

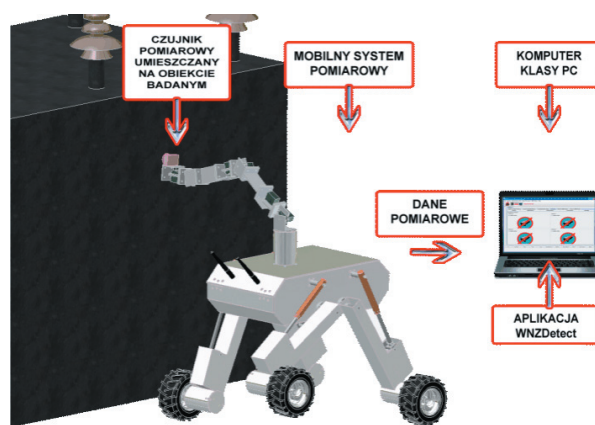
Zrobotyzowany system do badania zjawisk fizycznych w elektroenergetyce

▶ Andrzej Błachowicz
Tomasz Boczar

Wyładowania niezupełne (WZN) są zjawiskiem fizycznym mogącym wystąpić w układach izolacyjnych urządzeń elektroenergetycznych. Zjawisko to jest niekorzystne, a zwiększająca się intensywność jego występowania może świadczyć o znacznej degradacji badanej izolacji. W artykule przedstawiono założenia projektowe oraz sposób realizacji mobilnego systemu umożliwiającego pomiary WZN, jakie mogą występować w izolacji kondensatorów elektroenergetycznych wykorzystywanych do kompensacji mocy biernej. Pomiary są wykonywane przy zastosowaniu metody emisji akustycznej (EA). Zaproponowano rozwiązanie umożliwiające przeprowadzenie diagnostyki pracującego kondensatora elektroenergetycznego zdalnie i on-line. Scharakteryzowano rozwiązania zastosowane w zaprojektowanym i zbudowanym systemie pomiarowym. Opisano podstawowe moduły robota SQ1 i scharakteryzowano ich funkcjonalność. W podsumowaniu określono perspektywy wykorzystania systemu w badaniu zjawisk WZN w układach izolacyjnych.

Tematyka artykułu dotyczy praktycznej realizacji koncepcji mobilnego systemu pomiarowego do pomiarów zjawisk fizycznych zachodzących w układach izolacyjnych. Niezawodność działania urządzeń elektroenergetycznych zależy w bardzo dużym stopniu od poprawnej diagnozy stanu technicznego ich izolacji. Postępującemu procesowi degradacji dielektryków towarzyszy zwiększenie się intensywności i częstotliwości występowania wyładowań niezupełnych [1]. Metoda emisji akustycznej, służąca do oceny stanu dielektryka, umożliwia nieinwazyjną diagnostykę neuralgicznych punktów badanej izolacji oraz wspomaga wyznaczanie terminów ewentualnych serwisów. Prowadzi to do znacznego obniżenia kosztów pojawiających się w momencie wystąpienia awarii systemu elektroenergetycznego.

W miejscach z utrudnionym dostępem osób wykonujących diagnostykę układów izolacyjnych urządzeń elektroenergetycznych zachodzi potrzeba zastosowania zdalnie obsługiwanego systemu pomiaru i detek-



Rys. 1. Schemat poglądowy systemu pomiaru WZN mierzonych metodą EA. Projekt robota mobilnego SQ1 wykonano w środowisku Autodesk Inventor 2009 [4]

cji WZN. Stanowi to istotny problem natury technicznej. Z tego względu zaistniała konieczność opracowania mobilnego systemu umożliwiającego zdalne nadzorowanie, wykonywanych on-line, pomiarów diagnostycznych układów izolacyjnych [2, 3].

Charakterystyka mobilnego systemu pomiarowego

Na rys. 1 zaprezentowano schemat poglądowy zaprojektowanego i wykonanego systemu do rejestracji i analizy sygnałów EA generowanych przez WZN, jakie mogą występować w układach izolacyjnych kondensatorów elektroenergetycznych wykorzystywanych do kompensacji mocy biernej.

Elementami składowymi zaproponowanego systemu są:

- system pomiarowy:
 - przetwornik piezoelektryczny szerokopasmowy stykowy
 - zespół przedwzmacniaczy oraz wzmacniaczy dostosowujących sygnał EA do wymagań przetwornika sygnału analogowego na cyfrowy
 - szybki przetwornik analogowo cyfrowy 12-bitowy
- komputer klasy PC z aplikacją WNZDetect
- robot mobilny sterowany z pulpitu operatorskiego w aplikacji WNZDetect.

mgr inż. Andrzej Błachowicz, dr hab. inż. Tomasz Boczar
– Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Instytut Elektroenergetyki

Podstawową zaletą systemu jest możliwość prowadzenia pomiarów w miejscach, gdzie diagnostyk nie jest w stanie bezpośrednio dotrzeć lub gdzie przebywanie personelu technicznego jest niebezpieczne ze względu na wysoki poziom napięcia dotykowego. Mobilny system pomiarowy, którego podstawowym elementem jest robot mobilny o nazwie SQ1, umożliwia zdalne zamocowanie przetworników, ze ściśle określoną siłą, do powierzchni badanego obiektu oraz bezprzewodową transmisję rejestrowanych wyników. Zastosowanie kamer oraz czujników badających przestrzeń architektoniczną wokół robota umożliwia osobie nadzorującej ocenę sytuacji i zakresu poruszania się w obszarze pomieszczenia, w którym znajduje się badany obiekt.

Mobilny system pomiarowy składa się z kilku modułów umożliwiających operatorowi zdalną pracę (rys. 2). Głównymi elementami mobilnego robota są:

- moduł umożliwiający bezprzewodową komunikację opartą na standardzie IEEE 802.11 (*Wireless Fidelity* - WiFi) z aplikacją WNZDetect
- moduł główny z wydzieloną częścią pomiarową
- moduł umożliwiający komunikację bezprzewodową z przetwornikami pomiarowymi (Bluetooth)
- moduł nadzorczy aktywnego podwozia
- moduł systemu monitoringu parametrów pracy robota SQ1.

Moduł główny koordynuje bezkolizyjne poruszanie się robota po obszarze rozdzielni, rejestruje pokonywaną trasę oraz w sposób bezpośredni odpowiada za komunikację z użytkownikiem. Integralnym elementem modułu jest część pomiarowa systemu. Rejestrowane próbki pomiarowe są przekazywane z czterech przetworników, rozmieszczonych w ściśle określonych punktach badanego obiektu, za pośrednictwem komunikacji bezprzewodowej Bluetooth.

W przedniej i tylnej części korpusu robota umieszczono zestaw czujników dystansu, które wspomagają pracę operatora systemu. Dodatkowo, w kilku specyficznych punktach zamontowano czujniki akcelerometryczne umożliwiające wyznaczenie przechyłu platformy robota i dostosowanie algorytmu sterowania dalszą pracą siłowników podwozia [5].

System nadzorujący kontroluje parametry pracy wszystkich pozostałych modułów. Jego podstawowym zadaniem jest zabezpieczenie mobilnego systemu pomiarowego przed przekroczeniem progowych wartości monitorowanych parametrów, tj. przed nadmiernym wzrostem temperatury i wilgotności wewnątrz obudowy, kontrolowanie stanu naładowania akumulatorów oraz funkcja zewnętrznego układu *watchdog*,

który przy braku odpowiedzi odpytywanego modułu sygnalizuje ten fakt operatorowi. Ewentualna utrata kontroli lub zerwanie połączenia z pulpitem operatorskim (aplikacja WNZDetect) może doprowadzić do uszkodzenia stosunkowo drogiej aparatury pomiarowej. Aby uniknąć takiej sytuacji, wszystkie krytyczne parametry są wyświetlane w oknach aplikacji WNZDetect.

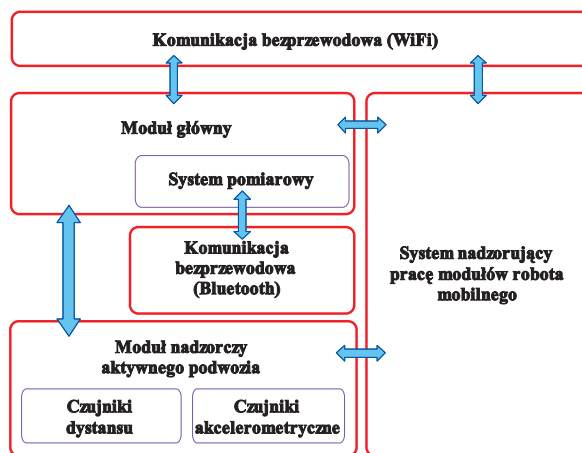
Zadaniem hierarchicznej struktury modułów sterujących pracą robota jest współdziałanie w celu zapewnienia skutecznego sprzężenia mechatronicznego, a mianowicie umieszczenie przetworników pomiarowych na badanym obiekcie. Bezprzewodowe czujniki pomiarowe rozmieszczone są za pomocą ramienia,

będącego w wyposażeniu robota mobilnego. System chwytaków magnetycznych zapewnia odpowiednią siłę docisku czujnika piezoelektrycznego do powierzchni. Rozwiązanie to umożliwia wykonanie pomiarów WNZ metodą EA bez konieczności każdorazowego wyłączenia kondensatora elektroenergetycznego spod napięcia, przy zmianach miejsc pomiarowych.

Atutem prezentowanego rozwiązania jest moż-

liwość zapamiętania trasy i topografii obszaru stacji elektroenergetycznej oraz miejsc instalacji kondensatorów. Zostaną również zapamiętane współrzędne miejsc umieszczenia przetworników 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.

Stworzony dla potrzeb systemu program WNZDetect służy do komunikacji użytkownika z mobilnym systemem pomiarowym. Aplikacja zapewnia monitoring w czasie rzeczywistym parametrów krytycznych, zdalne sterowanie robotem SQ1, przechwytywanie obrazów z kamer oraz przetwarzanie, rejestrację i wizualizację otrzymywanych danych pomiarowych. Program ma możliwość szybkiego przełączania poszczególnych grup funkcjonalności, jakie przewidziano do współpracy z robotem mobilnym, co umożliwi płynne zarządzanie pracą systemu. Są to między innymi: okno komunikacji sieciowej TCP/IP, okno komunikacji za pomocą portu szeregowego (emulacja komunikacji Bluetooth), kilkanaście okien z wizualizacją parametrów systemu (temperatura, wilgotność, napięcie akumulatorów zasilających, pobór mocy), przechwytywanie obrazu z kamer, a także okno rejestracji i wizualizacji danych pomiarowych. Aplikacja może pracować zarówno w środowisku Windows, jak i Linux.



Rys. 2. Podstawowe moduły systemu

Moduł główny robota mobilnego

Moduł główny skonstruowany został według specyfikacji opublikowanej przez producenta systemu operacyjnego Nut/OS [6, 7], którego wsparcie wykorzystano w prezentowanym systemie. Główną częścią modułu jest mikrokontroler z rdzeniem ARM (Advanced RISC Machine). Umożliwia on bardzo szybkie wykonywanie rozkazów sterujących (prędkość taktowania CPU do 72 MHz) przy stosunkowo niskim poborze energii, mniej niż 0,45 mW/MHz. Moduł wyposażono w następujące elementy funkcjonalne (rys. 3) [8]:

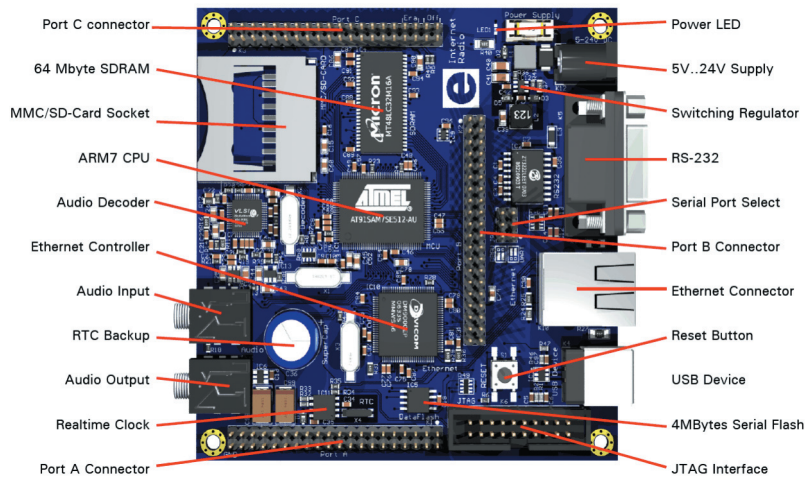
- mikrokontroler z rdzeniem ARM7 (typ AT91SAM7SE512)
- dedykowany dekodery audio
- kontroler Ethernet 10/100 Mbit
- kontroler RS-232 oraz port USB
- zewnętrzną pamięć RAM (64 MB)
- pamięć stałą typu Flash (4 MB)
- port pamięci SD/MMC (możliwość rozszerzenia wielkości obszaru na przechowywanie danych)
- zegar czasu rzeczywistego z podtrzymaniem baterijnym
- dwa kompletne 32-bitowe oraz jeden 23-bitowy port I/O.

Oprogramowanie wszystkich występujących w robocie SQ1 modułów wykonano przy wsparciu systemu czasu rzeczywistego Nut/OS. System operacyjny zawiera zestawy bibliotek umożliwiających komunikację mikrokontrolera z wieloma układami peryferyjnymi. Wykorzystanie możliwości tych układów sprząda się do użycia dedykowanej funkcji systemowej, poprzedzonej rejestracją sterownika w systemie operacyjnym. Do sterowania robotem oraz w celu przesyłania danych pomiarowych zastosowano komunikację bezprzewodową w standardzie IEEE 802.11g. Przewiduje on przesyłanie danych z prędkością do 54 Mb/s. Przeprowadzone dotychczasowe badania, świadczą o dużych możliwościach funkcjonalnych, jakie daje wykorzystanie sieci WiFi do sterowania mobilnym systemem pomiarowym.

Podsumowanie

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

- w pełni zautomatyzować – przeprowadzany dotychczas ręcznie – proces pomiarowy
- zautomatyzować proces rejestracji
- zobiektywizować uzyskiwane wyniki (automatyczna zmiana miejsc umieszczenia przetworników, sposób ich sprężgnięcia z badanym obiektem)
- skutecznie odseparować personel techniczny od miejsca pomiarów zapewniając im bezpieczeństwo



Rys. 3. Platforma sprzętowa dedykowana dla Nut/OS [8]

- zapewnić mobilność – możliwość przesyłania danych pomiarowych z miejsca pomiarów do stanowiska obsługi za pomocą bezprzewodowej sieci opartej na protokole TCP/IP.

Mobilny system pomiarowy do badań WNZ, jakie występują w układach izolacyjnych podczas postępującego procesu degradacji materiału dielektrycznego w kondensatorach elektroenergetycznych, przy wykorzystaniu metody EA, będzie testowany podczas badań diagnostycznych wykonywanych w warunkach przemysłowych. Pozwoli to sprecyzować zakres praktycznych zastosowań. Przeprowadzenie doświadczeń w warunkach dużych poziomów zakłóceń elektromagnetycznych, towarzyszących pracy urządzeń elektroenergetycznych, umożliwi określenie kierunków dalszych przeobrażeń systemu przez co będzie możliwe jego dalsze udoskonalenie.

Bibliografia

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. <http://www.youtube.com/watch?v=5-60Bnc6Fbw> [URL z dnia 26 listopada 2009]
5. <http://www.youtube.com/watch?v=ksNxsWoHYYc> [URL z dnia 26 listopada 2009]
6. <http://www.ethernut.de> [URL z dnia 20 listopada 2009]
7. Dokumentacja techniczna: Ethernet 4.6 HTML API Reference, Egnite GmbH.
8. Dokumentacja techniczna: Elektor Internet Radio Version 1.0 Hardware Manual, Egnite GmbH. ■