

Zapiski za 2. kolokvij - 5. predavanje

Tilen Pintarič

9. januar 2023

Iztočnice

Piezouporovni učinek

Primarna in hkrati najbolj pomembna merilna zaznavala za merjenje neelektričnih mehanskih veličin so **piezouporovna merilna zaznavala**, ki temeljijo na **piezouporovnem merilnem učinku**.

Piezouporovni merilni učinek je sprememba električne upornosti polprevodnika ali kovine pri mehanski obremenitvi.

Za razliko od piezoelektričnega učinka **piezouporovni učinek** povzroči spremembo le v specifični električni upornosti, ne pa tudi v električnem potencialu merilnega zaznavala.



Blokovni prikaz merilnega zaznavala

Figure 1: piezouporovno merilno zaznavalo

Mehanska napetost, ki nastane npr. zaradi delovanja sile se prenese na piezouporovno merilno zaznavalo in povzroči spremembo električne upornosti zaznavala za ΔR .

Piezouporovni učinek kovin v splošnem temelji na dveh temeljnih fizikalnih zakonitostih in sicer:

- Hookovem zakonu iz mehanike,

- specifični električni upornosti iz elektrotehnike, ki izhaja iz Ohmovega zakona.

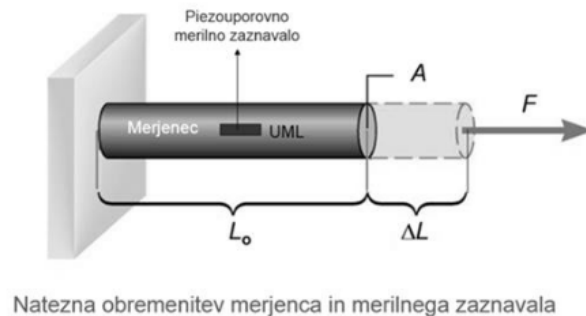


Figure 2: natezna obremenitev

Pomemben del v strukturi piezoporovnega merilnega zaznavala je **merilna mrežica zaznavala**, ki se nahaja na posebej tanki elastični podlagi ali nosilni membrani. V njo so vdeleni **mikro majhni piezoupori**, ki zagotavljajo generiranje izhodnih merilnih sestavov.

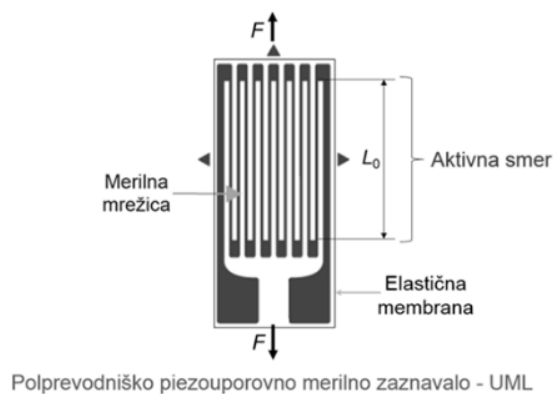


Figure 3: polprevodniško piezoporovno merilno zaznavalo

Piezoporovni učinek je odvisen od raztezka ali skrčka nosilne membrane na katero deluje mehanska obremenitev, ter od vrste in velikosti dopiranja polprevodnika.

Faktor občutljivosti K merilnega zaznavala predstavlja zvezo med spremembo električne upornosti na merilnem zaznavalu in specifično deformacijo:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K * \frac{\Delta L}{L_0} = K * \epsilon_L$$

Faktor občutljivosti merilnega zaznavala je funkcija uporovno-geometrijskih karakteristik uporovne žičke zaznavala.

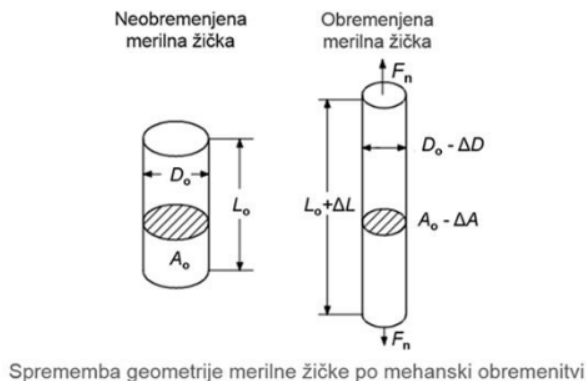


Figure 4: merilna žička

Sprememba izhodnega merilnega signala torej nastopi zaradi:

- Spremembe geometrije zaznavala $\frac{dL}{L}$
- Spremembe specifične električne upornosti $\frac{d\rho}{\rho}$

Občutljivost piezouporovnega merilnega zaznavala K je v splošnem definirana kot razmerje:

$$K = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\frac{\Delta L}{L_0}} = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\epsilon_L} = GF$$

Piezouporovna zaznavala

To so pasivna merilna zaznavala, ki za svoje delovanje potrebujejo kontrolirano tokovno napajanje.

Imenska upornost neobremenjenega merilnega zaznavala, je od 120 Ω do 1000 Ω .

Lastna frekvenca zaznaval je do 60 kHz, delovno frekvenčno območje je torej do 20 kHz (cca. 1/3 območja lastne frekvence).

Zaznavala so 50 do 100 krat bolj občutljiva od piezoelektričnih merilnih zaznaval.

Posebej težavno pri obdelavi merilnih signalov dobljenih z uporabo uporovnih merilnih lističev je upoštevanje **termičnega šuma**, ki je značilen za tanke električno prevodne žice. **Johnsonov termični** šum je elektronski šum, ki se v električnem vodniku pojavi zaradi temperaturno pogojenega nihanja prostih elektronov.

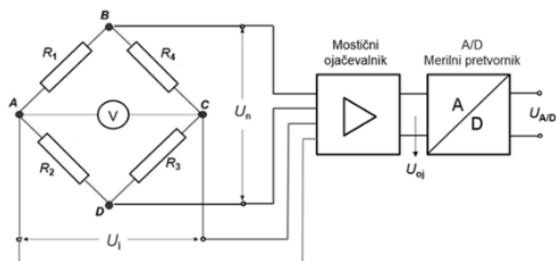
Merilna veriga pri uporabi piezouporovnih merilnih zaznaval



Poenostavljen blokovni prikaz merilne verige

Figure 5: merilna veriga

Piezouporovna merilna zaznavala ali uporovne merilne lističe vežemo v **Wheatstonovo mostično vezavo** ali **merilni mostič**.



Vezalna shema merilne verige

Figure 6: wheatstonov merilni mostič

V vsakdanji merilni praksi se uporabljata dve vrsti mostičnih ojačevalnikov in sicer: * Enosmerni ojačevalnik * Izmenični mostični ojačevalnik.

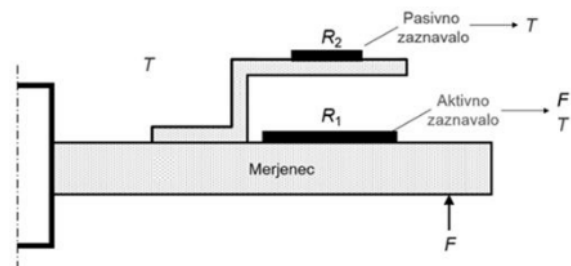
Enosmerni merilni mostični ojačevalniki so napajani z enosmerno napetostjo, imajo visoko stopnjo ojačenja signala ter so zelo občutljivi na elektromagnetne motnje.

Izmenični merilni mostični ojačevalniki so napajani z izmenično napetostjo, ki ima značilno nosilno amplitudno modulirano frekvenco 5 kHz.

Vpliv temperature na delovanje piezouporovnih merilnih zaznaval

Zaradi **samosegrevanja** uporovnega merilnega lističa se upornost na uporovnem merilnem lističu dodatno poveča, kar se pozna kot se dodatno **navidezno povečanje mehanske napetosti**.

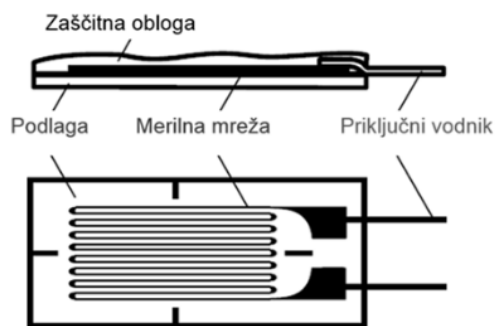
Pri piezouporovnih merilnih zaznavalih lahko nastane tudi temperaturno lezenje, ki ga moramo na ustrezen način kompenzirati.



Prikaz pasivne kompenzacije vpliva temperature

Figure 7: pasivna kompenzacija

Priprava ter namestitvev uporovnega merilnega lističa na merilno mesto



Uporovni merilni listič v prerezu

Figure 8: pritrditev lističa

Podlago najprej pripravimo - grobo in fino brušenje. Na merilni listič naneseemo lepilo in ga nalepimo na merilno mesto in ga začasno fiksiramo z lepilnim trakom, dokler se lepilo ne posuši. Nato pritrdimo še priključne vodnike in namestimo zunanjo zaščitno prevleko na merilno mesto.

Pri vodnikih moramo paziti, da ne pride do obremenitve le-teh, saj se lahko poškodujejo ali odtrgajo.

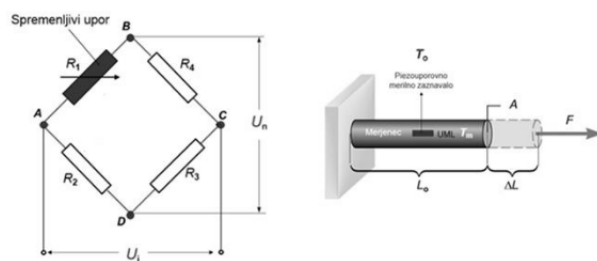
Vezava uporovnih merilnih lističev v merilno verigo

Četrtmostična vezava

V primeru, da je v Wheatstonovem merilnem mostiču uporabljen kot aktiven en sam merilni listič govorimo o četrtmostični vezavi.

Osrednji problem, ki je prisoten ob uporabi **četrtmostične vezave** uporovnega merilnega lističa, da so specifične deformacije zaradi mehanskih obremenitev in vpliva temperature **superponirane**.

Iz izmerjenega izhodnega merilnega signala je nemogoče ugotoviti vpliv posamezne mehanske obremenitve, ki deluje na merjenec.



Četrtmostična vezava uporovnega merilnega lističa

Figure 9: četrtmostična vezava

Polmostična vezava

V primeru, da sta dva uporovna merilna lističa kot aktivna prilepljena na merjenec govorimo o **polmostični vezavi** merilnih lističev.

Uporovna merilna lističa sta nalepljena na **nasprotnih straneh** merjenca in sicer **vzdolžno** v smeri delujoče sile.

Merjenec je simetričen glede na nevtralno os pri upogibu zaradi delujočega upogibnega momenta.

Polnomostična vezava

Pri **polnomostični vezavi** uporovnih merilnih lističev so vsi štirje lističi aktivni.

Dva merilna lističa sta nalepljena na **nasprotnih straneh** merjenca **vzdolžno** glede na smer delovanja osne sile ter pozicionirana **eden nad drugim**. Druga dva merilna lističa sta nalepljena na **nasprotnih straneh** merjenca in sicer v **prečni smeri** glede na osne sile.

Vpliv osne sile in termičnih raztezkov zaradi temperaturne spremembe pa je izničen ali kompenziran.

polnomostična vezava

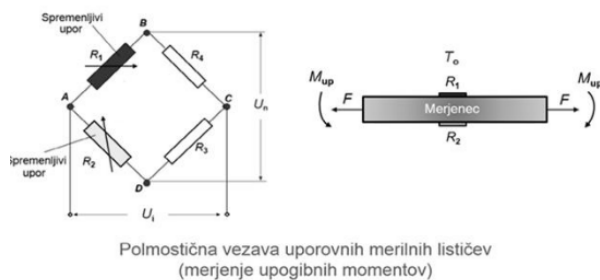


Figure 10: polmostična vezava

Vprašanja in odgovori

V sliki in besedi pojasnite pojem piezouporovnega učinka ter na kratko komentirajte temeljne razlike med piezoelektričnimi ter piezouporovnimi merilnimi zaznavali.

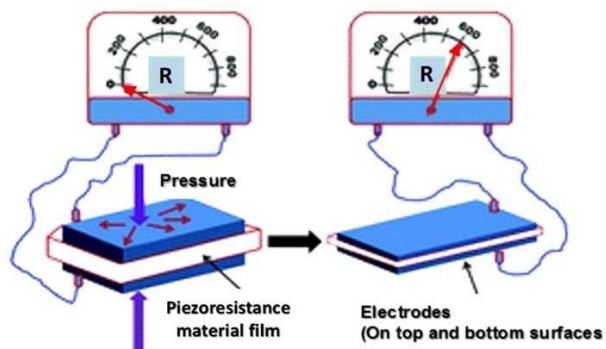


Figure 11: piezouporovni učinek skica

Piezouporovni merilni učinek je sprememba električne upornosti polprevodnika ali kovine pri mehanski obremenitvi.

Piezouporovni učinek - spremeni samo specifično električno upornost, katero lahko zaznamo le, če merilnik napajamo z zunanjim napajanjem.

Piezoelektrični pa spremeni še električni potencial merilnega zaznavala - generira izmerljivo električno napetost brez zunanjega napajanja.

Kako je določimo občutljivost uporovnih merilnih lističev pri merjenju mehanskih nateznih napetosti? Ponazorite to tudi s skico.

Občutljivost piezouporovnega merilnega zaznavala K je v splošnem definirana kot razmerje električne upornosti in raztezka:

$$K = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\frac{\Delta L}{L_0}} = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\epsilon_L} = GF$$

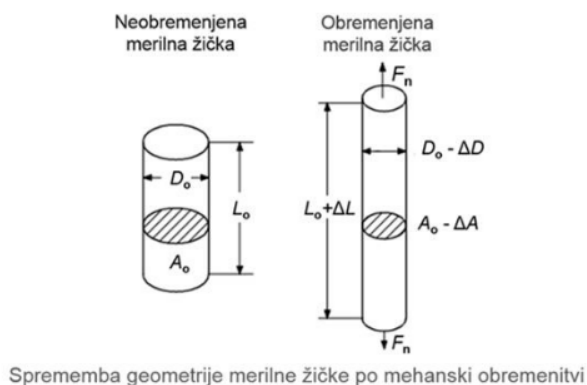


Figure 12: merilna žička

Na kratko pojasnite pomen in definicijo termičnega šuma.

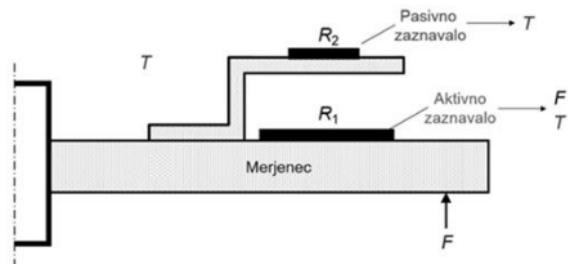
Johnsonov termični šum je elektronski šum, ki se v električnem vodniku pojavi zaradi temperaturno pogojenega nihanja prostih elektronov, ki je značilen za tanke električno prevodne žice.

Pojasnite kakšen vpliv ima temperatura ter napajanje na izhodno napetost uporovnega merilnega lističa.

Zaradi **samosegrevanja** uporovnega merilnega lističa se upornost na uporovnem merilnem lističu dodatno poveča, kar se pozna kot se dodatno **navidezno povečanje mehanske napetosti**.

V sliki in besedi komentirajte možnosti za temperaturno kompenzacijo uporovnih merilnih lističev.

Lahko kompenziramo po računski poti ali s preizkusi.

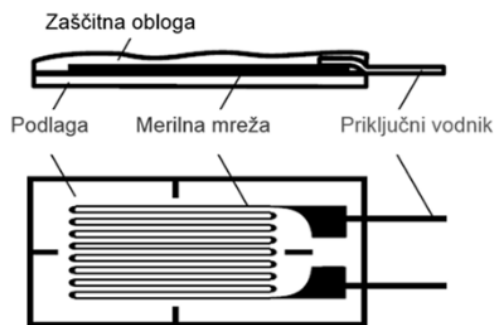


Prikaz pasivne kompenzacije vpliva temperature

Figure 13: pasivna kompenzacija

V sliki in besedi pojasnite kakšen pomen ima namestitve uporovnih merilnih lističev na merilno mesto.

Merilni listič mora biti fiksno nameščen na merilno mesto, da ne pride do napak pri merjenju (listič se premakne ali delno odpade). Pri vodnikih moramo paziti, da ne pride do obremenitve le-teh, saj se lahko poškodujejo ali odtrgajo.

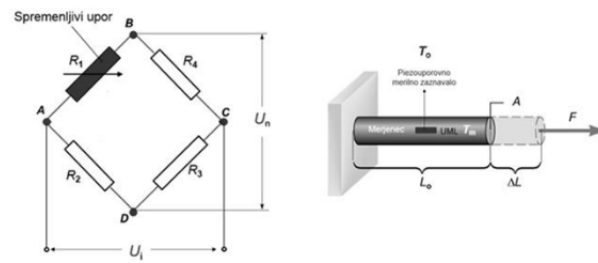


Uporovni merilni listič v prerezu

Figure 14: pritrditev lističa

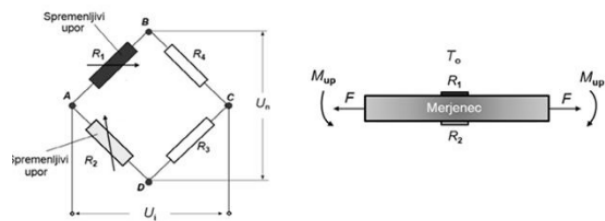
Narišite shemo merilne verige za četrtmostično vezavo uporovnega merilnega lističa pri merjenju natezne napetosti ter zapišite in komentirajte pripadajoči merilni model.

Narišite shemo merilne verige za polmostično vezavo uporovnih merilnih lističev pri merjenju upogibnih momentov ter zapišite in komentirajte pripadajoči merilni model



Četrtmostična vezava uporovnega merilnega lističa

Figure 15: četrtmostična vezava



Polmostična vezava uporovnih merilnih lističev (merjenje upogibnih momentov)

Figure 16: polmostična vezava