Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo
Tržaška 25
61000 Ljubljana

Senzorji in pretvorniki – laboratorijske vaje

Leon Kos, 4. letnik, Avtomatika – Robotika

28. november 1995

1 Naloga

Merilniku tlaka, ki uporablja senzor krvnega tlaka PS 102 firme *Iskra Hipot*, izmerite izhodno karakteristiko. Tlak spreminjajte z vodnim manometrom od 0 do 17.7 kPa (od 0 do 1810 mm vodnega stoplca). Iz karakteristike ugotovite velikost pogreškov (ničelna napetost, nelinearnost, histerezo, spremembo občutljivosti), če se izhodna napetost pri idealni karakteristiki spreminja od 0 do 2.5 V. Določite razred točnosti merilnika pri danih pogojih merjenja:

Karakteristika senzorja

- vhodna napetost $7.5V$
- izhodna napetost $0..11.25mV \pm 1\% dosega$
- delovno območje $-40 do + 40 kPa \quad (-300 do + 300 mmHg)$
- ničelna napetost $\pm 0.5 mV max., \pm 0.1 mv$ tipično
- temp. koef. občutljivosti $\pm 14 Pa/°C (\pm 0.1 mmHg/°C$
- izolacijska upornost $> 10000V$
- temeraturno območje $0 - 70°C$

Podatki o instrumentacijskem ojačevalniku

- Ojačanje 500 in lezenje ojačevalnika $3\mu V/°C$

Pogrešek odčitka zaradi omočitve $0.5mm$

Pogrešek zaradi spremembe položaja merjenja Teža je sila s katero Zemlja privlačuje telesa. Določena je z maso m telesa in zemeljskim pospeškom g. Teža ni konstantna, ampak se spremminja s spremembo zemeljskega pospeška, ki se spreminja od ekvatorja do polov od 9.87 do $9.82m/s^2$. Na zemljepisnem vzporedniku, kjer se nahaja slovenija ta znaša $g = 0.80665$ m/s^2. Najlažje se temu posgrešku izognemo tako, da za izračun uporabljamo tiusi težni pospešek, ki je izračunan za kraj merjenja. V prvem primeru izračuna točnosti uporabimo težni pospešek za Slovenijo s pogreškom, ki upošteva $\pm 5°$ zemljepisnega vzporednika ($M_g = \pm 0.003m/s^2$), v drugem primeru pa zajamemo maksimalni pogrešek težnega pospeška ($M_g = \pm 0.025m/s^2$).

Pogrešek zaradi temperature razteznosti vode oz. dilatacij

β kubični temperaturni razteznostni koeficient ($\beta_{H_2O}(20°C) = 0.00038K^{-1}$)

V_0 prostornina pri $20°C$

V Prostornina po spremembi temperature

ρ_0 gostota pri $20°C$, ($\rho_0 = 998.004kg/m^3$)

ρ gostota po spremembi temperature

E_ρ absolutni pogrešek gostote vode

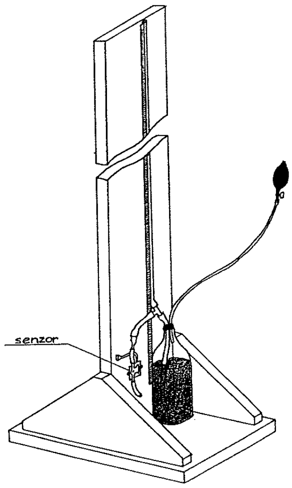
ΔT sprememba temperature

Referenčni pogoji

- temperatura $20°C \pm 5°C$
- položaj merjenja – Slovenija $\pm 5°$ zemeljskega vzporednika
- točnost nastavitve senzorja $\pm 1mm$

2 Rezultati

Ker imajo merilniki tlaka, zaradi zgradbe merilnika lastnost pomika ničle in mehanskega spomina je za pravilno meritev upoštevati tudi histerezo. Zato je bilo potrebno meriti dosmerno, enkrat z višanjem tlak, drugič nižanjem. Slika 1 prikazuje skico referenčne naprave s katero je možno dajati referenčni tlak.



Slika 1: Skica naprave za dajanje referečnega tlaka

Po metodi najmanjčih kvadratov izračunamo regresijsko premico z naslednjimi vsotami:

$$n = 34$$

$$\sum x = 34020$$

$$\sum x^2 = 42232200$$

$$\sum y = 49.549$$

$$\sum y^2 = 88.233$$

$$\sum xy = 61034$$

iz katerih lahko izračunamo enačbo regresijske premice po enačbi

$$Y - \bar{y} = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum(x-\bar{x})^2}(X - \bar{x}) \tag{1}$$

h /mm	tlak / V znižujemo	tlak / V zvišujemo	$U_{idealna}$ /V	$U_{regresije}$ /V	E_{nelin} /mV	E_{hist} /mV
200	0.328	0.337	0.276	0.338	61	-1
300	0.468	0.475	0.414	0.478	61	-3
400	0.611	0.617	0.552	0.617	65	0
500	0.748	0.754	0.619	0.757	135	-3
600	0.889	0.953	0.829	0.897	124	56
700	1.032	1.055	0.967	1.037	88	18
800	1.196	1.174	1.105	1.177	69	-3
900	1.309	1.313	1.243	1.317	70	-4
1000	1.450	1.455	1.381	1.457	74	-2
1100	1.590	1.594	1.519	1.596	75	-2
1200	1.732	1.733	1.657	1.736	76	-3
1300	1.874	1.880	1.796	1.876	84	4
1400	2.010	2.020	1.934	2.016	86	4
1500	2.160	2.150	2.072	2.156	78	-6
1600	2.290	2.290	2.210	2.296	80	-6
1700	2.440	2.440	2.348	2.435	92	5
1810	2.590	2.590	2.500	2.589	90	1

Tabela 1: Izmerjene in izraųnane lastnosti merilnika tlaka

kjer je $\bar{y} = 1/n \sum y$ in $\bar{x} = 1/n \sum x$, kar da enačbo premice

$$Y = \frac{2.5311}{1810} X + 0.0581$$

ali

$$U_{reg} = \frac{2.5311}{1810} h + 0.0581 \qquad [V] \tag{2}$$

Iz enačbe (2) je razvidno, da je pogrešek ničelne napetosti

$$E_{U_0} = 58.1 mV$$

in pogrešek občutljivosti

$$S = \frac{2.5311 - 2.5}{1810} = \frac{0.0311}{1810}$$

V tabeli 1 so podane izračunani pogreški nelinearnosti in histereze.

Maksimalni pogrešek nelinearnosti

$$E_{nelinearnosti} = \frac{\Delta U}{=} 135 mV$$

$$e_{nelinearnosti} = \frac{\Delta U}{U_{max}} = \frac{135 mV}{2.5 V} 100\% = 5.4\%$$

Maksimalni histerezni pogrešek

$$E_{histereze} = 56 mV$$

$$e_{histereze} = \frac{\Delta U_{max}}{U_{max} - U_0} = \frac{56 mV}{2.590 V - 0.338 V} 100\% = 2.52\%$$

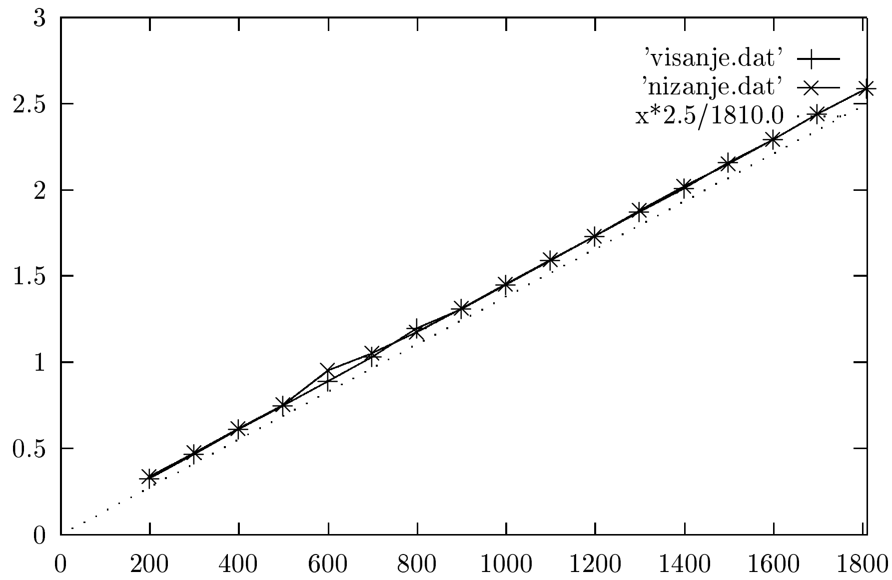
Slika 2 prikazuje karakteristiko merilne naprave. Razvidno je, da je histerezna napaka majhna, bistvena pa je napaka ničelne napetosti, ki bi jo lahko korigirali z nastavitvijo ničle instrumenta.

Pogrešek zaradi temperaturne razteznosti vode

$$p = \rho g h \tag{3}$$

je osnovna enačba tlaka v posodi. Sprememba volumna zaradi temperature je

$$dV/V = \beta (T - T_0)$$



Slika 2: Karakteristika merilne naprave

$$\Delta V = V\beta\Delta T$$

kar lahko zapišemo tudi za spremembo višine, saj je

$$\Delta V = \Delta h A = \Delta h \frac{\pi d^2}{4}$$

kar nam da spremembo višine zaradi temperaturne spremembe v obliki enačbe

$$\Delta h = h\beta\Delta T \tag{4}$$

Za $\pm 5°C$ temperaturne spremembe in najvičji višini vodnega stoplca $h = 1880mm$ je sprememba višine

$$\Delta h = 1810mm \cdot 0.00038K^{-1} \cdot 5K = 3.43mm \tag{5}$$

Največja skupna sprememba višine, ki upošteva pogrešek odčitka zaradi omočitve, točnost nastavitve senzorja in pogrešek zaradi temperaturne razteznosti je

$$\Delta h_{max} = 0.5mm + 1mm + 3.43mm = 4.93mm$$

Če ne upoštevamo spremembo gostote vode, lahko zapišemo napako tlaka pri spremembi $\pm 5°$ zemeljskega vzporednika kot:

$$dp = \rho\left(\frac{\partial p}{\partial g}dg + \frac{\partial p}{\partial h}dh\right) = \rho(h\ dg + g\ dh) \tag{6}$$

ali če računamo s končno majhnimi razlikami

$\Delta p = \rho(h\Delta g + g\Delta h) = 998.004 kg/m^3 (1.810 \cdot 0.003 + 9.80665 \cdot 0.00493) = 53.66 Pa$

Ali če upoštevamo maksimalni pogrešek težneka pospeška

$$\Delta p_{max} = 93.4 Pa$$

Relativna sprememba tlaka in njen pripadajoči relativni pogreček je

$$m_p = \frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta p}{\rho g h} = \frac{93.4}{998.004 \cdot 9.80665 \cdot 1.81} = 0.005 = 0.5\% \qquad (7)$$

Iz zgornjega rezultata vidimo, da je sistematična napaka lahko največ 0.5%. Tako so napake merilne naprave predvsem zaradi karakteristike senzorja. Iz izmerjene karakteristike lahko tudi neposredno določimo razred merilne naprave $r = 0.5\% + 5.4\% \leq 6$