

RAČUNARSKO VOĐENJE PROCESA

Teorijska pitanja

1. Greške senzora u stacionarnom stanju?

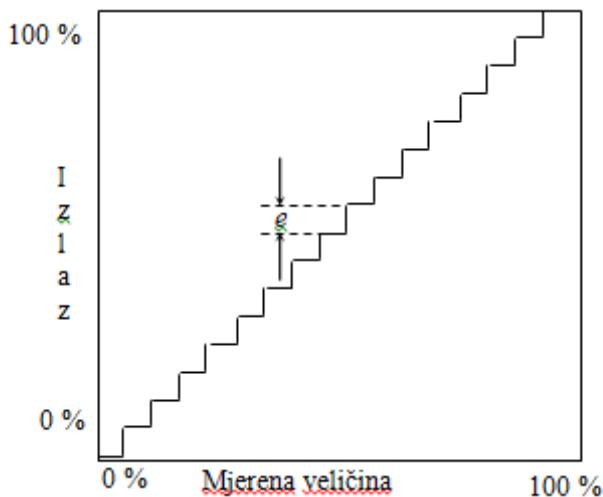
Ponovljivost senzora je njegova sposobnost da daje jednakе vrijednost izlazne veličine za uzastopna ponovljena mjerena iste vrijednosti mjerene veličine. Greška ponovljivosti garantuje da za više uzastopnih mjerena maksimalna razlika izlaza neće biti veća od $e[\%]$ za bilo koje ali jednakе vrijednosti mjerene veličine. U toku eksploatacije senzora nisu isti uslovi u kojima se vrše mjerena, a prije sveg temperatura okoline. Svi ti uticaji dovode do greške ponovljivosti senzora.

Linearnost - Bliskost stvarne i odgovarajuće linearizovane statičke karakteristike senzora je mjera njegove linearnosti. Izražava se kao maksimalno procentualno odstupanje tačke sa stvarne statičke karakteristike senzora od linearizovane

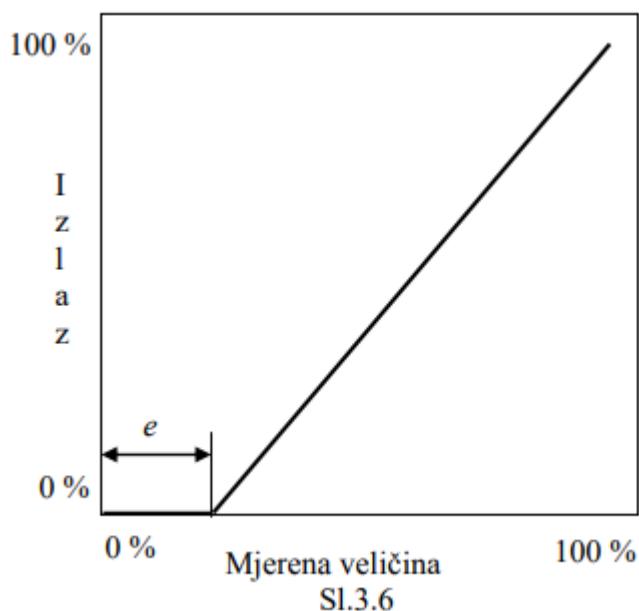
statičke karakteristike predstavljene odgovarajućim pravcem i predstavlja grešku linearnosti. Ova vrijednost zavisi od toga kako je definisana linearizovana statička karakteristika pa se linearnost vezuje za način definisanja linearizovane statičke karakteristike. Postoje tri načina linerizacije:

- *Linearizacija po minimumu kvadrata* odnosi se na pravac za koji je suma kvadrata reziduala minimalna
- *Linearost po teoretskoj strmini* se računa tako da se povuče pravac između krajnjih tačaka teoretske statičke karakteristike
- *Rubna linearnost (end point)* se usvaja tako da se prava povuče kroz dvije krajnje mjerne tačke.

Rezolucija statičke karakteristike - Kod nekih senzora se za kontinualnu promjenu mjerene veličine izlaz nemjenja kontinualno. Promjena izlazne veličine može biti u nekim mjerljivim koracima za kontinualnu promjenu mjerene veličine. Ovakvo ponašanje kao rezultat daje statičku grešku koja se naziva greškom rezolucije ili rezolucijom. Rezolucija se izražava u % kao odnos najvećeg od svih koraka izlaza i maksimalne vrijednosti izlaza. Greška rezolucije zavisno od načina aproksimacije obično je u granicama od polovine do cijelo vrijednosti rezolucije.

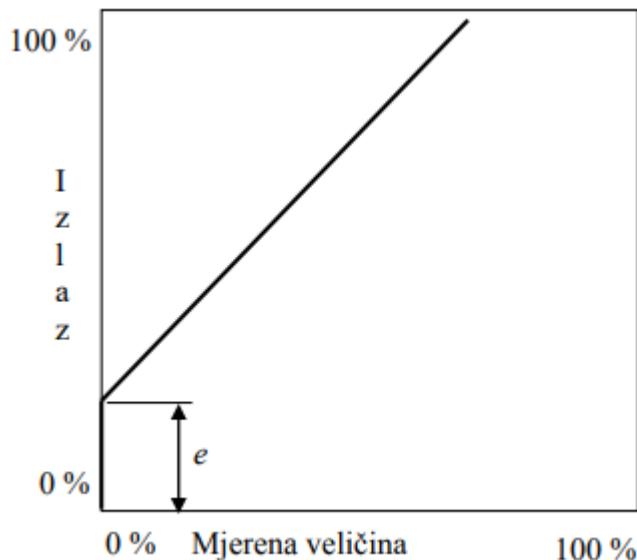


Zona neosjetljivosti - Zona neosjetljivosti je najmanja konačna vrijednost promjene mjerne veličine potrebna da se prouzrokuje mjerljiva promjena izlazne veličine. U slučaju da se rad senzora/transdžusera zasniva na mehaničkim pomjeranjima tada je zona neosjetljivosti posljedica potrebe da se savlada sila trenja. Kada se koriste digitalni senzori/transdžuseri tada zona neosjetljivosti odgovara potrebnoj promjeni mjerene veličine da bi došlo do promjene stanja bita najmanje težine.

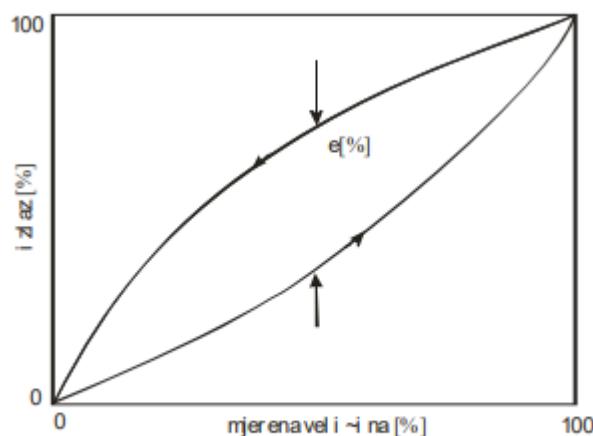


Sl.3.6

Offset - Kada je mjerena veličina jednaka nuli tada je izlaz pasivnog senzora takođe jednak nuli. Ovo ne mora da vrijedi u slučaju aktivnog senzora. Vrijednost signala na izlazu senzora/transdžusera, kada je mjerena veličina jednaka nuli naziva se *offset*-om. Eliminacija *offset*-a se obično vrši tako što se ukloni dejstvo mjerene veličine (postavi se na nulu) i izlaz elementa podesi na nulu.



Histerzis - Maksimalna razlika dva očitana izlaza na statičkoj karakteristici za istu vrijednost mjerene veličine, za jedan potpun ciklus kalibracije, naziva se histerezisom. Greška histerezisa se obično izražava u postotcima opsega maksimalne promjene izlaza.



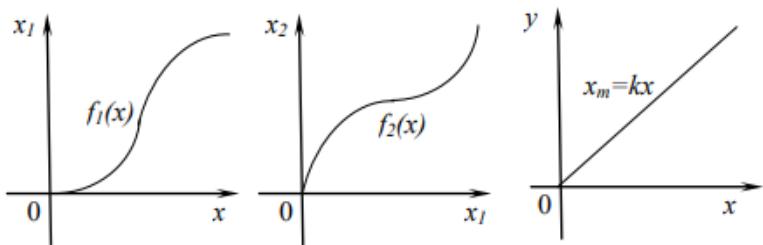
Sl.3.8 Statička karakteristika sa izraženim histerezison

2. Linearizacija statičkih karakteristika senzora?

Da bi senzori imali dovoljno visoku osjetljivost na mjerenu veličinu, oni po pravilu imaju nelinearnu statičku karakteristiku. Potreba da informacioni signal ima linearnu zavisnost od mjerene veličine od opštег je značaja, jer se kompletna obrada signala i prikaz izvode u elementima koji su po pravilu linearni.

Linearizacija se može realizovati odgovarajućim analognim kolima, hardverski, ili digitalom obradom informacionog signala, softverski.

Neka senzor vrši transformaciju mjerene veličine u pomoćnu promjenljivu, u stacionarnom stanju, po zakonu $x_1=f_1(x)$. Ova zavisnost predstavlja statičku karakteristiku senzora i po pravilu je nelinarna. Linearizacija statičke karakteristike će se ostvariti ako se usvoji statička karakteristika elementa za linearizaciju takva da je $y = x_2 = f_2(x_p) = f_2(f_1(x)) = x$. Odavde slijedi uslov za statičku karakteristiku elementa za linearizaciju $f_2(x_p) = f_1^{-1}(x_p)$.



Ukoliko je statička karakteristika elementa izrazito nelinearna složenog oblika ili promjenljiva, tada je za provođenje linearizacije potrebno koristiti vrlo složena elektronska kola. U tom slučaju je pogodnije koristiti softverski postupak linearizacije. Generalno se koristi jedan od dva postupka: linearizacija pomoću tabele pretraživanja ili linearizacija pomoću računarski generisane inverzne funkcije.

Za linearizaciju pomoću tabele pretraživanja potrebno je eksperimentalno snimiti statičku karakteristiku senzora u željenom mjernom području. Dobijeni podaci se smještaju u memoriju sistema za akviziciju u obliku tabele sa dvije kolone, koje čine vrijednosti mjerene veličine i odgovarajuće vrijednosti izlaznog signala senzora. Pri popunjavanju tabele se koriste dvije varijante. Prva predstavlja takozvanu potpunu tabelu. Takva tabela sadrži onoliko mernih parova koliko je kvantnih nivoa za čitavo merno područje senzora. Za ovaj postupak potrebna je memorija sa relativno velikim kapacitetom. Tabela se koristi tako što se za svaku vrijednost izlaza senzora/transdusera iz tabele pročita njoj pridružena vrijednost mjerene veličine. Druga varijanta je korišćenje takozvane nepotpune tabele.

Tada se tabela formira od manjeg broja mernih podataka. Vrijednosti mjerene veličine se dobijaju kombinacijom tabele i interpolacije. Za dobijenu vrijednost informacionog signala pronalaze se u tabeli prva veća i prva manja vrijednost $y_i < y < y_{i+1}$ i njima pripadajuće vrijednosti mjerene veličine x_i , x_{i+1} . Vrijednost mjerene veličine se sada određuje linearnom interpolacijom a prema relaciji:

$$x = x_i + \frac{y - y_i}{y_{i+1} - y_i} (x_{i+1} - x_i)$$

$$x = x_i + \frac{x_{i+1} - x_i}{y_{i+1} - y_i} (y - y_i).$$

Prva varijanta se odlikuje velikom brzinom očitavanja podataka, ali traži velik memorijski prostor. U drugom slučaju je potreban mnogo manji memorijski prostor ali je brzina dobijanja mjernih podataka manja.

Postoje tri načina linerizacije:

- *Linearizacija po minimumu kvadrata* odnosi se na pravac za koji je suma kvadrata reziduala minimalna
- *Linearnost po teoretskoj strmini* se računa tako da se povuče pravac između krajnjih tačaka teoretske statičke karakteristike
- *Rubna linearost (end point)* se usvaja tako da se prava povuče kroz dvije krajnje mjerne tačke.

3. Interfejsi RS-422 i RS-485

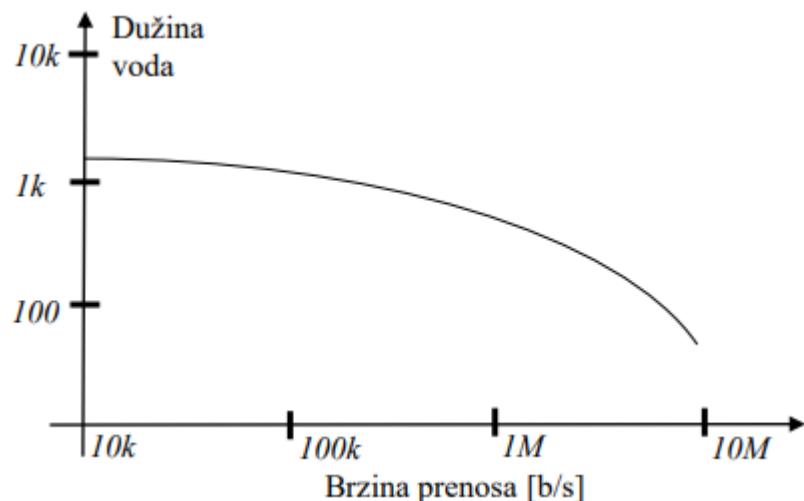
Za serijski prenos podataka na većim rastojanjima ($> 15m$) i sa većim brzinama prenosa ($> 19200 \text{ Bd}$) usvojen je novi *EIA RS-422* standard. Osnovna razlika ovog interfejsa u odnosu na prethodni je što se umjesto po jedne linije za predaju i prijem, koriste po dvije linije. Slično prethodno definisanim oznakama ove linije za predaju se označavaju sa *TD+* i *TD-*, odnosno za prijem sa *RD+* i *RD-*. Svaki od ovih signala se šalje kao razlika naponskih nivoa između dvije linije podataka koje se realizuju kao dvije upredene parice. U tom slučaju smetnja koja se indukuje na jednom vodu indukuje se na isti način i na drugom, pa naponska razlika između vodova koji nose podatak ostaje nepromjenjena.

Serijskim interfejsom *RS-422* može se postići brzina prenosa *10MBd*, na rastojanjima do *15m* dužine. Takođe na rastojanjima do *1200m* može se koristiti brzina prenosa preko *100kBd*.

Za interfejs *RS-422* nisu specificirane linije za upravljanje prenosom i raspored veza na konektorima. Specifikacija je data za standard *RS-449* koji se odnosi i na standard *RS-422*. U njemu su obuhvaćeni svi signali iz standarda *RS-232*, pa se uz pomoć adaptera mogu međusobno povezivati uređaji sa *RS-232* interfejsom i uređaji sa *RS-422* interfejsom.

Serijski interfejs *RS-485* predstavlja modifikaciju interfejsa *RS-422*. Bitna razlika je da interfejs *RS-485* može povezati 32 predajnika i 32 prijemnika. U jednom tenu tu samo

jedan uređaj vrši predaju podataka, a svi prijemnici mogu biti aktivni istovremeno.



Često komunikacija uređaja preko RS-485 interfejsa odvija u režimu *master – slave*. U tom režimu jedan primopredajnik izvršava ulogu kontrolera magistrale (*master*), a svi ostali primopredajnici su podređeni (*slave*). Kontroler može prenositi podatke u bilo kom trenutku, ali podređeni primopredajnici mogu prenositi podatke samo kad od kontrolera dobiju odgovarajuću naredbu.

| Svojstvo | RS-232 | RS-422 | RS-485 |
|------------------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Način prenosa signala | Nesimetričan | Diferenc. | Diferenc. |
| Maksimalno predajnika i prijemnika | 1 predajnik 1 prijemnik | 1 predajnik 10 prijemnika | 32 predajnika 32 prijemnika |
| Maksimalna dužina linije veze | 15 m | 1200 m | 1200 m |
| Maksimalna brzina prenosa | 20kb/s | 10Mb/s | 10Mb/s |

4. PROFIBUS –DP: Sloj veze podataka

U ovom sloju su standardizovane osnovne funkcije prema referentnom OSI modelu. U skladu sa tim svaka PROFIBUS jedinica mora imati jedinstvenu adresu za komunikaciju. Adrese se kodaju u jednom bajtu tako da je omogućeno 0 – 127 adresa. Infrastrukturne komponente kao što su repetitori, mostovi/spojnice i konvertori za optičke linije ne trebaju imati vlastite adrese.

Kod upravljanja razmjenom podataka na magistrali, sloj veze podataka PROFIBUS-DP protokola, zavisno od verzije (DP-V0, DP-V1 i DP-V2), omogućava master-slave i master-master komunikaciju. Zavisno od verzije jedna ili nekoliko komponenata vezanih na magistralu imaju status nadređene (eng. master) a ostale komponente su podređene (eng. slave).

Podaci se razmjenjuju korišćenjem telegrama (poruka). Telegram se sastoji od više bajtova. Svaki bajt teleograma se prenosi asinhrono sa 11 bitova (osam bitova izvornih podataka, sa start i stop bitom i bitom parnosti). Telegrami mogu biti različitih dužina, pa je za njihovo razdvajanje potrebno da između dva telegrama linija za prenos bude neaktivna (bus idle – logička jedinica) najmanje 33 bita.

Osnovni principi upravljanja komunikacijom su sljedeći:

- Aktivni master inicira komunikaciju slanjem teleograma odabranoj slave jedinici. Slave jedinica odgovara na telegram.
- Linija može imati više master stanica, koje kontrolišu više svojih slave jedinica. Master može da koristi liniju samo ako je token kod njega.

Prilikom upravljanja komunikacijom verzija DP-V0 koristi isključivo cikličan protokol. To znači da na osnovu podataka dobijenih u fazi inicijalizacije magistrale, kontroler magistrale određuje minimalno vrijeme ciklusa potrebnog za opsluživanje svih slave jedinica. Na osnovu toga master, u jednom ciklusu, sukcesivno proziva sve jedinice i sa svakom slave jedinicom vrši razmjenu podataka u trajanju koji je ona dobila u fazi inicijalizacije magistrale. Odnosno, kontroler magistrale omogućava podređenim komponentama da šalju ili prihvataju podatke samo u određenim vremenskim intervalima definisanim ciklusima na magistrali.

Verzija DP-V1 je unapređenje verzije DP-V0 na način da omogućava acikličan protokol odnosno da trajanje ciklusa nije strogo fiksirano nego su dozvoljena prilagođavanja specifičnim potrebama U/I jedinica, tako da je moguće modifikovati trajanje ciklusa u određenom opsegu. Time je omogućeno i direktno uvođenje alarmnih poruka, koje su sa stanovišta brzine odziva posebno zahtjevne.

Verzija DP-V2 je nastala unapređenjem verzije DP-V1. Verzija DP-V2 podržava sve karakteristike prethodnih verzija, a specifičnost je da omogućava i izohroni prenos i direktnu komunikaciju između dva slave elementa.

5. A/D konvertor sa sukcesivnom aproksimacijom

U povratnoj vezi A/D konvertora sa sukcesivnom aproksimacijom nalazi se D/A konvertor. Digitalni kod od n bita na izlazu A/D konvertora dobija se kroz $n+1$ sukcesivni interval. Digitalni kod se dobija poređenjem napona na ulazu, nepoznate vrijednosti, sa precizno generisanim internim naponom koji se dobija na izlazu D/A konvertora.

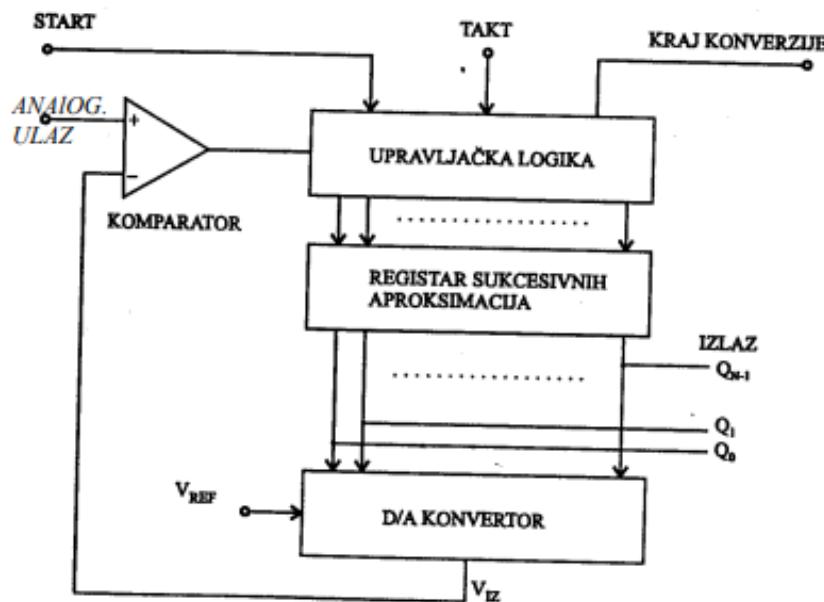
Nakon započinjanja konverzije, upravljačka logika konvertora postavi logičku jedinicu na mjesto bita najveće težine (Eng. Most Significant Bit - MSB) u registar D/A konvertora. D/A konvertor generiše napon jednak polovini napona pune skale (ulaznog opsega) koji se poredi sa ulaznim naponom.

Ako je ulazni napon veći od polovine napona pune skale, za MSB se usvaja vrijednost 1, a ako je ulazni napon manji od polovine napona pune skale onda je ovaj bit 0. Sada se na mjesto sljedećeg bita po težini upiše 1.

Poređenjem novopostavljene vrijednosti napona na izlazu D/A konvertora sa nepoznatim ulaznim naponom definiše vrijednost ovog bita. Proses se nastavlja utvrđivanjem vrijednosti svakog bita, sve do bita najmanje težine.

Kada se taj proces završi, preko statusne linije se signalizira da je na izlazu A/D konvertora prisutan važeći rezultat konverzije.

Za ovaj način konverzije, potrebno je da ulazni signal ostane stalan za vrijeme cijele konverzije. U protivnom, može doći do velike greške. Zato se koristi kolo odmjeri-pamti (Eng. Sample/Hold - S/H). U primjenama za nadzor i upravljanje procesima uglavnom se koristi ovaj tip A/D konvertora



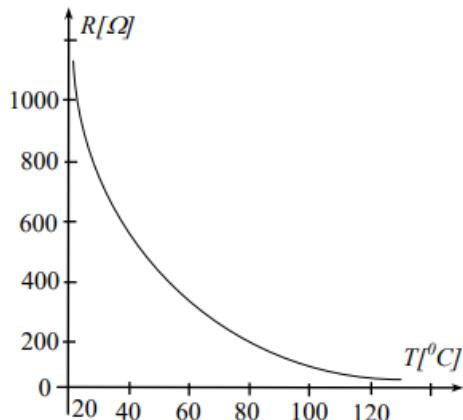
6. Princip rada i povezivanje termistora u sistemu za mjerjenje temperature

Termistori se proizvode od oksida metala mangana, nikla, kobalta, hroma, željeza i drugih. Oksidi u obliku praha se presuju pri visokim temperaturama (oko 1000 0C) i vezuje za dva provodnika. Statička karakteristika im je izrazito nelinearna pa se obično aproksimira izrazom:

$$R_T = R_0 e^{B \left(\frac{T_0 - T}{T_0 T} \right)}$$

B - konstanta koja zavisi od sastava materijala od koga je sačinjen thermistor

R₀ - otpornost termistora na temperaturi T₀.



Oblik zavisnosti otpornosti od temperature kod tipičnog termistora je prikazan na Sl.6.12. Činjenica da im je karakteristika izrazito nelinearna određuje njihovu primjenu. Glavna prednost im je velika osjetljivost u užem temperaturnom opsegu. U okolini sobne temperature njihova osjetljivost je 3%/°C do 5%/°C, što je desetak puta više nego kod metalnih otpornika. Sa porastom temperature osjetljivost im opada. Tipično se koriste za mjerjenje temperature u području od 0 0C do 120 0C (maksimalno do 2500C).

Otpornost termistora na sobnoj temperaturi može biti veoma različita, a određena je sastavom materijala i uslovima sinterovanja. Za tipične nominalne otpornosti na sobnoj temperaturi reda 10KΩ, pri mjerenu temperature nije potrebno koristiti četvorožično vezu kao kod metalnih termootpornika. Naprimjer, za termistor koji ima temperaturni koeficijent 5%/0C otpornost veza od 10Ω, daje grešku mjerena od samo 0.050C, što je 500 puta manje nego ekvivalentna greška do koje dolazi pri korištenju platinskog termootpornika.

Za mjerjenje temperature termistori se obično vezuju u mostne šeme. Kao i kod pozistora, kod primjene u mostnim šemama, treba voditi računa da zbog proticanja struje snaga disipacije ne bude velika tako da ne dođe do samozagrijavanja

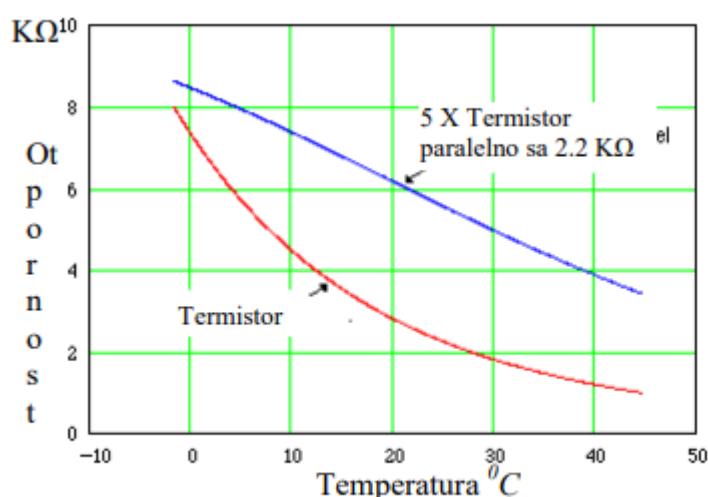
senzora.

Postoji više različitih načina linearizacije njihovih statičkih karakteristika dodavanjem odgovarajućih električnih kola, koja predstavljaju složene linearizovane termistorske pretvarače, ali se ovi postupci i kola sve manje koriste.

Jedan vrlo jednostavan postupak linearizacije statičke karakteristike termistora je da se on veže paralelno sa fiksni otpornikom. Otpornost fiksnog otpornika treba da bude približno jednaka otpornosti termistora na sredini njegovog temperaturnog opsega. Grafikon na Sl.6.13 ilustruje uticaj fiksnog otpornika od $2.2\text{ K}\Omega$, vezanog paralelno sa termistorom otpornosti $2.252\text{ K}\Omega$ na temperaturi 250C . U cilju očiglednije ilustracije efekta linearizacije na dijagramu je "linearizovana kriva" ucrtane sa faktorom skaliranja 6. Ovakva tehnika linearizacije se preporučuje u svim slučajevima kada se termistori koriste zajedno se jednostavnim hardverom za akviziciju sa A/D konvertorima niske rezolucije (obično manje od 12 bita).

Savremeni digitalni sistemi za akviziciju podataka i upravljanje omogućavaju malu grešku rezolucije i softversko provođenje linearizacije statičkih karakteristika (odgovarajućim algoritmima ili tabela pretraživanja), pa linearizacija analognog signala nema tako velik značaj.

Savremenim postupcima proizvodnje mogu se proizvesti termistori sa vrlo uskim granicama tolerancije tako da se mogu direktno zamjenjivati



bez potrebe kalibracije a sa greškom svega 0.10C .

Najčešći razlog otkaza termistora je odvajanje provodnika od tijela termistora zbog vibracija. Sinterovani oksid metala tijela termistora je sklon oštećenjima zbog djelovanja vlažnosti. Iz tog razloga se tijela termistora zalivaju u staklenu ili epoksidnu masu koja štiti tijelo termistora od djelovanja vlage.

7. Uloga i mjesto realizacije pojačanja senzorskog signala u sistemu za akviziciju mjernih podataka

Pojačanje je jedan od primarnih zadataka koji se izvode opremom za uobličavanje. Izvršavaju dvije osnovne funkcije:

- “Povećavaju” osjetljivost senzora,
- Poboljšavaju odnos korisni signal-smetnja. Pojčanje se prije svega može razumjeti kao jedan oblik povećanja osjetljivosti senzora.

Ako uvedemo notaciju:

UOs – ulazni opseg senzora, odnosno mjerene veličine,

IOs – izlazni opseg senzora,

tada je osjetljivost senzora:

$$a = \frac{IO_s}{UO_s}.$$

Poznato je da je jedan od fundamentalnih zahtjeva na staticko ponašanje senzora postizanje što veće osjetljivosti [3]. Ovaj uslov kod većine senzora, pogotovo onih bez vanjskog izvora energije, nije dovoljno dobro realizovna. Iz tog razloga je poželjno pojačati izlazni signal iz senzora. Na taj način, pogotovo ako se pojačavač smatra približno idealnim sa pojačanjem K_p , redna veza senzora i pojačavača se može smatrati složenim senzorom čije je osjetljivost aK_p .