

## ALGORITAM ZA IZRAČUNAVANJE TOPLOTNOG KOEFICIJENTA U DIGITALNOM KALORIMETRU

Svetlana Mladenović, Milan Đukić, Goran Damjanović, Staniša Stojiljković, *Institut Mihajlo Pupin, Beograd*  
 Daliborka Vujić, *XIV beogradska gimnazija*

**Sadržaj** – U ovom radu je prikazan algoritam za izračunavanje toplotnog koeficijenta koji je potreban za računanje utroška toplotne energije, sa primenom na konkretno realizovan digitalni kalorimetar. Algoritam je implementiran u programskom jeziku C. Dat je opis hardverske realizacije sa mikrokonvertorom ADuC824.

### 1. UVOD

Stvarna vrednost količine toplotne energije  $E$  je vrednost toplotne energije koja se preda potrošaču za vreme  $(t_1-t_0)$  [1], [2]:

$$E = \int_{t_0}^{t_1} q \cdot \Delta h \cdot dt \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

gde je  $q$  [kg/s] maseni protok tečnosti,  $\Delta h$  [kJ/kg] razlika specifičnih entalpija tečnosti koje odgovaraju temperaturi tečnosti u dolaznom ( $T_d$ ) i povratnom vodu ( $T_p$ ),  $t$  [h] vreme. Ako uređaj meri zapreminu umesto mase, jednačina (1) postaje:

$$E = \int_{V_0}^{V_1} k_E \cdot \Delta T \cdot dV \quad (2)$$

gde je  $V$  [m<sup>3</sup>] zapremina protekle tečnosti,  $k_E$  [kWhm<sup>-3</sup>K<sup>-1</sup>] toplotni koeficijent koji zavisi od  $T_d$ ,  $T_p$  i pritiska, a čije su vrednosti se daju tabelarno,  $\Delta T$  [°C] razlika temperatura u dolaznom i povratnom vodu.

U ovom radu opisan je algoritam za izračunavanje toplotnog koeficijenta i njegova implementacija na konkretno realizovanom digitalnom kalorimetru.

### 2. OPIS PROBLEMA

Svakom paru temperatura u dolaznom i povratnom vodu odgovara jedna vrednost toplotnog koeficijenta  $k_E$ . U Tabeli 1. prikazane su ilustracije radi, vrednosti toplotnog koeficijenta za dati opseg temperatura  $T_p$  i  $T_d$  [3].

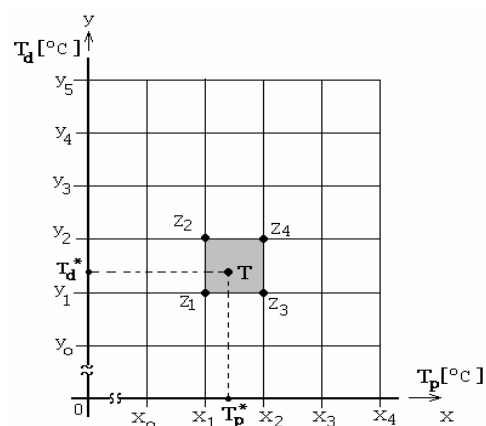
Temperatura u dovodnom vodu mora biti bar za 10°C veća od temperature u povratnom vodu. Nastaje problem kod određivanja toplotnog koeficijenta kada stvarne temperature ne odgovaraju onima iz Tabele 1. Ove vrednosti mogu biti i celi i realni brojevi. U ovom radu je opisano kako se u tim slučajevima matematički određuje vrednost za  $k_E$ .

$T_p$ [°C] \ $T_d$ [°C]	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
[0] 10	0	0	0	0	0	0	0
[1] 20	1.162	0	0	0	0	0	0
[2] 30	1.160	1.157	0	0	0	0	0
[3] 40	1.160	1.157	1.154	0	0	0	0
[4] 50	1.160	1.157	1.154	1.150	1.145	0	0
[5] 60	1.159	1.157	1.154	1.150	1.145	1.142	0
[6] 70	1.160	1.158	1.156	1.152	1.148	1.145	1.139
[7] 80	1.161	1.159	1.156	1.153	1.149	1.145	1.139
[8] 90	1.161	1.160	1.157	1.153	1.149	1.145	1.139
[9] 100	1.162	1.161	1.158	1.155	1.151	1.146	1.140
[0] 110	1.163	1.162	1.159	1.156	1.152	1.148	1.142
[1] 120	1.164	1.163	1.161	1.157	1.154	1.149	1.144
[2] 130	1.166	1.165	1.162	1.159	1.155	1.151	1.145
[3] 140	1.167	1.166	1.164	1.161	1.157	1.153	1.148
[4] 150	1.169	1.168	1.166	1.163	1.159	1.155	1.150
[5] 160	1.171	1.170	1.168	1.165	1.162	1.157	1.152
[6] 170	1.174	1.173	1.171	1.168	1.164	1.160	1.155
[7] 180	1.176	1.175	1.173	1.171	1.167	1.163	1.158
[8] 190	1.179	1.178	1.177	1.174	1.171	1.167	1.162
[9] 200	1.182	1.182	1.180	1.177	1.174	1.170	1.166
[0] 210	1.182	1.182	1.180	1.177	1.174	1.170	1.166

Tabela 1. Vrednosti toplotnog koeficijenta  $k_E$

### 3. ALGORITAM ZA RAČUNANJE $k_E$

Temperature  $T_d$  i  $T_p$  iz Tabele 1. možemo predstaviti u Dekartovom koordinatnom sistemu, kao na Sl.1, pri čemu svakom uređenom paru  $(T_p, T_d)$  jednoznačno odgovara vrednost za  $k_E$ .



Sl. 1. Predstava temperatura  $T_d$  i  $T_p$  u Dekartovom koordinatnom sistemu

Najpre se određuju temena kvadrata u kome se nalazi izmerena vrednost temperatura u dolaznom i povratnom vodu, određena parom  $(T_p, T_d)$  prema algoritmu:

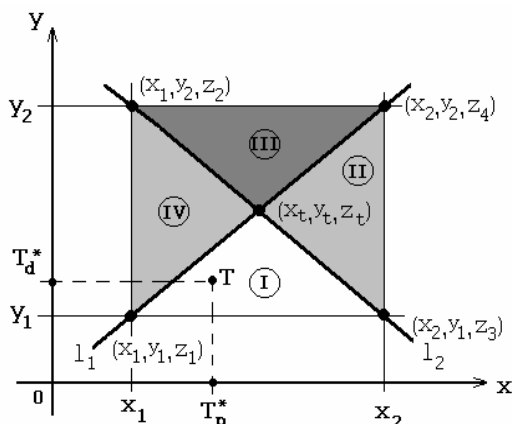
$$\begin{aligned} a_1 &= \text{int}(x/10); \\ a_2 &= \text{int}(a_1+1); \\ b_1 &= \text{int}(y/10); \\ b_2 &= \text{int}(b_1+1); \\ x_1 &= \text{int}(a_1*10); \\ x_2 &= \text{int}(a_2*10); \\ y_1 &= \text{int}(b_1*10); \\ y_2 &= \text{int}(b_2*10); \end{aligned}$$

gde je opseg unutar koga se nalazi izmerena vrednost određena parovima tačaka  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_1)$ ,  $(x_1, y_2)$ ,  $(x_2, y_2)$ . Nakon toga se iz Tabele 1 uzimaju vrednosti za toplotni koeficijent temenih tačaka:

$$\begin{aligned} z_1 &= niz[a_1-1][b_1-1]; \\ z_2 &= niz[a_1-1][b_1]; \\ z_3 &= niz[a_1][b_1-1]; \\ z_4 &= niz[a_1][b_1], \end{aligned}$$

koje su označene na Sl.1.

Sledeći korak se sastoji u određivanju položaja date tačke u prethodno određenom kvadratu, kao što je prikazano na Sl.2.



Sl.2. Lokalizacija tačke  $T$  po oblastima I, II, III, IV

Da bismo odredili u kojoj od četiri oblasti (I, II, III, IV) se nalazi željena tačka, bitno je napisati jednačine pravih  $l_1$  i  $l_2$ , prikazanih na Sl.2:

$$\begin{aligned} l_1: & y = y_1 + (x - x_2) \cdot (y_2 - y_1) / (x_1 - x_2) \\ l_2: & y = y_1 + (x - x_1) \cdot (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) \end{aligned}$$

Za pravu  $l_1$  možemo uvesti smenu da je  $y = y_3$ , pri čemu je, za  $y < y_3$  parametar  $p = 1$ , a za  $y \geq y_3$   $p = 2$ .

Za pravu  $l_2$  možemo uvesti smenu da je  $y = y_4$ , pri čemu je, za  $y < y_4$  parametar  $q = 3$ , a za  $y \geq y_4$   $q = 4$ .

Posmatranjem proizvoda  $p \cdot q$ , jednoznačno je određen položaj željene tačke u oblastima I, II, III, IV, na sledeći način:

$$\begin{aligned} p \cdot q = 3 & \Rightarrow \text{tačka je u oblasti I } (y < y_3 \text{ i } y < y_4) \\ p \cdot q = 4 & \Rightarrow \text{tačka je u oblasti II } (y < y_3 \text{ i } y \geq y_4) \\ p \cdot q = 6 & \Rightarrow \text{tačka je u oblasti III } (y \geq y_3 \text{ i } y < y_4) \\ p \cdot q = 8 & \Rightarrow \text{tačka je u oblasti IV } (y \geq y_3 \text{ i } y \geq y_4) \end{aligned}$$

Centralna tačka kvadrata  $(x_t, y_t, z_t)$  nalazi se u preseku pravih  $l_1$  i  $l_2$ , a definisana je sa:

$$\begin{aligned} x_t &= (x_1 + x_2) / 2; \\ y_t &= (y_1 + y_2) / 2; \\ z_t &= (z_1 + z_2 + z_3 + z_4) / 4. \end{aligned}$$

U zavisnosti od toga u kojoj oblasti se nalazi željena tačka, koordinate temena trouglova biće dodeljene novim promenljivim, da bi se postavila ravan kroz tri tačke:

$$(x_a, y_a, z_a), (x_b, y_b, z_b), (x_c, y_c, z_c).$$

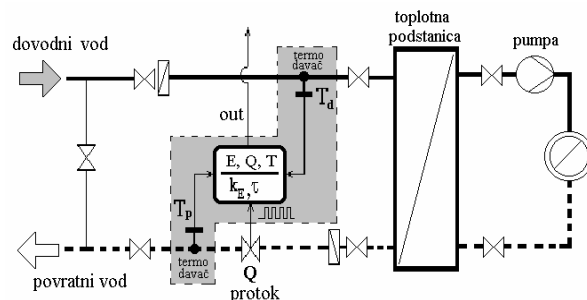
Rešavanjem determinante po jedinoj nepoznatoj  $z$ , određuje se vrednost toplotnog koeficijenta za ulazni par temperatura.

$$\begin{vmatrix} x - x_a & y - y_a & z - z_a \\ x_b - x_a & y_b - y_a & z_b - z_a \\ x_c - x_a & y_c - y_a & z_c - z_a \end{vmatrix} = 0 \quad (3)$$

#### 4. PRAKTIČNA REALIZACIJA

Opisan algoritam smo implementirali u programskom jeziku C i praktično primenili na konkretno realizovanom inteligentnom digitalnom kalorimetru. Sistem je baziran na mikrokonvertoru ADuC824 proizvodnje Analog Devices, koji u sebi sadrži dva nezavisna 16/24-bitna A/D konvertora sa sigma-delta modulacijom. Mikrokonvertor je baziran na mikroprocesoru 8051, sa ugrađenom FLASH programskom memorijom od 8KB i memorijom za podatke od 640B [4].

Blok šema sistema u kome se koristi merač utroška energije je data na Sl.3, dok je principska šema realizovanog uređaja data na Sl.4.

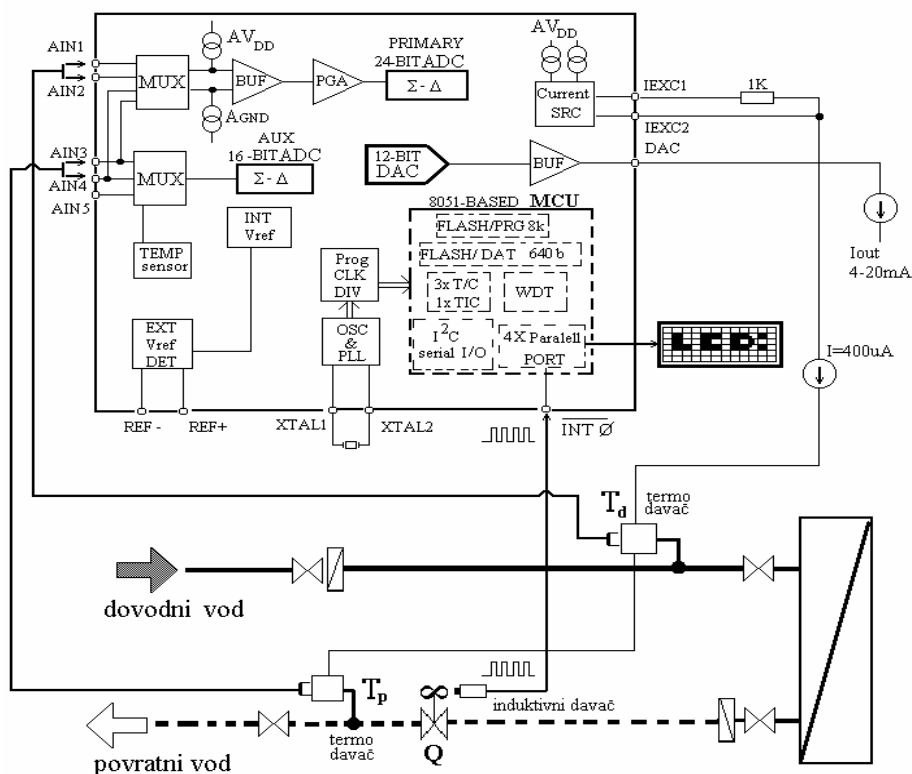


Sl.3. Blok šema mernog sistema

Merne vrednosti temperatura u dolaznom i povratnom vodu se direktno dovode sa termodavača (Pt100, Pt500 ili Pt1000) na odgovarajuće analogne ulaze. Napajanje davača je ostvareno iz stabilnog strujnog izvora od 400  $\mu$ A. Frekvencija oscilovanja stabilnog internog oscilatora (CORE CLOCK) je 12.582912MHz, dok je instrukcijski ciklus 1.048576 MHz.

Merenje protoka se ostvaruje merenjem frekvencije impulsa sa turbinskog merača protoka. Impulsi se detektuju induktivnim blizinskim prekidačem. U ovoj realizaciji, broj impulsa po litru iznosio je 54. U principu, taj odnos može biti i drugačiji, tako da je moguće ostvariti regularno merenje malom softverskom modifikacijom.

U cilju merenja protoka tečnosti, impulsi sa induktivnog davača direktno se dovode na digitalni ulaz  $\overline{INT0}$  mikrokonvertora [5]. Osvežavanje displeja vrši se na svakih 100 ms, što je ostvareno internim 16-bitnim tajmerom vremenske baze od 2ms. TIC (Timer Interval Counter) iskorišćen je za generisanje stabilne vremenske baze od 1s, obzirom da se izračunavanje novih podataka radi na svake 2s.



Sl.4. Principalska šema realizovanog digitalnog kalorimetra

Prikaz izmerenih vrednosti i svih relevantnih veličina (trenutni i ukupni protok tečnosti, trenutna i kumulativna energija, temperatura i sl.) se ostvaruje na LCD displeju. Sistem poseduje i jedan standardni strujni signal 4-20 mA, koji može biti srazmeran bilo kojoj od prethodno pomenutih i izmerenih vrednosti.

Sistem ima mogućnost serijske komunikacije RS485 sa nadređenim računarskim sistemom, čime je ostvareno daljinsko očitavanje rezultata merenja, njihovo memorisanje, naknadna obrada, kao i daljinsko programiranje i podešavanje uređaja.

## 5. ZAKLJUČAK

Algoritam opisan u ovom radu predstavlja jedan od mogućih načina za izračunavanje toplotnog koeficijenta  $k_E$  i utroška toplotne energije u digitalnom kalorimetru. Svakom paru temperatura u dolaznom i povratnom vodu odgovara jedna vrednost toplotnog koeficijenta  $k_E$ . Problem nastaje kod određivanja toplotnog koeficijenta kada stvarne temperature, pa prema tome i vrednosti toplotnog koeficijenta, ne odgovaraju tabelarnim. U ovom radu je prikazano kako se u tom slučaju problem matematički rešava.

Implementacija algoritma je ostvarena na konkretno realizovanom hardverskom mernom sistemu baziranom na mikrokonvertoru ADuC824-Analog Devices.

## LITERATURA

[1] International Organization of Legal Metrology OIML, International Recommendation R 75-1, "Heat Meters", Edition 2002(E), pp. 10-12, 2002.

[2] P. I. Zuev, V. P. Zuev, "Approximating Equations for the Heat Meters of Hot-Water Supply Systems", *Measurement Techniques*, vol. 45, No.7, 2002.

[3] Metrološko uputstvo za pregled merila toplotne energije, Službeni list SFRJ, br. 9/84 i 59/86, Mart 1986.

[4] "MicroConverter, Dual-Channel 16-/24-Bit ADCs with Embedded Flash MCU", *Data Sheet*, Analog Devices, Inc., 2001.

[5] "MicroConverter, Dual-Channel 16-/24-Bit ADCs with Embedded Flash MCU", *Application Manual*, Analog Devices, Inc., 2001.

**Abstract** – Algorithm for heat coefficient calculation is represented in this paper. This algorithm is useful for consumption heat energy calculation, with its application in realized heat meter. Algorithm is given in programming language C. Practical implementation with microconverter ADuC824 is described in this paper.

## ALGORITHM FOR HEAT COEFFICIENT CALCULATION IN DIGITAL HEAT METER

Svetlana Mladenović, Milan Đukić, Goran Damjanović, Staniša Stojiljković, Daliborka Vujić