

# Merenja neelektričnih veličina električnim putem

- Šta želimo da merimo?
  - temperatura,
  - vlažnost,
  - istežanje,
  - pritisak,
  - pH vrednost,
  - protok,
  - ...
- Šta zapravo merimo:
  - napon,
  - struja.
- Kako merimo?
  - neelektrična veličina preslikava se na neki način u električnu,
  - pretvarač vrše preslikavanje,
  - pretvarač ima odgovarajuću, poznatu karakteristiku.

- **Pretvarač** (eng. *transducer*) je bilo koji uređaj koji pretvara energiju ili informaciju iz jednog oblika u drugi. Mogu biti:
  - mehanički, električni, magnetni, optički, hemijski, termički ili kombinovani.
- Električni pretvarač pretvara neku fizičku veličinu u električni signal koji se može meriti, pojačavati, prenositi i kontrolisati.
- Funkcija električnog pretvarača (senzora) je dvojaka:
  - da oseti (eng. *sense*) prisustvo, intenzitet i dinamiku fizičke veličine,
  - da pruži električni signal na izlazu koji kvantitativno odgovara posmatranoj ulaznoj fizičkoj veličini.
- Podele električnih pretvarača:
  - prema primeni,
  - na osnovu principa pretvaranja,
  - na osnovu potrebe za napajanjem - aktivni i pasivni,
  - analogni i digitalni.

- **Pasivni pretvarači:**

- fizička veličina menja jedan ili više električnih parametara (otpornost, kapacitivnost, induktivnost) pretvarača,
- zahtevaju spoljni izvor napajanja da bi generisali električni signal (napon ili struju) proporcionalan promenjenom električnom parametru senzora,
- npr. linearni potencimetri, termistori, ...

- **Aktivni pretvarači:**

- generišu odgovarajući električni signal bez potrebe za spoljnim izvorom napajanja,
- signal se generiše na osnovu ulazne fizičke veličine,
- npr. piezoelektrični kristal, termopar, fotoćelija, ...

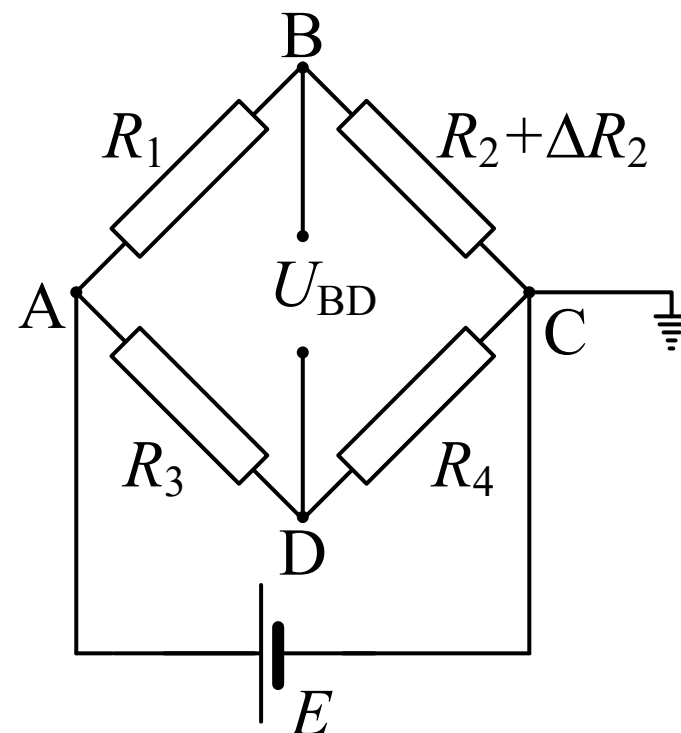
- **Pasivni** otpornički pretvarači:
  - otpornost pretvarača se menja u odnosu na ulaznu fizičku veličinu,
  - česti primeri: potenciometar, merna traka, otpornički termometar, ...
- Zasnivaju se na poznatim fizičkim zakonima koji opisuju promenu otpornosti u odnosu na promenu dužine, temperature, i sl.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$$

- Merenje promene otpornosti do koje dolazi usled promene fizičke veličine se može realizovati pomoću kola u vidu mosta (**neuravnoteženi Vitstonov most**).

- Služi za merenje promena otpornosti  $R_2$
- Može da bude napajan jednosmernom ili naizmeničnom strujom
- Često se upotrebljava pri merenju neelektričnih veličina



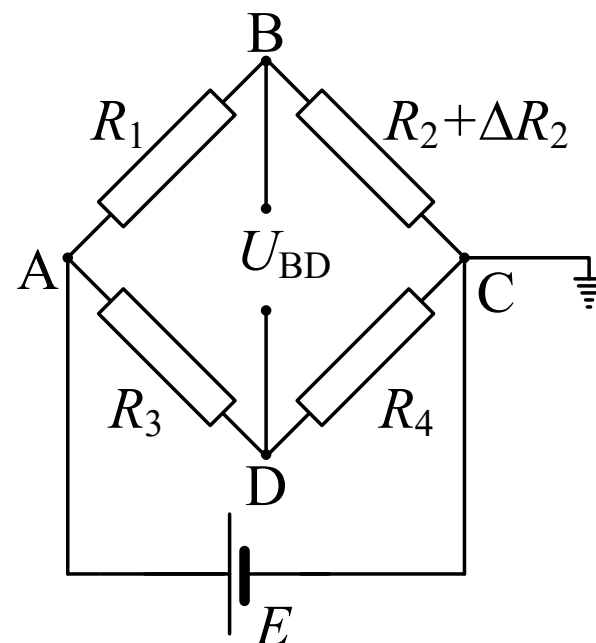
$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$$

$$U_{\text{DC}} = \frac{E}{2 \cdot R} \cdot R = \frac{E}{2}$$

$$U_{\text{BC}} = \frac{E}{2 \cdot R + \Delta R} \cdot (R + \Delta R)$$

$$U_{\text{BC}} = E \cdot \frac{1}{1 + \frac{R}{R + \Delta R}} = \frac{E}{1 + \frac{1}{1 + \delta}} = \frac{1 + \delta}{1 + \frac{\delta}{2}} \cdot \frac{E}{2}$$

$$\delta = \frac{\Delta R}{R}$$



$$f(\delta) = \frac{1}{1 + \frac{\delta}{2}}, f'(\delta) = -\frac{1}{\left(1 + \frac{\delta}{2}\right)^2} \cdot \frac{1}{2} \Rightarrow f'(0) = -\frac{1}{2}$$

$$f(\delta) \approx f(0) + \frac{f'(0)}{1!} \cdot \delta = 1 - \frac{\delta}{2}$$

$$\frac{1 + \delta}{1 + \frac{\delta}{2}} \approx (1 + \delta) \cdot \left(1 - \frac{\delta}{2}\right) \approx 1 + \frac{\delta}{2}$$

$$U_{BC} \approx \frac{E}{2} \cdot \left(1 + \frac{\delta}{2}\right)$$

$$U_{BD} = U_{BC} - U_{DC} \approx \frac{E}{4} \cdot \delta = \frac{E}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$



- Kompenzacija uticaja temperature (npr. pri merenju istezanja)
- Promenljive otpornosti se nalaze u susednim granama

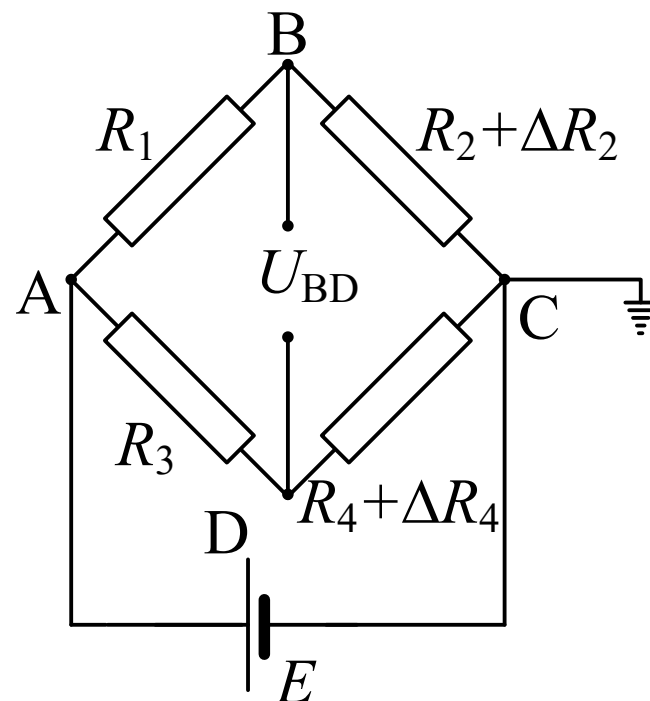
$$R'_2 = R_2 + \Delta R_2, \quad R'_4 = R_4 + \Delta R_4$$

$$U'_{BD} = U'_{BC} - U'_{DC} \approx \frac{E}{2} \cdot \frac{\Delta R_2 - \Delta R_4}{2 \cdot R + \Delta R_2 + \Delta R_4}$$

$$U'_{BD} \approx \frac{E}{2} \cdot (\delta_2 - \delta_4)$$

$$\delta_2 = \frac{\Delta R_2}{R_2}, \quad \delta_4 = \frac{\Delta R_4}{R_4}$$

$$\Delta R_2 = \Delta R_4 \Rightarrow U'_{BD} = 0$$

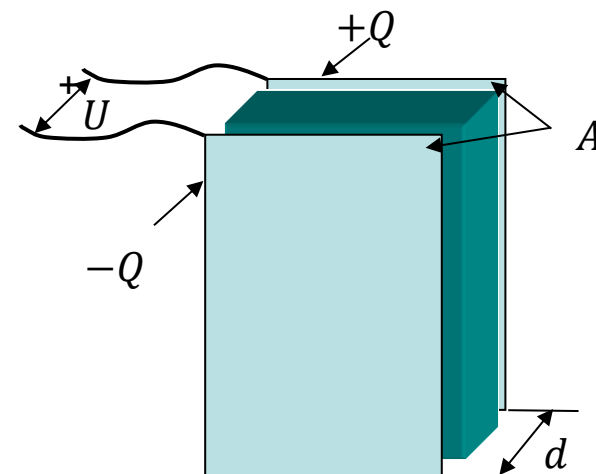


- **Kapacitivnost** pločastog kondenzatora zavisi od dielektrične konstante ( $\varepsilon$ ), debljine ( $d$ ) i površine ploča ( $A$ ):

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\varepsilon \cdot A}{d}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$$

$$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}, \text{ F/m}$$



- Promenom bilo kog od navedenih parametara, menja se i kapacitivnost posmatranog kondenzatora.
- Primeri: merenje pomeraja (linearnog i kružnog), nivoa tečnosti, akustičkog pritiska, ...

- Induktivni pretvarači mogu biti i aktivni i pasivni.
- Pasivni induktivni pretvarači zasnivaju se na promeni **induktivnosti** odnosno na promeni geometrije zavojnice ili pomeranju jezgra u odnosu na zavojnicu.

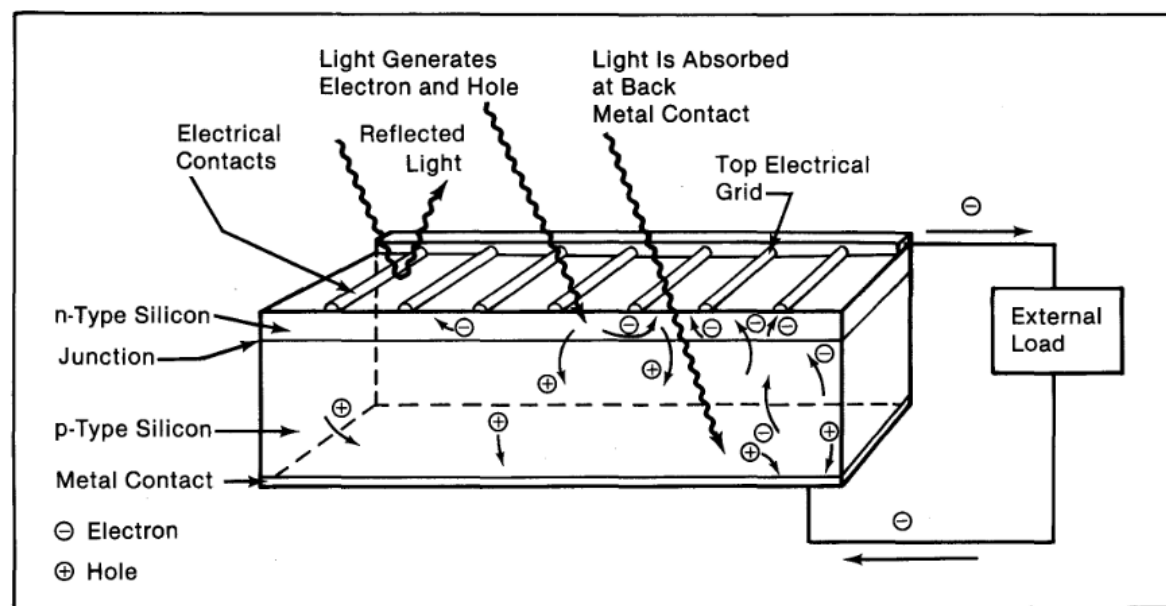
$$L = \frac{\mu_0 \mu_r AN^2}{l}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

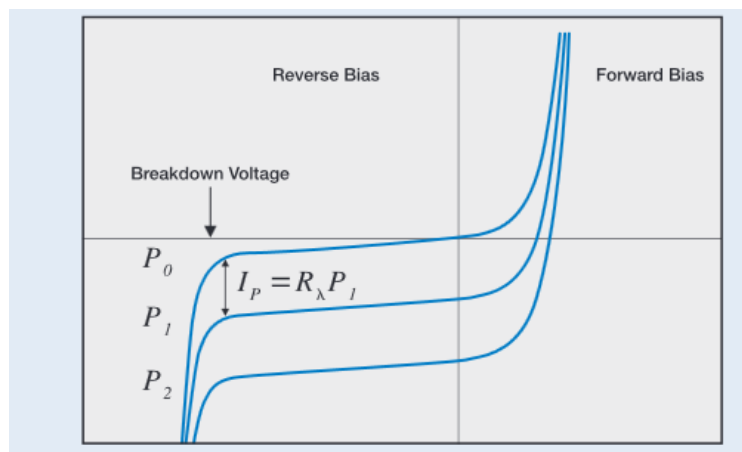


- Aktivni induktivni pretvarači zasnivaju se na **elektromagnetnoj indukciji** – promena magnetnog fluksa dovodi do indukcije elektromotorne sile – npr. rotiranje stalnog magneta unutar zavojnice ili rotiranje zavojnice unutar stalnog magneta.
  - npr. može da se koristi za merenje brzine

- Foto-cevi – fotoni oslobađaju elektrone sa foto katode (na osnovu fotoelektričnog efekta) koje potom privlači foto anoda i stvara se struja koja je proporcionalna intenzitetu zračenja.
- Foto-naponske ćelije (solarne ćelije) – aktivni pretvarači, stvaraju struju u prisustvu svetlosti.



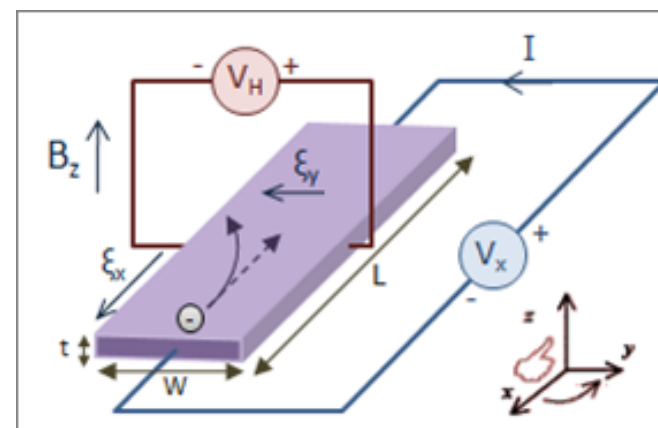
- Foto-provodne ćelije (fotoćelije) – pasivni pretvarači, menjaju (smanjuju) otpornost u prisustvu svetlosti usled povećanja provodnosti:
  - uobičajeno se koriste: CdS, TIS, CdSe, PbS
- Foto-diode:
  - u režimu inverzne polarizacije, struja zasićenja diode raste sa povećanjem intenziteta svetlosti koji je pogađa – fotoprovodni efekat,
  - u režimu direktne polarizacije, stvara se napon na krajevima diode koji raste sa povećanjem intenziteta svetlosti koji je pogađa – fotonaponski efekat.



- Foto-tranzistori.

- **Piezoelektrični** efekat – stvaranje naelektrisanja kao posledica delovanja mehaničkog pritiska/sile.
- Materijal (kristal) kod koga su izražena piezoelektrična svojstva (npr. kvarc) može da se koristi kao aktivni pretvarač – izložen delovanju (mehaničke) sile, na svojim krajevima stvara elektromotornu silu proporcionalnu primenjenom pritisku.
  - može da se koristi npr. kod akcelerometara,
  - ne može da se koristi za merenje statičkih veličina – ako nema promene mehaničke sile, elektromotorna sila biće jednaka nuli.
- Piezoelektrični materijali su često anizotropni.

- **Holov** (eng. *Hall*) pretvarač – poprečni izlazni napon u materijalu kroz koji teče struja varira kao posledica magnetnog polja u kome se materijal nalazi – **Lorencova** sila.
- Pogodniji su od klasičnih induktivnih pretvarača jer mogu da detektuju statička magnetna polja.
- Kao materijal koriste se najčešće:
  - galijum arsenid (GaAs),
  - indijum arsenid (InAs),
  - indijum fosfid (InP),
  - indijum antimonid (InSb),
  - grafen.
- Holovi pretvarači su linearni.



- Senzor mora biti prilagođen potrebama konkretnog merenja.
- Kriterijumi o kojima bi trebalo voditi računa obuhvataju:
  1. merni opseg: mora biti u skladu sa opsegom promene fizičke veličine,
  2. osetljivost: dovoljno osetljiv na promene ulazne fizičke veličine i dovoljno neosetljiv na druge fizičke veličine koje ne želimo da merimo,
  3. odziv: linearnost,
  4. tačnost,
  5. električni zahtevi: neophodna dužina kablova, odnos signal-šum,
  6. mogućnost upotrebe u različitim okruženjima: temperaturni opseg, pritisak, ...
  7. robusnost.



- Standardni merni opsezi koji se koriste u praksi:
  - od 4 mA do 20 mA,
  - od - 5 V do + 5V,
  - od -10 V do 10 V,
  - od 0 V do 10 V.
- Naponski signali su veoma osetljivi na smetnje i zbog toga se u industriji izlazi senzora uglavnom konvertuju na opseg od 4-20 mA

- Teme:
  - pH vrednost,
  - temperatura,
  - pritisak,
  - protok,
  - vlažnost,
  - ubrzanje i sila.
- Pretraga literature
- Opis fizičkih veličina
- Metode merenja
  - princip rada pretvarača,
  - prednosti i mane,
  - upotreba (gde se koristi).