

# Analiza komponenata računalnih mjernih sustava

---

Hancock, Robert William

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:757103>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-08**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU FAKULTET  
ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH  
TEHNOLOGIJA**

**Stručni studiji**

**ANALIZA KOMPONENATA RAČUNALNIH MJERNIH  
SUSTAVA**

**Završni rad**

**Robert William Hancock**

**Osijek, 2021.**

## SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD.....  | 1  |
| 2. SENZORI.....   | 2  |
| 2.1. Senzori temperature .....                                  | 3  |
| 2.2. Senzori tlaka .....  | 5  |
| 2.3. Senzori plina.....   | 6  |
| 2.4. Senzori sile .....   | 7  |
| 2.5. Inteligentni ili smart senzori.....                        | 9  |
| 3. PRILAGODBA ILI KONDICIONIRANJE SIGNALA .....                 | 11 |
| 3.1. Pojačanje .....  | 12 |
| 3.2. Pretvorba signala .....                                    | 14 |
| 3.2.1. Analogno - digitalna pretvorba signala .....             | 14 |
| 3.2.2. Digitalno – analogna pretvorba signala.....              | 19 |
| 3.3. Filtriranje .....  | 22 |
| 3.4. Multipleksiranje i zaštita .....                           | 23 |
| 3.5. Ploče za prikupljanje podataka.....                        | 25 |
| 3.5.1. Interna ploča za prikupljanje podataka.....              | 27 |
| 3.5.2. Eksterna ploča za prikupljanje podataka .....            | 29 |
| 4. PODATKOVNA KOMUNIKACIJA U RAČUNALNIM MJERNIM SUSTAVIMA ..... | 30 |
| 4.1. Univerzalna serijska sabirnica (USB).....                  | 31 |
| 4.2. Bežična tehnologija.....                                   | 33 |
| 4.3. Ethernet .....   | 34 |
| 4.4. PCI i PCI Express tehnologija .....                        | 36 |
| 5. RAČUNALO I PROGRAMSKA PODRŠKA.....                           | 37 |
| 5.1. Arhitektura računala.....                                  | 37 |

|   |    |
|---|----|
| 5.2. Programska podrška.....              | 39 |
| 5.2.1. MATLAB .....                       | 39 |
| 5.2.2. LabView .....                      | 40 |
| 6. PRIMJER MJERNOG SUSTAVA .....          | 41 |
| 6.1. Obrada podataka putem MATLAB-a ..... | 43 |
| 7. ZAKLJUČAK .....                        | 48 |
| 8. LITERATURA.....                        | 49 |
| 9. ŽIVOTOPIS .....                        | 50 |
| Sažetak.....                              | 51 |
| Abstract.....                             | 52 |

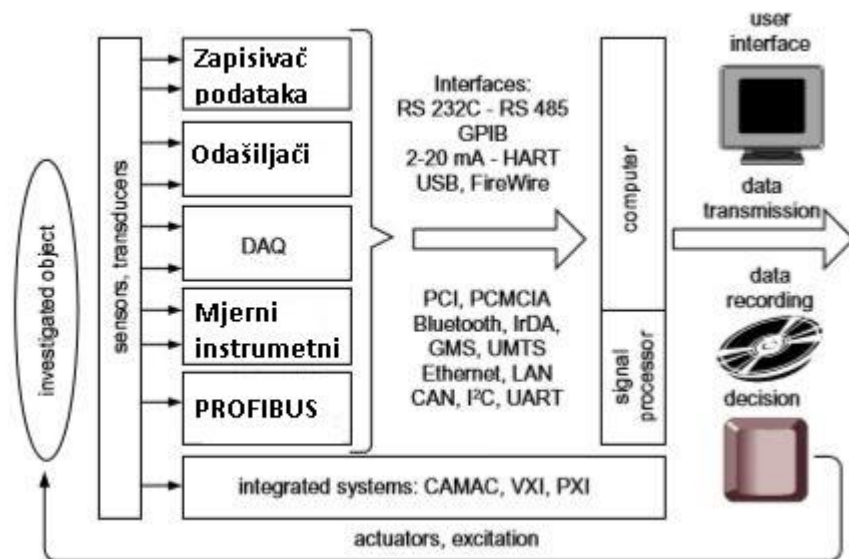
# 1. UVOD

U ovom radu opisan je jednostavan računalni mjerni sustav te su analizirane njegove komponente. Sustav mjerenja sam po sebi oduvijek je bio neizostavan dio znanosti i trgovine. Prva praktička realizacija sustava mjerenja dolazi iz Europe tijekom Francuske revolucije tisuću sedamsto devedeset i devete godine, kada se tadašnji mjerni sustav pokazao nepraktičnim i neprikladnim za trgovanje. Sustav koji ga je zamijenio proširio se svijetom te se temeljio na kilogramu i metru. Sustavi mjerenja koji se danas koriste uključuju međunarodni sustav jedinica (SI), moderni oblik metričkog sustava, britanski carski sustav te uobičajeni sustav Sjedinjenih Država.

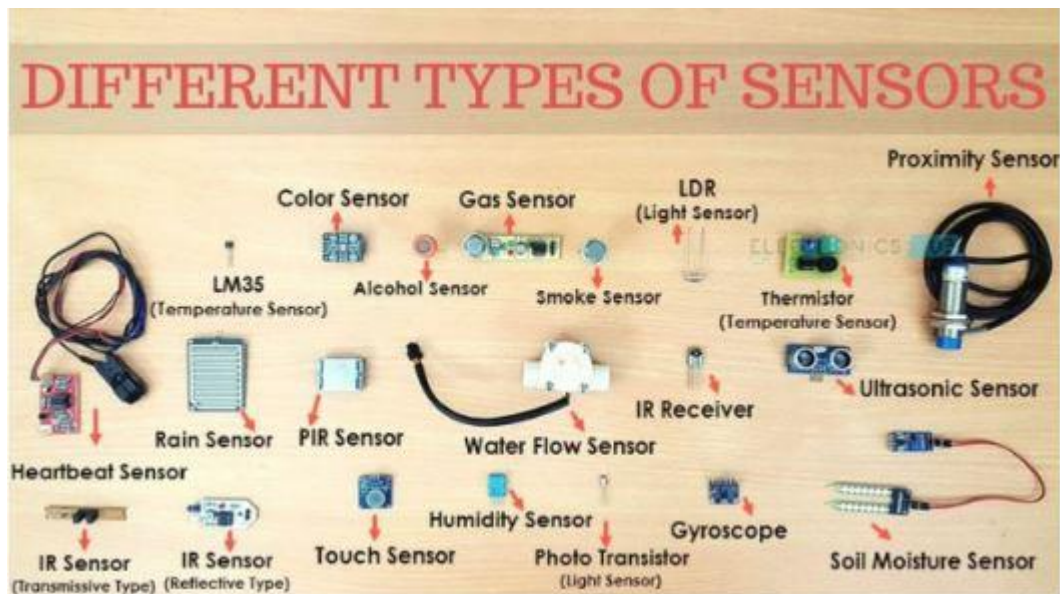
Razvojem mjerne tehnologije dolazi i do razvoja mjernih sustava. Pod mjerne sustave podrazumijevamo skup materijalnih i organizacijskih resursa, kao i na razne programe za obradu informacija. Svrha tih programa je prikupljanje, prijenos i obrada mjernih podataka te njihova pohrana i prikazivanje. Danas se u svijetu sve više koriste električni uređaji podržani mikrokontrolerom, pa je tako došlo i do kompjuterizacije mjernih instrumenata te implementacije računalnih mjernih sustava. Drugo poglavlje ovog rada opisuje senzore, ulazne komponente računalnog mjernog sustava. Objašnjene su njihove razne primjene te načini rada pojedinih senzora. Nakon što senzori izmjere promjenu određene fizičke veličine šalju signal na uređaje zadužene za kondicioniranje signala. Treće poglavlje ovog rada opisuje razne metode prilagodbe signala, od pojačanja i pretvaranja signala sve do filtriranja, zaštite i multipleksiranja signala. U poglavljima 3.2.1 i 3.2.2 detaljno su pojašnjeni A/D i D/A pretvarači. Nakon toga se u četvrtom poglavlju analiziraju prednosti i nedostaci različitih vrsta sabirnica koje pomažu pri komunikaciji podataka u računalnom mjernom sustavu. Peto poglavlje prikazuje arhitekturu računala i programsku podršku pomoću koje šaljemo i primamo potrebne informacije na hardver. U zadnjem poglavlju ovoga rada opisan je primjer korištenja računalnog mjernog sustava koji služi za određivanje B-H karakteristike, odnosno za ispitivanje magnetskih svojstva materijala pomoću napona i struje. Danas su računalni mjerni sustavi od iznimne važnosti te su zbog razvoja računalnih i mikroelektronski podržanih mjernih sustava postali veoma dostupni i rašireni. Uzimajući u obzir jednostavnost instalacije i upotrebe računalni mjerni sustavi se smatraju ključnim dijelom svakog istraživačkog mjernog laboratorija.

## 2. SENZORI

Senzor je uređaj koji mjeri fizičku veličinu i pretvara je u signal koji može pročitati promatrač ili instrument [4, strana 352.]. Ime im dolazi od latinske riječi *sensus* što u prijevodu znači osjećati, te se odnosi na to što senzori osjećaju promjenu u okolišu i u odnosu na tu promjenu određeno reaguju. Senzori su široko rasprostranjeni uređaji koje svakodnevno koristimo. Jedan od najprepoznatljivijih senzora je mikrofoni koji pretvara zvuk u električni signal koji se može pojačati, prenositi, snimiti te reproducirati. U mjernom sustavu senzori obično djeluju kao primarna ulazna komponenta kao što je vidljivo na slici 2.1. Signali senzora obrađuju se ulaznim elementima sustava uređajima za usklađivanje signala sa sustavom, zapisivačima podataka i odašiljačima te mjernim instrumentima[1, strana 363.]. Najčešće korišteni senzori prikazani su na slici 2.2 a neki od njih su senzori topline, blizine, svjetlosti, brzine, sile i tlaka.



Slika 2.1. Osnovne komponente mjernog sustava



Slika 2.2. Razne vrste senzora

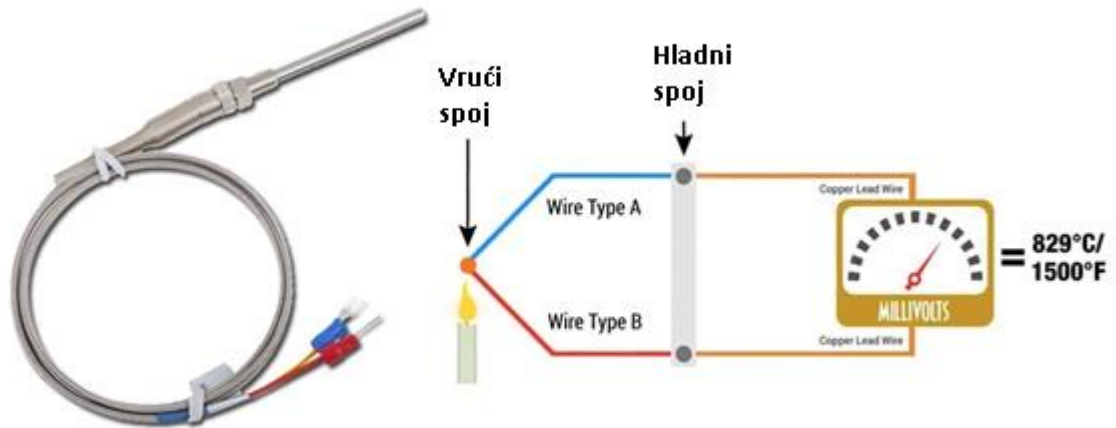
## 2.1. Senzori temperature

Senzori temperature mjere količinu toplinske energije ili hladnoće koju generira određeni objekt ili sustav. Omogućuju nam da otkrijemo neku fizičku promjenu temperature te daju analogni ili digitalni izlaz. Senzori temperature su najčešće korištena vrsta senzora, koriste se gotovo u svakoj kući (toplomjer), u svakom automobilu, te praktički sve industrije koriste neku vrstu senzora za mjerenje temperature. Termometre obično dijelimo na:

- Kontaktne termometre : Prijenos topline tijela odvija se kontaktom na termometar (područje primjene od -200 stupnjeva Celzijusa do 1700 stupnjeva Celzijusa) [5]
- Beskontaktne : Prijenos topline tijela odvija se elektromagnetskim zračenjem (područje primjene od -100 stupnjeva Celzijusa do 3500 stupnjeva Celzijusa) [5]

Termopar ili termoelement je među najčešće korištenim sensorima temperature. Vrlo je popularan zbog toga što ne zahtijeva izvor napajanja te zbog svoje jednostavnosti, brzine i male veličine. Termopar ima široko područje primjene od -200 stupnjeva Celzijusa do preko 2000 stupnjeva Celzijusa. Ovi sitni senzori se sastoje od dva spoja različitih metala najčešće bakra i

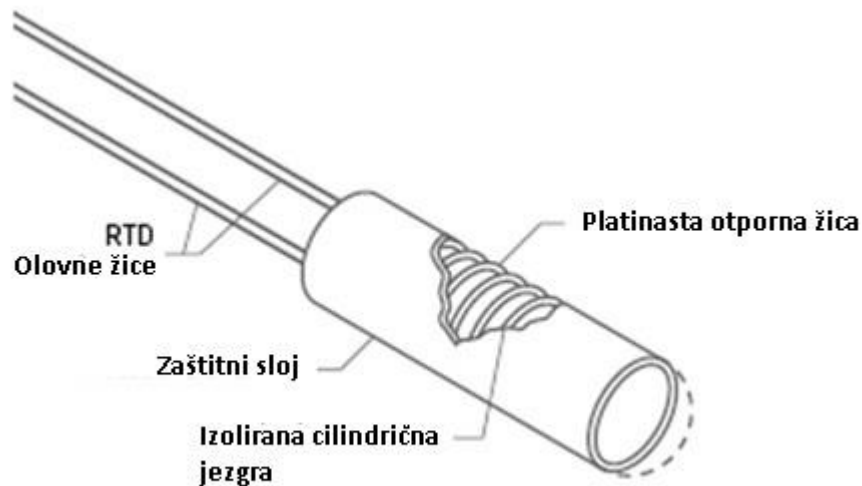
Konstantina koji su zavareni ili pritisnuti zajedno. Jedan spoj održava se na konstantnoj temperaturi te se naziva referentnim ili hladnim spojem dok se drugi naziva mjernim ili vrućim spojem. Kada nastane razlika između temperatura na spojevima pojavljuje se napon koji se koristi za utvrđivanje temperature.



Slika 2.1.1. Termopar ili termoelement

Za razliku od termopara termootpornici su puno skuplji primarno zbog njihove složnije konstrukcije te zbog toga što se za njihovu izradu koristi platina u obliku žičane spirale ili tankog filma nanesenog na izolacijski materijal. Termootpornici funkcioniraju na temelju osobine metala da mijenja svoj električni otpor ovisno o promijeni temperature te se njima mogu mjeriti temperature u rasponu od -200 stupnjeva Celzijusa do 850 stupnjeva Celzijusa [5]. Još jedan nedostatak u odnosu na termopar je to što termootpornike mora napajati sustav za mjerenje. Termootpornici se najčešće koriste u farmaceutskoj industriji u kojoj su nužna precizna mjerenja temperature.





Slika 2.1.2. Platinski termootpornik

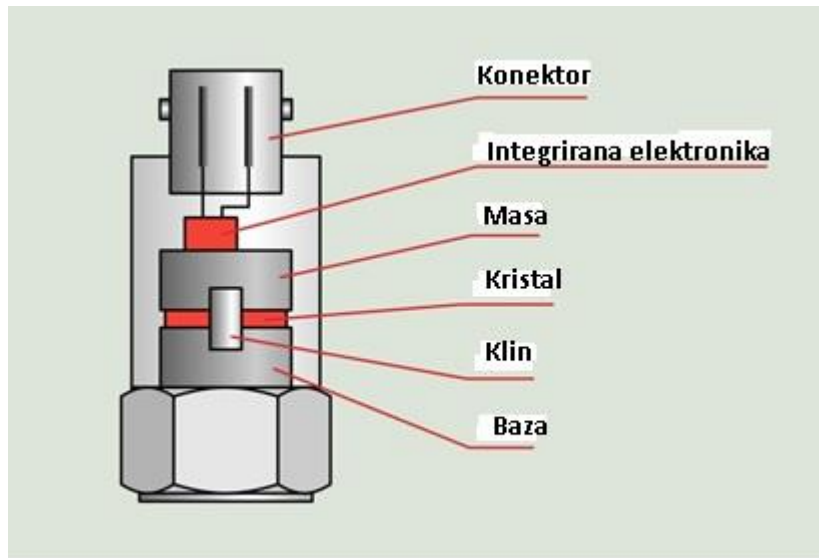
## 2.2. Senzori tlaka

Mjerenje mehaničkog naprezanja i tlaka spada u najčešće izvođena mjerenja. Najvažniji dio svakog senzora za mjerenje tlaka je tlačni element. To je element koji deformira i pretvara tlak u mehanički pomak ili silu na otvorenom kraju [5]. Senzori tlaka koriste se u širokom spektru industrija, uključujući automobilsku industriju, kemijsku industriju te prehrambenu industriju. Postoje mnogo vrsta senzora tlaka. Neke od najpoznatijih su:

- Potenciometrijski senzori tlaka
- Induktivni senzori tlaka
- Kapacitivni senzori tlaka
- Piezoelektrični senzori tlaka
- Manometri

Piezoelektrični senzori su vrlo popularni jer ne zahtijevaju izvor napona ili struje te mogu generirati izlazni signal od primijenjene deformacije. U piezoelektričnim sensorima primjenjuje se piezoelektrični efekt. Piezo je grčka riječ za pritisak te odlično opisuje piezoelektrični efekt koji se javlja kada se u dielektričnom kristalu uspostavi električni naboj  $Q$  ili kada se na kristal primjeni

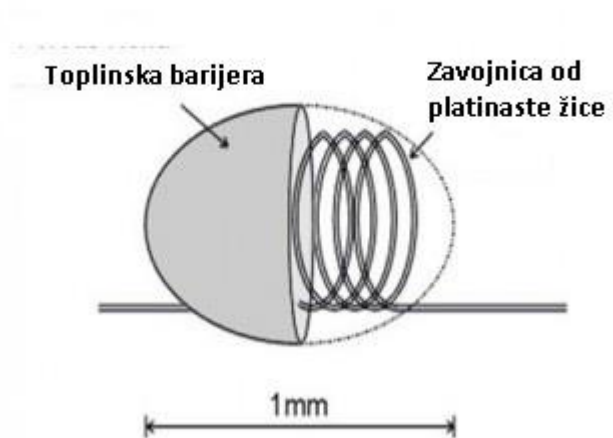
određena mehanička sila poput naprezanja ili tlaka. Takvo naprezanje uzrokuje mehaničku deformaciju kristala koja nam služi za određivanje tlaka.



Slika 2.2.1. Piezoelektrični uređaj

### 2.3. Senzori plina

Detektori plina ili senzori plina su električni uređaji dizajnirani da otkriju i prepoznaju različite vrste plinova. Često se koriste kako bi otkrili niske koncentracije zapaljivih, eksplozivnih ili štetnih plinova te kako bi pratili razinu polucije u okolišu. Ovi senzori koriste se u domovima, tvornicama i proizvodnim pogonima kako bi se otkrilo curenje plina te za otkrivanje dima i ugljičnog monoksida u kućama. Ovakva vrsta senzora često je spojena na zvučni alarm ili na određeno sučelje. Senzori plina moraju se kalibrirati puno češće od ostalih vrsta senzora budući da neprekidno mjere zrak i ostale plinove. Najraširenija vrsta senzora plina je katalički senzor koji se često koristi za otkrivanje i mjerenje zapaljivih plinova i para, poput metana, od 0-100% LEL (donja granica eksplozivnosti) [6.]. Ova vrsta senzora također se koristi za otkrivanje zapaljivih plinova kao što je ugljikovodik te za mjerenje vodika.



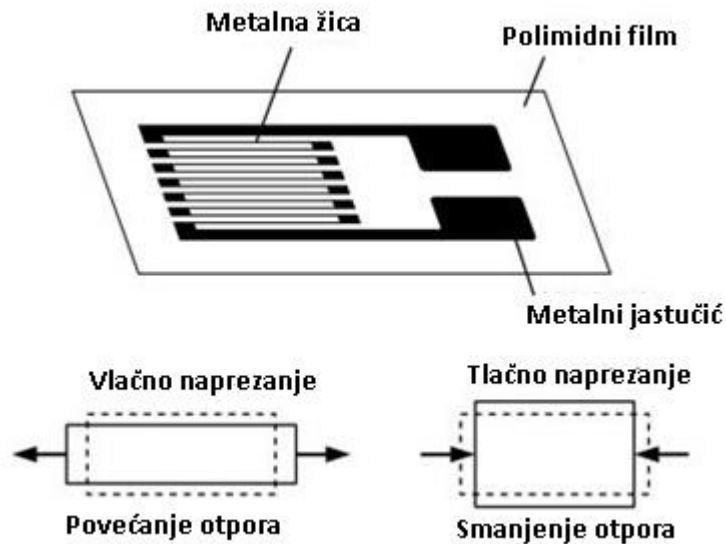
Slika 1.3.1. Katalički senzor plina

Katalički senzor izrađen je od dvije kuglice umotane u zavojnica od platinaste žice što možemo vidjeti na slici 2.3.1. Prva kuglica naziva se referentna kuglica dok je druga kuglica aktivna kuglica. Između kuglica nalazi se toplinska barijera. Princip rada temelji se na tome da nastaje toplina kada zapaljivi plin dođe u kontakt s kataličkom površinom na aktivnoj kuglici. Promjena temperature kuglice uzrokuje promjenu električnog otpora te je ta promjena otpora povezana s mjerom koncentracije plina.

## 2.4. Senzori sile

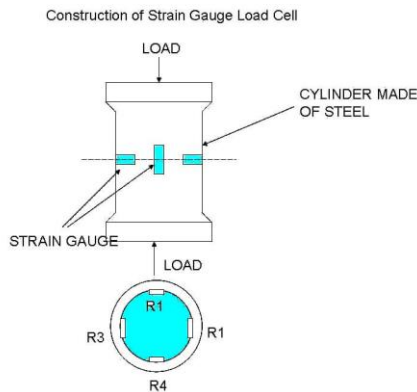
Senzor sile po definiciji je vrsta pretvarača odnosno pretvarača sile. Ovakva vrsta uređaja pretvara ulaznu mehaničku silu poput opterećenja, težine, napetosti, kompresije ili tlaka u drugu fizičku varijablu najčešće u električni izlazni signal koji se može mjeriti, pretvoriti i standardizirati [7]. Električni signal mijenja se proporcionalno s povećanjem sile koja se primjenjuje na senzor sile. Pretvarači sile postali su vrlo bitan dio mnogih industrija posebice automobilih, zrakoplovnih, medicinskih, farmaceutskih i robotskih gdje je pouzdano i vrlo precizno mjerenje najvažnije. Temeljni princip rada senzora za mjerenje sile je rastezno osjetilo. Rastezno osjetilo je žica ili listić vodljivog ili poluvodljivog materijala što se učvršćuje na promatrano tijelo tako da se rasteže ili steže ovisno o rastezanju ili stezanju tijela ako na tijelo djeluje sila [5]. To rastezno osjetilo ima

električni otpor koji se mijenja ovisno o primijenjenoj sili. Drugim riječima pretvara silu, tlak, napetost i težinu i promjenu električnog otpora koja se tada može izmjeriti.



Slika 2.4.1. Princip rada rasteznog osjetila

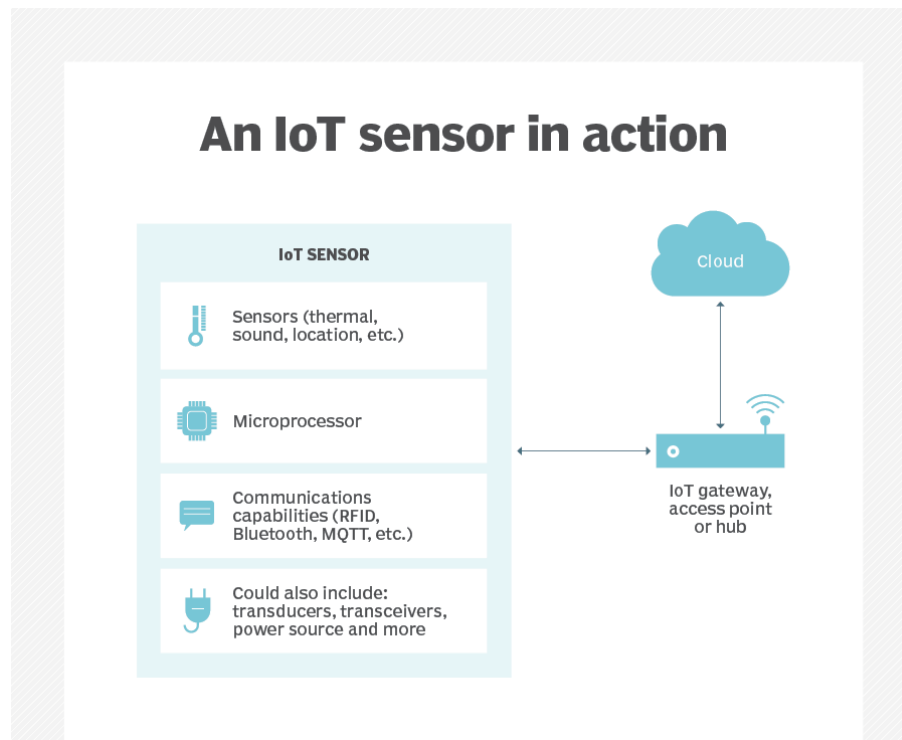
Mjerna ćelija senzora sile izgrađena je od metalnog tijela na koji su vezana rastezna osjetila. Tijelo senzora često je izrađeno od aluminija ili nehrđajućeg čelika, to senzoru pruža čvrstoću da podnese velika opterećenja te da ima dovoljno elastičnosti da se minimalno deformira te da se vrati u svoj izvorni oblik kada se sila ukloni. Promjena napona proporcionalna je fizičkoj sili primijenjenoj na savijanje tijela senzora te se lako može izračunati putem izlaza napona kruga mjerne ćelije.



Slika 2.4.2. Mjerna ćelija senzora sile

## 2.5. Inteligentni ili smart senzori

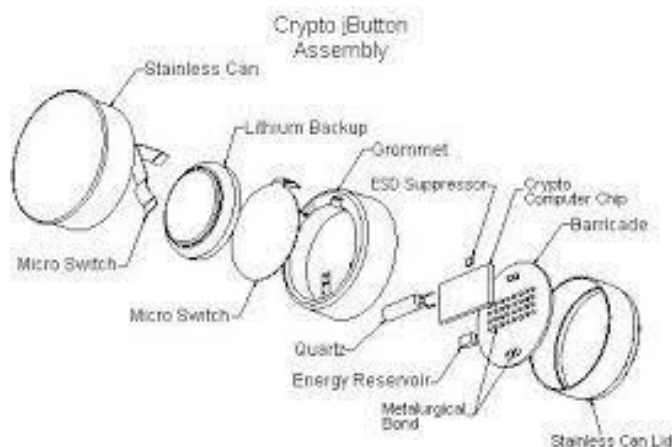
Inteligentni senzori su vrsta senzora koji izvršavaju neke unaprijed definirane radnje kad osjete odgovarajući ulaz poput topline, svjetlosti, zvuka, blizine ili dodira. Senzor se obično kvalificira kao inteligentni senzor ako su senzor i procesor dio iste fizičke jedinice. Senzor čija je jedina funkcija otkrivanje i slanje neprerađenog signala na eksterni sustav koji izvodi neku radnju ne smatra se inteligentnim. Pametni senzori omogućuju preciznije i točnije automatizirano prikupljanje podataka o okolišu s manje šuma među snimljenim podacima. Ovi uređaji najčešće se koriste za nadzor i upravljanje mehanizma u raznim okruženjima kao što su pametne mreža, istraživanja te mnogih znanstvene aplikacije. Inteligentni senzori temeljan su dio IoT tehnologije te se minimalno sastoje od senzora, mikroprocesora i neke vrste komunikacijske tehnologije [7].



Slika 2.5.1. Prikaz rada inteligentnog senzora u IoT tehnologiji

Pametni senzori povezuju osnovni senzor s integriranim računalnim resursima koji omogućuju obradu ulaza senzora. Osnovni senzor je dio pametnog senzora koji osigurava osjetljivost. Može biti dizajniran s namjerom da mjeri toplinu, svjetlo ili pritisak [7]. Princip rada inteligentnog senzora temelji se na sposobnosti osnovnog senzora da proizvede analogni signal koji se obrađuje prije korištenja. Taj analogni signal obrađuje integrirana tehnologija pametnog senzora. Ugrađeni mikroprocesor filtrira šum signala i pretvara signal senzora u upotrebljivi digitalni format. Pametni senzori često se koriste u industrijskom okruženju. Tvornice često koriste inteligentne senzore temperature kako bi provjerili pregrijavaju li se strojevi, a senzore vibracija kako bi osigurali da strojevi nisu u opasnosti od vibracija. Pametni senzori omogućuju kontrolu procesa, kao što je praćenje procesa, poput proizvodnje predmeta, i unošenje bilo kakvih prilagodbi koje bi mogle poboljšati te ubrzati postizanje ciljeva proizvodnje ili kvalitete. Ovo je nekada bio ručni proces no danas se za automatizaciju upravljanja procesa koriste pametni senzori [7]. Inteligentni senzori također igraju veliku ulogu u sigurnosnim sustavima. Koriste se u uređajima poput pametnih brava, senzora pokreta, senzora prozora te senzora za toplinsku sliku. Ovi uređaji često su spojeni na zajedničku mrežu što omogućuje prikaz potpune slike trenutnog sigurnosnog sustava. U

inteligentne senzore sve je češće ugrađeno komunikacijsko sučelje poput serijskog sučelja. Na slici 2.4.2 prikazan je smart senzor temperature s ugrađenim 1-žičnim sučeljem. Senzor iButton koji je razvio Dallas Semiconductor uključuje poluvodički temperaturni senzor na bazi Silicija koji pretvara temperaturu u 8-bitni digitalni signal. Ti se digitalni podaci mogu pohraniti u internu memoriju ili se mogu prenijeti na eksterne uređaje pomoću jednožičnog sučelja [1, strana 355]



Slika 2.5.2. Temperaturni senzor iButton

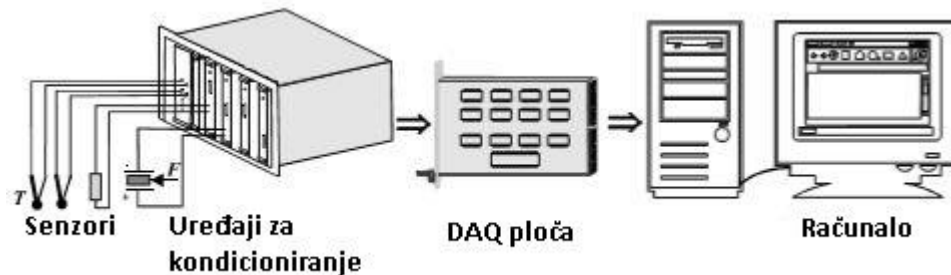
### 3. PRILAGODBA ILI KONDICIONIRANJE SIGNALA

Prilagodba ili kondicioniranje signala obavlja se pomoću uređaja kojima je glavna funkcija poboljšanje signala i pretvorba signala u višu razinu električnog signala. Prilagodba signala često se koristi u industrijama gdje se koriste puno različitih senzora za izvođenje mjerenja. Zbog velikog raspona korištenih senzora neki od generiranih signala morat će se pretvoriti ili prilagoditi kako bi bili upotrebljivi za instrumente na kojima su spojeni. Svaki signal senzora može se pretvoriti u bilo koji standardni signal procesa. Najčešći procesi prilagodbe signala su:

- Pojačanje
- Filtracija
- Pretvorba signala

- Linearizacija
- Električna izolacija
- Manipulacija signala

U industrijskim računalnim mjernim sustavima, uređaji se postavljaju između senzora i DAQ ploče, ili između senzora i digitalnog instrumenta. Primjer takvog protoka signala prikazan je na slici 3 [3, strana 53].

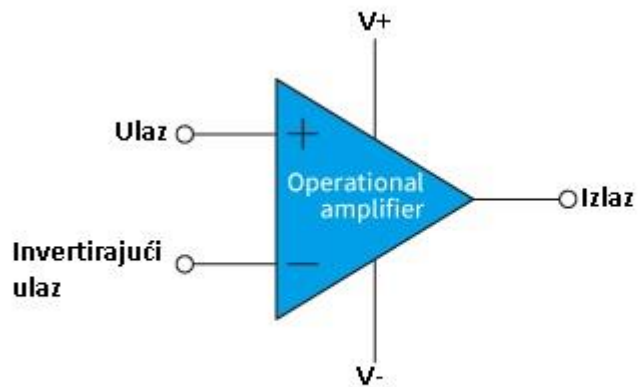


Slika 2. Primjer protoka signala u industriji

### 3.1. Pojačanje

Pod pojačanjem signala podrazumijevamo povećanje amplitude signala na odgovarajuću razinu za prihvatanje signala na ulazu sljedećeg stupnja u mjernom sustavu [5]. Za pojačavanje naponskog signala općenito se koriste pojačala. Postupak pojačanja omogućuje i poboljšanje kvalitete signala tj. povećanje omjera signala i šuma. Veliko otkriće u procesu pojačanja bio je razvoj integriranih operacijskih pojačala, te kasnije i razvoj instrumentacijskih pojačala. Glavno dio ovih dvaju uređaja je diferencijalno pojačalo prikazano na slici 3.1.1. Ova pojačala predstavljaju temeljni element većine modula za prilagodbu signala.



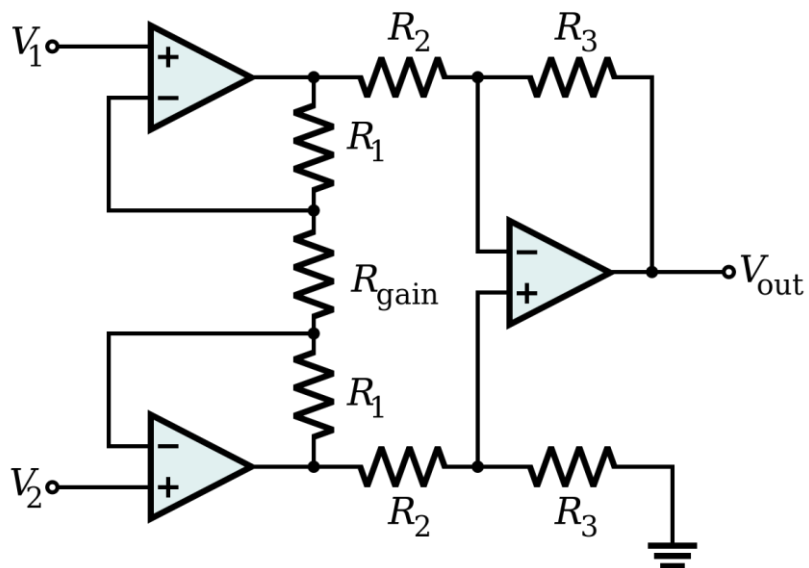


Slika 3.1.1. Diferencijalno pojačalo

Operacijska pojačala sastoje se od invertirajućeg ulaza, neinvertirajućeg ulaza i jednog izlaza. Radi na principu pojačavanja razlike između svoja dva ulaza. Mogu raditi u otvorenoj petlji kod impulsnih sklopova te mogu imati i povratnu vezu kod linearnih sklopova. Za razliku od operacijskog pojačala instrumentalno pojačalo omogućuje inženjeru da prilagodi pojačanje kruga bez potrebe za promjenom više od jedne vrijednosti otpornika. Instrumentalno pojačalo je integrirani krug s diferencijalnim pojačalom te njegov faktor pojačanja treba biti stabilan, precizan i otporan na smetnje. Ostali parametri također trebaju biti od visoke kvalitete [1, strana 159]. Instrumentalno pojačalo posebna je vrsta pojačala najpogodnija za mjerenje. Sastoji se od nekoliko operacijskih pojačala kao što možemo vidjeti na slici 3.1.2 te se faktor pojačanja postavlja na odgovarajući otpornik koji se u ovom slučaju zove  $R_{gain}$ . Ako uzmemo u obzir da su svi otpornici osim  $R_{gain}$  jednake vrijednosti te da negativna povratna veza gornjeg lijevog operacijskog pojačala uzrokuje da napon u točki 1 (vrh  $R_{gain}$ -a) bude jednak  $V_1$ . Slično tome napon u točki 2 (dno  $R_{gain}$ -a) jednak je vrijednosti  $V_2$ . Time se uspostavlja pad napona na  $R_{gain}$  jednak razlici napona između  $V_1$  i  $V_2$ . Taj pad napona uzrokuje struju kroz  $R_{gain}$ , te budući da povratne petlje dvaju ulaznih operacijskih pojačala ne vuku struju, ta ista količina struje kroz  $R_{gain}$  mora prolaziti i kroz dva  $R$  otpornika iznad i ispod njega. Time dolazi do pada napona između točaka 3 i 4 koji iznosi:

$$V_{3-4} = (V_2 - V_1) \times (1 + (2R \div R_{gain})) \quad (3-1)$$

Uobičajeno diferencijalno pojačalo s desne strane kruga tada uzima ovaj pad napona između točaka 3 i 4 te ga pojačava za pojačanje od 1 [8].



Slika 3.1.2. Shema instrumentacijskog pojačala

## 3.2. Pretvorba signala

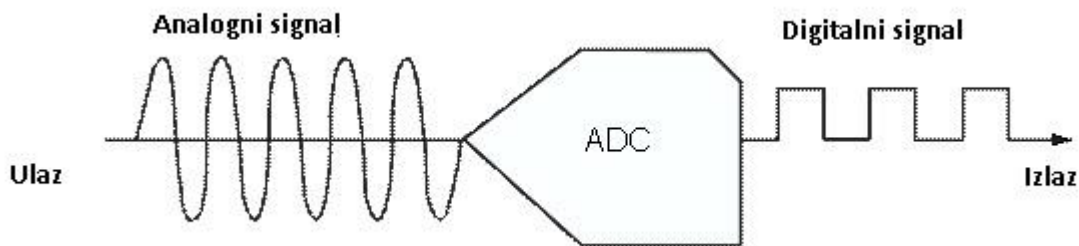
Tehnološki svijet postaje sve digitalniji jer su digitalni signali vrlo pogodni za obradu informacija. Većina fizičkih fenomena je analogna te se mjere sensorima koji na izlazu daju analogni signal. Za obradu mjernih signala u računalnim sustavima, analogni signali moraju se pretvoriti u digitalne signale koji se spremaju kao binarne riječi. Ovakvu pretvorbu izvode analogno – digitalni pretvarači (ADC). Postoji i obrnuta operacija koja se često upotrebljava nazvana digitalno – analogna pretvorba. Ovu operaciju izvode digitalno – analogni pretvarači (DAC) [3, strana 69].

### 3.2.1. Analogno - digitalna pretvorba signala

Analogno – digitalni pretvarači (ADC) pretvaraju signale iz okoline poput temperature, pritiska, napona, struje, daljine ili svjetlosti u digitalni oblik signala. Dobiveni digitalni oblik signala

se tada može obraditi, manipulirati, prenositi ili spremiti [9]. Analogno – digitalna (A/D) pretvorba promjenjivog signala  $x(t)$  sastoji se od dva temeljna koraka

- Uzorkovanje : uzimanje uzoraka signala u određenim vremenskim trenucima, u ovu svrhu dizajnirani su sklopovi za uzimanje uzoraka S&H (Sample and Hold)
- Kvantizacija : svakom uzorku se dodjeljuje vrijednost  $X$  iz konačnog skupa od  $N$  vrijednosti, na koje je podijeljen raspon pretvorbe



Slika 3.2.1.1. Analogno digitalna pretvorba

Nakon postupka uzorkovanja analogni signal postaje diskretnim, a nakon postupka kvantizacije pretvara se u digitalni signal. U postupku uzorkovanja  $T_s$  označava fazu uzorkovanja između uzimanja uzastopnih uzoraka te je obično konstantno. Ovu vrstu uzorkovanja zovemo jednoličnim uzorkovanjem. Osim jednoličnog uzorkovanja postoji i promjenjivo razdoblje uzorkovanja koje se ponekad koristi u naprednim mjernim sustavima. Obrnuto fazi uzorkovanja je frekvencija uzorkovanja [3, strana 70] :

$$f_s = 1 \div T_s \quad (3-2)$$

Uzorkovanje se sastoji od digitalizacije argumenta funkcije. Učinkovitost pretvorbe zahtijeva da se uzorkovanje vrši što rjeđe moguće to jest zahtijeva najmanju moguću frekvenciju uzorkovanja. Unatoč tome frekvencija uzorkovanja trebala bi biti dovoljno velika da pruži zadovoljavajući broj uzoraka kako bi se signal mogao reproducirati u analognom obliku. Prema Shannonovom teoremu o uzorkovanju možemo odrediti frekvenciju uzorkovanja za strogo niskopropusne signale s gornjom

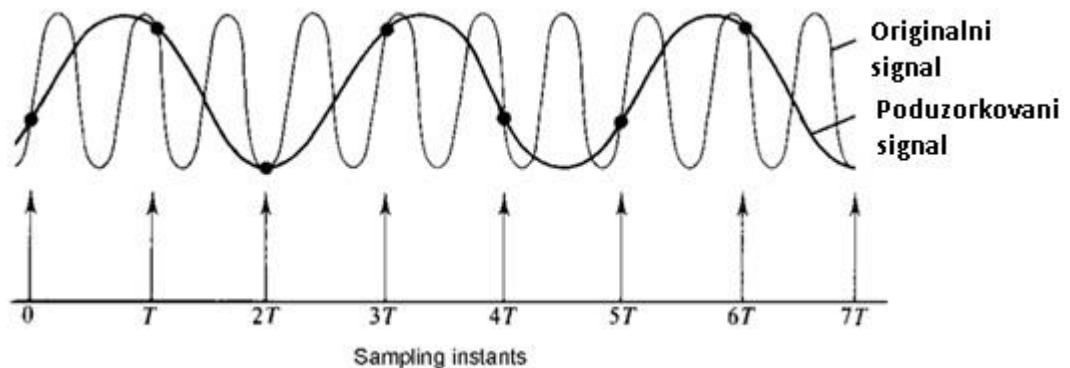
frekvencijom  $f_u$ . Prema ovom teoremu frekvencija uzorkovanja  $f_s$  ne smije biti niža od dvostruke gornje frekvencije  $f_u$  od uzorkovanog spektra signala.

$$f_s > 2f_u \quad (3-3)$$

Frekvencija  $f_s$  definirana teoremom uzorkovanja zove se Nyquistova frekvencija. Karakteristike stvarnog spektra signala često su iste poput karakteristika niskopropusnog filtra s gornjom frekvencijom  $f_u$ . Ako uzmemo u obzir komponente signala čija je frekvencija malo veća od  $f_u$  mora se dobiti sljedeći oblik [3, strana 70].

$$f_s > 2.5f_u \quad (3-4)$$

Kada nijedan od ovih dva uvjeta nije ispunjen dolazi do pojave da reprodukcija diskretnog signala snimljenog u takvim uvjetima daje izobličen analogni signal. Takva pojava stvaranja izobličenja uzrokovana preniskom frekvencijom zove se aliasing. Učinak kotača vagona poznati je primjer aliasinga. U ovoj optičkoj iluziji, čini se da se žbice na kotaču okreće različitim brzinama ili čak unatrag, ovisno o digitalnom broju sličica u videozapisu. Kako bi se spriječio aliasing neke DAQ kartice imaju niskopropusne filtere ili filtere za uklanjanje aliasinga. Funkcija antialiasing filtra je ograničiti frekvencijski pojas uzorkovanog signala na raspon od 0 do  $0.4 f_s$  [3, strana 71].



Slika 3.2.1.2. Primjer pojave aliasinga

Nakon postupka uzorkovanja slijedi postupak kvantizacije. Kvantizacija je proces gdje se svakom uzorku dodjeljuje vrijednost  $X$  iz konačnog skupa  $N$  vrijednosti na koje je podijeljen raspon

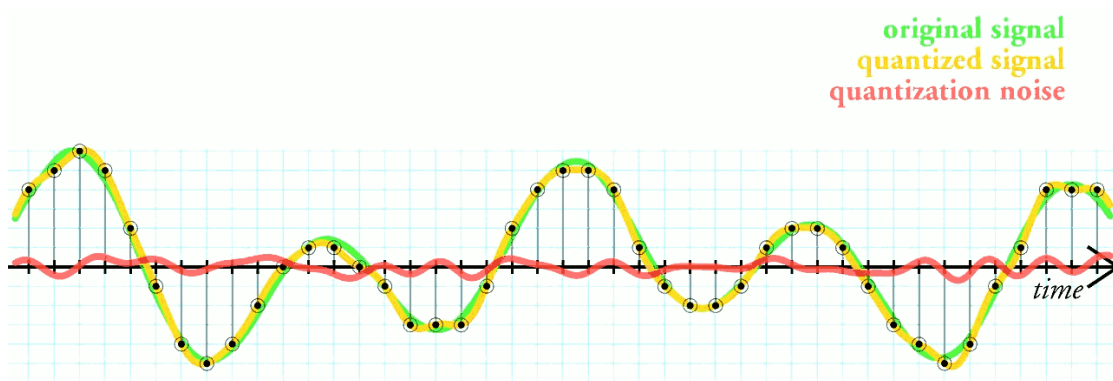
pretvorbe to jest mjerenja. Raspon od 0 do  $X_{max}$  podijeljen je u  $N$  intervala širine koji se naziva interval kvantizacije  $q$ .

$$q = \frac{X_{max} - X_{min}}{N} = \Delta X \quad (3-5)$$

Vrijednost  $X$  dodijeljena je svakom uzorku te je predstavljena određenim kodom. Rezultat kvantizacije najčešće je digitalna riječ to jest binarni broj napisan u prirodnom binarnom kodu:

$$a_{n-1}2^{n-1} + a_{n-2}2^{n-2} + \dots + a_12^1 + a_02^0 \quad (3-6)$$

Gdje je  $n$  broj bitova digitalne riječi, dok  $a$  može poprimiti vrijednosti 0 ili 1. U digitalnom svijetu  $a_{n-1}$  predstavlja najvažniji bit (MSB) dok najmanje važni bit (LSB) predstavlja  $a_0$ .

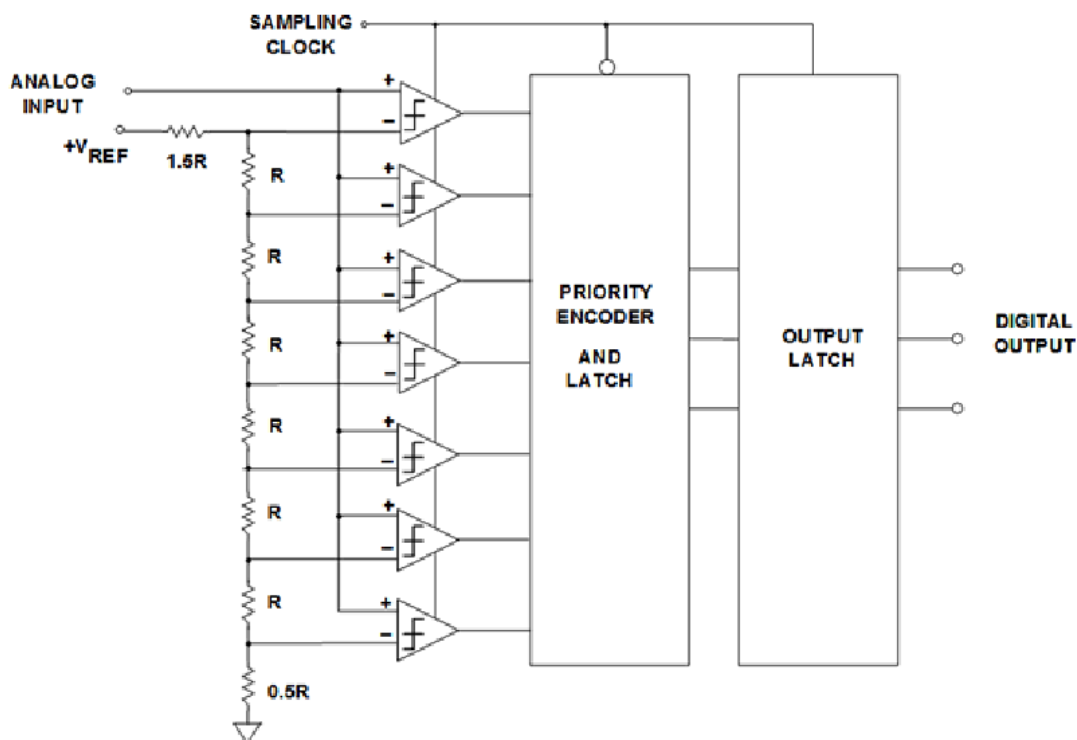


Slika 3.2.1.3. Primjer kvantizacije

Pri pretvorbi konačnog broja kodova pojavljuje se kvantizacijska pogreška. Kvantizacijska pogreška neizbježna je razlika između vrijednosti originalnog signala i vrijednosti pridijeljenoj kodom.

Ima nekoliko različitih ADC arhitekturi. U flash ili paralelnoj arhitekturi niz  $2^n - 1$  komparatora pretvaraju analogni signal u digitalni signal s razlučivošću od  $N$  bitova. Komparatori primaju analogni signal na jedan ulaz dok na drugi ulaz primaju jedinstveni dio referentnog napona [9]. Komparator s referentnim naponima manjim od analognog ulaza emitirat će digitalnu jedinicu dok će komparator s referentnim naponima većim od analognog ulaza emitirati digitalnu nulu. Kada

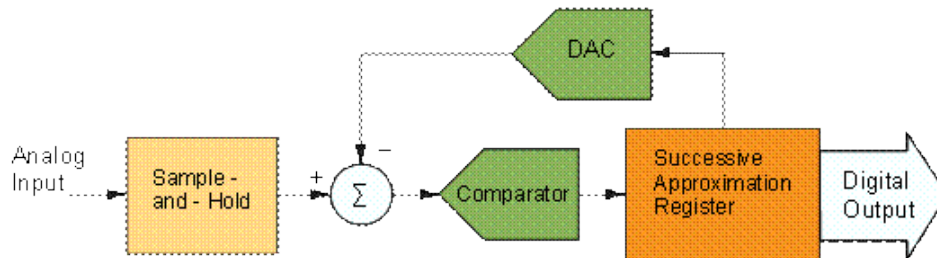
se zajedno pročitaju izlazi predstavljaju kod termometra koji izlazna logika pretvara u standardni binarni kod. Paralelni pretvarač ima veliku brzinu pretvorbe no zahtijeva mnogo komparatora te ima fizička ograničenja monolitne integracije koja općenito dopuštaju samo do 8 bita rezolucije po jednom ADC čipu.



Slika 3.2.1.4. Arhitektura 3-bitnog paralelnog pretvarača

Za razliku od flash arhitekture, SAR arhitektura radi poput vage te uspoređuje nepoznatu težinu s nizom poznatih težina. Umjesto težina, SAR pretvarač uspoređuje analogni ulazni napon s nizom uzastopno manjih napona koji predstavljaju svaki od bitova u kodu digitalnog izlaza [9]. Ovaj pretvarač koristi samo jedan komparator te s njime postiže visoku rezoluciju. Prva usporedba napravljena je između analognog ulaznog napona i napona koji predstavlja najznačajniji bit (MSB). Ako je analogni ulazni napon veći od napona MSB-a vrijednost MSB-a je postavljena na jedinicu u suprotnome se postavlja na nulu. Druga usporedba izvršava se između analognog ulaznog napona i napona koji predstavlja zbroj MSB-a i sljedećeg najznačajnijeg bita. Vrijednost drugog najznačajnijeg bita dobiva se prema tome. Treća usporedba vrši se između analognog ulaznog

napona te napona koji predstavlja zbroj tri najznačajnija bita. Ovakav postupak se ponavlja sve dok se ne dobije vrijednost najmanje značajnog bita (LSB-a) [9].



Slika 3.2.1.5. SAR arhitektura

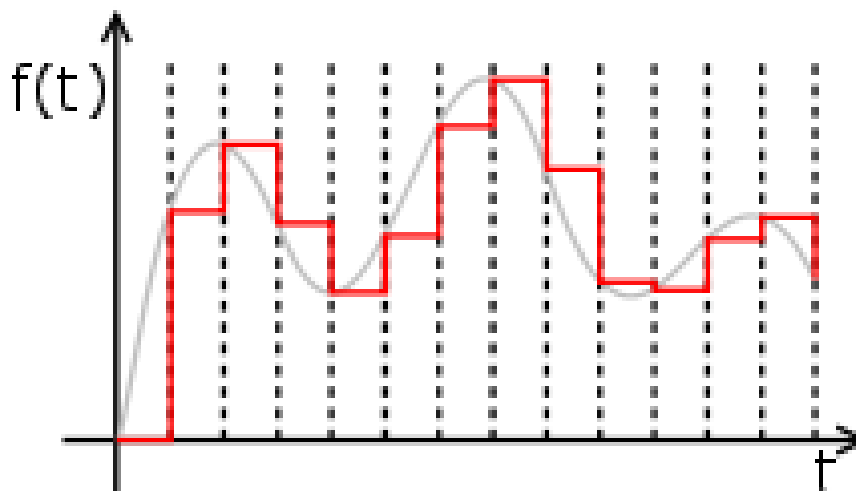
### 3.2.2. Digitalno – analogna pretvorba signala

Digitalno – analogni pretvornici koriste se za pretvaranje ulaznog digitalnog signala u izlazni signal  $V$ , čija je vrijednost određena vrijednošću digitalnog signala.

$$V = k_x(a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + a_2 \times 2^2 + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0) \times (V_{max} - V_{min}) \quad (3-7)$$

Gdje je  $a_k$  ulazna bitna riječ,  $a_{n-1}$  najznačajniji bit,  $a_0$  najmanje značajni bit,  $V_{min}$  i  $V_{max}$  donja i gornja vrijednost raspona izlaznog napona, a  $k_x$  je koeficijent konverzije. Digitalno – analogni pretvornici primjenjuju se u industrijskoj opremi i kućanskim aparatima, posebice audiovizualnim uređajima. MP3 i CD-ovi spremaju audio signal u digitalnom formatu. To znači da se digitalno – analogni pretvornici koriste u CD playerima i sličnim uređajima koji reproduciraju zvuk poput zvučnih kartica u računalima. Digitalno – analogni pretvornici koji stvaraju analogni linijski izlaz mogu se koristiti u pojačalima ili čak i USB zvučnicima. Princip rada digitalno – analognih pretvarača temelji se na konverziji niza digitalnih podataka iz koje dobivamo niz impulsa s amplitudama proporcionalnim digitalnim vrijednostima signala u trenucima uzorkovanja. Najjednostavniji način pretvorbe je da nedostatak impulsa nadoknadimo s držanjem veličine impulsa do isporuke sljedećeg impulsa [1, strana 242]. Taj se proces zove zadržavanje nultog reda ili ZOH (zero order hold) te je prikazan na slici 3.2.2.1. Za najbolju rekonstrukciju analognog signala

primjenjujemo niskopropusne filtere koji zaglađuju oštre rubove te pružaju kvalitetniju rekonstrukciju izvornog signala.



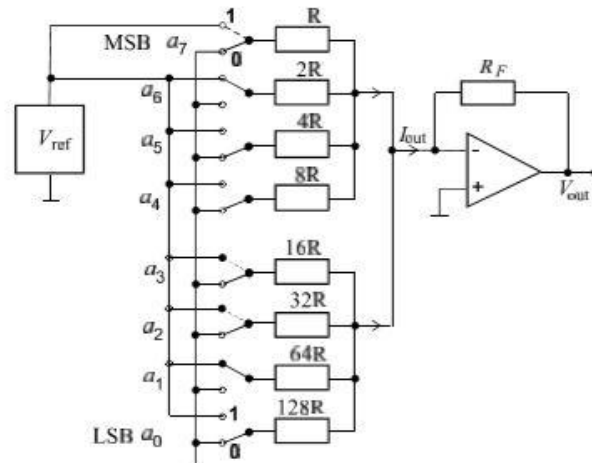
Slika 3.2.2.1. ZOH proces

Najčešće izvedbe digitalno – analognih pretvornika su težinski raspoređena mreža otpornika i mreža s jednom vrijednosti otpora otpornika. DAC s težinski raspoređenom mrežom otpornika prikazan je na slici 3.2.2.2 s težinama  $2^n$ . Ovakav sustav pretvara 8-bitnu digitalnu riječ  $(a_7a_6a_5a_4a_3a_2a_1a_0)$  u izlazni napon  $V_{out}$  gdje je  $a_7$  najznačajniji bit. Logičko stanje svakog bita  $a_k$  ulazne riječi predstavljeno je jednom od dvije moguće veze otpornika. Logičku jedinicu predstavlja priključak otpornika na izvor referentnog napona ostvaren analognim prekidačem dok potencijal otpornika uzemljenja predstavlja logičku nulu. Zbroj svih struja iz početnih otpornika analogna je struja  $I_{out}$  te je proporcionalna ulaznom digitalnom signalu.

$$I_{out} = V_{ref} \left( a_7 \frac{1}{R} + a_6 \frac{1}{2R} + a_5 \frac{1}{2^2R} + a_4 \frac{1}{2^3R} + a_3 \frac{1}{2^4R} + a_2 \frac{1}{2^5R} + a_1 \frac{1}{2^6R} + a_0 \frac{1}{2^7R} \right) \quad (3-8)$$

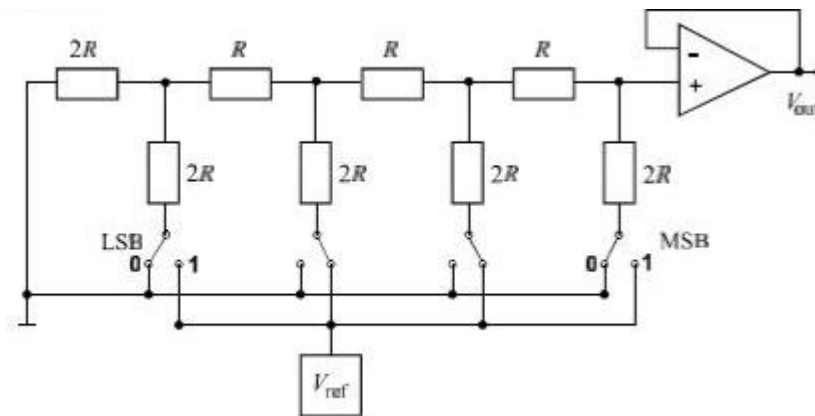
Gdje je  $a_k$  logička vrijednost k-tog bita. Vrijednost  $a_k$  može biti logička jedinica ili logička nula. Napon  $V_{out}$  proporcionalan je struji  $I_{out}$  pa prema tome i ulaznoj riječi  $(a_7a_6a_5a_4a_3a_2a_1a_0)$  [3, strana 77].





Slika 3.2.2.2. Težinski raspoređena mreža otpornika

Iako je struktura i princip rada pretvornika sa slike 3.2.2.2 vrlo jednostavna, ona se malo rjeđe koristi zbog poteškoća kod pribavljanja dobrih parametara. Uobičajeno je da je izlazna struja D/A pretvornika ograničena na 5 mA, pa se zbog toga na izlaznom kanalu u svrhu pravilne pobude izvršnih elemenata upravljanja postavlja pojačalo. Osnovni digitalno – analogni pretvarač je pretvarač s R-2R ljestva mrežom prikazanom na slici 3.2.2.3. Digitalno – analogni pretvarač s R-2R ljestva mrežom je vrlo važan te je razvijeno nekoliko modifikacija ovog pretvarača.

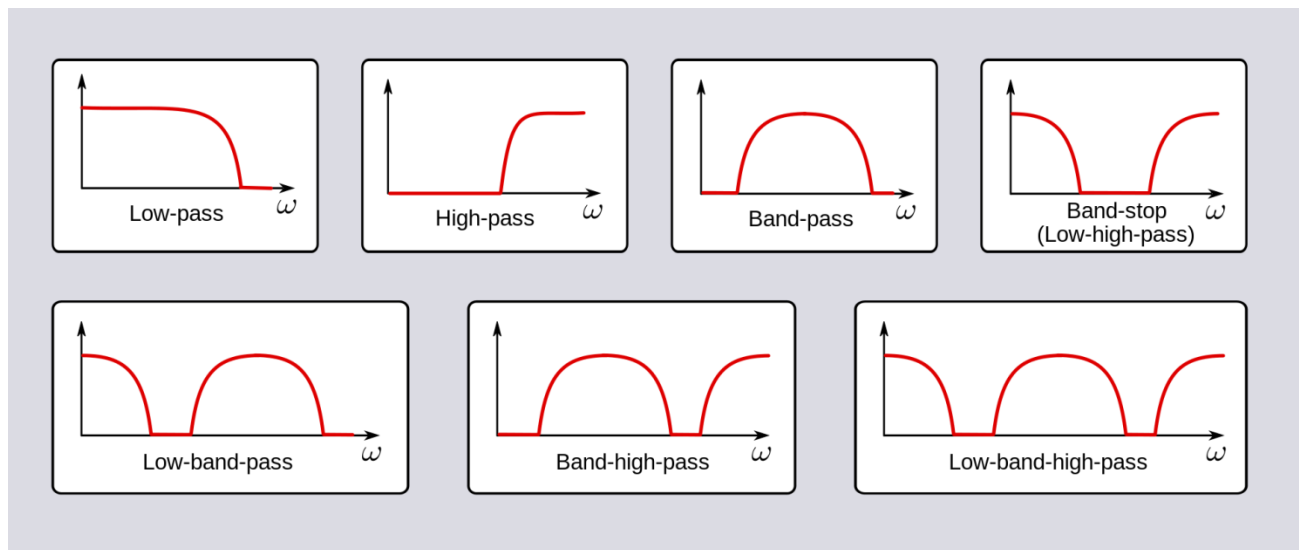


Slika 3.2.2.3. R-2R ljestva mreža

### 3.3. Filtriranje

U području obrade signala, filter služi kao proces ili uređaj koji djelomično ili potpuno potiskuje neželjene komponente ili značajke iz signala. To obično znači uklanjanje nekih frekvencija kako bi se suzbile smetnje i smanjila pozadinska buka. Iako je zadatak filtera vrlo jednostavan, oni su danas nezamjenjivi u području elektronike a posebice u području telekomunikacije. Filtere možemo podijeliti na analogne i digitalne. Frekvencijski odziv možemo podijeliti na više različitih pojasa koji opisuju frekvencijske opsege koje filter propušta a koje odbacuje.

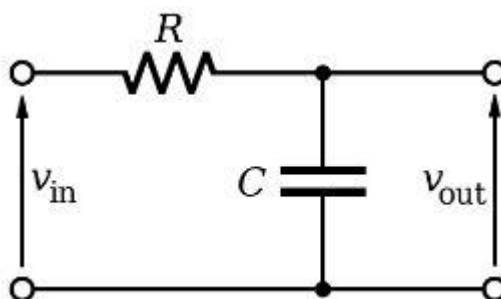
- Prigušivanje – smanjenje amplitude električnog signala s malim ili nikakvim izobličenjem
- Niskopropusni filter – filter koji propušta niske frekvencije i prigušuje visoke
- Visokopropusni filter – filter koji propušta visoke frekvencije i prigušuje niske
- Pojas propusni filter – filter koji propušta samo frekvencije u određenom pojasu
- Pojas prigušni filter – filter koji prigušuje samo frekvencije u određenom pojasu
- Notch filter – filter koji odbacuje ili prigušuje samo određenu frekvenciju



Slika 3.3.1. Različite vrste pojasa

Analogni filteri temeljni su dio obrade signala te su dizajnirani za rad na kontinuiranom signalu tj. signalu koji ima vrijednost u svakom trenutku. To su elektronički sklopovi koji ovise o

pasivnim i aktivnim elementima. Pod pasivnim elementima ubrajamo kondenzatore i otpornike dok pod aktivnim elementima ubrajamo pojačala u kombinaciji s pasivnim elementima. Analogni filteri mogu biti linearni ili nelinearni, ovisno o vrsti jednadžbe koja ih opisuje. Ovakvi uređaji uobičajeno imaju beskonačni impulsni odziv što znači da impulsni odziv filtera u teoriji nikad neće dosegnuti nulu, no u praksi će se signal približiti nuli te se tada može zanemariti [10].



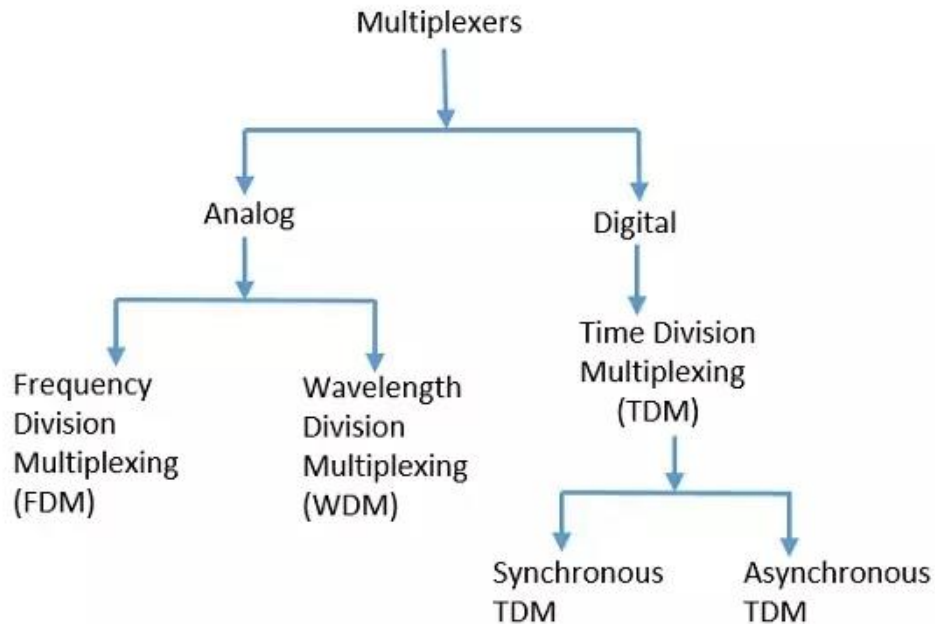
Slika 3.3.2. Električna shema niskopropusnog filtera 1. Reda

Digitalni filter je sustav za obradu ili kondicioniranje signala koji izvodi matematičke operacije na uzorkovanom digitalnom signalu u diskretnom vremenu. Taj signal je prikaz niza diskretnih vrijednosti poput proizvoljnog toka bitova ili digitaliziranog analognog signala. Koristi se u svrhu izmjene signala to jest za suzbijanje ili prigušivanje neželjenih dijelova signala. Analogni filteri su savršeni za visokofrekventno filtriranje, nisku latenciju i brzinu. Brzina analognog filtra može lako biti deset do stop puta veća od brzine digitalnog filtera. Analogni filteri mnogo su jeftiniji od digitalnih te se njihova primjena u jednostavnim slučajevima puno više isplati. Digitalni filteri su puno točniji, podržavaju IIR i FIR, mogu se programirati, što ih čini lakšim za izgradnju i testiranje te im daje veću fleksibilnost. Za razliku od analognih filtera na digitalne filtere ne utječu promjene temperature i vlage što rezultira s puno većom stabilnosti. U složenijim slučajevima puno više se isplati uzeti digitalni filter. U današnjim modernim sklopovima oba se filtera koriste te se međusobno nadopunjuju kako bi postigli maksimalnu brzinu i točnost [10].

### 3.4. Multipleksiranje i zaštita

Jedan od neizostavnih procesa prilagodbe signala je multipleksiranje. To je uobičajena tehnika mjerenja više signala s jednim mjernim uređajem. Multipleksiranje se može primijeniti i na

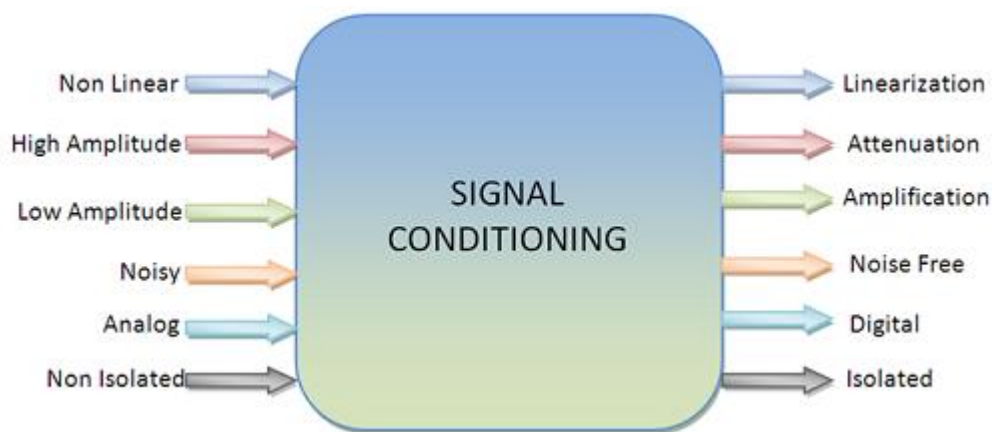
analogne i na digitalne signale. Glavna prednost multipleksiranja je smanjenje troškova fizičkog hardvera za skupe namjenske segmente mrežne komunikacije poput bakrenih ili optičkih kabela. Multipleksiranje se najčešće koristi u području telefona, podatkovne komunikacije i audio/video emitiranja. Kao što možemo vidjeti na slici 3.4.1. postoje dvije glavne vrste multipleksera, analogne i digitalne koje su nadalje podijeljene u FDM, WDM i TDM



Slika 3.4.1. Podijela multipleksera

Još jedan način prilagodbe signala je izolacija ili zaštita signala. Izolacija signala se koristi kako bi prosljedili signal od izvora do mjernog uređaja bez fizičke veze ili kako bi zaštitili računalo od visokonaponskih prijelaza. Dodatni razlog za korištenje izolacije je osiguranje da na očitavanja s eksterne DAQ ploče ne utječu razlike u potencijalima uzemljenja ili naponima zajedničkog načina rada. Kad se ulaz DAQ ploče i dobiveni signal pozivaju na uzemljenje dolazi do problema ako postoji razlika potencijala. Ta razlika može dovesti do petlje uzemljenja što može uzrokovati netočan prikaz stečenog signala ili ako je razlika prevelika može doći do oštećenja mjernog sustava. Najčešće se koristi magnetska ili optička izolacija [2, strana 3]. Linearizacija je još jedna od metoda kondicioniranja signala. Mnogi pretvarači, poput prijašnje opisanih termoparova imaju nelinearni

odgovor na promjene u fenomenima koji mjere. Linearizacija se može postići hardverski ili softverski. Kod svih metoda kondicioniranja signala važno je razumjeti prirodu našeg signala, konfiguraciju koja se koristi za mjerenje signala te utjecaj okoline. Na temelju ovih podataka prikazanim na lijevoj strani slike 3.4.2. možemo utvrditi hoće li nam kondicioniranje signala biti potrebno te koju metodu moramo koristiti.



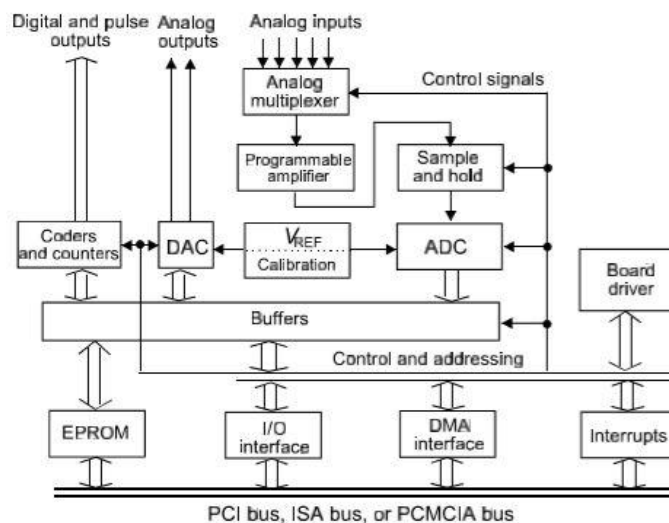
Slika 3.4.2. Različite primjene metoda kondicioniranja s obzirom na stanje signala

### 3.5. Ploče za prikupljanje podataka

Računalne ploče za prikupljanje podataka poznatije kao DAQ kartice, su tiskane ploče (PCB - ovi) koje se najčešće spajaju na matične ploče ili se izravno povezuju s računalom. DAQ ploče mogu imati izravne ulaze ili mogu primiti analogne i digitalne signale iz uređaja za signaliziranje, modula, releja ili senzora. Koriste se za prevođenje signala i podataka senzora u digitalni format koji računala mogu obraditi. Računalne ploče za prikupljanje podataka temeljni su dio mjernog sustava

zaduženog za praćenje, analizu, obradu i pohranu podataka putem računala. U osnovi DAQ ploča izvršava proces digitalizacije, no one su puno više od pukog A/D pretvarača. Moderne računalne DAQ ploče pružaju sljedeće funkcije [3, strana 314] :

- Digitaliziraju jedan ili više signala (najčešće napon ili struju) primljenih s analognog ulaza
- Izvršavaju analognu antialiasing filtraciju ulaznog signala
- Postavljaju razine okidača i vremenska ograničenja analognog ulaznog signala
- Prikazuju potrebne signale na analognim izlazima putem D/A pretvorbe
- Čitaju digitalne signale s podatkovnih ulaza, te ih šalju na podatkovne izlaze
- Proizvode signal unaprijed zadane frekvencije
- Mjere frekvenciju ulaznog signala ili trajanje impulsa
- Pohranjuju podatke mjerenja i postavke konfiguracije u memoriju kartice



Slika 3.5.1. Funkcionalni dijagram računalne DAQ ploče

Na slici 3.5.1 možemo vidjeti funkcionalni dijagram DAQ ploče. Tipična DAQ ploča sastoji se od analognog multipleksera, programabilnog pojačala, kruga uzorkovanja i zadržavanja, ADC-a, DAC-a, visokokvalitetnog izvora referentnog kruga, blok za okidanje, registra, memorijskih krugova te upravljačkog bloka. Određene ploče pružaju DMA sučelje za izravan pristup memoriji računala, bez uključivanja CPU-a. Kvaliteta A/D pretvorbe ili digitalnog mjerenja može se brojčano

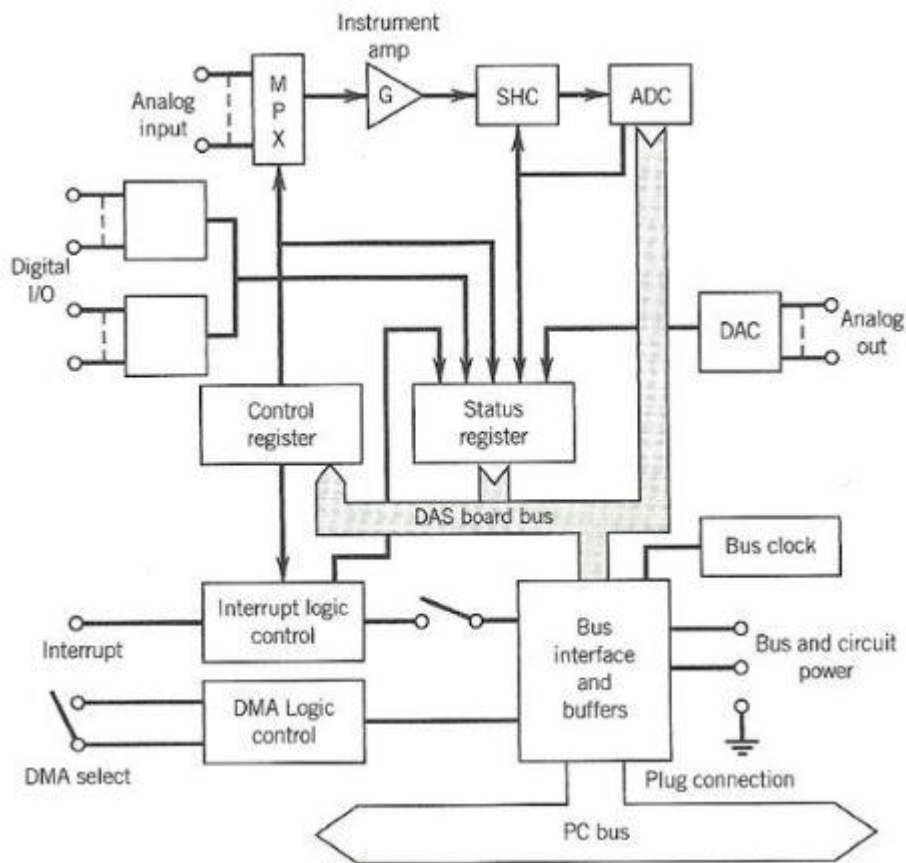
opisati kao umnožak brzine uzorkovanja i razlučivosti mjerenja, te se izražava kao broj bitova u digitalnoj riječi nakon digitalizacije. DAQ ploče pružaju najveću vrijednost ovog indeksa [3, strana 303.]. Specifikacije DAQ ploče uključuju:

- Broj analognih ulaza i njihove vrste: diferencijalni ili jednostrani
- Rezolucija A/D pretvornika izražena kao broj bitova u digitalnoj riječi
- Maksimalna brzina uzorkovanja
- Raspon unosa i apsolutna razlučivost
- Točnost mjerenja
- Tip sučelja sabirnice računala

Uz to navedeno je još desetak manje važnih parametara poput: broja analognih izlaza, njihova upravljačka razlučivost, opseg analognog izlaznog napona, brzina analognog izlaza, ulazna impedancija, ulazna struja, način napajanja te potrošnja energije.

### **3.5.1. Interna ploča za prikupljanje podataka**

Uređaji za prikupljanje podataka često su dostupni u obliku priključne ploče za prikupljanje koja je na računalo povezana PCI sučeljem ili PCMCIA sučeljem. Ovakve ploče vrlo su jednostavne za korištenje samo se priključe te se same konfiguriraju instaliraju i kalibriraju, dolaze sa softverima koji automatski odabiru i dodjeljuju resurse sustava. Najčešće korištene ploče za prikupljanje podataka pokazuju 12-bitnu ili 16-bitnu rezoluciju i frekvenciju uzorkovanja 100 - 250 kSPS. Takvi parametri obično su dovoljni za opće potrebe.



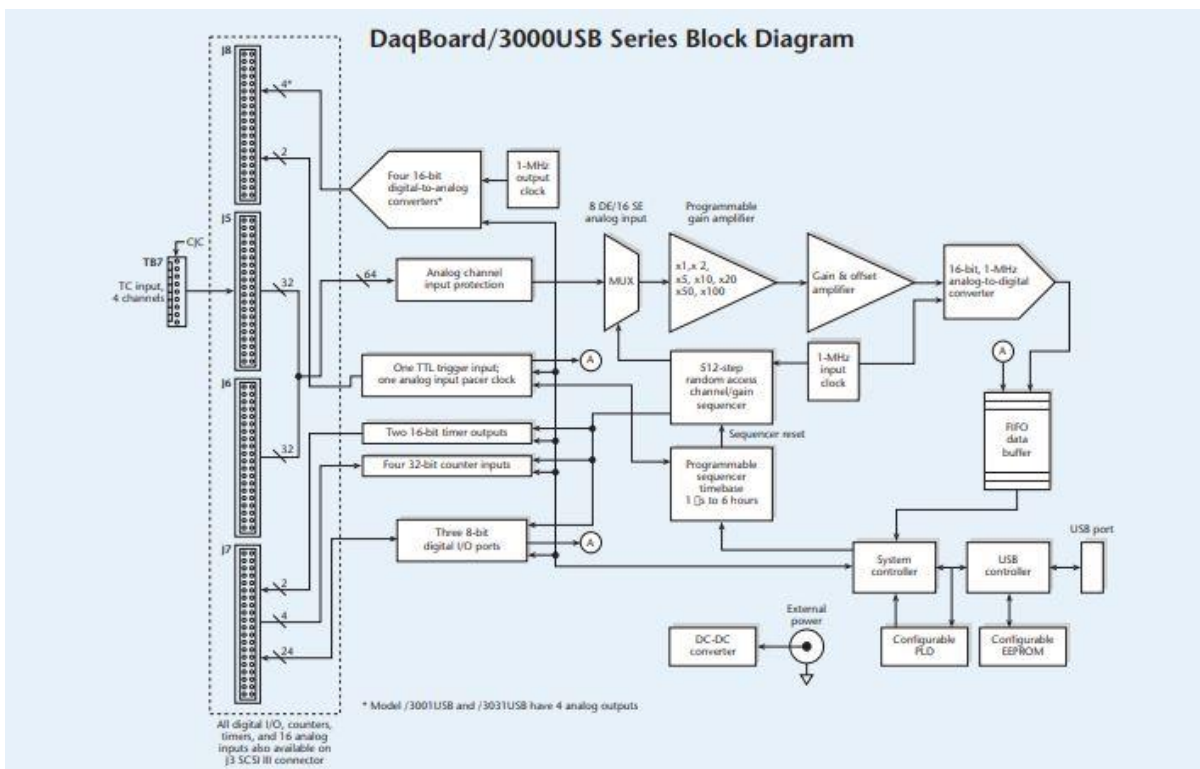
Slika 3.5.1.1. Interna ploča za zapisivanje podataka

Na slici 3.5.1.1. prikazan je funkcionalni dijagram tipične interne ploče za prikupljanje podataka. Općenito postoji 8 simetričnih (diferencijalnih) ili 16 nesimetričnih (jednostrukih) ulaza, no postoje i skuplje ploče sa 64 ulaza. Kvalitetnije ploče opremljene su s digitalno-analognim pretvaračima te s većom količinom memorije za spremanje uzorkovanih podataka. Uobičajeno je da se kao ulazni signal koristi unipolarni ili bipolarni signal napona u opsegu od 5V do 10V. Na pločama se često nalaze programabilna pojačala PGA te se pojačanje može postaviti na različite vrijednosti za različite kanale. Negativnost povećanja pojačanja može uzrokovati smanjenje učestalosti uzorkovanja. Bolji DAQ umjesto multipleksera koristi analogno-digitalne pretvarače za svaki kanal što ne utječe na brzinu u odnosu na povećanje broja kanala. [1, strana 363]



### 3.5.2. Eksterna ploča za prikupljanje podataka

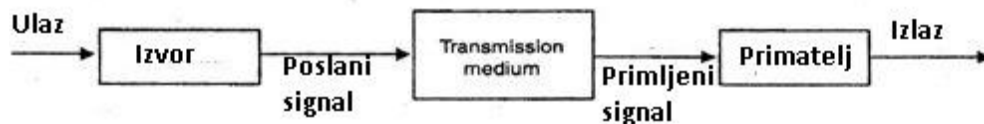
Od nedavno se umjesto internih ploča razvijaju i eksterne ploče za prikupljanje podataka. Eksterne ploče povezuju se s računalom preko USB ili FireWire sučelja, ova mogućnost posebno je važna u slučaju prijenosnih računala. Slike 3.5.2. prikazuje funkcionalni blok modela moderne eksterne Daq ploče. Ovakva ploča nudi visoku brzinu prikupljanja višenamjenskih podataka te često dolazi s kvalitetnom softverskom podrškom. Sastoji se od 16 – bitnog analogno – digitalnog pretvarača, ima do 64 analognih ulaza te do četiri 16 – bitna analogna izlaza.



Slika 3.5.2. Funkcionalni blok dijagram eksterne DAQ ploče

## 4. PODATKOVNA KOMUNIKACIJA U RAČUNALNIM MJERNIM SUSTAVIMA

U svakom mjernom sustavu pa tako i u računalnom, potrebno je organizirati i podesiti komunikaciju podataka između komponenata koje čine mjerni sustav. Pod komunikacijom podataka smatramo procese razmjene određenih informacija između izvora i prijammnika, najčešće putem oblika prijenosnog medija kao što je kabel. U podatkovnoj komunikaciji izvor podataka predstavlja uređaj zadužen za prijenos informacija, dok je prijemnik uređaj koji prima prenesene podatke. Cilj komunikacije podataka u računalnim mjernim sustavima je siguran i efikasan prijenos informacija, te održavanje podataka tijekom određenog procesa. Na slici 4.1 možemo vidjeti primjer jednostavnog sustava komunikacije podataka.

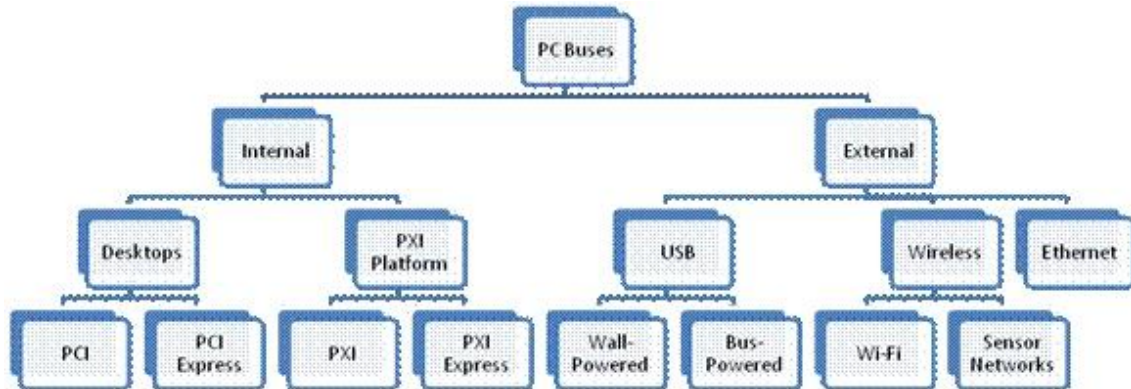


Slika 4.1. Sustav komunikacije podataka

Komunikacijski sustavi zaduženi za prijenos podataka između različitih komponenata ili računala zovu se sabirnice. Ovisno o namjeni, koristimo razne sabirnice. Svaka vrsta sabirnice ima različite prednosti i nedostatke. Neke od najčešće korištenih sabirnica u računalnim mjernim sustavima su:

- PCI
- PCI Express
- PXI
- PXI Express
- USB
- Ethernet
- Wireless

Kod odabira idealne sabirnice za određeni računalni mjerni sustav, treba obratiti pozornost na: količinu podataka koja se planira prenositi, sposobnost prenosivosti mjernog sustava, udaljenost senzora koji vrše mjerenja i računala.



Slika 4.2. Različite vrste sabirnica

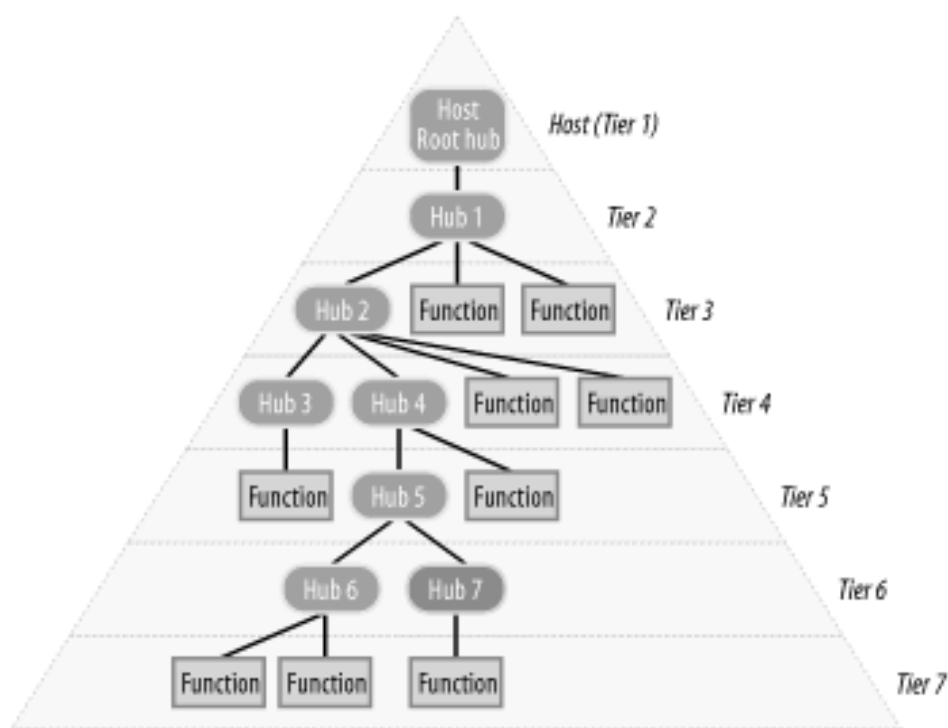
## 4.1. Univerzalna serijska sabirnica (USB)

Univerzalna serijska sabirnica originalno je dizajnirana da povezuje periferne komponente poput tipkovnica i miševa s računalom. Unatoč tome USB se pokazao izvrsnim i u drugim svrhama, poglavito u elektrotehničkim poljima kao što su mjerenje i automatika. Za izradu univerzalne serijske sabirnice uglavnom su zaslužne velike tvrtke Microsoft, Intel, Compaq i NEC. USB je jeftin, jednostavan i učinkovit sustav za povezivanje različitih uređaja, ove osobine rezultirale su s time da se danas USB sustav koristi gotovo u svakom uređaju.



Slika 4.1.1. Prikaz različitih vrsta USB-a

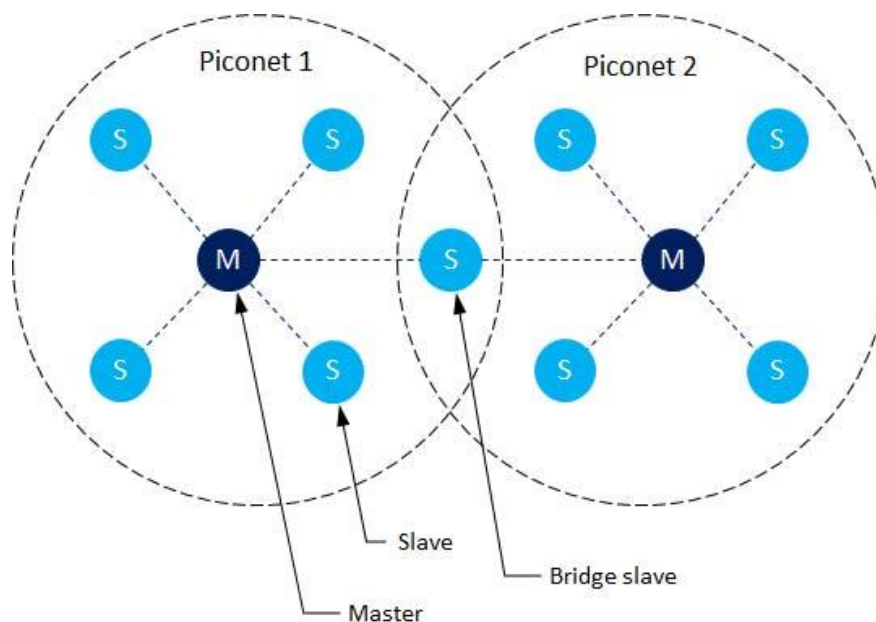
Jedna od glavnih prednosti USB sabirnice je njegova ogromna brzina prijenosa podataka od 12 megabita po sekundi pa sve do 10 gigabita po sekundi. Vrijedno je spomenuti i njegovu raširenost, gotovo su sva današnja računala opremljena s nekom vrstom univerzalne serijske sabirnice. Glavni nedostatak ove vrste sabirnice je njena ograničena udaljenost, maksimalna duljina USB kabela je pet metara. U slučaju korištenja duljih kabela može doći do gubitka podataka, ovaj problem može se riješiti korištenjem USB čvorišta. Pomoću USB čvorišta možemo produžiti udaljenost između dva uređaja tako da spojimo dva USB kabela. Univerzalna serijska sabirnica radi na principu Master/Slave odnosa, organizacija joj je piramidalnog oblika u kojem je Master računalo vrh piramide. Vrh piramide upravlja sa svim drugim uređajima spojenim preko USB kao što možemo vidjeti na slici 4.2.1.



Slika 4.1.2. Organizacija USB-a

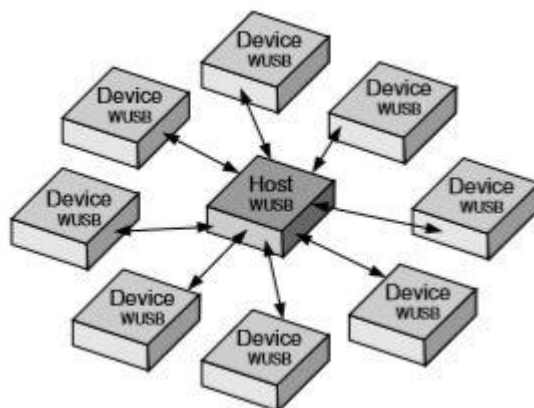
## 4.2. Bežična tehnologija

Bežično povezivanje uređaja često se koristi u slučaju kada su kabeli nezgodni i nepraktični, ovakav sustav proširuje fleksibilnost i prenosivost računalnog mjernog sustava. Bežična veza uvelike smanjuje troškove uzrokovane ugradnjom kabela. Ovakav sustav ima jednostavnu implementaciju te je vrlo pouzdan. Nedostaci bežičnog sustava su česte smetnje i problemi sa sigurnošću podataka. Često korištena vrsta bežičnog sustava je sustav infracrvene svjetlosti. Najpoznatiji primjer korištenja ovog sustava je daljinsko upravljanje TV prijemnikom. U današnje vrijeme ovakav sustav nije praktičan te je većinom zamijenjen Bluetooth vezom. Bluetooth veza je riješila jedan od najvećih problema sustava infracrvene svjetlosti a to je nužnost vidljivosti između povezanih uređaja. Bluetooth je predstavljen 1998. godine od strane švedske tvrtke Ericsson. Ovakva mreža ima mogućnost prenošenja podataka brzinom od 1 megabit po sekundi na udaljenosti od oko 10 metara. U bluetooth mrežu se može povezati sve do osam uređaja, takvu mrežu nazivamo piconet te njeni prikaz imamo na slici 4.2.1. Uređaj zaslužan za pokretanje mreže dobiva ulogu mastera dok svi ostali povezani uređaji imaju ulogu slave-a. Podaci se u bilo kojem trenutku mogu prenositi između master-a i slave-a.



Slika 4.2.1. Primjer bluetooth mreže

Poboljšani USB sustav predstavljen je 2005. godine pod nazivom WUSB tj. bežična univerzalna serijska sabirnica. Ovakva vrsta bežičnog sustava kombinira performanse USB 2.0 s bežičnom ultrapojasnom tehnologijom koji radi u opsegu od 3,1 do 10,6 GHz [1, strana 384]. Slično kao i kod klasičnog USB sustava, mrežom upravlja jedan uređaj. Na taj master uređaj moguće je povezati sve do 127 uređaja. Brzina prijenosa podataka varira sve od 480 Mbps na udaljenosti od 3 metra pa sve do 110 Mbps na udaljenosti od 10 metara.

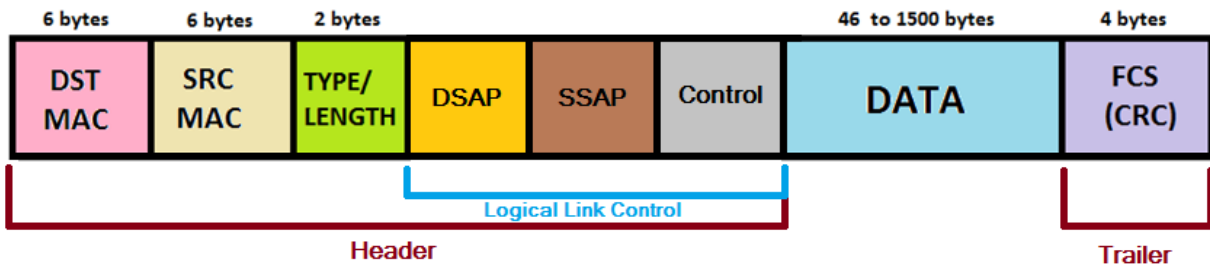


Slika 4.2.2. Bežična USB mreža (WUSB)

### 4.3. Ethernet

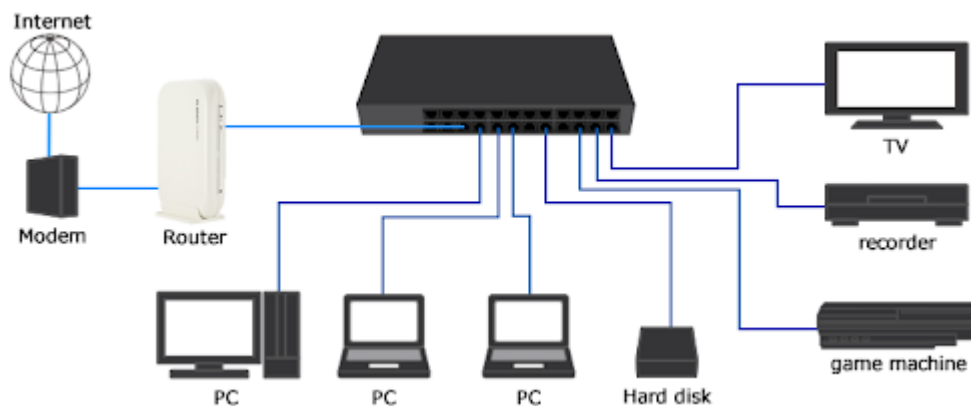
Ethernet je središnja točka gotovo svake korporativne mreže u svijetu te je stoga široko dostupan. Kada je udaljenost između mjerenja i računala veća od pet metara, ethernet postaje jedna od najboljih opcija za prijenos podataka. Ethernet kabel može biti duljine od sto metara prije nego što mu zatreba čvorište ili prekidač. Ovakva udaljenost u kombinaciji s velikom mrežom baza u laboratorijima, uredima i proizvodnim pogonim čini ethernet idealnim izborom za prijenos podataka na udaljenim lokacijama. Ethernet omogućuje sposobnost povezivanja više računala u jednu mrežu, te se sastoji od hardvera najčešće u obliku kabela te od softverskog dijela poput formata okvira prikazanog na slici 4.3.1 i komunikacijskog protokola.

## ETHERNET 802.3 FRAME



Slika 4.3.1. Ethernet 802.3 okvir

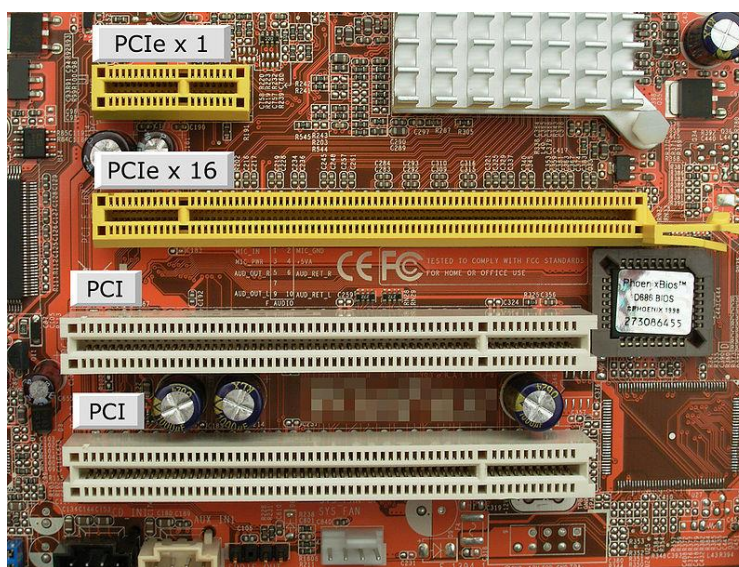
Prijenos podataka u ethernet mreži odvija se u obliku dobro definiranog okvira. Ethernet koristi Carrier Sense Multiple Access Collision Detect CSMA / CD protokol komunikacije između čvorova - naveden u IEEE 802.3 standardu. CSMA / CD protokol opisuje način prijenosa podataka na istom kanalu od strane nekoliko uređaja [1, strana 405]. Ethernet mrežu možemo proširiti upotrebom switcheva, uređaja koji povezuje više drugih uređaja zajedno. Switch uređaji se često koriste u raznim tvrtkama i uredima te je njegov način rada prikazan na slici 4.3.2.



Slika 4.3.2. Primjer rada switch uređaja

## 4.4. PCI i PCI Express tehnologija

PCI je sabirnica za međusobno povezivanje perifernih komponenti koja najčešće pomaže pri povezivanju unutarnjih dijelova stolnog računala. Ovo je najkorištenija vrsta interne računalne sabirnice, uvedena je 1992. godine od strane Intela. Starija računala sadržavala su do pet PCI kartica, svaka kartica zahtijeva otvorenu sabirnicu na matičnoj ploči. Dodavanje PCI kartica jednostavan je način nadogradnje računala, obično korisnici na PCI sabirnicu povezuju bolje grafičke kartice, brže žičane ili bežične mreže te nove utore poput USB 2.0. PCI sabirnica se koristi paralelnom strukturom, te osigurava veliku brzinu prijenosa podataka od 133 Mbps [11]. Za razliku od PCI sabirnice, njena evolucija PCI express sabirnica se koristi serijskom strukturom. PCI express koristi neovisne podatkovne trake koje su sposobne prenositi podatke brzinama od 250 Mbps. Glavna prednost PCI express sabirnice nad PCI sabirnicom je to što je na PCI-e sabirnicu moguće povezati vrhunske grafičke kartice te gigabitne ethernet kartice. Sabirnice za međusobno povezivanje perifernih komponenti važne su za računalni mjerni sustav jer se preko nje najčešće povezuje DAQ kartice.



Slika 4.4.1. PCI i PCIe sabirnice



## 5. RAČUNALO I PROGRAMSKA PODRŠKA

U prošlosti su se skupa računala najčešće koristila za prikupljanje više kanala podataka, primarno u velikim industrijskim ili znanstvenim poljima. Relativno veliki troškovi onemogućili su njihovu primjenu u manjim projektima. To se sve promijenilo 1970-ih godina napretkom tehnologije i uvođenjem stolnih računala koja su u sebi sadržavala mikroprocesore. Uskoro su DAQ ploče za računala postale uobičajeno sredstvo za prikupljanje i pohranu podataka svih vrsta. U današnjici široka uporaba računala i softvera osigurala je sve veću potražnju za računalnim mjernim sustavima. Računalo najčešće ima ulogu glavnog kontrolera jednostavnih mjernih sustava i obavlja sljedeće funkcije:

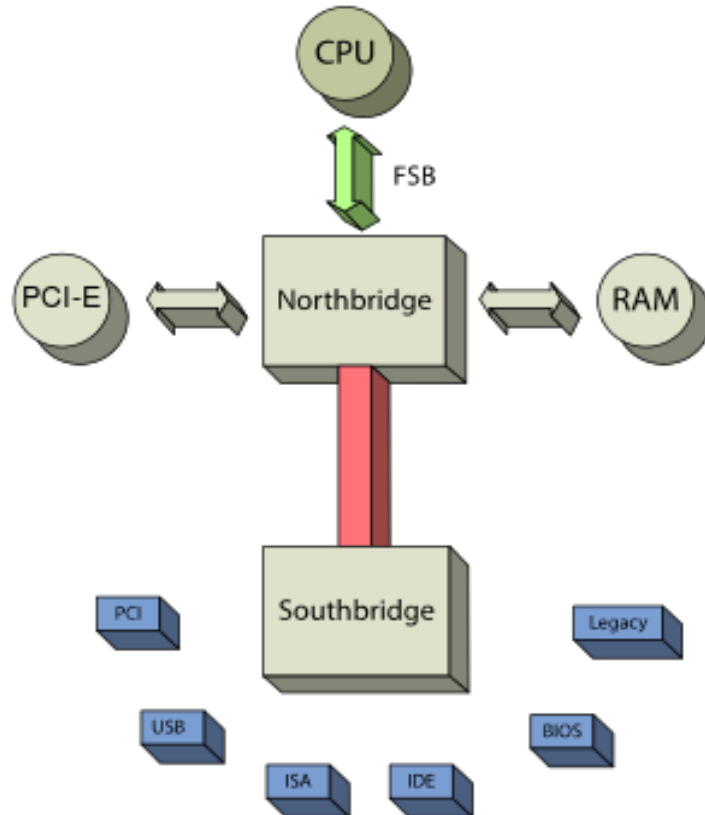
- Upravlja mjernim sustavom
- Obrađuje podatke u širokom rasponu pomoću računalnih programa kao što su Matlab ili Excel
- Servisira periferne uređaje poput monitora i tipkovnice
- Pohranjuje podatke
- Ima mogućnost prijenosa podataka izvan mjernog sustava najčešće putem interneta

Većina ovih navedenih funkcija mora biti ispunjena u svim računalnim mjernim sustavima ponekad samo u užem smislu. Instalacija perifernih uređaja kao što su tipkovnica i monitor te pohrana podataka neophodni su u svakom mjernom sustavu a obrada podataka obično je vrlo poželjna [3, strana 8].

### 5.1. Arhitektura računala

Računala koja se koriste u mjernim sustavima za prikupljanje podataka mogu uvelike utjecati na brzine kojima se podaci mogu kontinuirano i točno stjecati, obrađivati i pohranjivati za određenu aplikaciju [4, strana 468]. Točka u kojoj se spaja ploča sučelja s računalom vrlo je važna za brzinu obrade podataka. U arhitekturi računala ploča sučelja mora biti blizu procesora ili će doći do usporene komunikacije s pločom što rezultira s usporenjem rada ploče. Povezivanje dodatnih sklopova poput memorijskih kartica te perifernih uređaja na različite točke računalnih sabirnica omogućeno je modularnom strukturom modernih računala. Slika 5.1.1. prikazuje pojednostavljen prikaz blok dijagrama matične ploče računala, ona se dijeli na brži sjeverni i sporiji južni most.

Sjeverni most povezan je s procesorom, radnom memorijom i PCI-E sabirnicama. Informacije od procesora moraju proći preko sjevernog mosta prije nego što dođu do južnog mosta. Južni most matične ploče upravlja sa svim I/O funkcijama računala kao što su USB, PCI, IDE, te BIOS sustava.



Slika 5.1.1. Blok dijagram matične ploče

Računalo se sastoji od procesora, sistematskog sata, memorije i prostora na disku za pohranu podataka te sabirnice za prijenos tih podataka. Procesor je najvažniji integrirani sklop računala, te je obično spojen pomoću prednje sabirnice FSB i upravlja brzinom kojom pretvarač prihvaća podatke. Sistematski sat pruža informacije o vremenu prikupljenih podataka. Na brzinu kojom računalo može kontinuirano prikupljati podatke utječu razni faktori poput brzine mikroprocesora, vrijeme pristupa tvrdom disku, kapacitet diska i dostupne vrste prijenosa podataka [4, strana 468]. Korištenje izravnog pristupa memoriji ili DMA u kojem se namjenski hardver koristi za prijenos podataka izravno u memoriju računala vrlo znatno povećava propusnost sustava i ostavlja mikroprocesor računala slobodnim za druge zadatke. Računalni mjerni sustav u normalnom načinu rada pohranjuje

podatke prikupljene s DAQ ploče izravno u memoriju sustava. Brzina prijenosa podataka u trajnu pohranu ne utječe na ukupnu propusnost računalnog mjernog sustava. Računala niske klase zadovoljavajuća za veliku većinu projekta. Zahtjevi performanse glavnog računala trebali bi se uskladiti s određenom aplikacijom te sa svim aspektima računalnog mjernog sustava. Zadnji element računala koji treba uzeti u obzir je vrsta instaliranog operacijskog sustava te programska podrška za te sustave.

## **5.2. Programska podrška**

Programska podrška je nužan dio svakog računalnog mjernog sustava. Bez obzira na specifikacije računala moramo imati način na koji šaljemo i primamo informacije s hardvera. Na hardver šaljemo informacije o konfiguraciji poput brzine uzorkovanja, dok s hardvera primamo informacije kao što su podaci, poruke o statusu te poruke o pogreškama. Ovakva razmjena informacija primarno se ostvaruje upotrebom softvera ili programske podrške. Najčešći softveri za upravljanje procesa prikupljanja podataka su jezici bazirani na naredbenim redcima poput C++ ili MATLAB-a, ili grafički jezici poput LabView-a, LabWindows-a i TestPointa. Većina programa koristi se HMI-om (Human Machine Interface) kao način komuniciranja između računala i operatora. Obično se na takvim ekranima nalaze digitalni prikazi koji sličje pravim instrumentima.

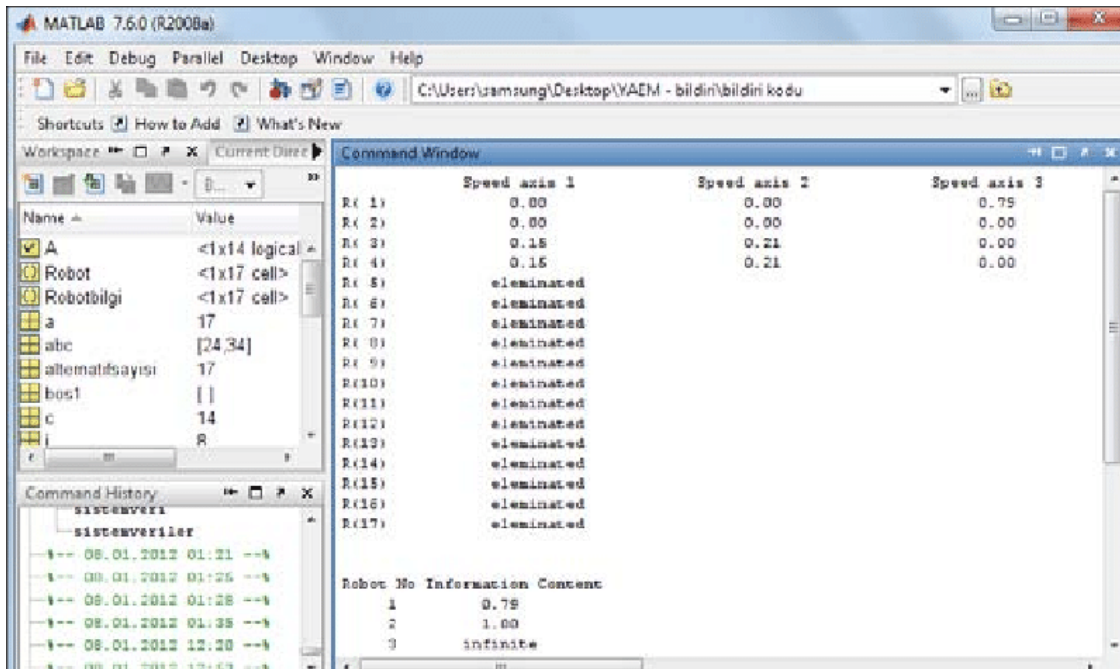
### **5.2.1. MATLAB**

Matrični laboratoriji ili MATLAB je jezik visokih performansi za tehničko računarstvo te je baziran na naredbenim redcima. MATLAB je izvorno kreiran kako bi omogućio jednostavan pristup matričnom softveru razvijenom u projektima LINPACK i EISPACK koji zajedno predstavljaju najnovija softverska rješenja za matrično računanje. Pretežito se koristi se za računanje, vizualizaciju i programiranje u jednostavnom okruženju gdje su problemi i rješenja često izraženi u matematičkim zapisima. Neke od uobičajenih funkcija MATLAB -a uključuju :

- Matematiku i računanje
- Razvoj algoritma
- Modeliranje, simulaciju i izradu prototipova
- Analizu, istraživanje i vizualizaciju podataka
- Znanstvenu i inženjersku grafiku

- Razvoj aplikacija i izgradnju grafičkog korisničkog sučelja

Tijekom godina MATLAB je postao standardni nastavni alat na mnogim sveučilištima. Koristi se za uvodne i napredne tečajeve iz matematike, inženjerstva i znanosti. Osim u obrazovne svrhe MATLAB se koristi i u industrijama za visokoproduktivna istraživanja, razvoj i analizu.



Slika 5.2.1. Grafičko sučelje MATLAB-a

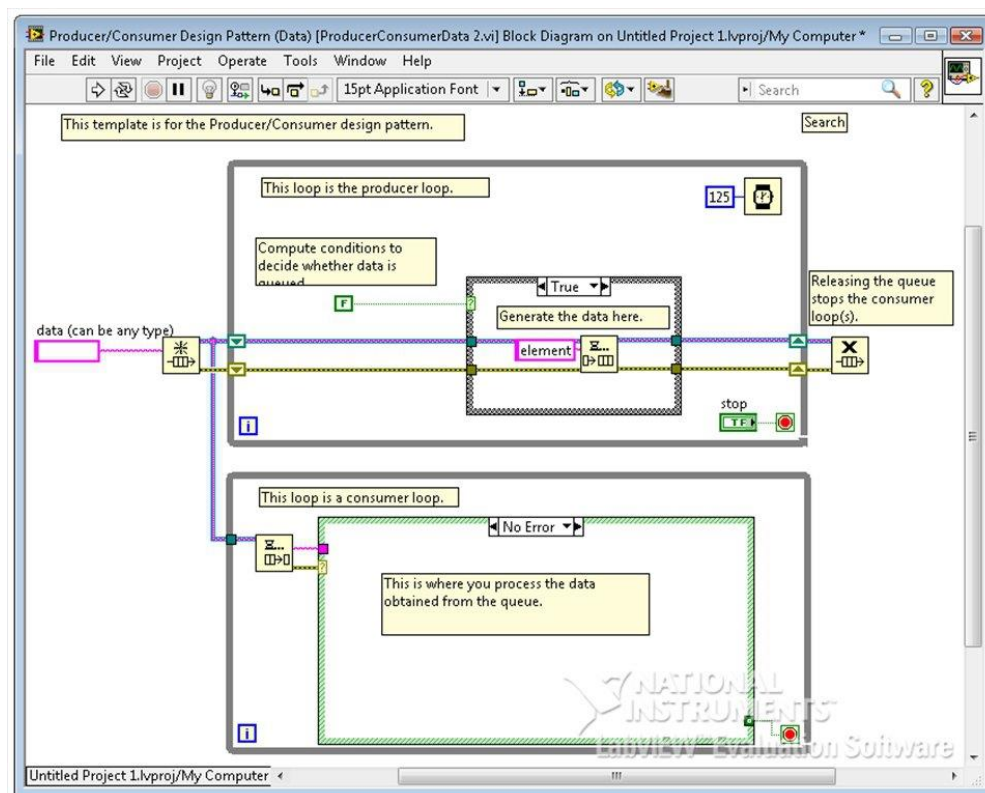
## 5.2.2. LabView

LabVIEW je sustavski inženjerski softver za aplikacije koje zahtijevaju ispitivanje, mjerenje i kontrolu s brzim pristupom hardveru i uvidima u podatke. Ovo je jedan od najpopularnijih programa svoje vrste dijelom zbog važnosti njegovih developera National Instruments-a, ali i dijelom zbog toga što je ovo prvo takvo softversko okruženje. Developeri LabView-a razvili su poseban grafički programski jezik po imenu G programski jezik, on svojim korisnicima omogućuje rad čak i ako nemaju iskustva u programiranju s jezicima više vrste poput C programskog jezika. Svaki program razvijen u LabView-u sastoji se od dva glavna dijela:

- Grafičko korisničkog sučelja koji pruža integriranu prednju ploču instrumenata koji čine mjerni sustav

- Funkcionalnog dijagrama koji preslikava ikone funkcionalnih blokova virtualnog instrumenta

Za pisanje programa u LabView-u, blok dijagram se stvara povlačenjem i ispuštanjem ikona objekata ili ikona funkcija. Mnoge od ovih funkcija mogu se proširiti na više razina kako bi postavili njihova potrebna svojstva [3, strana 312].

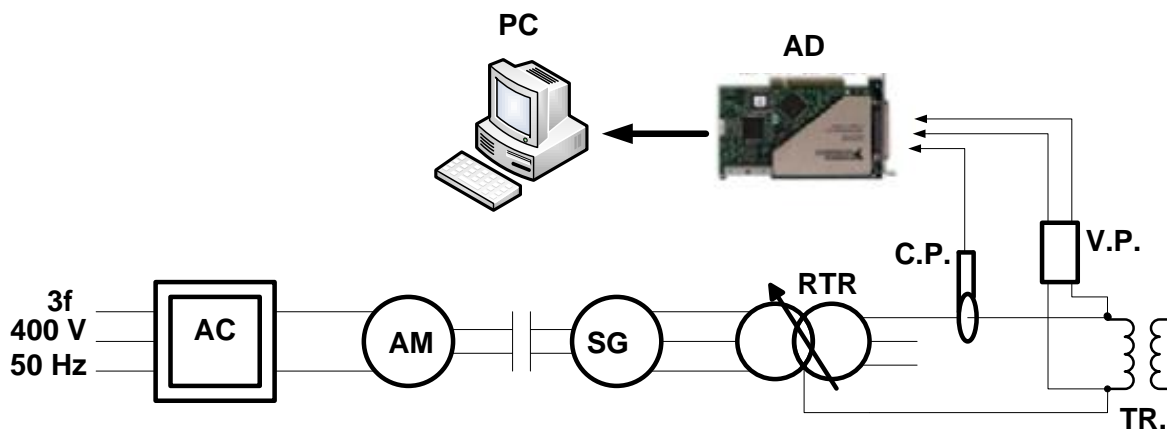


Slika 5.2.2. Grafičko sučelje LabView-a

## 6. PRIMJER MJERNOG SUSTAVA

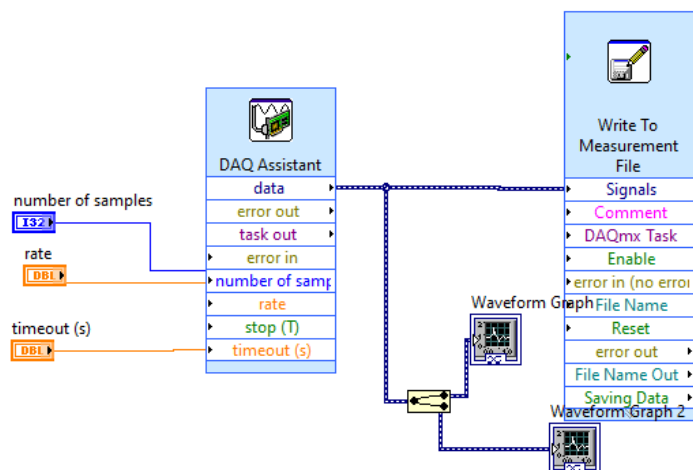
S ciljem prikaza rada računalnog mjernog sustava zadatak je bio odrediti B-H karakteristiku, odnosno ispitati magnetska svojstva materijala pomoću napona i struje. Korišteni računalni mjerni sustav prikazan na slici 6.1. se sastoji od trofaznog generatora 3 X AC promjenjive frekvencije

kojeg pogoni asinkroni motor. Broj okretaja asinkronog motora ovisi o frekvenciji. Za pokretanje motora zadužen je sinkroni generator koji na svojim izlaznim stezaljkama daje inducirani napon, vrijednost toga inducirano napona ovisi o veličini uzbudne struje rotora. Frekvencija se mijenja promjenom broja okretaja rotora, a različite vrijednosti napona mogu se dobiti regulacijom uzbudnih struja. Napon sinkronog generatora se nadalje može upravljati putem RTR-a koji napaja ispitivani transformator.



Slika 6.1. Prikaz komponenti korištenog mjernog sustava

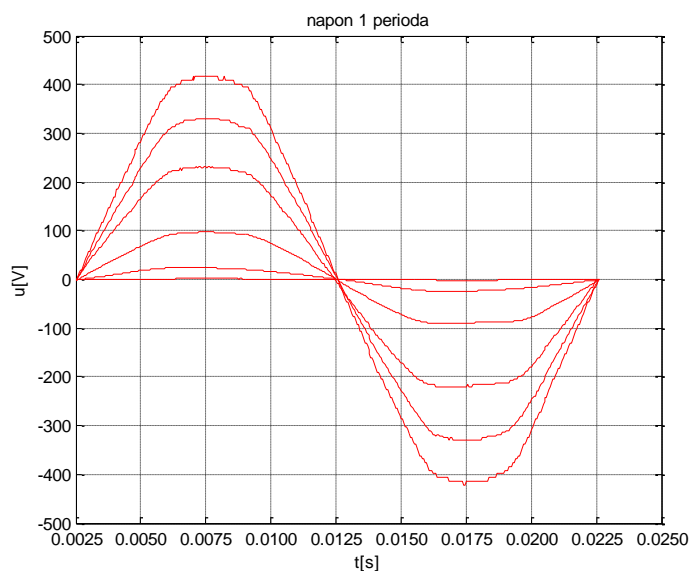
Postupak mjerenja se provodi tako da se pri nekoj određenoj frekvenciji snimaju naponi i struje na namotu ispitivanog transformatora. Naponi i struje se snimaju u jednakim koracima za više točaka, od minimalne do neke određene maksimalne vrijednosti u kojoj je jezgra potpuno magnetski zasićena. Snimanje napona i struje provodi se preko strujne te preko naponske sonde pomoću analogno – digitalne kartice. Snimljeni podaci se pohranjuju, te se dalje obrađuju na računalu pomoću MATLAB-a .



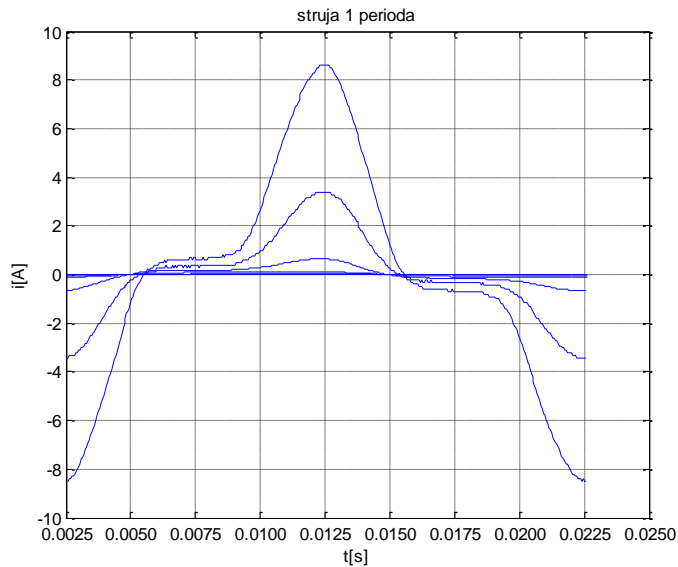
Slika 6.2. Prikaz mjernog sustava u LabView-u

## 6.1. Obrada podataka putem MATLAB-a

Skupovi naponskih i strujnih krivulja prikazani na slikama 6.1.1 i 6.1.2 dobivaju se mjerenjem napona i struje u jednakim koracima za više točaka vrijednosti u određenoj jedinici vremena.



Slika 6.1.1. Skup naponskih krivulja



Slika 6.1.2. Skup strujnih krivulja

Sustav je opisan preko naponske jednadžbe u kojoj je vidljivo da se u narinutom naponu izvora drži pad napona na oporu namota i pad napona samoindukcije. Iz te jednadžbe možemo zaključiti da je nelinearnost vidljiva samo u magnetskom dijelu kruga kao promjena magnetskog ulančanog toka u jedinici vremena.

$$u = iR + \frac{d\Psi}{dt} \quad (6-1)$$

Iz naponske jednadžbe numeričkom integracijom dobiva se vremenski ovisan ulančani tok.

$$\Psi(t) = \int_0^t [u(\tau) - Ri(\tau)] d\tau \quad (6-2)$$

Magnetska indukcija  $B$  dobiva se dijeljenjem ulančanog magnetskog toka  $\psi$  s brojem zavoja  $N$  i presjeka jezgre  $S$ .



$$B = \frac{\phi}{S} = \frac{\Psi}{NS} \quad (6-3)$$

Iz zakona protjecanja na osnovu poznatih podataka za struju  $I$ , broja zavoja  $N$  i srednje duljine magnetskih silnica  $l$  dobije se magnetsko polje  $H$  :

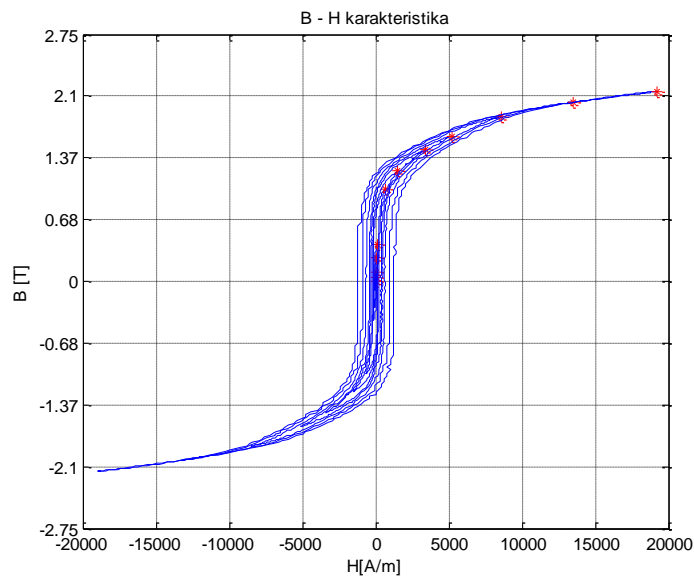
$$H = \frac{IN}{l} \quad (6-4)$$

Pomoću gornjih relacija dobiju se podaci za magnetsko polje  $H$  te podaci za magnetsku indukciju  $B$  :

$H = [0 \ 130 \ 150 \ 240 \ 244 \ 325 \ 338 \ 416 \ 468 \ 494 \ 676 \ 819 \ 936 \ 1000 \ 5000 \ 10000 \ 20000 \ 50000 \ 75000 \ 100000]$

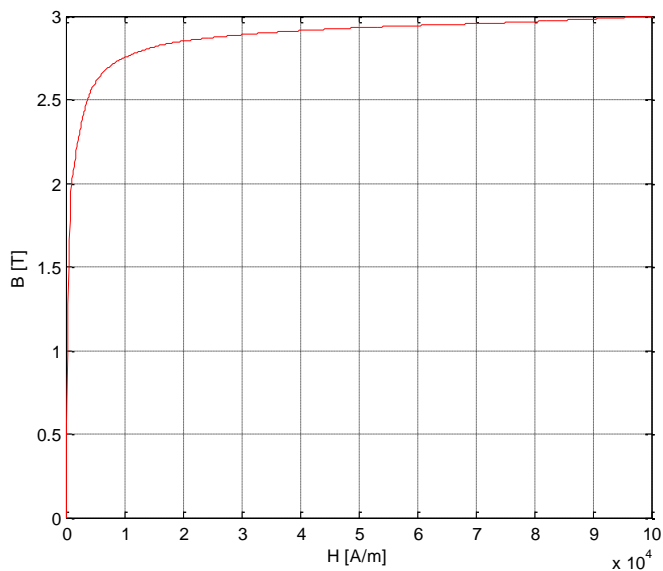
$B = [0 \ 0.35 \ 0.39 \ 0.77 \ 0.80 \ 1.05 \ 1.1 \ 1.32 \ 1.46 \ 1.50 \ 1.76 \ 1.88 \ 1.97 \ 2 \ 2.6 \ 2.75 \ 2.85 \ 2.93 \ 2.96 \ 3]$

Kada se prikaže ovisnost magnetske indukcije o magnetskom polju dobije se skup petlji histereza za svaku točku mjerenja. Taj skup histereza prikazan je na slici 6.1.3.



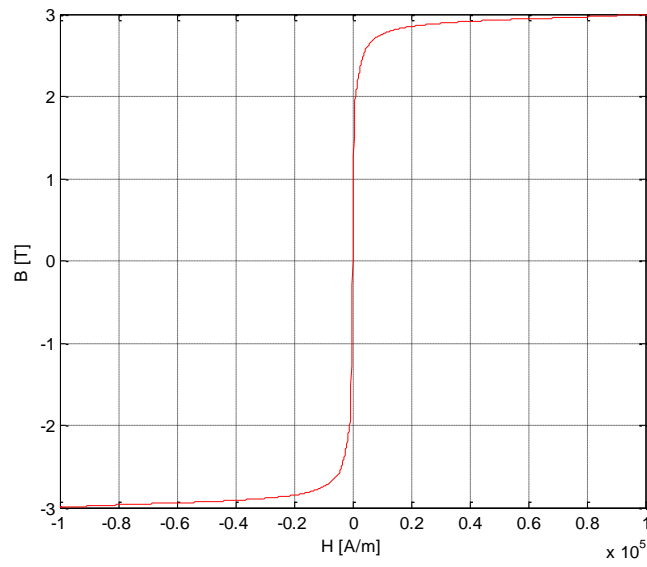
Slika 6.1.3. Skup histereza

Povezivanjem vrhova petlji histereze dobiva se krivulja koja predstavlja  $B - H$  karakteristiku. Iz krivulje je vidljivo da se vrijednost  $B$  povećava ovisno o povećanju vrijednosti  $H$ . Povećanje utjecaja magnetskog polja rezultira povećanjem vrijednosti magnetizma sve dok ne dođe do točke u kojoj  $B$  ostaje konstantan, tu točku nazivamo točkom zasićenja. Isto tako smanjivanjem magnetskog polja dolazi do smanjenja utjecaja magnetizma. Ova dva postupka zaslužna su za stvaranje petlje histereze.



Slika 6.1.4.  $B - H$  karakteristika

Povezivanjem tih vrhova i za negativnu stranu dobiva se  $B - H$  karakteristika za negativno i pozitivno područje.



Slika 6.1.5. B - H karakteristika za cijelo područje

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirane su osnovne komponente računalnih mjernih sustava. Napredak tehnologije i velika raširenost računala rezultirala je implementacijom računalnog mjernog sustava u gotovo svakom laboratoriju. Potreba za prikupljanjem podataka sve je veća te računalni mjerni sustav korisnicima pokušava olakšati nadzor i obradu dobivenih informacija. Ovaj rad opisuje komponente jednostavnog računalnog mjernog sustava koji se sastoji od senzora koji mjere promjenu neke fizičke veličine, tu promjenu pretvaraju u signal koji putuje do uređaja za kondicioniranje signala. Uređaj za prilagodbu signala se koristi nekom od navedenih metoda kondicioniranja signala kako bi pretvorio signal senzora u odgovarajući format koji sustav može obraditi. Nakon toga signal do računala putuje jednom od raznih vrsta sabirnica. Zadnja komponenta navedena u radu je programska podrška računalnog mjernog sustava. Ona je nužan dio svakog sustava jer bez programske podrške ne bih imali način na koji šaljemo i primamo informacije s hardvera.

## 8. LITERATURA

- [1] S. Tumanski, „Principles of electrical measurement“
- [2] T. Jansson, „Computerized Measurement systems“
- [3] W. Nawrocki, „Measurement Systems and Sensors“
- [4] P. Purkait, B. Biswas, S. Das, C. Koley „Electrical and Electronics Measurements and Instrumentation“
- [5] D. Dorić Procesna mjerenja senzori i aktori
- [6] <https://www.a1-cbiss.com/gas-sensors> [30.7.2021]
- [7] <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-sensor> 2.8.2021
- [8] <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-8/the-instrumentation-amplifier/> [2.8.2021]
- [9] <https://wiki.analog.com/university/courses/electronics/text/chapter-20> [20.8.2021]
- [10] <https://training.dewesoft.com/online/course/filters#introduction-1> [20.8.2021]
- [11] <https://pediaa.com/what-is-the-difference-between-pci-and-pci-express/> [20.8.2021]

## **9. ŽIVOTOPIS**

Robert William Hancock rođen je 29. listopada 1999. godine u Osijeku. Odrastao je u Svetom Đurđu te je pohađao osnovnu školu Hrvatski sokol u Podravskim Podgajcima. Nakon završetka osnovne škole upisuje opću gimnaziju u srednjoj školi Valpovo koju uspješno završava 2018. godine. Iste godine upisuje se na Preddiplomski stručni studiji Elektrotehnike, smjer Automatika na FERITU-u u Osijeku.

## Sažetak

U ovom radu analizirane su komponente računalnog mjernog sustava koje se koriste u raznim laboratorijima i industrijama. Kao primarne ulazne komponente računalnog mjernog sustava navedeni su senzori. Opisane su karakteristike i načini rada najčešće korištenih senzora. Zatim je objašnjena razlika između inteligentnih i običnih senzora. Signali senzora se često moraju prilagoditi ili kondicionirati kako bi ih sustav mogao obraditi. Uređaji za prilagodbu signala postavljaju se između senzora i digitalnog uređaja. Spomenute su razne tehnike prilagodbe signala. Opisano je pojačanje signala koje podrazumijeva povećanje amplitude signala, te su analizirani digitalno-analogni i analogno-digitalni pretvarači. Nakon toga opisan je proces filtriranja signala koji podrazumijeva uklanjanje nekih frekvencija s ciljem suzbijanja smetnja i smanjenja pozadinske buke. Zadnja navedena metoda prilagodbe signala je zaštita i multipleksiranje signala. Zatim su analizirane DAQ ploče koje se koriste za prikupljanje podataka te se dijele na interne ploče za prikupljanje podataka i eksterne ploče za prikupljanje podataka. Također su opisane razne vrste sabirnice koje pomažu pri komunikaciji podataka. U zadnjem dijelu rada nalazi se analiza arhitekture računala, primjeri programske podrške korištene u računalnom mjernom sustavu te primjer računalnog mjernog sustava korištenog za određivanje petlje histereze.

Ključne riječi: Mjerni sustav, Senzori, Signal, Podaci, Računalo

## **Abstract**

This paper analyzes the components of a computer measurement system used in various laboratories and industries. Sensors are listed as the primary input component of the computer measurement system. This paper describes the characteristics of the most commonly used sensors, and analyzes how they work. Furthermore the difference between intelligent and ordinary sensors is explained. Signals from sensors often need to be adjusted or conditioned for the system to process them. Signal adjustment devices are placed between the sensor and the digital device. Various signal adjustment techniques are mentioned. Signal amplification implies an increase in signal amplitude, and digital-to-analog and analog-to-digital converters are also analyzed. In addition to that, the signal filtering process is described, which involves removing some frequencies in order to suppress interference and reduce background noise. The last mentioned signal adjustment method is signal protection and multiplexing. The DAQ boards used for data collection were then analyzed and split into plug-in data collection boards and external data collection boards. Various types of buses that help with data communication are also described. The last part of the paper contains an analysis of computer architecture, some examples of various software used in computer measurement systems and an example of computer measurement system used for determining the hysteresis loop.

Keywords: Measuring system, Sensors, Signal, Data, Computer