

9 SENZORJI

- 9.1 UVOD
- 9.2 SENZORJI S SPREMEMBO UPORNOSTI
- 9.3 SENZORJI S SPREMEMBO KAPACITIVNOSTI
- 9.4 SENZORJI S SPREMEMBO INDUKTIVNOSTI
- 9.5 SENZORJI S SPREMEMBO NAPETOSTI

9.1 UVOD

Obstoja več možnih načinov razvrstitve senzorjev v različne razrede : glede na merjeno veličino(meritev temperature, tlaka itd.), glede na namen (meritev nivoja ali pretoka tekočine itd.), glede na tehnologijo (polprevodniški, tankoplastni itd.), in še druge razdelitve. Za naše namene bomo senzorje razvrstili v razrede glede na električno veličino, ki se v senzorju spreminja pod vplivom spremembe opazovanega parametra. Tako pridemo do naslednjih vrst senzorjev oz. načinov zaznavanja:

- senzorji s spremembo upornosti (uporovno zaznavanje)
- senzorji s spremembo kapacitivnosti (kapacitivnostno zaznavanje)
- senzorji s spremembo induktivnosti (induktivnostno zaznavanje)
- senzorji s spremembo napetosti (napetostno zaznavanje)

V nadaljevanju bo podan pregled nekaterih pogostejših tipov senzorjev.

9.2 SENZORJI S SPREMEMBO UPORNOSTI

V tem primeru je senzor kar nek upor, ki se mu zaradi spremembe merjenega parametra spremeni ohmska upornost. V nadaljevanju bo podan kratek opis pogostejših tipov tovrstnih elementov.

9.2.1 SENZOR POMIKA

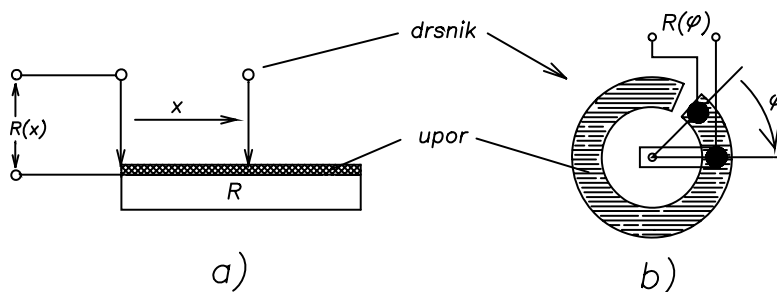
Senzor pomika za premo in rotacijsko gibanje prikazuje Sl 9.1. V principu je senzor tu kar nek linearni oz. rotacijski potenciometer, katerega drsnik je povezan s predmetom, katerega pomike zaznavamo. Zveza med pomikom Δx oz. zasukom $\Delta\phi$ in pripadajočo spremembo upornosti sensorja ΔR je zaradi linearne odvisnosti upora od njegove dolčine podana z enostavno linearno zvezo

$$\Delta x = K_1 \Delta R$$

$$\Delta\phi = K_2 \Delta R$$

Equation Section 9(9.1)

Iz tega osnovnega sensorja pomika lahko enostavno izpeljemo tudi mnoge druge vrste senzorjev, npr. senzor debeline, pozicije, senzor sile (ob uporabi protivzmeti), hitrosti (diferenciramo pomik), pospeška (diferenciramo hitrost), frekvence, zvoka itd.



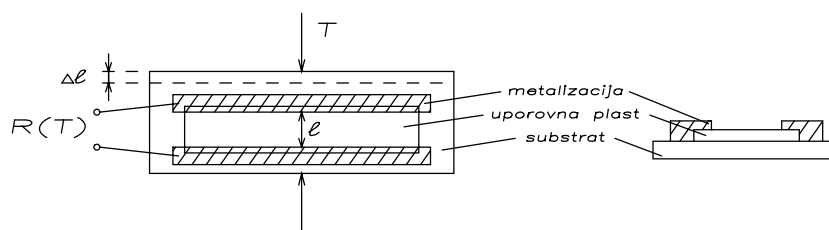
SI 9.1 Uporovni senzor pomika za premo(a) in krožno(b) gibanje

9.2.2 SENZOR MEHANSKE NAPETOSTI

Senzor mehanske napetosti (Strain Gauge) služi za zaznavanje mehanskih napetosti oz. sil in deformacij. Strukturo teh senzorjev, ki so v praksi običajno izvedeni v obliki tankih lističev, prikazuje SI 9.2: na primernem substratu je izvedena neka uporovna struktura. Ti merilni lističi se s posebnimi lepili trdno prilepijo na merjeno telo (npr. lopatice neke turbine) in se zato pod vplivom obremenitve deformirajo (krčijo ali raztezajo) skupaj z merjencem. Zaradi mehanske obremenitve se torej merilnemu lističu spremeni geometrija (dolžina, širina, debelina) in posledica tega je sprememba upornosti ΔR sensorja. Pri ne prevelikih obremenitvah veljajo linearne zveze med obremenitvijo T , deformacijo Δl in spremembo upornosti ΔR

$$T = K_1 \Delta l = K_2 \Delta R \quad (9.2)$$

Namesto enostavnih ohmskih uporovnih materialov nastopajo včasih polprevodniški uporovni materiali. Pri takih senzorjih je občutljivost ($\Delta R/\Delta T$) precej večja zaradi dodatnih sprememb upornosti, ki so posledica spremembe specifične upornosti polprevodniškega materiala z obremenitvijo. Negativna lastnost polprevodniških senzorjev mehanskih napetosti pa je večja temperaturna odvisnost upornosti polprevodniškega materiala, kar pokvari ali vsaj oteži meritve.



SI 9.2 Uporovni senzor mehanskih napetosti

V nadaljevanju bodo na kratko opisane še nekatere vrste senzorjev, katerim je skupno, da izkoriščajo odvisnost ohmske upornosti v določenih materialih od ustreznih zunanjih parametrov.

9.2.3 TEMPERATURNI SENZOR

Osnova tega sensorja je upor iz materiala, ki se mu upornost spreminja s temperaturo. Primeri takih materialov so bili obravnavani v pogl.II, npr. pri žičnih uporih, termistorjih itd. Osnovni princip meritve prikazuje SI 9.3a. Proizvajalec običajno poda zvezo med upornostjo elementa in njegovo temperaturo $T(R)$, največkrat tabelarično ali grafično, včasih tudi analitično. Z meritvijo ohmske upornosti sensorja po tej zvezi torej direktno določimo temperaturo sensorja in s tem tudi temperaturo njegovega okolja

$$T = T(R) \quad (9.3)$$

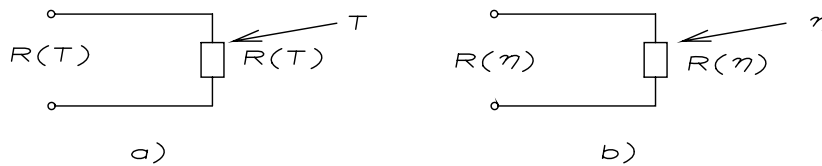
9.2.4 KEMOSENZORJI

Kemosenzorji služijo za detekcijo in določevanje koncentracij raznih kemijskih spojin. Pri tem izkoriščamo dejstvo, da je specifična upornost nekaterih materialov odvisna od prisotnosti oz. koncentracije določenih snovi. Znan tak primer je npr. odvisnost specifične upornosti nekaterih soli od relativne vlage η v ozračju, kar omogoča realizacijo uporovnega senzorja vlage (SI 9.3b). Meritev ohmske upornosti R tega senzorja ob podani karakteristiki omogoča direktno določitev relativne vlage η

$$\eta = \eta(R) \quad (9.4)$$

Analogno potekajo tudi meritve v primeru določevanja koncentracij spojin C pri drugih vrstah kemosenzorjev

$$C = C(R) \quad (9.5)$$

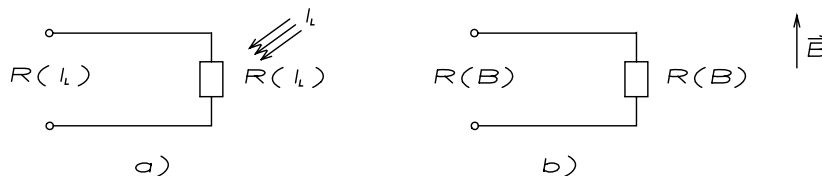


SI 9.3 Uporovni temperaturni senzor(a) in kemosenzor(b)

9.2.5 FOTOUPOR

Senzor svetlobnega in drugega sevanja lahko izvedemo z uporom iz materiala, ki se mu spreminja upornost v odvisnosti od osvetlitve I_L (SI 9.4a). Znani primeri takih materialov so polprevodniki, v katerih pride ob vpadu fotonov do generacije prostih elektronov in vrzeli ter s tem do upadanja upornosti osvetljenega materiala. S pomočjo podane karakteristike fotoupora $R(I_L)$ in meritve njegove upornosti lahko enostavno določimo neznano osvetlitev

$$I_L = I_L(R) \quad (9.6)$$



SI 9.4 Fotoupor(a) in poljska plošča(b)

9.2.6 POLJSKA PLOŠČA

Poljska plošča (Field Plate; Feld Platte) je senzor gostote magnetnega pretoka B . V bistvu gre za upor iz materiala, ki se mu specifična upornost spreminja z magnetnim poljem (Sl 9.4b). Z znano karakteristiko elementa $R(B)$ in meritvijo njegove upornosti določimo vrednost magnetnega polja

$$B = B(R) \quad (9.7)$$

9.3 SENZORJI S SPREMEMBO KAPACITIVNOSTI

V tem primeru je senzor nek kondenzator, ki se mu zaradi spremembe vrednosti opazovanega parametra spremeni kapacitivnost. V skladu z osnovno enačbo za kapacitivnost

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (9.8)$$

nastopijo lahko spremembe kapacitivnosti zaradi spremembe dielektričnosti ali debeline dielektrika ter površine plošč. Nekaj tipičnih zgledov bo opisanih v nadaljevanju.

9.3.1 SENZOR NIVOJA

S spreminjanjem nivoja tekočine (sl.6a) se spreminja dielektrik v kondenzatorju in zato njegova kapacitivnost. Z meritvijo kapacitivnosti ob znani ali umerjeni karakteristiki senzorja $C(h)$ določimo nivo tekočine

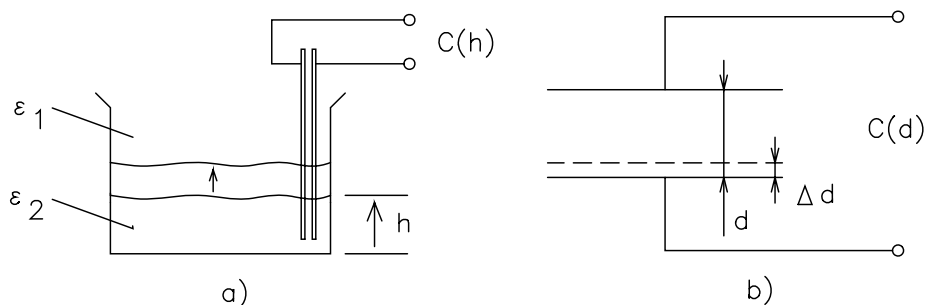
$$h = h(C) \quad (9.9)$$

9.3.2 SENZOR POMIKA

Kapacitivnostni senzor pomika prikazuje Sl 9.5b : ena od plošč kondenzatorja je gibljiva in povezana s predmetom, katerega premik merimo. Zaradi premika predmeta se torej enako premakne plošča kondenzatorja, s tem se spremeni debelina dielektrika in tudi kapacitivnost. Z meritvijo spremembe kapacitivnosti ΔC lahko torej določimo pomik Δd , bodisi s pomočjo podane ali izmerjene karakteristike $\Delta d(\Delta C)$ bodisi kar s pomočjo en(9.10)

$$d = \frac{\varepsilon A}{C} \quad \text{oz.} \quad \Delta d = -\frac{\varepsilon A}{C^2} \Delta C \quad (9.10)$$

Podobno, kot je bilo že podano pri uporavnem senzorju pomika, lahko tudi v tem primeru izvedemo iz sensorja pomika še izpeljanke (senzor debeline, pozicije, hitrosti, pospeška, sile, frekvence itd.).



SI 9.5 Kapacitivnostni senzor nivoja(a) in pomika(b)

9.4 SENZORJI S SPREMEMBO INDUKTIVNOSTI

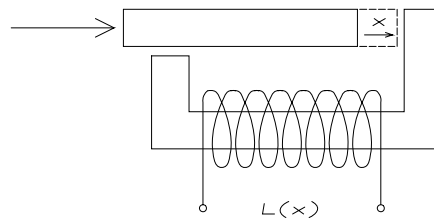
Senzor je v tem primeru neka tuljava z jedrom. Zaradi spremembe vrednosti opazovanega parametra se spremeni geometrija in s tem induktivnost tuljave.

9.4.1 SENZOR POMIKA

Senzor pomika prikazuje SI 9.6. Pri tej izvedbi je feritno jedro pritrjeno na predmet, katerega pomike zaznavamo. S pomikom se torej spremeni reža v jedru in s tem induktivnost (pogl. IV.3). Z meritvijo spremembe induktivnosti ΔL in podano ali izmerjeno karakteristiko sensorja lahko določimo pomik X

$$X = X(\Delta L) \quad (9.11)$$

Tudi v tem primeru lahko iz sensorja pomika izvedemo še ostale izpeljanke (senzor debeline, pozicije, sile, hitrosti, pospeška itd.).



SI 9.6 Induktivnostni senzor pomika

9.5 SENZORJI S SPREMEMBO NAPETOSTI

V tem primeru se zaradi spreminjanja vrednosti opazovanega parametra na izhodu senzorja pojavi ustrezna električna napetost. Senzorji največkrat to napetost generirajo samostojno brez zunanje napetostnega vira, s pretvorbo zunanje energije v električno preko nekega efekta (npr. elektromagnetna indukcija, piezoelektričnost, fotovoltaičnost, kontaktni potenciali itd.). Nekateri senzorji, kot npr. Hallov generator, pa potrebujejo za svoje delovanje dodaten zunanji napetostni vir.

9.5.1 INDUKTIVNI SENZOR POMIKA

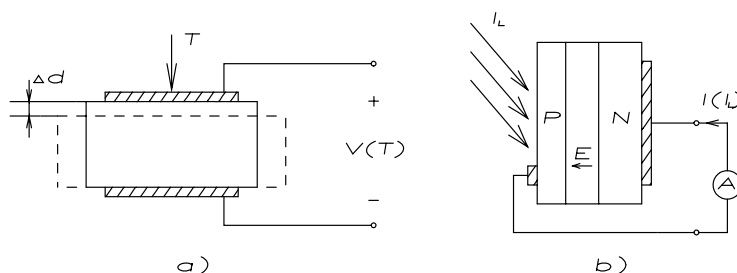
Senzor je v osnovi enak če opisanemu (SI 9.6), le da v tem primeru registriramo inducirano napetost, ki se pojavi kot posledica spremembe magnetnega pretoka zaradi premika jedra in s tem spremenjene reče v jedru (gl. pogl.IV.3!).

9.5.2 PIEZOELEKTRIČNI SENZOR POMIKA

Pri mehanski deformaciji piezoelektričnega kristala (SI 9.7a) se pojavi zaradi piezoelektričnega pojava na elektrodah električna napetost, proporcionalna obremenitvi oz. deformaciji. Piezoelektrični efekt je podrobneje obravnavan v pogl.V.2. S pomočjo podane ali izmerjene karakteristike senzorja lahko iz izmerjene napetosti V določimo mehansko obremenitev T oz. deformacijo Δd

$$\begin{aligned} T &= T(V) \\ \Delta d &= \Delta d(V) \end{aligned} \tag{9.12}$$

Predstavljeni piezoelektrični element lahko torej uporabimo kot senzor mehanske sile in pritiska, deformacije ter kot senzor pomika in ustreznih izpeljank (gl. Uporovno zaznavanje -Senzor pomika !).



SI 9.7 Piezoelektrični senzor pomika(a) in fotosenzor(b)

9.5.3 FOTOLENZAOR

Strukturo fotosenzorja prikazuje SI 9.7b. V osnovi je to neka PN struktura oz. dioda, v kateri se pod vplivom vpadle svetlobe generirajo prosti nosilci naboja. Električno polje v osiromašenem področju PN spoja te svetlobno generirane nosilce pospešuje preko spoja in tako povzroči tok fotosenzorja, sorprocionalen osvetlitvi. Isti strukturi pravijo včasih tudi fotodioda ali fotoelement, v primeru večjih površin elementov pa tudi sončna celica.

S pomočjo podane ali izmerjene karakteristike fotosenzorja lahko z meritvijo toka I določimo neznanu osvetlitev I_L

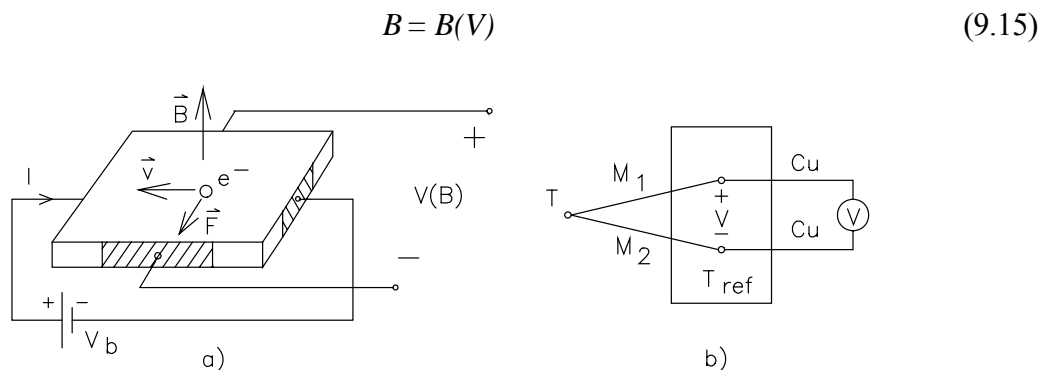
$$I_L = I_L(I) \quad (9.13)$$

9.5.4 HALLOV GENERATOR

Strukturo Hallovega generatorja, ki se lahko uporablja kot senzor gostote magnetnega pretoka B , prikazuje SI 9.8a : gre za ploščico prevodnega materiala z nanešenimi štirimi elektrodami ob straneh elementa. Pri tej vrsti senzorja je potreben zunanji izvor napetosti V_b , ki vzdržuje tok elementa I . Kot prikazuje SI 9.8a, deluje na gibajoče se elektrone z nabojem $(-q)$ v magnetnem polju sila

$$\vec{F} = -q\vec{v} \times \vec{B} \quad (9.14)$$

Ta sila povzroči zanašanje nabojev v prečni smeri, kot prikazuje Sl 9.8a. Zaradi tega kopičenja nabojev na eni strani elementa se pojavi med stranskima elektrodama električna napetost V , med drugim odvisna od gostote magnetnega pretoka B . S pomočjo podane ali izmerjene karakteristike Hallovega senzorja lahko z meritvijo napetosti V določimo neznano velikost gostote magnetnega pretoka B



SI 9.8 Hallov generator(a) in termoelement(b)

9.5.5 TERMOELEMENT

Meritev temperature s termoelementom prikazuje Sl 9.8b. Ta senzor temperature izkorišča pri svojem delovanju dejstvo, da se na spoju med dvema različnima prevodnima materialoma vzpostavi potencialna razlika oz. napetost, ki je odvisna od obeh materialov ter od temperature, na kateri se nahaja spoj med obema materialoma. S pomočjo podane ali izmerjene karakteristike termoelementa $\Delta T(V)$ ter meritve njegove napetosti V torej lahko določimo razliko med neznano temperaturo spoja T in referenčno temperaturo T_{ref} , na kateri se nahajajo kontakti termoelementa z merilno napravo ali, kadar so, s kabli za podaljšanje

$$T - T_{ref} = \Delta T(V) \quad (9.16)$$

Ker so materiali za termoelemente običajno dragi in dosegljivi v omejenih količinah (npr. čista platina Pt/platina z dodatkom rodija Rh, kombinacije nikel-krom NiCr itd.), običajno žice termoelementa podaljšujemo z bakrenimi, čim pridejo iz vročega področja merjenja (Sl 9.8b). Pri tem je treba paziti, da so spoji med žico termoelementa in bakra na popolnoma enaki temperaturi, sicer pride do dodatne neznanе generacije napetosti tudi na teh spojih in natančnost meritve ustrezno pade. Pri praktičnih meritvah je to največkrat zagotovljeno s tem, da se spoji termoelementa s podaljški nahajajo v toplotno izolirani posodi z mešanico vode in ledu, torej pri 0°C .

REFERENCE

- 1) Lenk
- 2) J.P.Holman, "Experimental methods for engineers", McGraw-Hill, 1984.
- 3) K.S.Lion, "ELEMENTS OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC INSTRUMENTATION", McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., 1975.
- 4) J.Furlan, osebni zapiski
- 5) H.Ahlers, J.Waldmann, "Mikroelektronische Sensoren", VEB VERLAG TECHNIK BERLIN, 1989.
- 6) K.H.Härdtl, editor, "Proceedings of EUROSENSORS IV", Elsevier, Sensors and Actuators B, Vol.4, 1991.
- 7) "Optoelectronic Semiconductors and Sensors", SIEMENS, 1988.