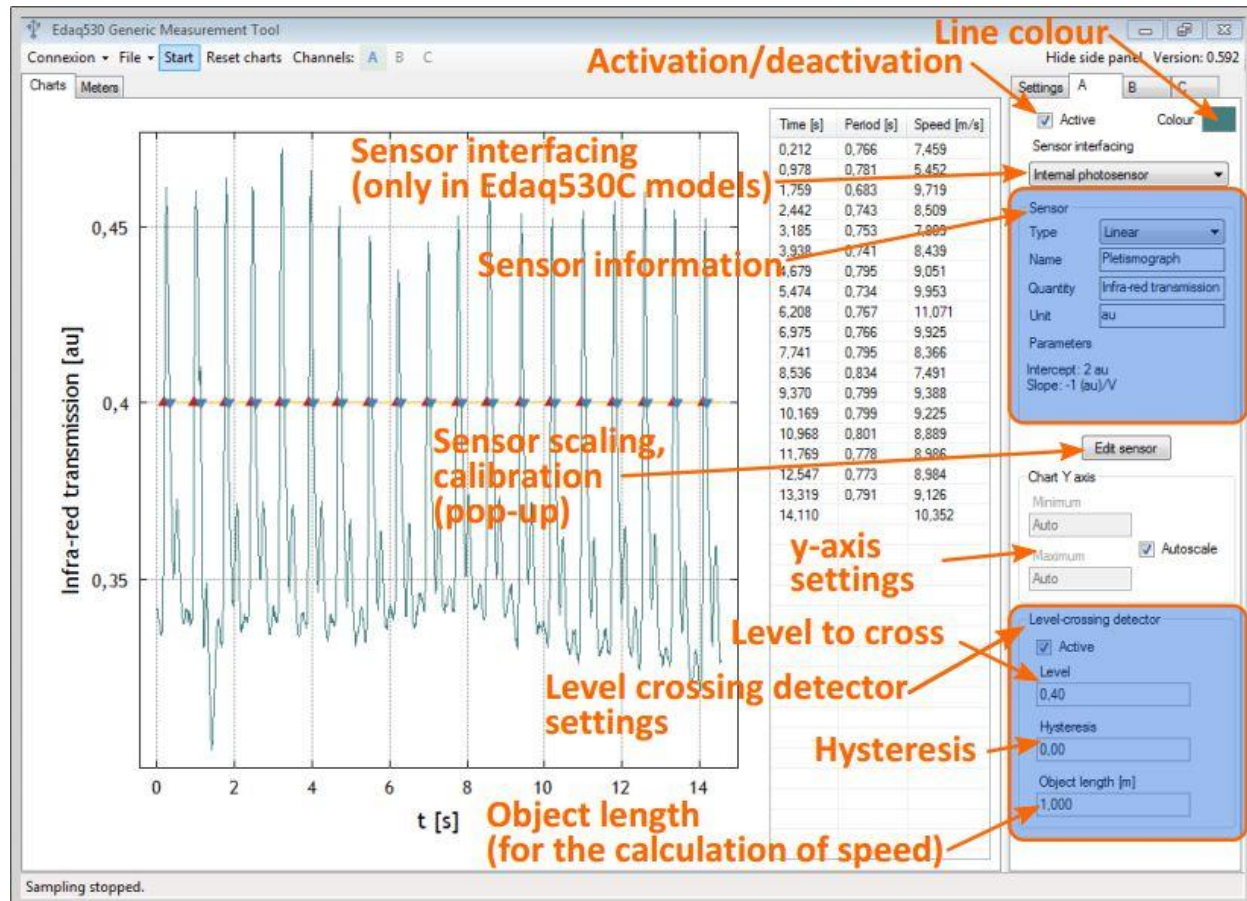
U polju Sampling frequency [Hz] možemo specificirati brzinu uzorkovanja ako je uređaj za akviziju podataka spojen. Ova vrednost nam govori koliko tačaka je sakupeljeno po kanalu u jednoj sekundi. Nakon primene ovog podešavanja, jedinica za akviziciju podataka šalje povratnu informaciju o stvarnoj brzini uzorkovanja jedinice, tako da se prikazane vrednosti mogu malo razlikovati od unete. Ispod toga, nalazi se padajući meni gde možemo odabrati koliko tačaka treba da usrednji jedinica za akviziciju pre slanja rezultata računaru. U polju Title naziv x ose se može podesiti. U poljima Time frame [s] i Time frame (in points) možemo podesiti opseg podataka koji se prikazuje u tabeli. Oba su povezana; u zavisnosti od stvarne frekvencije uzorkovanja, podešavanje jednog polja odrediće vrednost u drugom prema sledećem zakonu:

$$(1.4)$$

gde [...] indukuje zaokruživanje na najbliži ceo broj. Vrednost polja Refresh rate [Hz] određuje koliko puta u jedinici vremena se osvežava ekran. Veće vrednosti obezbeđuju više fluidnosti, manje isprekidan dispaj, ali opterećuju računar više, tako da ako imamo slabiju konfiguraciju, poželjno je postaviti nižu vrednost. Prihvaćene vrednosti se kreću od 0.1 Hz do 100 Hz.

Brzina uzorkovanja i usrednjavanja može se podesiti ako merenje nije u toku (tokom merenja ove kontrole nisu dostupne), dok se ostali parametri mogu menjati tokom merenja.

1.3.4 Zavisna podešavanja kanala



Slika 1.6 Zavisna podešavanja kanala

Individualnim podešavanjima kanala može se pristupiti klikom na tab u osnovi oznake kanala (A, B ili C). Podešavanj sva tri kanala su veoma slični, iako su neka podešavanja dostupna samo za dati kanal.

Korišćenjem Active boksa, signal datog kanala se može prikazati ili sakriti u obliku tabele ili metra. Efekat ovog boksa je ekvivalentan oznaci u Channels: regionu glavnog menija. Colour dugme daje paletu za izbor boja gde možemo podesiti boju kojom će se signal datog kanal prikazati. Padajući meni Sensor interfacing podešava način na koji je senzor spojen i evaluiran. Ovaj padajući meni je dostupan samo na modelu Edaq530C. Opcije su sledeće:

- Voltage output. Dostuna je za sve kanale. Najjednostavniji metod merenja: jedinica za akviziju podatka direktno uzorkuje ulazni napon.
- Resistance output. Dostupan za sve kanale. Koristimo ga za senzore čija se otpornost menja u funkciji merene veličine (kao termistor). Kada se odabere ova opcija, jedinica za akviziciju podataka spaja senzor u razdelnik napona zajedno sa otporom poznate otpornosti, stoga merenjem napona na krajevima senzora možemo odrediti otpornost senzora i preko nje vrednost merene veličine. Glavna prednost je da se razdelnik napona nalazi unutar jednice za akviziciju, tako da se senzor može direktno spojiti na ulaz uređaja.

- Internal photosensor. Dostupan samo za kanal A. Kada se odabere, kanal A meri signal ugrađenog fotosenzora umesto spoljašnjeg signala.
- Voltage difference. Dostupan samo za kanal B. Kada je odabran, signal u kanalu B je diferencijalni signal (odnosno razlika napona) između ulaza B i C. Koriste se za senzore koji imaju diferencijalni izlaz (npr. termoparove). Set za merenje ne sadrži senzore koji zahtevaju takav interfejs.
- Wheatstone bridge. Dostupan samo na kanalu B. Kad se odabere, Vitstonov most se stvara između ulaza B i C, povećavajući osetljivost merenja. Koristi se za određene senzore (kao što su senzori pritiska). Set za merenje ne sadrži senzore koji zahtevaju takav interfejs (uključeni senzor pritiska daje napon na izlazu i može se koristiti sa Voltage output podešavanjem).

U bloku Sensor možemo podesiti skaliranje senzora. U padajućem meniju Type, možemo birati između tri tipa skaliranja:

- Linear. Za senzore koji imaju linearnu vezu između direktno merenog napona i veličine koja se treba dobiti. Prirodno, u ovom slučaju možemo podesiti dva parametra: Slope i Intercept linije koja opisuje vezu.
- Thermistor. Za većinu tipova termistora, čija otpornost se može aproksimovati kao eksponencijalna funkcija temperature. Dva osnovna parametra su Characteristic resistance merena na sobnoj temperaturi i B coefficient koji karakteriše temperaturnu zavisnost.
- Photoresistor. Za fotootpornike čija otpornost prati eksponencijalnu funkciju temperature. Tri osnovna parametra su Characteristic intensity, Characteristic resistance i Exponent.

Korišćenjem polja Name, možemo dati ime senzoru; u polju Quantity, možemo specificirati simbol merene veličine – ovo će se pojaviti kao oznaka y ose. Polje Unit dozvoljava da se unese merna jedinica – ovo će se pojaviti kao oznaka y ose. Parametri skaliranja senzora mogu se numerički specificirati u prozoru koji se pojavi nakon pritiska na dugme Edit sensor. Ako oni nisu poznati (npr. iz podataka o senzoru), možemo primeniti kalibraciju u istom prozoru. Oba i Sensor interfacing i kontrole senzora su aktivne samo ako nije merenje u toku; u toku merenja nisu dostupni.

U bloku Chart Y axis možemo podesiti y osu grafika koji pripada datom kanalu. Ako je uključeno Autoscale, polja Minimum i Maximum nisu aktivna. Isključivanjem Autoscale ova polja se aktiviraju i može se specificirati minimum i maksimum.

U bloku Level-Crossing detector, osobine ukrštanja detektora mogu se definisati. Active uključuje detekciju ukrštanja nivoa. U aktivnom stanju, pojavljuje se tabela sa ukrštanjem nivoa sa desne strane grafika (vidi sliku 1.10). Polje Level podešava ukrštanje koje treba da se detektuje, polje Hysteresis reguliše širinu opsega histerezisa, koja se primenjuje da bi se izbeglo ukrštanje nivoa uzrokovanih šumom, dok polje Object length [m] specificira dužinu ili širinu objekta koji preseca putanju svetlosti. Princip detekcije presecanja nivoa i njegove parametre diskutovaćemo u sledećem odeljku.

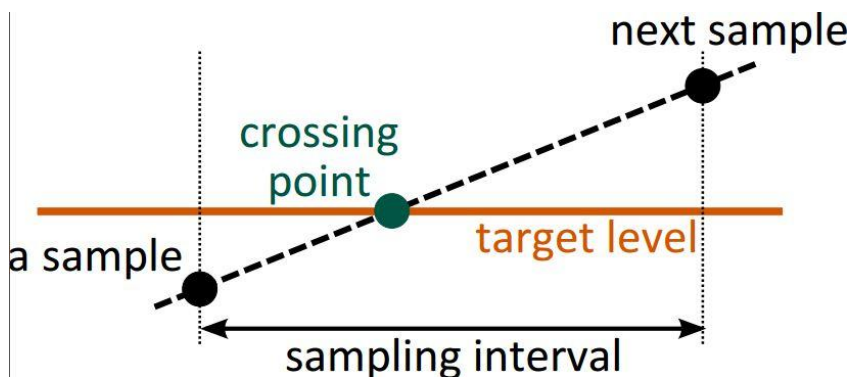
1.3.5 Detekcija presecanja nivoa

U nekoliko slučajeva potrebno je odrediti trenutak u kojem se dogodio događaj i vreme koje je proteklo do sledećeg sličnog događaja (npr. period oscilovanja). Najlakši način da se ovo postigne je da se postavi nivo i da se snimi moment u kojem se signal povećao ili smanjio iznad datog nivoa. U odnosu na

poslednje, možemo razlikovati presecanje nagore i nadole, što nam dozvoljava da odredimo brzinu objekta koji je podložen signalu fotokapije. Signal je oko 0 V kada ništa ne blokira put svetlosti i raste približno do napona napajanja kada obejekat preseca ovu putanju. Kao posledicu, momenat kada je objekat ušao u vidno polje fotokapije je zabeleženo kao presecanje nagore, dok sledeće presecanje nadole odgovara momentu u kojem suprotni kraj objekta napušta putanju svetlosti. Ako podelimo dužinu objekta razlikom vremena između presecanja nagore i vremena sledećeg presecanja nadole možemo dobiti srednju brzinu objekta za interval prolaska kroz fotokapiju:

$$\text{—————} \quad (1.5)$$

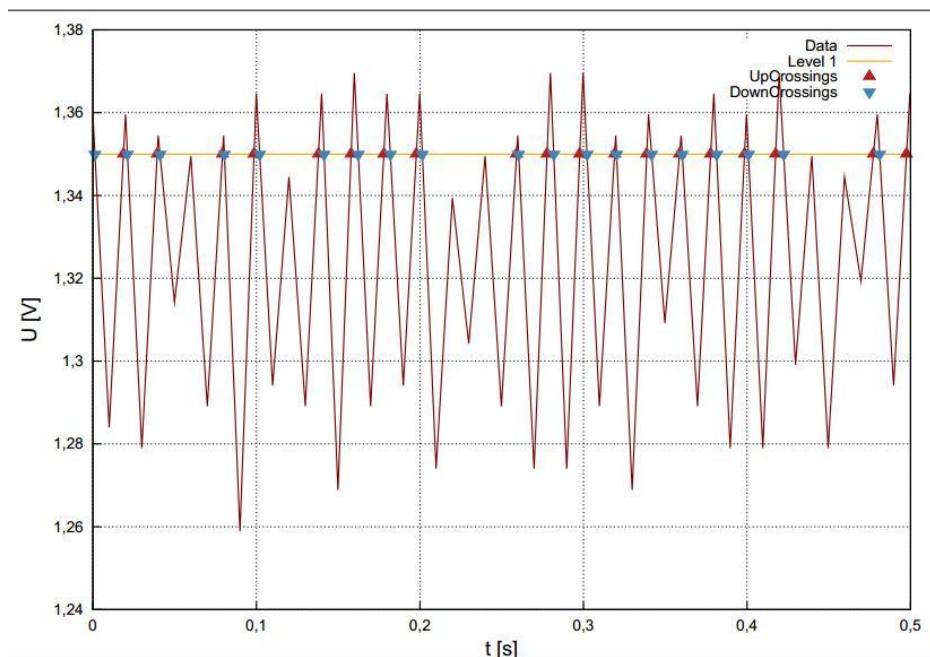
Na slici 1.7 možemo videti princip detekcije presecanja nivoa. Kako možemo odrediti trenutak neposredno pre i posle presecanja nivoa, potrebna je linearna interpolacija da procenimo kada se dogodio.



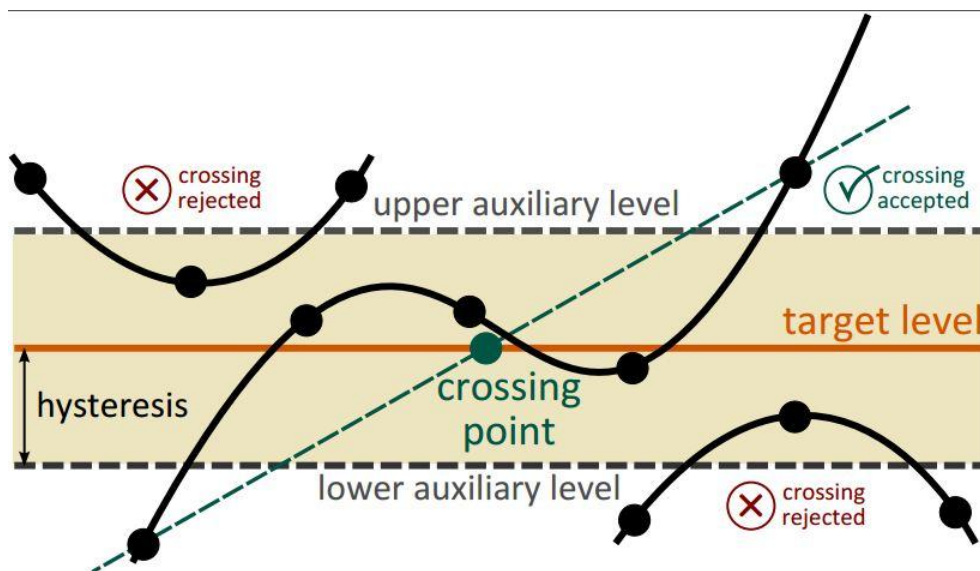
Slika 1.7. Jednostavna šema presecanja nivoa

Šum kod merenog signala može rezultovati lažnim presecanjem nivoa (vidi sliku 1.8). Kako bi izbegli ovo, dodata je jednostavna šema prikazana histerezisom. U šemi presecanja nivoa sa histerezisom, razmatramo samo događaj koji će preseći nivo samo ako signal ulazi u region histerezisa i prolazi bez izlaska iz njega. Vreme presecanja nivoa je određeno iz trenutaka neposredno pre i posle presecanja uz pomoć linearne interpolacije. Princip ove metode ilustrovan je na slici 1.9.

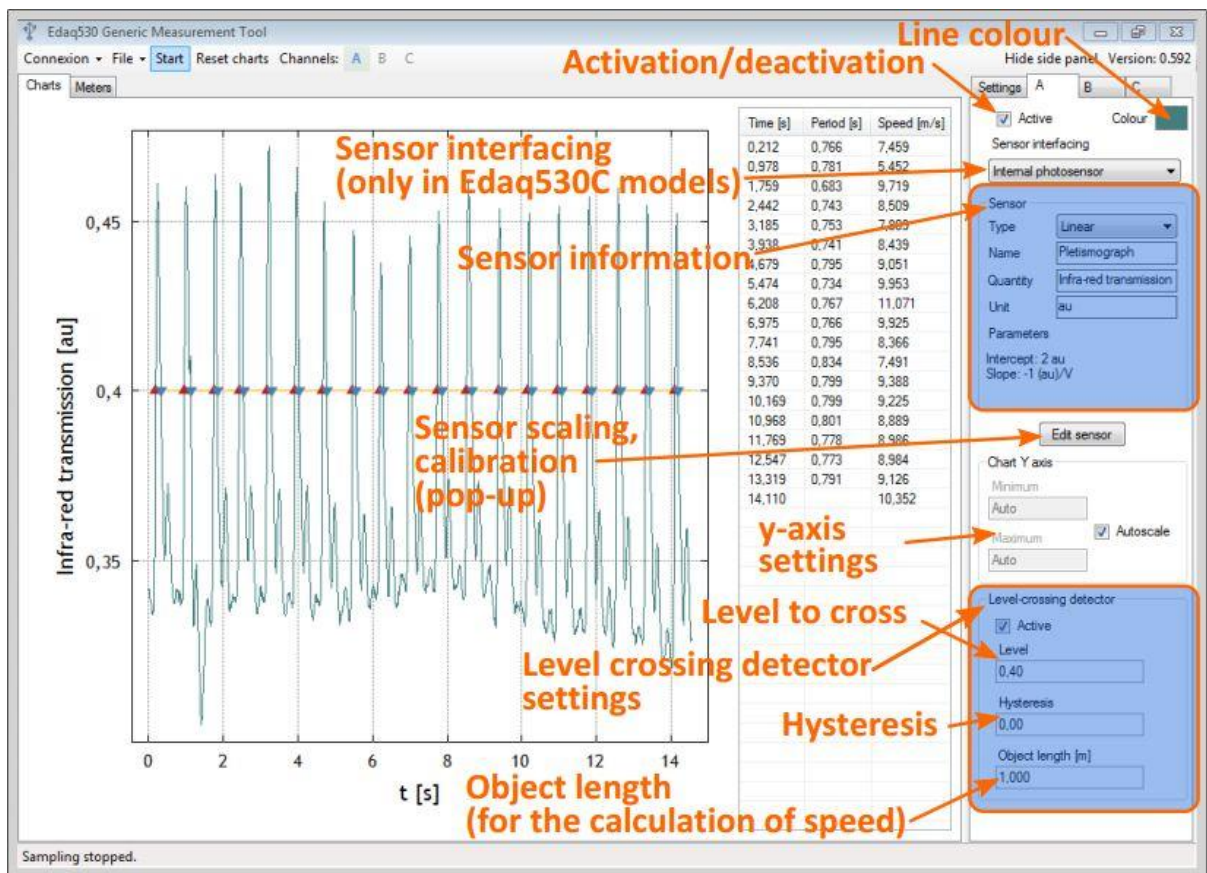
Ako je uključena detekcija presecanja nivoa za dati kanal, tabela za presecanje nivoa se pojavljuje desno od odgovarajućeg grafika (vidi sliku 1.10). Prva kolona ove tabele (Time [s]) sadrži vreme presecanja nagore, srednja kolona (Period [s]) prikazuje proteklo vreme do sledećeg presecanja nagore, dok treća kolona (Speed [m/s]) prikazuje izračunatu srednju brzinu iz Object length [m] i vremena između dva susedna presecanja nagore i nadole, prema jednačini 1.5. U context meniju, komanda Copy content to clipboard nam omogućava kopiranje sadržaja tabele presecanja nivoa u clipboard,, dok komanda Clear briše tabelu presecanja nivoa bez brisanja grafika.



Slika 1.8. Efekat šuma na presanje nivoa



Slika 1.9. Šema presecanja nivoa sa histerezisom



Slika 1.10. Tabela presecanja nivoa

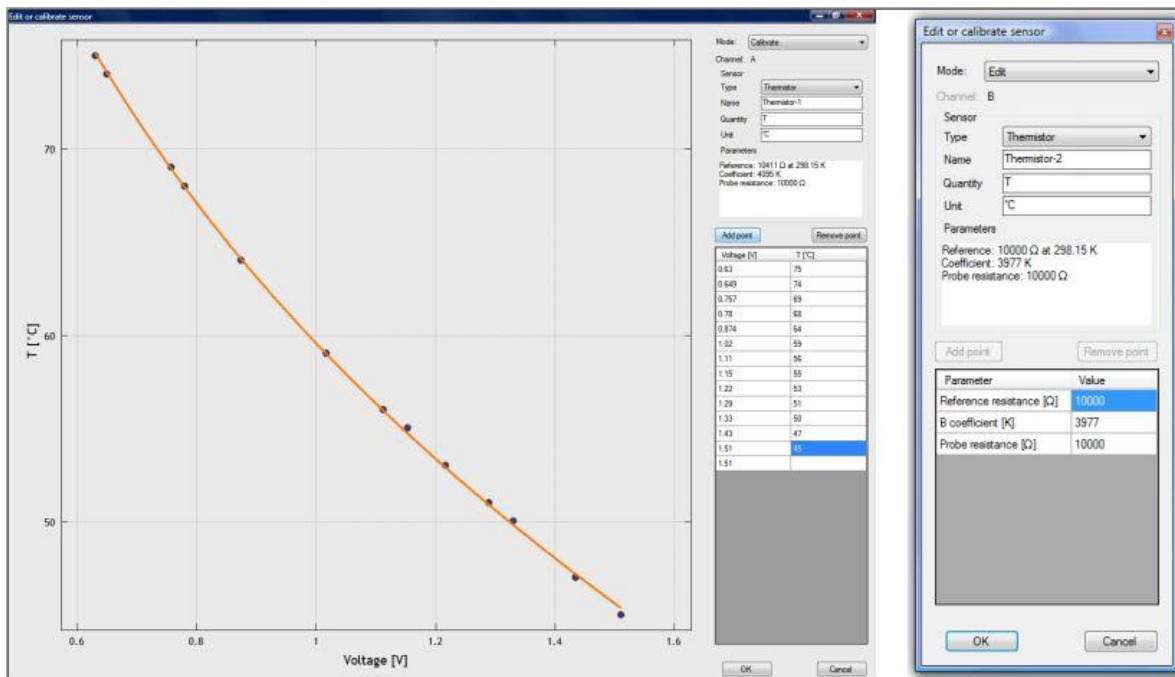
1.3.6. Skaliranje i kalibracija

Kao što je rečno, priključivanje odgovarajućeg senzora omogućava da jedinica za akviziciju, koja može da registruje samo napon, meri skoro sve fizičke veličine. U cilju da se izračunaju vrednosti veličine koja nas zanima i napona, potrebno je da znamo funkciju koja povezuje ove veličine, zajedno sa odgovarajućim parametrima. Edaq530 implementira tri tipa skaliranja: Linear, Thermistor i Photoresistor. Odgovarajuće skaliranje se može odabrati iz padajućeg menija Type iz Sensor bloka. Parametri odabranog skaliranja se mogu podesiti u prozoru koji se pojavljuje ako pritisnemo dugme Edit sensor. U istom prozoru, možemo izvesti i kalibraciju (vidi sliku 1.11).

Kalibracioni prozor ima dva moda: mod direktnog podešavanja parametara (Edit mode) i Calibration mode. Možemo birati između ova dva moda iz padajućeg menija Mode u vrhu prozora. U oba moda, polja u prozoru glavnog merenja su dostupna, a možemo naći i tabelu koja nam omogućava da detaljno podesimo parametre senzora. U Edit mode-u, direktno možemo uneti parametre karakteristične za dati senzor, ako su oni poznati, dok u Calibration mode-u možemo zabeležiti parove izmeren napona i željene veličine potrebne za kalibraciju. Prva kolona tabele je samoočitavajuća, a u drugu mi možemo uneti vrednosti.

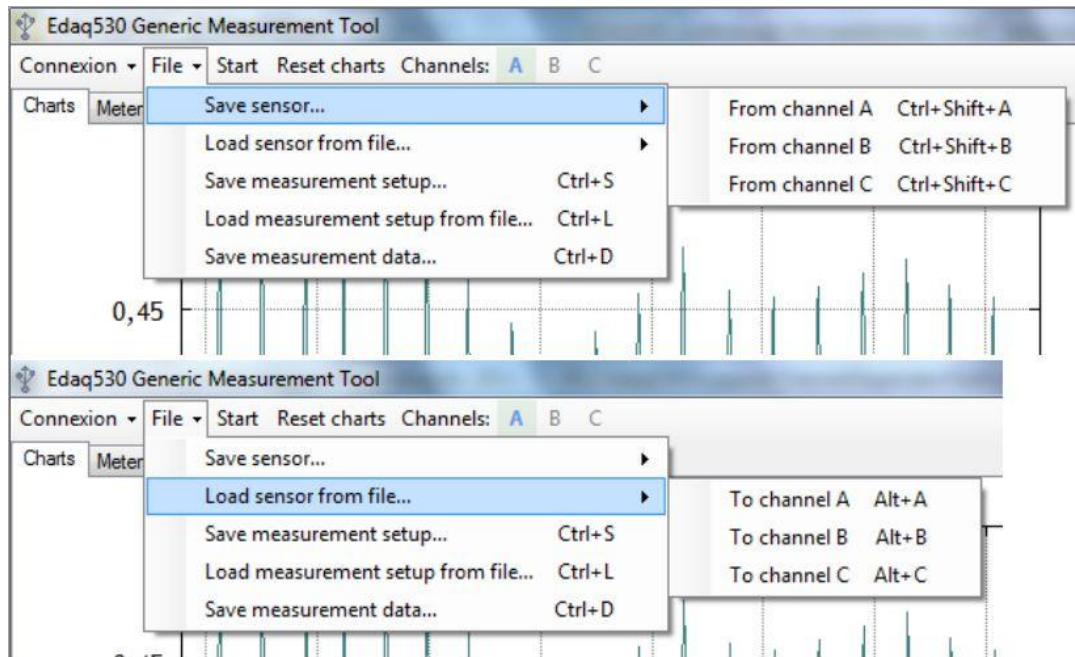
Tokom kalibracije, želimo da odredimo parametre skaliranja pridruživanjem vrednosti napona prikazane jedinicom za akviziciju podataka u trenutku kad je željena veličina izmerena nezavisnim uređajem za merenje (npr. u slučaju termistora, živinim termometrom). Prvi je automatski zabeležen u

prvoj koloni, dok se drugi unosi u drugu kolonu. Takav par podataka može se dodati kalibracionim podacima pritiskom na dugme Add point. Ako kalibracioni podaci sadrže bar dva takva para podataka, kalibraciona kriva će se pojaviti na levoj strani grafika izmerenih vrednosti i teoretska kriva bazirana na parametrima koja daje najbolji fit. Ova kriva se osvežava svaki put kada se doda novi kalibracioni par. Ako nađemo podatak koji odstupa, možemo ga obrisati selektovanjem reda i klikom na dugme Remove point. Ako pritisnemo OK, određeni parametri skaliranja fitom će se prihvatiti kao novi parametri senzora. Program koristi metodu najmenjeg kvadrata za fitovanje krive podacima: ovo je jednostavno za linearno skaliranje, dok je za termistore i fotootpornike, skaliranje je eksponencijalno, tako da se može linearizovati sa logaritamskom funkcijom a zatim se može primeniti isti metod regresije.

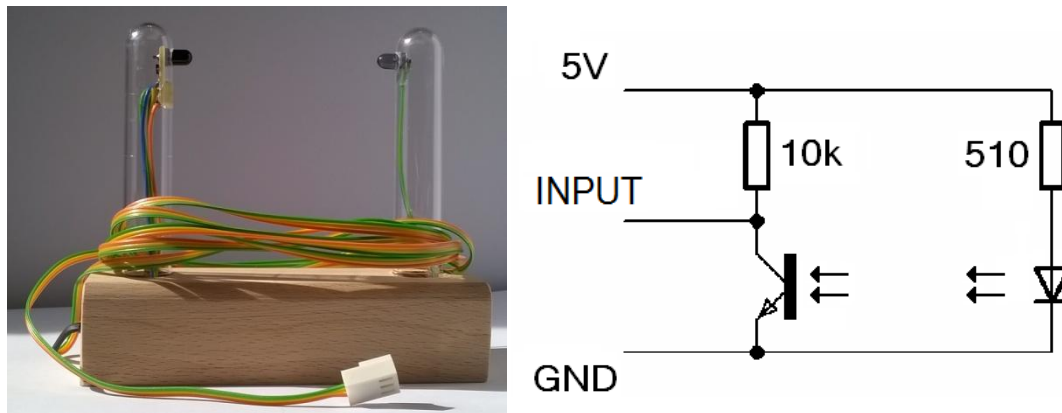


Slika 1.11. Kalibraciona kriva

Kao što je rečeno, podešavanja senzora se mogu eksportovati i importovati u svaki kanal korišćenjem odgovarajuće opcije iz File menija (vidi sliku 1.12). Celokupno podešavanje merenja se može sačuvati i učitati iz istog menija. U ovom slučaju, ne samo skaliranje senzora ali i druga podešavanja (kao što je širina vidljivog opsega, odabir kanala, brzina uzorkovanja, brzina osvežavanja, i dr) se mogu sačuvati.



Slika 1.12. Eksport i import parametara senzora i podešavanja merenja



Slika 1.13. Fotokapija (levo) i odgovarajući dijagram kola (desno)

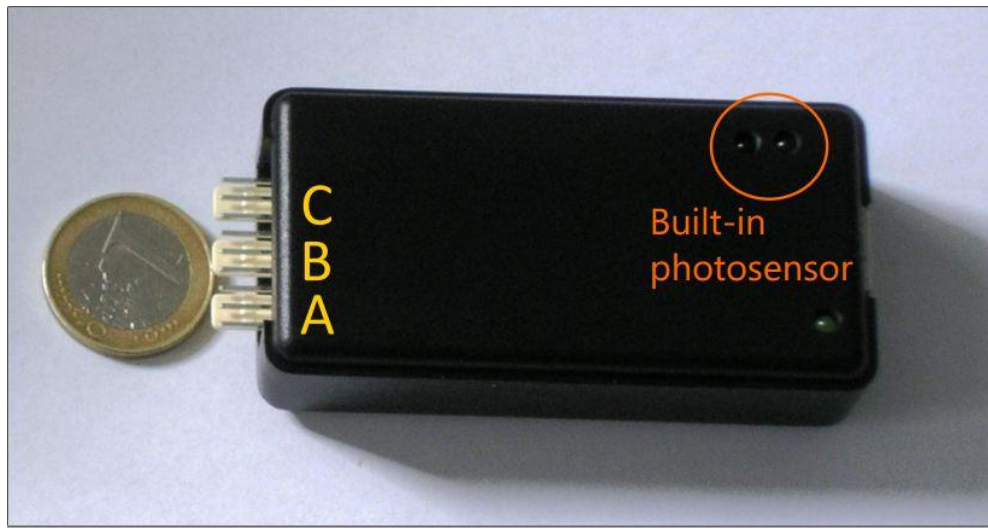
1.4 Senzori

1.4.1. Fotokapija

Odgovarajuća podešavanja u programu za merenja:

- Kanal: bilo koji
- Sensor interfacing: Voltage output
- Sensor Type: Linear
- Parametri skaliranja: bilo koji (samo je vremenska osa bitna)

1.4.2 Ugrađeni fotosenzor

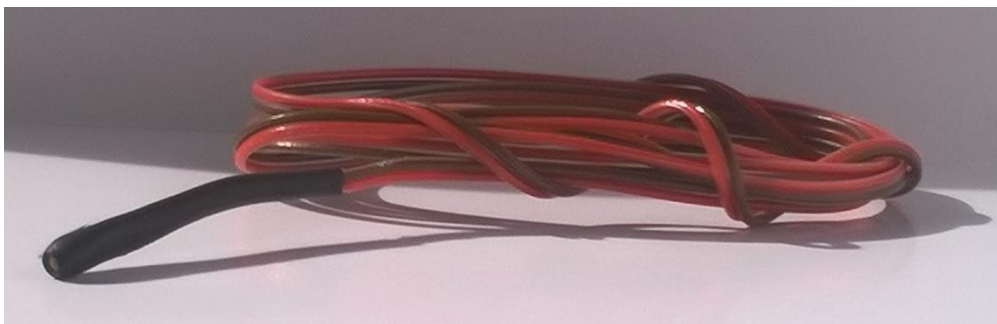


Slika 1.14. Ugrađeni fotosenzor

Odgovarajuća podešavanja u programu za merenja:

- Kanal: samo A
- Sensor interfacing: Internal photosensor
- Sensor Type: Linear
- Parametri skaliranja: bilo koji (samo je vremenska osa bitna)

1.4.3 Termistor



Slika 1.15. Termistor

Odgovarajuća podešavanja u programu za merenja:

- Kanal: bilo koji
- Sensor interfacing: Resistance output
- Sensor Type: Thermistor
- Parametri skaliranja:
 - Characteristic resistance = 10 000 Ω
 - B coefficient = 3977 K

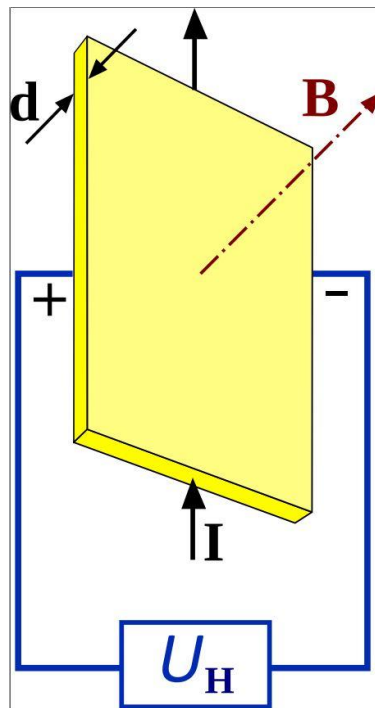
1.4.4 Hall senzor



Slika 1.16. Hall senzor

Odgovarajuća podešavanja u programu za merenja:

- Kanal: bilo koji
- Sensor interfacing: Voltage output
- Sensor Type: Linear
- Parametri skaliranja: određuju se kalibracijom



Slika 1.17. Hall-ov efekat

1.4.5 Senzor pritiska

Odgovarajuća podešavanja u programu za merenja:

- Kanal: bilo koji
- Sensor interfacing: Voltage output

- Sensor Type: Linear
- Parametri skaliranja: određuju se kalibracijom



Slika 1.18. Senzor pritiska

1.4.6 Fotootpornik



Slika 1.19. Fotootpornik

Odgovarajuća podešavanja u programu za merenja:

- Kanal: bilo koji
- Sensor interfacing: Resistance output
- Sensor Type: Photoresistor
- Parametri skaliranja:
 - Eksponent = -0.65
 - Characteristic intensity = 10.76 lux
 - Characteristic resistance = 17 k Ω

Publikacije

- [1] Zoltán Gingl and Katalin Kopasz. High resolution stopwatch for cents. *Physics Education*, 46:430-432, 2011. <http://arxiv.org/abs/1102.2006>.
- [2] Kopasz K, Gingl Z, Makra P and Papp K. A virtuális mérés technika kísérleti lehetőségei a közoktatásban. *Fizikai Szemle*, LVII:267-270,2008.
- [3] Kopasz Katalin. Számítógéppel segített mérőkísérletek a természettudományok tanításához. PhD thesis, Szegedi Tudományegyetem, 2013.
- [4] Kopasz Katalin, Makra Péter, and Gingl Zoltán. High resolution sound card stopwatch extends school experimentation. *Acta Didactica Napocensia*, 5(2),2012. http://dppd.ubbcluj.ro/adn/article_5_2_7.pdf.
- [5] 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(2):491-504, 2011. <http://arxiv.org/abs/1009.0432>.
- [6] Gingl Zoltán, Mingesz Róbert Zoltán, Makra Péter, and Mellár Janós Zsolt. Review of sound card photogates. *European Journal of Physics*, 32(4), 2011. <http://arxiv.org/abs/1103.1760>.