

## 5. Prikupljanje i obrada podataka

Mjerenja u hidrotehnici možemo podijeliti na:

- mjerenja na fizikalnim modelima
- mjerenja u prirodi - najčešće na izgrađenim objektima

Suvremene mjerne metode služe za prikupljanje informacija o nizu fizikalnih veličina koje opisuju stanje nekog procesa. Prikupljanje podataka koje je u ovom poglavlju opisano za potrebe hidrotehnike se na sličan način provodi i u drugim granama tehnika (distribucija električne energije, upravljanje toplovodnim sustavima, nadzor rada motora u vozilima,...). Sredina u kojoj se prikupljaju informacije o protocima, brzinama, temperaturi, vlazi i drugom može dakle biti bilo koja sredina koja je interesantna sa tehničkog stanovišta.

U ovom poglavlju su objašnjeni principi prikupljanja i obrade podataka sa mjerenja na modelima a znatan dio teksta je prenesen iz knjige *Računala i procesi* (Gabro Smiljanić, Školska knjiga – Zagreb, 1991.) koju preporučujem za pročitati.

Da bi mogli pratiti rastuću potrebu za mjerenjima, kontrolom i upravljanjem inženjeri trebaju biti upoznati sa osnovnim principima mjerne tehnike i idejama koje vode razvoj mjerne opreme i njenog korištenja.

Današnji svijet skoro u potpunosti funkcionira na odlukama koje se zasnivaju na prikupljanju podataka i njihovoj daljnjoj analizi. Tako npr. precizno mjerenje fizikalnih veličina kao što je protok, tlak, temperatura predstavlja vrlo bitan dio procesa regulacije ili sustava signalizacije i monitoringa.

Proces kojim se podaci iz stvarnog fizičkog svijeta (npr. temperatura, protok tekućine, intezitet svjetla, tlak) uzimaju, a dobiveni podaci na izmjerenim uzorcima pretvaraju u digitalne brojčane vrijednosti nazivamo **prikupljanje podataka (data acquisition)**.

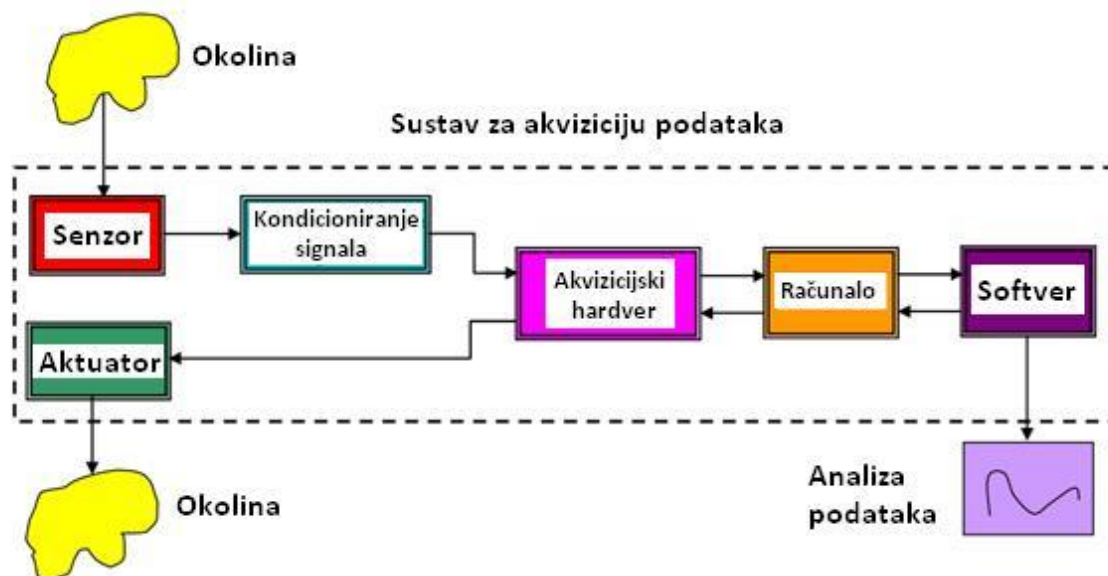
Sustav za prikupljanje podataka i upravljanje se može definirati kao elektronski instrument ili grupa međusobno povezanih elektronskih hardverskih komponenti, namijenjenih za mjerenje i kvantizaciju analognih signala i prihvaćanje digitalnih, u cilju digitalne analize ili obrade i poduzimanje povratno-upravljajućih akcija.

Svrha pretvaranja izmjerenih fizikalnih veličina iz datih fizičkih uvjeta je dobivanje vrijednosti koje se mogu interpretirati na računalo. Sustavi za prikupljanje podataka pretvaraju fizikalne veličine u digitalne vrijednosti podobne za daljnju obradu.

Akronim za ove sustave su DAS ili DAQ (*Data Acquisition System*), a komponente sustava su sljedeće:

1. senzori,
2. elementi za kondicioniranje signala (predobradu),
3. elementi za obradu signala,
4. računalo,
5. softver.

Na slici 5.1::1 prikazana je shema sustava za prikupljanje podataka i upravljanje procesima.



Slika 5.1::1 Prikaz sustava za prikupljanje podataka i upravljanje procesima

Elementi prikazani na slici 5.1::1 mogu se podijeliti u tri osnovne skupine. Na lijevom dijelu slike su prikazani senzori koji prikupljaju informacije o stanju u prirodi i izvršni organi koji upravljaju hidrotehničkim objektima. Na krajnje desnom dijelu slike je prikazano računalo kojim se prikuplja i pohranjuju prikupljene informacije te se na osnovu definiranih algoritama upravlja izvršnim organima (na primjer zapornicama na brani). Srednji dio slike predstavljaju elementi koji služe za povezivanje senzora i izvršnih organa sa računalom.

**Senzor** pretvara jednu fizikalnu veličinu (obično vrijednost u prirodi) u drugu (obično električni signal koji je prilagođen daljnjoj obradi). Često korišteni sinonimi za senzore su: mjerni pretvornik, davač, osjetilo, mjerni član, detektor i slično, a imaju funkciju da prihvaćaju signale od relevantnih parametara procesa. Postoji šest važnih energetske domena između kojih se događaju ove pretvorbe (kemijski, mehanički, magnetni, radijacijski, termički i električki), a konverzija se obavlja prema električnoj domeni jer su električni signali najpogodniji za modifikaciju (lako se mjere, prenose i obrađuju).

Na temelju teorije po kojoj je nositelj informacije masa ili energija, proizilazi da se informacija o mjerenoj veličini ne može dobiti ukoliko nema razmjene energije ili mase između objekta mjerenja i senzora. Energija predstavlja osnovni nositelj informacije, a poseban značaj, zbog lakoće manipuliranja, pridaje se električnoj energiji.

**Elementi za kondicioniranje (predobradu) signala** - pretvaraju izlazni signal senzora u oblik prikladan za daljnju obradu (jednosmjernan napon, jednosmjernu struju ili frekvenciju).

**Elementi za obradu signala** – izlaz iz elementa za predobradu pretvara u oblik pogodan za prikaz ili daljnje korištenje, a najčešći primjer su analogno-digitalni

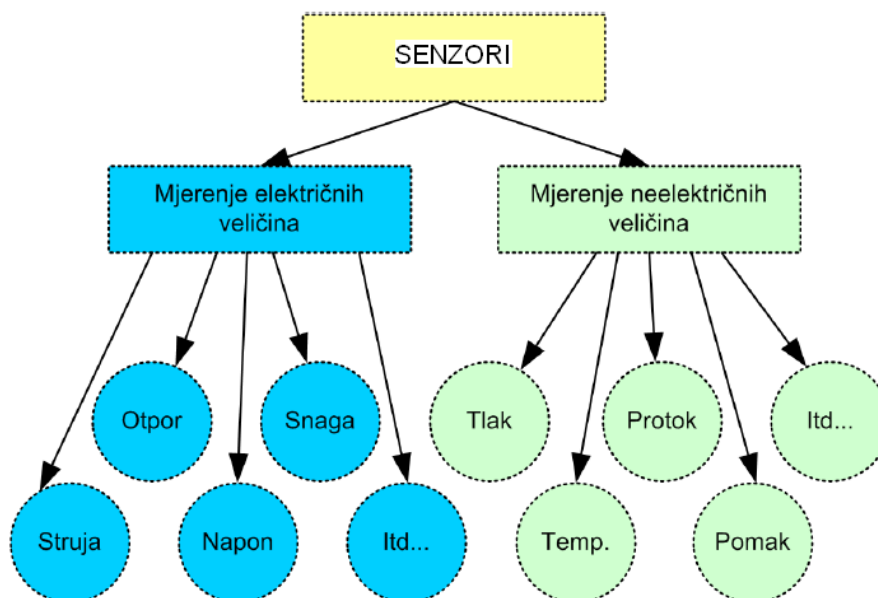
pretvarači (A/D konverteri) koji predobrađene senzorske signale pretvaraju u digitalne vrijednosti.

Aplikacija za prikupljanje podataka je kontrolirana softverskim programom koji koristi različite programske jezike kao što su BASIC, C, Fortran, Java, Lisp, Pascal... Za izgradnju velikih sustava prikupljanja podataka koriste se specijalizirani programski alati koji uključuju EPICS (*Experimental Physics and Industrial Control System*), a kao grafičko programsko okruženje „ladder logic“ (programski jezik predstavljen grafičkim programima koji izgledom podsjećaju na ljestve), Visual C++, Visual Basic, te LabVIEW.

**Računalo** - osigurava procesor, sistemski sat, sabirnice za prijenos podataka, memoriju i memorijski prostor za pohranu podataka.

Sustav za prikupljanje podataka koji se koristi u hidrotehničkom laboratoriju Građevinskog fakulteta u Zagrebu sastoji se od dva dijela. To su hardverski dio (ADAM 5000) i softverski dio (GeniDAQ 4.0).

Hardverski dio sustava (ADAM 5000) koristi se za kondicioniranje signala, A/D konverziju i multipleksiranje (o svakom će biti riječi u nastavku). Softverski dio čini paket GeniDAQ 4.0 koji služi za kontrolu i automatizaciju procesa te omogućava komunikaciju između korisnika i mjernog pretvarača.

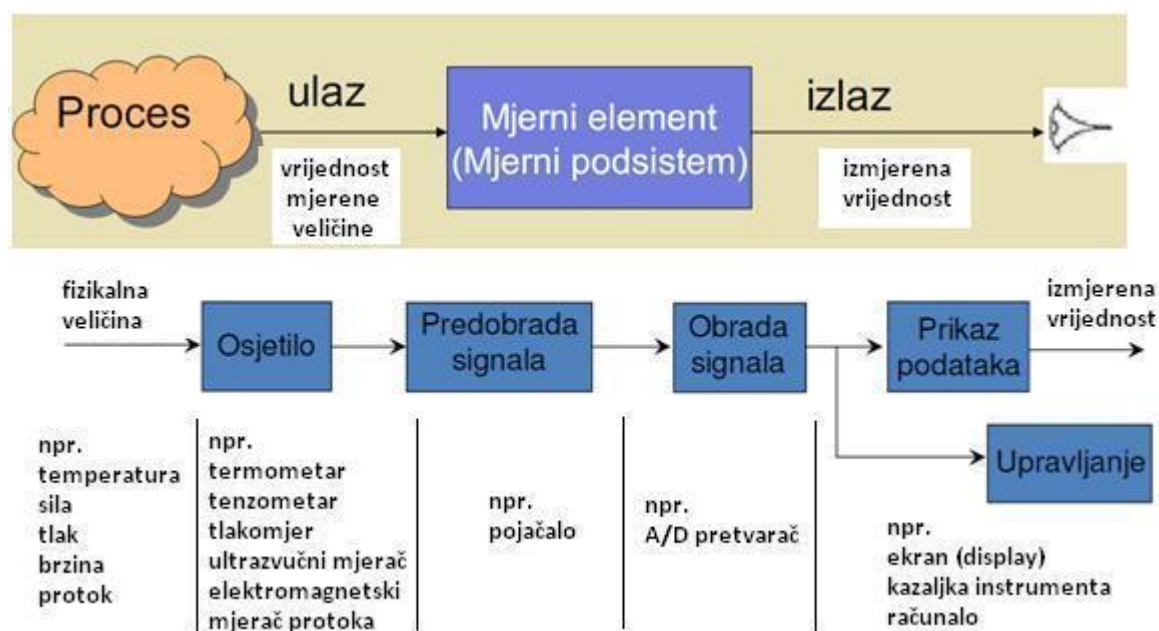


Slika 5.1::2: Prikaz mjerenih veličina sensorima

Pojam koji se susreće u terminologiji vezanoj uz akviziciju podataka je i pretvarač (eng: *transduser*), no postoji razlika između pojma senzor i pretvarač (eng: *transducer*). U općem slučaju senzor je kompletan sklop koji se koristi za detekciju i komunikaciju s određenim fizičkim događajem, a pretvarači (*transduceri*) su elementi unutar tog sklopa kojima se ostvaruje samo otkrivanje događaja. Npr. senzor tlaka može koristiti membranu i/ili naprezanje na detektiranje diferencijalnog tlaka preko membrane, ali će kompletan senzor dodatno sadržavati prikaz (*display*) i elektroniku

potrebnu za pretvaranje energije iz jednog stanja u drugo, te elemente potrebne za smještaj i pogon.

Mjerenja postaju sve složenija što se fizikalne veličine koje se mjere brže mijenjaju i što mjerene veličine više odstupaju od uobičajenih vrijednosti. Kod mjerenja hidrotehničkih veličina se ponekad postavlja i pitanje remećenja toka (strujne slike) uslijed ugradnje mjerne opreme u tok fluida.



Slika 5.1.:3 Pozicija senzora (osjetila) u strukturi mjernog sustava

## 5.1 Senzori

Senzori pretvaraju fizikalne veličine kao što su tlak, razina i/ili temperatura u električne veličine prikladne za prijenos do mjesta obrade kao i samu obradu.

Primjer funkcioniranja mjernog sustava se može vidjeti na internetu gdje na pojedinim WEB stanicama možete očitati meteorološke podatke za niz mjesta u Hrvatskoj i svijetu. Senzori mjere fizikalne parametre kao što su temperatura, vlaga, tlak,... na pojedinoj meteorološkoj postaji, te ih pretvaraju u odgovarajući električni signal koji je nakon kondicioniranja dostupan korisnicima Interneta.

Zadatak koji moraju obaviti senzori sastoji se u tome da se neka mjerena fizikalna veličina pretvori u odgovarajući električnih signala koji se poslije iz analognog pretvara u digitalni oblik. Treba naglasiti da se u računalima obrađuju samo digitalizirani podaci. To znači da se i analogni podaci moraju najprije pretvoriti u digitalne, pa se tek onda unose u računalo i tamo obrađuju. Postoje dvije osnovne vrste senzora: jedno su senzori s analognim izlaznim podatkom, i takva vrsta senzora prevladava, a drugo su senzori s digitalnim izlazom.

Senzori s analognim izlazom počeli su se razvijati i prije pojave elektroničkih digitalnih računala, a i danas se razvijaju kao samostalna djelatnost. Veličine koje se pomoću senzora mogu izražavati veoma su raznovrsne (položaj, brzina, tlak, temperatura, razina, protok itd.), a za svaku od takvih veličina može se upotrijebiti više različitih fizikalnih ili kemijskih principa koji omogućavaju izražavanje mjerne veličine u obliku električnog sistema. Ukratko, postoji veoma mnogo različitih vrsta senzora. Računa se da danas ima oko 10 000 različitih vrsta senzora, koji obrađuju više od 100 različitih parametara (Control Engineering, January 1987).

U nastavku će se prikazati samo svojstva senzora s analognim izlazom važna za konstrukciju "on-line" sistema. To su npr. njegova točnost, brzina kojom se promjena ulazne mjerne veličine prikazuje na izlazu, reproducibilnost mjerenja itd. Fizikalne i druge zakonitosti koje se upotrebljavaju za funkcioniranje senzora čine specifičnu senzorsku problematiku, pa se one neće razmatrati. Isto tako se neće razmatrati karakter izlaznog signala (struja ili napon, kontinuirani signal ili električni impuls itd.), kao ni veličina dobivenog signala. Pretpostavlja se da se odgovarajućom analognom ili digitalnom elektroničkom obradom, što opet predstavlja posebno područje rada, može dobiti odgovarajući signal za unos u računalo.

Kao primjer senzora može se uzeti živa u cijevi termometra koja se ovisno o temperature širi ili skuplja te se promjena volumena može pročitati na kalibriranoj staklenog cijevi. Termoelement pretvara temperaturu u izlazni napon koji se može pročitati voltmetrom. Primjeri senzora u svakodnevnom životu su brojni: osjetilni senzori (npr. tipke u dizalu), senzori na automobilima, na strojevima, u medicini, proizvodnji, robotici...

Senzor je uređaj koji prima i reagira na signal, te je vrlo bitna njegova osjetljivost koja pokazuje kako se izlazni podatak mijenja u odnosu na promjenu mjerne veličine. Npr. ako se živa u termometru za promjenu temperature od 1°C pokrene 1 cm, osjetljivost je 1 cm/1°C. Senzori koji mjere vrlo male promjene moraju biti vrlo visoke osjetljivosti.

Senzori također imaju utjecaj na ono što se mjeri, npr. termometar na sobnoj temperaturi uronjen u šalicu tople tekućine hladi tekućinu, dok tekućina grije termometar. Senzori trebaju dakle biti dizajnirani tako da imaju što manji utjecaj na ono se mjeri. Što je senzor manji često poboljšava dobivene rezultate, a ima i drugih prednosti. Napretkom tehnologije omogućava se proizvodnja senzora na mikroskopskom mjerilu kao mikrosenzori korištenjem MEMS tehnologije (Micro-Electro-Mechanical Systems). U većini slučajeva mikroprocesori dostižu znatno veću brzinu i osjetljivost u odnosu na makroskopski pristup mjerenju gdje su mjerne veličine vidljive prostim okom. Od senzora se u osnovi traži da ne djeluju na svojstva ili ponašanje sredine u kojoj se nalaze.

Za svaki parametar koji se mjeri postoji posebna vrsta senzora, pa tako postoji više od 10000 različitih vrsta senzora koji obrađuju različite parametre, a neki će u nastavku biti navedeni.

Može se zaključiti da je osnovni zadatak senzora da određenu mjerenu veličinu u procesu akvizicije podataka izrazi pomoću električnih signala u analognom ili u digitalnom obliku. Kako se danas najčešće radi o „on-line“ sustavima gdje računala

imaju važnu ulogu u procesima, analogni podaci koji se dobivaju mjerenjem trebaju se pretvoriti u digitalne, pa se potom unose u računalo gdje se dalje obrađuju.

Senzori se razvijaju u tri osnovna pravca:

1. Minimalizacija i veći stupanj integracije sastavnih dijelova.
2. Realizacija višestrukog djelovanja, tako da se pomoću jednog senzora istovremeno određuje nekoliko različitih fizikalnih veličina (npr. senzor temperature i vlažnosti zraka).
3. Proširivanje funkcionalnih mogućnosti senzora zahvaljujući ugradnji mikroprocesora.

Podjela senzora se najčešće zasniva obzirom na:

- vrstu izlaznog signala,
- prirodu mjerne veličine,
- princip rada,
- gabarite,
- prirodu izlazne veličine,
- uvjete rada,
- načina upotrebe,
- unutrašnje strukture,
- pouzdanosti, itd.

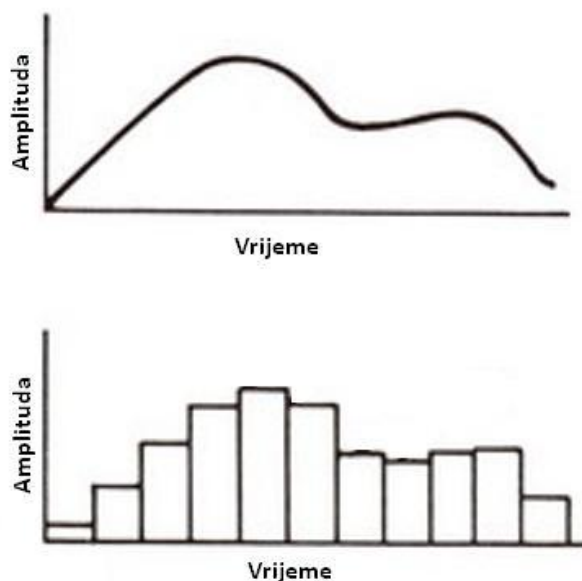
#### Klasifikacija senzora prema vrsti izlaznog signala

Prema vrsti izlaznog signala senzori se dijele na analogne i digitalne.

**Analogni senzori** proizvode signal koji je proporcionalan mjernoj veličini i koji ima kontinuiranu amplitudu u vremenu. Najčešće mjere temperaturu, tlak, ubrzanje, razinu, protok, položaj. Dakle, kod analognih signala nema prekida ni diskontinuiteta signala, a intezitet signala mijenja se u vremenu postepeno. Počeli su se razvijati i prije pojave elektroničkih digitalnih računala.

**Digitalni senzori** proizvode izlazni signal koji predstavlja digitalni prikaz mjerene veličine i ima vrijednosti amplitude signala u diskretnim vremenskim trenucima, što znači da intezitet signala odražava konstantnu razinu u nekom vremenskom periodu, a zatim se mijenja u drugu konstantnu razinu.

Shematski prikaz analognog i digitalnog signala prikazan je slici 5.1::4.



Slika 5.1::4: Prikaz analognog (gore) i digitalnog signala (dolje)

Najjednostavniji primjer digitalnog senzora je obični prekidač; kad je prekidač otvoren to se smatra stanjem jedan, a kad je zatvoren nula. To bi bio primjer senzora s jednobitnim digitalnim izlazom.

#### Klasifikacija senzora prema prirodi mjerene veličine

Prema prirodi mjerene veličine senzori se dijele na: toplinske, mehaničke, kinematičke, geometrijske, radijacijske, vremenske i električne, kemijske i fizikalne.

**Toplotni** se koriste za mjerenje temperature, toplinskog kapaciteta, entalpije, topline izgaranja.

**Mehanički** se koriste za mjerenje sile i momenta, pritiska, vakuuma, mehaničkog naprezanja.

**Kinematički** se koriste za mjerenje linearnog i kutnog ubrzanja i brzine, protoka.

**Geometrijski** se koriste za mjerenje položaja (koordinata) tijela, nivoa.

**Radijacijski** se koriste za mjerenje intenziteta toplinskog, nuklearnog, akustičnog i elektromagnetnog zračenja, boje, parametara valnog procesa.

**Vremenski** se koriste za mjerenje vremenskog perioda i frekvencije.

**Električni** se koriste za mjerenje elektromotorne sile, struje, otpora, induktivnosti, kapaciteta, provodljivosti.

**Kemijski** senzori se koriste za mjerenje kemijskog sastava.

**Fizikalni** senzori se koriste za mjerenje mase, gustoće, vlažnosti, tvrdoće, plastičnosti, hrapavosti.

### Klasifikacija senzora prema principu rada

Pretvaranje neelektričnih mjernih veličina u električne vrši se pomoću odgovarajućih pretvarača na dva načina. Prvi način podrazumijeva da se odgovarajuća neelektrična veličina pretvara u pretvaraču u električnu veličinu. Pretvarači koji rade na ovaj način zovu se **aktivni pretvarači**. Aktivni pretvarači za svoj rad ne trebaju dodatnu energiju.

**Aktivni senzori** mogu biti:

- Indukcijski
- Elektromagnetni
- Elektrodinamički
- Piezoelektrični
- Piroelektrični
- Termoelektrični
- Fotoelektrični.

Drugu grupu pretvarača čine **pasivni pretvarači** ili **parametarski pretvarači**. U pasivnim pretvaračima neelektrične veličine utječu na promjenu neke električne karakteristike; kapaciteta, otpora ili induktiviteta.

**Pasivni senzori** se dijele na:

- Induktivne
- Otporničke
- Kapacitivne.

Kemijski senzori rade na principu: polarizacija iona, kombiniranja kemijskih i električnih metoda, promjena u zavisnosti od kemijskog sastava.

**Kemijski senzori** mogu biti:

- Polarizacioni
- Kemijsko-električni
- Impedantni.

**Optoelektronski senzori** dovode do pojave struja u poluprovodnicima koja djeluje na spontanu ili stimuliranu emisiju svjetlosti (svjetleća ili laserska dioda).

Optoelektronski senzori su:

- Predajnici i
- Prijemnici s vanjskim fotoefektom.

### Klasifikacija senzora prema gabaritima

Prema veličini mjerni senzori mogu biti:

- Normalni i oni su standardne izvedbe.
- Malogabaritni za primjenu u ograničenom prostoru.



- Minijaturni koji se koriste za specijalne namjene.

#### Klasifikacija prema prirodi izlazne veličine

- Mehanički čiji je izlazni signal sila ili pomak.
- Vremenski čiji je izlazni signal vremenski ili frekventni kod.
- Električni čiji se izlazni signali mjerene veličine odražavaju kroz promjenu određenih parametara izlaza, pa se zovu i parametarski. Ukoliko se na izlazu generira električni signal to su generatorski ili aktivni senzori.

#### Klasifikacija senzora prema uslovima rada

- Stacionarni koji su fiksirani na jednom mjestu i
- Prenosivi koji se mogu pomjerati na razna mjesta

#### Klasifikacija prema načinu upotrebe

- Operativni koji služe za neposredno davanje informacija.
- Pomoćni za dobivanje pomoćnih informacija.

#### Klasifikacija prema unutrašnjoj strukturi

- Direktni kojima se vrši od ulaza do izlaza direktan prijenos (konverzioni lanac) i
- Kompenzacijski sa negativnom povratnom spregom po izlaznoj veličini.

### **Najznačajniji parametri analognih senzora**

- **mjerni opseg ili raspon** – definira raspon mjerne veličine unutar kojeg senzor ostvaruje deklarirana svojstva; predstavlja razliku između maksimalne i minimalne vrijednosti ulaznog ili izlaznog mjernog područja. Npr. termopar s ulaznim područjem od  $-100$  do  $200^{\circ}\text{C}$ , a izlaznim od  $0$ - $10$  mV ima ulazni raspon  $300^{\circ}\text{C}$ , a izlazni  $10$  mV.
- **točnost** – određuje mjerna svojstva senzora u odnosu na stvarnu vrijednost mjerne veličine, a definira se ovim svojstvima: **statička pogreška, dinamička pogreška, ponovljivost, mrtvo vrijeme, mrtva zona,**
- **brzina odziva** – kašnjenje izmjerene vrijednosti za mjerenom veličinom,
- **linearnost** – odnos između mjerene veličine i izmjerene vrijednosti za čitav mjerni opseg,
- **vrsta izlaza** – analogni ili digitalni,
- **temperaturni opseg** – temperaturni opseg unutar kojeg senzor ostvaruje deklarirana svojstva,

### Točnost senzora

Pojam točnost definira koliko se razlikuje odziv osjetila od onog kojeg daje idealno (odnosno referentno) osjetilo.

Sljedeći faktori utječu na točnost senzora:

- **statička pogreška** je odstupanje izmjerene vrijednosti od stvarne vrijednosti mjerene veličine. Izražava se u postotku punog mjernog opsega senzora, a ne kao postotak odstupanja od trenutno mjerene veličine. Mjerena veličina treba biti konstantna.
- **dinamička pogreška** nastaje uslijed vremenske promjene mjerene veličine, tako da izmjerena vrijednost kasni za stvarnom vrijednosti mjerene veličine.
- **ponovljivost** (reproducibilnost) je izražena preko statističkog odstupanja izmjerene vrijednosti nepromjenjive veličine od stvarne vrijednosti mjerene veličine. Kod senzora koji ima dobru ponovljivost moguće je kompenzirati statičku pogrešku zbog većeg broja izmjerenih podataka nepromjenjive veličine. Ako senzor ima malu grešku ponovljivosti radi se o sistemskoj greški koju je moguće ispraviti određenim ugađanjima (senzor uvijek ponavlja istu pogrešnu vrijednost). Ako senzor ima veliku grešku ponovljivosti onda se radi o slučajnim greškama i nije moguće popraviti senzor ugađanjima.
- **mrtvo vrijeme** predstavlja vremenski pomak od trenutka kad se mjerena veličina stvarno promijeni da trenutka kada se iskaže na izlazu senzora – usporava cijeli ulazni lanac pa je neprihvatljivo za brze procese („on-line“ sustave).
- **mrtva zona** najveća promjena mjerene veličine do koje može doći, a da se ne promijeni izlazni signal iz senzora (osjetljivost senzora).

### Brzina odziva

Vrijeme odziva je vrijeme koje je potrebno da na promjenu ulazne veličine senzor poprimi promijenjenu vrijednost odziva.

Idealni senzor trenutno registrira svaku promjenu mjerene veličine. U praksi to nije izvedivo zbog dinamičke pogreške, mrtvog vremena i mrtve zone.

## **5.2 Kondicioniranje signala**

Kada se senzor nađe pod djelovanjem fizičke veličine mijenjaju mu se jedan ili više parametara i samo u idealnom slučaju signal na izlazu je potpuno proporcionalan mjerenoj veličini. Signal na izlazu senzora pokazuje mnoge neželjene osobine kao što su *offset*, *drift*, *nelinearnost* i dr. Pored dobrog poznavanja ponašanja senzora i mogućnosti izbora najboljeg za određeni mjerni sistem, potrebno je primijeniti suvremene metode analogne i digitalne obrade signala kako bi se u što većoj mjeri umanjile nesavršenosti senzora.

Signal iz senzora je, po pravilu, niske razine. To znači da je neophodno, prije nego što se prijeđe na konverziju i digitalnu obradu signala, izvršiti pojačanje signala u cilju osiguravanja većeg dinamičkog opsega i rezolucije i većeg odnosa signal/šum. Nakon pojačanja signala iz senzora do potrebne razine, može se prijeći na konverziju signala iz analognog u digitalni oblik. Dalja obrada i prijenos signala obavljaju se u digitalnoj formi.

Najvažniji elementi za kondicioniranje signala su mjerni mostovi i pojačala. Mjerni mostovi se koriste za pretvaranje izlaza iz otporničkih, kapacitivnih i induktivnih senzora u naponski signal. Pojačala su neophodna za pojačavanje signala malih vrijednosti na vrijednosti prikladne za daljnju obradu. Osnovni element pojačala signala je integrirano operacijsko pojačalo, koje se odlikuje visokim pojačanjem i izvodi se tako da može pojačavati signale u širokom rasponu frekvencija. Operacijskom se pojačalu dodaje pasivna mreža koja određuje dinamička i statička svojstva pojačala.

### 5.2.1 Analogna obrada

Električni signali koji dolaze iz senzora imaju različite oblike. S druge strane za analogno-digitalni pretvarač signali su standardnih veličina (0 - 5 VDC, 0 - 10 VDC, -10 do +10 VDC, 0 - 20 mA, 4 - 20 mA), standardizirani. Da bi se to postiglo potrebna je elektronička obrada signala. Signal je potrebno propustiti kroz elektronički sklop koji će mu dati oblik i veličinu, no ne smije se oštetiti informacija koju taj signal nosi. Signal je potrebno linearizirati, pojačati i filtrirati. Zadatak pojačala je da promjeni vrijednost analognih veličina i prenese ih u novo područje naponskih vrijednosti, a da ne pokvari njihovu analognu informaciju (normiranje).

Često se koriste i razni filtri kojima je zadatak odstraniti šum. Karakteristika signala se može poboljšavati i na digitalan način, tako da se senzoru doda mikroracunalo koje posebnim algoritmima oblikuje signal pa tek tada prenosi u "glavno" računalo.

Kondicioniranje signala obuhvaća:

- **Pojačavanje signala** - signali malih iznosa (npr. 100 mV) se pojačavaju, a signali velikih iznosa slabe.
- **Filtriranje** - filtriranjem se uklanja neželjeni šum iz korisnog signala (signal od interesa).
- **Električna izolacija** - ako signal sadrži visokonaponske tranzijente koji mogu oštetiti računalo tada se signali iz senzora moraju električki izolirati.
- **Multipleksiranje** - tehnika mjerenja više signala s pojedinačnih mjernih uređaja.
- **Pobuđivanje**, odnosno dovodenje pobudnog signala.

#### Pojačavanje signala

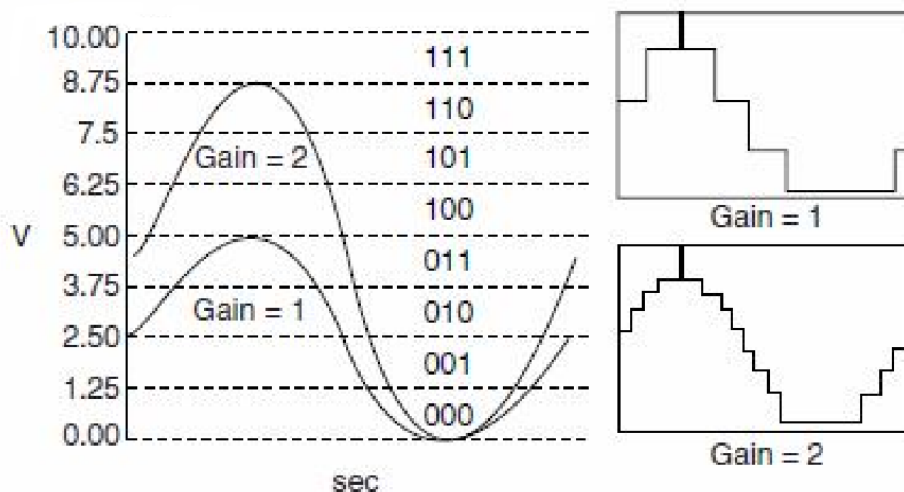
Pojačavanje signala predstavlja prilagođavanje razine signala naponskom opsegu na ulazu A/D konvertora u cilju postizanja maksimalne rezolucije. Ova prilagodba postiže se pojačalima kojima je zadaća da promijene vrijednosti analognih veličina i

prenesu ih u novo područje naponskih vrijednosti ali da se ne pokvari analogna informacija.

Lociranjem pojačala neposredno uz izvor signala (senzor) smanjuje se utjecaj smetnji i šuma u prijenosu signala od izvora do mjernog uređaja.

Na slici 5.2::1 je prikazan izgled digitaliziranog signala kada se na ulaz 3-bitnog A/D konvertora opsega 0-10 V dovede signal amplitude 0-5 V koji nije pojačan (Gain=1) i koji je prethodno pojačan (Gain=2).

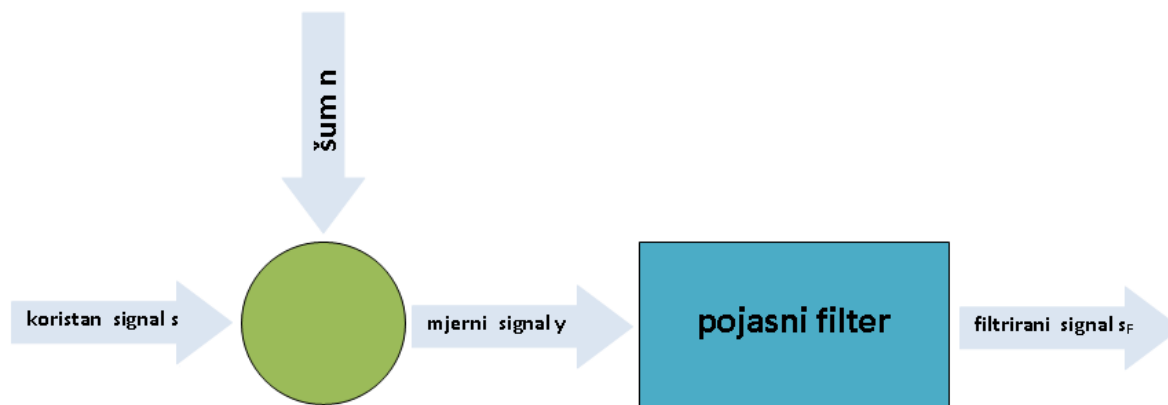
Promjena razine signala je najjednostavnija forma procesiranja signala, ali sigurno ne i od najmanjeg značaja. Pojačavanje, a ponekad slabljenje, prilagođava izlaz mjernog instrumenta nekoj drugoj komponenti u kontrolnom sistemu. Određeni broj primarnih elemenata, konvertira promjene u mjerenoj vrijednosti u male promjene otpora elemenata.



Slika 5.2::1 Razlika između nepojačanog i pojačanog signala

### Filtriranje signala

Pri izgradnji mnogih sustava upravljanja i njihovih mjerno-pretvaračkih dijelova, postavlja se problem dobivanja signala u prisustvu slučajnih smetnji. Za rješavanje toga problema koriste se metode filtracije, koje omogućavaju izdvajanje korisnog signala od šuma. Obično je korisnom signalu  $s(t)$  aditivno dodan šum  $n$ , tako da se ima signal  $y = s + n$ . U slučaju kada spektri signala i šuma leže u različitim opsezima frekvencije, njihovo razdvajanje može se izvršiti odgovarajućim pojasnim filterom (slika 5.2::2).



Slika 5.2::2 Izdvajanje korisnog signala od šuma

Elektronska kola koja imaju za cilj da istaknu karakteristični signal, a potisnu smetnje nazivamo filtri. Osnovno djelovanje filtra je u sposobnosti da ne propusti odabrani opseg učestalosti u toku kondicioniranja signala.

### Električna izolacija

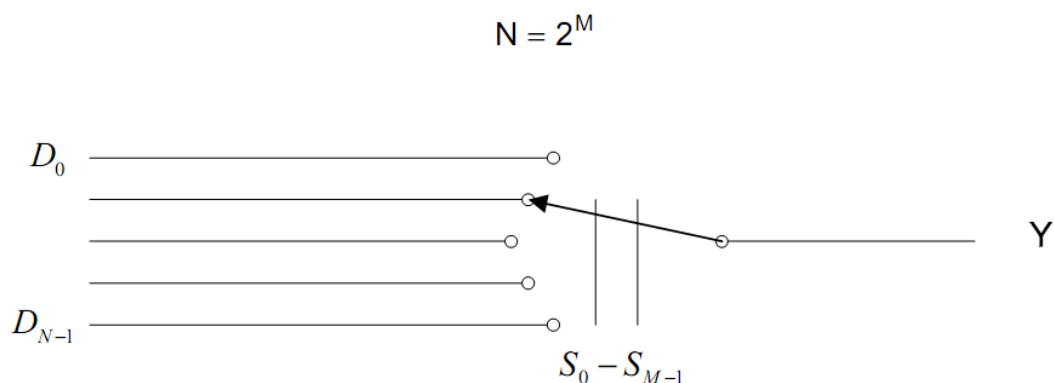
Korištenjem odgovarajućeg izolacijskog pojačala (transformatorskog, optičkog ili kapacitivnog), signal se od izvora (senzora) do mjernog uređaja (računara) može prenijeti a da se ne ostvari fizička (galvanska) veza.

Galvanskom izolacijom senzora i mjernog sistema:

- prekida se strujna petlja (unosi šum i smetnje) koja se stvara preko uzemljenja (uzemljenja se nalaze na različitim potencijalima),
- prigušuju se visokonaponske smetnje i
- potiskuje visok napon srednje vrijednosti čime se štite i operator i mjerna oprema (računalo).

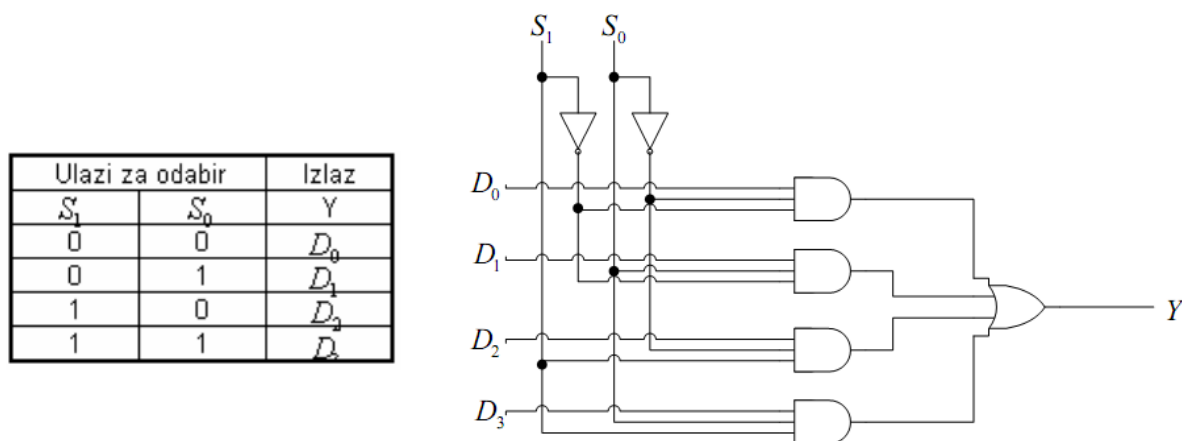
### Multipleksiranje signala

Da bi se upravljalo procesom potrebno je puno različitih senzora, rijetko kada nam je dovoljan samo jedan. Mjerena veličina svakog senzora bit će prvo podvrgnuta analognoj obradi. Zatim svaka mjerna veličina bi mogla imati svoj A/D pretvarač i svoj interfejs. Takvo rješenje bi bilo preskupo u sustavima gdje se koristi nekoliko desetaka pa i nekoliko stotina senzora, pa se upotrebljava samo jedan A/D pretvarač i interfejs. Kod takvog rješenja mora postojati multipleksor (slika 5.2::3). Multipleksor (*Multiplexer*) ili selektor (*Data selector*) je sklop kojim se podatak s jednog od više ulaza usmjerava (prenosi) na izlaz. S kojeg ulaza će se odabrati podatak i preneti na izlaz ovisi o stanju posebnih ulaza za odabiranje. Broj ulaza za podatke  $N$  ovisi o broju ulaza za odabiranje  $M$ .



Slika 5.2::3: Opći prikaz djelovanja multipleksora

Na slici 5.2::4 prikazana je logička shema multipleksora s četiri ulaza. Kada je potrebno odabrati jedan od četiri ulazna podatka tada multipleksor treba imati dva ulaza za odabiranje podataka. Podaci s ulaza dovode se na sklopove "I". Koji sklop "I" će prenijeti podatak s ulaza na izlaz, preko sklopa "ILI" ovisi o kombinaciji na ulazima za odabiranje podataka  $S_0$  i  $S_1$ . To se može prikazati i tablicom stanja, slika 5.2::4.

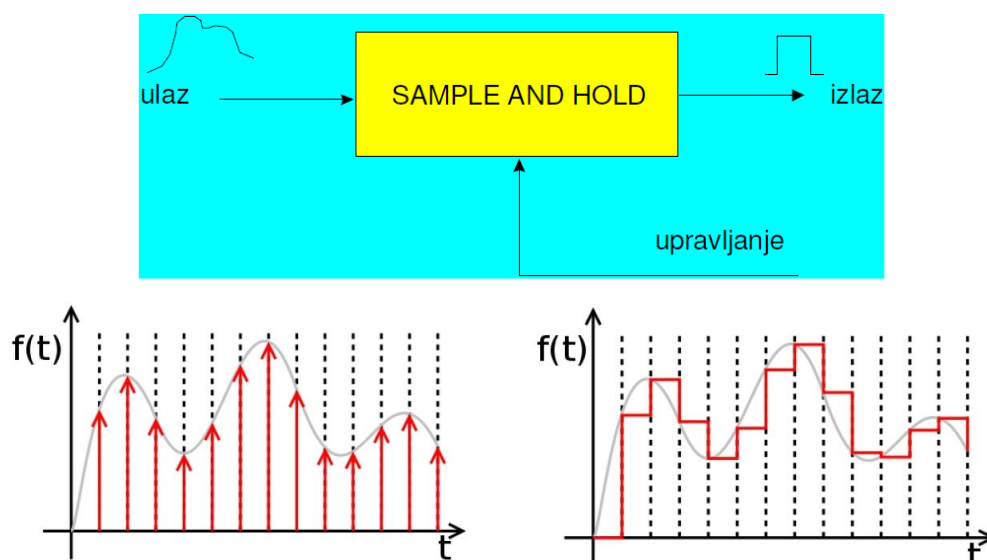


Slika 5.2::4 Logička shema i tablica stanja multipleksora

Naravno postaje upitno kojim redom će se signali obrađivati. Samo po sebi se nalaže rješenje redom kojim dolaze no to se rijetko primjenjuje. Brzina promjene pojedinih mjernih veličina je različita pa tako i njihova gustoća uzimanja uzoraka ne može biti ista. Tako se npr. temperatura prostorije ne može promijeniti u vremenu manjem od desetak sekundi, dok se promjena tlaka u parogeneratoru mora mjeriti u milisekundama pa čak i češće (frekvencija uzorkovanja). Stoga se uzorci signala uzimaju prema potrebi obrade mikroračunala. Znači mikroračunalo bira redoslijed obrade podataka prema programu koji izvodi, šaljući adresu ulaznog podatka multipleksoru.

### Sample & Hold sklop (S&H)

Sample & Hold sklop ima zadaću da u trenutku uzorkovanja očita vrijednost analognog signala na ulazu te da ga zadrži sve do sljedećeg uzorkovanja. Na neki način djeluje kao memorija za pamćenje analogne vrijednosti između uzorkovanja kako se na ulazu u A/D sklop ne bi mijenjala vrijednost tijekom pretvorbe.



Slika 5.2::5 Signal pri Sample &amp; Hold obradi

### Pobuđivanje signala

Pobuđivanje, odnosno dovođenje pobudnog signala podrazumijeva dovođenje signala u standardno područje.

Standardni signali:

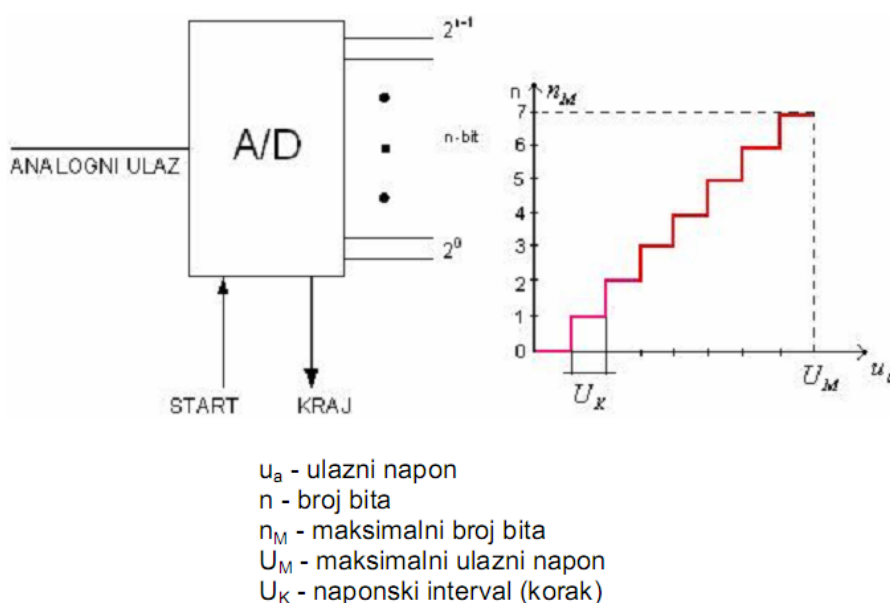
- naponski:
  - 0-5 V
  - 1-5 V
  - 0-10 V
  - 2-10 V
  
- strujni:
  - 1-5 mA
  - 0-20 mA
  - 4-20 mA
  - 10-50 mA

### 5.2.2 Analogno-digitalni pretvarač (A/D konverter)

Digitalni sustavi koji služe za mjerenje, regulaciju ili automatizaciju na svome će ulazu i izlazu u pravilu imati analognu veličinu. Najveći je broj procesa u prirodi analogan, a to vrijedi i za mnoge veličine u tehničkim sustavima. Da bi računalo moglo obrađivati te signale potrebno ih je kodirati, diskretizirati po vremenu i amplitudi, tek tada kada su pretvoreni u binarne brojeve mogu se unositi u računalo. Zbog toga je potrebno imati uređaje za automatsko pretvaranje između tih dvaju načina prikaza veličina. Proces kvantizacije predstavlja će mjerni proces u kojem se konstatira koliko standardnih mjernih jedinica sadrži mjerna veličina. Idealna

karakteristika A/D pretvorbe prikazana je na slici 5.2::6 kao i blok shema A/D pretvarača. Pretvorba analogne veličine u digitalnu (i obratno) je diskontinuirani proces. Proces pretvorbe sastoji se u tome da se ulaznoj veličini koja se nalazi u nekom određenom naponskom intervalu pridruži određeni broj  $n$ . U idealnom slučaju naponski su intervali (ili koraci) jednake širine i ponekad se nazivaju kanalima. Jedna je od osnovnih karakteristika A/D i D/A pretvorbe broj koraka odnosno kanala koji određuju rezoluciju.

Rezolucija ili razlučivanje je širina kanala kao postotak maksimalnog ulaznog napona ili jednostavno njihov omjer. Ako je  $n_M$  maksimalni broj koji odgovara maksimalnom ulaznom naponu  $U_M$ , onda je širina koraka jednaka  $U_M/n_M$ , pa se rezolucija svodi na  $1/n_M$ . Budući da je broj  $n$  izražen binarno sa  $k$  bita, maksimalni je broj  $2^k - 1$ , pa je uobičajeno da se rezolucija jednostavno izražava kao broj bita što ih ima ulazni ili izlazni podatak. Kako se rezolucija izražava u bitima, broj diskretnih vrijednosti na raspolaganju je potencija od broja 2. Npr. A/D pretvarač s 8-bitnom rezolucijom može kodirati analogni ulaz na jednu od 256 različitih razina s obzirom da je  $2^8=256$ .

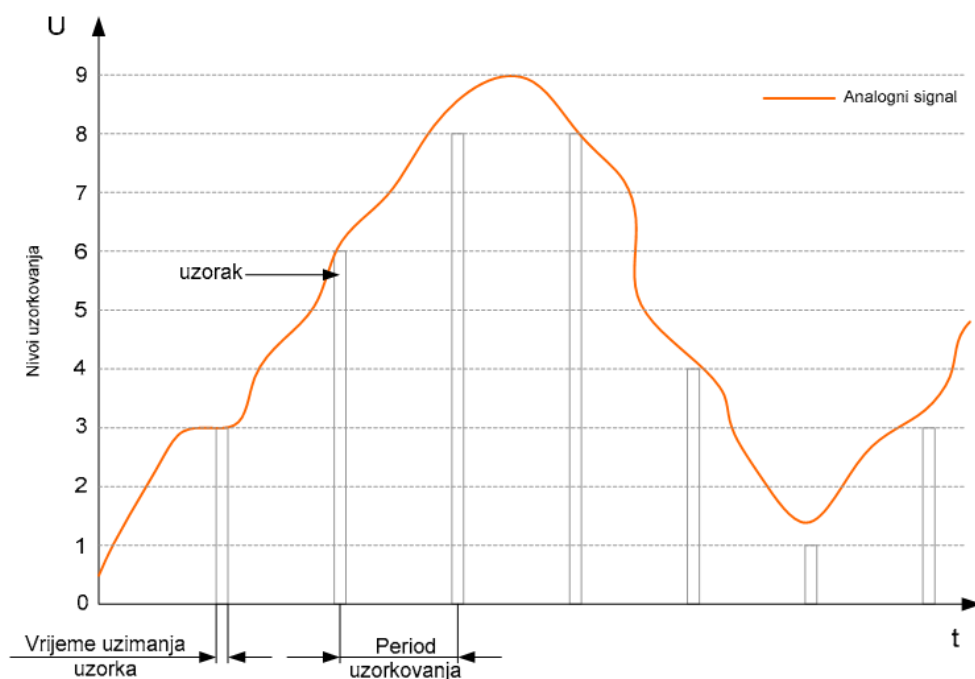


Slika 5.2::6 Idealna karakteristika A/D pretvarača i blok shema

Analogno-digitalni pretvarač ne pretvara u digitalnu vrijednost cjelokupni analogni signal, već samo njegove uzorke u vremenu (slika 5.2::7).

Da ne bi signal previše izobličili A/D pretvorbom potrebno je dobro provesti diskretizaciju. To znači da koraci kojima se uzima signal kod diskretizacije moraju biti gusti po vremenu da se ne izgubi ni jedan harmonik ulaznog signala, a po amplitudi treba imati dovoljnu veliku razlučivost da bi razlikovala male promjene amplitude. A/D pretvorba je povremeno mjerenje vrijednosti signala ako se promatra kao proces. Kako je signal promjenjiv moramo u određenom trenutku uzeti uzorak (eng: *sample*) signala i tu vrijednost privremeno pohraniti (eng: *hold*). S&H izvodimo jer mjerenje nije moguće izvesti trenutno već ima određeno trajanje. **Shannonov teorem** govori da se pri uzimanju uzoraka iz nekog kontinuiranog signala uzorci moraju uzimati barem dvostruko većom frekvencijom nego što je frekvencija najvišeg harmonika koji se uzima u obzir pri razmatranju.

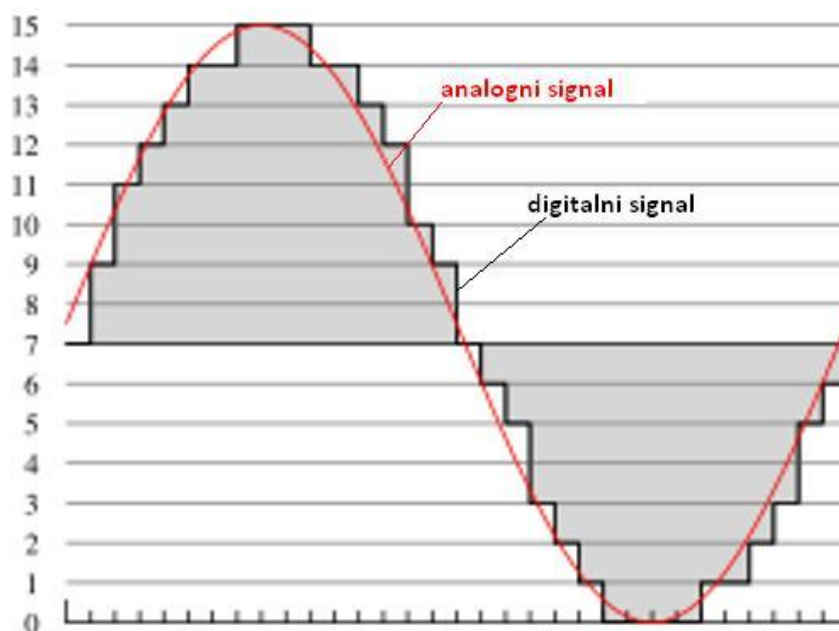




Slika 5.2::7: Uzorkovanje analognog signala u vremenu

#### Primjer postupka uzimanja uzoraka analognog signala

Na slici 5.2::8 je prikazan postupak uzimanja uzoraka analognog signala. Amplituda signala se uzima periodički pomoću S&H komponente (*Sample and Hold*). Ta komponenta ima svojstvo da u određenim vremenskim razmacima (takt) uzme uzorak analognog signala i drži ga na svom izlazu sve do trenutka uzimanja novog uzorka. Njegov stepeničasti izlazni signal se privede A/D pretvaraču na čijem se izlazu (ovisno o veličini S&H signala) može očitati binarna vrijednost amplitude mjerenog signala. S&H komponenta je važna zbog toga što A/D pretvarač treba neko vrijeme da pretvori privedeni napon u digitalni broj. Bez S/H komponente bi se na njegovom ulazu analogni napon stalno mijenjao pa bi došlo do pogrešne pretvorbe. U ovom primjeru se kvantizira (pretvara u binarni broj) samo s 4 bita pa su vrijednosti koje signal može imati u rasponu između 0 i 15 ili binarno između 0000 i 1111. Treba uočiti da vrijednosti između cijelih brojeva, npr. 9,33 nisu moguće. Ako želimo finiju podjelu moramo primijeniti digitalizaciju s više bita. Ako bismo očitali vrijednosti stepeničastog signala na svakoj stepenici, dobili bismo vrijednosti 9, 11, 12, 13, 14, 14, 15, 15, 15, 14 itd. Njihova binarna vrijednost bi bila 1001, 1011, 1100, 1101, 1110, 1110, 1111, 1111, 1111, 1110 itd. Time smo umjesto analognog signala dobili niz impulsa koji više nisu u toj mjeri osjetljivi na smetnje kao analogni signal.



Slika 5.2::8: Primjer uzimanja uzoraka analognog signala

### 5.2.3 Pohranjivanje prikupljenih podataka

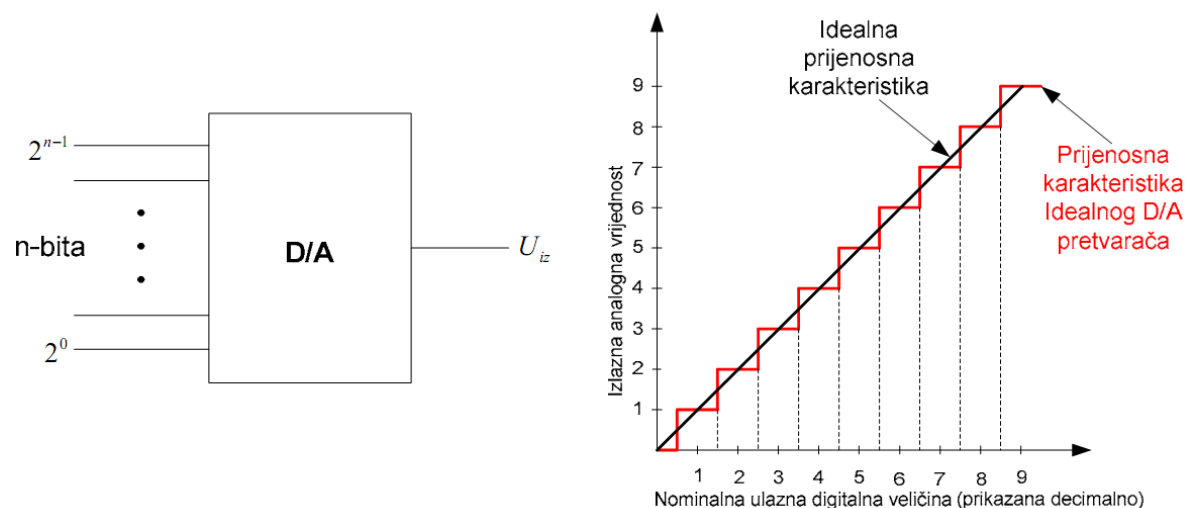
Unos podataka u računala može se obavljati na dva osnovna načina. Jedan način je onaj pri kojem se podaci s mjesta gdje nastaju, putem električnih vodova i električnih sklopova, prenose izravno u računalo. Takav način naziva se “on-line” način rada računala, jer se podaci prenose “po liniji” u računalo. Ovakav način mjerenja i obrade podataka se često naziva i mjerenje u realnom vremenu.

S obzirom na veliku brzinu kojom se prenose signali i podaci po električnim i elektroničkim sklopovima i brzinu odziva računala, vrijeme potrebno da neka informacija dođe s mjesta nastanka do računala mjeri se najčešće mikrosekundama (1 mikrosekunda je  $10^{-6}$  sekunde). Može se reći da je prikupljanje i obrada podataka trenutno. Vrijeme prikupljanja i obrade podataka je najčešće zanemarivo i prema brzini promjene mjernih veličina u sredini koja se mjeri ili upravlja, što je u nekim slučajevima veoma važno. Dakako, sve što je rečeno o brzini rada za unos podataka vrijedi i za izlaz podataka, budući da se i za izlaz upotrebljavaju slični električki sklopovi. Osnovni sklopovski funkcionalni elementi potrebni za “on-line” način rada prikazani su na slici 5.1::1 i 5.1::3.

Drugi način rada je “off-line” način. Pri “off-line” načinu rada podaci se ne prenose izravno s mjesta nastanka u računalo električkim putem i elektroničkim brzinama, već se najprije zapisuju na neki medij (npr. elektronski medij – CD, eksterni disk,..), pa se tek onda, kad to zatreba, unose u računalo. Naknadni unos podataka u računalo je znatno sporiji te se kašnjenje unosa podataka u računalo na “off-line” način može mjeriti u satima, tjednima i godinama.

### 5.2.4 Digitalno-analogni pretvarač (D/A konverter)

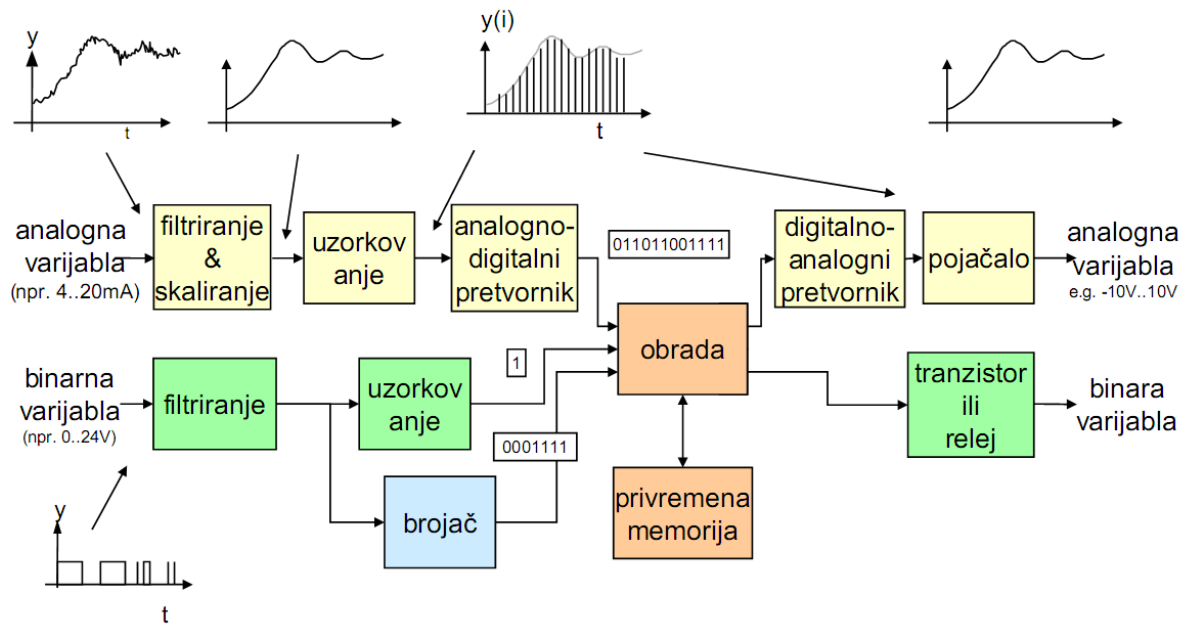
U regulacijskoj tehnici je zbog analogne prirode izvršnog sklopa potrebno digitalne signale pretvoriti u analogne.



Slika 5.2.:9 D/A pretvarač

Digitalno-analogni pretvarač potreban je da bi se digitalni podaci iz računala - binarni brojevi pretvorili u analogne signale, odnosno u napon ili struju. Ovo je nužno jer su izvršni organi uglavnom upravljani analognim veličinama. D/A pretvarač radi na takav način da svaki bit binarnog podatka upravlja s iznosom struje proporcionalnoj težinskoj vrijednosti toga bita tako da struja teče kad se bit nalazi u stanju 1, a ne teče kad je u stanju 0. Bit najmanje težinske vrijednosti  $B$  upravlja nekom strujom  $I$ , sljedeći bit po redu  $B$  upravlja strujom  $2I$ , onaj još veće težinske vrijednosti  $B$  strujom  $4I$  itd. Sve se struje slijevaju u jednu točku. Suma svih struja koju su propustili bitovi, odnosno bistabili, koji su u stanju 1 u analognom obliku reprezentira binarni podatak iz računala. Propuštanjem struje kroz otpornik može se dobiti napon za upravljanje izvršnim članom.

Na sljedećoj slici shematski je prikazan lanac signala kod A/D i D/A pretvorbe:



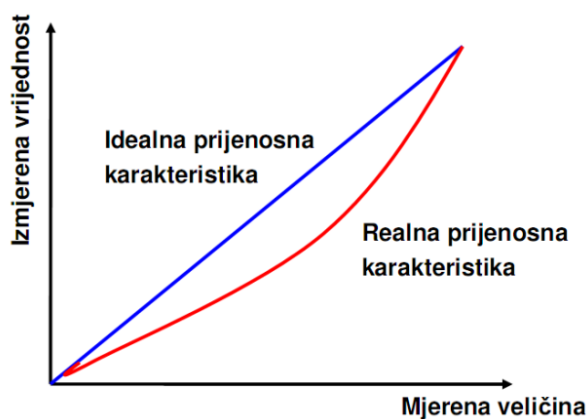
Slika 5.2::10 Lanac signala kod A/D i D/A pretvorbe

## 6. Obrada rezultata mjerenja

### 6.1 Pouzdanost senzora

#### Linearnost

Linearnost senzora je definirana linearnim odnosom između mjerene fizikalne veličine i signala kojeg daje daje senzor. Nelinearnost senzora očituje se u odstupanju prijenosne karakteristike od linearne.

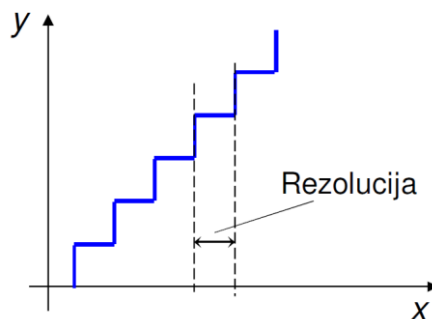


Slika 6.1::1 Nelinearnost senzora

Nelinearnu prijenosnu karakteristiku moguće je kompenzirati sklopovski i programski.

#### Rezolucija mjerenja

Rezolucija mjerenja predstavlja najveću promjenu varijable koja se ne može mjeriti, ili se može definirati kao najmanji iznos varijable koju je moguće mjeriti.



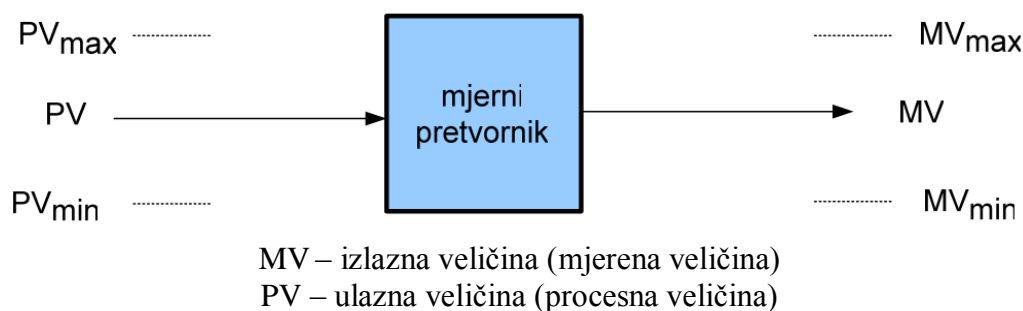
Slika 6.1::2 Rezolucija mjerenja

#### Mjerni opseg

Mjerni opseg (PV i MV) je određeno odgovarajućim maksimalnim i minimalnim vrijednostima,  $PV_{\min}$  do  $PV_{\max}$  i  $MV_{\min}$  do  $MV_{\max}$ .

Primjeri: pretvornici tlaka, mogu imati ulazno područje od 1-100 kPa, a izlazno 4-20 mA; pretvornik temperature može imati ulazno područje -20-500 °C, a izlazno 4-20 mV.

Širina mjernog područja za PV i MV je određena razlikom maksimalnih i minimalnih vrijednosti,  $(PV_{\max}-PV_{\min})$ ,  $(MV_{\max}-MV_{\min})$  kao što je prikazano na slici 6.1::3.



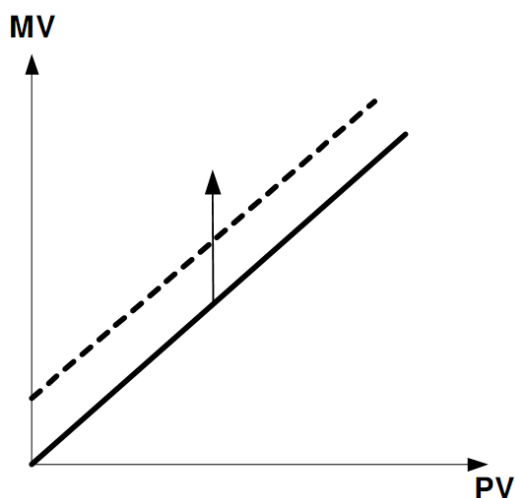
Slika 6.1::3 Shematski prikaz širine mjernog područja

Opseg dobivenih veličina je uvijek limitiran, tako da će jedan senzor dati svoju maksimalnu, odnosno minimalnu vrijednost u slučaju da su izmjerene vrijednosti izvan punog opsega senzora.

#### Pomak senzora (offset)

Pomak senzora ili *offset* definira pomak odziva u odnosu na idealni, pod određenim uvjetima.

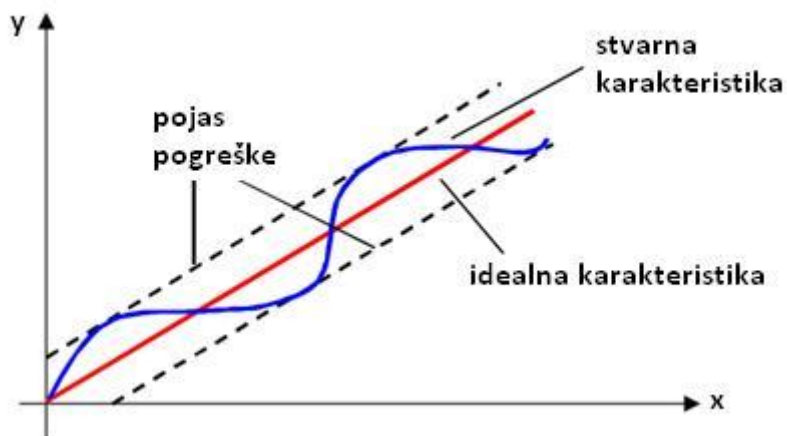
Ako dobivena veličina nije nula, kada je mjerena veličina nula kaže se da senzor ima pomak. Ovo je vrlo česta pojava u mjerenjima.



Slika 6.1::4 Pomak vanjske karakteristike oko nule

### Točnost senzora

Pod točnošću senzora podrazumijevamo bliskost stvarne vrijednosti mjerene fizikalne veličine s izmjerenom veličinom (Slika 6.1::5).



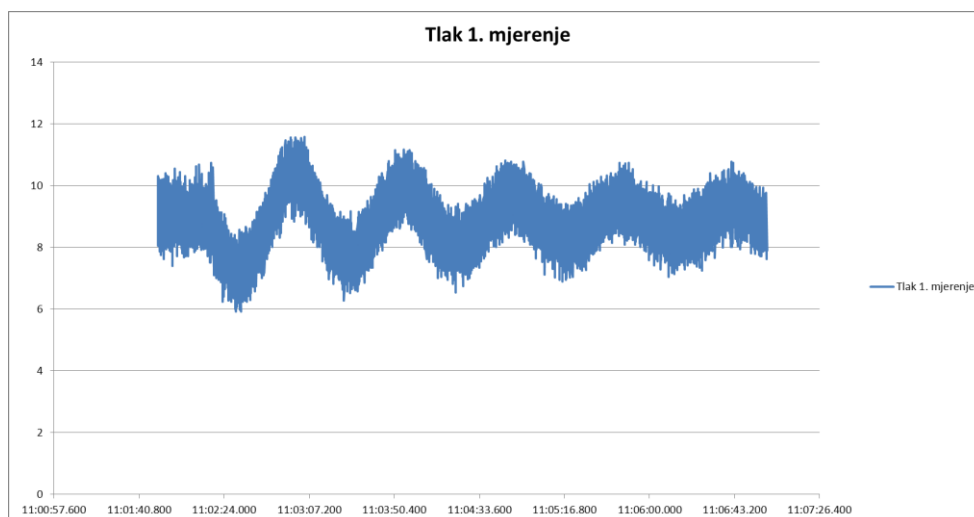
Slika 6.1::5 Prikaz odstupanja od pripadne vrijednosti

### Starenje senzora

Javlja se uslijed dugotrajnog korištenja senzora; obično označava sporu degradaciju svojstava senzora tijekom životnog vijeka elemenata senzora. Primjer: promjena konstante krutosti opruge, promjene konstante u termoparu zbog kemijskih promjena u metalu senzora.

### Mjerni šum

Utjecaj stalnih nedeterminističkih promjena u okolini i u komponentama mjernog sustava rezultira slučajnim karakterom mjernog signala. Kada se pogleda mjerni signal za konstantnu razinu ulazne (mjerene) veličine s dovoljno velikom rezolucijom uz konstantnu vrijednost mjerene veličine, onda se može primijetiti stalno fluktuiranje u obliku "šuma" koje je posljedica slučajnih procesa u komponentama sustava. Na slici 6.1::6 je prikazan šum kod mjerenja oscilacija vodnih masa u jednom tlačnom sustavu.

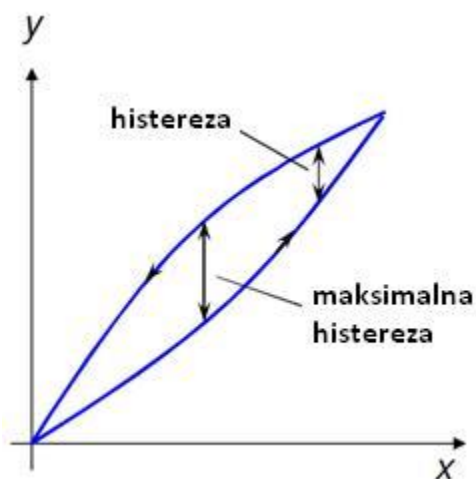


Slika 6.1::6 Primjer jako izraženog šuma kod mjerenja tlaka na C.S. Ravnik

Za kvalitetu mjerenja je važan omjer razine mjernog šuma i signala, ali također i dinamičke karakteristike i raspodjela gustoće vjerojatnosti.

### Histerezna pogreška

Histereza je pojava koja nastaje kada posljedice djelovanja neke pojave zaostaju i nakon uzročnika tog djelovanja. Mehanička histereza može se javiti u materijalu. To je slučaj kada se npr. strojni element (opruga) napravljena od čelika ciklički opterećuje. Opterećenje i elastična deformacija koja je posljedica djelovanja opterećenja odnosno izlazna veličina na djelovanje opterećenja na oprugu, nemaju linearan odnos zbog pojave histereze (slika 14).



Slika 6.1::7 Grafički prikaz histereze



Točnost digitalizacije

Digitalni izlaz je u suštini aproksimacija izmjerene veličine, a ta se aproksimacija također može tretirati kao pogreška. Kod digitalnih uređaja (npr. A/D konvertera) ovisi o broju bitova, npr. kod 8-bitnog konvertera rezolucija je  $1/2^8=1/256$ .

Digitalizacija zapravo uzrokuje da se kontinuirana promjena ulaznih podataka prenese na izlaze kao skokovita promjena. Većina sustava za akviziciju podataka zahtjeva rezoluciju od 12 bita ali je sve veći broj primjena koje zahtijevaju rezolucije od 14, pa i 16 bita. Konvertori veće rezolucije su ne samo skuplji, već i proporcionalno sporiji. Zbog toga, prije izbora rezolucije A/D konvertora i sustava, potrebno je napraviti analizu zahtjeva sustava u pogledu opsega i točnosti mjerenja.

Postavlja se pitanje koliko bitni konvertor treba koristiti ako se želi mjeriti npr. tlak o rasponu od 0 do 12 bara, s točnošću od 0,01 bar. Za ilustraciju će poslužiti primjer izračuna potrebnog broja bitova:

raspon: 0 – 12 bara

točnost: 0,01 bar

$$\frac{0,01}{12} = 0,000833 \rightarrow \text{rezolucija: } \frac{1}{0,000833} = 1200$$

izračun broja bitova (x):

$$2^x = \frac{1}{0,000833} \rightarrow x = \frac{\log \frac{1}{0,000833}}{\log 2} = \frac{3,0792}{0,3010} = 10,23 \text{ bita}$$

10 bita < x < 12 bita

10-bitni konverter bio bi nešto slabiji za traženu rezoluciju, pa se usvaja 12-bitni.

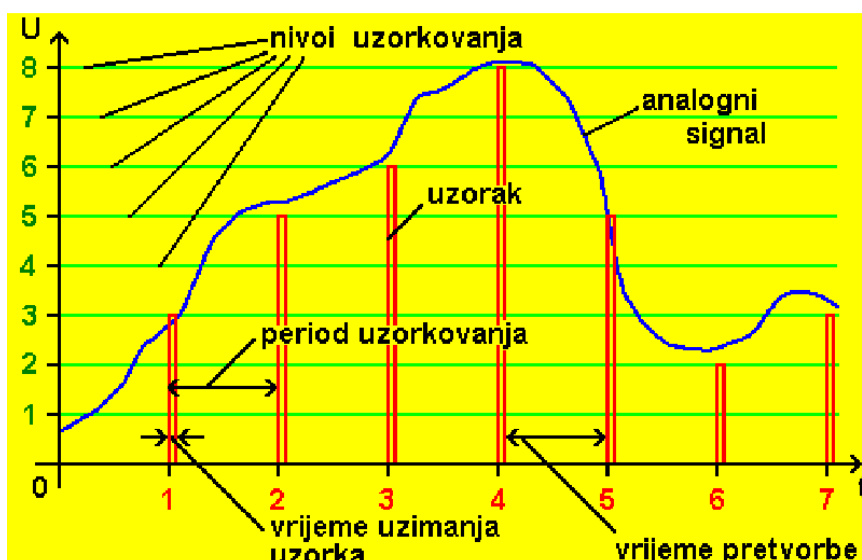
10-bitni konvertor dao bi rezoluciju od  $1/2^{10}=1/1024$ , a 12-bitni će dati  $1/2^{12}=1/4096$ , što daje dosta veća točnost. Da smo usvojili 10-bitni konvertor, točnost koju želimo ne bi bila 0,01 bar, već:

$$\frac{\text{točnost}}{12} = \frac{1}{2^{10}} = \frac{1}{1024} \rightarrow \text{točnost}=0,0117 \text{ m}$$

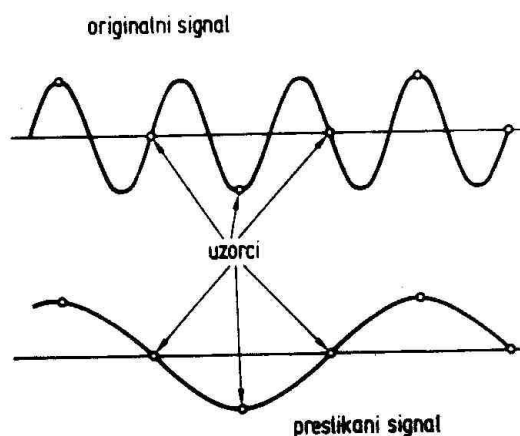
Frekvencija uzimanja uzoraka

Pojam „Sampling frequency“ (FS) definira broj uzoraka po jedinici vremena (obično sekundi) preuzet iz kontinuiranog signala da bi se dobio diskretni signal. Dakle, ne pretvara se cjelokupan analogni signal, nego samo njegovi uzorci u vremenu. Ne uzima se stvarna vrijednost uzorka već vrijednost najbližeg raspoloživog nivoa u tom trenutku.

Kod signala u domeni vremena jedinica uzorka je Hz (1/s), tj. broj uzoraka u sekundi. Obrnut slučaj od „Sampling frequency“ je period uzimanja uzorka ili tzv. „Sampling interval“ što predstavlja vrijeme između uzoraka (Slika 6.1::8).



Slika 6.1::8 Uzorkovanje analognog signala u vremenu

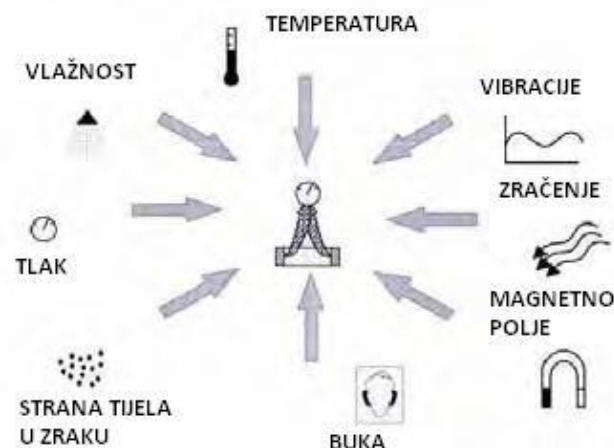


Slika 6.1::9 Ako se uzorci originalnog signala uzimaju rjeđe nego što je potrebno dolazi do značajne deformacije originalnog signala

### Utjecaj okoline

Ambijent u kojem se obavlja mjerenje često utječe na objekt mjerenja, vršitelja mjerenja i na mjernu opremu kojom se vrši mjerenje. Okolišni utjecaj djeluje tako da mijenja karakteristike mjernog objekta i mjernog sredstva (dužinu, površinu, vlažnost itd.), a operatoru stvara poteškoće pri provedbi mjerenja (slika 6.1::10) .

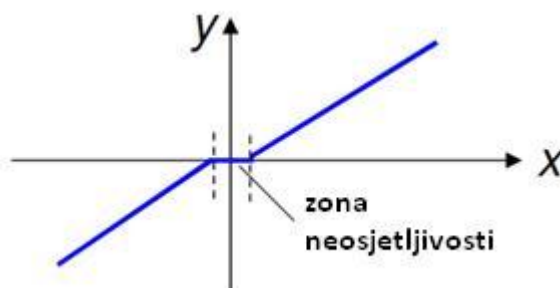
Izlazni signal ne zavisi samo od fizikalne veličine koja se mjeri nego i od utjecaja okoline kao što su: atmosferski tlak, relativna vlažnost, napon napajanja, temperatura okoline, buka i dr.



Slika 6.1::10 Utjecaj okoline na točnost mjerenja

Zona neosjetljivosti (dead-band)

Predstavlja dio mjernog područja u kojemu se za promjenu mjerene varijable na izlazu senzora dobiva nulti signal.



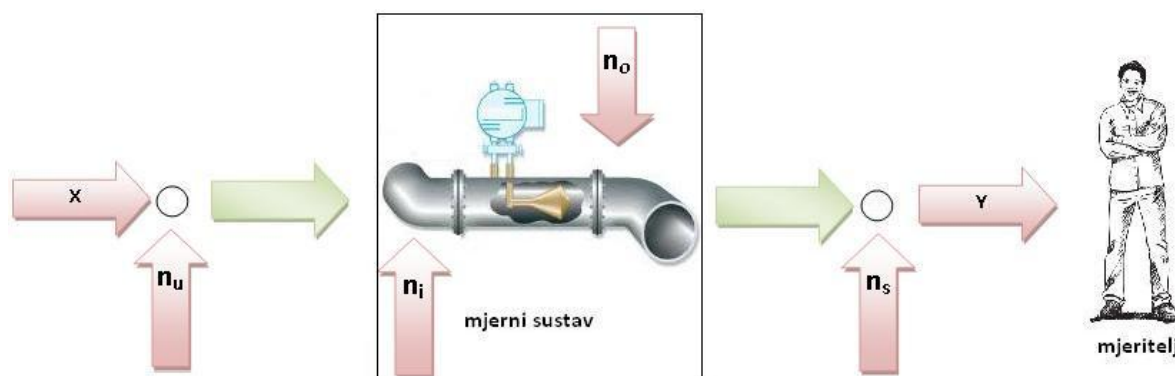
Slika 6.1::11 Zona neosjetljivost senzora „Dead band“

**6.2. Greške mjerenja**

Svako mjerenje je rezultat procesa s više ili manje izraženim slučajnim djelovanjem koje rezultira pogreškama u mjerenju. Pogreške se javljaju tijekom svakog mjerenja, dakako i u najpreciznijim mjerenjima koje služe kao standardi.

Na slici 6.2::1 je dan prikaz izvora pogrešaka koje nastaju pri mjerenju. Mjerena veličina i mjerni signal su prikazani kao varijable  $X$  i  $Y$ , a s varijablama  $n(t)$  su označeni:

- 1)  $n_u(t)$  = slučajan poremećaj ulazne veličine (pogreška uzorkovanja)
- 2)  $n_o(t)$  = slučajan utjecaj okoline na mjerni sustav
- 3)  $n_i(t)$  = slučajan poremećaj koji nastaje u samom mjernom sustavu
- 4)  $n_s(t)$  = slučajan poremećaj mjernog signala i djelovanja mjeritelja na proces mjerenja



Slika 6.2.:1 Prikaz izvora pogrešaka pri mjerenjima

- 1) Mjerene veličine u hidrotehničkoj praksi najčešće nisu konstante već se mijenjaju, kao npr. kod tečenja u otvorenim koritima (vodostaji i protoci), kod kanalizacijskih i vodoopskrbnih sustava i sl. Iz tog razloga često je teško postići potpunu reproducibilnost uzorka, ili se pak mijenja neko drugo svojstvo koje utječe na mjerenu veličinu.
- 2) Svaki mjerni sustav je otvoren prema okolini tako da okolina stalno mijenja stanje mjernog sustava. Najčešće se radi o utjecaju u okolini instrumenta, temperature okoline, vlažnosti, tlaka, vibracija, vodnih valova, morskih valova, vodnog udara, oscilacija vodnih masa, udara vjetra i sl.
- 3) Stanje svih elemenata mjernog uređaja je također u većoj ili manjoj mjeri stohastički proces.
- 4) Kada mjeritelj očitava vrijednost mjernog signala, npr. čitanjem kuta otklone kazaljke instrumenta sa zakretnim svitkom, ili tijekom pripreme uzimanja uzorka, dolazi do pogreške kojoj je uzrok sam mjeritelj.

### 6.2.1 Klasifikacija mjernih pogrešaka

Mjerne pogreške se klasificiraju prema svom stohastičkom odnosno determinističkom karakteru. Pogreške dijelimo na:

vrste pogrešaka		karakter pogrešaka
1.	grube pogreške	determinističke velikog iznosa
2.	sistemske pogreške	determinističke najčešće malog iznosa
3.	slučajne pogreške	stohastičke najčešće malog iznosa

**Grube pogreške** nastaju rijetko i rezultati takvih mjerenja se znatno razlikuju po svom iznosu od pravih vrijednosti, na primjer za red veličine. Tipičan primjer grube pogreške je očitavanje položaja otklona instrumenta na krivoj mjernoj skali. Grube pogreške se lagano uočavaju i izbacuju se iz skupa mjernih rezultata. One se ne ponavljaju i nemaju slučajan karakter. Besmisleno bi bilo primijeniti statističku obradu podataka ako su u podacima

grube pogreške. Grube pogreške nastaju prvenstveno zbog nepažnje ispitivača ili nedovoljnog stručnog iskustva.

**Sistemske pogreške** se uvijek na isti način javljaju tijekom ponavljanja pokusa. To znači da sistemska pogreška uvijek ima isti iznos i predznak, ponavlja se na isti način. Takve pogreške nastaju bilo zbog sistemske pogreške u pripremi ili uzimanju uzorka, zatim zbog moguće sistemske pogreške mjernog instrumenta ili su rezultat sistemske pogreške u metodi mjerenja. Na primjer, uzorak može biti nereprezentativan jer se uzima stalno s istog mjesta iz većeg volumena gdje ne postoji potpuno miješanje. Često se dešava da instrument ima sistemska pogrešku koja je možda nastala starenjem komponenata ili zbog dužeg izlaganja uređaja uvjetima koji nisu propisani. Tako dolazi do trajnog pomaka u vrijednosti izlaznog signala, na primjer pomaknuta nula instrumenta, koja mjeritelju može prouzročiti sistemske pogreške. Tipični primjeri su čitanje otklona kazaljke instrumenta pod nagibom tako da dolazi do paralakse, ili zanemarivanje prijelaznih otpora i napona u električnim mjerenjima. Sistemskim pogreškama treba posvetiti posebnu pažnju jer ih može biti teško zapaziti, a moraju se ukloniti. Budući da nemaju slučajan karakter njihova statistička obrada također nema smisla.

**Slučajne pogreške** imaju stohastički karakter, nastaju kao rezultat velikog broja slučajnih procesa u interakciji između okoline i mjernog sustava i slučajnih procesa u mjernom sustavu. Kod ponavljanja pokusa slučajne pogreške imaju promjenljiv predznak i iznos. Zbog toga što nastaju superpozicijom većeg broja slučajnih procesa njihov stohastički karakter je najčešće određen normalnom ili Gaussovom raspodjelom gustoće vjerojatnosti. Slučajne pogreške su prisutne u svim mjerenjima, tako i u najpreciznijim mjerenjima koji su propisani kao standardni mjerni postupci. Unapređenjem mjernih metoda i instrumenata postiže se sve manji utjecaj pogrešaka no one su uvijek teoretski i praktično prisutne. Zahvaljujući stohastičkom karakteru slučajnih pogrešaka mogu se upotrijebiti efikasne statističke metode za procjenu pravih vrijednosti mjerenih veličina. Primjenom statističkih metoda može se u velikoj mjeri smanjiti utjecaj pogrešaka, teoretski pogreške u procjenama postaju beskonačno malene kada broj pokusa postaje beskonačno veliki.

#### Popis literature

Gabro Smiljanić, Računala i procesi, Školska knjiga – Zagreb, 1991.