

## 4. UOBLIČAVANJE SIGNALA

Već je naglašeno da se digitalni sistemi za akviziciju podataka koriste u velikom i sve većem broju primjena. Ovi sistemi koriste senzorsku informaciju koja je tipično u obliku analognog ili digitalnog napona. Takvi signali na izlazu senzora često nisu u formi pogodnoj za direktno procesiranje kroz sistem za akviziciju (SA), pa ih je potrebno prethodno uobličiti. Uobličavanje, tj. Kondicioniranje, signala je termin koji se uobičajeno koristi da opiše početne transformacije i pred-procesiranje potrebne da se električni signal sa senzora konvertuje u signal prilagođen hardveru za akviziciju.

Dodatno, za mnoge senzore potrebni su pobudni napon ili struja, Vitstonov (engl. *Wheatstone Charles*) most i linearizacija da bi se omogućilo tačno mjerenje signala. Iz tog razloga neke funkcije uobličavanja signala se realizuju u hardveru za akviziciju. Osnovne funkcije koje se realizuju u postupku uobličavanja signala su: pojačanje, izolacija, linearizacija, filtriranje, pobuđivanje, strujno-naponska konverzija i kompenzacija promjene temperature.

Postupak uobličavanja prije svega zavisi od oblika signala koji se transformiše. Radi toga će biti dato kratko podsjećanje na osnovne tipove signala koji predstavljaju izvor informacije u procesu akvizicije.

Tip potrebne opreme a kojom se realizuje uobličavanje i način na koji se ona povezuje sa ostalim dijelovima SA, najviše zavise od broja i tipa signala koji se prikupljaju i udaljenosti izvora signala od mjesta njegovog memorisanja ili finalne obrade.

### 4.1. STANDARDNI SIGNALI

Spoznaja o fizikalni fenomeni koji se dešavaju i analiziraju dobija se kroz vrijednosti mjerenih veličina koje ih karakterišu i koje su u osnovi analogne vremenski promjenljive veličine. Svaka od ovih veličina se u senzoru pretvara u pomoćnu promjenljivu koja je po pravilu druge fizikalne

prirode. Na kraju, adapter vrši konačnu transformacija posmatrane veličine u odgovarajući električni signal [3]. Dakle, vrši se konverzija mjerene veličine u električni signal koji može biti ***naponski ili strujni***, zavisno od toga da li je napon ili struja nosilac informacije.

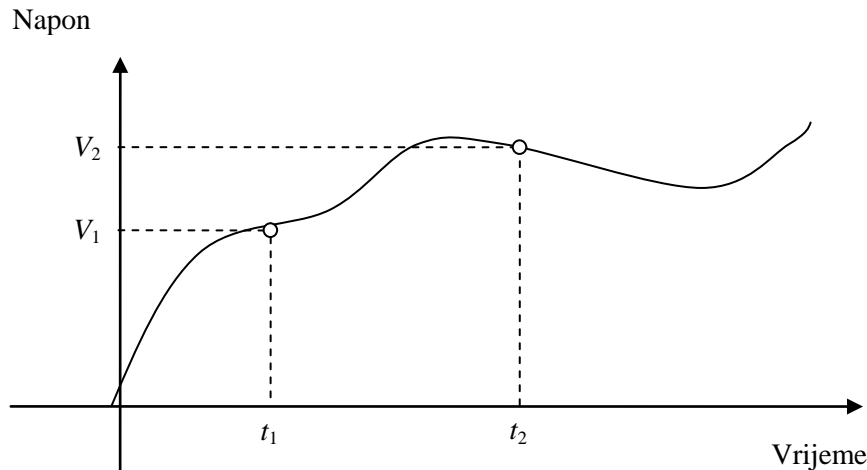
Primjena naponskog signala ne daje mogućnost stalnosti napona na izlazu davača pri promjeni opterećenja, kao ni pri promjeni parametara prenosnih/dužine vodova. Strujni signal ima osobinu da se može prenositi na relativno velike daljine, sa malim gubitkom informacije na prenosnom putu. S druge strane, strujni signal je teže generisati.

Iz navedenih razloga se u većini standardnih primjena naponski signal koristi kao nosilac informacije.

Kada je poznato da je naponski, odnosno strujni signal nosilac informacije, nije potpuno precizirano kako je informacija o mjerenoj veličini sadržana u ovim signalima. Informacija o mjerenoj veličini, koja je analogna vremenski promjenljiva veličina, može se na različite načine sadržavati u električnom informacionom signalu. Ovo prije svega zavisi od toga da li se radi o analognom ili digitalnom električnom signalu.

***Analogni signali*** sadrže informaciju o mjerenoj veličini direktno u njihovim vrijednostima. Relevantna informacija sadržana u signalu zavisi od toga da li se analogni signal mijenja sporo ili brzo u vremenu u odnosu na mjerenu veličinu.

***Analogni istosmjerni signali*** su statički ili sporo promjenljivi signali čije su vremenske promjene veoma bliske analognoj prirodi mjerenih veličina. Informacija o mjerenoj veličini je u ovom signalu sadržana u nivou signala u datom vremenskom trenutku. Za ilustraciju je na Sl. 4.1 prikazana promjena istosmjernog naponskog signala. U trenucima  $t_1$  i  $t_2$  signal ima vrijednosti  $V_1$  i  $V_2$ , respektivno. To dalje znači, da je u trenutku  $t_1$  vrijednost mjerene veličine tolika da njoj odgovara naponski ekvivalent  $V_1$ . Takođe, mjerena veličina je u trenutku  $t_2$  imala vrijednost koja odgovara naponu  $V_2$ .



Sl. 4.1 Ilustracija analognog signala ekvivalentnog mjerenoj veličini

Ako se mjerena veličina mijenja polako brzina prikupljanja/uzorkovanja mjerenja nije od posebnog značaja. Na primjer, temperatura i protok su sporo-promjenljive, u raznim sistemima mjerene, fizičke veličine. U ovakvim slučajevima je bitno da se sa dovoljnom tačnošću registruje vrijednost naponskog signala, a brzina očitavanja vrijednosti informacionog naponskog signala obično nije kritična.

Kada se koristi *naizmjeničan analogan signal*, tada informacija o vrijednosti mjerene veličine u nekom trenutku nije sadržana u trenutnoj vrijednosti signala u istom trenutku. Promjene naizmjeničnog analognog signala moraju biti mnogo brže od promjena mjerene veličine. Informacija može biti sadržana u amplitudi (amplitudna modulacija), frekvenciji signala (frekvencijska modulacija) ili fazi signala (fazna modulacija).

Generalno su hardver i softver potrebni za korišćenje naizmjeničnih signala složeniji u odnosu na slučaj korišćenja istosmjernih signala. Takođe, naizmjeničan signal je podložniji uticaju smetnji koje dolaze od energetske vodova i ostalih električnih instalacija. Ipak, u slučaju kada se vrši prenos analognog signala na veća rastojanja može biti opravdano korišćenje ovih signala zbog mogućnosti lake transformacije nivoa napona i time prilagođavanja uslovima konkretne primjene.

Zbog mnogo veće jednostavnosti korišćenja istosmjernih signala u odnosu na naizmjenične, prvi su postali standard.

*Digitalni signali* (podaci) se sastoje od više komponenata signala pri čemu svaka može imati samo dva nivoa. Najšire se koriste tzv. *TTL* naponski nivoi koji mogu imati vrijednosti 0[V] ili 5[V]. Sa ovakvim signalima se lako realizuju logičke i računske operacije pa se oni nazivaju i digitalnim podacima, kada nije od primarnog značaja fizička priroda nosioca informacije. Digitalni podatak se sastoji od odgovarajućeg broja bita. Svakom bitu se pridružuje vrijednost 0 ili 1, zavisno od vrijednosti napona, 0[V] ili 5[V], pripadajućeg binarnog signala. Zavisno od pravila po kojem se pojedinom naponskom nivou, 0[V] ili 5[V], pridružuje vrijednost 0 ili 1, radi se o tzv. Pozitivnoj, odnosno negativnoj logici. Vrijednost mjerene veličine sadržane u digitalnom signalu određena je vrijednošću svakog bita i načinom kodovanja. Podrazumijeva se da se pri očitavanju digitalnog signala ne mijenjaju stanja njegovih bita.

Pošto se digitalni signal sastoji od više binarni skomponenata njegov prenos može biti paralelan ili serijski. U slučaju paralelnog prenosa potrebno je onoliko paralelnih prenosnih linija koliko se bita prenosi. Kada se digitalni signal prenosi serijski tada se za prenos koristi jedna linija. Na nju se sukcesivno postavljaju, jedna za drugom, naponske vrijednosti binarnih komponenata. Zbog navedenih razlika, u slučaju paralelnog prenosa postižu se veće brzine, ali su komunikacione linije skuplje.

*Povorka impulsa* je posebna grupa binarnih signala, koji mogu imati samo dva nivoa napona, kod kojih je informacija koju prenose određena vremenskim slijedom prebacivanja između dva nivoa. Informacija može biti sadržana u dužini trajanja logičke jedinice (širinska modulacija), frekvenciji signala (frekvencjska modulacija) ili vremenu proteklom do pojave signala (fazna modulacija).

Sa stanovišta neosjetljivosti na smetnje i jednostavnosti unošenja u digitalni računar prednost imaju povorka impulsa i digitalni signal, kada se porede sa analognim informacionim signalima, ali su kola za generisanja takvih signala složenija.

Očigledno je da postoji veliko šarenilo mogućih signala. Iz tog razloga je uvedena unifikacija signala i uspostavljen je sljedeći standard za strujne i naponske jednosmjerne signale.

Tabela 4.1 Standardni strujni i naponski jednosmjerni signali

	Strujni	Naponski
Sa pravom nulom	0÷20 [mA]	0÷1 [V]; 0÷10 [V]; ±10 [V]
Bez prave nule	4÷20 [mA]	1÷5 [V]

Za digitalne signale i povorke impulsa se koriste standardno dva naponska nivoa 0[V] i 5[V].

Značajne su prednosti uvođenja standardizacije signala. Ona je dovela do unifikacije kola za uobličavanje signala i kola za unos/uvođenje signala u digitalni regulator/računar, što je rezultiralo manjim brojem različitih tipova kola i doprinijelo smanjenju njihove cijene. Takođe, smanjena je cijena održavanja sistema u kojima se koriste mjerni elementi. Pojednostavljena je i zamjena postojećih mjernih elemenata poboljšanim verzijama koje se pojavljuju na tržištu, bez posebnih zahvata na postojećoj opremi za prikupljanje i obradu mjernih informacija. Nadalje, ovo omogućava da se realizuju sistemi za akviziciju kombinovanjem elemenata od različitih proizvođa.

Navedeno omogućava da se sistem za akviziciju može lako prilagoditi i/ili modifikovati za vrlo različite primjene jer se standardni elementi za akviziciju mogu zamjenjivati, dopunjavati ili kombinovati sa drugim.

Savremeni regulatori su uglavnom diskretne prirode jer se realizuju se pomoću digitalnih računara. Iz ovog razloga je od interesa posebno razmotriti način unošenja mjernih podataka u digitalni računar. Informacija sadržana u informacionom signalu iz mjernog elementa se ne može direktno smjestiti u memoriju digitalnog računara. Za ostvarivanje ovog zadatka se koriste posebna kola koja se obično nazivaju **hardverom za akviziciju mjernih podataka**. Ova kola su takođe unificirana pa je potrebno njihovo poznavanje pri razmatranju oblika informacionih signala dobijenih nakon njihovog uobličavanja.

Standardna akviziciona kola omogućavaju unos mjernih podataka preko analognih i digitalnih signala.

Kada se radi o analognom signalu tada je osnovno kolo za unos podataka **analogno-digitalni konvertor** (A/D konvertor). U slučaju strujnog signala potrebno je izvršiti njegovo pretvaranje u naponski signal koji se

vodi na ulaz A/D konvertora. Naponski signal se može unositi direktno. Pri povezivanju senzora/transdjusera i A/D konvertora moraju se usaglasiti, odnosno poštovati sljedeći osnovni zahtjevi:

- Područje promjene ulaznog napona A/D konvertora se obično može izabrati u opsezima ( $0 \div 5$  [V];  $0 \div 10$  [V];  $\pm 5$  [V] ili  $\pm 10$  [V]);
- Povezivanje: nesimetrično, jednim krajem (engl. single-ended) ili diferencijalno, sa dva kraja (engl. differentially);
- Ulazna otpornost konvertora, standardno  $10 \text{ [G}\Omega\text{]}$ ;
- Rezolucija konvertora, tj. broj bita kojim se predstavlja digitalni ekvivalent analognog napona, može biti: 12,16,.. bita;
- Predpojačanje ulaznog signala prije konverzije može imati vrijednosti 1,10,100 puta ili 2,4,8 puta;
- Propusni opseg konvertora

U slučaju *povorke impulsa ili digitalno kodovanog signala* osnovna kola za unos su *brojači ili registri*.

Osnovne karakteristike brojačkih kola su:

- Frekvencija signala takta
- Vrijednost logičke "1" i logičke "0".

Sa stanovišta cijene, jednostavnosti realizacije i korištenja prednost imaju brojačka kola i registry u odnosu na A/D konvertore.

Pored navedenog, za vezu procesa, okruženja, i digitalnog računara takođe postoje i kola za generisanje signala na osnovu podataka sadržanih u digitalnom računaru. Ovako generisani signali se koriste za upravljanje aktuatorima u sistemima upravljanja i kao signali za komunikaciju sa naprednim davačima.

Osnovni elementi kola za generisanje signala su D/A konvertori, generatori takta i registri.

Osnovne karakteristike D/A konvertora su:

- Područje izlaznog napona:  $0 \div 5$  [V],  $0 \div 10$  [V],  $\pm 5$  [V] i  $\pm 10$  [V]);
- Maksimalna dozvoljena izlazna struja je  $\pm 5$  [mA] .
- Rezolucija konvertora može biti 12,16,.. bita.

## 4.2. PRIRODA I POVEZIVANJE INFORMACIONIH SIGNALA

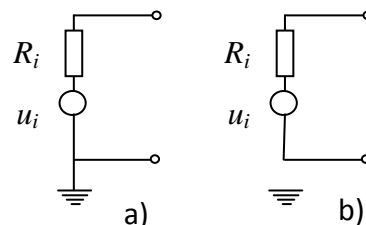
Kada se dođe do faze mjerenja električnog informacionog signala, na žalost, to nije samo stvar povezivanja signala sa hardverom za akviziciju. Prilikom selekcije načina povezivanja senzora sa konfiguracijom za mjerenje analognog signala koja će dati tačno mjerenje bez uticaja smetnje, pored vrste signala dobijenog od senzora potrebno je imati u vidu i njegovu prirodu.

Većina signala sa senzora su u formi naponskog signala. Kao što je pomenuto i u slučajevima kada se radi pouzdanijeg prenosa na većim rastojanjima signal transformiše u strujni, takav signal se po pravilu vraća u naponski prije njegovog mjerenja. Iz tog razloga je potrebno poznavati naponski izvor signala i različite načine mjerenja naponskog signala.

### 4.2.1 Uzemljeni i plivajući izvor naponskog signala

Postoje dvije vrste izvora naponskog signala: uzemljeni izvor signala i plivajući, neuzemljeni, izvor signala.

Uzemljeni izvor naponskog signala ima jednu liniju vezanu na uzemljenje sistema kao što je skicirano na Sl.4.4.a. Potencijal uzemljenja se teoretski tretira kao potencijal zemlje, nulti ili referentni nivo, mada uzemljenje sistema ne mora biti na potencijalu zemlje. Naponski izlaz ovakvog izvora signala je potencijalna razlika između provodnika vezanog na izlaz izvora signala, na slici gornji, i potencijala uzemljenja sistema. Standardan primjer uzemljenog izvora signala je instrument koji je uzemljen preko provodne veze sa uzemljenjem zgrade.



Sl.4.2 Ilustracija izvora naponskog signala

Klasičan problem petlje uzemljenja postoji iz razloga što površina zemljišta nije obavezno istog potencijala na različitim lokacijama. U slučajevima kada su vodovi uzemljenja uzemljeni na različitim lokacijama, potencijalna razlika između njih, koja može da varira od [mV] do nekoliko [V], može dati značajne struje, koje se obično nazivaju struje petlje uzemljenja, i koje protiču kroz vodove. Dodatno, ova potencijalna razlika

nije obavezno *DC* (engl. *Direct Current*) karaktera. Pored toga što unose *DC* grešku *ofseta* (engl. *Offset*, pomak), struje petlje uzemljenja sadrže *AC* (engl. *Alternating Current*) komponente, kao što je naprimjer *AC* napajanje energetske mreže frekvencije 50 [Hz], što je stalni izvor smetnje. Ovo je posebno značajno kada je više tačaka uzemljenja jednog sistema, raspoređenih na većim rastojanjima, povezano na *AC* uzemljenja energetske mreže.

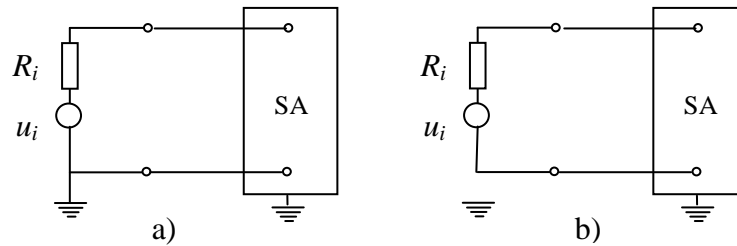
Kada se vodovi za prenos informacionog signala povezuju na uzemljenja, tada struje uzemljenja protiču tako da daju različite nepovoljne efekte. Nadalje, struje petlje uzemljenja mogu posredstvom magnetnog polja indukovati neželjene napone smetnji u vodovima za prenos informacionih signala.

Plivajući ili neuzemljeni izvor signala, kao što je skicirano na Sl.4.4.b, nema nijedan provodnik od izvora signala povezan sa uzemljenjem sistema. To znači da izvor signala nije referenciran u odnosu na bilo koju apsolutnu referencu. Potencijalna razlika, koju može imati svaki od provodnih linija sa izvora signala, u odnosu na uzemljenje sistema nije poznata. Primjeri plivajućih izvora signala su transformatori, baterije i izolacioni pojačavači.

#### 4.2.2 Povezivanje informacionog signala

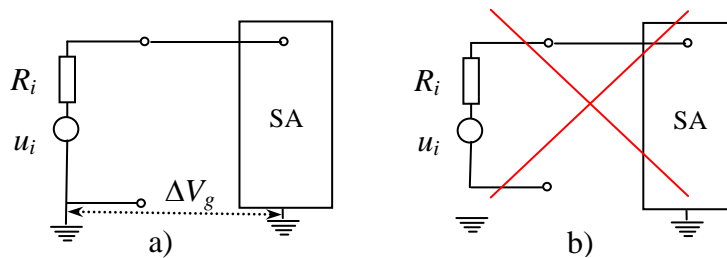
U praksi se vrlo često koristi tzv. diferencijalni način mjerenja. U tom slučaju se mjeri razlika potencijala dva provodnika sa senzora i rezultat se ne vezuje ni za kakvu posebnu referencu. Načini diferencijalnog povezivanja uzemljenog i plivajućeg izvora naponskog signala na dio za mjerenje i akviziciju su skicirani na Sl.4.3.a i Sl.4.3.b, respektivno.





Sl.4.3 Ilustracija diferencijalnog povezivanja senzora na sistem za akviziciju (SA)

Drugi način mjerenje napona se realizuje tako što se mjeri potencijalna razlika potencijala izlaza senzora i uzemljenja. Ovakav način mjerenja je poznat pod nazivom mjerenje jednim-provodnikom jere je za mjerenje potrebna samo jedna provodna linija pošto se kao referenca usvaja potencijal zemlje. Ovakva varijanta mjerenja se može koristiti samo za senzore sa uzemljenim izorom signala što je ilustrovano na Sl.4.4. U tom slučaju se na informacioni signal dodaje razlika potencijala uzemljenja, u oznaci  $\Delta V_g$ .



Sl.4.4 Ilustracija nesimetričnog povezivanja senzora na sistem za akviziciju

U slučaju kada se koristi diferencijalni način povezivanja i mjerenja potrebno je dvostruko više vodova i priključnih mjesta u odnosu na povezivanje jednim provodnikom. Zbog toga diferencijalno povezivanje predstavlja skuplju varijantu. Nasuprot tome, mjerenja realizovana povezivanjem jednim provodnikom su manje tačna jer se na informacioni signal direktno dodaje razlika potencijala uzemljenja.

### 4.3. TRANSFORMACIJE SIGNALA KOJE SPADAJU U UOBLIČAVANJE

Postupak uobličavanja signala obuhvata više koraka u njegovoj transformaciji. Broj i oblik transformacija zavisi od konkretne primjene. U narednom tekstu su navedene standardne transformacije sa njihovim osnovnim svojstvima, koje se mogu koristiti kao polazište u realizaciji akvizicije podataka za konkretne primjene.

#### 4.4.1 Pojačanje

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

- “Povećavaju” osjetljivost senzora,
- Poboljšavaju odnos korisni signal-smetnja.

Pojačanje se prije svega može razumjeti kao jedan oblik povećanja osjetljivosti senzora.

Ako uvedemo notaciju:

$UO_s$  – ulazni opseg senzora, odnosno mjerene veličine,

$IO_s$  – izlazni opseg senzora,

tada je osjetljivost senzora:

$$a = \frac{IO_s}{UO_s}. \quad (4.1)$$

Poznato je da je jedan od fundamentalnih zahtjeva na statičko 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  $aK_p$ .

#### Primjer 4.1.

Razmotrimo signal sa termopara koji je reda [mV] i sa promjenama reda dijela [mV]. Naprimjer za idealizovani  $J$  tip termopara promjeni

temperature od 0 [°C] do 800 [°C] odgovara promjena napona od 50 [mV]. Ovaj termopar spada u najosjetljivije [3], ali je osjetljivost u apsolutnom iznosu vrlo malena i iznosi 0.0625 [mV/°C].

Ako pretpostavimo da je senzor statički idealno tačan i da se njegov izlazni signal očitava sa greškom reda 0.1 [mV], tada nije moguće postići garantovanu tačnost registracije temperature ispod 1[°C].

Sa druge strane ako izvršimo pojačanje signala sa senzora 200 puta, tada će osjetljivost senzora sa dodatnim pojačanjem iznositi 14.4 [mV/°C]. Ukoliko se pojačani senzorski sistem očitava sa istom greškom kao u prethodnom slučaju, tada se može postići tačnost registracije temperature reda 0.01 [°C].

Druga važna funkcija pojačanja signala je poboljšanje odnosa koristan signal – smetnja. Kada je senzor postavljen na velikoj udaljenosti od ostalog dijela SA, a pogotovo ako se takav mjerni signal prenosi kroz sredinu sa izraženim električnim šumovima, tada smetnja može značajno uticati na naponski signal niskog nivoa. Ako se ovakav signal pojača nakon što je na njega u procesu prenosa uticala smetnja, tada će sve komponente smetnje sadržane u signalu takođe biti pojačane. Ako je smetnja reda veličine kao i korisni signal, tada mjerni podaci mogu biti potpuno uništeni ili vrlo netačni.

Pojačanjem mjernog signala niskog nivoa prije njegovog prenosa kroz sredinu sa električnim smetnjama povećaće se odnos koristan signal – smetnja. U tom slučaju će ista smetnja imati manji uticaj na mjerni signal, srazmjerno pojačanju.

#### **Primjer 4.4.**

U cilju ilustracije razmotrimo ponovo *J* termopar iz Primjera 1. Ako se signal prenosi na rastojanju 10 [m] kroz sredinu sa izraženom električnom smetnjom, tada se u provodnoj liniji može indukovati smetnjareda 0.2 [mV]. Ova dodatna komponenta, superponirana na korisni signal, će doprinosti grešci registracije temperature u iznosu  $0.2/0.0625 = 3.226$  [°C].

Ako se signal iz *J* termopara pojača 200 puta tada će promjeni temperature za 1 [°C] odgovarati promjena napona od 14.4 [mV]. U ovom slučaju električna smetnja od 0.2 [mV], indukovana u provodnoj liniji, daje grešku  $0.2 / 14.4 = 0.016$  [°C].

#### 4.4.2 Galvanska izolacija

Izolacija signala takođe spada u uobličavanje signala čiji je zadatak da ne postoji galvanska veza između senzora i ostatka sistema za akviziciju. Ako se na ulaz sistema za akviziciju dovede veći napon od maksimalno dozvoljenog po specifikaciji proizvođača, može doći do trajnog oštećenja komponenata SA.

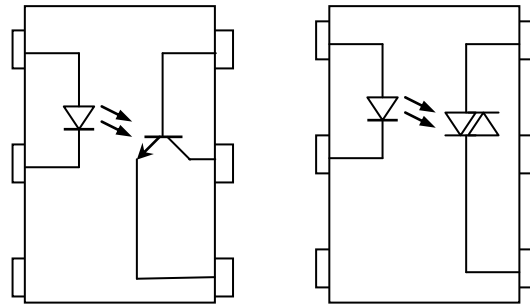
Izolacija ispunjava više važnih funkcija. Prva vrlo bitna uloga je da izolacija obezbjeđuje važan zadatak sigurnosti, na taj način što štiti skupu opremu za akviziciju podataka, pa i operatera koji rukuje opremom, od prenosa visokog napona koji se može pojaviti u slučaju otkaza. Izolacija signala po pravilu daje pouzdanu zaštitu za napone iznad 1500 [V]. U medicinskim primjenama izolacijom se sprečava mogućnost da potencijalno opasni naponi ili struje dospiju direktno na senzore koji su postavljeni na ili implantirani u tijelo čovjeka.

Sljedeća važna funkcija galvanske izolacije jeste da se osigura da kola uzemljenja ili zajednički potencijali ne utiču na mjerne signale. Razlika potencijala između osnovnog uzemljenja i referentog nivoa uzemljenja senzora, može da izazove netačnost u mjernom signalu ili čak, za veće razlike, da ošteti dio SA opreme. Galvanskom izolacijom signala u modulu za uobličavanje signala eliminiše se petlja uzemljenja i osigurava tačno mjerenje signala.

Najčešće korišćene metode izolacije kola se zasnivaju na optičkoj izolaciji, tj. primjeni opto-parova, te magnetskoj ili kapacitivnoj izolaciji. Optička izolacija se najviše koristi za digitalne signale. Magnetska i kapacitivna izolacija se koriste za analogne signale. Tada se najčešće istosmjerni signal modulše tako da se transformiše u odgovarajući naizmjenični signal. Ovakvi signali se prenose posredstvom transformatora ili kondenzatora čime se prekida direktna galvanska veza, prije konverzije u digitalnom sistemu za akviziciju.

Optički par može da obezbijedi izolaciju, tipično od 500 [V] do nekoliko [kV], na frekvencijama iznad nekoliko stotina [kHz]. Ovi elementi se u principu sastoje od infracrvene *LED* (emgl. *Light Emitting Diode*) optički uparene sa fototranzistorom ili fototrijakom unutar standardnog *DIP* (engl. *Dual In-line Package*) kućišta, Sl.4.5. Ulaz i izlaz kola su galvanski izolovani. Digitalni signal se prenosi sa ulaza, *LED*, na izlaz, fototranzistor,

posredstvom infracrvenog zraka svjetlosti. Kada raste ulazni napon, fotodioda emituje svjetlost koja otvara tranzistor i on počinje da provodi. Na taj način izlaz direktno zavisi od ulaza, a da je pri tom istovremeno potpuno galvanski izolovan. Da bi se povećala oštrina ivica signala po pravilu se



Sl.4.5 Optički prenos informacije kroz optički par

izlaz iz ovakvog optičkog para vodi na ulaz Šmitovog trigeru (engl. Schmitt trigger).

Tipično vrijeme prebacivanja opto-parova je  $3[\mu\text{s}]$  do  $100[\mu\text{s}]$ . Zbog ovog vremena odziva i svojstva galvanske izolacije opto-parovi su vrlo pogodni za korišćenje u industrijskim uslovima sa vrlo visokim šumovima. Za eliminaciju veoma velikih špiceva smetnje opto-parovi se koriste zajedno sa dodatnim filtrima i kolima za odsjecanje.

U kolima sa naizmjeničnim signalima se umjesto foto-tranzistora kao prijemnici svjetlosnog signala koriste foto-triaci. Osvjetljavanjem foto-triaka povećava se njegova provodnost u oba smijera, pa se propušta naizmjenični signal.

Releji su elektromehanički elementi koji omogućavaju otvaranje i zatvaranje električnih kontakata pomoću električnih signala male snage. Pokretanje kontakata se realizuje posredstvom magnetskog polja, čime se ostvaruje galvanska izolacija ulaza i izlaza. Iz tog razloga su relei najčešće korišteni elementi za izolaciju računara i drugih osjetljivih elemenata SA od uređaja velike snage, npr. električnih motora. Koriste se na ulaznim i izlaznim linijama sistema. Mnogi proizvođači nude module za povezivanje sa PC-jem. Oni se realizuju sa relejima smještenim u redove od, tipično, 8 ili 16 releja, tako da svaki relej odgovara po jednom bitu U/I portova PC-ja. Releji mogu biti sa normalno otvorenim (engl. *Normally Open –NO*) ili normalno zatvorenim (engl. *Normally Closed –NC*) kontaktima. Kontakti

*NO* relea ostaju otvoreni dok se namotaji relea ne pobude. Vrlo je bitno da se zna za svaku konkretnu primjenu zavisnost između stanja U/I bita *PC*-ja i stanja kontakata releja koji se koriste. Ovo je bitno sa stanovišta sigurnosti, jer omogućava da se kontakti releja postave u neaktivno, i sigurno, stanje, kada je isključeno napajanje, ili u slučaju otkaza.

Zbog mase kontakata i drugih mehaničkih komponenata, releji relativno sporo vrše operacije prespajanja. Rid relei za struje reda 1 [A], 24 [V] (*DC*) standardno se prebacuju za približno 0.25 [ms] do 1[ms]. Veliki relei za pokretanje *DC* i *AC* uređaja velike snage trebaju 10 [ms] do 20 [ms] za uključivanje.

### 4.3.3 Filtriranje

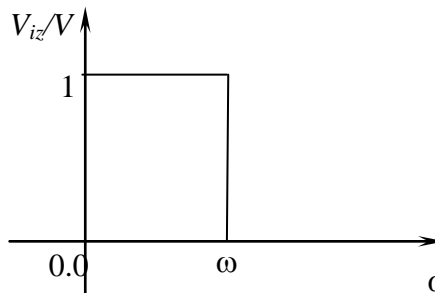
Filtriranjem se uklanjaju smetnje iz mjernog informacionog signala prije nego što se takav signal pojača i unese u naredni dio *SA*. Postoji više načina da se ovaj opšti zadatak realizuje u različitim specifičnim primjenama.

Ako je periodičan signal smetnje prisutan u mjernom signalu tada se njen efekat može umanjiti, nekada potpuno eliminisati, ako se vrši usrednjavanje mjernog signala pomoću inteligentnog modula za uobličavanje signala. Ova tehnika se obično zasniva na uzimanju više odmjeraka mjernog signala nego što je neophodno za prikupljanje željenog signala. Tako dobijeni odmjeraci signala se usrednjavaju radi dobijanja jednog mjernog podatka. Ako se veći broj odmejeraka zamijeni jednim odmjerkom tako što se usrednji na intervalu koji pokriva period ponavljanja smetnje sa nultom srednjom vrijednošću, tada će efekat smetnje biti sveden na nulu.

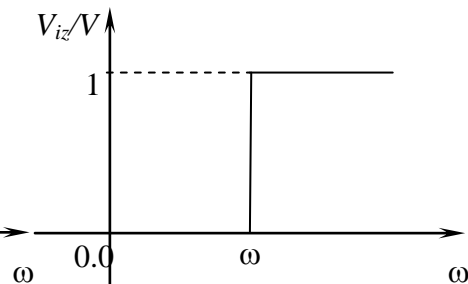
Kada se ne koriste drugi oblici filtriranja, analogno hardversko filtriranje predstavlja najjeftiniju varijantu. Generalno se svi analogni filtri mogu svrstati u dvije grupe: pasivni i aktivni. Pasivni filtri su izrađeni samo od pasivnih električnih komponenata, otpornici, kondenzatori itd. Aktivni filtri pored pasivnih sadrže i aktivne komponente, npr. operacione pojačavače.

U idealnom slučaju filtri treba da eliminišu sve komponente na frekvencijama van projektovanog frekvencijskog opsega. Takvi filtri imaju veoma oštar prelaz između frekvencija koje propuštaju i onih koje ne

propuštaju. Primjeri idealnih prenosnih karakteristika NF filtra i VF filtra su prikazani na Sl.4.6 i Sl.4.7, respektivno. Karakteristika sa Sl.4.6 odgovara NF filtru jer će sve komponente signala sa frekvencijama manjim od  $\omega_0$  biti prenesene bez izobličenja, a sve komponente iznad te frekvencije će biti



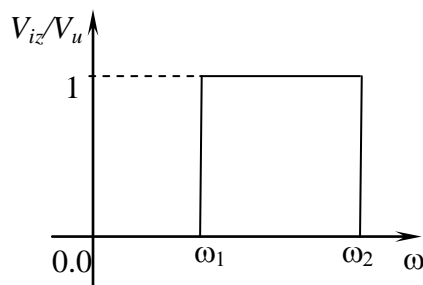
Sl.4.6 Amplitudska karakteristika idealnog NF filtra



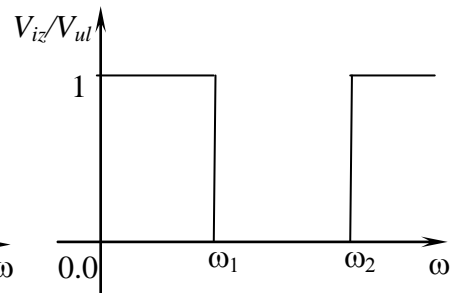
Sl.4.7 Amplitudska karakteristika idealnog VF filtra

eliminirane. Slično, filter sa karakteristikom sa Sl.4.7 je VF tipa jer propušte samo komponente visokih frekvencija, preciznije većih od  $\omega_0$ .

Na Sl.4.8 je prikazana prenosna karakteristika filtra koji se obično naziva filter propusnik opsega jer propušta komponente signala sa frekvencijama između  $\omega_1$  i  $\omega_2$ . Slično, prenosna karakteristika sa Sl.4.9 odgovara filtru nepropusniku opsega jer ne propušta komponente frekvencija od  $\omega_1$  do  $\omega_2$ .



Sl.4.8 Amplitudska karakteristika idealnog propusnika opsega



Sl.4.9 Amplitudska karakteristika idealnog nepropusnika opsega

Gotovo svi filteri su neidealni i u potpunosti ne eliminišu sve frekvencije van projektovanog opsega, niti je prenosni odnos u čitavom propusnom opsegu konstantan i jednak 1. Takođe, neidealni filteri unose neki fazni pomak signala koji se filtrira, što je nepoželjno. Postoje mnoge

praktične realizacije filtara koje se međusobno, prije svega, razlikuju po tome koliko su dobra aproksimacija idealnih ekvivalenata.

Ukoliko su poznata frekvencijska svojstva mjernog signala, odgovarajućim filtriranjem se može poboljšati odnos koristan signal – smetnja.

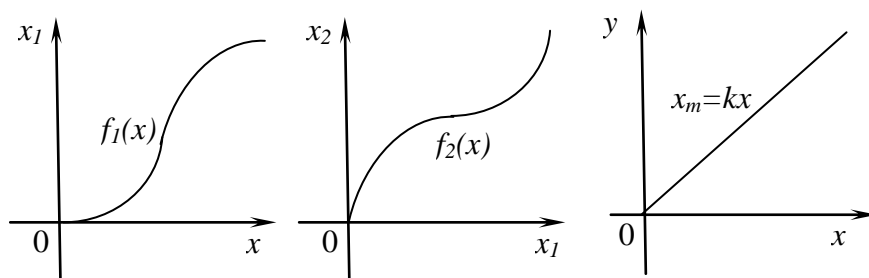
U tekstu su prezentovani samo analogni filtri. Za filtriranje signala se sve više koriste digitalni filtri.

#### 4.4.4 Linearizacija

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 opšteg 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.

Onovni postupak linearizacije statičke karakteristike pomoću



Sl.4.10 Ilustracija linearizacije jedne statičke karakteristike

analognih kola se može ilustrovati na sljedeći način. 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 nelinearna. 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  $f_2(x_p) = f_1^{-1}(x_p)$ . Za jedan oblik statičke karakteristike senzora ovo je vizuelno, ilustrovano na Sl.4.10.



Za realizaciju kola za inverziju se u inženjerskoj praksi obično koristi sljedeći postupak. Snimi se statička karakteristika senzora. Na osnovu odstupanja stvarne statičke karakteristike od pravca usvajaju se karakteristične tačke za koje treba da veza bude linearna. Pri tom se usvajaju funkcije oblika  $1/x$ ,  $x^m$ ,  $\log x$ , ili polinomi, npr  $Ax+Bx^4$ . Za usvojeni oblik i izračunate parametre funkcije realizuju se odgovarajuća analogna kola, kojima se realizuju takve zavisnosti.

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 mjernih parova koliko je kvantnih nivoa za čitavo mjerno područje senzora. Za ovaj postupak potrebna je memorija sa relativno velikim kapacitetom. Tabela se koristi tako što se za svaku vrijednost izlaza senzora/transdjusera iz tabele pročitaj njoj pridružena vrijednost mjerene veličine. Druga varijanta je korišćenje takozvane nepotpune tabele.

Tada se tabela formira od manjeg broja mjernih 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:

$$x = x_i + \frac{x_{i+1} - x_i}{y_{i+1} - y_i} (y - y_i). \quad (4.2)$$

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.

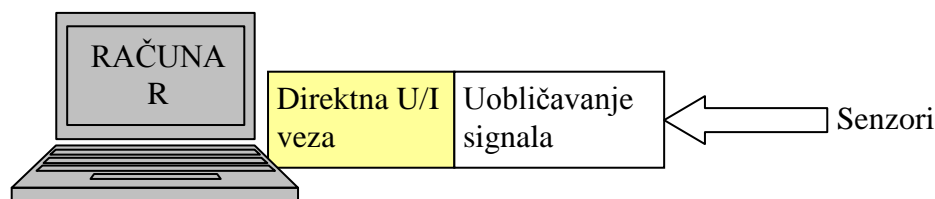
Generalno, osobine obe varijante linearizacije, pomoću memorisanja tabela, su jednosavna realizacija i velika brzina odziva. Ograničenja ovog postupka su što nelinearnost senzora mora biti dobro poznata i nepromjenjiva, te je potreban veći kapacitet memorije. U primjenama u kojim su navedena ograničenja neprihvatljiva koristi se postupak računarske aproksimacije inverzne funkcije nelinearne statičke karakteristike senzora. Procesor na osnovu matematičke aproksimacije inverzne funkcije i ulaznog signala senzora izračunava korektnu linearizovanu vrijednost mjerene veličine.

## 4.4. MODULI ZA UOBLIČAVANJE SIGNALA

Za uobličavanje signala postoje različiti elementi/uređaji realizovani u raznim oblicima, koji pokrivaju različite raspone cijena, karakteristika, modularnosti i jednostavnosti korišćenja. Tip hardvera za uobličavanje signala treba da bude prilagođen specifičnoj primjeni. Osnovni oblici ovih elemenata/sistema će kratko biti obrazloženi u narednom tekstu.

### 4.4.1. Uobličavanje signala u modulu za direktno povezivanje

Specijalni moduli za direktno povezivanje senzora sa računarom obično sadrže neke hardverske komponente za uobličavanje mjernih signala. Uobličavanje se realizuje u okviru modula za direktno povezivanje, koji je smješten u, ili vrlo blizu, matičnom računararu za akviziciju. Ovo je simbolički predstavljeno na Sl.4.11. Često su ovakvi moduli specijalizovani za neke tipove senzora, npr. moduli za povezivanje termoparova, modul za

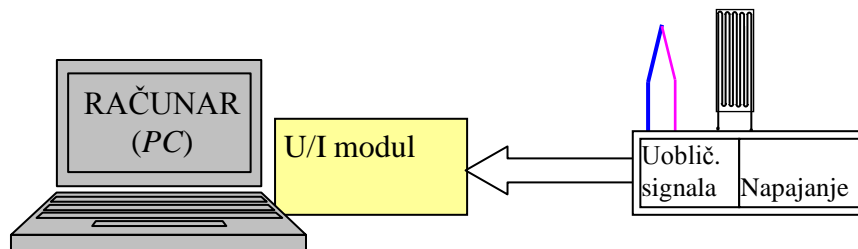


Sl.4.11 Modul za uobličavanje blizu matičnog računara

povezivanje otporničkih senzora, itd. Ovi moduli se tipično koriste za male specijalizovane sisteme za akviziciju podataka, sa manjeg broja senzora koji su blizu matičnog računara.

#### 4.4.4. Uobličavanje signala u dvožičnom transmiteru za direktno povezivanje

Postoje moduli čija je osnovna namjena uobličavanje signala, tako da se na njihov ulaz dovodi neuobličen signal, a na izlazu daju uobličen signal. Po pravilu se koristi po jedan ovakav modul za svaki tip senzora, ili aktuatora, ili se integrišu funkcije za nekoliko vrsta unaprijed definisanih tipova senzora. Ovakvi moduli nemaju nikakvih softverskih mogućnosti niti mogućnost A/D konverzije. Iz tog razloga se uobličen analogni signal prenosi putem dvožičnog voda do modula za akviziciju koji se nalazi u matičnom računaru. Ovaj signal može biti naponski, ili konvertovan u standardan strujni signal, zbog čega se obično i naziva dvožični transmiter. Simbolički je ovakvo kolo, u slučaju da može uobličavati signal sa termoparova i termootporničkog senzora, predstavljeno na Sl.4.14.



Sl.4.12 Modul za uobličavanje, sa analognim izlazom, realizovan u okviru senzora

Naponski izlazi koji su standardnog nivoa,  $\pm 10$  [V] ili  $0 \div 10$  [V], omogućavaju jednostavno povezivanje sa skoro svim savremenim U/I modulima. Međutim, zbog pada napona na prenosnim linijama koji postoji i može da varira, kao i efekta šumova koji su proporcionalni dužini prenosnih linija, naponski izlazi se trebaju koristiti samo za prenos na manjim rastojanjima.

Strujni signali su mnogo otporniji na smetnju i mogu se prenositi na rastojanjima od nekoliko stotina metara, do 1km. Iz tog razloga ovakvi moduli pored navedenih standardnih funkcija uobličavanja signala vrlo često sadrže i kola za konverziju signala iz naponskog u strujni. U matičnom računaru standardno postoji prijemnik koji konvertuje strujni signal nazad u naponski. Prijemnik je u osnovi otpornik, nominalne otpornosti 500 [ $\Omega$ ] za punu naponsku skalu 10[V], jer vrijedi  $500 [\Omega] \cdot 20 [\text{mA}] = 10 [\text{V}]$ . Poseban par provodnih linija se koristi za strujno kolo svakog senzora, što daje velik ukupni broj provodnih linija do matičnog računara.

Za lakše povezivanje sa matičnim računarom na transponder se postavlja jedan konektor. Kablovi su višestruko izolovani i sa upletenim parovima provodnika.

Za regularan rad transpondera potreban je izvor napajanja, između 15 [V]÷40 [V], dovoljno snažan za napajanje svih strujnih kola i ostalih elemenata modula. Iz tog razloga ovakav transponder sadrži posebno kolo za napajanje.

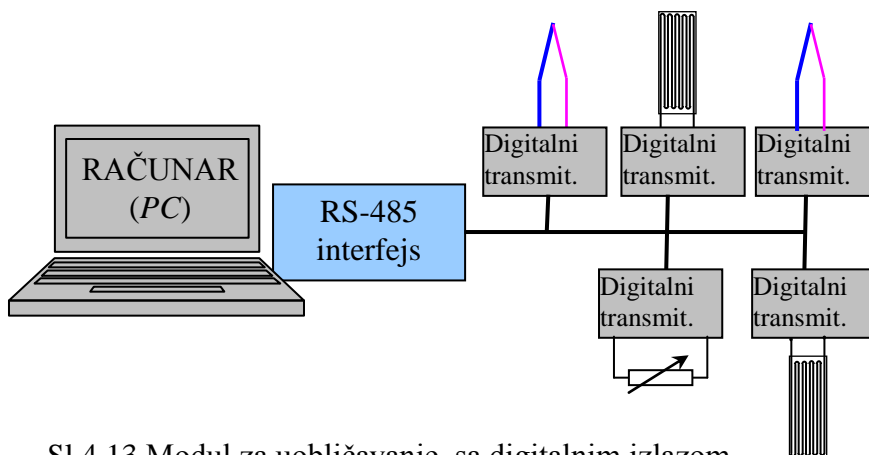
#### **4.4.3 Uobličavanje signala u distribuiranim U/I i distribuiranim regulatorima**

Često su senzori udaljeni od matičnog računara u kome će se vršiti A/D konverzija i obrada analognog signala. Ovo je posebno karakteristično za industrijske uslove gdje su senzori raspoređeni u širokom prostoru sa različitim nepovoljnim djelovanjima. U tako nepovoljnoj sredini, veoma je teško vrlo male signale sa senzora, reda [mV], prenijeti na veća rastojanja bez gubitka dijela informacije sadržane u njima.

Alternativa direktnom povlačenju dugih, i obično skupih, veza sa svakog senzora ili dvožičnog transpondera, je korišćenje distribuiranih U/I, a još više distribuiranih regulatora. Distribuirani U/I moduli su u osnovi moduli za uobličavanje signala, koji su smješteni daleko od matičnog računara, a blizu senzora na koje su povezani. Svaki modul se povezuje sa po jednim ili više susjednih senzora uz visoku modularnost ukupne strukture sistema za akviziciju. Ovakvo rješenje u slučaju velikog broja povezanih tačaka je skuplje od prethodnih ali se postiže veći kvalitet na mjestu prijema i obrade informacionog signala.

Najčešće korišćen oblik distribuiranog U/I je digitalni transponder. Ovi digitalni moduli realizuju sve funkcije jednostavnih modula za uobličavanje signala, dvožični transponderi, ali takođe sadrže mikrokontroler i A/D konvertor za obavljanje digitalne konverzije unutar samog modula. Konvertovani podaci se prenose do matičnog računara pomoću RS-232 ili RS-485 komunikacionog interfejsa.

Korišćenje RS-485 interfejsa, kao što je predstavljeno na Sl.4.13 višestruko smanjuje potreban broj kablova jer svi moduli za uobličavanje signala dijele iste vodove za prenos.



SI.4.13 Modul za uobličavanje, sa digitalnim izlazom, realizovan u okviru senzora

U slučaju korišćenja distribuiranih regulatora samo se podaci o nekim mjerenim veličinama šalju prema matičnom računaru. Uobličavanje ovih signala se realizuje u lokalnom mikroprocesoru. U istom mikroprocesoru se realizuju potrebne transformacije uobličavanja i drugih mjernih signala. Signali koji se obrađuju lokalno i oni koji se šalju prema matičnom računaru, po pravili, se uobličavaju različitim transformacijama.