



System pomiarowy do badania właściwości akumulatorów

ANDRZEJ WOJCIECHOWSKI, WIESŁAW MADEJ,
IRENEUSZ PLEBANKIEWICZ, MARCIN SZCZEPANIAK

Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej,
50-961 Wrocław, ul. Obornicka 136, wojciechowski@witi.wroc.pl

Streszczenie. Podczas prac konstrukcyjnych i badawczych prowadzonych w naszym Instytucie wielokrotnie spotykamy się z zagadnieniami związanymi z badaniem właściwości źródeł zasilania przeznaczonych do sprzętu inżynierskiego. Badania te są często długotrwałe i wymagają stałej kontroli parametrów elektrycznych testowanego obiektu. Powyższe przesłanki doprowadziły do powstania systemu pomiarowego opartego o technologie pomiarowe i programistyczne firmy National Instruments. System jest kompletny, jednak ze względu na wielką elastyczność wykorzystanych technologii nie jest zamknięty i możliwa jest niemal nieograniczona jego rozbudowa.

Artykuł zawiera opis:

- funkcji oprogramowania,
- wybranych sposobów dopasowania wielkości mierzonych do zakresów pomiarowych przetworników,
- sposobów zapewnienia wygodnych połączeń elektrycznych i mechanicznych pomiędzy badanymi obiektami a przetwornikami,
- przykładowego wykorzystania systemu w badaniu akumulatorów i baterii.

Słowa kluczowe: system pomiarowy, LabVIEW, pomiary akumulatorów

DOI: 10.5604/12345865.1131493

1. Wprowadzenie

Podczas prac konstrukcyjnych i badawczych prowadzonych w Wojskowym Instytucie Techniki Inżynierskiej wielokrotnie spotykamy się z zagadnieniami związanymi z badaniem właściwości źródeł zasilania przeznaczonych do sprzętu inżynierskiego.

Badania te są często długotrwałe i wymagają stałej kontroli parametrów elektrycznych testowanego obiektu. Powyższe przesłanki doprowadziły do powstania systemu pomiarowego opartego o technologie pomiarowe i programistyczne firmy National Instruments. Głównym zadaniem systemu jest pomiar charakterystyk ładowania i rozładowania baterii i akumulatorów. System jest kompletny, jednak ze względu na wielką elastyczność wykorzystanych technologii nie jest systemem zamkniętym i możliwa jest niemal nieograniczona jego rozbudowa.

2. Parametry akumulatorów

Obecnie niemal w każdym urządzeniu techniki wojskowej znajdują się układy lub podzespoły elektroniczne, które wymagają zasilania. Konieczne jest więc zapewnienie im dostępu do energii. Realizowane jest to bądź przez systemy zasilania pokładowego (dla urządzeń będących wyposażeniem pojazdów), bądź przez systemy autonomiczne składające się z baterii lub akumulatorów. Prowadzone w Instytucie prace badawcze i rozwojowe sprzętu wojskowego z autonomicznymi systemami zasilania implikują konieczność porównywania planowanych do wykorzystania źródeł energii. Jakość źródeł energii określa szereg parametrów, z których niektóre są szczególnie istotne:

Pojemność znamionowa — wielkość ładunku elektrycznego możliwa do pobrania z naładowanego akumulatora do jego całkowitego rozładowania w temperaturze normalnej. Im pojemność jest większa, tym dłużej będzie można zasilać odbiornik. Często, ze względu na przetwarzanie napięć, bardziej istotnym parametrem jest energia zmagazynowana w akumulatorze.

Podstawowy parametr to *napięcie znamionowe*. Jest to napięcie na zaciskach pojedynczej celi naładowanego akumulatora w temperaturze normalnej. Często podaje się dla baterii akumulatorów wartość SEM całej baterii.

Trwałość określana jest często jako liczba cykli ładowania–rozładowania do częściowego spadku pojemności (zazwyczaj do 80%). Dla niektórych rodzajów akumulatorów, niezależnie od liczby cykli, podaje się „czas życia” (*lifetime*), czyli okres przydatności do użycia.

Efekt pamięciowy — niektóre typy akumulatorów wymagają do optymalnej pracy całkowitego rozładowania przed ponownym naładowaniem. W przypadku niecałkowitego rozładowania pogorszeniu ulegają ich parametry elektryczne.

Samorozładowanie — określane zazwyczaj jako procentowa utrata zmagazynowanego ładunku elektrycznego w funkcji czasu. Jest to zjawisko niekorzystne, wymuszające czynności obsługowe podczas magazynowania.

Bardzo istotną (niestety negatywną) cechą wszystkich akumulatorów jest zależność parametrów od temperatury — na skutek zmiany prędkości reakcji elektrochemicznych w elektrolicie zmianom ulega SEM, pojemność i rezystancja

wewnętrzna. Jest to zagadnienie szczególnie istotne w zastosowaniach wojskowych ze względu na wymagania dotyczące temperatur pracy określone w normach obronnych NO-06-A003 i NO-06-A103. Konieczne jest zastosowanie ogniw mogących pracować w temperaturach otoczenia od -30°C do $+50^{\circ}\text{C}$. Szczególnie trudna jest eksploatacja w niskich temperaturach.

Aby określić te parametry, należy zmierzyć charakterystyki ładowania i rozładowania akumulatora w określonych warunkach klimatycznych lub czasowych. Na podstawie tych charakterystyk możliwe jest porównywanie różnych źródeł zasilania oraz określenie ich przydatności w technice wojskowej.

3. Koncepcja systemu

Badanie właściwości akumulatorów, a w szczególności ich charakterystyk ładowania rozładowania, sprowadza się w znacznym stopniu do wielogodzinnych, wielodniowych lub nawet dłuższych ciągłych pomiarów ich podstawowych parametrów takich jak napięcie występujące na jego wyprowadzeniach i prąd pobierany przez obciążenie lub dostarczany przez układ ładowania. Długi czas trwania procesów badawczych sugeruje automatyzację pomiarów i automatyczną rejestrację ich wyników.

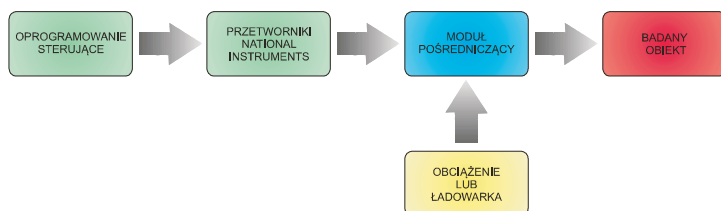
Ze względu na dużą różnorodność przewidywanych do badania akumulatorów, zostały założone główne cechy, które musi spełniać system pomiarowy:

- możliwość pomiaru parametrów od jednego do czterech lub więcej źródeł energii,
- możliwość pomiaru prądu od ułamków mA do kilku, a nawet kilkudziesięciu A,
- możliwość pomiaru napięcia od pojedynczych V do kilkudziesięciu V,
- dokładność pomiaru prądu i napięcia lepsza niż 1%,
- maksymalna szybkość pomiaru — jeden pomiar na sekundę,
- możliwość pomiaru temperatury.

Aby spełnić powyższe założenia, została przyjęta następująca modułowa koncepcja systemu pomiarowego (rys. 1).

Koncepcja zakładała wykorzystanie technologii firmy National Instruments (NI), tj. przetworników pomiarowych oraz oprogramowania sterującego wykonanego w graficznym środowisku programistycznym LabVIEW (akronim nazwy ang. *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*). Wybór środowiska programistycznego i przetworników tego samego producenta gwarantował z jednej strony bezproblemową współpracę sprzętu z oprogramowaniem, a z drugiej pewność poprawności pomiarów. Ze względu na zakładaną uniwersalność systemu przyjęto do wykorzystania wymienne moduły pośredniczące. Spełniają one dwa podstawowe zadania:

- dopasowanie wielkości mierzonych do zakresów pomiarowych przetworników,
- zapewnienie wygodnych połączeń elektrycznych i mechanicznych pomiędzy badanymi obiektami a przetwornikami.



Rys. 1. Koncepcja systemu pomiarowego

4. Oprogramowanie sterujące i przetworniki

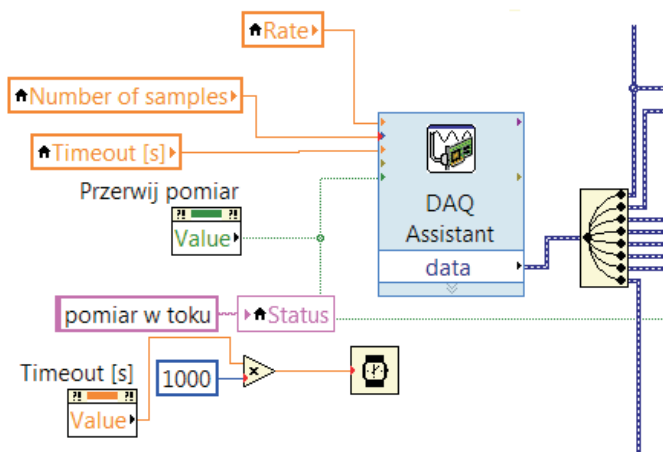
W opisywanym systemie do pomiaru napięć (i pośrednio również prądów) zostały wykorzystane przetworniki A/C NI 9221 oraz NI 9215 umieszczone w kompaktowej ramce NI cDAQ-9172. NI 9221 jest modułem serii C przeznaczonym do pomiarów w zakresie ± 60 V. Posiada osiem kanałów oraz 12-bitową rozdzielczość. Są to parametry wystarczające w większości przypadków do bezpośredniego pomiaru napięcia badanych akumulatorów. Natomiast NI 9215 posiada zakres napięć ± 10 V, cztery kanały różnicowe oraz 16-bitową rozdzielczość. Może być wykorzystany do dokładniejszego pomiaru napięcia (bezpośredniego lub z użyciem dzielnika) lub pomiaru prądu (z odpowiednim układem dopasowującym). Ramce NI cDAQ-9172 zapewnia doprowadzenie zasilania przetworników i ich łączność z komputerem sterującym poprzez złącze USB.

Dodatkowo w ramce cDAQ umieszczono moduł NI 9217 — czterokanałowy, 24-bitowy przetwornik współpracujący bezpośrednio z czujnikami temperatury PT100. Dzięki niemu została uzyskana możliwość precyzyjnego pomiaru temperatury, w zależności od potrzeby, otoczenia lub badanego obiektu.

W tym przypadku przetworniki nie mogą funkcjonować bez odpowiedniego oprogramowania sterującego (aplikacji) utworzonego w środowisku LabVIEW. Tworzenie programu w tym środowisku polega na łączeniu różnych graficznych bloków spełniających określone funkcje (rys. 2).

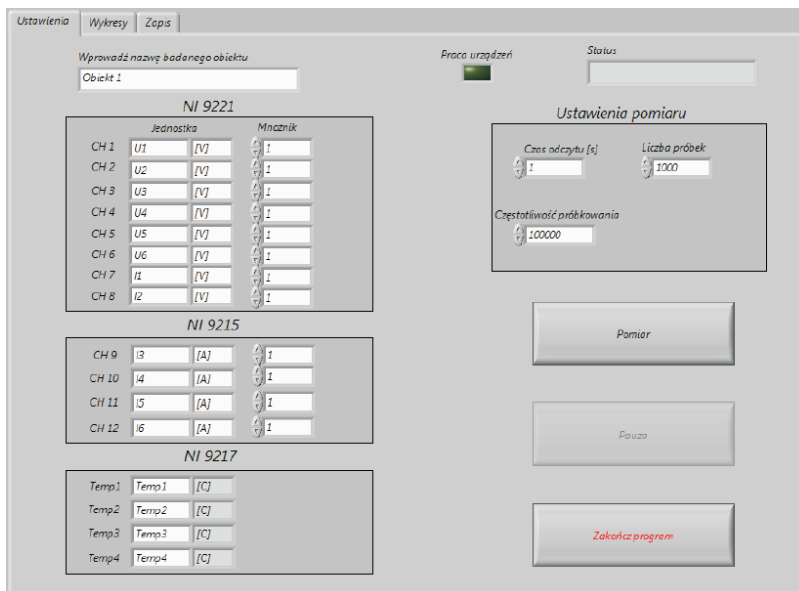
Połączenie bloków determinuje przepływ danych i wykonywanie określonych operacji. LabVIEW posiada wiele wbudowanych funkcji komunikacyjnych, matematycznych, prezentacji danych itp. ułatwiających pisanie aplikacji systemów pomiarowych.

Na użyteczność całego systemu pomiarowego decydujący wpływ ma funkcjonalność i jakość sterującego nim oprogramowania. Oprogramowanie opisywanego



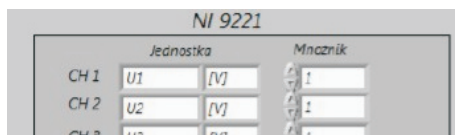
Rys. 2. Fragment programu — realizacja połączenia z modulem NI

tu systemu pomiarowego powstało w kilku etapach, przedzielonych prowadzonymi rzeczywistymi badaniami akumulatorów. Doświadczenie pozyskane podczas badań wykorzystane zostało do wprowadzenia zmian oraz nowych funkcjonalności. W efekcie powstało oprogramowanie spełniające wszystkie wymagania i zapewniające dużą uniwersalność i ergonomię użytkownika. Widok ekranu po uruchomieniu aplikacji sterującej przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Widok aplikacji w LabVIEW — zakładka „Ustawienia”

Po starcie programu wyświetli się okno aplikacji z otwartą zakładką „Ustawienia”, w której inicjalizujemy parametry pomiaru oraz nazwy badanych kanałów. Nazwy zostaną wraz z wynikami pomiarów zapamiętane w pliku. Ze względu na uniwersalność systemu wprowadzono możliwość wprowadzenia dowolnej jednostki pomiaru oraz mnożnika korygującego (rys. 4).



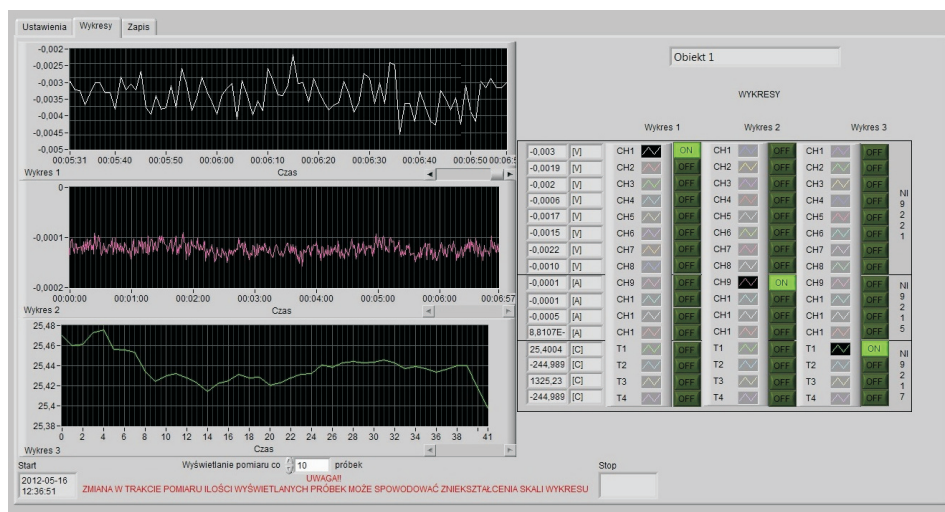
Rys. 4. Widok fragmentu aplikacji w LabVIEW — zakładka „Ustawienia”

Pozwala to na uwzględnienie wpływu modułu pośredniczącego na wartość mierzoną przez przetwornik. Sposób wyznaczania mnożnika opisano w rozdziale „Moduł pośredniczący”.

Kolejnymi parametrami, które należy wprowadzić do ustawień systemu, są parametry pomiaru. Określają one sposób pozyskiwania danych z modułów NI. Określają częstotliwość próbkowania, liczbę próbek, które zostają pobrane, i po uśrednieniu stanowią wynik pojedynczego pomiaru, czas ekspozycji pojedynczego pomiaru.

Po ustawieniu opisów parametrów pomiaru można uruchomić pomiar i przejść do zakładki „Wykresy” (rys. 5), aby sprawdzić poprawność działania systemu pomiarowego oraz skonfigurować jej zawartość do potrzeb planowanego badania.

Zakładka „Wykresy” zawiera trzy główne pola funkcjonalne:

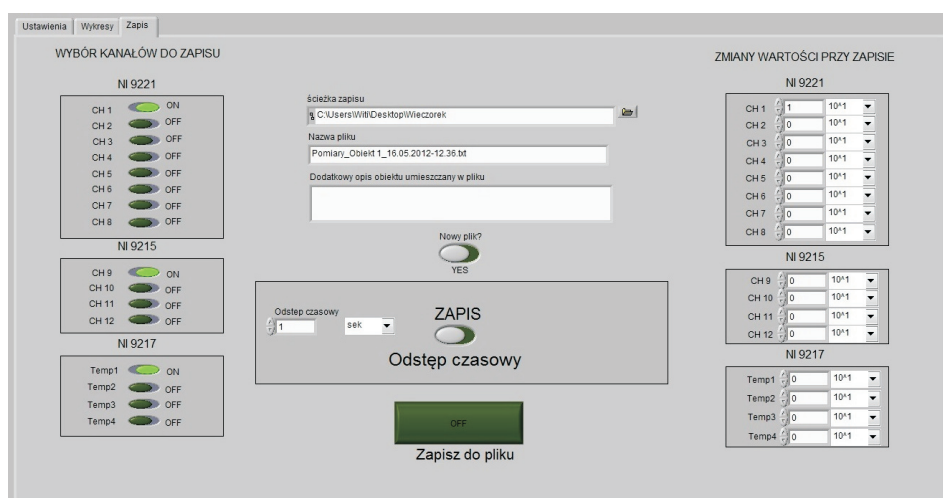


Rys. 5. Widok aplikacji w LabVIEW — zakładka „Wykresy”

- pole graficznej prezentacji wyników pomiarów zawierające trzy wykresy prezentujące wyniki pomiarów,
- pole odczytu wartości mierzonych w postaci liczbowej,
- pole wyboru kanałów pomiarowych do prezentacji na poszczególnych wykresach.

Wszystkie wykresy prezentują wyniki pomiarów w dziedzinie czasu, jednak obejmują różne zakresy czasowe. Dzięki temu możliwa jest obserwacja wyników zarówno w niewielkim oknie czasowym, jak i od początku trwania pomiarów.

Aby ustawić parametry rejestracji do pliku należy wybrać kolejną zakładkę — „Zapis” (rys. 6).



Rys. 6. Widok aplikacji w LabVIEW, zakładka „Zapis”

W zakładce określamy parametry pliku, kanały przetworników, które mają zostać zapisane, oraz to, czy dane mają być zapisane w określonych odstępach czasu, czy po określonej zmianie ich wartości. Ze względu na to, że procesy pomiarowe akumulatorów są długotrwałe oraz to, że interesujące zmiany parametrów mierzonych występują w relatywnie krótkich przedziałach czasu, wprowadzona została do programu funkcja zapisu danych do pliku w reakcji na zmianę wartości mierzonej, którą można zdefiniować niezależnie dla każdego z kanałów pomiarowych. Wystąpienie zmiany większej lub równej zdefiniowanej wartości w dowolnym aktywnym kanale pomiarowym powoduje zapisanie kolejnego rekordu w pliku. Dzięki temu uzyskano zmniejszenie wielkości plików z zarejestrowanymi danymi pomiarowymi bez utraty istotnych dla prowadzonych badań informacji.

Podsumowując, można stwierdzić, że aplikacja LabVIEW wraz z przetwornikami NI stanowi elastycznie konfigurowalny system pomiarowy dysponujący dwunastoma

wejściami przetworników analogowo-cyfrowych oraz czterema kanałami pomiaru temperatury. Aby w pełni wykorzystać możliwości oprogramowania i przetworników, konieczne jest użycie modułów pośredniczących stanowiących kolejny element systemu pomiarowego.

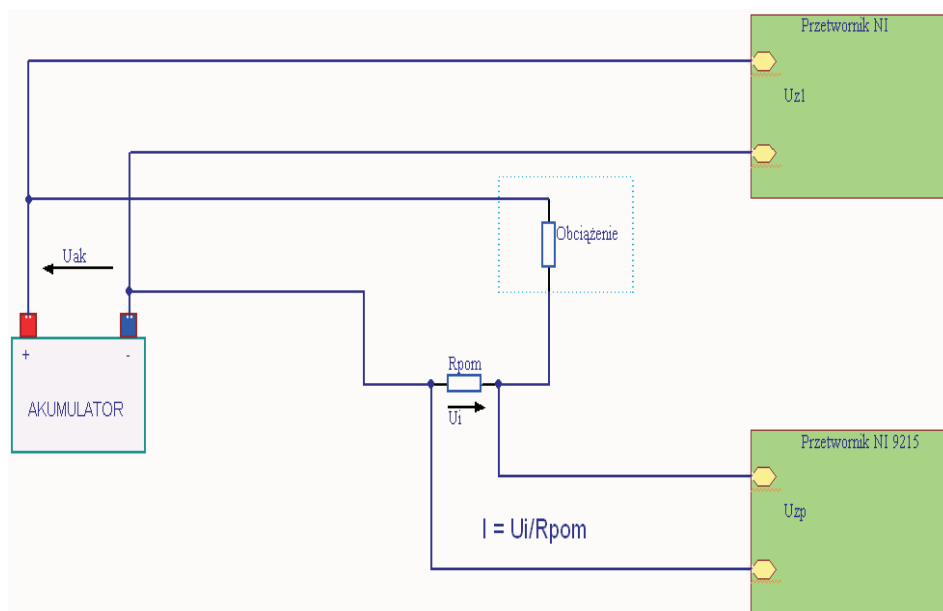
5. Moduł pośredniczący

Jak już przedstawiono wcześniej, moduł pośredniczący spełnia dwa zadania:

- dopasowanie wielkości mierzonych do zakresów pomiarowych przetworników,
- zapewnienie wygodnych połączeń elektrycznych i mechanicznych pomiędzy badanymi obiektami a przetwornikami.

Drugie z nich ma wpływ na ergonomię użytkowania systemu pomiarowego i, jak się wydaje, nie wymaga żadnego komentarza, pierwsze natomiast pełni kluczową rolę w systemie pomiarowym.

Schemat ideowy najbardziej typowego układu pomiarowego charakterystyki rozładowania akumulatora z wykorzystaniem opisywanego systemu pomiarowego przedstawia rysunek 7.



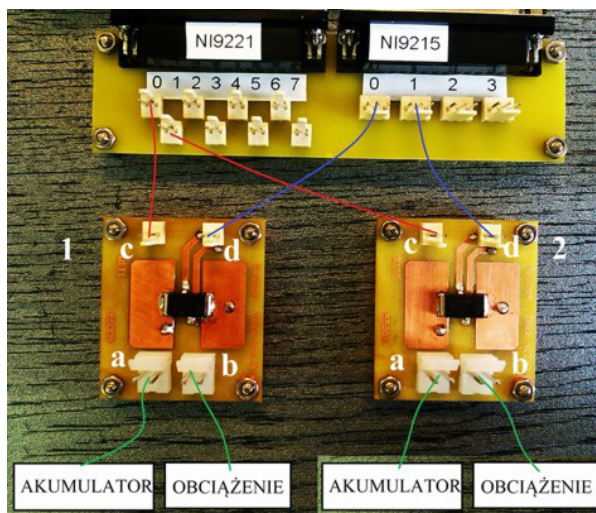
Rys. 7. Podłączenie akumulatora do systemu pomiarowego

Pomiar napięcia realizowany jest bezpośrednio przez przetwornik NI 9227. Pomiar prądu jest realizowany przy użyciu przetwornika NI 9215, który posiada wejścia różnicowe, oraz rezystora pomiarowego (wzorcowego). Z założenia R_{pom} powinno być dużo mniejsze od rezystancji obciążenia. Przypadek gdy ten warunek nie jest zachowany, nie prowadzi jednak do błędnych wyników pomiarowych. Spadek napięcia na R_{pom} jest proporcjonalny do płynącego prądu, czyli w zakładce „Ustawienia aplikacji sterującej” należy wprowadzić odpowiedni współczynnik proporcjonalności (mnożnik):

$$K = 1/R_{\text{pom}}$$

i wówczas uzyskujemy właściwe wartości mierzonego prądu. Wprowadzany w programie mnożnik może być praktycznie dowolną liczbą. Dzięki temu możliwe jest skorygowanie wyliczonej teoretycznie wartości po np. weryfikacji pomiaru z wykorzystaniem precyzyjnych przyrządów pomiarowych (woltomierzy lub amperomierzy). Istotne jest tylko, aby zapewnić stabilność parametrów rezystorów używanych jako podzespoły pomiarowe (wzorcowe) podczas trwania pomiaru. Natomiast precyzja ich wartości nominalnych nie jest już tak istotna.

Moduły pośredniczące wykonane do pomiaru dwóch akumulatorów według schematu pomiarowego z rysunku 7 przedstawia rysunek 8.



Rys. 8. Moduły pośredniczące do pomiaru parametrów dwóch akumulatorów

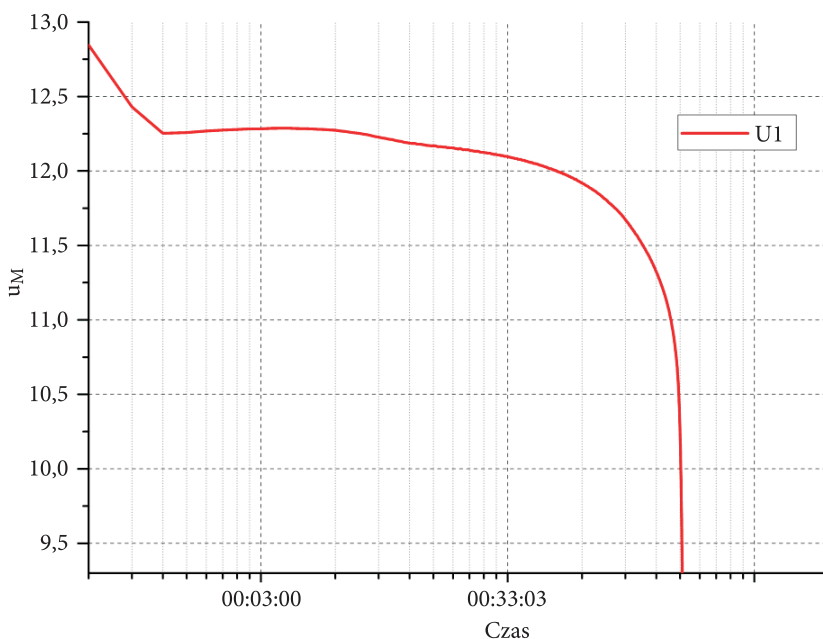
W górnej części rysunku widoczny jest adapter: złącza D-Sub przetworników — złącza szpilkowe pojedynczych kanałów. W dolnej części — dwa moduły zawierające rezystory pomiarowe czterozaciskowe służące do pomiaru prądu oraz złącza do akumulatora, obciążenia i przetworników pomiarowych.

Dzięki uniwersalności oprogramowania możliwe jest zastosowanie modułów pośredniczących zawierających różne układy pomiarowe, np. dzielniki napięcia, boczniki prądowe, wzmacniacze liniowe oraz różne ich kombinacje. Możliwy jest również pomiar i rejestracja innych wielkości fizycznych z wykorzystaniem w roli modułów pośredniczących przetworników zamieniających ich wartość na prąd lub napięcie.

6. Wyniki pomiarów

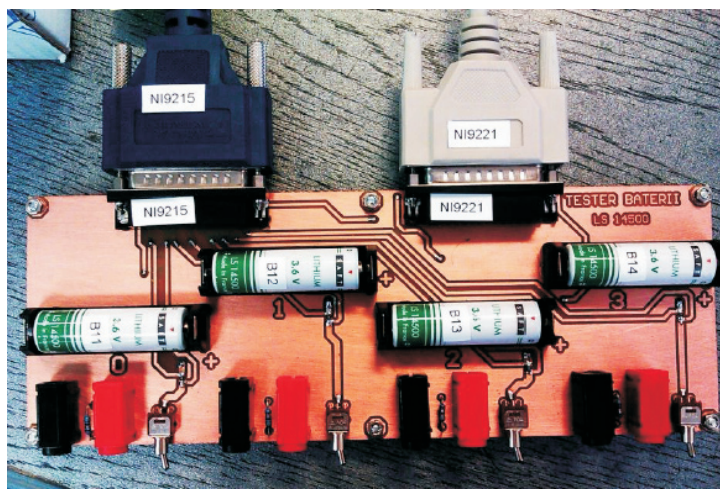
Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów wykonanych z wykorzystaniem opisywanego systemu pomiarowego

Pomiar charakterystyki rozładowania akumulatora LC-R127R2PG1 (12 V 7,2 Ah). Do pomiaru wykorzystano moduły pośredniczące przedstawione na rysunku 8. Akumulator został obciążony prądem o wartości 2 A. Wykres przedstawiający charakterystykę rozładowania przedstawia rysunek 9. Wyższe napięcia akumulatora w pierwszych sekundach pomiaru wynikają z braku włączonego obciążenia, po jego włączeniu napięcie spadło do ok. 12,2 V. Po około 3 godzinach wartość napięcia na zaciskach akumulatora spadła do 9 V i badanie zostało zakończone ze względu na możliwość uszkodzenia akumulatora.



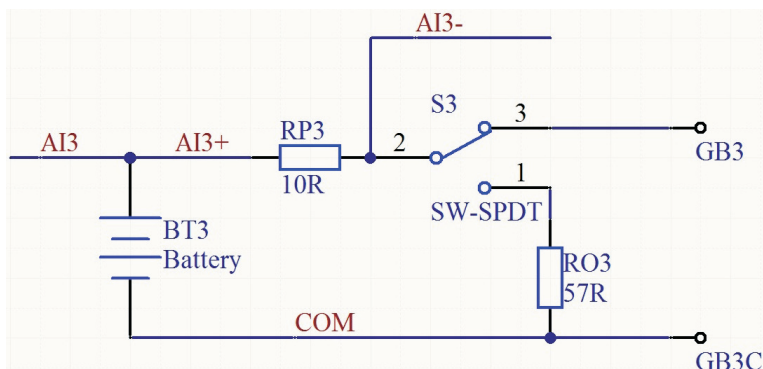
Rys. 9. Napięcie na zaciskach akumulatora LC-R127R2PG1 przy obciążeniu prądem 2 A

Innym przykładem wykorzystania stanowiska pomiarowego była seria badań baterii typu LS14500, używanych w sprzęcie saperskim, którym minął resurs. Ze względu na dość znaczącą partię badanych baterii przygotowano moduł pośredniczący, który umożliwił pomiary jednoczesne czterech obiektów (rys. 10).



Rys. 10. Moduł pośredniczący do badania ogniw LS14500 (w trakcie badania czterech ogniw)

Schemat ideowy jednej sekcji modułu pośredniczącego do badania baterii LS14500 przedstawia rysunek 11.

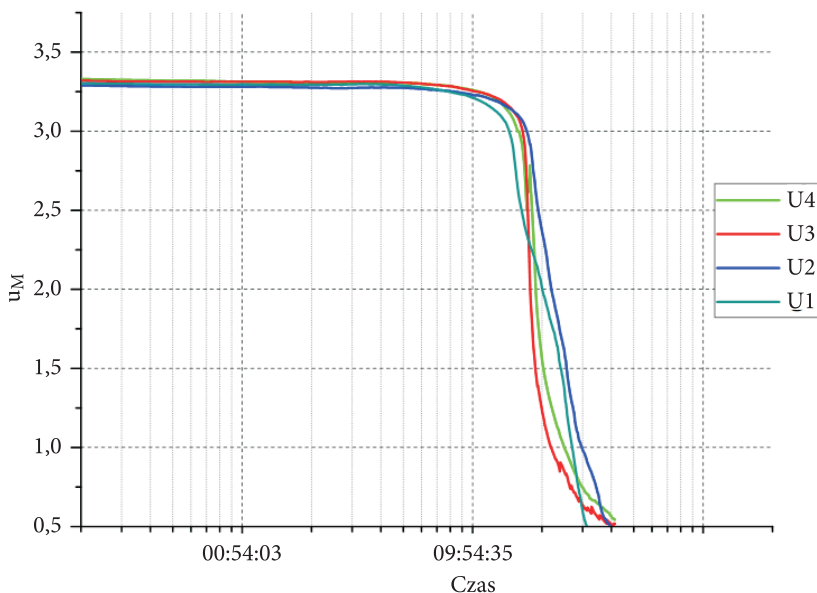


Rys. 11. Schemat ideowy jednej sekcji pomiarowej

Rezystor RP3 jest elementem wzorcowym do pomiaru prądu, RO3 stanowi obciążenie badanego ogniwa (w nocie producenta baterii LS14500 znajduje się wykres rozładowania dla obciążenia 57 Ω i został on przyjęty jako odniesienie do określenia stanu badanych obiektów). Przełącznik S3 funkcjonuje jako włącznik

obciążenia RO3, ale umożliwia również w razie potrzeby przełączenie na zewnętrzne obciążenie.

Przykładowy wykres charakterystyk rozładowania czterech ogniw przedstawia rysunek 12.



Rys. 12. Charakterystyki rozładowania czterech ogniw LS14500

W początkowym okresie wykorzystywania systemu pomiarowego w trakcie trwania rejestracji dokonywano pomiarów kontrolnych z użyciem precyzyjnych przyrządów pomiarowych w celu sprawdzenia dokładności pomiaru — nie stwierdzono różnic większych, niż wynikałoby to z dokładności przetworników systemu lub wykorzystanych rezystorów pomiarowych. W praktyce bardzo korzystne okazało się wykorzystanie funkcji oprogramowania systemu umożliwiającej zapis rekordu danych pomiarowych w reakcji na zmianę wielkości mierzonej o zdefiniowaną wcześniej wartość. W znaczący sposób zmniejsza to liczbę zapisanych rekordów bez utraty istotnych informacji o rejestrowanych zjawiskach. Pliki z wynikami pomiarów charakterystyk mierzonych jednocześnie czterech akumulatorów nie przekraczają zazwyczaj wielkości kilkudziesięciu kB.

7. Podsumowanie

Przedstawiony system pomiarowy okazał się bardzo przydatny w badaniach prowadzonych w Wojskowym Instytucie Techniki Inżynieryjnej. Dzięki autonomicznej

pracy stanowi znaczne uproszczenie obsługi prac badawczych akumulatorów i baterii. Jak napisano we wstępie, jest systemem kompletnym, jednak nie zamkniętym. Wykorzystywany był również przy badaniach innych obiektów, np. jako rejestrator temperatury lub do rejestracji charakterystyk prądowo-napięciowych źródeł zasilania. Ponadto istnieje możliwość rozbudowy programu sterującego o obsługę obciążeń elektronicznych i zasilaczy (wiele z takich urządzeń wyposażonych w interfejsy komunikacyjne posiada biblioteki sterowników do LabVIEW).

Artykuł wpłynął do redakcji 1.07.2014 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 15.07.2014 r.

Artykuł opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na X Szkole-Konferencji „Metrologia Wspomagana Komputerowo — MWK'2014” Waplewo, 27-30 maja 2014.

LITERATURA

- [1] CZERWIŃSKI A., *Akumulatory baterie ogniwa*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2005.
- [2] WOJCIECHOWSKI A., *Akumulatory litowo-fosfatowe — możliwości wykorzystania w technice wojskowej*, Inżynieria Wojskowa — Problemy i perspektywy, WITI, Wrocław, 2014, 301-310.
- [3] National Instruments Corporation: *NI cDAQ-9172 User Guide and Specifications*, Jun08.
- [4] National Instruments Corporation: *NI 9215 Calibration Procedure*, Dec06.
- [5] National Instruments Corporation: *NI 9201/9221 Calibration Procedure*, Feb07.
- [6] National Instruments Corporation: *NI 9215 Operating Instructions and Specifications*, May11.
- [7] National Instruments Corporation: *NI 9217 Operating Instructions and Specifications*, May08.
- [8] National Instruments Corporation: *NI 9201/9221 Operating Instructions*, Jan07.

A. WOJCIECHOWSKI, W. MADEJ, I. PLEBANKIEWICZ,
M. SZCZEPANIAK

Measuring System for Batteries Testing

Abstract. During development and research conducted at our Institute we have repeatedly encountered the issues related to the examination of the properties of the power source for engineer equipment. These studies are often lengthy and require constant monitoring of electrical parameters of the tested object. These conditions have led to a measurement system based on measurement and programming technologies of National Instruments Company. The system is complete, but because of the great flexibility of the technology used it is not a closed system and the possibility of its expansion is virtually limitless.

The article includes the description of:

- programming functions;
- selected ways to tailor the measured quantities to the measurement range of converters;
- ways to provide convenient electrical and mechanical connections between the tested objects and the converters;
- exemplary use of the system in battery tests.

Keywords: measuring system, LabVIEW, battery measurements

