

**Leszek FURMANKIEWICZ, Janusz KACZMAREK**  
 UNIwersytet Zielonogórski, Instytut Metrologii Elektrycznej,  
 ul. Podgórna 50, 65-246 Zielone Góra

## Monitorowanie warunków pracy zegarów atomowych

Dr inż. Leszek FURMANKIEWICZ

Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrycznym Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze w 1988 r. Stopień naukowy doktora otrzymał na Wydziale Elektrycznym Politechniki Zielonogórskiej w 1998 r. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Metrologii Elektrycznej Uniwersytetu Zielonogórskiego. Od 2002 r. pełni funkcję zastępcy Dyrektora Instytutu. Główne zainteresowania zawodowe to systemy pomiarowe oraz pomiary wielkości elektrycznych, a w szczególności pomiary parametrów sieci energetycznej.

e-mail: l.furmankiewicz@ime.uz.zgora.pl



Dr inż. Janusz KACZMAREK

Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrycznym Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze w 1989 r. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał na Wydziale Elektrycznym Politechniki Zielonogórskiej. Główne zainteresowania dotyczą zastosowania metod cyfrowego przetwarzania sygnałów w przyrządach i systemach pomiarowych oraz wykorzystania graficznych środowisk programowania do projektowania oprogramowania dla systemów pomiarowych. Jest autorem wielu wdrożeń wyników badań dla przemysłu.

e-mail: j.kaczmarek@ime.uz.zgora.pl



### Streszczenie

W artykule przedstawiono charakterystykę rozwiązań sprzętowych i oprogramowania podsystemów pomiarowych przeznaczonych do monitorowania podstawowych parametrów głównego (230V AC) i rezerwowego (akumulatorowego) systemu zasilania atomowych wzorców czasu i częstotliwości oraz ich warunków środowiskowych takich jak temperatura, wilgotność i ciśnienie atmosferyczne. Podsystemy tworzą kompleksowy system monitorowania warunków pracy wzorców czasu i częstotliwości.

**Słowa kluczowe:** zegar atomowy, system pomiarowy.

### Monitoring of working conditions of atomic clocks

#### Abstract

The paper presents the characteristics of measurement subsystems for monitoring environmental conditions and basic parameters of the main and backup power system of time and frequency atomic standards (atomic clocks). Both subsystems for monitoring power supply were implemented based on the universal USB DAQ cards with ADC converters and appropriate analog signal conditioners. Measuring current transformers (Fig.1) were used for conditioning signals (230 VAC) in the subsystem for monitoring main power supply. Resistance dividers and Hall effect sensors were applied in the subsystem (Fig.2) for monitoring DC voltage and current (in range up to 15 A) signals of backup power supply. The environmental monitoring subsystem (Fig.3) consists of instruments manufactured by LAB-EL company and allows for continuous multipoint monitoring of temperature, pressure and humidity. The software for the three subsystems (Figs. 4 and 5) was developed in an environment LabWindows/CVI, in the form of three separate modules with the possibility of communicating via network variables. Each software module carries out five basic tasks: subsystem configuration, control of measurement process, presentation of current data, presentation of historical data, detection and indication of alarm status. The subsystems or their components can be applied to other laboratories or institutions, in which there is a need for continuous monitoring of working conditions of electronic equipment.

**Keywords:** atomic clocks, measurement system.

## 1. Wprowadzenie

Wymóg bezwzględnej ciągłości pracy zegarów atomowych jest bardzo ważnym zadaniem stawianym przez Główny Urząd Miar w kontekście realizacji państwowego wzorca czasu i częstotliwości. Każda przerwa w pracy zegara atomowego powoduje, na arenie krajowej i międzynarodowej, utratę wiarygodności jego sygnałów na kilka miesięcy. Stąd jednym z istotnych zadań związanych z obsługą i użytkowaniem atomowych wzorców czasu i częstotliwości jest ciągle monitorowanie ich warunków pracy [1]. Na warunki pracy w największym stopniu wpływają systemy zasilania przemiennie-prądowego 230 VAC (główny system zasilania) i stałoprądowego (rezerwowego system zasilania) oraz parametry środowiskowe: temperatura, wilgotność i ciśnienie.

## 2. Charakterystyka systemu

System monitorowania warunków pracy atomowych wzorców czasu i częstotliwości składa się z trzech podsystemów - komputerowych stanowisk pomiarowych:

- podsystem monitorowania napięć głównego systemu zasilania (230 VAC);
- podsystem monitorowania napięć i prądów rezerwowego (akumulatorowego) systemu zasilania;
- podsystem monitorowania warunków środowiskowych - temperatura, wilgotność, ciśnienie.

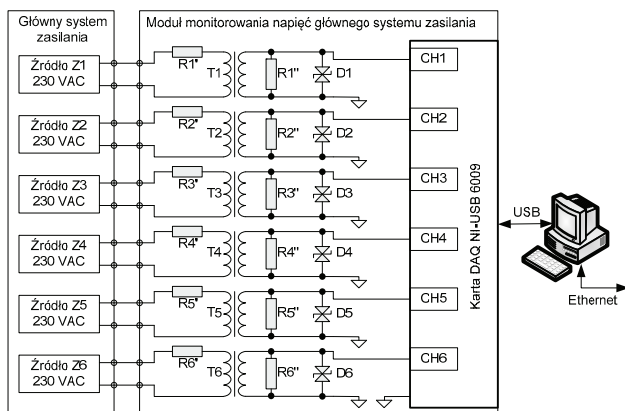
Zadaniem podsystemów jest cykliczny pomiar monitorowanych parametrów, archiwizacja wyników pomiaru, detekcja i sygnalizacja stanów alarmowych oraz przeglądanie danych archiwalnych. Podsystemy połączone są siecią Ethernet, co pozwala na wzajemną komunikację oraz współpracę z modułem zdalnego powiadomienia o stanach alarmowych. Moduł zdalnego powiadomienia o stanach alarmowych współpracuje z modemem GSM, który realizuje powiadomienie za pomocą komunikatów tekstowych SMS. Pod względem funkcjonalnym każdy podsystem składa się z modułów: programowego i sprzętowego (pomiarowego). Moduły pomiarowe podsystemów monitorowania głównego i rezerwowego systemu zasilania zrealizowano na bazie uniwersalnych kart pomiarowych firmy National Instruments [2] wyposażonych w interfejsy USB. W przypadku podsystemu monitorowania warunków środowiskowych zastosowano komercyjne przyrządy pomiarowe.

Oprogramowanie systemu zrealizowano w środowisku LabWindows/CVI w postaci trzech niezależnych modułów (programów komputerowych). Dzięki zastosowaniu technologii zmiennych sieciowych wszystkie moduły programowe mogą komunikować się ze sobą - niezależnie, czy są zainstalowane na tym samym komputerze, czy też na różnych komputerach. Takie rozwiązanie pozwala na swobodne kształtowanie struktury systemu pomiarowego.

## 3. Podsystemy monitorowania głównego systemu zasilania

Strukturę funkcjonalną podsystemu monitorowania głównego systemu zasilania przedstawiono na rys.1. Zasadniczym elementem podsystemu jest moduł pomiarowy, który umożliwia pomiar sześciu napięć przemiennych o nominalnej wartości skutecznej 230 V, w zakresie (170 ÷ 270) V. Konstrukcja modułu bazuje na uniwersalnej karcie pomiarowej DAQ NI-USB 6009. Obwody wejściowe zrealizowano z wykorzystaniem prądowych transformatorów pomiarowych T1..T6 firmy IEL Metrol z Zielonej Góry, które wraz z rezystorami R1'..R6' oraz R1''..R6'' zapewniają dopasowanie wartości amplitud sygnałów pomiarowych do zakresu karty DAQ oraz izolację galwaniczną torów pomiarowych od wysokonapięciowych źródeł mierzonych sygnałów. Elementy D1..D6 zastosowano w celu zabezpieczenia karty DAQ przed

przekroczeniem dopuszczalnego zakresu napięć wejściowych. Prosta struktura modułu pomiarowego wynika z zastosowanej metody pomiaru wartości skutecznej – metody próbkowania mierzonego sygnału. W algorytmie wyznaczania wartości skutecznej zastosowano przybliżoną programową synchronizację częstotliwości próbkowania. Takie rozwiązanie pozwala, po zastosowaniu procedury wzorcowania, na pomiar wartości skutecznej, w zakresie częstotliwości ( $40 \div 70$ ) Hz, z niepewnością na poziomie 0,5%. Wzorcowania modułu pomiarowego dokonano za pomocą kalibratora mocy i energii ROTEK 8000.

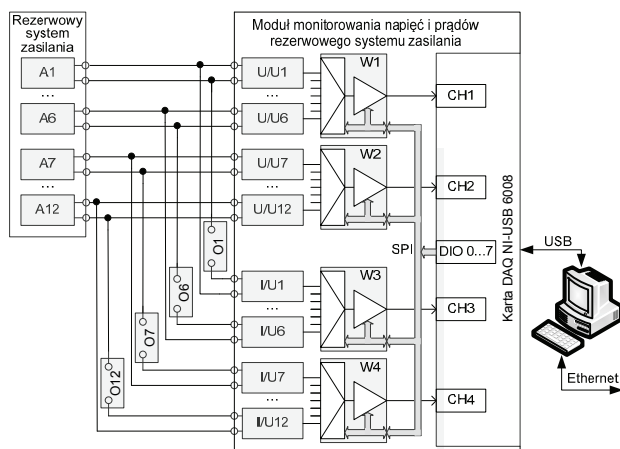


Rys. 1. Schemat funkcjonalny podsystemu monitorowania głównego systemu zasilania

Fig. 1. Functional diagram of the subsystem for main power system monitoring

#### 4. Podsystemy monitorowania rezerwowego systemu zasilania

Na rys. 2 przedstawiono schemat funkcjonalny podsystemu monitorowania rezerwowego systemu zasilania składającego się z zestawu akumulatorów A1..A12. Głównym składnikiem systemu jest specjalizowany 12-kanałowy moduł pomiarowy, który umożliwia pomiar sygnałów stałoprądowych: napięć w zakresie ( $0 \div 30$ ) V i prądów w zakresie ( $0 \div 15$ ) A. W module pomiarowym zastosowano uniwersalną kartę pomiarową DAQ NI-USB 6008. Obwody wejściowe w torach napięciowych U/U1..U/U12 stanowią rezystancyjne dzielniki napięcia.



Rys. 2. Schemat funkcjonalny podsystemu monitorowania rezerwowego systemu zasilania

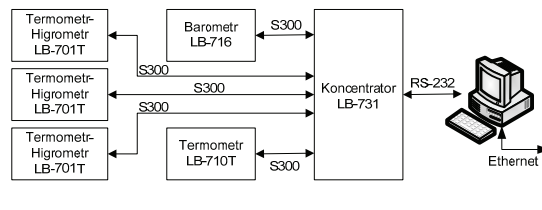
Fig. 2. Functional diagram of the subsystem for backup power system monitoring

Obwody prądowe I/U1..I/U12 zrealizowano z wykorzystaniem hallotronowych przetworników prąd-napięcie LEM LTS-15NP. W ten sposób uzyskano separację galwaniczną prądowych torów pomiarowych oraz bardzo małą rezystancję wejściową przetwornika I/U, która wynosi 0,18 mΩ. Wzmacniacze

W1..W4, zintegrowane z 8-kanałowymi multiplexerami analogowymi, zastosowano w celu zwiększenia ilości kanałów pomiarowych. Dodatkową zaletą wzmacniaczy jest możliwość programowania wzmocnienia poprzez interfejs szeregowy SPI. Do tego celu zastosowano linie cyfrowe DIO karty DAQ. Zapewnienie możliwości wzmacniania sygnałów wyjściowych z prądowych przetworników hallotronowych, które zawierają na wyjściu składową stałą  $+2,5$  V, wymagało zastosowania specjalnego rozwiązania. Dzięki temu wzmacniany jest tylko sygnał napięciowy z zakresu ( $0 \div 0,625$ ) mV, który jest proporcjonalny do wartości mierzonego prądu. Niepewność pomiaru nie przekracza 0,1% dla torów napięciowych oraz 1% dla torów prądowych. Parametry te wyznaczone za pomocą kalibratora napięć i prądów stałych SQ10 firmy INMEL. Symbole O1..O12 na schemacie blokowym przedstawiają miejsce podłączenia odbiorników energii elektrycznej (zegarów atomowych, przyrządów pomiarowych, zasilaczy UPS współpracujących z zewnętrznymi akumulatorami) korzystających w sytuacjach awaryjnych z zasilania akumulatorowego.

#### 5. Podsystem monitorowania warunków środowiskowych

Podsystem monitorowania warunków środowiskowych (temperatura, wilgotność i ciśnienie atmosferyczne) od strony sprzętowej został oparty na przyrządach pomiarowych firmy LAB-EL [3]. Podstawowym elementem systemu monitorowania jest koncentrator pomiarowy LB-731, umożliwiający rejestrację wyników pomiarów z 16 przyrządów pomiarowych takich jak: termometry, higrometry i barometry, które mogą być podłączone za pomocą interfejsu cyfrowej pętli prądowej S300 firmy LAB-EL [4]. W prezentowanym systemie (rys.3) zastosowano 3 termohigrometry typu LB701T, barometr LB-716 oraz termometr LB-701T. Przyrządy monitorują warunki środowiskowe w pomieszczeniach oraz na zewnątrz budynku. Koncentrator LB-731 posiada podtrzymywaną bateryjnie pamięć wyników pomiarów i zegar czasu rzeczywistego. Pamięć koncentratora pozwala na zapamiętanie 908 rekordów danych (data, czas, wartość zmierzona) dla każdego z 16 przyrządów pomiarowych. Po odpowiednim zaprogramowaniu koncentrator może odczytywać wyniki pomiarów wysyłane cyklicznie z dołączonych do jego wejść przyrządów i gromadzić je w pamięci. Koncentrator może pracować autonomicznie lub, poprzez interfejs RS-232, współpracować z nadrzędnym komputerem. W przypadku współpracy z nadrzędnym komputerem oprogramowanie koncentratora umożliwia zdalne programowanie parametrów akwizycji, wysyłanie nastaw wszystkich parametrów, wysyłanie bieżących wyników pomiarów i wyników zebranych w pamięci koncentratora. W podsystemie monitorowania warunków środowiskowych zrealizowano koncepcję współpracy koncentratora z komputerem PC, który wraz z modulem programowym tworzy nadrzędny system monitorowania.



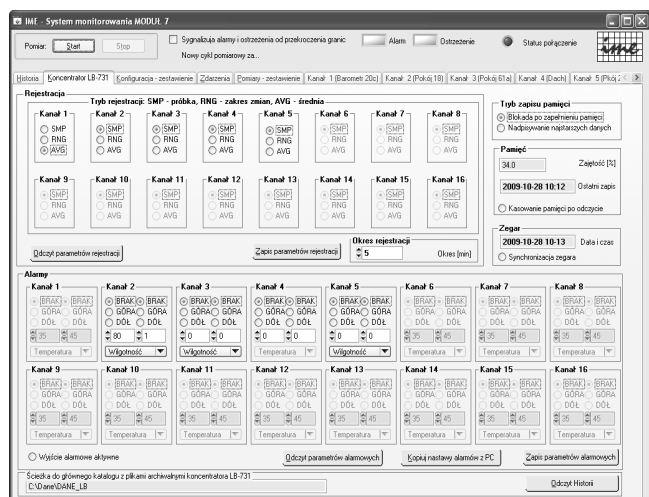
Rys. 3. Struktura sprzętowa systemu monitorowania warunków środowiskowych

Fig. 3. Block diagram of the subsystem for environmental conditions monitoring

Po odpowiednim zaprogramowaniu koncentrator cyklicznie odczytuje wyniki pomiarów z przyrządów pomiarowych i gromadzi je w pamięci, natomiast nadrzędny system monitorowania, w określonych interwałach czasowych, pobiera wyniki z pamięci koncentratora. Takie rozwiązanie zapewnia możliwość odtworzenia parametrów środowiskowych w przypadku awarii systemu nadrzędnego. Struktura sprzętowa systemu umożliwia jego rozbudowę o dodatkowe przyrządy pomiarowe firmy LAB-EL wyposażone w interfejs cyfrowej pętli prądowej S300.

## 6. Oprogramowanie podsystemów

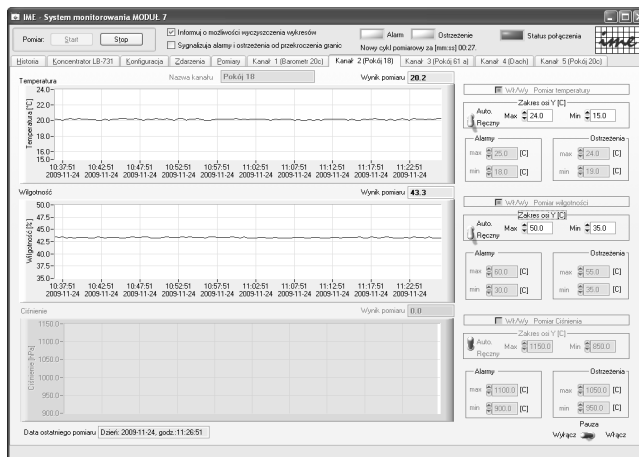
Oprogramowanie trzech wykonanych podsystemów pomiarowych zostało zaprojektowane za pomocą środowiska LabWindows/CVI. Graficzny interfejs użytkownika każdego podsystemu jest zrealizowany w postaci ujednoliconego panelu głównego z zakładkami. Wszystkie podsystemy realizują następujące funkcje: konfiguracji podsystemu pomiarowego, akwizycji danych pomiarowych, prezentacji bieżących wyników pomiarów i danych archiwalnych oraz współpracę z nadrzędnym modulem alarmowym. Funkcje konfiguracji umożliwiają ustawienie czasu pomiędzy pomiarami, trybu skalowania wykresów, kolorów wykresów, adresu IP komputera, w którym zainstalowany jest moduł alarmowy, aktywności kanałów pomiarowych, zakresów mierzonych wielkości, progów alarmów i ostrzeżeń, ścieżki do folderu archiwizującego wyniki pomiarów oraz innych parametrów charakterystycznych dla danego podsystemu, np. trybu rejestracji danych - w przypadku podsystemu monitorowania warunków środowiskowych (rys. 4). W zakresie akwizycji danych pomiarowych dostępne są funkcje do rozpoczęcia i zakończenia procesu odczytu wyników z urządzeń pomiarowych. Obiekty do wykonania tych funkcji umieszczone są na panelu głównym, co umożliwia szybki dostęp do tych obiektów podczas obsługi programu. Proces akwizycji jest realizowany w osobnym wątku programowym. W czasie akwizycji, na panelu głównym aplikacji, wyświetlany jest czas pozostały do rozpoczęcia kolejnego cyklu pomiarowego. Na panelu głównym aplikacji umieszczone są również indykatory stanów alarmowych i ostrzeżeń. Podczas akwizycji możliwe jest przeglądanie wszystkich zakładek, natomiast część funkcji konfiguracyjnych jest zablokowana (np. konfiguracja kanałów pomiarowych). Funkcje prezentacji danych pomiarowych umożliwiają przedstawienie bieżących wyników (rys. 5) oraz danych historycznych, zgromadzonych w plikach tekstowych, w postaci numerycznej i graficznej za pomocą obiektu spełniającego funkcję wirtualnego rejestratora.



Rys. 4. Panel do konfiguracji podsystemu monitorowania warunków środowiskowych

Fig. 4. Configuration panel of the subsystem for environmental conditions monitoring

Każdy podsystem pomiarowy posiada funkcję rejestracji zdarzeń. Za zdarzenie uważane jest: wystąpienie stanu ostrzegawczego lub alarmowego, stwierdzenie przez część diagnostyczną oprogramowania błędów komunikacji z urządzeniami pomiarowymi lub innych błędów wstrzymujących proces akwizycji danych (np. błędów zapisu danych do plików archiwalnych). Każde zdarzenie jest rejestrowane i prezentowane na wydzielonej zakładce, dodatkowo informacja o zdarzeniu wysyłana jest do zewnętrznego modułu alarmowego poprzez mechanizm zmiennych sieciowych.



Rys. 5. Panel prezentacji wyników podsystemu monitorowania warunków środowiskowych

Fig. 5. Presentation panel of the subsystem for environmental conditions monitoring

## 7. Podsumowanie

Prezentowany w artykule system monitorowania warunków pracy atomowych wzorców czasu i częstotliwości wchodzi w skład zintegrowanego systemu monitorowania i sterowania systemami pomiarowymi państwowego wzorca jednostek miar czasu i częstotliwości, który został opracowany w Instytucie Metrologii Elektrycznej Uniwersytetu Zielonogórskiego. System ten obecnie jest w fazie wdrażania w laboratorium Czasu i Częstotliwości Głównego Urzędu Miar.

Zastosowane w systemie rozwiązania – wykorzystanie zmiennych sieciowych w modułach programowych oraz uniwersalnych kart DAQ w konstrukcjach modułów pomiarowych – są zgodne z obecnym trendem w realizacjach złożonych rozproszonych systemów pomiarowych. W przypadku modułów pomiarowych pozwoliło to na spełnienie wymogów dotyczących: niezawodności, serwisowości, zastosowania uniwersalnego interfejsu komunikacyjnego, elastyczności funkcjonalnej oprogramowania sterującego pracą modułu oraz niskiej ceny.

System lub jego elementy składowe mogą znaleźć zastosowanie w innych laboratoriach lub instytucjach, w których zachodzi potrzeba ciągłego monitorowania warunków pracy znajdujących się tam urządzeń.

*Praca finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2009 jako projekt rozwojowy nr R01 033 03.*

## 8. Literatura

- [1] Rau Z.: Program wieloletni "Rozwój telekomunikacji i poczty w dobie społeczeństwa informacyjnego" - raporty z zadań zrealizowanych w 2007 r.: SP VI.2 Uczestnictwo w Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL) i Temps Atomique International (TAI). Utrzymanie systemów zdalnych porównań atomowych wzorców częstotliwości i skal czasu, Warszawa, 2008.
- [2] NI USB-6008/6009 User Guide and Specifications, National Instruments, 2008.
- [3] Grobelny D., Łobzowski A., Sochacki J.: Mierniki wilgotności, temperatury i składu powietrza, Pomiary Automatyka Kontrola nr 2/1997.
- [4] Grobelny D., Łobzowski A., Sochacki J.: Interfejs cyfrowej pętli prądowej w miernictwie przemysłowym, Pomiary Automatyka Kontrola nr 3/1997.

otrzymano / received: 04.08.2010

przyjęto do druku / accepted: 01.10.2010

artykuł recenzowany