

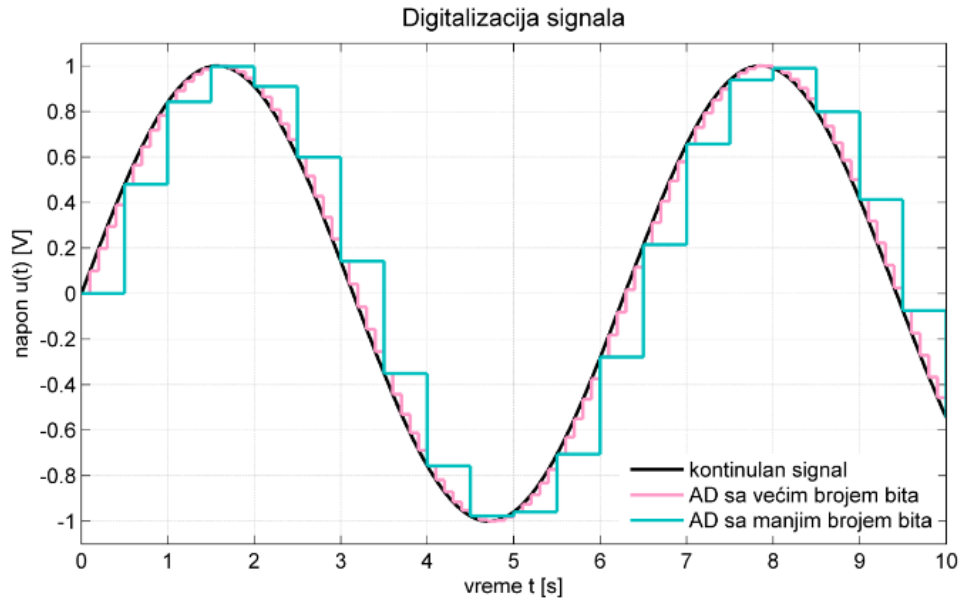
Merni sistemi u računarstvu, <http://automatika.etf.bg.ac.rs/sr/13e053msr>

Digitalni merni instrumenti

Dr Nadica Miljković, redovna profesorka
kabinet 68, nadica.miljkovic@etf.bg.ac.rs

Prezentacija za ovo predavanje je delimično pokrivena udžbenikom N. Miljković:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1335249> iz kog je i preuzeta većina slika, koje su prikazane u ovoj prezentaciji

Digitalni signal



- Da bi se signalom manipuliralo na digitalnom instrumentu ili računaru, potrebno je digitalizovati signal.
- Digitalizacija signala obuhvata:
 - diskretizaciju po vremenu (uzorkovanje, odabiranje, eng. *sampling*) i
 - diskretizaciju po amplitudi / kvantizaciju.

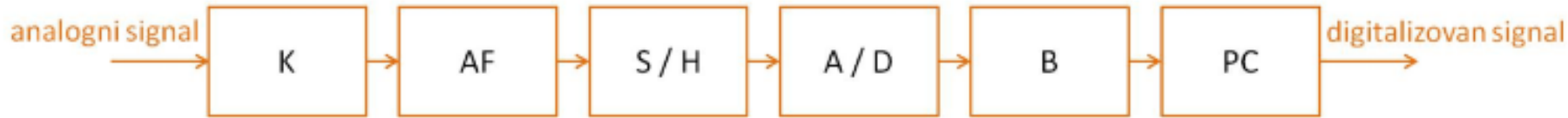
Frekvencija odabiranja/diskretizacija po vremenu

- Vremenski trenuci, u kojima se meri amplituda su najčešće raspoređeni ekvidistantno, odnosno ravnomerno.
- Vremenski interval između dva merenja, naziva se perioda odabiranja ΔT . Za periodu odabiranja, definiše se i frekvencija odabiranja $f_s = 1 / \Delta T$.
- Jedinica za f_s je Hz, ali je tačnije S/s (eng. *samples per second*).
 - Nekada se koriste Ss ili SPS skraćenice.
- Koliko često treba odabirati / uzorkovati neku veličinu?
 - Na primer: temperaturu u prostoriji?
 - Na primer: zvuk u prostoriji?
- Odgovor na prethodno pitanje daje Nikvist-Šenon-Koteljnikova teorema.

Nikvist-Šenon-Koteljnikova (NŠK) teorema

- NŠK teorema definiše minimalan broj odbiraka, odnosno minimalnu f_s , kako bi se signal diskretizovao bez gubitaka u vremenu.
- Prema teoremi: $f_s \geq 2f_m$, gde je f_m najveća frekvencija u signalu koji se diskretizuje.
 - Najčešće, u praksi, se bira faktor koji nije 2, već u opsegu od 5 do 10.
- Greške koje mogu nastati u rekonstrukciji signala, a rezultat su “premalog” broja odabranih uzoraka, odnosno odabrane f_s , koja ne zadovoljava NŠK teoremu se nazivaju alajzing efekat (eng. *aliasing*).

A/D konverzija

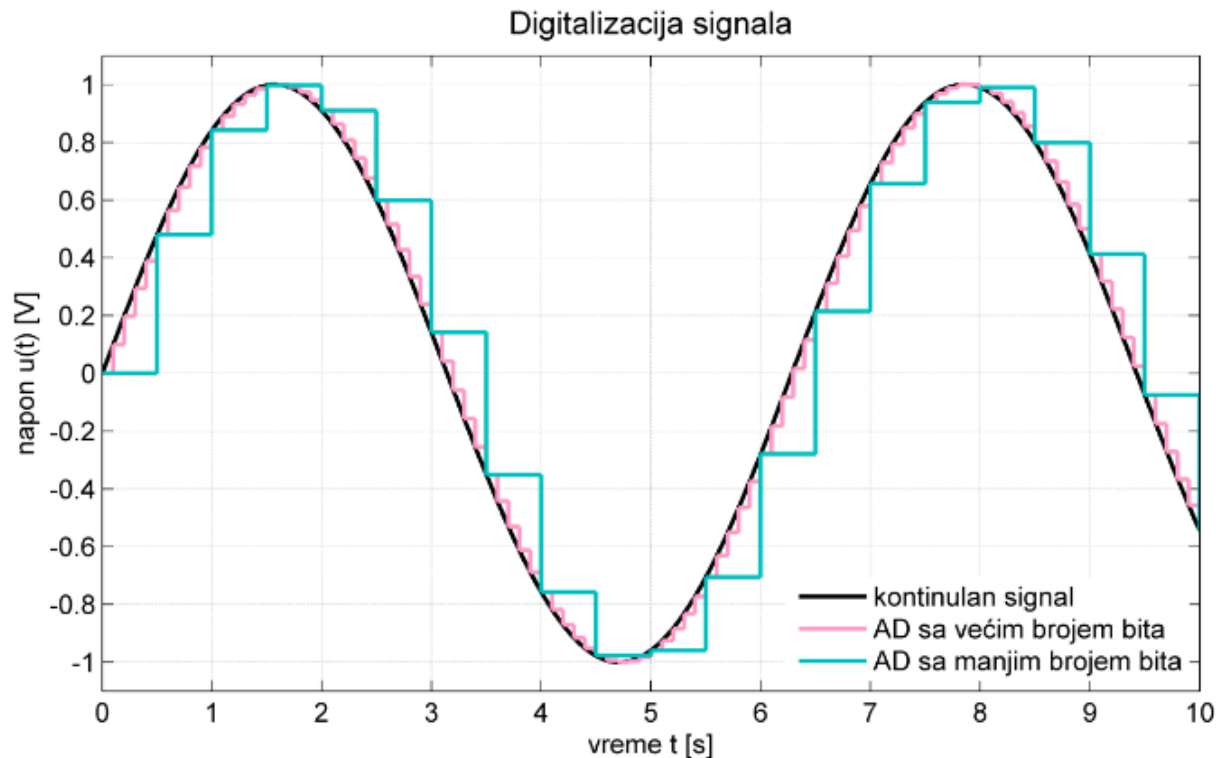


- U kolima analogno-digitalne konverzije (eng. *Analog to Digital Conversion*, A/D, ADC) se često koristi *anti-aliasing* filter, kako bi se sprečila distorzija signala.
- Blok šema uređaja za merenje signala je prikazana na slici i uključuje: K (predobrada, kondicioniranje signala), AF (*anti-aliasing* filter), S/H (pamti i prati kolo, *sample & hold*), A/D, B (bafer) i PC (eng. *Personal Computer*).

Diskretizacija po amplitudi

- Cilj diskretizacije po amplitudi je da se amplituda kontinualnog signala preslika u jednu vrednost iz diskretnog skupa signala.
- Ovo dodeljivanje / preslikavanje se vrši u trenucima, koji su određeni frekvencijom odabiranja.
- Rezolucija A/D konverzije određena je brojem bita.
 - Na primer A/D konverzija sa rezolucijom od 10 bita, znači da diskretni skup amplituda sadrži 2^{10} kvantizacionih nivoa.

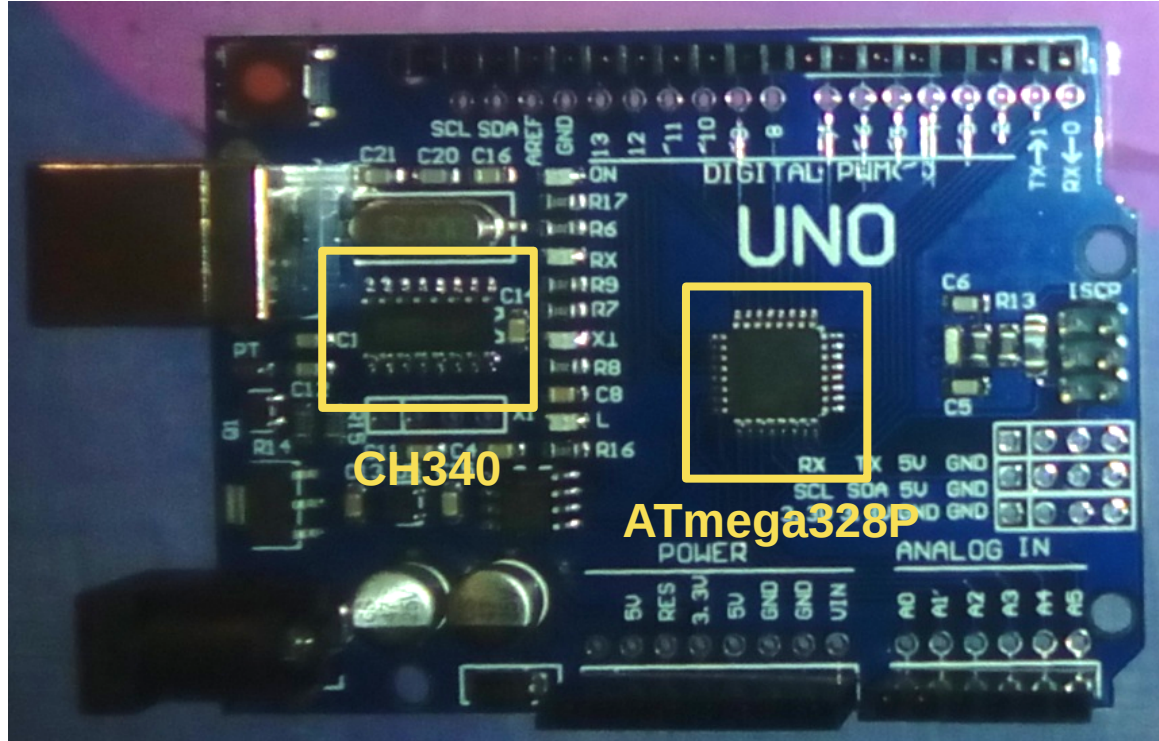
Rezolucija A/D konvertora



Greška kvantizacije

- Ako su sa x_q i sa x_{tacno} označene diskretizovana i tačna vrednost amplitude, onda je moguće definisati apsolutnu e_A i relativnu grešku kvantizacije e_R .
 - $e_A = |x_q - x_{tacno}|$
 - $e_R = (x_q - x_{tacno}) / x_{tacno}$
- Tipično, broj bita je predstavljen kao stepen broja 2, pa su uobičajene vrednosti na primer, 8, 16 i 32.
- Ako je Δx rezolucija konvertora (korak kvantizacije), onda za apsolutnu grešku kvantizacije e_A , važi sledeća relacija:
 - $-\Delta x/2 \leq e_A \leq \Delta x/2$

Greška kvantizacije (UNO R3)



- Na internet stranici predmeta se nalazi uputstvo za instalaciju Arduino softvera.
- U skripti se pominje čip CH340 za serijsku komunikaciju.
- Na UNO R3 pločici se nalazi i ATmega328P čip, koji je "srce" UNO R3 pločice, odnosno mikrokontroler.
- Ovaj čip u sebi sadrži ADC (eng. *Analog-to-Digital Converter*).
- *Datasheet* za ATmega328P se može naći na internetu.

Greška kvantizacije (UNO R3)

- U uputstvu za ATmega328P se može pročitati:
 - da je rezolucija AD konverzije jednaka 10 bita, a
 - da je maksimalna frekvencija odabiranja jednaka 15 kSPS (kilo eng. *samples per second*).
- Dodatno, maksimalni napon, koji se može meriti je 5 V (od 0 do 5 V) preko UNO R3 pločice.
- Ovi podaci uzrokuju sledeća ograničenja:
 - Ovo dalje znači, da je korak kvantizacije $5 \text{ V} / 2^{10} = 4.88 \text{ mV}$, pa je apsolutna greška u opsegu: $-2.44 \text{ mV} \leq e_A \leq 2.44 \text{ mV}$.
 - Kod pojedinih A/D konvertora, moguće je promenom opsega povećati rezoluciju i smanjiti grešku kvantizacije – više na vežbama.
 - Obzirom da postoji 6 analognih kanala na UNO R3 pločici, maksimalna frekvencija odabiranja na svakom od njih je $15 \text{ kHz} / 6 = 2.5 \text{ kHz}$. Ovo je jedinica po kanalu (ako se koristi svih 6 kanala). Ako se koriste tri kanala, tada je maksimalna frekvencija odabiranja $15 \text{ kHz} / 3 = 5 \text{ kHz}$.

A/D konverzija ukratko

Analogno-digitalni (A/D), https://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter konvertori se koriste u mernim sistemima, koji su zasnovani na primeni računara.

Deo su sistema za akviziciju podataka, https://en.wikipedia.org/wiki/Data_acquisition, koja uključuje i senzore za merenje signala i elektronska kola za kondicioniranje signala. U nekim slučajevima, senzori na svom izlazu daju digitalne signale.

A/D konverzija uključuje kvantizaciju signala (diskretizacija po amplitudi) i odabiranje signala (diskretizacija po vremenu):

1. Kvantizacija signala uvek unosi neku grešku i određuje rezoluciju merenja u ovim sistemima.
2. Odabiranje/uzorkovanje signala se vrši prema Nikvist-Šenon-Kotelnikov teoremi, https://en.wikipedia.org/wiki/Nyquist%E2%80%93Shannon_sampling_theorem važno je odabrati odgovarajuću frekvenciju odabiranja, kako bi bilo moguće rekonstruisati originalni signal.

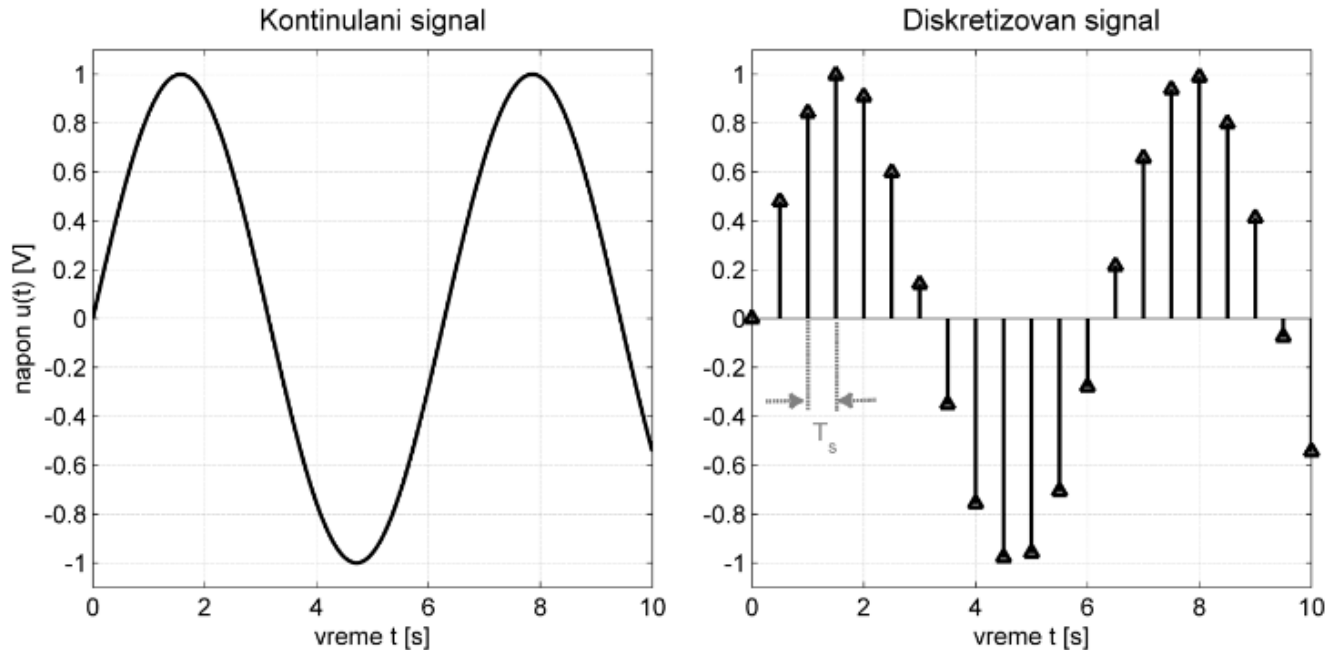
Akvizicija podataka?

- Akvizicija podataka (eng. *data acquisition*) u bukvalnom prevodu znači prikupljanje/sakupljanje podataka.
- *“Data acquisition is the process of sampling signals that measure real world physical conditions and converting the resulting samples into digital numeric values that can be manipulated by a computer.”*, izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Data_acquisition.



Data acquisition systems at tower base by UBC Micrometeorology; Flickr link; CC BY 2.0.

A/D konverzija



Primer analognog signala $u(t)$ na ulazu A/D konvertora i digitalnog signala $u(n)$ na izlazu A/D konvertora. Na slici je obeležena perioda odabiranja T_s .

Trik pitanje – ako su oba grafika nastala na računaru, da li je onda istina da je na levoj slici prikazan analogni signal?

Merni eksperiment

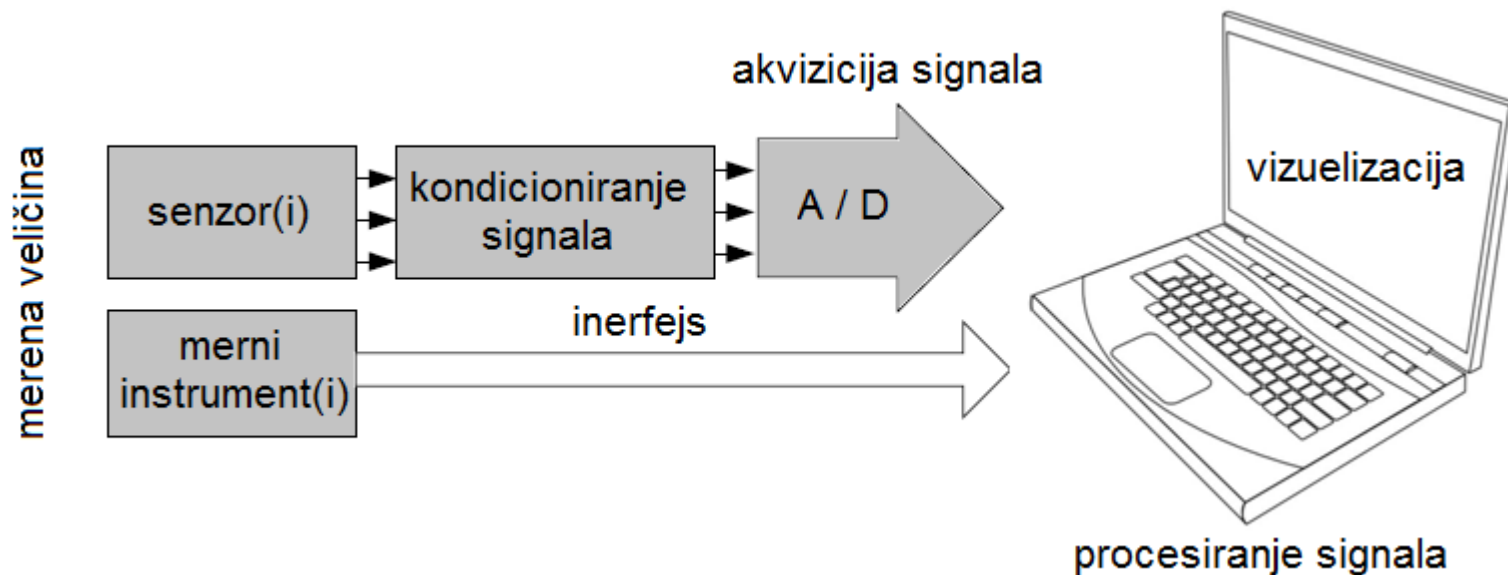
Merni eksperiment se obavlja sa ciljem da se eksperimentalna pretpostavka usvoji ili odbaci ili sa ciljem određivanja kvantitativne karakteristike neke električne (u opštem slučaju fizičke) veličine.

Uobičajena procedura u mernim eksperimentima uključuje sledeće korake:

1. postavka električnog (u opštem slučaju fizičkog) i/ili matematičkog modela posmatranog procesa
2. konverzija merene vrednosti u električnu veličinu (u slučaju kada se ne meri električna veličina direktno)
3. kondicioniranje signala (na primer, pojačanje i filtriranje)
4. akvizicija podataka (multipleksiranje podataka i A/D (eng. *Analog to Digital*) konverzija, prenos signala)
5. obrada signala (na primer, određivanje parametra od interesa, određivanje merne nesigurnosti i određivanje Furijeove transformacije)
6. vizuelizacija i/ili prenos podataka (*online* ili *offline*)

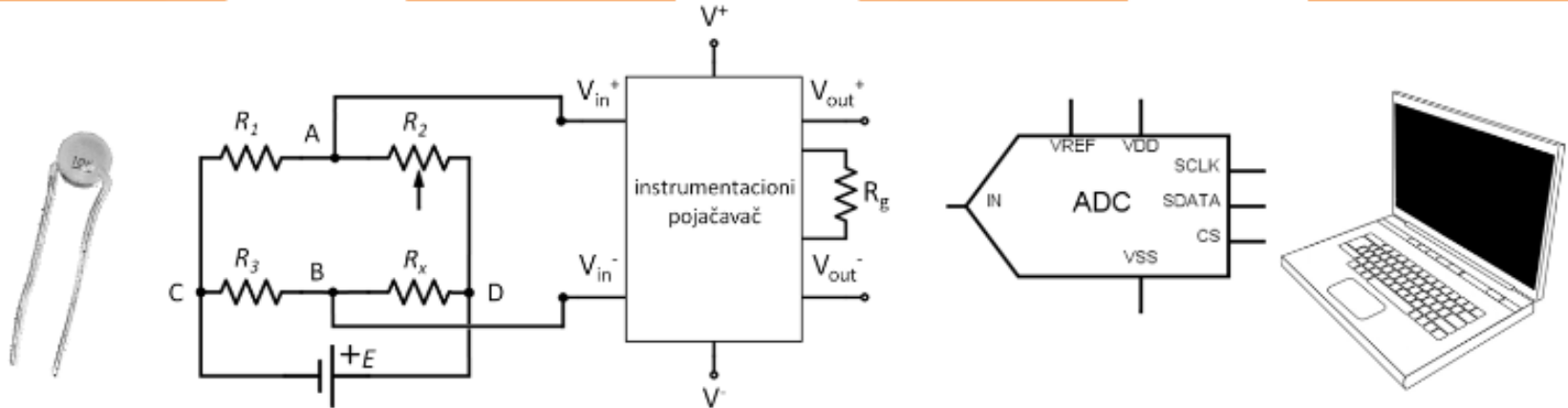
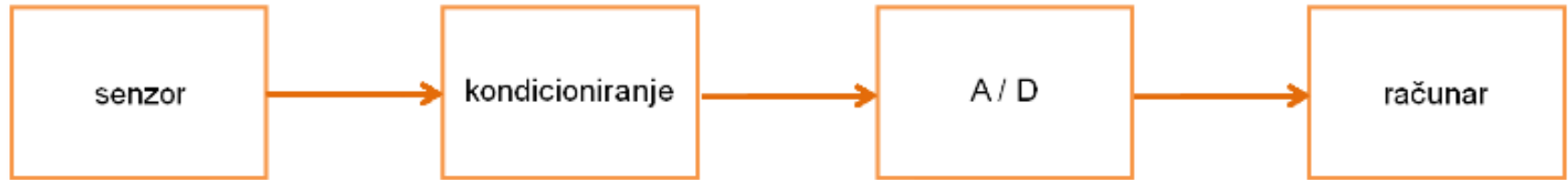
Većina ovih operacija može biti automatizovana uz pomoć računara.

Merni sistem



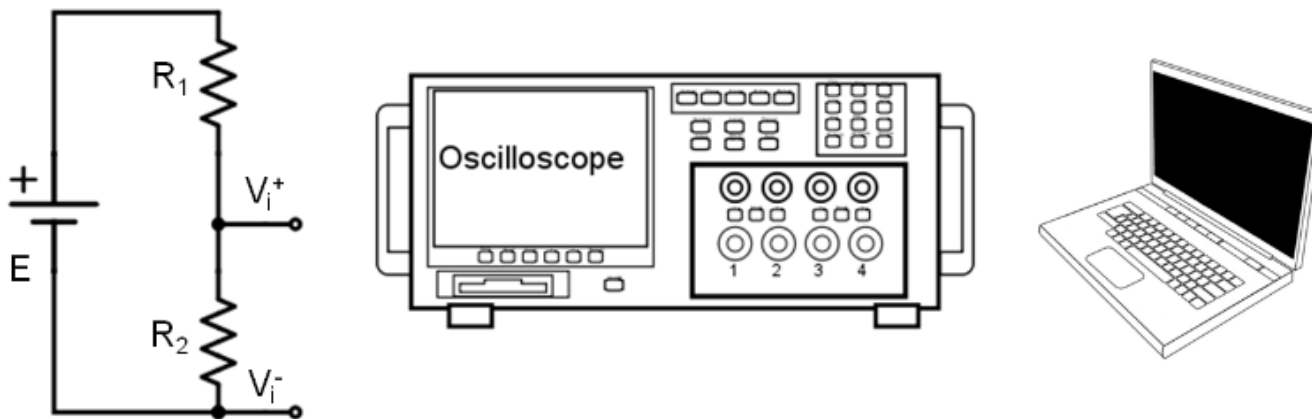
Blok dijagram primera mernog sistema, koji se zasniva na primeni računara je prikazan na slici. Umesto projektovanog sistema (senzor, kondicioniranje, A/D), može se koristiti i merni instrument, koji je povezan direktno sa računarom (kao na slici dole). Umesto računara, moguće je koristiti mikrokontroler. Pod mernim sistemom, koji se zasniva na primeni računara, podrazumeva se skup alata, metoda i operacija (hardver i softver), koji su realizovani tako da mogu da izmere automatski fizičku veličinu.

Merni sistem – primer 1



Zadatak: potrebno je izmeriti temperaturu koristeći PTC termistor pomoću A/D kartice i prikazati signal na računaru.

Merni sistem – primer 2



Zadatak: potrebno je izmeriti napon digitalnim osciloskopom TDS220 (Tektronix), izmeriti i sačuvati (snimiti) napon na računaru, a potom izračunati relevantne parametre.

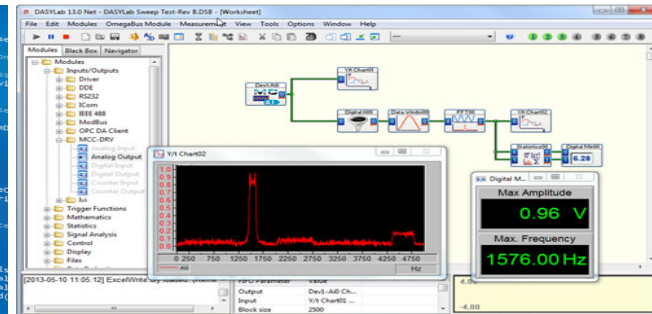
Softver za akviziciju podataka



Ready to run DAQami



Univerzalna biblioteka opšte namene DasyLAB akvizicioni softver za projektovanje aplikacija posebne namene



Za potrebe realizacije softvera za merne sisteme, koriste se programska okruženja.

U zavisnosti od korisnika, vrši se projektovanje odgovarajućeg korisničkog interfejsa (eng. *User Interface*) u formi GUI-ja (eng. *Graphical User Interface*, https://en.wikipedia.org/wiki/Graphical_user_interface).

Podela softvera za akviziciju podataka je na:

1. Ready to run aplikacije
2. Programska okruženja opšte namene
3. Programska okruženja namenjena projektovanju/realizaciji aplikacija posebne namene

Ready to run – primer



Open Choice Desktop aplikacija za merenje signala osciloskopom, Testequity,
<http://www.testequity.com/products/1139/> (pristupljeno novembra 2019. godine).

Open Choice Desktop (Tektronix) je softverski paket, koji služi za merenje podataka sa digitalnog osciloskopa, koji je povezan sa računarom.

Za povezivanje osciloskopa sa računarom mogu se koristiti RS232, GPIB, USB i LAN.

Programsko okruženje opšte namene



Postoji niz programskih okruženja, koja mogu da se koriste za realizaciju softvera za akviziciju signala u električnim merenjima, a koja pripadaju slobodnom, odnosno softveru otvorenog koda. Video: Richard Stallman, Free software, free society: Richard Stallman at TEDxGeneva 2014, https://youtu.be/Ag1AKIl_2GM, pristupljeno 06.11.2023.

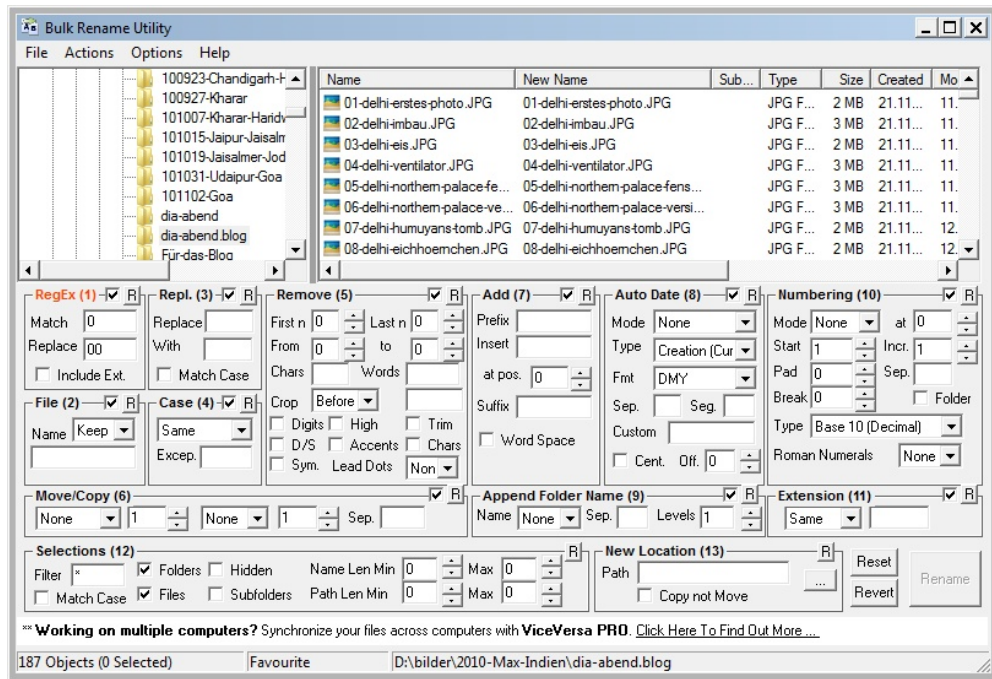
Virtuelni instrumenti

Ako se za potrebe merenja realizuju sistemi, koji uključuju hardver za akviziciju podataka i softverske aplikacije posebne namene, onda se takvi merni sistemi nazivaju virtuelni instrumenti, https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_instrumentation.

Primeri programskih paketa u kojima je moguće projektovati softvere virtuelnih instrumenata su:

1. LabVIEW (National Instruments Inc. – od 2023. godine Emerson Electric)
2. VEE Pro (Agilent)
3. TestPoint (Capital Equipment Co.)
4. DasyLab (Dasytec)
5. Matlab – Acquisition Toolbox (Mathworks Inc.)

Korisnički interfejs virtuelnog instrumenta

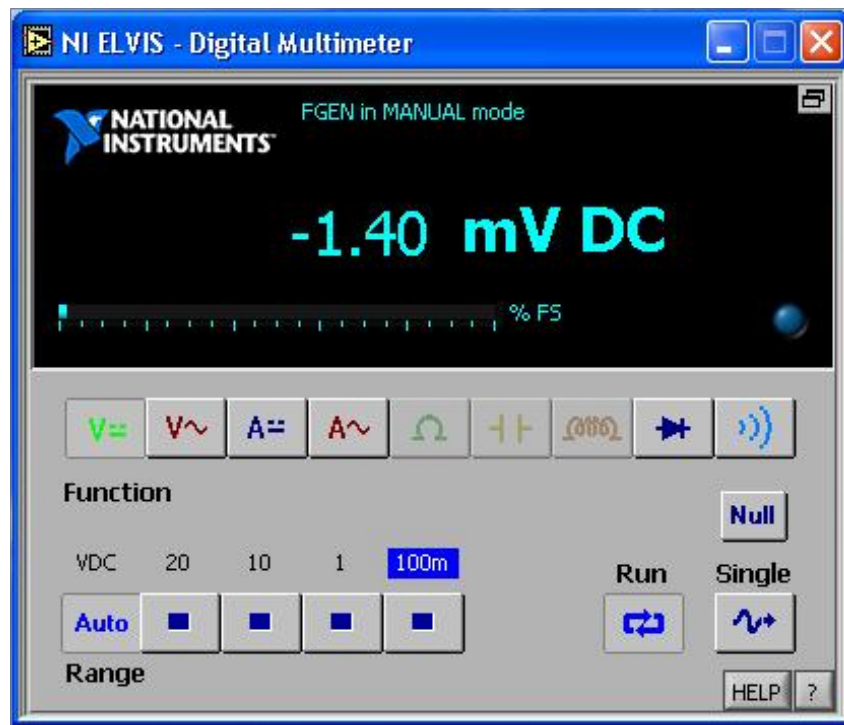
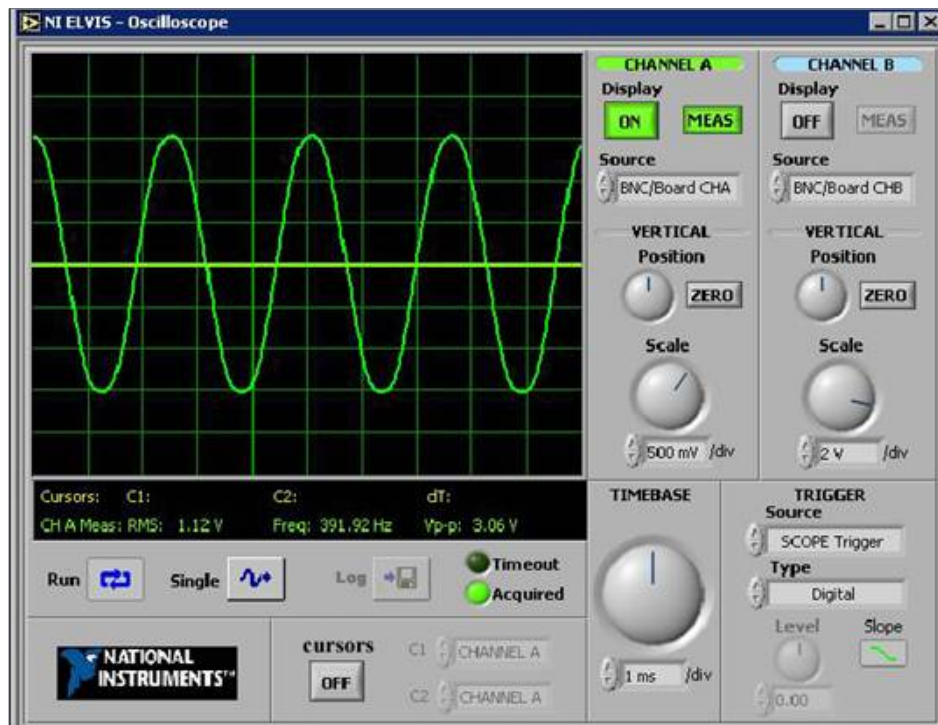


Od velikog je značaja realizacija preglednog interfejsa (Desktop metafora, https://en.wikipedia.org/wiki/Desktop_metaphor). Izvor: Bad user experience, <https://amansinghblog.wordpress.com/2015/02/12/bad-user-experience-week-4/> (Bad user experience week 4, Posted on February 12, 2015 by burrito2000)

Interakcija sa korisnikom/operatorom i način predstavljanja rezultata merenja su od velikog značaja za realizaciju virtuelnih instrumenata u električnim merenjima.

Većina korisničkih interfejsa namenjenih potrebama električnih merenja se projektuje po ugledu na interfejse realnim instrumenata (na primer, osciloskop i DMM).

Primeri virtuelnih instrumenata



Na slici su prikazani primeri virtuelnih instrumenata u okviru NI ELVIS platforme (National Instruments Inc., <http://www.ni.com/ni-elvis/>, pristupljeno 06.11.2023. godine).