



*Miroslav S. Milićević, *Tatjana M. Stojanović, **Valentina M. Nejković,

PRILOG KONTAKTNOM MERENJU TEMPERATURE

CONTRIBUTION TO CONTACT TEMPERATURE MEASUREMENT

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 536.587:681.586;

Rad primljen / Paper received:

Jun 2016.

Glavne reči: temperatura, termo par, metal, sonda, regulator

Adresa autora / Author's address:

*M. S. Milićević, Bul. Nemanjica 33/39, 18000 Niš;

e-mail: lavmiro@eunet.rs; tel. +381 63 8142370, 018238696

* Visoka tehnička škola, Beograd

** Elektronski fakultet u Nišu

Key words: temperature, thermocouple, metal, probe, regulator

ABSTRACT

In this paper will be processed using contact temperature measurement sensors with measuring place. Sensors in the work are the thermocouples suitable kind of metal that have been adopted already existing standards. Performs the description of the necessary theory, provide a transparent table and matching graphics for attained voltages were measured as a function of temperature.

1. UVOD

Rad se bazira na korišćenju obimne literature [1-45], iskustvima autora rada u održavanju, razvoju i proizvodnji više tipova senzora i merno regulacionih sistema i uređaja za merenje i regulaciju temperature, gde je to prikazano u referencama [11-15,47-45], a deo toga će biti prezentovan u ovom radu.

Termoelektrična termometrija je zasnovana na čvrstom odnosu koji vezuje termo-elektromotornu silu sa termo-parovima i temperaturom koja se ispoljava.

Termo-parovi su široko korišćeni u raznim poljima nauke i tehnologije za merenje temperatura do 2500 °C. Iako imaju sposobnost da mere temperature i do -200°C, termo-parovi se ređe koriste pri merenju niskih temperatura od otpornih termometara. Kod visokih temperatura (preko 1300-1600 °C), termo-parovi se uglavnom koriste za kratkotrajna merenja.

Pored ostalih vrlina termo-parova, možemo navesti sledeće. Poprilično su tačni, lako čitljivi za

REZIME

U ovom radu će se obrađivati merenje temperature pomoću kontakta senzora sa mernim mestom. Senzori u radu su termoparovi pogodnih vrsta metala koji su usvojeni već postojećim standardima. Vršiti se opis potrebne teorije, daju pregledne tabele i odgovarajući grafici za postignute napone u funkciji merene temperature.

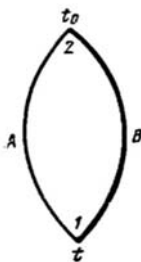
centralizovanu kontrolu temperature (više termoparova se može povezati sa jednim indikatorom ili kontrolerom preko selektivne preklopke), mogu davati konstante zapise o temperaturi kada se povežu na pisač, a mogu se i kalibrisati zasebno od indikatora ili kontrolera.

U prvom delu rada će se opisati elementarna teorija kontaktnog merenja temperature koja obrađuje uglavnom termoparove odnosno poznate kao i termospregovi.

1.1 Osnovna teorija termoparova

Istorija termo-parova datira još iz vremena otkrića Seebeck-a 1821. godine da električna struja teče kroz zatvoreno kolo sačinjeno od dva različita metala ako su različite temperature na njihovim spojevima.

Primena Seebeck-ovog otkrića u termometriji je bazirana na činjenici da je termo-elektromagnetna sila povezana na poseban način sa temperaturama u spojevima dva različita metala.



SI.1.1 Termoelektrično kolo stvoreno uz pomoć dve homogene žice različitih materijala ($t > t_0$)

Takvo kolo je prikazano na slici 1.1. A i B su dva različita metala (na primer bakar i platina), oba homogena po svojoj dužini, a t i t_0 su temperature u spojevima. Kada se spoj 1 zagreje (spoj koji se meri tj. topli spoj), a spoj 2 se ostavlja hladan (referentni spoj tj. hladni spoj), struja počinje da teče, usmerena od B ka A kod toplog spoja, a od A do B kod hladnog spoja. Ako se spoj 2 zagreje, tok struje će promeniti smer. To je termoelektrična struja, a elektromagnetna sila koju prouzrokuje razlika temperatura se naziva termoelektromotorna sila. Uređaj koji je proizvodi se zove termo-par ili termoelektrični transdaktor.

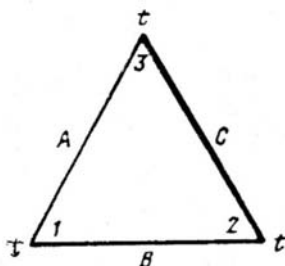
Mehanizam po kom se generiše termoelektromotorna sila se može objasniti sa stanovišta elektronske teorije o metalima. Ova teorija pretpostavlja da u metalima postoje slobodni „lutajući“ elektroni. Brojčana gustina ovih elektrona (broj elektrona po jedinici zapremine) se razlikuje od metala do metala. Zato se i koriste dva različita metala u spoju. Na primer, u spoju 1 na slici 1.1 to će se više dešavati od metala A ka metalu B, nego od metala B do metala A. Zato gustina slobodnih elektrona deluje na bilo kojoj temperaturi spoja,

elektromotorna sila je takođe generisana na bilo kojoj temperaturi, po jednačini

$$e_{AB}(t) = f(t) \quad (1.1)$$

se naziva kontaktna. Njena jačina i polaritet zavise od metala A i B i temperature t u njihovim spojevima.

Kao što je već navedeno, termo-struja počinje teći kružno u zatvorenom kolu sačinjenom od metala A i B (na primer, bakra i platine) kada $t \neq t_0$ (pogledati sliku 1.1). Smer ove struje kod spoja 2 zavisi od polariteta provodnika i termoelektromagnetne sile. Provodnik iz kojeg teče struja u spoju gde je $t_0 < t$ se smatra termoelektrično pozitivnim, a provodnik do kojeg teče struja u ovom spoju se smatra termoelektrično negativnim. U našem primeru, struja u spoju 2 teče od A do B (od bakra ka platini), tako da je provodnik A termoelektrično pozitivan u odnosu na provodnik B. Sekvenca u kojoj su dva provodnika zavisna od zakona termoelektromagnetne sile, na primer e_{AB} , odražava smer toka struje u smeru 2, tako da se prvo definiše termoelektrično pozitivni provodnik, a tek potom termoelektrično negativni provodnik.



SI.1.2 Termoelektrično kolo stvoreno uz pomoć tri homogene žice različitih materijala

Kada se temperature u spojevima 1 i 2 izmene (vidi sliku 1.2) tako da je $t_0 > t$, smer struje u ovim spojevima se takođe menja, ali polaritet provodnika A ostaje nepromenjen, zato što u spoju 1 smer struje ostaje isti, tj. od A ka B. Po Voltinom zakonu, termo-struja ne može postojati u zatvorenom kolu sačinjenom od dva različita provodnika A i B, ako su temperature u njihovim spojevima iste $t_0 = t$ i nema drugih izvora elektromagnetne sile koja bi delovala na kolo. Odatle se može zaključiti da su

elektromagnetne sile u spojevima 1 i 2 jednake, ali različitih polariteta, tako da je rezultujuća elektromotorna sila E jednaka nuli:

$$E_{AB}(t, t) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t) = 0 \quad (1.2)$$

$$\text{Ili} \quad E_{AB}(t, t) = e_{AB}(t) - e_{BA}(t) = 0$$

Za zatvoreno kolo sačinjeno od tri različita homogena provodnika A, B i C (slika 1.2) čiji su spojevi na istoj temperaturi važi:



$$e_{AB}(t) + e_{BC}(t) + e_{CA}(t) = 0 \quad (1.3)$$

Kao što se vidi, zbir kontaktnih elektromotornih sila u zatvorenom kolu sa tri različita homogena provodnika, sa spojevima koji su na istoj temperaturi je jednak nuli.

Takođe,

$$e_{AB}(t) = e_{AC}(t) + e_{CB}(t). \quad (1.4)$$

To jest ako znamo veličinu kontaktne elektromagnetne sile u dva provodnika u odnosu na treću, možemo lako odrediti elektromagnetnu sliku između prva dva provodnika.

Voltin zakon može se primeniti na bilo koje zatvoreno kolo sačinjeno od mnogo homogenih provodnika A,B,C, ... M,N. Tada, ako su svi spojevi u kolu na istoj temperaturi, zbir kontaktnih termoelektromagnetnih sila će biti jednak nuli

$$e_{AB}(t) + e_{BC}(t) \dots + e_{MN}(t) + e_{NA}(t) = 0 \quad (1.5)$$

Polazeći od koncepta termalne elektromotorne sile, nije nemoguće da se javi razlika potencijala u samom homogenom provodniku, ako je razlika temperatura u ta dva dela provodnika dt . Uzimajući u obzir jednačinu (1.1), možemo zaključiti:

$$de = df(t)$$

Dakle, za homogeni provodnik nejednako zagrejanih delova, dobijamo:

$$e = \int de = \int_t^t df(t) = 0 \quad (1.6)$$

zato što su svi spojevi na istoj temperaturi t .

Kod otvorenih homogenih provodnika nejednako zagrejanih delova, razlika potencijala Δe se može javiti

$$\Delta e = \int de = \int_{t_1}^{t_2} df(t) = f(t_2) - f(t_1) \quad (1.7)$$

To isključivo zavisi od temperatura na krajevima, a i ne zavisi od temperature duž provodnika. Iz navedenog može se zaključiti da je termoelektromotorna sila generisana u termoelektričnom kolu jedina funkcija temperature u spojevima između različitih termoelektrično homogenih provodnika i da zavisi od temperature svakog od provodnika.

Uzimajući u obzir navedeno, možemo napisati sledeći jednačinu termo-parova:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0) \quad (1.8)$$

Ili

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{BA}(t_0) \quad (1.9)$$

Ili, drugim rečima, termoelektromagnetna sila termo-para je jednaka razlici u kontaktnim termalnim elektromagnetnim silama, ako su temperature u spojevima kola različite.

Podsetimo se (1.1) da možemo uvrstiti i (1.9) u jednu funkciju vezanu funkcijom

$$E_{AB}(t, t_0) = f(t) - f(t_0) \quad (1.10)$$

Sama forma jednačine $E_{AB}(t, t_0)$ je vezana za funkciju $e = f(t)$. Kako sada stvari stoje, oblik ove funkcije se ne može potvrditi teorijski, već isključivo eksperimentalno.

Kada merenje temperature term-parom konstantno, ono može da varira. Pretpostavimo da je $(t_0) = const.$ u jednačini (1.10) za određivanje $(t_0) = c$ dobijamo

$$E_{AB}(t, t_0) = f(t) - c = F(t) \quad (1.11)$$

$$t_0 = const.$$

Direktno proizilazi iz jednačine (1.11) da termoelektromagnetna sila $E_{AB}(t, t_0)$ termo-para se može tretirati kao nelinearna kontinualna funkcija od t izvedena, čija je

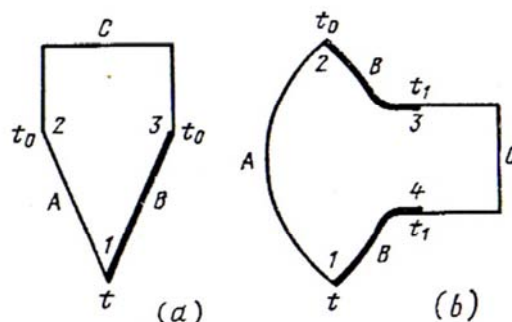
$$dE_{AB}(t, t_0)|dt = S_t \quad (1.12)$$

Vrednost S_t zavisi od materijala provodnika i opisuje osetljivost termo-para.

Kada je odnos $E_{AB}(t, t_0) = F(t)$ samo malo nelinearan, može se smatrati da je linearan na pojedinim delovima. Onda $dE_{AB}(t, t_0)$ i dt u jednačini (1.12) mogu se objasniti konačnim inkrementima ΔE i Δt .

$$s_t = \Delta E / \Delta t \quad (1.12a)$$

Sada ćemo videti kako treći provodnik može da utiče na termoelektromagnetnu silu termo-para. Zamislite termo-par sačinjen od provodnika A i B koji su povezani za provodnikom C (slika 1.3).



Slika 1.3 Kolo termo-para

a – sa trećom žicom C dodatom između slobodnih krajeva
b – sa trećom žicom C koja je konektovana za žicu B termo-para

Temperatura u spoju 1 je t , a u spojevima 2 i 3 je t_0 . Termoelektromotorna sila E za ovo kolo je podrazumevana kao

$$E = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0) \quad (1.13)$$

Kao prisećanje na (1.3) i (1.13) možemo napisati:

$$E = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) \quad (1.14)$$

Ova jednačina u potpunosti odgovara sa (1.9) Sada ćemo ispitati termoelektrično kolo prikazano na slici 1.3b uz pretpostavku da se spojevi 3 i 4 održavaju na istoj temperaturi, onda dobijamo

$$E = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_1) + e_{CB}(t_1) + e_{BA}(t_0) \quad (1.15)$$

Ovaj jednačina se lako može svesti na svedenu formu jednačine (1.9) elektromagnetna sila za termo-par se ne menja kada se treći provodnik uvede u kolo, pod uslovom da je temperatura na krajevima ovog provodnika ista. Na ovaj način može se dodati mnogo provodnika, ali to ne utiče na termoelektromotornu silu da svaki od njih na krajevima ima istu temperaturu.

Takođe, iz gore napisanih jednačina proizilazi da da vrući merni spojevi neće uticati na termo-par ako je njegova temperatura ista u bilo kom trenutku. Ovo važi za sve spojeve u tom kolu. Ipak, ako treći provodnik poseduje različite temperature lutajuća termoelektromotorna sila će se generisati, a njena jačina će zavistiti od materijala trećeg provodnika i temperatura na spojevima.

Na primer da je temperatura t na spoju 3 (kao na slici 1.3a), između provodnika C i B nije jednaka temperaturi t_0 na spoju 2, a takođe $t_0' > t_0$. Tada će termoelektromotorna sila tog kola biti

$$E_1 = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_0') + e_{CA}(t_0) \quad (1.16)$$

Ako oduzmemo jednačinu (1.16) od jednačine (1.9) dobijamo

$$E_{AB}(t, t_0) - E_1 = e_{CB}(t_0') + e_{BA}(t_0) + e_{AC}(t_0) \quad (1.17)$$

Koristeći jednačinu (1.3) možemo dokazati razliku između izraženih termoelektromotorna sila

$$E_{AB}(t, t_0) - E_1 = e_{CB}(t_0') - e_{CB}(t_0) = E_{CB}(t_0', t_0) \quad (1.18)$$

U gore navedenim jednačinama, sa desne strane je termoelektromotorna sila $E_{CB}(t_0', t_0)$ generisan od strane termo-para CB čiji su spojevi pri temperaturi krajeva provodnika t i t_0

Slično tome, recimo da se temperatura u kolu sa slike 1.2.3b razlikuje za provodnike B i C Tada će elektromotorna sila biti:

$$E_2 = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_1) + e_{CB}(t_1) + e_{BA}(t_0) \quad (1.19)$$

Oduzimanjem jednačine (1.19) od (1.9) dobijamo

$$E_{AB}(t, t_0) - E_2 = e_{CB}(t_1) - e_{CB}(t_0) = E_{CB}(t_1, t_0) \quad (1.20)$$

To se vidi iz jednačine (1.18) i (1.20) tako da spojevi 2 i 3 (slika 1.3a) ili čvorišta 3 i 4 (slika 1.3b) su održavani na različitim temperaturama, termoelektromagnetne sile $E_{CB}(t_0', t)$ ili $E_{CB}(t_1, t_1)$ koje generiše termo-par u provodnicima C i B, više nego u originalnom termo-para.

2. OSNOVNO KORIŠĆENJE I POVEZIVANJE TERMOPAROVA

2.1 Povezivanje termo parova

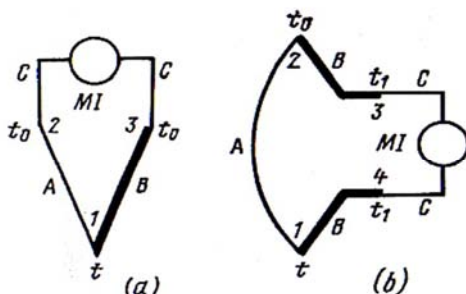
Kako bi se izmerila elektromotorna sila termo-para, instrument se mora uključiti u kolo. To se može obaviti ili kod spoja 2 (slika 1.1) ili unutar



provodnika B. U tom slučaju, instrument je spojen pomoću provodnika (slika 2.1).

U prvom slučaju, termo-par (slika 2.1a) će imati tri spoja: topao spoj na kojem se vrši merenje (1) koji je uronjen u medij koji treba meriti, hladan spoj (2) i spoj (3) koji moraju sa održavati na stalnoj

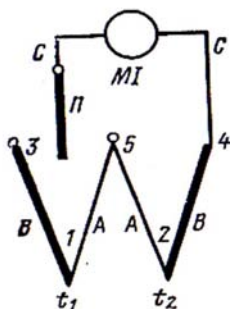
temperaturi. U sledećem primeru (vidi sliku 2.1b) termo-par ima četiri spoja, vruć (1), hladan (2), netrujalne (3 i 4). Spojevi 3 i 4 moraju biti na istoj temperaturi, čija je apsolutna temperatura manje bitna.



Slika 2.1 Uvođenje mernog instrumenta u kolo termo-para
a - referentni spoj
b – u žici termo-para

Iako se kolo sa slike 2.1a razlikuje od onog sa slike 2.1b, termo-par će generisati istu elektromotornu silu u oba slučaja, ako su provodnici A i B isto, i ako su temperature iste. To je zato što, kao što smo već

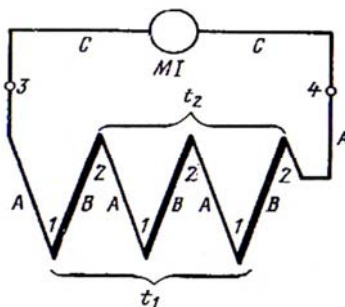
pokazali, termalna elektromotorna sila termo-para ostaje nepromenjena kada se uvede treći provodnik, sa spojevima na istim temperaturama.



Slika 2.2 Uvođenje mernog instrumenta u kolo diferencijalnog termo-para

U nekim slučajevima je potrebno pronaći razliku u temperaturi. Razlika u temperaturi se može izmeriti termoparom, a tada se termopar zove diferencijal. Veza između mernog instrumenta i diferencijalnog termo-para je prikazana na slici 2.2. Merne spojeve 1 i 2 termo-para uranjamo u medij čije temperaturene razlike želimo da izmerimo. U takvim

situacijama je poželjno znati jednu od temperatura, na primer t_2 , jer je termalna elektromotorna sila nelinearna funkcija temperature. Kada se meri t_2 spojevi 4 i 5 će biti referentni i biće na poznatoj istoj temperaturi. Spojevi 3, 4 i 5 moraju ostati jednaki i kada se meri temperaturna razlika sa t_2 i kada se meri temperatura t_2 .



Slika 2.3 Uvođenje mernog instrumenta u kolo diferencijalnog termosprega



Ako se radi o malim temperaturnim razlikama treba koristiti uređaj (termofil) sačinjen od nekoliko termo-parova postavljenih zaredom. To je urađeno kako bi se pojačala generisana termoelektromagnetna sila. Veza pomenutog uređaja (termofila) i instrumenta za merenje razlike u temperaturi između dva medija je prikazna na slici 2.3. Kao i do sada, jedna od temperatura, na primer t_2 mora se znati unapred. Po pravilu, merenja pomoćnog termometra nisu prikazana u dijagramu. Kao što se zna, jedan meri ΔE termofila, a drugi istu temperaturu u spojevima 3 i 4, zatim E_2 pomoćnog termofila, koristeći odgovarajući deo kalibracione krivulje (ili grafikona).

2.2 Kompenzacija termo spojeva

Kada je kalibrisan termo-par, njegova referenca spajanja se obično održavaju na konstantnu temperaturu jednaku tački leđenja $t_0 = 0^\circ C$. Kada merenje temperature pod uslovima servisa, temperature na referentnom spoju se obično razlikuje od tačke leđenja. Ako se merenja u sprotrom nisu rađenja, to će neizbežno uticati na termoelektromotornu silu koja su razvija termo-par. Pretpostavimo da se za vreme merenja spoj održava na konstantnoj temperaturi t , a referentni spoj se zagreva do temperature t_0 koja je zadržana za vreme kalibracije do t_0' . Sada će se termalnoelektromotorna sila razvijena od strane

termo-para, $E_{AB}(t, t_0')$ razlikovati od kalibrisane vrednosti. Koristeći jednačinu (1.9) dobijamo

$$E_{AB}(t, t_0) - E_{AB}(t, t_0') = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) - e_{AB}(t) + e_{AB}(t_0')$$

Kada se pokradi $e_{AB}(t)$, dobijamo

$$E_{AB}(t, t_0) - E_{AB}(t, t_0') = e_{AB}(t_0') - e_{AB}(t_0) = E_{AB}(t_0', t_0)$$

Kada se sabirci preraspodele dobijamo

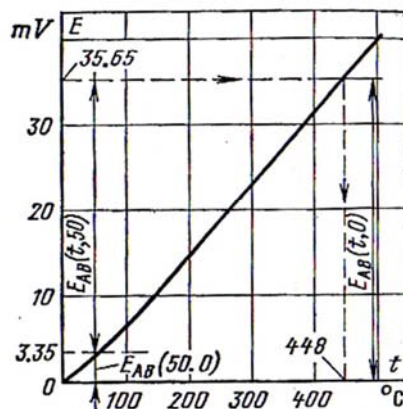
$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t_0') + E_{AB}(t_0', t_0) \tag{2.1}$$

Kao što sledi iz jednačine (2.1), povećanje temperature referentnog spoja podiže količinu termalnoelektromotorne sile za istu količinu termalnoelektromotorne sile $E_{AB}(t, t_0)$ dobijenu sličnim termo-parom čiji su merni i referentni spojevi na temperaturama t_0' i t_0 .

Ako je $t_0' < t_0$, jednačina (2.1) dobija oblik

$$E_{AB}(t, t_0) = c - E_{AB}(t_0, t_0') \tag{2.2}$$

Jednačine (2.1) i (2.2) se primenjuju na slučajeve gde se termoelektromotorna sila $E_{AB}(t, t_0)$ meri potenciometrom (slika 1.1.4).



Slika 2.4 Upotreba korekcije temperature referentnog spoja na chromel-copel termo-paru

Primer. Tokom podešavanja chromel-copel termo-para, temperatura u referentnom spoju je bila $t_0 = 0^\circ C$. Tokom merenja, bila je $t_0' = 50^\circ C$. Potenciometar iščitava $E_{AB}(t, 50) = 32.3mV$ što odgovara temperaturi od $409.5^\circ C$. Kako bi koristili kalibracionu krivu (slika 1.4.1) moramo pronaći $E_{AB}(t, t_0)$ na temperaturi od $t_0 = 0^\circ C$ i na istoj temperaturi t merenog spoja:

$$E_{AB}(t, 0) = E_{AB}(t, 50) + E_{AB}(50, 0)$$

Sa kalibracone krive vidimo da $E_{AB}(50, 0) = 3.35mV$. Zamenom vrednosti $E_{AB}(t, 50)$ i $E_{AB}(50, 0)$ u gornjoj jednačini, dobijamo:

$$E_{AB}(t, 0) = 32.3 + 3.35 = 35.65 mV$$

To odgovara temperaturi merenog spoja od $448^\circ C$. Pretpostavka da je termoelektromagnetna sila linearna funkcija temperature nas može dovesti do netačnog rezultata:

$$t = 409.5 + 50 = 459.5^\circ C$$



3. ZAKLJUČAK

U radu se izlaže osnovna teorija o kontaktnom merenju temperature u širokom opsegu merene veličine. Polazi se od ideje istraživača Zebeka, pa preko poznate teorije i radova i eksperimenata Volte, čime se stvaraju osnovne pretpostavke za proučavanje kontaktnog načina merenja temperature.

Opisuje se i obrađuje sistem sa dva provodnika koja kad se nađu na različitim temperaturama isti generišu napon koji je zavistan od vrste primenjenih provodnika, s jedne strane, i od merene temperature na mernom spoju s druge strane.

Zatim se teoretski obrađuje sistem za kontaktno merenje temperature koji poseduje tri provodnika. Posle toga se po Voltinom zakonu formiraju analitičke zavisnosti koje opisuju generisanje elektromotornih sila u funkciji kontaktno merene temperature.

Posle toga se paru sastavljenom od dva različita provodnika dodaje treći provodnik za šta se opisuju potrebne i korisne jednačine elektrodinamičke ravnoteže.

Daje se primer kola koje opisuje spajanje mernog instrumenta u kolo termo para, gde se daju korisne analitičke zavisnosti, kao i uvođenje mernog instrumenta u kolo diferencijalnog termo sprega. Analizira se uticaj referentne temperature na tačnost merene veličine i uvodi kompenzacija tzv. referentne temperature radi povećanja tačnosti merenja.

Kroz ovaj pregledni rad data je elementarna teorija kontaktnog merenja temperature, što će poslužiti istraživačima i onima koji prvi put izučavaju ovu oblast, radi projektovanja i održavanja sistema za merenje i regulaciju temperature u mnogim industrijskim procesima.

LITERATURA

1. Surutka J., Elektromagnetika, Akademska Misao, 2005, Beograd
2. Vučić V., Osnovna merenja u fizici, Nauka, 1995, Beograd
3. Jovanović V., Elektrotehnika III, Naučna Knjiga, Beograd
4. Potkonjak V., Robotika, Naučna knjiga, 1989, Beograd
5. Stojilković V., Merenje mehaničkih veličina električnim putem, Mašinski fakultet, Niš
6. Nieto A., Paul F., Measure des temperatures, Editions Radio, Paris
7. Kraemer R., Les radio isotopes dans l'industrie, Editions Radio, Paris
8. Ultrazvuk-10, Mokslas, 1978, Vilnius
9. Nikolić M., Primena izvora jonizujućih zračenja, Institut "Boris Kidrič", Vinča
10. Milojević A., Principi i metode primene radioaktivnih izotopa u industriji, Naučna knjiga, Beograd
11. Milićević M., Automatska regulacija snage generatora za induktivno zavarivanje pomoću mikroracunara merenjem temperature vara, Automatika br.5-6, 1981, Zagreb
12. Milićević M., Merenje temperature vara primenom mikroracunara na linijama za proizvodnju šavnih cevi, Elektrotehnika br.2, 1980, Beograd
13. Milićević M., Avtomatičeskoe upravljenie processom indukcioni svarki trub s primeneniem mikro - EVM, VII Meždunarodnaja konferencija stran členov SEV i SFRJ po avtomatizaciji proizvodstvenyh processov i upravlenija v černo metalurgii, SSSR, Ždanov, 1988
14. Milićević M., Elektronski regulator teperature IT-31, (0-250)0C, Fe-Ko,
15. Milićević M., Zaštitni temperaturni rele TR-23 sa tasterom za reset,
16. Đurić B., Čulum Ž., Fizika IV deo - Optika, Naučna knjiga, Beograd, 1966
17. Optoelektronik Halbleiter, Datenbuch, Siemens, 1976
18. Nauman G., Primenenie infrakrasnoi v celah kontrol za rabotai metalurgičeskikh ustanovok, VI Meždunarodnaja konferencija SEV i SFRJ po avtomatizaciji, Budapešt, Mart, 1979
19. Electronic Temperature controllers, Regal House, Buncroftt, Hitchin, Hertfordshire
20. Milićević M., Merenje temperature vara primenom mikroracunara na linijama za proizvodnju šavnih cevi, Elektrotehnika br.2, pp 267-276, Beograd, 1980
21. Preobrazhensky V., Measurements & Instrumentation in Heat Engineering, volume 1, Mir Publishers, 1980, Moscow
22. Preobrazhensky V., Measurements & Instrumentation in Heat Engineering, volume 2, Mir Publishers, 1980, Moscow
23. Instrument TMRS-34 MR, Non -contact temperature Measurement, Maurer infrared spectral pyrometers, Förster Engineering Trading GmbH, Reutlingen



24. Dance M., MPU – s allow high precision thermometry, Electronics Industry, Mai 1979, pp 12–17, London, 1979
25. Auslandet,d.M.,Kemp f.,C.J.,Mechatronics Mechanical System Interfacing,Prentice Hall,Upper Sadle River,NJ,1996
26. De Silva,C.W.,Vibration Fundamentals and Practice,CDC Press,Boca Raton,FI,2000
27. Histan.,M./B.,Alciatore.,D.G.,Introduction to Mechatronics and MeasurementSystems,WCB McGraw-HillNew York,NY,1999
28. Karray,F.,de Silva,C.W.,Soft Computing Techniques and Their Applications,Pearson,U.K.,2004
29. Tan K.K. Lee,T.H.Dou,H.,Huang,S.,Precision Motion Control,Springer-Verlag,London,England,2001
30. De Silva C.W.,Sensors for control,Encyklopedia of
31. Physical Science and Technology,3rd ed.,Meyers,R.A.,ED,Academic Press, San Diego,CA,Vol.14,pp.609-650,2001
32. De Silva c.W.,Wong,K.H.,Modi,V.J.,Devolopement of a novel multi-module manipulator system:dinamic model and prototype design,Mechatronics and Machine Vision:Current Practice,Bradbeer,R.S.and Billingsley J.,Eds.,Research Studies Press, Ltd.,Hertfordshire, Baldock,England,pp.161-168,2002
33. Croft,E.A.,de Silva,C.W., Kurnianto,S.,Sensor technology integration in an intelligent machine for herring Roe grading,IEEE-ASME Transactions on Mechatronics,Vol.1,No.3.,pp.204-216,Sept.1996
34. Chen,Y.,Wang,X.G.,Sun,C.,Devine,F.,de Silva,C.W.,Active vibration control with state feedback in woodcutting,Journal of Vibration and Control, Vol.9,No.6,pp.645-664,2003
35. De Silva ,C.W.,Design of PPD controllers for position servos,Journal of Dynamics Systems,Measurement and Control, Trans.ASME, Vol.112, No.3,pp.519-523,September,1990
36. Omar,F.K.,de Silva,C.W., Optimal portion control of natural objects with application in automated cannery processing of fish, Journal of Food Eb=ngineering, Vol.46, pp.31-41, 2000
37. Tang, P.L.,de Silva C.W., Poo,A.N., Inelligent adaptive control of an industrial fish cutting , machine, Transactions of the South African Institute of Electrical Engineers,Vol.93, No.2,pp.60-72,June,2002
38. D Silva C.W., Wong,K.H.,Modi,V.J., Developement of a novel multi-module Manipulator System:Dinamic Model and Prototype Design, The Nineth IEEE Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, Chang Mai, Thailand, pp.69-74, September, 2002
39. Auslander, D.M., Kemp f.,C.J., Mechatronics Mechanical System Interfacing, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1996
40. De Silva, C.W., Vibration Fundamentals and Practice, CRC Press, Boca raton, FL, 1995s
41. Histan, M.B., Alciatore, D.G., Introduction to Mechatronics and Measurement Systems, WCB Mc Graw-Hill, New York, Ny,1999
42. Karray, F., de Silva,C.W., Soft Computing Techniques aand their Applications, Pearson, U.K.,2004.
43. Tan,K.K.Lee, T.H.Dou, H., Huang, S., Prec.Motion Contr., Springer-Verlag, London,,2001
44. Milićević M., The Application of a New Formula Nakaoka Coefficient in HF Inductive Welding, Strojniški Vestnik - Journal of Mechanical Engineering (2010), vol.56 br.7-8, str.483-488, ISSN:0039-2480; IF=0,193, UDC 621.791.7:004.942
45. MilićevićM.,Jovanović T.,Nejković V., Defects identification of the hihg frequency inductive welding, Mining and Metallurgy Engineering Bor, no.2,Bor,2013
46. MilićevićM.,Jovanović T.,Nejković V.,High energetic efficacy for high requency inductive welding , Mining and Metallurgy Engineering Bor, no.4,Bor,2013