

Marian KAMPIK, Wiesław DOMAŃSKI, Michał GRZENIK, Krzysztof MAJCHRZYK, Krzysztof MUSIOŁ, Janusz TOKARSKI

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT METROLOGII ELEKTRONIKI I AUTOMATYKI,
ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice

System stabilizacji warunków środowiskowych w Laboratorium Wzorców AC-DC

Dr hab. inż. Marian KAMPIK

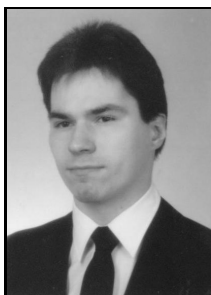
Profesor nadzwyczajny w Instytucie Metrologii Elektroniki i Automatyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej, Autor lub współautor ponad 120 publikacji naukowo-technicznych, w tym trzech monografii. Jego zainteresowania naukowe obejmują dokładne pomiary wielkości elektrycznych, sensorykę oraz zagadnienia związane z cyfrową syntezą sygnałów pomiarowych.



e-mail: Marian.Kampik@polsl.pl

Dr inż. Wiesław DOMAŃSKI

Rozpoczął pracę naukową w Instytucie Metrologii, Elektroniki i Automatyki pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Jana Zakrzewskiego. W roku 2005 na Politechnice Śląskiej w Gliwicach uzyskał tytuł doktora nauk technicznych z dyscypliny elektrotechniki i został zatrudniony na stanowisku adiunkta w ww. Instytucie. Zainteresowania naukowe dotyczą pomiarów wielkości nieelektrycznych w tym pomiarów stężeń gazów czujnikami nieselektywnymi oraz realizacji wielowymiarowego zagadnienia odwrotnego.



e-mail: Wieslaw.Domanski@polsl.pl

Mgr inż. Michał GRZENIK

Ukończył studia na Wydziale Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w 2010 roku. W tym samym roku rozpoczął studia doktoranckie w Instytucie Metrologii Elektroniki i Automatyki. Jego zainteresowania naukowe obejmują dokładne pomiary wielkości elektrycznych oraz źródła błędów występujące w termicznych przetwornikach wartości skutecznej.



e-mail: Michal.Grzenik@polsl.pl

Mgr inż. Krzysztof MAJCHRZYK

Ukończył studia na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Śląskiej w 1981 roku (specjalność: urządzenia ciepłone i ochrony powietrza). Studium podyplomowe "Audyt Energetyczny" (Politechnika Śląska, 1994-1995). Studia doktoranckie w dyscyplinie "Inżynieria Środowiska" (Główny Instytut Górnictwa, 2005-2008). Jego praca zawodowa związana jest z wykonawstwem i projektowaniem instalacji. Od 2001 r. zatrudniony w Dziale Technicznym i Inwestycji Politechniki Śląskiej.



e-mail: Krzysztof.Majchrzyk@polsl.pl

Dr inż. Krzysztof MUSIOŁ

Studia na kierunku Elektrotechnika, specjalność Automatyka i Metrologia Elektrotechniczna ukończył w roku 2002. Rozpoczął pracę naukową w Instytucie Metrologii, Elektroniki i Automatyki pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Tadeusza Skubisa. W roku 2007 na Politechnice Śląskiej w Gliwicach uzyskał tytuł doktora nauk technicznych z dyscypliny elektrotechniki i został zatrudniony na stanowisku adiunkta w ww. Instytucie. Zainteresowania naukowe dotyczą precyzyjnych układów do pomiarów składowych impedancji.



e-mail: Krzysztof.Musiol@polsl.pl

Dr inż. Janusz TOKARSKI

Adiunkt w Instytucie Metrologii, Elektroniki i Automatyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Prace naukowe, badawcze i projektowe prowadzi w zakresie mikroprocesorowych przyrządów pomiarowych, głównie mikromanometrów, termomanometrów, higrometrów, termometrów i przepływomierzy elektromagnetycznych oraz w zakresie rozproszonych systemów pomiarowych. Działalność dydaktyczna obejmuje przedmioty z obszaru techniki cyfrowej i mikroprocesorowej.



e-mail: Janusz.Tokarski@polsl.pl

Streszczenie

Odtwarzanie jednostek miar oraz przechowywanie i wykorzystywanie ich wzorców pierwotnych musi odbywać się w odpowiednich warunkach środowiskowych. W pracy przedstawiono opis systemu stabilizującego warunki środowiskowe w Laboratorium Wzorców AC-DC Instytutu Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej. W artykule zamieszczono również wyniki badań systemu oraz zaproponowano metody jego udoskonalenia.

Słowa kluczowe: laboratoria wzorujące, transfer AC-DC, wzorce pierwotne.

System for stabilization of environmental conditions in the Laboratory of AC-DC Standards

Abstract

Primary standards of physical quantities are the basis of traceability and uniformity of all measurements. Appropriate environmental conditions should be provided to maintain the standards and reproduce unit of measures. In the paper there are described the resources used for stabilization of temperature and humidity in the Laboratory of AC-DC Standards. The results of investigations of environmental parameters and possibilities for their further improvement are presented. A view of the interior of the electromagnetically shielded chamber and of the measuring station in the

chamber of the Laboratory of AC-DC Standards are shown in Figs. 1 and 2, respectively. A measuring system consisting of an air handling unit suspended over the chamber and other devices cooperated with it (Fig. 3) ensures temperature and humidity stabilization inside the chamber. An air conditioning system based on the chilled water enables setting temperature in the range from 20 to 25°C. In order to confirm the assumed temperature stability (maximum $\pm 0,2$ K per hour), suitable measurements were taken with use of a thermohygrometer Label LB706B. The results of short and long-term stability of the temperature at the measuring station are shown in Figs. 4 and 5, respectively. Based on the presented results, it can be concluded that the system presented in the paper meets the assumed environmental requirements and enables realization of an AC-DC transfer with type A uncertainty at the level of $\mu V/V$.

Keywords: calibration laboratories, AC-DC transfer, primary standards.

1. Wprowadzenie

Termiczne przetworniki wartości skutecznej (TPWS) są w dalszym ciągu najdokładniejszymi wzorcami napięcia przemiennego, szczególnie dla częstotliwości większych od około 1 kHz [1]. Uzyskanie odpowiedniej dokładności etalonu wymaga utrzymania go w ściśle określonych warunkach środowiskowych. Z tego względu w Instytucie Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej zbudowano laboratorium wyposażone w elektromagnetycznie ekranowaną kabinę pomiarową (rys. 1)

o stabilizowanej temperaturze i wilgotności, zwane dalej Laboratorium Wzorców AC-DC. Konstrukcja kabiny zapewnia tłumienność zaburzeń promieniowanych w paśmie częstotliwości od 100 kHz do 6 GHz i przewodzonych większą od 60 dB. Tak wysoka tłumienność gwarantuje niezależność pomiarów wykonywanych w kabinie od zewnętrznych pól elektrycznych i magnetycznych. Elektromagnetycznie ekranowana kabina pomiarowa Laboratorium Wzorców AC-DC Instytutu Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej wyposażona jest w oryginalny system stabilizacji warunków. Jego podstawowym zadaniem jest zapewnienie odpowiednio stabilnej temperatury i wilgotności w kabinie, szczególnie w obszarze nad powierzchniami roboczymi stanowisk pomiarowych (rys. 2). Temperatura w kabinie powinna wynosić $23,0^{\circ}\text{C}$ z dopuszczalnym dryfem nie przekraczającym $\pm 0,2\text{ K}$ na godzinę. Założono możliwość opcjonalnej nastawy wartości stabilizowanej temperatury w przedziale od $20,0^{\circ}\text{C}$ do $25,0^{\circ}\text{C}$. Dopuszczalne wahania wilgotności względnej nie powinny być większe od $\pm 10\%$ na dobę.



Rys. 1. Widok wnętrza elektromagnetycznie ekranowanej komory pomiarowej Laboratorium Wzorców AC-DC

Fig. 1. View of the interior of the electromagnetically shielded chamber in the Laboratory of AC-DC Standards



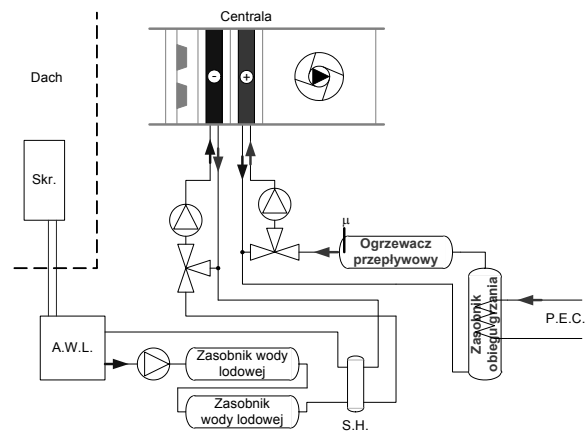
Rys. 2. Widok stanowiska pomiarowego w komorze pomiarowej Laboratorium Wzorców AC-DC

Fig. 2. View of the measuring station in the chamber of the Laboratory of AC-DC Standards

2. Opis systemu stabilizującego temperaturę i wilgotność

Zagadnienia związane ze stabilizacją warunków środowiskowych pomieszczeń laboratoryjnych wydają się być dobrze znane [2], jednakże specyfika Laboratorium Wzorców AC-DC, konieczność dostosowania instalacji do warunków lokalowych oraz dostępne środki finansowe zmusiły zespół wykonawców do opracowania oryginalnego rozwiązania, które jest opisane w niniejszej pracy.

Stabilizację temperatury i wilgotności wewnątrz kabiny pomiarowej zapewnia system składający się z podwieszanej u sufitu nad kabiną centrali wentylacyjnej oraz współpracujących z nią urządzeń i układów peryferyjnych [3]. Cała instalacja zlokalizowana jest w dwóch pomieszczeniach: w laboratorium, w którym mieści się kabina oraz w przylegającej do pomieszczenia laboratorium maszynowni. Schemat głównych obwodów współpracujących z centralą klimatyzacyjną przedstawiono na rys. 3. Na rysunku tym zastosowano następujące oznaczenia: Skr. – skraplacz, A.W.L. – agregat wody lodowej, S.H. – sprężęło hydrauliczne, P.E.C. – instalacja centralnego ogrzewania budynku ciepłą wodą, dostarczaną przez przedsiębiorstwo energetyki ciepłej.



Rys. 3. Schemat głównych obwodów współpracujących z centralą klimatyzacyjną

Fig. 3. Diagram of the main circuits of the air-conditioning unit

Centrala wentylacyjna dostarcza do wnętrza kabiny powietrze obiegowe (recykulacyjne) lub wymieszane z pewną częścią świeżego powietrza pobranego z zewnątrz. Rozwiązanie to obniża koszty eksploatacji i jest dopuszczalne ze względu na zdalną obsługę stanowisk pomiarowych [4]. Powietrze dostarczane do kabiny jest poddawane następującym procesom:

- 1) filtracji wstępnej, dokonywanej za pomocą filtra kieszeniowego klasy EU9, umieszczonego w centrali,
- 2) filtracji dokładnej, realizowanej za pomocą filtrów absolutnych umieszczonych na wylotach trzech kanałów nawiewnych kabiny pomiarowej,
- 3) jedno- lub dwustopniowego schładzania z wykraplaniem pary wodnej,
- 4) ogrzewania i nawilżania.

Dwustopniowa filtracja powietrza nawiewanego zapewnia eliminację zanieczyszczeń zawartych w powietrzu. Do centrali wentylacyjnej doprowadzane jest świeże powietrze, filtrowane przez własny filtr kieszeniowy, przez przepustnicę, umożliwiającą zdalną nastawę proporcji powietrza świeżego do recykulowanego.

Schładzanie realizowane jest przez wężownicę wodną centrali wentylacyjnej, w której zastosowano jakościową regulację czynnika obiegowego. W skład układu regulacji wchodzi zawór trójdrożny oraz pompa w obiegu wężownicy. Czynnik chłodzący jest przygotowywany w zasobniku zasilanym z agregatu wody lodowej, wspomaganym przez dodatkowy wymiennik ciepła współpracujący z drugą, zewnętrzną wężownicą.

Ogrzewanie realizowane jest przez węzownicę wodną centrali wentylacyjnej, w której również zastosowano jakościową regulację czynnika obiegowego. Czynniki nagrzewający przygotowują się w zasobniku zasilanym zewnątrz przez wymiennik współpracujący z instalacją centralnego ogrzewania budynku i wspomagany własnym przepływowym ogrzewaczem. Temperatura czynnika nagrzewającego w zasobniku jest stabilizowana dodatkowym niezależnym obwodem. Przyjęte rozwiązanie umożliwia utrzymanie gotowości do ogrzewania (co jest istotne zwłaszcza w okresie wiosennym i jesiennym) oraz stabilizuje warunki pracy zaworu trójdrożnego i regulatora.

Nawilżanie realizowane jest przez wytwornicę pary wodnej z łańcuchem umieszczoną między wentylatorem nawiewowym a kanałami dolotowymi kabiny i filtrami absolutnymi. Urządzenie to działa dwustanowo, dlatego sprzężono je z higrostatem reagującym na obniżenie wilgotności poniżej wartości progowej.

W celu zapewnienia w kabinie równomiernego przepływu powietrza z prędkością mniejszą od 5 cm/s zastosowano odpowiednie panele rozpraszające oraz obudowę kanału nawiewnego, gwarantującą laminarny przepływ powietrza. Dzięki takiemu rozwiązaniu prędkość powietrza przepływającego przez kabinę w obrębie stanowisk pomiarowych jest równa około 2 cm/s.

W pomieszczeniu laboratorium, nad kabiną pomiarową, został umieszczony dodatkowy wymiennik klimakonwektora, sterowany oddzielnym sterownikiem. Służy on do stabilizowania temperatury powietrza na zewnątrz kabiny, co przyczynia się do zwiększenia stabilności temperatury w jej wnętrzu. Konieczność stabilizacji temperatury w pomieszczeniu laboratorium wynika między innymi z faktu, iż dwie ściany pomieszczenia laboratorium są ścianami zewnętrznymi. Dodatkowy klimakonwektor jest wykorzystywany głównie do schładzania powietrza. Przewidziano również możliwość pracy w trybie dogrzewania, ale z doświadczeń przeprowadzonych w okresie zimowym 2012/2013 wynika, że nie było to konieczne.

W układzie sterowania wykorzystano sterownik dedykowany do systemów klimatyzacyjnych, wyposażony w interfejs LAN i złącze RJ-45. Sterownik steruje układami nagrzewania i schładzania. Zaimplementowano w nim kaskadowy algorytm PI+PID. Ponieważ sterownik posiada wbudowaną stronę WWW możliwe jest zdalne uruchamianie i wyłączanie całego systemu.

Ze względu na wymagane tłumienie zewnętrznych zakłócających pól elektromagnetycznych niemożliwe było przewodowe połączenie czujnika temperatury znajdującego się przy stanowisku pomiarowym w kabinie ze sterownikiem umieszczonym na zewnątrz niej. Z tego powodu czujniki centrali klimatyzacyjnej znajdują się na zewnątrz kabiny, co znacznie utrudnia stabilizację temperatury wnętrza kabiny. Planowane jest zbudowanie układu pomiarowego umożliwiającego pomiar temperatury na stanowisku i przesłanie wyniku do sterownika centrali klimatyzacyjnej za pomocą łącza światłowodowego.

3. Badania warunków środowiskowych w laboratorium

Warunki środowiskowe występujące w kabinie pomiarowej są na bieżąco monitorowane przez następujące przyrządy:

- 1) trzy termometry współpracujące z centralą klimatyzacyjną,
- 2) miernik LB706B firmy Label mierzący temperaturę, wilgotność i ciśnienie,
- 3) głowicę pomiarową współpracującą z kasetą rejestrującą Metronic MPI-8. Przyrząd ten zawiera termometr, higrometr i anemometr.

W badaniach wykorzystano również czwarty, dodatkowy system pomiarowy rejestrujący temperaturę w dziesięciu, ważnych z punktu widzenia układu sterowania, lokalizacjach. Zastosowanie kilku niezależnych układów pomiarowo-rejestrujących jest istotne nie tylko ze względu na zwiększenie wiarygodności badań, lecz jest również ważne dla zarządzania jakością w laboratorium, zapewnienia powtarzalności wyników pomiarów oraz kontroli

zdarzeń planowych (jak np. otwarcie drzwi kabiny) i losowych (jak np. awaria układu zasilania).

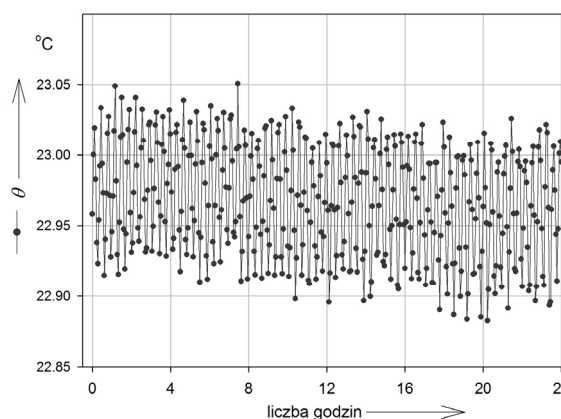
Wstępne badania stabilności temperatury powietrza wewnątrz kabiny ujawniły wady systemu sterowania. Błędy znacznie przekraczały poza zakładane limity. Analiza i kolejne badania pozwoliły na wykrycie szeregu przyczyn. Najważniejszymi z nich z nich były:

- 1) relatywnie niewielka kubatura kabiny i związana z nią mała bezwładność cieplna zawartego w niej powietrza,
- 2) brak izolacji cieplnej ścian kabiny i wynikająca z tego wrażliwość na zmiany temperatury w pomieszczeniu laboratorium, w którym zlokalizowana jest kabina,
- 3) nieliniowość i histereza elementów regulacyjnych. Zawory trójdrożne w okolicy odcięcia charakteryzują się dużą nieliniowością i histerezą, co powoduje powstanie lokalnego obszaru niejednoznaczności charakterystyki zaworu i związanego z nim permanentnie dynamicznego stanu pracy algorytmu PID,
- 4) duże wahania parametrów czynnika chłodzącego, powodowane dwustanowym trybem pracy układu schładzającego AWL,
- 5) duże wahania parametrów czynnika grzejącego,
- 6) mała rozdzielczość pomiaru temperatury realizowanego przez sterownik, równa około 0,3°C.

Po zidentyfikowaniu powyższych przyczyn dokonano szeregu modyfikacji:

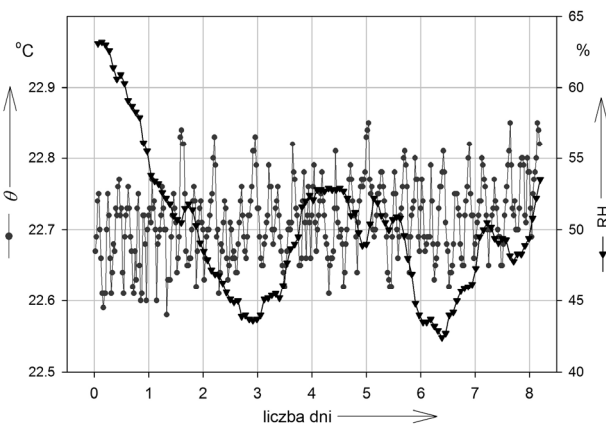
- 1) ograniczono dynamikę sterowania, co zmniejszyło głębokość przeregulowania,
- 2) ograniczono wentylację pomieszczenia laboratorium w czasie realizowania transferu AC-DC, decydując się na zdalne monitorowanie przebiegu pomiarów. Dzięki temu zmniejszono zaburzenia temperatury spowodowane obecnością ludzi, otwieraniem i zamykaniem drzwi oraz oświetleniem,
- 3) wyprowadzono zawory trójdrożne z obszaru bliskiego stanowi odcięcia. Dokonano tego poprzez regulowanie dopływem świeżego powietrza oraz wstawienie do kabiny dwustanowo sterowanego źródła ciepła w postaci termodmuchaży,
- 4) dwukrotnie zwiększono objętość zasobnika wody lodowej (do 300 dm³) oraz zastosowano sprzęgło hydrauliczne,
- 5) zmieniono algorytm sterowania z PID na kaskadowy PI+PID.

Na rys. 4 przedstawiono dobowe zmiany temperatury na stanowisku po wprowadzeniu powyższych modyfikacji. Godnym uwagi jest osiągnięcie relatywnie małej temperaturowej niestabilności krótkoterminowej i dobowej. Jest ona znacznie mniejsza od zdolności rozdzielczej zastosowanego sterownika.



Rys. 4. Dobowa stabilność temperatury na stanowisku pomiarowym
Fig. 4. Daily temperature stability at the measuring station

Na rys. 5 przedstawiono wyniki badań stabilności długoterminowej (wielodobowej). Jest ona zgodna z przyjętymi na wstępie założeniami.



Rys. 5. Wielodobowa stabilność temperatury i wilgotności względnej na stanowisku pomiarowym

Fig. 5. Long-term temperature and relative humidity stability at the measuring station

4. Opis systemu teleinformatycznego laboratorium

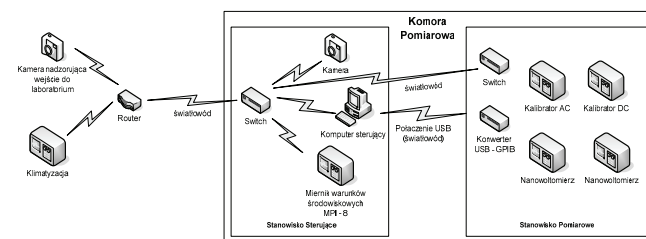
Równie istotnym z punktu widzenia dokładności wykonywanych pomiarów było opracowanie odpowiedniej infrastruktury teleinformatycznej Laboratorium Wzorców AC-DC. Nawet najbardziej niezawodny i precyzyjny układ stabilizacji temperatury okaże się nieprzydatny w sytuacji, gdy wykonanie pomiarów będzie wymagało obecności operatora w kabinie. Laboratorium wyposażono zatem w infrastrukturę umożliwiającą monitorowanie przebiegu transferu oraz zdalne sterowanie systemem pomiarowym poprzez Internet. Automatyczna ciągła realizacja kalibracji, testowania i weryfikacji wyników oraz zdalne monitorowanie i sterowanie przebiegiem pomiarów zapewnia eliminację obecności operatora i jego wpływu na wynik wzorcowania.

Procesem transferu AC-DC steruje komputer umieszczony na stanowisku sterującym, znajdującym się naprzeciwko stanowiska pomiarowego, w odległości około 1 metra. Taka lokalizacja komputera sterującego zmniejsza wpływ zaburzeń elektromagnetycznych wytwarzanych przez komputer i jego monitor. Oprogramowanie zainstalowane na komputerze na stanowisku sterującym komunikuje się z przyrządami pomiarowymi oraz kalibratorami poprzez konwerter USB/GPIB oraz interfejs GPIB. W celu odseparowania komputera sterującego od przyrządów pomiarowych, wykorzystane zostały specjalne przedłużacze USB, w których medium transmisyjnym jest światłowód. Sieć internetowa została doprowadzona do komory poprzez światłowody wielomodowe. Sieć internetowa została również doprowadzona poprzez światłowody do wszystkich stanowisk pomiarowych (do każdego stanowiska sterującego doprowadzony został oddzielny światłowód).

Komora została wyposażona w dwie kamery internetowe. Jedna z nich, została umieszczona na zewnątrz komory i umożliwia monitorowanie pomieszczenia w którym zlokalizowana jest komora. Wyposażona jest ona w funkcję wykrywania ruchu. Kamera ta rejestruje osoby wchodzące do pomieszczenia Laboratorium. Wykonane przez kamerę zdjęcia umieszczane są na zdalnym serwerze. Ułatwia to wykrywanie źródeł zaburzeń (głównie zmian temperatury otoczenia), spowodowanych otwarciem drzwi i przepływem powietrza. Druga kamera znajduje się wewnątrz komory, naprzeciwko głównego stanowiska pomiarowego. Wyposażona jest ona w dwunastokrotny zoom optyczny oraz obrotową głowicę. Kamera ta, służy do zdalnego nadzorowania komory oraz monitorowania wskazań przyrządów.

Do infrastruktury sieciowej wewnątrz komory zostały podłączone również przyrządy umożliwiające rejestrację warunków środowiskowych panujących wewnątrz komory, takich jak tempe-

ratura czy wilgotność. Ogólny schemat systemu teleinformatycznego Laboratorium przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Ogólny schemat systemu teleinformatycznego Laboratorium Wzorców AC-DC

Fig. 6. General schematic diagram of the information and communication system of the Laboratory of AC-DC Standards

5. Wnioski i kierunki dalszych prac

Przedstawiony system stabilizacji warunków środowiskowych spełnia postawione przed nim zadanie, umożliwiając realizację napięciowego transferu AC-DC z bardzo małą niepewnością typu A, rzędu ułamka $\mu\text{V/V}$. W najbliższej przyszłości planowane jest zastosowanie układu umożliwiającego pomiar temperatury bezpośrednio na stanowisku pomiarowym i przesłanie wyniku pomiaru do sterownika centrali klimatyzacyjnej za pomocą łącza światłowodowego (aktualnie testowany jest prototyp takiego urządzenia). Umożliwi to zminimalizowanie różnicy temperatury pomiędzy wartością zadaną a ustaloną. Różnica ta zależy od rozkładu źródeł ciepła wewnątrz kabiny oraz ilości ciepła wytwarzanego przez zainstalowaną w kabinie aparaturę. Przy zadawaniu skokowych zmian ilości wydzielanego w kabinie ciepła za pomocą termomuchawy o mocy 1 kW różnica ta osiąga wartość 0,5 K i zależy od kierunku wyrzutu ciepła. W dalszej kolejności planowane jest zmniejszenie amplitudy tętnień temperatury, widocznych na rys. 4. W tym celu dokonane zostaną próby poprawienia funkcjonowania elementów wykonawczych zastosowanych w układzie regulacji. Wpływ tych tętnień na niepewność typu A transferu AC-DC jest niewielki z uwagi na duże pojemności cieplne obudów wzorców napięcia przemiennego.

Laboratorium Wzorców AC-DC zostało utworzone z myślą o jego stopniowym rozwoju. W przyszłości planowane jest wykorzystywanie jego infrastruktury także do realizacji wzorca prądu przemiennego, mocy i energii elektrycznej oraz impedancji.

Praca finansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (Projekt Rozwojowy nr R01003010).

6. Literatura

- [1] Grzenik M., Kampik M.: Matematyczny model wzorca napięcia przemiennego, *Prz. Elektrot.* 2013 R. 89, nr 4, s. 214-216.
- [2] Ullrich H. J.: *Technika klimatyzacyjna*, Poradnik, IPPU MASTA, 2001.
- [3] Kampik M., Domański W., Grzenik M., Majchrzyk K., Musioł K., Tokarski J.: System stabilizujący temperaturę i wilgotność w laboratorium wzorców AC-DC, *Mat. XLV Międzynarodowej Konferencji Metrologów MKM'13*, Prace Komisji Metrologii Oddziału PAN w Katowicach; Seria Konferencje, nr 17, Katowice 2013, s. 1-4 (CD-ROM).
- [4] Gliński M.: *Optymalizacja parametrów powietrza w pomieszczeniach pracy, Miejskowa wentylacja wywiewna*, Poradnik, DW Medium, Warszawa 2007.

otrzymano / received: 17.12.2013

przyjęto do druku / accepted: 01.01.2014

artykuł recenzowany / revised paper