

Predmet: ELEKTRONIKA U MEHATRONICI  
Predmetni nastavnik: Dr Nándor Burány

1. Semestar specijalističkih studija iz  
Mehatronike

4. GLAVA  
**SENZORSKA ELEKTRONIKA**

## Teme

- Klasifikacije senzora
- Načini napajanja
- Vrste izlaza
- Prijem i obrada signala od senzora

## Klasifikacije senzora

Senzore razlikujemo (klasifikujemo) po:

- principu rada,
- parametru koji se meri/detektuje,
- tipu izlaza.

### Klasifikacija senzora po principu rada (koja fizička veličina se menja)

- napon
- struja,
- električni kontakt,
- otpornost,
- kapacitivnost,
- induktivnost
- ultrazvuk
- piezoelektricitet
- svetlost
- itd.

### Klasifikacija senzora po parametru/veličini koja se meri/detektuje

- temperatura
- sila, obrtni moment, pritisak
- dužina, pomeraj (linearni, rotacioni)
- brzina, ubrzanje
- protok
- jačina svetlosti
- magnetno polje
- itd.

Podela senzora po vrsti izlaznog signala:

- analogni (naponski, strujni)
- digitalni (PWM, FM, I<sup>2</sup>C, SPI...)

Podela senzora po tome da li šalju neke signale u okolinu ili samo primaju:

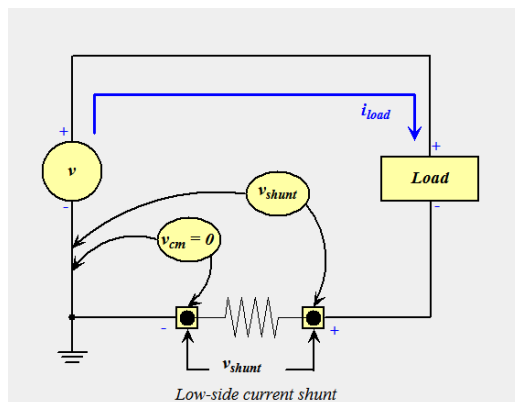
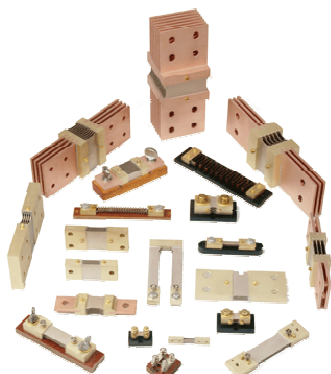
- pasivni
- aktivni

Senzori koji formiraju napon ili struju

- šant (shunt),
- termopar,
- Peltier-ov element
- PN spoj i druga poluprovodnička (integrisana) rešenja

## Šant (shunt)

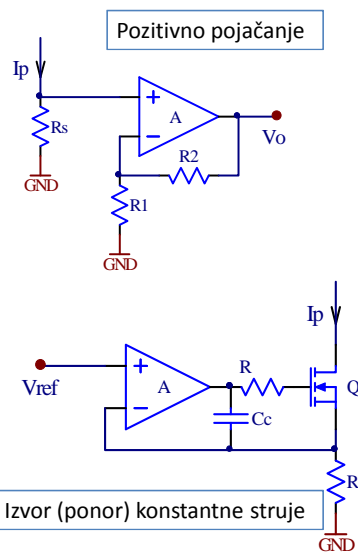
- Struja se propušta kroz otpornik male otpornosti.
- Koristi se napon  $U=RI$ .



## Prijem i obrada signala šanta

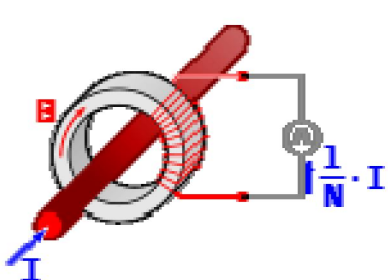
### Zadaci:

- pojačanje (invertujuće, neinvertujuće, kompenzacija ofseta...)
- filtracija (uglavnom NF)
- vezivanje u pojačavač greške (referentni signal istog smera kao mereni signal ili suprotnog smera)



## Strujni transformator

- Transformator sa što tačnijim strujnim prenosnim odnosom ( $I_2/I_1 = \text{const.}$ ).
- Prenosi AC struju ili eventualno impulse. Za DC struju ima drugih rešenja.



11

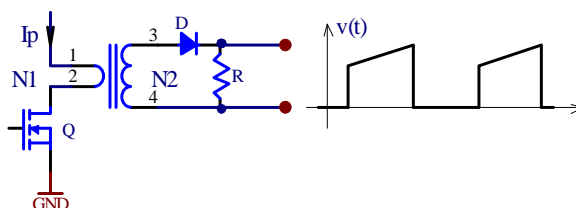
## Prijem i obrada signala strujnog transformatora – čista naizmjenična struja

Mogući zadaci:

- pretvaranje struje u napon – samo treba vezati otpornik kao opterećenje na sekundarni namotaj – napon sekundara treba da je što veći ali ne sme da bude preveliki jer to dovodi do zasićenja jezgra transformatora ( $\int v dt = N \Delta \Phi$ )
- pojačanje – sa operacionim pojačavačem
- filtracija – pasivni RC ili aktivni filter
- ispravljanje – diodni ili precizni ispravljač
- vezivanje na pojačavač greške – invertujuća ili neinvertujuća veza

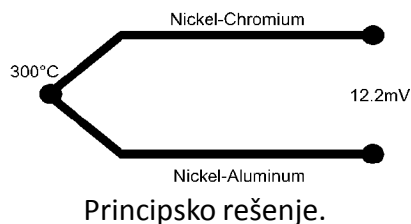
## Prijem i obrada signala strujnog transformatora – impulsna DC struja

- Struja tranzistora se prenosi u odnosu  $N_1/N_2$ .
- Dioda se otvara i dovodi struju sekundara na otpornik.
- Izlazni napon je  $I_p \cdot N_1/N_2 \cdot R$
- Treba voditi brigu da se jezgro transformatora resetuje u pauzi između dva impulsa i da ne dođe u zasićenje za vreme jednog impulsa (ograničen  $\int v dt = N \Delta \Phi$ )



## Termopar

- Zavari se po jedan kraj dve žice od različitih materijala. Napon meren između slobodnih krajeva (hladan kraj) je srazmeran razlici temperature između slobodnih krajeva i zavarenih krajeva:  $\Delta U = k \cdot \Delta T$ .
- Hladan kraj ili treba držati na  $0^\circ\text{C}$  ili treba drugom metodom meriti temperaturu hladnog kraja i dodati na dobijenu razliku da bi dobili temperaturu zavarenih krajeva (toplog kraja).
- Signali su reda svega  $mV$  ali su vrlo stabilni i zavise samo od materijala žica.
- Ima raznih tipova: J, K, E, M, N... u zavisnosti od materijala žica.



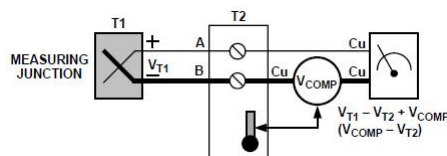
## Prijem i obrada signala termopara

Zadaci:

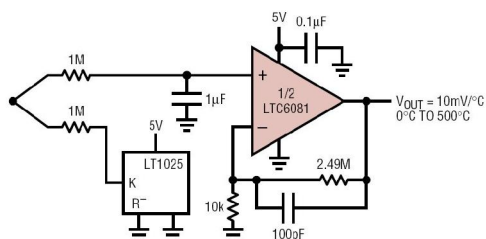
- pojačanje (x100, x1000)
- kompenzacija temperature hladnog kraja (ofset)

Moguće rešenje:

<http://circuits.linear.com/26>



[http://www.analog.com/static/imported-files/application\\_notes/AN-369.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-369.pdf)



SENSOR: OMEGA 5TC-TT-K-30-36 K-TYPE THERMOCOUPLE  
 1M RESISTORS PROTECT CIRCUIT TO  $\pm 350V$  WITH NO PHASE REVERSAL OF AMPLIFIER OUTPUT  
 1pA MAX  $I_{BIAS}$  TRANSLATES TO 0.05°C ERROR  
 20 $\mu V$   $V_{OS}$   $\rightarrow$  0.5°C OFFSET

60812 TA05

## Peltier-ov element

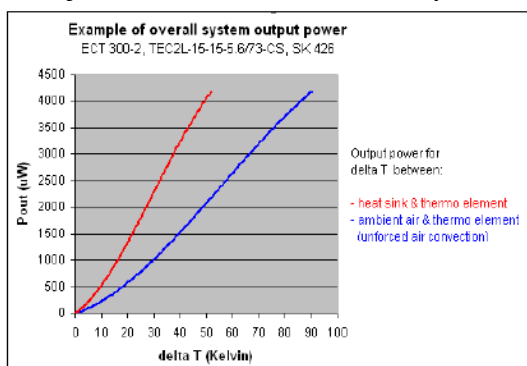
- Kad se napoji jednosmernom strujom, radi ako toplotna pumpa: prenosi toplotu sa hladne strane na toplu stranu.
- Pojava je reverzibilna: pri razlici u temperaturama formira se izlazni napon/struja.
- Stepen iskorišćenja je nizak, ali može da se koristi kao senzor temperature.





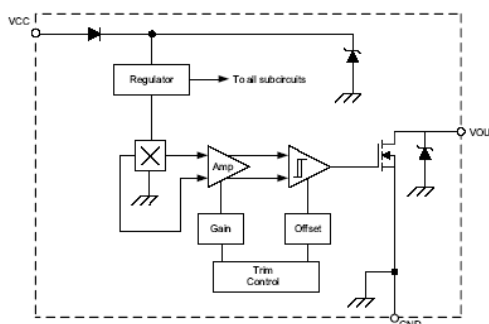
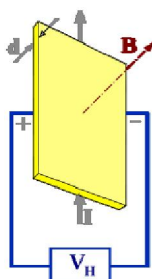
## Prijem i obrada signala Peltier-ovog elementa

- Bez napajanja Peltier-ov element generiše napon srazmeran razlici temperature između dve strane.
- Po potrebi dodaje se kompenzacija temperatura hladnog kraja da bi se dobila ukupna temperatura.



## Hall-ova sonda

- Ako se poluprovodnički kristal stavi u magnetno polje a ujedno se kroz njega propusti struja, pojaviće se napon ( $V_H$ ) između ivica kristala, okomito na smer prolaska struje.
- Može da se formira analogni izlaz (srazmeran sa magnetnom indukcijom) ili kontakt (prekidač menja stanje kod određene jačine magnetne indukcije).



## Napajanje i obrada signala od Hall-ove sonde

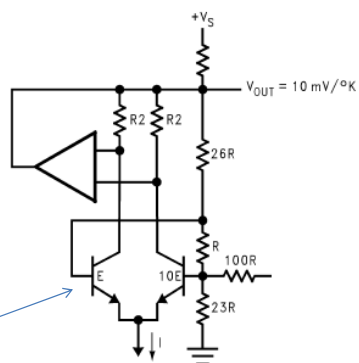
- Potreban stabilizovani napon za napajanje, obično 5V ili 3,3V.
- Ima ratiometrijskih izvedbi (promenom napona napajanja srazmerno se menja i izlazni napon – može biti zgodno pri podešavanju koraka A/D konvertora)
- Obično se **ne** dobije nulti izlazni napon kod nulte magnetne indukcije – potreban je pojačavač sa ofsetom.

<http://www.allegromicro.com/Products/Magnetic-Linear-And-Angular-Position-Sensor-ICs/Linear-Position-Sensor-ICs/A1301-2.aspx>

## Poluprovodnički senzori temperature

Principi rada:

- Promena napona na PN spoju pri konstantnoj struji je približno srazmeran promeni temperature. Osetljivost je -2mV/K. Na žalost, prisutne su velike varijacije u proizvodnji.
- Razlika napona dva PN spoja sa različitim gustinama struje je srazmerna temperaturi.

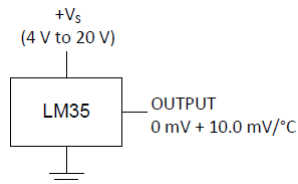


$$\Delta V_{BE} = V_{BE1} - V_{BE2} = \frac{kT}{q} \ln \frac{J_{E1}}{J_{E2}}$$

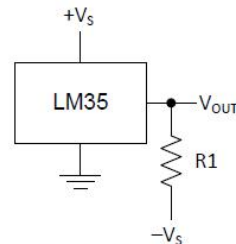
<http://www.ti.com/lit/an/snoa748c/snoa748c.pdf>

## Napajanje i prijem signala od poluprovodničkih senzora - analogni

- LM34/LM35



Šema za merenje pozitivnih temperatura.



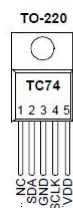
Choose  $R_1 = -V_S / 50 \mu A$   
 $V_{OUT} = 1500 \text{ mV at } 150^\circ C$   
 $V_{OUT} = 250 \text{ mV at } 25^\circ C$   
 $V_{OUT} = -550 \text{ mV at } -55^\circ C$

Šema pogodna i za pozitivne i za negativne temperature.

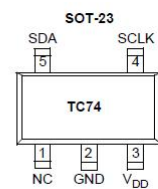
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>

## Napajanje i prijem signala od poluprovodničkih senzora – digitalni izlaz

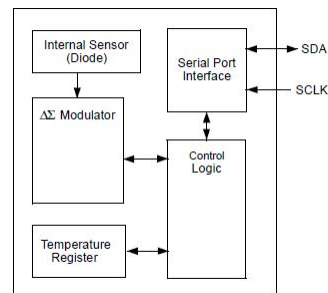
- TC74 senzor temperature sa digitalnim izrazom (komunikacija po I<sup>2</sup>C protokolu)



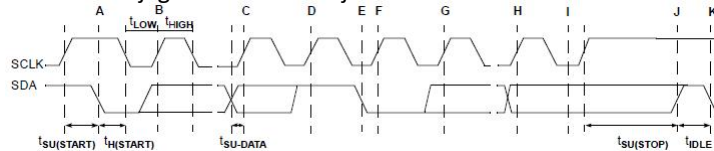
Kućičta.



Blok dijagram.



Vremenski dijagram komunikacije.



<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21462c.pdf>

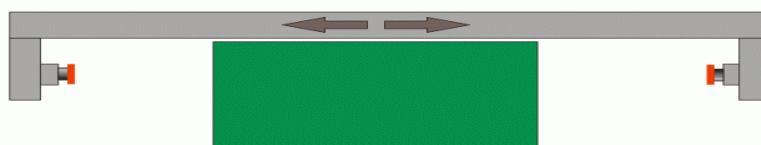
## Senzori koji modifikuju kontakte

- granični prekidači
- reed kontakti
- bimetali
- mehanički i optički enkoderi

23

## Granični prekidači

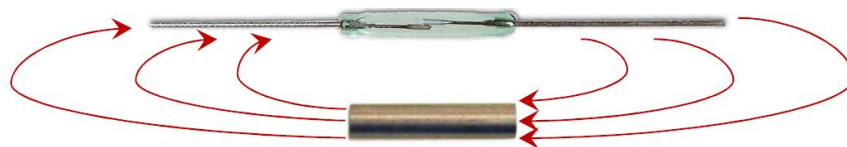
- Detektuju poziciju delova mašina.
- Digitalni izlaz
- Koristi se za upravljanje i zaštitu
- Razne izvedbe:
- Primer primene:



24

## Reed kontakti

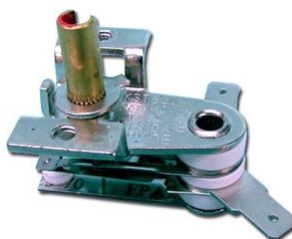
- Reed – jezičak na pisku.
- Kod dovoljno jakog magnetnog polja zatvori se električni kontakt u cevi.
- Polje se najčešće formira stalnim magnetom.
- Osetljivost zavisi od pozicije i smera magneteta.
- Može da se koristi za detekciju pozicije, rotacije...



## Bimetalni senzori

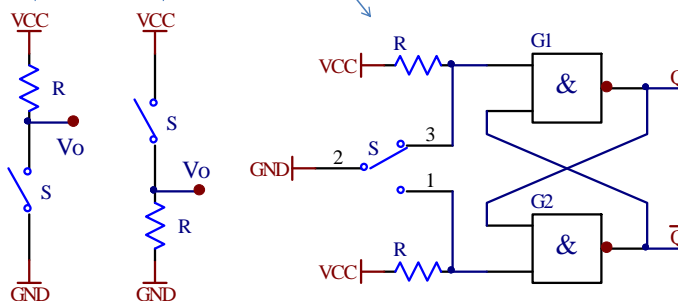
- Spoje se trake od dva različita metala.
- Traka se savija pri grejanju usled različitog širenja traka.
- Formira se ili ukida kontakt pri određenoj temperaturi.

Regulator  
temperature za  
peglu



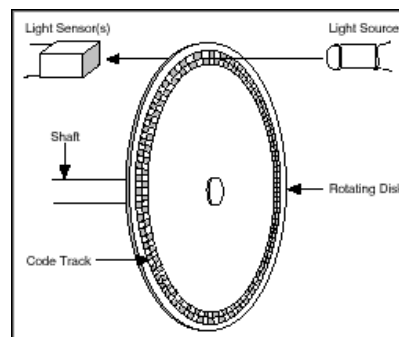
## Napajanje i obrada signala od mehaničkih kontakata

- Pull up / pull down veze.
- Prosti ili naizmenični kontakt.
- Za primenu u digitalnim sistemima potrebno je **eliminirati uticaj treperenja kontakata** (debouncing).



## Enkoderi

- Detekcija linearnog ili rotacionog kretanja.
- Koriste se za pozicioniranje, regulaciju brzine...
- Umesto formiranja impulsa sa optikom mogu se koristiti i mehanički kontakti. Broj podeoka po jednom krugu kreće se od nekoliko do nekoliko hiljada (samo kod optičkih, kod mehaničkih se ide svega do nekoliko desetina).



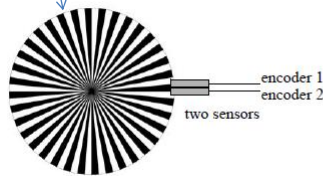
28

## Razlika između inkrementalnog i apsolutnog enkodera

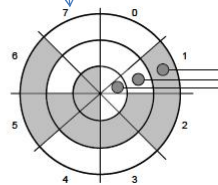
**Inkrementalni** enkoderi daju jedan ili dve serije impulsa pri svom (o)kretanju. Brojanjem impulsa možemo dobiti podatak o brzini ili promeni pozicije.

Tipovi:

- jedno-kanalni – samo da se detektuje kretanje ili brzina
- dvo-kanalni – detektuje se i smer kretanja
- sa referentnim markerom – omogućavaju detekciju celog kruga pored gornjih mogućnosti

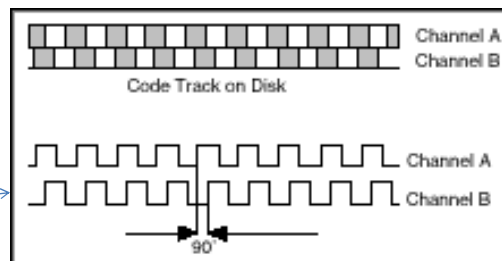
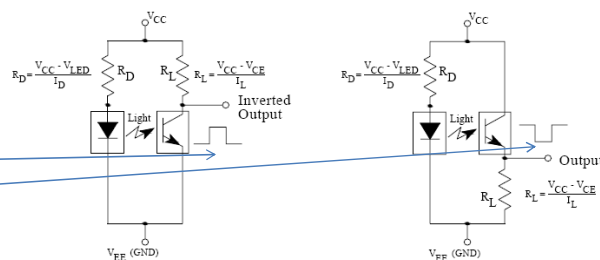


**Apsolutni** enkoderi imaju jedinstveni digitalni kod u svakoj poziciji unutar jednog kruga, čak i nakon prekida i ponovnog uspostavljanja napona napajanja. Vrsta koda (prirodni, Gray-ev, BCD) zavisi od kodnog točka. Koriste se u pakericama, robotici, itd. Gray-ev kod daje najpouzdanije rezultate.



## Napajanje i obrada signala od enkodera

- U zavisnosti od povezivanja, prekid mlaza svetlosti prouzrokuje pozitivan ili negativan impuls.
- Kod dvo-kanalnog rešenja jedna optika se namesti na ivicu prozora a druga na sredinu, tako se dobija jedan signal pomeren u odnosu na drugi za 90° (četvrtinu periode).



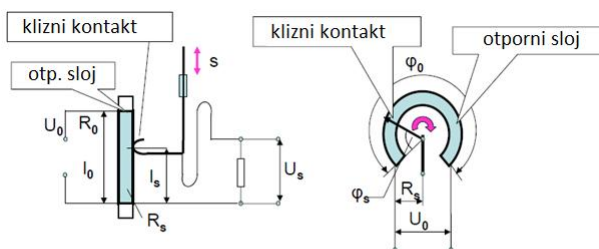
## Senzori kod kojih se menja otpornost

- potenciometar
- merna traka
- NTC i PTC otpornici

31

## Detekcija pozicije pomoću potenciometra

- Posmatrani mašinski element je povezan sa potenciometrom (zajednička osovina, zupčasta letva...).
- Otpornost ili razdeljeni napon su srazmerni poziciji.
- Primene: praćenje otvaranja ventila, detekcija pozicije gas pedale...



$$R_s = l_s \frac{R_0}{l_0}$$

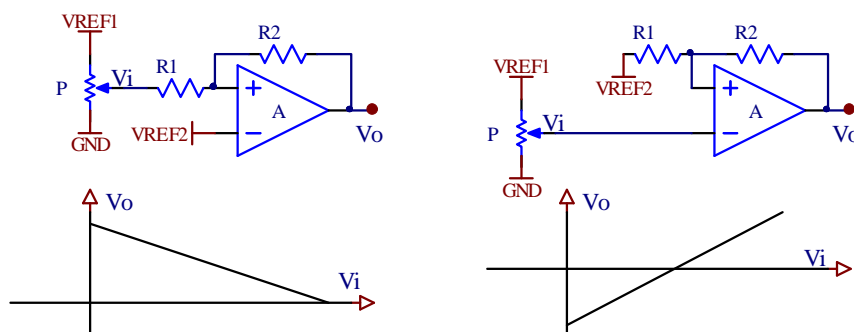
$$R_s = \varphi_s \frac{R_0}{\varphi_0}$$

32



## Napajanje i obrada signala od potencimetara

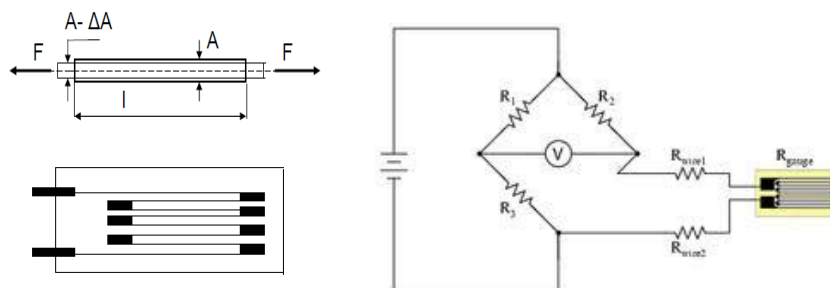
- Potrebno je obezbediti stabilan napon napajanja potencimetra.
- Pomeranje klizača obično nije od jednog kraja do drugog, nego neki drugi opseg.
- Dobijeni signal nije u željenom opsegu, zato treba primeniti pojačanje (pozitivno ili negativno) i dodati ofset (pozitivan ili negativan).
- Ima mnogih drugih mogućnosti za uobličavanje signala (videti link).
- Često je potrebna NF filtracija za suzbijanje smetnji.



<http://www.ti.com/lit/an/slod006b/slod006b.pdf>

## Merne trake

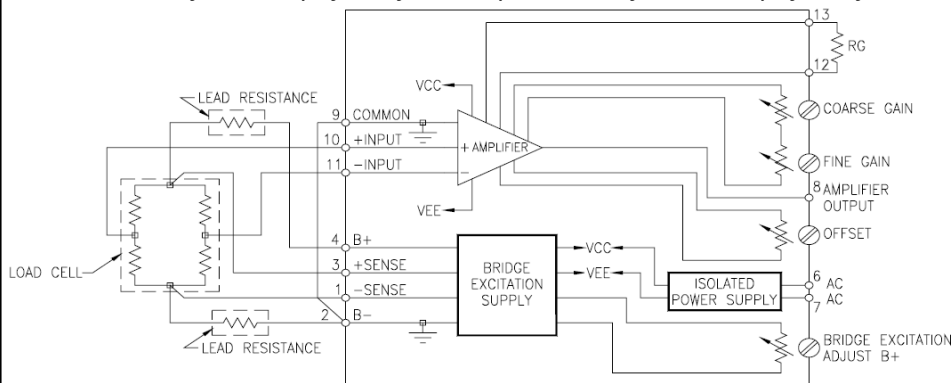
- Menja se otpornost tankog sloja metala usled deformacije (istezanje ili sabijanje).
- Trake se obično vezuju u merni most sa fiksnim otpornicima ili sa drugim trakama
- Odgovarajućim rasporedom više mernih traka povećava se korisni signal i postiže se linearizacija.
- Možemo detektovati deformaciju, silu, obrtni moment, težinu...



34

## Napajanje i obrada signala od mernih traka

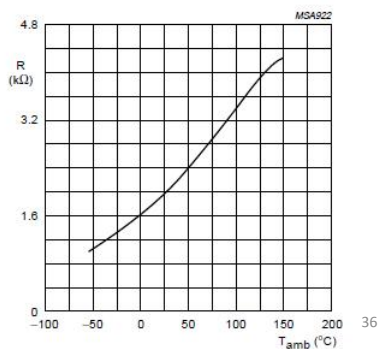
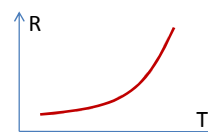
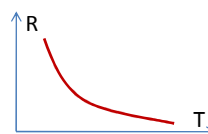
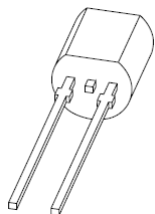
- Most se napaja jednosmernim ili naizmjeničnim (sinusnim) naponom.
- Naizmjenično napajanje daje bolje mogućnosti za filtraciju.
- Kompenzuje se (povratnom spregom) uticaj otpornosti vodova na napon napajanja.
- Potrebno je veliko pojačanje i fino podešavanje ofseta i pojačanja.



<http://www.omega.com/Manuals/manualpdf/M0564.pdf>

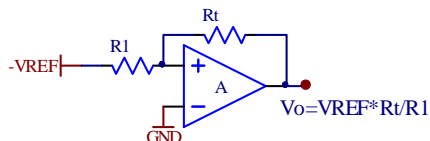
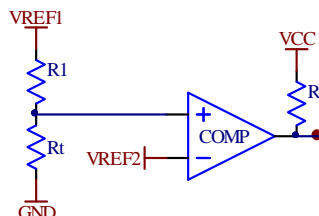
## Otpornici zavisni od temperature

- NTC otpornik
- PTC otpornik
- Ima i linearnih, na pr. KTY81



## Napajanje i obrada signala od temperaturno zavisnih otpornika

- U nekim situacijama je dovoljno upoređenje sa nekom referencom – tako može da se vrši **on-off** regulacija.
- Za merenje temperature treba koristiti linearne senzore ( $R_t$ ) i vršiti **linearno pojačanje**.

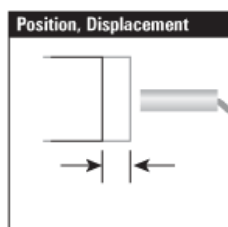
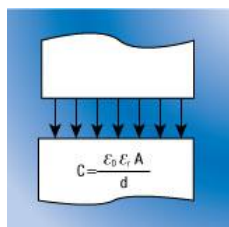


## Kapacitivni senzori

- Detektori pozicije, pomeraja
- Detektori vlažnosti

## Kapacitivni senzori pozicije

- Menja se kapacitivnost usled rastojanja.
- Obično se formira digitalni izlaz: kod neke pozicije se uključi/isključi izlazni tranzistor.



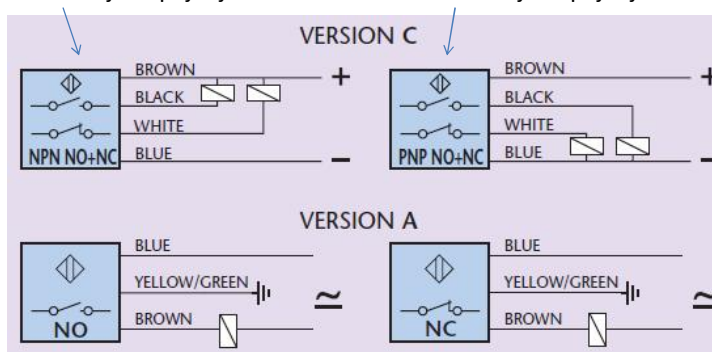
<http://www.lionprecision.com/capacitive-sensors/>

39

## Napajanje i obrada signala od kapacitivnih senzora pozicije

NPN izlaz – potrošač se povezuje između + kraja napajanja i izlaza.

PNP izlaz – potrošač se povezuje između - kraja napajanja i izlaza.

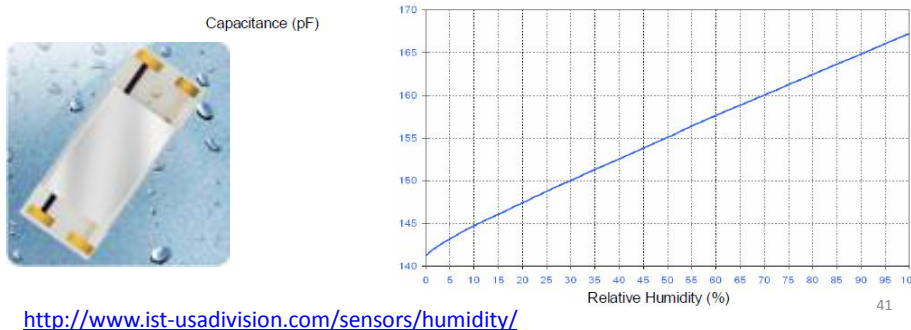


Rešenja sa relejnim izlazom.

<http://www.acculex.com/pdfs/SC30.pdf>

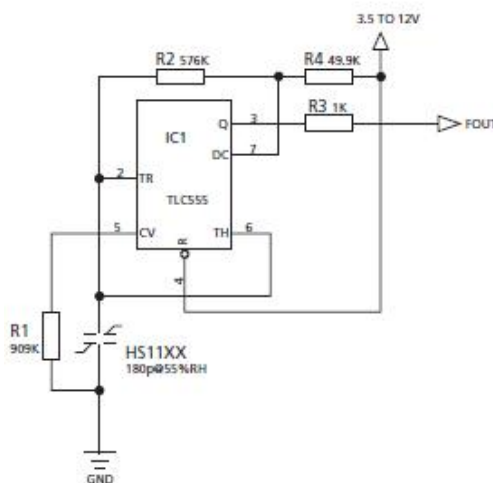
## Kapacitivni detektori vlažnosti

- Menjaju se osobine dielektrika usled prodiranja vlage kroz porozne obloge kondenzatora.
- Menja se kapacitivnost.
- Detektujemo promenu kapacitivnosti.
- Postoje i kombinacije senzora sa elektronikom za obradu signala senzora.



## Napajanje i obrada signala od kapacitivnih senzora vlažnosti

- Potrebno je konstruisati kolo koje je osetljivo na promenu kapacitivnosti.
- Kod prikazanog kola frekvencija oscilovanja je obrnuto srazmerna sa kapacitivnošću senzora.



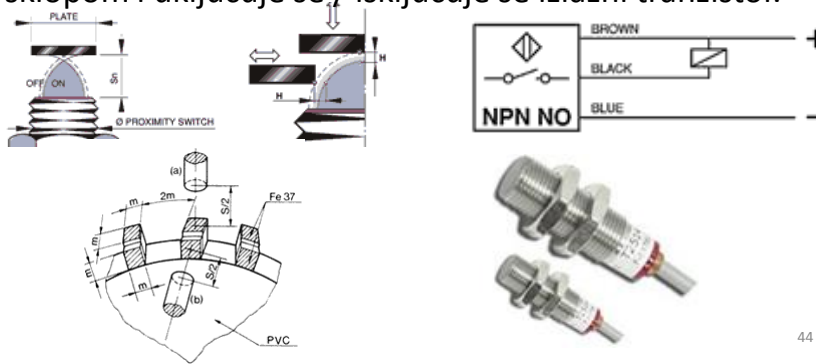
## Induktivni senzori

- Detektori pozicije na bazi promene induktivnosti
- Detektori pozicije na bazi koeficijenta sprege

43

## Detektori pozicije na bazi promene induktivnosti

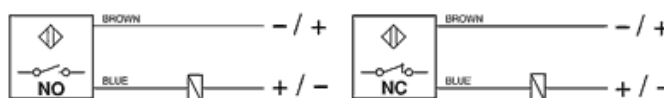
- Namotaj u senzoru (okrenut prema aktivnom kraju) se napaja sinusnom strujom.
- Približavanjem metalnog predmeta namotaju, menja se njegova induktivnost, što dovodi do promene amplitude ili frekvencije napojnog signala.
- Promena se detektuje odgovarajućim elektronskim sklopom i uključuje se / isključuje se izlazni tranzistor.



44

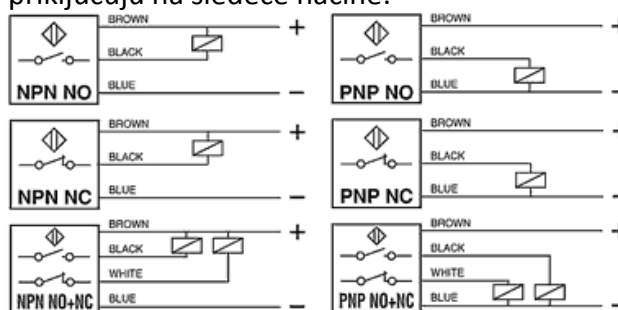
## Napajanje i obrada signala od induktivnih senzora pozicije

- Postoje induktivni senzori sa dve žice. Problemi sa njima su da u uključenom stanju izlaza imaju neki pad napona a pri isključenom stanju izlaza imaju neku struju curenja.



- Senzori sa tri žice se priključuju na sledeće načine:

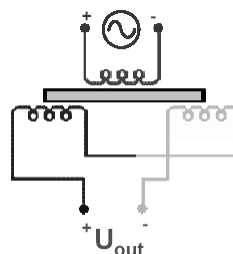
Napon napajanja je redovno od 10V do 30V, prekidač na izlazu je dimenzionisan za nekoliko stotina mA.



[http://www.fargocontrols.com/sensors/inductive\\_op.html](http://www.fargocontrols.com/sensors/inductive_op.html)

## Detektori pozicije na bazi koeficijenta sprege

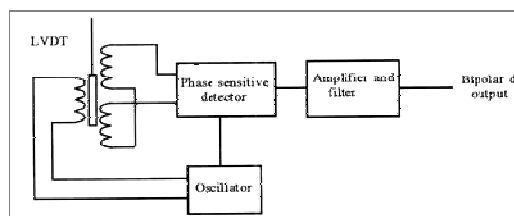
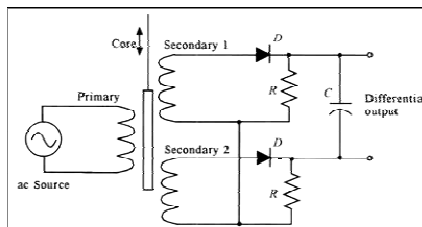
- Formira se jedan primarni i dva sekundarna namotaja.
- U zavisnosti od pozicije feromagnetnog jezgra unutar namotaja, menjaju se preslikani naponi u sekundare.
- Izlaz (nakon obrade signala) može biti linearno zavisn od pozicije ili prekidačkog tipa.



<http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/66>

## Napajanje i obrada signala od detektora pozicije na bazi koeficijenta sprege

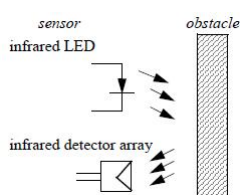
1. Posebno se isprave naponi indukovani u dva sekundara. Njihova razlika daje podatak o poziciji. Diode uvode nelinearnost.
2. Kombinuje se primarni signal sa razlikom signala dva sekundara.



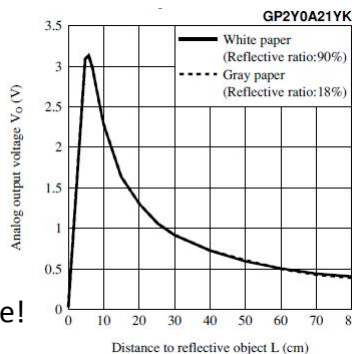
<http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/66>

## Senzori na bazi svetlosti

- Odbija se svetlost sa predmeta čija udaljenost se meri.
- Na bazi poznavanja ugla odašiljača i pozicije vraćenog svetlosnog snopa se može odrediti udaljenost predmeta.



Izlazni napon zavisi nelinearno od pozicije!

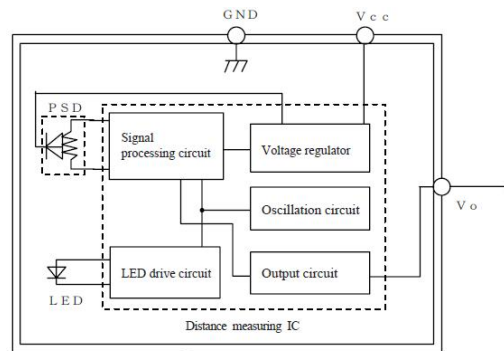


[http://www.sharpsma.com/webfm\\_send/1489](http://www.sharpsma.com/webfm_send/1489)



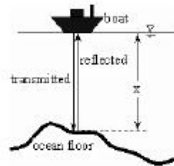
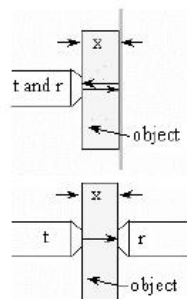
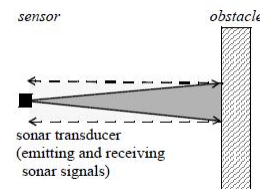
## Napajanje i obrada signala od detektora pozicije na bazi svetlosti

- Napon napajanja  
4,5Vdc do 5,5Vdc.
- Obrada izlaznog napona:
  - komparatorom – samo se detektuje da li je postignuta potrebna pozicija.
  - čitanje vrednosti  $V_o$  i upoređenje sa karakteristikom za ustanovljenje rastojanja.



## Ultrazvučni senzori

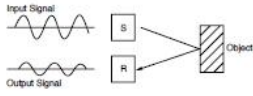
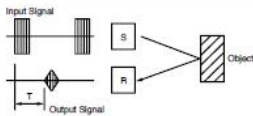
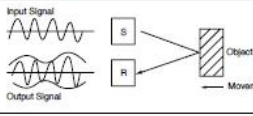

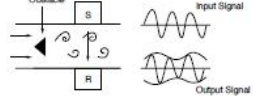
- Merenjem potrebnog vremena za prostiranje ultrazvuka kroz vazduh ili tečnost može se meriti udaljenost ili debljina predmeta.



Measurement objectives:

- distance
- depth

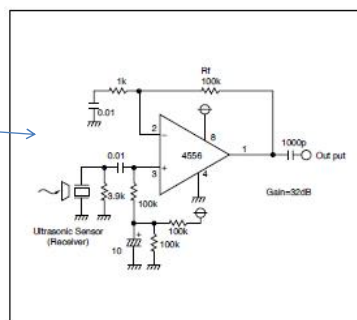
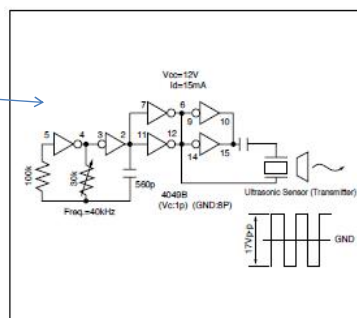
## Načini primene ultrazvučnih senzora

No.	Function Method	Performance Principle (S: transmitter, R: receiver)	Applications
1	Detection of Signal level of continuous wave		Counting instruments Access switches Parking meters
2	Measurement of pulse reflection time		Automatic doors Level gauges Automatic change-overs of traffic signals Back sensors of automobiles
3	Utilization of Doppler effect		Intruder alarm systems
4	Measurement of direct propagation time		Densitometers Flowmeters
5	Measurement of Karman vortex		Flowmeters

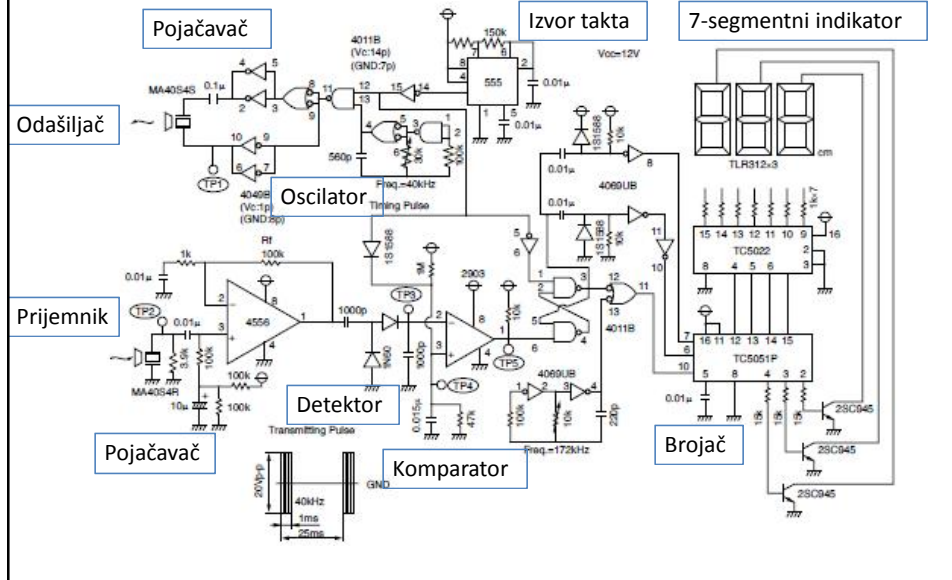
<http://www.symmetron.ru/suppliers/murata/files/pdf/murata/ultrasonic-sensors.pdf>

## Povezivanje ultrazvučnih odašiljača i senzora

- Kolo pokazuje pravougaoni oscilator sa pojačavačem (strujni pojačavač, mostna sprega). Po potrebi napajanje odašiljača se taktuje (prekida).
- Signal senzora (prijemnika) ultrazvuka je potrebno pojačavati i filtrirati.

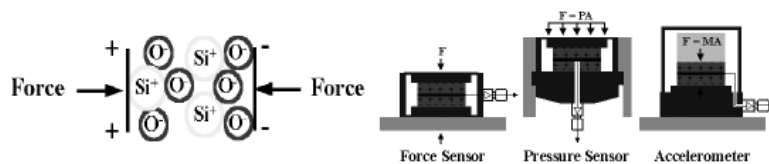


## Kolo za merenje udaljenosti na bazi ultrazvuka



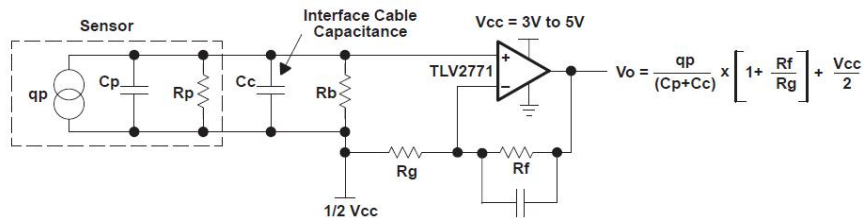
## Piezo električni senzori

- Pojavljuje se električni napon na oblogama piezo električnog kristala usled mehaničkog naprezanja.
- Dobijeni napon može da se koristi za merenje sile, pritiska, ubrzanja...

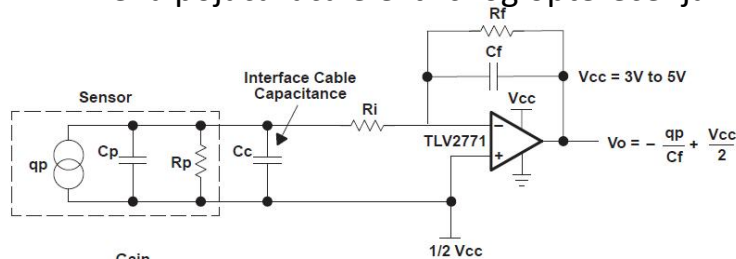


## Načini korišćenja piezo električnih senzora

- Primena naponskog pojačavača:



- Primena pojačavača električnog opterećenja:



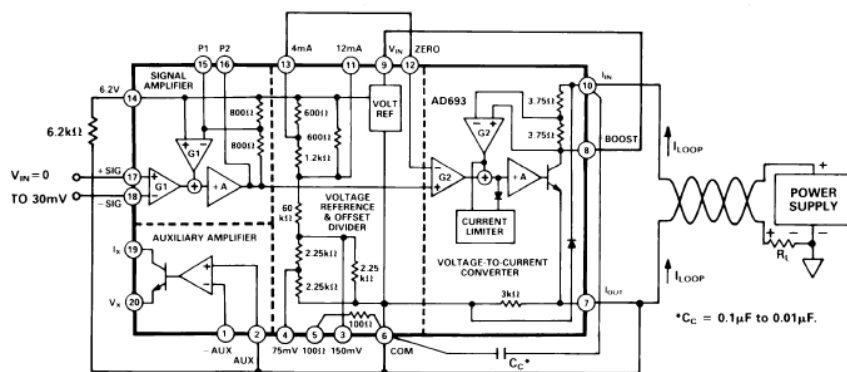
<http://www.ti.com/lit/an/sloa033a/sloa033a.pdf>

## Prenos signala senzora na daljinu

- Analogni prenos:
  - prostiji hardver
  - više podložan smetnjama, izobličenjima
- Digitalni prenos:
  - relativno složen hardver i softver
  - ne vrši se stalan prenos nego po potrebi, periodično
  - otporan na smetnje
  - moguć prenos na veće udaljenosti

## Analogni prenos preko strujne petlje

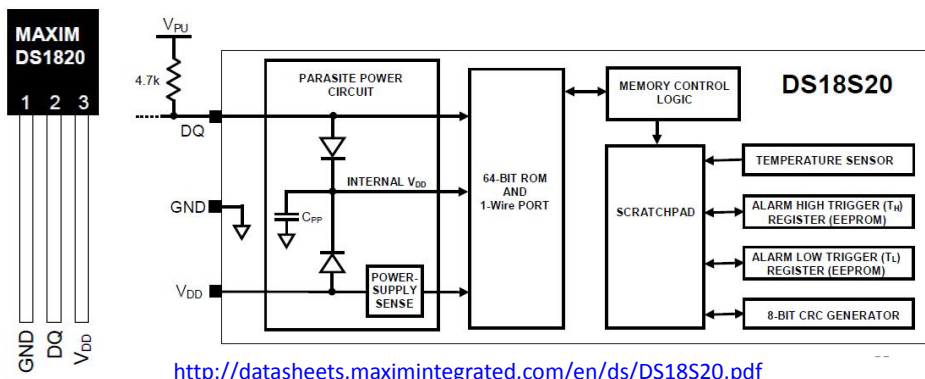
- Merena veličina (na primer temperatura) se pretvara u struju.
- Opseg struje je obično 4-20mA.
- Minimalnih 4mA je neophodno za napajanje senzora i za detekciju prekida mernog voda.



[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD693.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD693.pdf)

## Digitalni prenos

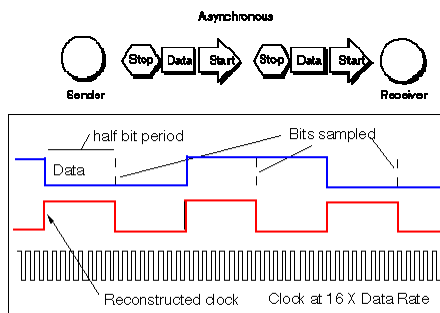
- Merena veličina (na pr. temperatura) se pretvori u broj (na pr. 9 bita).
- Brojna vrednost se šalje u centralnu jedinicu pomoću serijske komunikacije.
- Može se povezati veliki broj senzora na jedan trožilni kabel.



## Vrste serijskih komunikacija

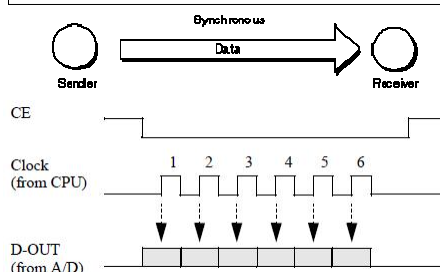
- **Asinhrona** komunikacija

- Takt se rekonstruiše iz bitova podataka.



- **Sinhrona** komunikacija

- Takt se prenosi paralelno sa podacima (potrebna dodatna linija).



Kraj 4. glave

(SENZORSKA ELEKTRONIKA)