

Маријана М. Бабић*, Ненад Д. Сићејанић, Ненад Д. Милошевић

Лабораторија за термотехнику и енергетику,
Институт за нуклеарне науке „Винча”, Универзитет у Београду, Београд, Србија

Развој и примена програма за контролу и аквизицију сигнала код еталонирања мерила влажности и температуре тачке росе

Оригинални научни рад

У раду је описано програмско решење за подешавање, контролу, приказ и аквизицију података код еталонирања мерила релативне влажности и температуре тачке росе коришћењем више различитих мулти-функционалних уређаја и то ROTRONIC HYGROGEN 2A, MBW 473, TESTO 645, TESTO 650 и KEITHLEY 2700. Поред описаног софтвера, наведено у програмском пакету LabVIEW, v. 7.11, у посебном поглављу је приказан пример његове примене приликом извођења интерног еталонирања заједно са добијеним резултатима.

Кључне речи: еталонирање, релативна влажности, температура тачке росе, LabVIEW

Увод

У оквиру метролошких лабораторија за еталонирање Лабораторије за термотехнику и енергетику Института за нуклеарне науке „Винча” акредитована је од 2008. године и Лабораторија за релативну влажност од стране Акредитационог тела Србије. У првом периоду, Лабораторија за релативну влажност је као основне уређаје за еталонирање користила климатску комору и капацитивне сензоре релативне влажности, док је убрзо затим опремљена и новим уређајима више класе ради постизања веће тачности и поузданости еталонирања у опсегу влажности и температуре од интереса. У овом тренутку, за сврхе еталонирања индустријских мерила релативне влажности, што је била и основна намена Лабораторије, њену опрему чине врхунски инструменти.

Основни делови апаратуре која се користи у Лабораторији за релативну влажност чине генератор влажности, систем за мерење тачке росе, прецизне капацитивне сонде са одговарајућим индикаторима и температурне Pt100 сонде у систему са вишеканалним уређајем за аквизицију.

Модел генератора влажности је HYGROGEN 2A, произвођача ROTRONIC. Генератор ради на принципу мешања сувог и влажног ваздуха и његов максимални регулациони опсег је од 5–95%RH у распону температура од 5–50 °C. Кључна предност овог уређаја је брзина којом достиже стационарно стање задатих вредности, као и висок ниво њихове стабилности.

* Одговорни аутор; електронска адреса: marijanab@vinca.rs

Систем за мерење температуре тачке росе произвођача *MBW*, модел 473, ради на принципу хлађеног огледала. Мерна глава, модел *RP2*, са температурно контролисаним огледалом од родијума и спољном прецизном Pt100 сондом, поставља се унутар коморе генератора влажности што омогућава прецизно и стабилно мерење релативне влажности у опсегу температура тачке росе од $-20-70$ °C.

Прецизне капацитивне сонде су произвиђача *TESTO*, модел 0636-9741, које се могу повезати у систем са индикаторима истог произвођача, модел 645 или 650. За периодичну проверу униформности температуре у комори користи се сет од 15 посебних минијатурних (1,2 1,6 0,65 mm) Pt100 сензора температуре са четири извода. Сензори су ван коморе повезани на две 20-каналне аквизиционе картице, модел 7700 дигиталног вишеканалног мултиметара *KEITHLEY*, модел 2700, са вишеканалном мултиплекс картицом модел 7700.

У циљу повезивања наведених уређаја и њихове примене ради добијања прецизних и поузданих резултата еталонирања, било је неопходно развити посебно програмско решење за подешавање и контролу параметара инструмената, као и аутоматску аквизицију и приказ свих мерних сигнала. У ту сврху је коришћен програмски пакет *LabVIEW*, v. 7.11, инсталиран на рачунару са оперативним системом *WINDOWS XP*. Комуникација рачунара и инструмената је остварена преко серијских *RS-232* портова инструмената и *RS-232/USB* адаптера.

У овом раду је дат опис развијеног програмског решења и приказан је пример његове примене заједно са добијеним резултатима.

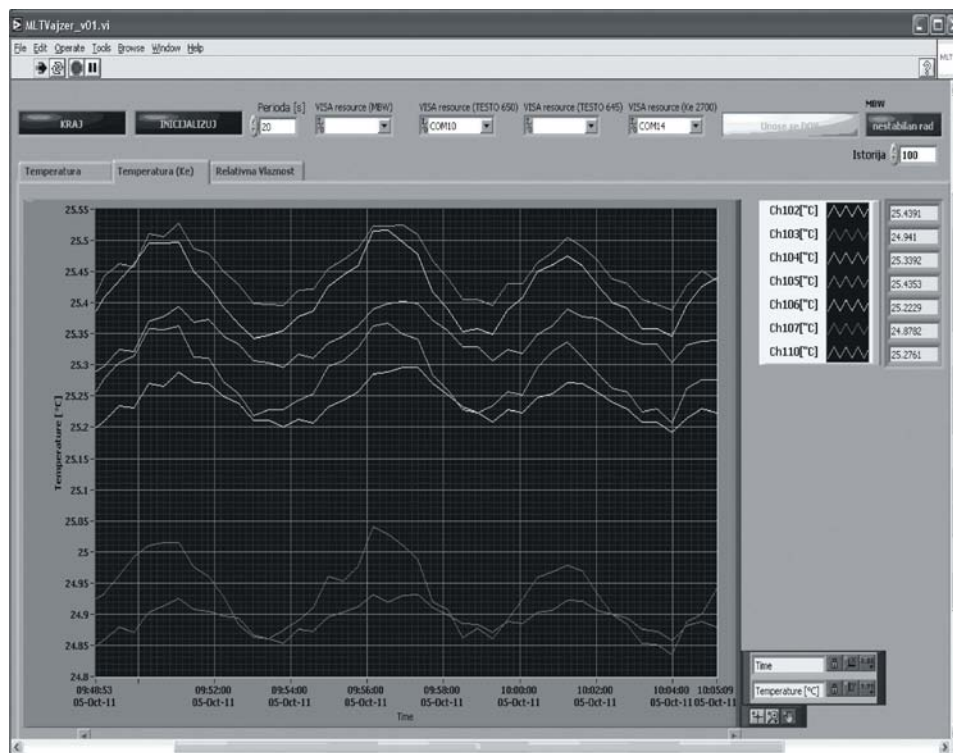
Опис програмског решења

Програмски пакет *LabVIEW* је графички оријентисани програмски језик базиран на графичком програмирању тока података (*data flow*), за разлику од класичних програмских језика у којима су програми текстуалног типа. Специфичност рада у овом окружењу је да се програмирање изводи паралелно у два прозора. У првом, контролном фронт-панел прозору или предњој плочи, обавља се пројектовање графичког корисничког интерфејса. На њему се постављају контроле, прекидачи, индикатори, дисплеји, графици и други елементи који се могу наћи на конвенционалним мерним уређајима као што су осцилоскоп или волтметар. У другом прозору, тзв. блок дијаграму, обавља се програмирање жељених функционалности програма и дефинише ток његовог извршавања. Сви терминали графичких контрола које се налазе на фронт-панелу и функције *LabVIEW*-а се повезују линијама што симболично представља ток података.

Структура развијеног програмског решења је хијерархијска јер се карактеристичне целине користе како самостално, тако и као потпрограми унутар програма вишег нивоа. Исто тако, решење је и модуларне структуре јер се концепт решавања проблема заснива на подели апликације на више мањих модула посебних функционалности.

Предња плоча

Типичан изглед предње плоче главног програма у току његовог рада приказан је на сл. 1. У горњем централном делу фронт-панела налазе се четири бела поља предвиђена за унос комуникационих портова екстерних уређаја. Њиховим подешавањем корисник истовремено одређује које ће инструменте да користи у процесу еталонирања. У примеру са сл. 1 коришћени су уређаји *TESTO 650* и *KEITHLEY 2700*.



Слика 1. Изглед фронт-панела главног програма

Укључивањем дугмета *Unose se DOV* (најшире дугме на сл. 1) активира се део програма за упис директно прочитаних вредности мерења. Тиме је омогућен истовремени запис вредности које показују уређаји који се еталонирају заједно са осталим подацима прикупљеним аквизицијом, чиме се постиже велика предност у каснијој обради података. Ова опција програма је детаљније описана у наредном поглављу.

Пауза између два сукцесивна читавања се задаје уносом одговарајуће вредности у секундама у поље са ознаком „Периода [s]” и може да се мења током рада. Поред задавања периоде аквизиције остављена је и могућност подешавања броја сетова података, односно броја тачака сигнала који ће се видети на екрану. Препоручене почетне вредности ових опција су 10 секунди и 100 тачака сваког посебног сигнала.

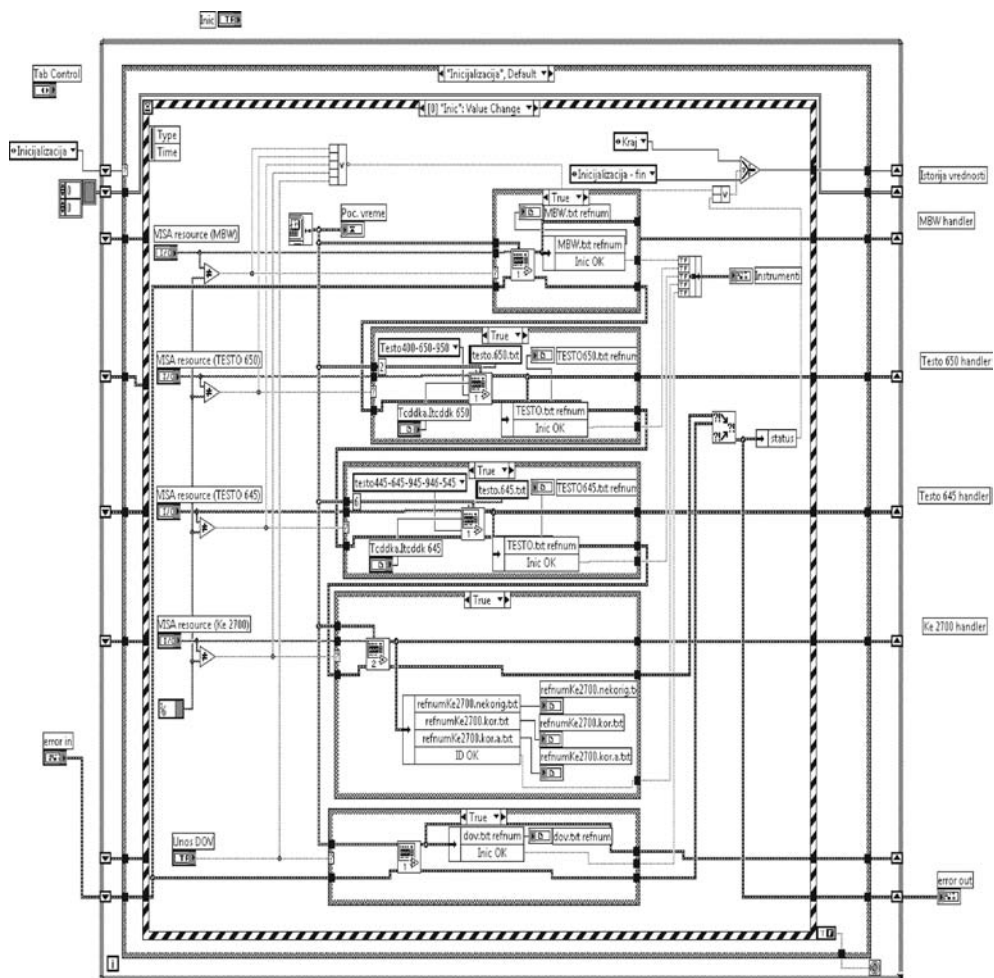
У горњем левом углу налази се дугме за заустављање аквизиције односно прекидање рада програма. Поред њега је дугме за иницијализацију, које је потребно укључити одмах након покретања програма. У горњем десном углу постављен је индикатор стабилности рада *MBW 473* уређаја, који одговарајућом бојом и натписом показује да ли је инструмент у стабилном режиму рада.

Највећи део предње плоче заузимају три графика за приказ сигнала који су због прегледности разврстани у вишестраној (табованој) форми. Избором једне од понуђене три опције могуће је поред сигнала температуре или релативне влажности посматрати посебно температуре са различитих канала вишеканалног мултиметра *KEITHLEY* (сл. 1). У доњем десном углу су, поред графика, смештени и алати за подешавање приказа сигнала, односно за њихово скалирање и зумирање током рада

програма. Поред графичког приказа постоје и нумерички индикатори тренутних вредности сигнала, видљиви са десне стране сваког од графика. Програм нема опцију промене јединица мерних величина, већ се подразумева да се температура приказује у °C, а релативна влажност у %RH.

Блок дијаграм и њихов извршавање програма

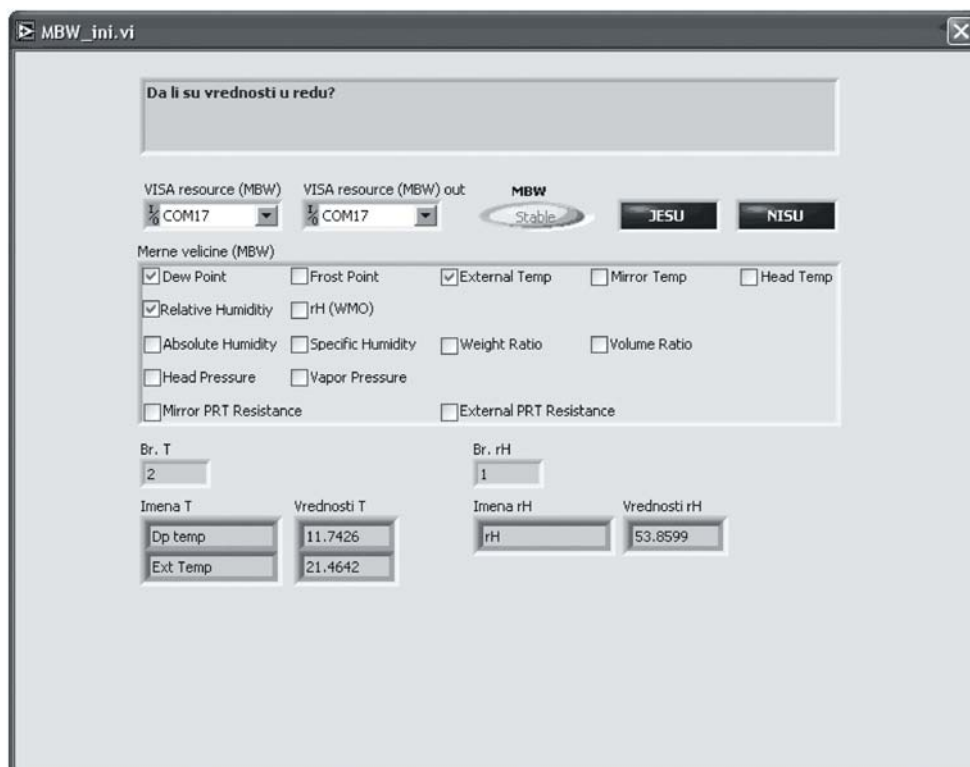
За разлику од предње плоче, блок дијаграм је део програма где су реализоване све опције и функције програмског решења. У реализованом решењу, блок дијаграм је написан у форми коначног аутомата који садржи шест стања иницијализације, финалну иницијализацију, аквизицију, обраду и приказ, чекање и крај. Коначни аутомат је програмиран коришћењем селекције (*Case* структуре) са шест опција које одговарају стањима коначног аутомата унутар петље са изласком на дну (*While* петље). На сл. 2 је приказан блок дијаграм за почетно стање коначног аутомата, односно иницијализацију.



Слика 2. Блок дијаграм главног програма за стање иницијализације

За улазак у почетно стање потребна је одговарајућа акција корисника, односно клик на дугме „иницијализуј” на предњој плочи виртуелног инструмента, што је реализовано структуром догађаја на блок дијаграму. У склопу те структуре (на левој страни) обављају се поређења садржаја поља за унос серијског порта сваког уређаја са празним стрингом и на тај начин се проверава да ли је уређај прикључен у мерну конфигурацију за еталонирање. Слична провера се обавља и када је у питању део програма за директно очитане вредности (ДОВ). Резултати ових поређења су логичке вредности које су повезане на селекционе улазе *Case* структура које одговарају одређеним одабраним инструментима. Такође, на улаз сваке структуре доводи се и системско време односно време када је покренут рад програма, што је значајно као податак за чување резултата мерења.

У случају када је прикључен уређај *MBW 473*, резултат описаног поређења на блок дијаграму је логичка јединица која активира опцију *True* у првој *Case* структури (сл. 2). Као последица тога покренуће се извршавање потпрограма *MBW inic* и на екрану ће се појавити прозор за одабир опција мерења тим инструментом. Наиме, програмом је омогућено прикупљање вредности свих петнаест параметара који се могу измерити овим уређајем, па је стога у његовој иницијализацији, односно на прозору који се појавио, потребно одабрати величине од интереса за тренутно мерење. Након тога, кориснику је дата могућност провере вредности одабраних величина које ће бити приказане у прозору чији је изглед дат на сл. 3. Поред индикатора стабилности рада *MBW*-а, у том



Слика 3. Изглед прозора за проверу параметара *MBW 473*

прозору су исписане и вредности одабраних величина. Притиском на дугме „јесу” корисник потврђује валидност прикупљених података чиме се отвара фајл за чување измерених вредности. У супротном, рад програма се прекида притиском дугмета „нису”, што омогућава кориснику да провери потребне параметре и поново покрене програм.

Име фајла за чување резултата се генерише аутоматски и за све уређаје садржи име, датум и време почетка аквизиције. За сваки уређај формира се посебан фајл, што важи и за директно прочитане вредности. Резултати мерења се уписују у колоне, где прву колону података увек чини време, што омогућава ефикаснију и лакшу обраду резултата.

При иницијализацији *KEITHLEY 2700* уређаја, такође се појављује прозор за подешавања који је активиран потпрограм *2700 inic*. Уређај *KEITHLEY 2700* има два слота у које се могу сместити одговарајуће аквизиционе картице. Лабораторија располаже картицама модел 7700 са по 20 канала, стога су ради прегледности, на прозору за иницијализацију канали разврстани у колоне по 10. Од корисника се очекује да одабере потребне канале на које су прикључени сензори температуре.

Релативна влажност ваздуха значајно зависи од температуре, тако да се по правилу изводе корекције вредности температуре прочитаних са инструмента на основу резултата интерног еталонирања коришћених сензора. Резултати интерног еталонирања се чувају у посебним текстуалним датотекама. Приликом иницијализације инструмента *KEITHLEY 2700* се једна датотека са резултатима интерног еталонирања може одабрати, учитати и превести у одговарајуће коефицијенте корекционих кривих на основу којих се током цикличног понављања аквизиције изводе корекције. Предвиђене су две опције кориговања: на основу оптималне праве конструисане по методи најмањег збира квадрата и линеарном интерполацијом на основу низа праволинијских сегмената између вредности у којима је изведено еталонирање. Подаци прикупљени са одабраних канала се чувају у три различита фајла: један од њих садржи оригиналне измерене вредности, док су у преостала два кориговани резултати.

Код примене *TESTO* уређаја, од корисника се захтева да одабере фајлове за смештање података, док других подешавања и провера нема. Уколико је серијски порт неког од наведених уређаја остао неподешен, програм ће игнорисати даља подешавања везана за тај инструмент, односно активираће се случај *False* у одговарајућој *Case* структури.

Уколико је корисник одабрао могућност укуцавања директно прочитаних вредности, јединица на улазу последње *Case* структуре (сл. 2) омогућиће рад потпрограма „*Ukucator ini 2*”. Покретањем овог потпрограма на екрану се појављује прозор за иницијализацију ДОВ. На њему је потребно одабрати број поља за укуцавање вредности, означити да ли се уписује температура или релативна влажност, дати имена одговарајућим сигнаlima и задати им почетне вредности.

Након успешно успостављене комуникације са екстерним уређајима, у другом стању коначног аутомата, финалној иницијализацији, пребројавају се одабрани сигнали температуре и релативне влажности ради формирања легенди које ће бити видљиве са десне стране сваког од графика. Програм затим прелази у стање аквизиције у коме се уређајима једновремено шаљу команде за читавање специфицираних вредности. Када инструменти врате податаке са измереним вредностима настаје стање обраде и приказа, где се прикупљене вредности приказују графички и уписују у текстуалне датотеке. У примеру на сл. 1 видљиви су таласни облици сигнала температуре са инструмента *KEITHLEY 2700* кориговани на основу оптималне праве.

Стање чекања омогућава промену периоде одабирања коју је задао корисник. По истеку задатог времена почиње нови циклус аквизиције, односно програм је у петљи где се циклично смењују стања аквизиције, обраде и приказа и чекања. За време сваког циклуса, корисник може директно да укуца очитане вредности мерења са уређаја и то на прозору као на сл. 4 који се периодично приказује на екрану. Број величина које се уносе, њихова имена и почетне вредности су дефинисани у процесу иницијализације. Индикатор ДВ је показатељ да ли је директно очитана вредност мерења уписана у текстуални фајл. Време које корисник има на располагању за укуцавање вредности, дефинисано задатом периодом, је видљиво у форми индикатора са скалом на десној страни прозора.



Слика 4. Изглед прозора за унос директно очитаних вредности

Притиском на дугме „Крај” корисник излази из цикличног понављања мерења. Коначни аутомат прелази у стање *крај*, односно завршетак извршења програма, где се затварају фајлови са подацима као и сама веза рачунара и екстерних уређаја.

Пример примене програма и резултатни еталонирања

Примена описаног програмског решења је приказана кроз пример извођења интерног еталонирања, где је коришћењем система за мерење тачке росе *MBW 473* извршено еталонирање прецизне сонде за мерење релативне влажности повезане са индикатором (*TESTO* сонда 0636 9741, уређај 650) у опсегу температура од 5–45 °C и релативне влажности од 15–75%RH. *TESTO* сонда и мерна глава *MBW 473* уређаја су убачене у ко-

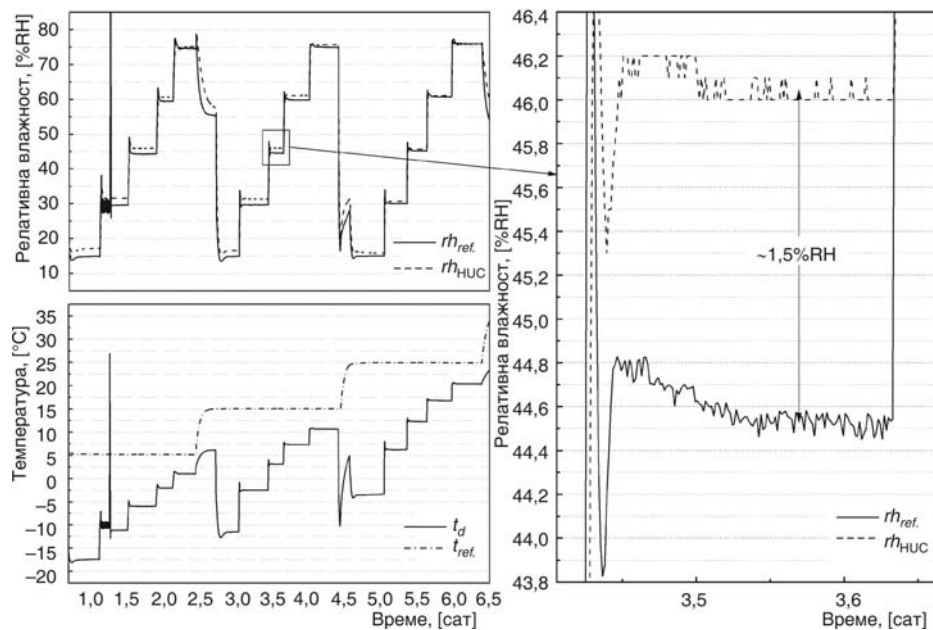
мору *ROTRONIC* генератора влажности кроз одговарајуће отворе. Заједно са сондом и мерном главом, кроз посебан отвор коморе је провучено 15 минијатурних *Pt100* сонди ради провере униформности температуре коморе. Ови температурни сензори, повезани на аквизициону картицу вишеканалног мултиметра *KEITHLEY*, су били распоређени по различитим локацијама унутар читаве запремине коморе генератора влажности.

Након повезивања свих уређаја са рачунаром, подешени су одговарајући серијски портови, као и периода аквизиције и историја приказа. У иницијалном делу програма је на начин описан у претходној глави извршено потребно подешавање инструмената. У току процеса еталонирања процена стационарних стања знатно је олакшана графичким приказом измерених вредности.

На основу прикупљених података направљени су графикони приказани на сл. 5. Ови резултати су добијени у процесу еталонирања на референтним температурама, t_{ref} , од 5, 15 и 25 °С. Доњи графикон са леве стране приказује промене температуре тачке росе, t_d , током времена, док горњи представља одговарајуће варијације референтне релативне влажности, rh_{ref} , у односу на релативну влажност, rh_{HUC} , измерену ТЕСТО сондом, односно сондом која се еталонира. Референтна релативна влажност је добијена на основу температуре тачке росе. На истој слици се може уочити да свако стационарно стање референтне релативне влажности одговара стационарном стању температуре тачке росе.

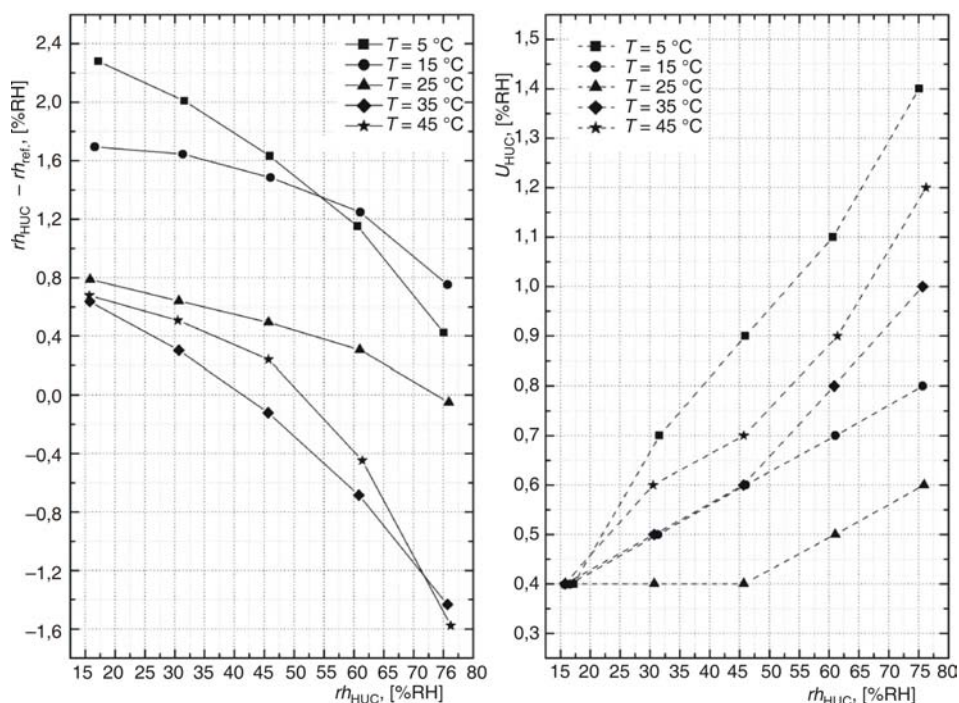
На увећаном графикону са десне стране сл. 5 приказано је поређење вредности референтне релативне влажности и релативне влажности уређаја који се еталонира за време једног стационарног стања температуре тачке росе. Као што се може видети, вредности релативне влажности уређаја који се еталонира одступа од референтне релативне влажности за око 1,5%RH на референтној температури од 15 °С.

Резултати температурне униформности анализирају се посебно за сваку референтну температуру, t_{ref} , и ови подаци су значајни за израчунавање укупне мерне несигурности еталонирања.



Слика 5. Пример измерених вредности сигнала коришћењем програмског решења

Анализом вредности референтне и температуре тачке росе, као и одговарајућих релативних влажности на свим стационарним референтним температурама, добијени су коначни резултати еталонирања (сл. 6). На левом графикону сл. 6 је приказано одступање вредности релативне влажности уређаја који се еталонирао у односу на референтну релативну влажност за различите референтне температуре, док су на графикону са десне стране приказане одговарајуће вредности проширене мерне несигурности. Ови резултати показују велику зависност одступања вредности релативне влажности *TESTO* уређаја у односу на референтне вредности релативне влажности, као и зависност одступања од примењене референтне температуре.



Слика 6. Пример добијених резултата еталонирања применом програмског решења

Закључак

Програмским решењем реализованим у Лабораторији за термотехнику и енергетику Института за нуклеарне науке „Винча” побољшана је ефикасност извођења еталонирања мерила релативне влажности и температуре тачке росе.

Реализовани софтвер обједињује више функционалних уређаја, а кориснику је остављена могућност да приликом еталонирања користи све или само оне уређаје који су у функцији. Сва подешавања параметара мерења су изведена прегледно, на једноставан и интуитиван начин. Такође је омогућен и графички приказ промене прикупљених података у времену, што је веома значајно код праћења процеса еталонирања и касније успешне обраде података.

Захвалност

Овај рад је реализован у оквиру пројеката ON174031 и П42008. Аутори рада су захвални Министарству просвете и науке Републике Србије на финансијској помоћи.

Литература

- [1] Milošević, N. D., Stepanić, N. M., Laboratory for the Relative Humidity in the Institute VINČA (in Serbian), NIV-ITE 387/ML, Belgrade, 2008
- [2] ***, ROTRONIC AG, HYGROGEN/Instruction Manual, IM_ML_HygroGen_V3.2, 2009
- [3] MBW Calibration Ltd., 473 Dew Point Mirror/ Operation and Maintenance Manual, 2011
- [4] ***, Testo, <http://www.testo.com>
- [5] ***, Innovative Sensor Technology, Platinum - 600 °C MiniSens, The World's Smallest Platinum Thin-Film Temperature Sensor, V1.0-8/2006
- [6] ***, Keithley Instruments, Inc., Model 2700 Multimeter/Switch System User's Manual, 2700-900-01, Rev. J, August 2011
- [7] ***, A Guide to the Measurement of Humidity, The Institute of Measurement and Control, London, 1996

Abstract

Development and Application of a Particular Software for Data Acquisition and Control in the Calibration of Relative Humidity and Dew-Point Temperature Measuring Devices

by

Marijana M. BABIĆ, Nenad D. STEPANIĆ, and Nenad D. MILOŠEVIĆ*

**Laboratory for Thermal Engineering and Energy,
Vinča Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, Belgrade, Serbia**

This work presents a software solution to adjust, control, display, and data acquisition for relative humidity and dew point temperature calibration using a variety of multi-functional devices: ROTRONIC HYGROGEN 2A, MBW 473, TESTO 645, TESTO 650, and KEITHLEY 2700. Besides the description of software under the LABVIEW platform, v. 7.11, an example of its application during an internal calibration with obtained results are presented in a separate section.

Key words: *calibration, relative humidity, dew-point temperature, LabVIEW*

* Corresponding author; e-mail: marijanab@vinca.rs

Рад примљен: 18. јануара 2012.
Рад ревидиран: 20. јануара 2012.
Рад прихваћен: 17. фебруара 2012.