

AUTOMATSKI SISTEM ZA MERENJE TERMALNIH PARAMETARA OTPORNIH TEMPERATURNISKIH SENZORA

Dragan Stanković i Miodrag Zlatanović
Elektrotehnički fakultet, Beograd

Sadržaj U radu je opisan automatizovani meri sistem za snimanje statičkih naponsko-strujnih ($V-I$) karakteristika različitih tipova otpornih senzora. Razvijen je algoritam koji korišćenjem snimljenih karakteristika automatski izračunava vrednost disipacione konstante. Softverski paket je primenljiv za veći broj različitih tipova senzora sa strujno kontrolisanom $V-I$ karakteristikom. Eksperimenti su vršeni sa NTC termistorima, metalnim filmskim i žičanim senziorima, kao i sa silicijumskim temperaturnim senziorima. Rezultati snimanja $V-I$ karakteristika silicijumskih otpornih senzora sa pozitivnim temperaturnim koeficijentom pokazuju da se ovi senzori mogu uspešno koristiti kao pretvarači za merenje brzine vazduha kada se od senzora očekuje rubusnost i relativno velika vremenska konstanta.

1. UVOD

Disipaciona konstanta K (mW/K) senzora brojno je jednaka snazi potrebnoj da se temperatura senzora poveća za 1K. U stanju termalne ravnoteže važi relacija

$$P = I \cdot V = K(T - T_a) \quad (1)$$

gde je $P = I \cdot V$ disipirana snaga, T/K temperatura senzora i T_a/K temperatura okoline. U literaturi [1] se termalne karakteristike senzora često opisuju i toplotnom otpornošću $R_t(K/mW)$ koja predstavlja recipročnu vrednost disipacione konstante, $R_t = 1/K$.

Imajući u vidu da različite veličine utiču na vrednost disipacione konstante, neophodno je pri njenom merenju tačno specificirati uslove okruženja. Izraz (1) važi uz pretpostavku strogog važenja Njutnovskog tipa hladjenja ili zagrevanja. Uzimajući u obzir da u realnom senzoru postoji gradijent temperature, kao i da postoje svi vidovi prenosa toplote, (provođenje, strujanje i zračenje) veličina K ce

predstavlja u potpunosti konstantu već ima određeno povećanje sa porastom temperature.

Da bi se odredila disipaciona konstanta jednog otpornog senzora potrebno je poznavati njegovu otpornu karakteristiku $R(T)$ i izvršiti snimanje $V(I)$ karakteristike u fluidu i pri uslovima u kojima se određuje i disipaciona konstanta. U slučaju NTC termistora, $R(T)$ karakteristika ima oblik

$$R(T) = R(T_a) \exp(B/T_a - B/T) \quad (2)$$

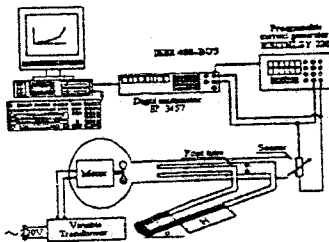
gde je $T = T_a + P/K$, a B je termistorska konstanta. Formula (2) može se prikazati u obliku

$$\alpha \left[\ln \frac{R(T)}{R(T_a)} \right]^{-1} = \frac{T_a}{B} \left(1 + \frac{T_a K}{P} \right)$$

Ako se prikaže dijagram $(\ln R/R_a)^{-1}$ u zavisnosti od P^{-1} , nagib krive će iznositi $T_a K$ [2]. Sličan postupak je primenljiv kod ostalih otpornih senzora.

2 APARATURA

Eksperimentalna merenja vršena su uz pomoć aparature automatizovane primenom IEEE 488 interfejsa koji predstavlja najšire rasprostranjen sistem u laboratorijskim računarski vođenim merenjima. Kao kontrolna jedinica koristi se PC računar sa IEEE 488 interfejs karticom (National Instruments). Ovaj interfejs omogućuje uz pomoć standardizovanog protokola upravljanje većim brojem instrumenata pomoću odgovarajuće GIPB magistrale (IEEE-standard 488-1978) [3]. Kao periferni instrumenti korišćeni su programabilni strujni generator Keithley 220 i digitalni multimetar HP 3457, sl.1. Merenje disipacione konstante je vršeno u mirnom vazduhu i pri vazдушnom strujanju.



Sl.1 Merni sistem za snimanje statičkih $V-I$ karakteristika otpornih senzora.

Vazdušno strujanje je ostvareno pomoću turbine sa promenljivim brojem obrta u cevi prečnika 12 cm. Brzina vazduha je kontinuirano regulisana u opsegu od 0m/s do oko 10m/s. Vazdušnu turbinu je pokretao kolektorski motor koji je napajan iz autotransformatora. Kao etalon brzine korišćena je Pitoova cev sa nagnutim "U" manometrom punjenim alkoholom.

3. REALIZACIJA EKSPERIMENTA

Koristeći aparaturu na sl.1, snimane su naponsko strujne karakteristike sledećih senzora a) NTC termistora, b) anemometarskih senzora na bazi ugrevane žice i ugrevanog filma i c) silicijumskog senzora sa pozitivnim temperaturnim koeficijentom (PTC) tipa KTY (Siemens), koji radi na principu tzv. "šireće otpornosti"[4]. Kod svih ispitivanih senzora prethodno je izvršeno merenje $R(T)$ karakteristike koja je izražena u analitičkoj formi. Merenje izvršeno je u uljnom kupatilu sa platinskim termometrom kao etalonom. U slučaju NTC termistora $R(T)$ karakteristika je izražena eksponencijalnim izrazom (2). Parametar B dobijen je iz $R(T)$ karakteristike prikazane u linearizovanom obliku uz pomoć metode najmanje sume kvadrata. Karakteristike anemometara i silicijumskog PTC senzora prikazane su parabolom drugog reda. Svi analitički izrazi su odstupali og eksperimentalnih rezultata za manje od 1%.

Statička naponsko strujna karakteristika je snimana polazeći od početnih uslova $I=0$, $V=0$, $T=T_a = 293K$. Struja iz strujnog generatora je skokovito povećavana za konstantni iznos definisan na početku eksperimenta. Nakon skokovite promene struje, voltmetar vrši veći broj merenja napona u unapred određenom vremenskom taktu.

Uzastopno izmerene vrednosti napona se međusobno porede u cilju određivanja trenutka uspostavljanja termičke ravnoteže, odnosno izjednačavanja generisane i odate toplotne snage.

Na početnom delu karakteristike strujni skokovi su relativno mali, pa je snaga u prvih 3 do 5 tačaka zanemarljiva. Otuda $V-I$ karakteristika u početnom delu ima oblik prave linije sa nagibom $\Delta V/\Delta I = R(T_a)$. Merenja na početnom delu karakteristike obavljaju se brzo, nezavisno od vrednosti vremenske konstante senzora. Nakon određene struje $V-I$ karakteristika postaje nelinearna jer dolazi do značajnijeg porasta temperature senzora. To se ispoljava pojavom da relativna razlika uzastopno izmerenih napona postaje veća od unapred zadate vrednosti (na pr. 0,1%). Nakon što kontroler detektuje znatnije zagrevanje on povećava dva puta periodu u kojoj se očitava napon, i merenje se dalje nastavlja.

Trajanje opisanog postupka dobijanja statičkih $V-I$ karakteristika NTC termistora zavisi od a) vremenske konstante senzora, b) od broja tačaka u kojima se merenje vrši, i c) od preciznosti sa kojom se određuje trenutak nastanka termičke ravnoteže. Pri unapred definisanim zahtevima opisani postupak ima najmanje moguće trajanje što je posebno poželjno kada se vrši snimanje većeg broja senzora. Pogodnost razvijenog algoritma orijentaciono poznavanje vremenske konstante senzora (red veličine).

U oblasti $V-I$ karakteristike desno od naponskog maksimuma karakteristike ima mali negativni nagib. Ova pojava se praktično koristi za stabilizaciju napona u kolima koja rade na višim frekvencijama. U ovom delu snimanje $V-I$ karakteristike može se ubrzati povećanjem strujnih skokova za faktor 2 do 4 puta, bez smanjenja preciznosti merenja.

4. NAČINI ZAŠTITE SENZORA

Pri ručno vođenim snimanjima $V-I$ karakteristika nekih otpornih senzora kao što su žičani anemometri ili minijaturni NTC termistori često dolazi do oštećenja, odnosno pregorevanja senzora usled kratkotrajnog premašenja maksimalno dozvoljene struje ili napona. Automatizovani metod snimanja u velikoj meri otklanja opasnost oštećenja senzora. Vrsta zaštite zavisi pre svega od tipa ispitivanog senzora. Oštećenje NTC termistora moguće je ako se u oblasti nakon naponskog maksimuma prekorači najveća dozvoljena struja

I_m Ekperimentalna ispitivanja pokazuju da u oblasti struje $I < 1.5 \cdot I_m$ ne postoji opasnost od oštećenja termistora. Zbog toga softverski paket predviđa da se detektuje struja pri naponskom maksimumu za svaki pojedini termistor i za sve uslove u kojima se merenje vrši. Prekid snimanja se automatski događa

Kod silicijumskih PTC otpornih senzora najviša dozvoljena temperatura iznosi 130°C , [4] Pri toj temperaturi otpornost se povećava oko dva puta u poređenju sa otpornošću na sobnoj temperaturi. Prekid snimanja karakteristike događa kada se ispuni uslov $R > 2 \cdot R(25)$.

5 REZULTATI EKSPERIMENTATA

Ispitivana su dva uparena NTC termistora kod kojih su merenjem dobijeni sledeći podaci: $R(298\text{ K}) = 2250\Omega$ i $B = 3910\text{ K}$. Jedan od termistora bio je bez zaštitnog sloja, dok je drugi postavljen u malu staklenu cev i zatopljen epoksijem. Odgovarajuće V-I karakteristike snimljene u mirnom vazduhu prikazane su na sl.2. Kriva 1 odgovara termistoru bez zaštite, a kriva 2 termistoru sa zaštitnim slojem. Na bazi ovih dijagrama snimljene su P-ΔT karakteristike, sl.2b. Dobijeni podaci se dobro aproksimiraju pravim linijama 1 i 2 iz kojih se dobija vrednosti disipacionih konstanti $K_1 = 3.60\text{ mW/K}$, i $K_2 = 4.69\text{ mW/K}$, respektivno.

Na Sl. 3a prikazana je V-I karakteristika anemometra na bazi niklenog filma (DISA) nominaln otpornosti $R(20^\circ\text{C}) = 10\Omega$. Snimanje je takođe izvršeno u mirnom vazduhu.

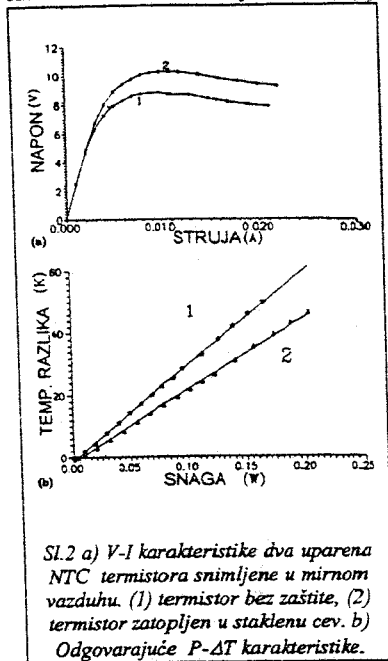
Na sl.3.b prikazane su V-I karakteristike PTC silicijumskog senzora KTY (Siemens) snimljene pri tri različite brzine strujanja vazduha. U opsegu temperatura -30°C do 130°C karakteristika ovog senzora se prikazuje izrazom,

$$R(t) = R(25^\circ\text{C})[1 + \alpha(t - 25^\circ\text{C}) + \beta(t - 25^\circ\text{C})^2]$$

gde su $R(25^\circ\text{C}) = 2000\Omega$, $\alpha = 7.68 \cdot 10^{-3}(\text{K}^{-1})$, $\beta = 1.88 \cdot 10^{-5}\text{K}^{-2}$

Prikazani su podaci za tri vrednosti brzine vazduha $v_1 = 0\text{ m/s}$, $v_2 = 2\text{ m/s}$, i

$v_3 = 8\text{ m/s}$. Analizom dobijenih dijagrama



Sl.2 a) V-I karakteristike dva uparena NTC termistora snimljene u mirnom vazduhu. (1) termistor bez zaštite, (2) termistor zatopljen u staklenu cev. b) Odgovarajuće P-ΔT karakteristike.

pokazuje se da silicijumski senzori predstavljaju anemometrijske senzore sa 50 do 100 puta većom osetljivošću od konvencionalnih senzora na bazi ugrejane žice ili metalnog filma. Ovo je posledica sledećih činjenica; a) silicijumski senzor ima oko dva reda veličine veću nominalnu otpornost od žičanih senzora, i b) linearni koeficijent silicijuma je oko 50% veći. Analizom dijagrama na sl.3 mogu se ustanoviti sledeće činjenice.

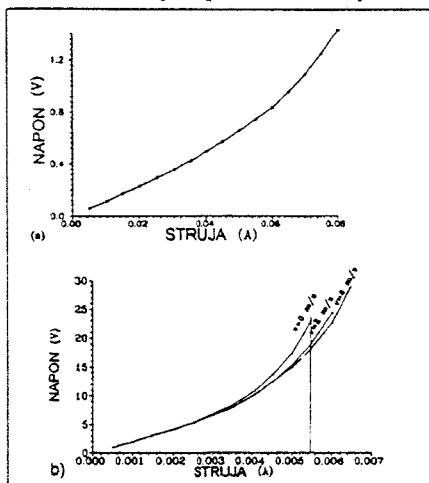
Za slučaj radne prave sa veoma velikim nagibom (strujni generator), srednja naponska osetljivost S (Vs/m) ima sledeće vrednosti: u opsegu $v = (0\text{ m/s do } 2\text{ m/s})$, $S = 2.1\text{ Vs/m}$, opsegu $v = (2\text{ m/s do } 8\text{ m/s})$, $S = 0.15\text{ Vs/m}$.

Silicijumski senzor KTY 11 razvijen je kao senzor temperature. Njegova vremenska konstanta iznosi oko 11s što je osetno više u poređenju sa vremenskom konstantom žičanih anemometara.

Oblasti potencijalnih primena silicijumskih senzora kao anemometara bila bi u slučaju gde je velika vremenska konstanta pogodna (merenje srednjih brzina vazduha). S obzirom na približno ovalni oblik kućišta senzor je neosetljiv na promenu smera vazdušnog strujanja. Kao bitne prednosti ovog senzora, pored visoke osetljivosti, je i njegova robusna konstrukcija i relativno niska cena.

6. ZAKLJUČAK

U radu je opisana merna aparatura



Sl.3a) Statička V-I karakteristika anemometra na bazi ugrejanog niklenog filma. b) V-I karakteristike silicijumskog PTC senzora pri tri vrednosti brzine strujanja vazduha.

automatizovana primenom IEEE 488 interfejs sistema. Aparatura je namenjena snimanju statičkih V-I karakteristika više različitih tipova

otpornih senzora. Na bazi izmerenih podataka automatski se izračunava vrednost disipacione konstante senzora u datom fizičkom okruženju. Proučavajući V-I karakteristiku silicijumskog otpornog senzora KTY (Siemens) pokazano je da se ovaj senzor može uspešno iskoristiti za merenje brzine vazduha.

7 LITERATURA

- [1]. Smith, O. "Thermistors: Part I and Part II", *Rev. scient. Instrum.*, Vol. 21, pp. 344, 351, 1950.
- [2]. Hyde, F., *Thermistors 1*, Iliffe Books, London, 1971.
- [3]. Radnai R., Kingham, E. Jones, *Instrument Technology, Automatic Instruments and Measuring Systems 1*, Butterworths, London, 1986.
- [4]. Silicon Temperature Sensors and Pressure Sensors, *Databook*, Siemens Aktiengesellschaft, 1990/91

Zahvalnica

Autori sa zahvalnošću ističu doprinos njihovih bivših studenata na razvoju softverskog paketa i na izvodenju eksperimenata.

Abstract The results of automatic recording of current - voltage characteristics of NTC thermistors, nickel anemometer sensors and PTC silicon temperature sensors were presented. It has been shown that PTC silicon temperature sensors are practically very suitable for air speed measurements.

COMPUTER CONTROLLED SYSTEM FOR MEASURING VOLTAGE-CURRENT CHARACTERISTICS OF VARIOUS RESISTIVE SENSORS.

Dragan Stanković i Miodrag Zlatanović