

Andrzej BŁACHOWICZ, Tomasz BOCZARPOLITECHNIKA OPOLSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI I INFORMATYKI
INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI**Mobilny system pomiarowy do badania zjawiska
wyładowań niezupełnych metodą emisji akustycznej****Mgr inż. Andrzej BŁACHOWICZ**

Doktorant na Politechnice Opolskiej w Instytucie Elektroenergetyki. Absolwent Politechniki Opolskiej na kierunku Informatyka oraz Elektronika i Telekomunikacja. Praca badawcza doktora związana jest z wyładowaniami niezupełnymi, występującymi w układzie izolacyjnym kondensatorów elektroenergetycznych.

**Dr hab. inż. Tomasz BOCZAR**

Prodziekan Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Kierownik Zakładu Wysokich Napięć. Autor ponad 180 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: t.boczar@po.opole.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono założenia projektowe oraz sposób realizacji mobilnego systemu umożliwiającego pomiary wyładowań niezupełnych (WNZ), jakie mogą występować w izolacji kondensatorów elektroenergetycznych do kompensacji mocy biernej, wykonywane przy zastosowaniu metody emisji akustycznej (EA). Zdefiniowana została podstawowa potrzeba budowy mobilnego systemu pomiarowego. Z uwagi na utrudniony dostęp oraz pracę w warunkach mogących bezpośrednio zagrazić życiu osób diagnozujących stan obiektu elektroenergetycznego, znajdującego się w rozdzielni średniego napięcia, detekcja zjawiska WNZ jest znacznie utrudniona. Autorzy prezentują rozwiązanie umożliwiające diagnozę prowadzoną zdalnie, z jednoczesną możliwością wykonywania pomiarów diagnostycznych układów izolacyjnych metodą on-line. Artykuł zawiera informacje dotyczące rozwiązań zastosowanych w systemie. System składa się z kilku, ściśle związanych ze sobą elementów, dla których przewidziano odpowiednie funkcje. Zaprezentowane zostały możliwości elementów takich jak aplikacja WNZDetect, robot mobilny oraz część pomiarowo detekcyjną. Zaprezentowany został robot o nazwie SQ1, który został wyposażony w kilka typów modułów. Są to: moduł główny, dwa moduły sterujące pracą kół oraz moduł monitorujący. W artykule scharakteryzowano ich funkcjonalność i rolę pełnioną w systemie. Autorzy opisali wykorzystany do oprogramowania modułów robota, system czasu rzeczywistego o nazwie Nut/OS. Przedstawione zostały również, zawarte w środowisku Ethernet (Nut/OS) biblioteki oraz funkcje poszczególnych pakietów. W podsumowaniu zdefiniowano dalsze perspektywy wykorzystania zbudowanego systemu w badaniu zjawiska WNZ.

Słowa kluczowe: metoda emisji akustycznej, wyładowania niezupełne, system czasu rzeczywistego, mobilny system pomiarowy.

**Mobile measuring system for investigating
partial discharge phenomena by
the acoustic emission method****Abstract**

The paper presents design assumptions and the way of realizing the mobile system which enables measurements of partial discharges (PDs) which can occur in insulation of electric power capacitors for compensation of reactive power. The measurements are taken by means of the acoustic emission (AE) method. The basic need for building a mobile measuring system is defined. Due to a difficult access and work under conditions which can be hazardous to lives of people diagnosing the condition of an electric power object in the mean-voltage switching station, the detection of the PD phenomenon is significantly difficult. The authors propose a solution making it possible to perform a remotely-controlled diagnosis with simultaneous possibility of taking diagnostic measurements of insulation systems by the on-line method. The paper contains information on the solutions applied in the system. The system consists of a few elements closely connected with one another for which adequate functions are predicted. The possibilities of such elements as the WNZDetect application, a mobile robot and a measuring and detecting part are given. Also a robot called SQ1 equipped with a few types of modules is presented. They are: the main module, two modules controlling the

operation of the wheels and a monitoring module. Their functionality and the role in the system are characterized in the paper. The authors describe the real time system called Nut/OS used for programming the robot modules. There are also presented libraries and functions of the particular packets contained in the Ethernut (Nut/OS) environment. In the final remarks further perspectives of using this system in PD phenomenon investigations are defined.

Keywords: acoustic emission method, partial discharges, real time system, mobile measuring system.

1. Wprowadzenie

Tematyka niniejszego artykułu dotyczy doskonalenia układów pomiarowych wykorzystywanych w metodzie emisji akustycznej (EA) oceny wyładowań niezupełnych (WNZ) [1], jakie mogą występować w wysokonapięciowych układach izolacyjnych urządzeń elektroenergetycznych, podczas ich normalnej eksploatacji w warunkach przemysłowych.

Pomiar i detekcja WNZ w miejscach z utrudnionym dostępem osób wykonujących diagnostykę, do których można zaliczyć rozdzielnie wewnętrzne średniego napięcia, stanowi istotny problem natury technicznej. Dodatkowo należy mieć na uwadze możliwość porażenia prądem elektrycznym, ponieważ pomiary wykonywane są podczas pracy urządzeń znajdujących się pod napięciem roboczym. Ponadto istnieje problem właściwego sprzężenia mechano-elektrycznego pomiędzy, wykorzystywanymi podczas pomiarów przetwornikami piezoelektrycznymi stykowymi a powierzchnią badanego obiektu co ma znaczenie dla poprawności uzyskiwanych wyników rejestracji, a w konsekwencji może decydować o właściwej ocenie diagnozowanej izolacji. Dlatego istniała konieczność opracowania mobilnego systemu umożliwiającego zdalne nadzorowanie, wykonywanych on-line pomiarów diagnostycznych układów izolacyjnych [2, 3].

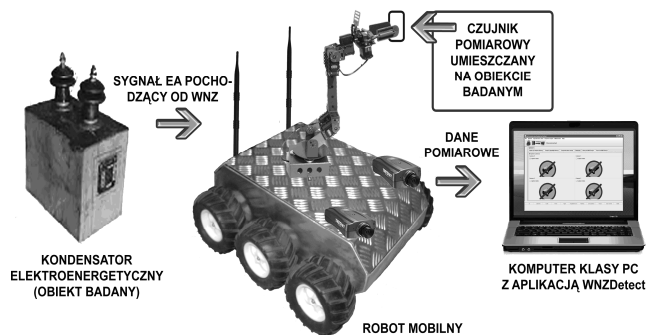
**2. Charakterystyka mobilnego systemu
pomiarowego**

Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy zaprojektowanego i wykonanego systemu do rejestracji i analizy sygnałów EA od WNZ, jakie mogą występować w kondensatorach elektroenergetycznych wykorzystywanych do kompensacji mocy biernej.

Zaproponowany system składa się z następujących elementów:

- przetwornika piezoelektrycznego szerokopasmowego stykowego,
- przedwzmacniacza,
- wzmacniacza,
- karaty pomiarowej,
- komputera klasy PC z aplikacją WNZDetect,
- toru transmisji bezprzewodowej (beprzewodowa sieć Ethernet),
- manipulatora umożliwiającego rozmieszczenie przetworników na badanym kondensatorze,

- platformy jezdnej - robot SQ1.
- oprogramowania sterującego - system operacyjny czasu rzeczywistego (RTOS - ang. Real Time Operating System) o nazwie Nut/OS.



Rys. 1. Schemat blokowy mobilnego systemu pomiaru WNZ mierzonych metodą EA

Fig. 1. Block diagram of a mobile system for measuring partial discharge (PD) by the acoustic emission (AE) method

Podstawową zaletą zbudowanego systemu jest możliwość prowadzenia pomiarów w miejscach, gdzie diagnostyk nie jest w stanie bezpośrednio dotrzeć lub przebywanie personelu technicznego jest niebezpieczne ze względu na wysoki poziom napięcia dotykowego. Opracowany mobilny system pomiarowy umożliwia zdalne umocowanie przetworników do powierzchni badanego obiektu oraz bezprzewodową transmisję rejestrowanych wyników. Dzięki użyciu kamer i czujników dystansu osoba nadzorująca jest w stanie ocenić możliwość i zakres poruszania się w obszarze pomieszczenia, w którym znajduje się badany obiekt.

Robot SQ1 jest wyposażony w cztery typy modułów (rys. 2), które nadzorują jego pracę. Pierwszym z nich jest moduł główny czyli sterownik centralny, którego podstawowym zadaniem jest zapewnienie skutecznej komunikacji między użytkownikiem a robotem. Operator wykorzystując napisane oprogramowanie, które zainstalowano na komputerze klasy PC nawiązuje połączenie ze sterownikiem centralnym, który przekazuje przetworzone polecenia zespołowi pozostałych modułów, sterując pracą całego mobilnego systemu detekcyjno-pomiarowego. Jednostka centralna koordynuje bezkolizyjne poruszanie się robota po pomieszczeniu rozdzielni, rejestruje pokonywaną trasę, korzystając z systemu GPS (ang. Global Positioning System) oraz w sposób bezpośredni odpowiada za bezprzewodową komunikację sieciową.

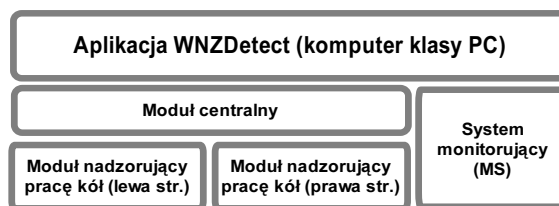
Drugi typ modułu powiązany jest z układem jezdnym robota. Głównym jego zadaniem jest zapewnienie komunikacji z jednostką nadrzędną (moduł główny), sterowanie dwoma zespołami kół oraz monitorowanie parametrów krytycznych takich jak przekroczenie progowej wartości temperatury, monitorowanie prądu przeciążenia silników krokowych itp.

Trzeci rodzaj modułu nosi nazwę Systemu Monitorującego (ang. Monitoring System - MS). Jest to system kontrolujący poprawność pracy wszystkich pozostałych modułów, które zamontowano w robocie SQ1. Jego podstawowym zadaniem jest zabezpieczenie mobilnego systemu pomiarowego przed utratą właściwych parametrów pracy tj. ochrona przed nadmiernym wzrostem temperatury oraz wilgotności wewnątrz obudowy, brakiem odpowiedzi pozostałych modułów na sygnały sterujące, co może przyczynić się do utraty kontroli lub zerwania połączenia z pulpitem operatorskim (aplikacja WNZDetect). Wszystkie krytyczne wartości parametrów są wyświetlane w oknach aplikacji WNZDetect.

Czwartym modułem jest karta pomiarowa. Jej zadaniem jest pobieranie próbek rejestrowanych sygnałów EA z czujników piezoelektrycznych stykowych z zadaną rozdzielczością i częstotliwością próbkowania, a następnie ich przekazywanie, za pośrednictwem sieci bezprzewodowej, do aplikacji zainstalowanej na

komputerze klasy PC. Przetwarzanie danych i wizualizację wyników wykonuje środowisko WNZDetect.

Zadaniem hierarchicznej struktury modułów sterujących pracą robota jest współdziałanie w celu zapewnienia skutecznego sprzężenia machano-elektrycznego, a mianowicie umieszczenie przetworników pomiarowych na obiekcie badanym i ich docisk do obudowy kondensatora ze ściśle określoną siłą, której wartość jest regulowana przez operatora. Umożliwi to wykonanie pomiarów WNZ metodą EA bez konieczności każdorazowego wyłączenia kondensatora elektroenergetycznego spod napięcia, przy zmianach miejsc pomiarowych. Ponadto operacje te będą wykonywane w sposób automatyczny bez ingerencji personelu technicznego. Dodatkowym atutem będzie możliwość zapamiętania trasy i topografii obszaru stacji elektroenergetycznej, miejsc instalacji kondensatorów oraz ich rozmiarów geometrycznych. Zostaną również zapamiętane współrzędne miejsc umieszczenia czujników pomiarowych, co w przyszłości umożliwi powtórzenie pomiarów w celu przeprowadzenia analizy porównawczej uzyskanych wyników badań diagnostycznych. W ten sposób będzie istniała możliwość obserwacji tendencji i określenia trendów związanych z procesami starzeniowymi zachodzącymi w badanym układzie izolacyjnym.



Rys. 2. Modułowa budowa systemu

Fig. 2. Modular structure of the system

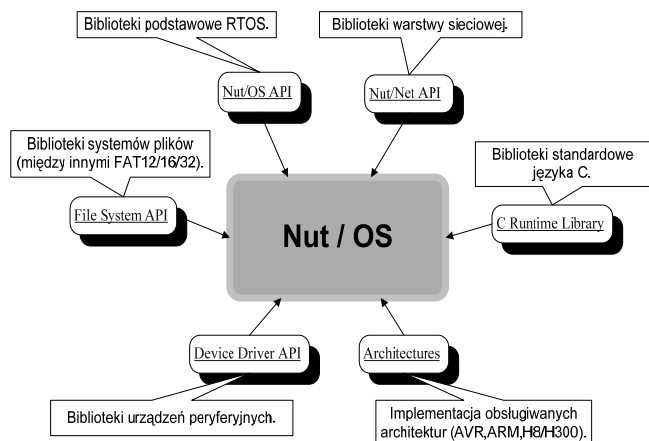
Wykonane moduły zostały oprogramowane przy wykorzystaniu wielowątkowego systemu operacyjnego czasu rzeczywistego – RTOS, który umożliwia wykonywanie złożonych operacji w ściśle określonym przedziale czasu. Integralną częścią RTOS jest kolejowanie pracy procesów oraz ściśle określone ramy czasowe, jakie definiują działanie programu na jednostce wykonawczej – procesorze [4]. Mając na uwadze otwartość licencji, dostępność najnowszych dystrybucji, powszechny dostęp do szczegółowej dokumentacji, wykorzystano system operacyjny o nazwie Nut/OS (Ethernet). Producentem systemu jest firma Egnite. Nut/OS składa się z kilku funkcjonalnych bibliotek, do których można zaliczyć [5]:

- Nut/OS API (ang. API - Application Programming Interface, czyli Interfejs Programowania Aplikacji lub Interfejs Programu Użytkownika) – zawiera m. in. moduły kooperacji wielowątkowej, współpracy z peryferiami, umożliwiające dynamiczne zarządzanie pamięcią oraz mechanizmy synchronizacji,
- Nut/Net API jest to kompletna implementacja stosu komunikacji sieciowej opartej na protokole TCP/IP;
- File System API – kilka zintegrowanych systemów zarządzania plikami, m. in. FAT12/16/32, partycje DOS;
- C Runtime Library – system zawierający kompletne wsparcie dla najpopularniejszych bibliotek języka C;
- Device Driver API – zestaw sterowników najczęściej wykorzystywanych układów cyfrowych i analogowych, które sterowane są cyfrowo.

Strukturę logiczną systemu przedstawiono na rys. 3.

Napisany dla potrzeb utworzonego systemu program WNZDetect służy do komunikacji użytkownika z mobilnym systemem pomiarowym, monitorowania parametrów krytycznych, zdalnego sterowania robotem SQ1, przechwytywania obrazów z kamer, oraz przetwarzania, rejestracji i wizualizacji otrzymywanych danych pomiarowych. Aplikacja posiada szybko dostępne okna, umożliwiające płynne zarządzanie pracą systemu. Są to między innymi: okno komunikacji sieciowej TCP/IP, okno komunikacji za pomocą portu szeregowego, kilkanaście okien z wizualizacją paramet-

trów systemu (temperatura, wilgotność, napięcie akumulatorów zasilających, pobór mocy), przechwytywanie obrazu z kamer, a także okno rejestracji i wizualizacji danych pomiarowych. Program WNZDetect może pracować zarówno w środowisku Windows w wersji 2000 i XP jak i Linux.

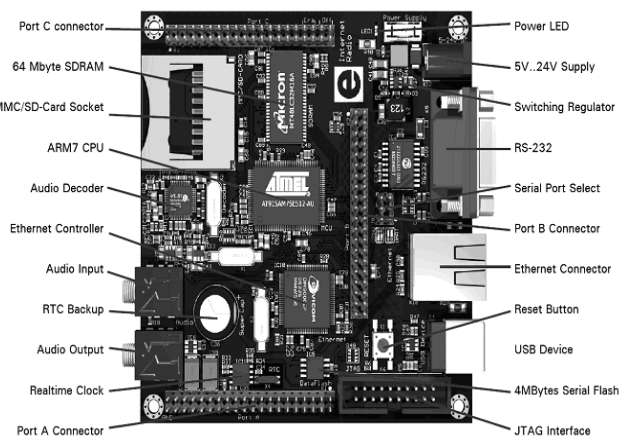


Rys. 3. Biblioteki zawarte w systemie Nut/OS

Fig. 3. Nut/OS system including libraries

3. Centralny moduł nadzorujący pracę robota

Centralny moduł nadzorujący skonstruowany został według specyfikacji opublikowanej przez producenta systemu operacyjnego Nut/OS, opisującej konstrukcję platformy sprzętowej obsługiwanej przez ten system.



Rys. 4. Platforma sprzętowa dedykowana dla Nut/OS

Fig. 4. Nut/OS dedicated platform

Główną częścią modułu jest mikrokontroler z rdzeniem ARM (ang. Advanced RISC Machine). Umożliwia on bardzo szybkie wykonywanie rozkazów sterujących (prędkość taktowania CPU (ang. Central Processing Unit) do 72MHz) przy stosunkowo niskim poborze prądu, mniej niż 50mA dla 72MHz. Centralny moduł zawiera następujące, podstawowe elementy [6, 7]:

- mikrokontrolera z rdzeniem ARM7 (mikrokontroler AT91SAM7SE512, taktowanie CPU do 72 MHz),
- dedykowanego dekodera audio, obsługującego następujące formaty kompresji plików: MP3, AAC, WMA, WAV, MIDI,
- kontrolera Ethernet 10/100Mbit,
- zewnętrznej pamięci RAM (64MB),
- pamięci stałej typu Flash (4MB),

- portu pamięci SD/MMC (możliwość rozszerzenia wielkości obszaru na przechowywanie danych),
- zegara czasu rzeczywistego z podtrzymaniem baterijnym,
- dwóch kompletnych 32 bitowych oraz jednego 23 bitowego portu IO (ang. Input Output).

Do sterowania robotem oraz w celu przesyłania danych pomiarowych zastosowano komunikację bezprzewodową w standardzie IEEE 802.11g. Oprogramowanie toru transmisyjnego wykonano przy zastosowaniu systemu operacyjnego Nut/OS.

4. Podsumowanie

Zastosowanie mobilnego systemu rejestracji sygnałów EA generowanych przez WNZ w izolacji kondensatorów elektroenergetycznych pozwoli m. in. :

- zautomatyzować proces rejestracji,
- zobiektywizować uzyskiwane wyniki (automatyczna zmiana miejsc umieszczenia przetworników, sposób ich sprzęgnięcia z badanym obiektem),
- skutecznie odseparować personel techniczny od miejsca pomiarów zapewniając bezpieczeństwo;
- mobilność – możliwość przesyłania danych pomiarowych z miejsca pomiarów do stanowiska obsługi za pomocą bezprzewodowej sieci opartej na protokole TCP/IP.

Obecnie zbudowany mobilny system pomiarowy do badań WNZ, jakie mogą występować w układach izolacyjnych kondensatorów elektroenergetycznych przy wykorzystaniu metody EA, będzie testowany podczas badań diagnostycznych wykonywanych w warunkach przemysłowych. Umożliwi to określenie jego funkcjonalności, zakresu praktycznych zastosowań, zbadanie odporności na wysoki poziom zakłóceń elektromagnetycznych towarzyszących pracy urządzeń elektroenergetycznych, przez co będzie możliwa jego dalsza modyfikacja i udoskonalenie.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę jako projekt badawczy nr 0304/R/2/T02/06/01.

5. Literatura

- [1] T. Boczar, D. Zmarzły: Application of wavelet analysis to acoustic emission pulses generated by partial discharges. Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on. 2004, pp. 433-449.
- [2] K. Kawaguchi, O. Baskakov, Y. Hosaki, Y. Hama, C. Kugimiya: Time-resolved fourier transform spectroscopy of pulsed discharge products. Chemical Physics Letters 369, 2003, pp. 293-298.
- [3] MacAlpine M., Zhiqiang Z., Demokan M.S.: Development of a fibre-optic sensor for partial discharges in oil-filled power transformers. Electric Power Systems Research 63, 2002, pp. 27-36.
- [4] A. Silberschatz, P. B. Galvin, G. Gagne: Operating System Concepts, 8th Edition, John Wiley & Sons Inc., Boston, MA, USA 2008.
- [5] <http://www.ethernut.de> {URL z dnia 22 sierpnia 2008}
- [6] Dokumentacja techniczna: Ethernut 4.6 HTML API Reference, Egnite GmbH".
- [7] Dokumentacja techniczna: Elektor Internet Radio Version 1.0 Hardware Manual, Egnite GmbH".