



Mjerna tehnika

mašinstvo 4+1+3

I ciklus

Sadržaj lekcije

- Uvod
- Klasifikacija senzora
- Fizikalni principi rada senzora
- Vrste senzora
- Prijenos i registracija mjernih veličina

Uvod

- Sredstva za dobivanje informacija u sistemu automatskog upravljanja daju informaciju o kvalitativnim i kvantitativnim karakteristikama procesa što se odvijaju u upravljanoj objektu kao i u samom upravljačkom sistemu.
- Za upravljanje tehničkim sistemima veoma su važne informacije o ponašanju osnovnih parametara kao što su: temperatura, protok, nivo, pritisak, vrijeme, položaj, ...
- Troškovi za dobivanje informacija u sistemima automatskog upravljanja čine $1/3$ ukupne cijene proizvoda.

Dobivanje informacija mjerenjem

- Informacije se u suštini dobivaju mjerenjem fizikalnih veličina koje karakteriziraju ponašanje procesa. Dobivena informacija se obrađuje po nekom algoritmu.
- Mjerni uređaji pomoću kojih se u sistemu automatskog upravljanja dobivaju informacije su: senzori, transdjuseri i mjerni pretvarači.

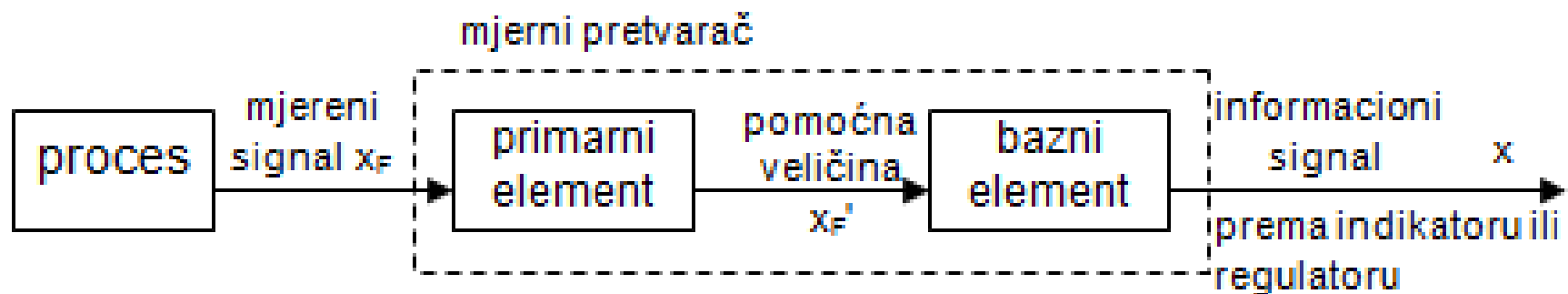
Senzor

- **Senzor** ili davač je primarni osjetilni element, koji pretvara fizikalnu veličinu X'_F koja je pogodnija za mjerenje. Senzor vrši prvo pretvaranje fizikalne veličine u nizu pretvaranja koja su prisutna u složenim mjernim uređajima.
- **Transducer** pretvara mjernu fizičku veličinu X_F u neki standardni oblik – najčešće električni signal, strujni ili naponski a može biti i pneumatski.

Mjerni pretvarač

- **Mjerni pretvarač ili** transponder pretvara fizičku veličinu u standardni signal.
- Konstruktivno je osposobljen da šalje informaciju sa jednog mjesta na drugo putem prenosnih linija ili medijuma.
- Sastoji se od primarnog elementa koji procesnu veličinu X_F pretvara u neki pogodniji oblik X_F' , te baznog elementa (adaptera) koji tu veličinu pretvara u informacijski signal sa normalnim obilježjima.

Struktura mjernog pretvarača



Slika 4.1. Struktura mjernog pretvarača

Pravci razvoja senzora

- Tehnika senzora razvija se u tri osnovna pravca:
- **Minimalizacija** i veći stepen integracije sastavnih dijelova što je tendencija i u drugim oblastima nauke.
- **Realizacija višestrukog djelovanja**, tako da se pomoću jednog senzora istovremeno određuje nekoliko različitih fizikalnih veličina (npr. senzor temperature i vlažnosti zraka)
- **Proširivanje funkcionalnih mogućnosti** senzora zahvaljujući ugradnji mikroprocesora.

Podjela senzora

- Podjela senzora nije jednostavna. Vršiti se u odnosu na:
- vrstu izlaznog signala,
- prirodu mjerne veličine,
- princip rada gabarite,
- prirodu izlazne veličine,
- uvjete rada,
- načina upotrebe,
- unutrašnje strukture

Klasifikacija senzora prema vrsti izlaznog signala

- Senzori se dijele na analogne i digitalne. **Analogni** senzori imaju normiran dinamički opseg izlaznog signala i osjetljivost na šumove.
- **Digitalni** senzori imaju veliku mogućnost interakcije sa mikroprocesorskim upravljačkim sredstvima.

Klasifikacija prema prirodi mjerene veličine

- Dijele se na: toplotne, mehaničke, kinematičke, geometrijske, radijacijske, vremenske i električne, hemijske i fizikalne.
- **Toplotni** se koriste za mjerenje temperature, toplotnog kapaciteta, entalpije, toplote izgarnja
- **Mehanički** se koriste za mjerenje sile i momenta, pritiska, vakuuma, mehaničkog naprezanja.
- **Kinematički** se koriste za mjerenje linearnog i ugaonog ubrzanja i brzine, protoka.
- **Geometrijski** se koriste za mjerenje položaja (koordinata) tijela razmjere, nivoa.
- **Radijacijski** se koriste za mjerenje intenziteta toplotnog, nuklearnog, akustičnog i elektromagnetnog zračenja, boje, parametara talasnog procesa.

nastavak

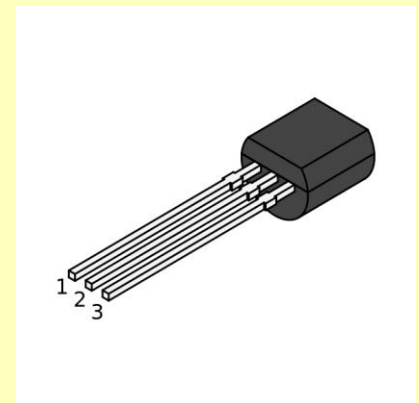
- **Vremenski** se koriste za mjerenje vremenskog perioda i frekvencije.
- **Električni** se koriste za mjerenje elektromotorne sile, struje, otpora, induktivnosti, kapaciteta, provodnosti
- **Hemijski** senzori se koriste za mjernje hemijskog sastava.
- **Fizikalni** senzori se koriste za mjernje mase, gustine, 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.

Pasivni senzori- definicija

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

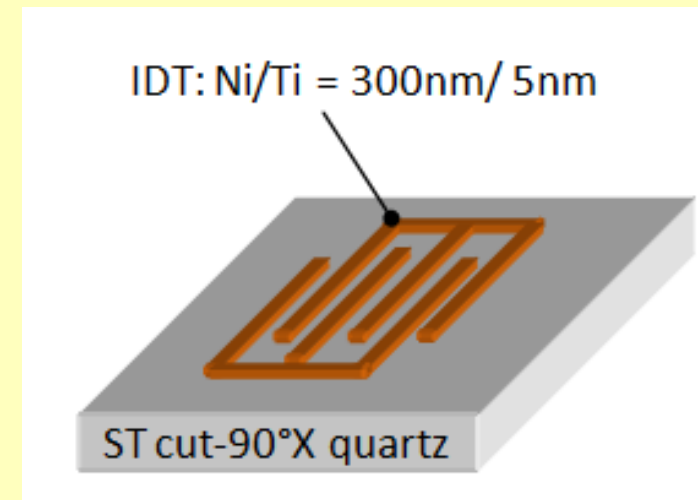
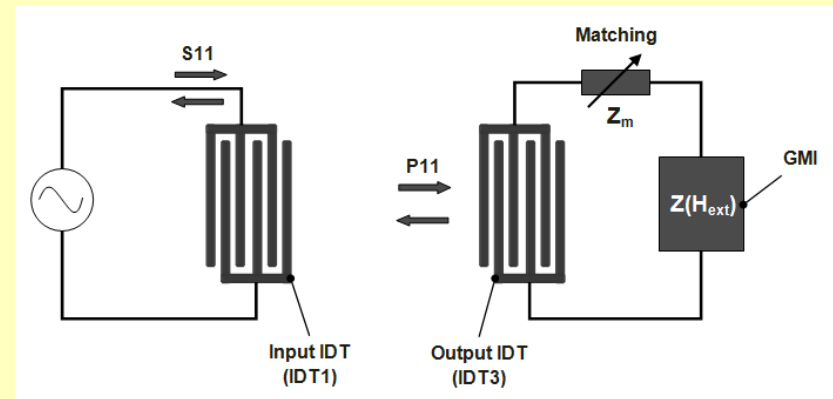


Aktivni senzori

- **Aktivni senzori** mogu biti:
- Indukcioni
- Elektromagnetni
- Elektrodinamički
- Piezoelektrični
- Piroelektrični
- Termoelektrični
- Fotoelektrični

Pasivni senzori

- Induktivne
- Otporničke
- Kapacitivne.
- Hemijski senzori rade na principu: polarizacija jona, kombinovanja hemijskih i električnih metoda, promjena impedance u zavisnosti od hemijskog sastava.
- **Hemijski senzori** mogu biti:
- Polarizacioni
- Hemijsko-električni
- Impedantni.
-



Optoelektronski senzori

- Optoelektronski dovode do pojave struja u poluprovodnicima koja djeluje na spontanu ili stimulisanu emisiju svjetlosti (svjetleća ili laserska dioda).
- Kvanti svjetlosti mijenjaju gustinu nosilaca naboja u poluprovodniku (fotootpore), otpor p-n prelaza (fotodioda) ili otpor zapornog sloja metal – poluprovodnik (fotoelement)
- Mogu biti
- Predajnici
- Prijemnici sa vanjskim fotoefektom

Klasifikacija senzora prema gabaritima

- Prema veličini mjerni senzori mogu biti:
- Normalni i oni su standardne izvedbe.
- Malogabaritni za primjenu u ograničenom prostoru
- Minijaturne koji se koriste za specijalne namjene.

Klasifikacija prema prirodi izlazne veličine

- **Mehanički** čiji je izlazni signal je sila ili pomak
- **Vremenski** čiji je izlazni signal vremenski ili frekventni kod
- **Električni** čiji se izlazni signali mjerene veličine odražavaju kroz promjenu R , L , C parametara izlaza, pa se zovu i parametarski. Ukoliko se na izlazu se 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
- Kompenzacioni sa negativnom povratnom spregom po izlaznoj veličini.

- **Klasifikacija prema pouzdanosti u eksploataciji**
- Pouzdani koji imaju mali intenzitet otkaza i malo vrijeme obnavljanja malo.
- Nepouzdana.

Aktivni i pasivni senzori

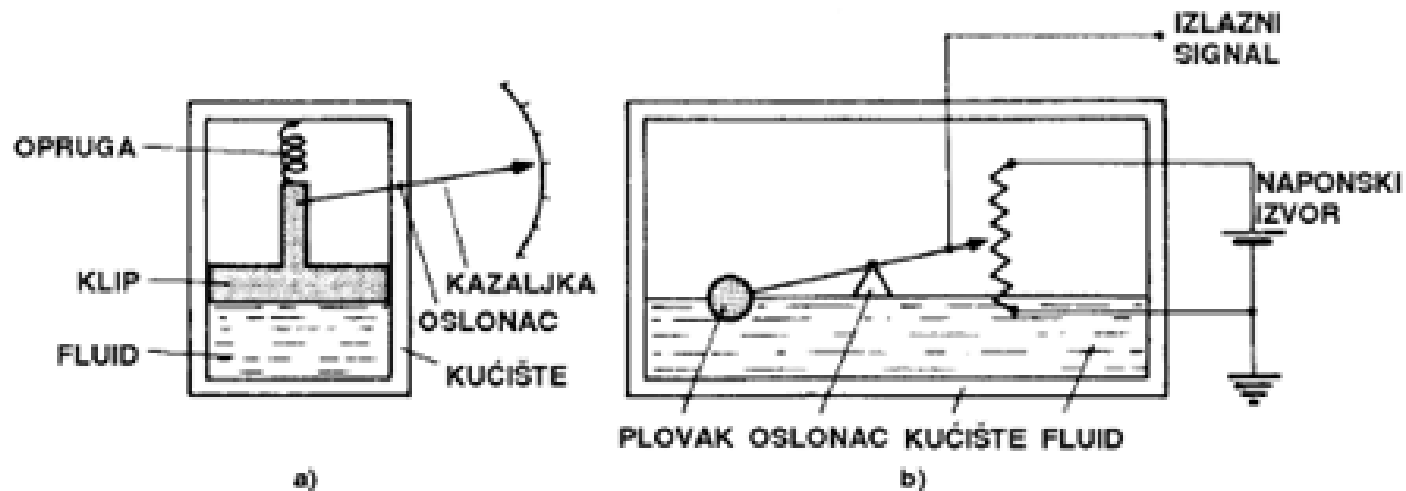
- **Aktivni pretvarači** za svoj rad ne zahtijevaju dovodenje dodatne energije tj. Izlazni signal senzora je nastao na osnovu energije mjerene veličine.
- **Pasivni pretvarači** moduliraju energiju nekog vanjskog izvora tj. potrebno im je dovesti dodatnu energiju.

Podjela senzora na osnovu energije potrebne za mjerenje: b.pasivni, a. aktivni senzor

4.2.10. Aktivni i pasivni senzori

Aktivni pretvarači za svoj rad ne zahtijevaju dovođenje dodatne energije tj. Izlazni signal senzora je nastao na osnovu energije mjerene veličine.

Pasivni pretvarači moduliraju energiju nekog vanjskog izvora tj. potrebno im je dovesti dodatnu energiju.



Pasivni senzor -primjer

- Pasivni senzori su zapravo mjerni uređaji direktnog tipa, jer energiju neophodnu za mjerenje i transport izlaznog signala uzimaju sa objekta mjerenja.
- Na slici 4.2.a prikazan je aktivni uređaj za mjerenje pritiska. Pritisak fluida prenosi se preko klipa tako da se vrši pomjeranje kazaljke.
- Ovo pomjeranje je rezultat promjene mjenenog pritiska, jer, nema nikakvog vanjskog izvora energije.

Pasivni senzor -primjer

- Pasivni senzori su mjerni instrumenti indirektnog tipa, oni energiju neophodnu za mjerenje dobijaju iz vanjskog izvora. Vanjski izvor je najčešće električni, ali može biti i pneumatski ili hidraulični.
- Na slici 4.2.b prikazan je pasivni senzor za mjerenje nivoa goriva u rezervoaru. Promjena nivoa prenosi se preko plovka na klizač potenciometra.
- Energija izlaznog signala dolazi iz vanjskog izvora, tako što klizač modulira vrijednost izlaznog napona u skladu sa promjenom nivoa.

Rezolucije senzora

- prethodnom primjeru se vidi da se rezolucija mjerenja pasivnih senzora može povećati produžavanjem kazaljke ali je ta mogućnost ograničena iz praktičnih razloga. Rezolucija aktivnih senzora se povećava uzimanjem izvora sa većim iznosom energije, što je opet ograničeno zbog zagrijavanja vodova i povećanih gubitaka toplote i zbog opasnosti od eksplozije.
- Pasivni senzori su jednostavnije konstrukcije i jeftiniji su od aktivnih pa je izbor jednog od njih stvar kompromisa između cijene i potrebe rezolucije mjerenja.

Razlika pasivnih i aktivnih senzora

- U literaturi se može naći i drugačije poimanje pasivnog odnosno aktivnog senzora. **Naime, pasivni senzor mehaničkim kontaktom prenosi promjene mjerne fizikalne veličine na promjenu nekog električnog parametra: otpora, induktivnosti, kapaciteta, struje, napona ili intenziteta zračenja. Aktivni generiraju električni signal (struja, napon, naboj) zahvaljujući konverziji mehaničke, svjetlosne ili hemijske energije.**
- Primjer pasivnog senzora je otpornički detektor mehaničkog pomjeranja, a aktivnog termoelement, koji toplotnu energiju pretvara u napon.

Fizikalni principi rada senzora

- Senzori rade na osnovu njihove interakcije sa procesom i to tako što reagiraju na stanja, a reakciju transformiraju u izlazni signal. Postoji veliki broj fizikalnih pojava i efekata, načina transformacije svojstava procesa kao i metoda konverzije energije koji se mogu primijeniti pri gradnji senzora.
- Principi su dati na slici 4.3.
- Nosilac informacije je masa ili energija. Mjerenje neelektričnih signala počinje pretvaranjem u električni pa se onda obavlja procesiranje. Važnost imaju fizikalni efekti koji omogućavaju takvu konverziju.
- Za neelektrično-električno pretvaranje potrebna je energija iz domena mjernog signala ili van njega.
- Najčešće korišteni senzori biće opisani u narednom tekstu; način rada, konstrukcija i upotreba.

Magnetnoelektrični senzori

- Za pretvaranje neelektrične mjerne veličine u električnu koristi se princip elektromagnetne indukcije.
- Ovi senzori rade na samouzbudnom principu.
- Elektromotorna sila koja se na taj način inducira proporcionalna je brzini promjene magnetnog toka u pojedinim namotajima i i broju namotaja:

$$e = \frac{d\theta}{dt} N$$

Podjela magnetnoelektričnih senzora

- Magnetno električni senzori se dijele na:
- elektrodinamičke ili senzore sa relativnim pomjeranjem provodnika i
- elektromagnetne ili senzore sa promjenljivim magnetnim otporom.
-

Elektrodinamički senzori

- Princip rada elektrodinamičkog senzora zasniva se na elektrodinamičkoj indukciji. U provodniku koji se kreće određenom brzinom v i presijeca silnice stalnog magnetnog polja indukuje se napon:
- $U = NlBv$
- gdje su:
- N -broj zavoja
- l -dužina jednog navoja
- B -magnetna indukcija
- v -brzina kretanja kalema
- Kako je promjena napona proporcionalna prvom izvodu pomjeranja tj. brzini ova grupa senzora se koristi za detekciju brzine. Kada pokretni dio senzora miruje izlaz je jednak nuli.

Kako je promjena napona proporcionalna prvom izvodu pomjeranja tj. brzini ova grupa senzora se koristi za detekciju brzine. Kada pokretni dio senzora miruje izlaz je jednak nuli.

Brzina kretanja kalema može biti linearna $\left(v = \frac{dx}{dt} \right)$ ili ugaona $\left(\omega = \frac{d\theta}{dt} \right)$.

Ako je brzina kretanja kalema linearna pomoću njega se može mjeriti put $s = \int v dt$ i ubrzanje

$$a = \frac{dv}{dt} . |$$

Ako je brzina kretanja kalema ugaona onda se pomoću nje može odrediti broj obrtaja $n = \frac{\omega}{2\pi}$ i ugaono ubrzanje $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$. Kalem umjesto pravolinijskog kretanja vrši rotaciju između polova magneta. Indukovana elektromotorna sila je u tom slučaju:

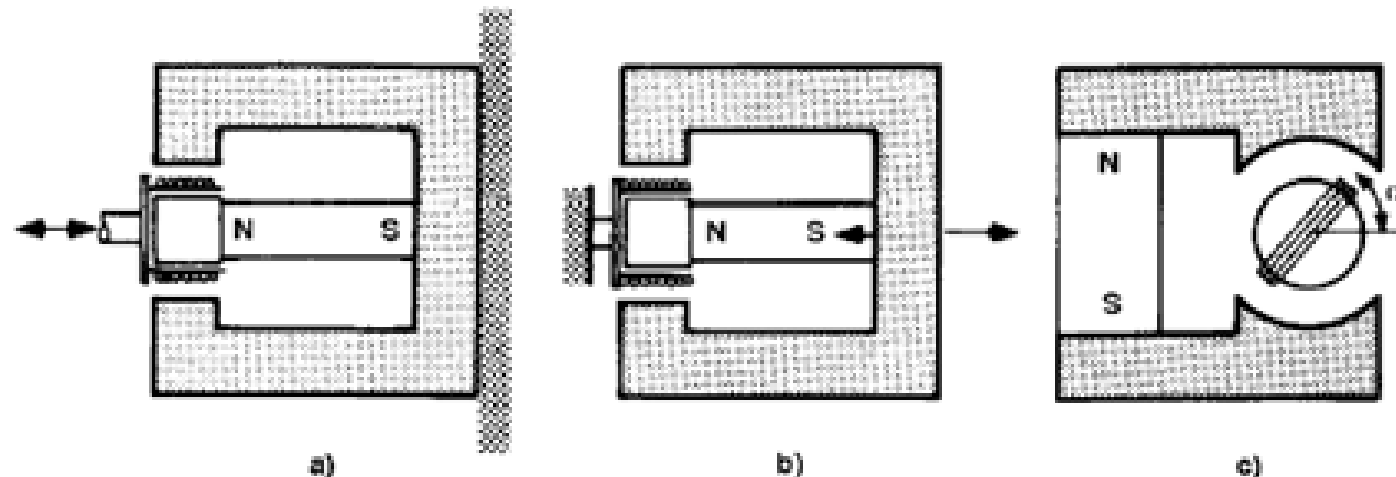
$$e = -Blr \frac{d\varphi}{dt} \text{ gdje je:}$$

r-poluprečnik kalema

φ -ugao zakretanja

Napon indukovan na ovaj način direktno zavisi od brzine okretanja motora.

Indukcioni senzori su u suštini generatori. Zato što su izvanredni detektori vibracija primjenjuju se u alarmnim sistemima.



Slika 4.4. Indukcioni senzori: a) sa pokretnim kalemom, b) sa pokretnim magnetom, c) za detekciju ugaone brzine

Elektromagnetni senzori

- Rad ovih senzora zasnovan je na indukciji. Pri promjeni magnetnog fluksa na krajevima kalema se indukuje napon.
- Promjena magnetnog fluksa nastaje pomjeranjem metalne pločice u odnosu na magnet. Napon koji se indukuje na krajevima kalema dat je izrazom:

$$e = -n \frac{d\Phi}{dt} \dot{x}$$

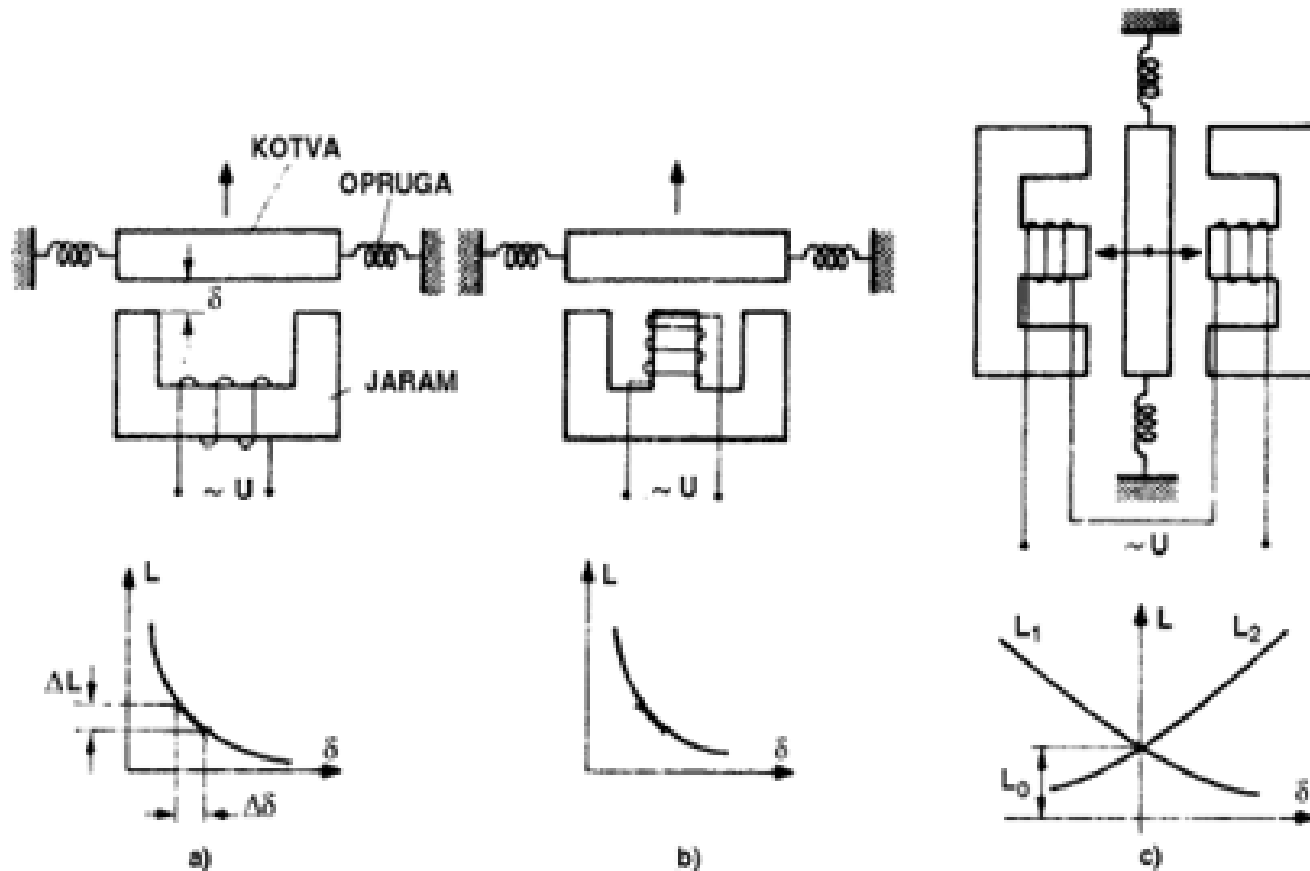
gdje je:

n-broj navoja

Opis rada elektromagnetnih senzora

- Φ -fluks
- dx/dt - brzina pokretne pločice
- Elektromagnetni senzori rade na bezkontaktnom principu. Induktivnost se mijenja u zavisnosti od promjene vazdušnog zazora između jezgra (jarma) i pokretnog dijela od feromagnetika (kotve).
- Prosti induktivni senzor ima jaram u obliku slova U ili E. Kada se kotva približi jarmu, zazor se smanji a induktivnost raste. Prednost ovakvih mjerenja je što masa senzora i opreme ne utiče na rezultate mjerenja.
- Osjetljivost senzora zavisi od udaljenosti pokretnog elementa.
- Indukcioni senzori se primjenjuju u uljnoj hidraulici za mjerenje ugaonih brzina, a posebno elektrodinamički indukcioni pretvarači (tahogeneratori).
-

Induktivni senzor



Slika 4.5. Induktivni senzori s promjenom zazora i njihove statičke karakteristike: a) prosti induktivni senzor sa U-presjekom, b) prosti induktivni senzor sa E-presjekom, c) diferencijalni induktivni senzor

Piezoelektrični senzori

- Za rad piezoelektričnih senzora iskorišten je princip piezoelektričnog efekta. Piezoelektrični efekat otkrili su braća Kiri. Oni su primijetili da izvjesni dielektrični materijal monokristalne strukture kada se mehanički napreže razvija električni potencijal.
- Ako se na materijal koji ima ove osobine djeluje silom F kristalna rešetka će se deformisati.
- Usljed deformacije rešetke javiće se piezoelektricitet., čiji napon se mjeri na elektrodama postavljenim na površine kristala.
- Količina elektriciteta zavisi od sile kojom se rešetka deformiše:

$$Q = dF$$

gdje je:

F-sila deformisanja

d-konstanta kristala

Napon između elektroda određen je izrazom:

$$U = \frac{Q}{C}$$

gdje je:

Q-količina elektriciteta

C-kapacitivnost

Kako je $p = \frac{F}{A}$ tada je $Q = dpA$. Kapacitivnost je dana izrazom:

$$C = \varepsilon \frac{A}{l}$$

gdje je ε linearna dilatacija. Tada je:

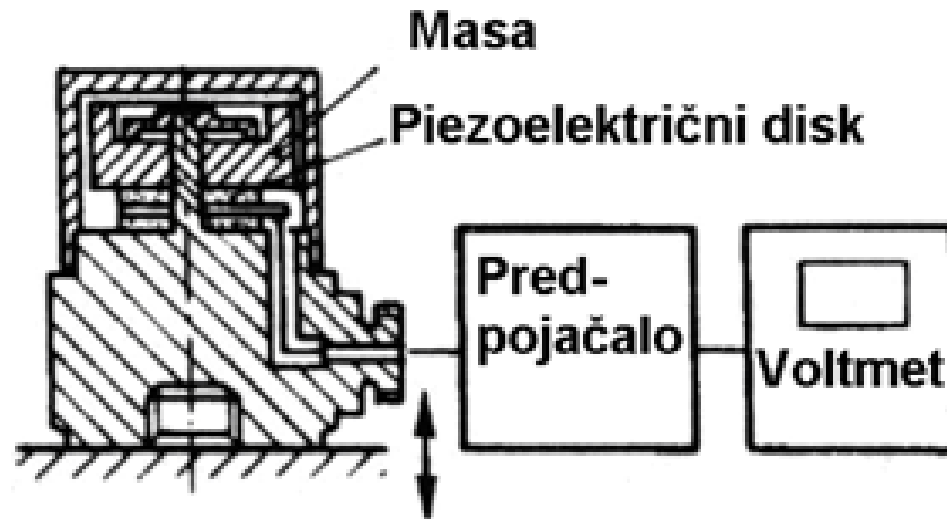
$$U = \frac{dpA}{\varepsilon \frac{A}{l}} = \frac{dpl}{\varepsilon}$$

Piezoelektrični akcelerometar

Ako se uvede oznaka $g = \frac{d}{\varepsilon}$ tada je napon između elektroda:

$$U = gpl$$

Vrijednosti g i d su karakteristike kristala. Najpoznatiji prirodni piezomaterijal je kvarc. Piezoelektrični senzori se koriste za mjerenje mehaničkih vibracija i zovu se piezoelektrični akcelerometri.

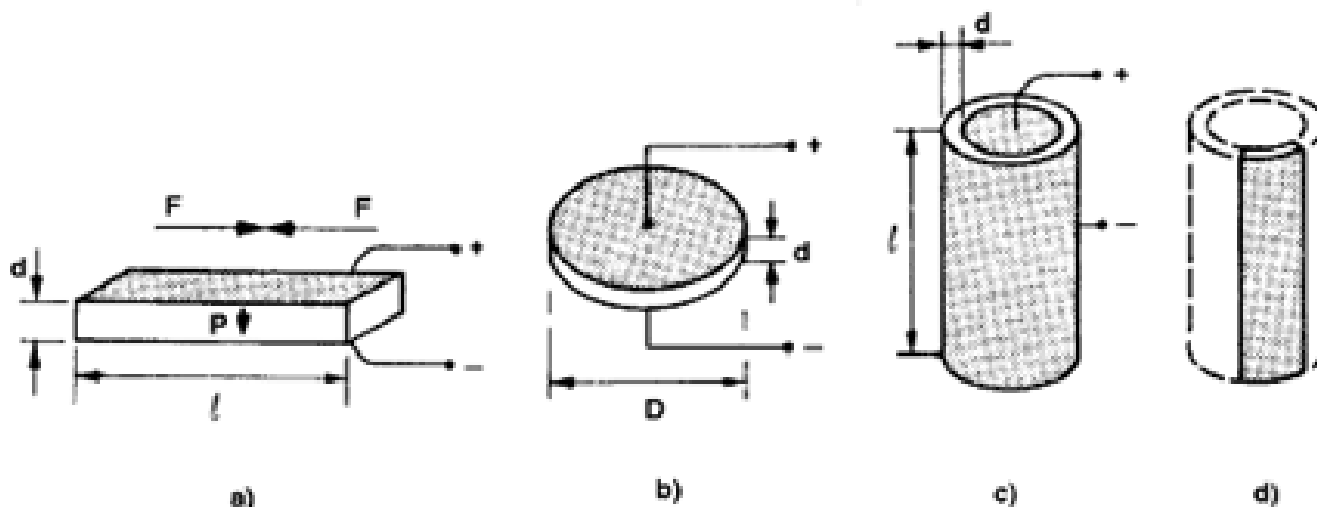


Slika 4.6 Piezoelektrični akcelerometar

Konstrukcija piezoelektričnog senzora

Prosti piezoelektrični senzor

Prosti piezoelektrični senzori se grade u obliku: prizme, diska, cilindra ili dijela cilindra.



Slika 4.7. Prosti piezoelektrični senzor:

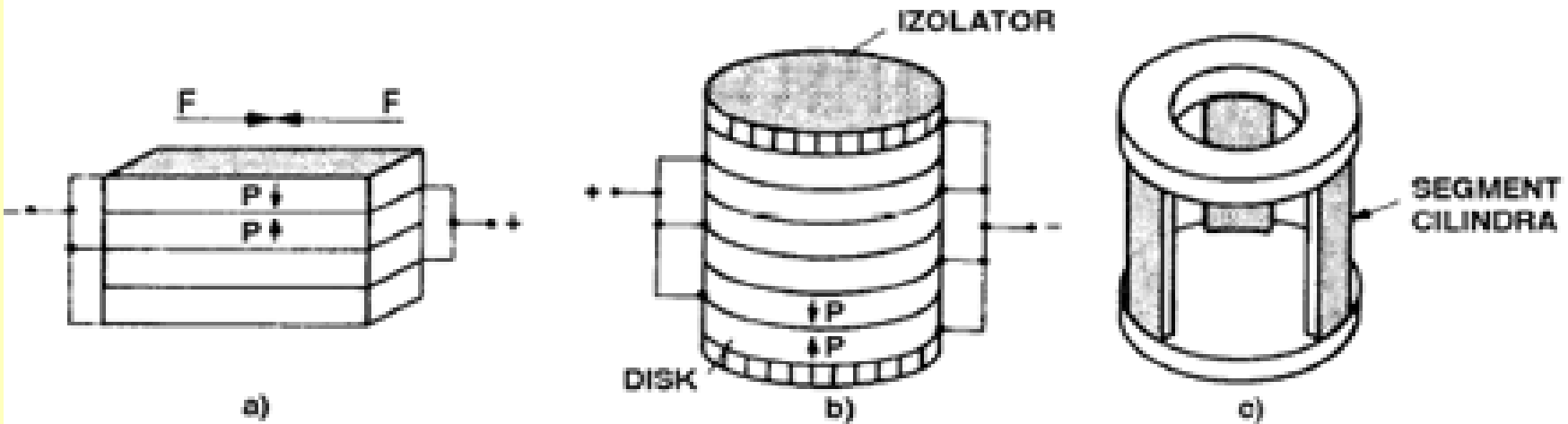
a) traka, b) disk, c) cilindar, d) uzdužni segment cilindra

Izlazni napon je pozitivan kada je prizma podvrgnuta sabijanju. Najveća osjetljivost je kada je maksimalan odnos l/d tj. kada je piezoelektrik u obliku

Opis konstrukcije piezoelektričnog senzora

- trake. Traka, naime, ima malu čvrstinu pa se lako lomi pod uzdužnim opterećenjem.
- Oblik diska je povoljniji u pogledu čvrstine. Površine diska se posrebruju kako bi kontakt između piezoelektrika i priključnih vodova bio što bolji.
- Najbolju čvrstinu ima senzor u obliku cilindra, ali ga je tehnološki najteže proizvesti. Potrebno je da poprečni presjek što manje odstupa od kružnog prstena i da debljina prstena bude jednaka po cijelom obimu.
- Uzdužni segment cilindra ima sva dobra svojstva cilindra i zbog zakrivljenosti je čvršći od trake.
- Nedostaci prostih piezoelektričnih senzora su mali izlazni napon i slaba mehanička čvrstina pa se grade višestruki ili složeni senzori (paralelno-serijsko spajanje više prostih piezoelektričnih senzora slika 4.8).

Lamelni, diskoidni i trosegmentni piezo senzor



Slika 4.8. Višestruki piezoelektrični senzor:
a) lamelni, b) diskoidni, c) trosegmentni

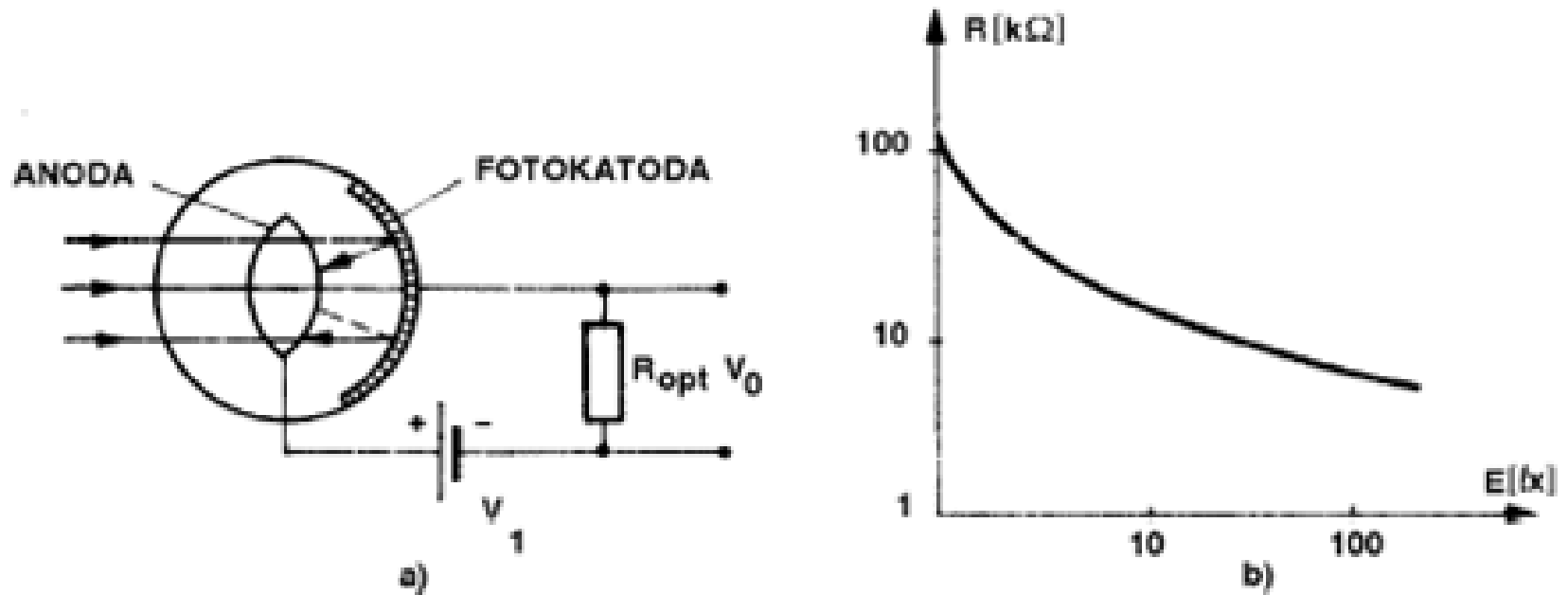
Fotoelektrični senzori

- Osnov rada ovih senzora zasniva se na promjeni parametara optičkog signala sa promjenom mjerene fizikalne veličine tj. prvenstveno se bazira na fizičkoj pojavi fotoelektričnog efekta.
- Fotoelektrični efekat može biti unutrašnji i vanjski.
- Vanjski fotoelektrični efekat karakteriše se time što djelovanjem svjetlosti na neke provodnike ili poluprovodnike dolazi do emitovanja elektrona.

Princip rada fotosenzora

- Fotokatoda ovih senzora prekrivena je slojem fotoemisionog materijala, čiji elektroni imaju mali izlazni rad. Kada se fotokatoda osvjetli monohromatskom svjetlošću talasne dužine apsorbovani foton predaje elektronu dovoljno energije da savlada energetska barijeru i sasvim napusti materijal.
- Pomoću vanjskog izvora fotoelektroni se dalje ubrzavaju između anode i katode i sakupljaju na anodi. Registrujuća fotostruja registruje se direktno ili kao pad napona na opteretnom otporu. Fotoni svjetlosti manje talasne dužine imaju veću energiju pa je pojava fotoemisije vjerovatnija. Zato se fotoelektrode prave od fotoemisionih materijala osjetljivih na vidljivu ili infracrvenu svjetlost.
- Ukoliko se pod djelovanjem svjetlosti na odgovarajuće materijale oslobađaju elektroni u unutrašnjosti materijala, onda je to unutrašnji fotoelektrični efekat. Efekat se sastoji u promjeni električnog otpora materijala na koji pada svjetlost. Nedostatak im je relativno velika vremenska konstanta $T > 50 \text{ms}$.

Princip rada fotooptičkog senzora

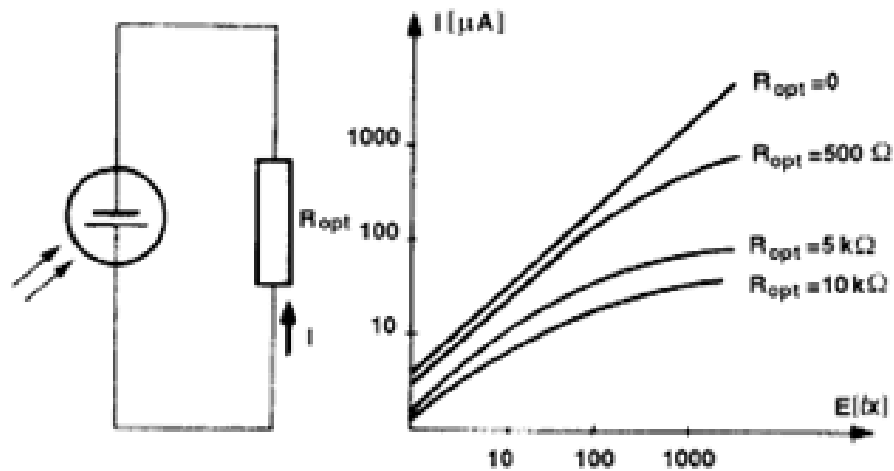


Slika 4.9. Princip rada optičkog senzora: a) sa fotoelektronskom emisijom, b) sa efektom fotoprovodnosti

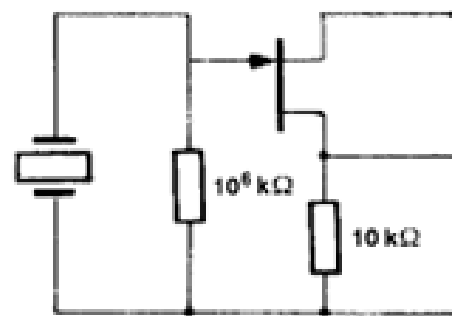
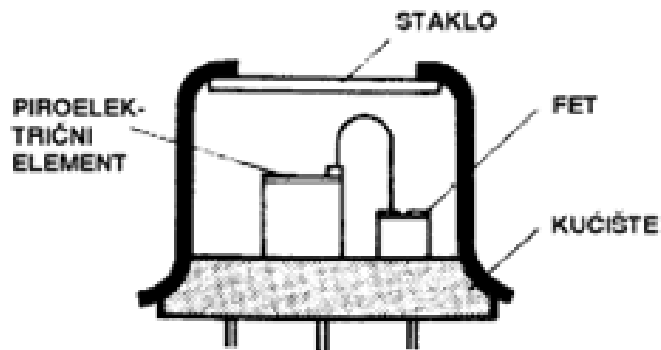
Fotoelementi

- Pretvaranje svjetlosne energije u električnu na principu fotoelektričnog efekta vrše pretvarači u zoni između poluprovodnika i metalne podloge na koju je nanesen fotemisioni sloj.
- To su aktivni senzori, jer se pod uticajem svjetlosti unutar p-n prijelaza javljaju slobodni elektroni i šupljne pa se generira ems. Pri tome se p-sloj ponaša kao anoda a n-sloj kao katoda.
- Tipičan fotonaponski element je solarna ćelija. Kada se fotonaponski element inverzno polariše pomoću vanjskog naponskog izvora, inverzna struja zasićenja postaje direktno proporcionalna jačini svjetlosti. Inverzna polarizacija ima veliku brzinu odziva. Predstavnici senzora koji rade na ovom principu su fotodiode i fototranzistori.
- Primjenjuju se u automatskoj regulaciji tehnoloških procesa, robotici,

Optički senzor: a) sa fotonaponskim efektom i tipičnom karakteristikom, b) sa piroelektričnim efektom i ekvivalentnom šemom



a)



b)

Termoelektrični senzori

- Mjerenje temperature zasniva se na termoelektričnom efektu. Princip je sljedeći: spoje se dvije žice, slika 4.11 napravljene od različitih materijala koji su elektroprovodnici. Jedan čvor npr. čvor (2) se grije na temperaturu T_2 , a drugi je na temperaturi T_1 .
- Kada su krajevi provodnika na različitim temperaturama $T_2 > T_1$ između njih nastaje toplotni tok od toplijeg prema hladnijem kraju. Prijenos toplote je, prema tumačenju kvantne teorije, usko povezan sa kretanjem slobodnih elektrona. Njihova koncentracija i pripadni potencijal neravnomjerno su raspoređeni duž provodnika, pa se javlja struja:

$$I_e = -K_e \frac{dU}{dx}$$

Istovremeno se javlja i struja zbog temperaturnog gradijenta:

$$I_z = -K_z \frac{dT}{dx}$$

K_e i K_z označavaju proporcionalnost struja I_e i I_z sa gradijentom potencijala, odnosno gradijentom temperature.

Znak minus upućuje na negativan prirast potencijala i temperature sa pozitivnim prirastom rastojanja duž provodnika. Kako nije zatvoreno niakvo vanjsko električno kolo, ukupna struja kroz provodnik je nula tj. $I_e + I_z = 0$ pa je:

$$dU = -\left(\frac{K_z}{K_e}\right)dT$$

Napon koji nastaje kao rezultat temperaturne razlike $T_2 - T_1$ između krajeva posmatranog provodnika naziva se termoelektrični napon, a njegova vrijednost se dobija integracijom jednačine:

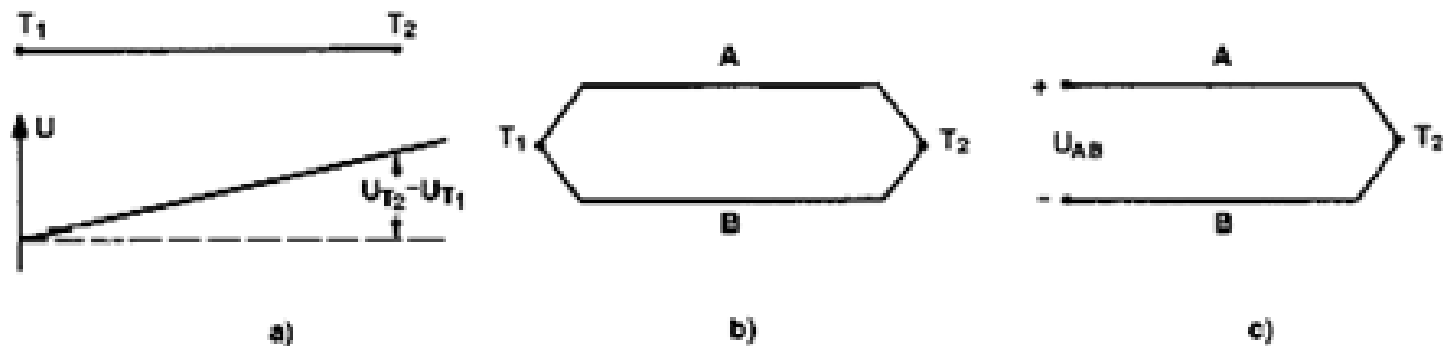
$$U_{\text{te}} - u_{\text{te}} = \int_{T_1}^{T_2} K dT$$

Termoelementi

Koeficijent $K = -\left(\frac{K_\varepsilon}{K_\sigma}\right)$ zavisi od svojstava materijala od kojeg je izrađen provodnik i temperature.

Za male promjene temperature može se smatrati da je:

$$U_{T_2} - U_{T_1} = K(T_2 - T_1)$$



Slika 4.11. Termoelektrični efekat: a) otvoreno termoelektrično kolo, b) zatvoreno termoelektrično kolo sa dva provodnika, c) otvoreno termoelektrično kolo sa dva provodnika

Termopar ili termoelement

- Termoelement ili termopar je uobičajeni naziv za termoelektrično kolo sastavljeno od dva provodnika napravljena od različitih materijala.
- Pri mjerenju temperature javlja se toplotna inercija. To je vrijeme potrebno da termoelement pri prenošenju sa sobne temperature $(15\div 20)^{\circ}\text{C}$ na temperaturu 100°C dostigne $(97\div 98)^{\circ}\text{C}$.
- Početna, odnosno konstantna temperatura T_0 ostvaruje se tako što se spoj stavlja u prostor konstantne temperature.
- Veza između posude i termoelementa mora biti takva da se ne unosi greška sistemom mjerenja. Ako se mjerenje vrši na većoj udaljenosti uvode se tzv. "kompenzacione" veličine, a vodiči moraju biti od materijala istih termoelektričnih svojstava kao i radni čvor termoelementa.