

# Nowoczesne stanowiska badawcze i hamownie wyposażone w wirtualne i tradycyjne przyrządy pomiarowe

Adam Decner, Artur Polak

## 1. Wstęp

Gotowe przyrządy pomiarowe, takie jak analizatory mocy, induktry lub cyfrowe mierniki rezystancji, przekładni transformatorów lub skonstruowane na potrzeby laboratorium badawczego, składające się z przetworników pomiarowych i kart akwizycji danych, stanowią wyposażenie pomiarowe stanowisk badawczych. Rzeczywiste przyrządy pomiarowe komunikują się z systemem pomiarowym za pomocą interfejsu komunikacyjnego (GPIB, RS232, RS485, USB itp.). System oparty na kartach pomiarowych ma zapewnioną komunikację poprzez odpowiednie umieszczenie karty pomiarowej w złączu PCI, PCIe, USB itp. i zainstalowanie sterowników. Stanowisko takie może pracować pod nadzorem oprogramowania pomiarowego nadzorującego proces pomiarowy, edycyjny i archiwizacyjny i dopasowanego do wymogów badającego. Zastosowanie takiego oprogramowania umożliwi również zapis w chmurze czy publikowanie wyników w internecie lub sieci wewnętrznej.

Współczesne cyfrowe urządzenia rejestrujące proponowane są w szerokiej ofercie, zaś ich cena uzależniona jest od częstotliwości próbkowania, ilości kanałów pomiarowych, jakości zastosowanych przetworników analogowo-cyfrowych, możliwości zapisu i prezentacji danych pomiarowych.

Wirtualne przyrządy pomiarowe znalazły bardzo szerokie zastosowanie w instytutach naukowych, szkołach i uczelniach oraz coraz częściej w zakładach przemysłowych produkujących lub remontujących maszyny elektryczne. Za ich pomocą realizowane są badania prowadzone na stacjach prób i w laboratoriach. To właśnie dziedzina maszyn i urządzeń elektrycznych obfituje w bardzo szerokie spektrum zagadnień pomiarowych. Stale obecne są zagadnienia elektryczne, polowe, termiczne, mechaniczne, elektroniczne związane z pracą maszyny, jej zasilaniem oraz sterowaniem. W celu wykonania kompleksowych badań należy pobierać wiele różnych sygnałów fizycznych, np.: moc, napięcie, prąd, moment, prędkość obrotową, indukcyjność, parametry drgań i temperaturę. Opisane wymagania powodują, że stanowiska muszą zostać rozbudowane i stają się skomplikowane oraz coraz droższe [1].

## 2. Stanowisko pomiarowe

Stanowisko badawcze składa się z czterech zasadniczych elementów: ramy stanowiska, silnika obciążająco-napędzającego, układu zasilającego oraz pulpitu sterującego [2].

Rama stanowiska jest zwykle podzielona na dwie zintegrowane ze sobą części (w przypadku, gdy stanowisko ma pełnić

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono zaprojektowane i wykonane stanowiska badawcze i hamownie umożliwiające badanie maszyn elektrycznych. Wyposażenie pomiarowe stanowisk stanowią gotowe przyrządy pomiarowe, takie jak analizatory mocy, induktry lub cyfrowe mierniki rezystancji, przekładni transformatorów lub skonstruowane na potrzeby laboratorium badawczego, składające się z przetworników pomiarowych i kart akwizycji danych. Rzeczywiste przyrządy pomiarowe komunikują się z systemem pomiarowym za pomocą interfejsu komunikacyjnego (GPIB, RS232, RS485, USB itp.). System oparty na kartach pomiarowych ma zapewnioną komunikację poprzez odpowiednie umieszczenie karty pomiarowej w złączu PCI, PCIe, USB itp. i zainstalowanie sterowników. Stanowisko takie może pracować pod nadzorem oprogramowania pomiarowego dopasowanego do wymogów i nadzorującego proces pomiarowy, edycyjny i archiwizacyjny. Zastosowanie takiego oprogramowania umożliwi również zapis w chmurze czy publikowanie wyników w internecie lub sieci wewnętrznej.

Słowa kluczowe: maszyny elektryczne, stanowisko badawcze, przyrząd pomiarowy, karta pomiarowa, próby

## MODERN TEST STANDS AND DYNAMOMETERS EQUIPPED WITH VIRTUAL AND TRADITIONAL MEASURING INSTRUMENTS

**Abstract:** Designed and made teststands and dynamometers, which are used for testing of electrical machines are described. The measurement equipment of the teststands are traditional measuring instruments, such as power analyzers, inductors or digital resistance meters transformer turns ratio, or constructed for the needs of a research laboratory, consisting of measuring transducers and data acquisition device. The traditional measuring instruments communicate with the measurement system via a communication interface (GPIB, RS232, RS485, USB, etc.). The communication of system based on data acquisition cards is realized through the appropriate placement of a measurement card in a PCI or PCIe slot or through USB connector, etc. and installing corresponding drivers. Such a teststand can be operated under the supervision of measurement software tailored to the requirements and supervising the measurement, editing and archiving process. The use of such software also enables writing to the cloud or publishing results on the internet or internal network.

Keywords: electrical machines, teststand, measuring devices, data acquisition card, tests

funkcję stanowiska uniwersalnego): część stała (rys. 1, część 1) i część ruchoma (rys. 1, część 2) [2].

W przypadku badań maszyn o jednakowym lub zbliżonym wzniosie stanowisko może być wykonane bez części ruchomych. W zależności od przyjętej koncepcji obie części mogą posiadać stoły z rowkami teowymi, przystosowanymi do montażu różnych obiektów badań (rys. 1, rys. 2) lub być wyposażone w gotowe do zamontowania silników stojaki (rys. 3). Część ruchoma pozwala na pionowy ruch stołu (górną – dół) w określonym zakresie, który może być realizowany za pomocą napędu z przekładnią [2].

Przedstawione na rysunkach 1–3 hamownie służą do badania maszyn prądu stałego i przemiennego (rys. 1), maszyn prądu stałego przeznaczonych do zastosowań militarnych (rys. 2) oraz silników synchronicznych z magnesami trwałymi do zastosowań militarnych (rys. 3).

### 3. Wyposażenie

Napęd hamowni przedstawionej na rysunku 1 stanowi silnik asynchroniczny zasilany z przekształtnika energoelektronicznego. Hamownia pozwala na pracę silnika obciążającego we wszystkich czterech ćwiartkach układu współrzędnych moment – prędkość, zapewniając bliski jedności współczynnik mocy oraz quasisinusoidalny kształt prądów zasilających. Opisany stan jest możliwy do osiągnięcia poprzez zastosowanie dwóch przekształtników energoelektronicznych, z których jeden odpowiada za współpracę z siecią zasilającą (prostownik), a drugi zasila silnik klatkowy (falownik).

Napęd hamowni przedstawionej na rysunku 2 stanowi prądnicą prądu stałego zasilana z przekształtnika energoelektronicznego. Hamownia pozwala na zwrot energii do sieci zasilającej.

Badane silniki prądu stałego zasilane są również z takiego samego przekształtnika energoelektronicznego, lecz skonfigurowanego do pracy silnikowej.

Hamownia przedstawiona na rysunku 3 posiada dwa napędy. Specyficzne procedury badawcze wymagały od stanowiska bardzo szerokiego zakresu regulacji prędkości obrotowej 1–4500 obr./min. Zdecydowano więc na zastosowanie, jako głównego obciążenia, silnika synchronicznego z magnesami trwałymi. Dodatkowy napęd pomocniczy stanowi silnik asynchroniczny z przekładnią. Główna maszyna obciążająca ma możliwość pracy we wszystkich czterech ćwiartkach układu współrzędnych moment – prędkość.

Sterowanie pracą hamowni z rysunków 1–3 odbywa się z odpowiednio wyposażonych pulpitów. Na rysunku 4 przedstawiono pulpit hamowni 200 kW (rys. 1), na rysunku 5 przedstawiono pulpit hamowni 9 kW (rys. 2), a na rysunku 6 przedstawiono pulpit hamowni 15 kW (rys. 3). Z pulpitów łączące są poszczególne urządzenia hamowni, przeprowadzane jest sterowanie parametrami obciążenia oraz wykonywane są pomiary i rejestracje.

### 4. Oprogramowanie

Dostępnych i użytkowanych jest wiele środowisk służących do programowania, które umożliwiają stworzenie przyrządu wirtualnego. Środowisko takie jest dobierane w zależności od potrzeb danej aplikacji. W Laboratorium Instytutu Komel



Rys. 1. Stanowisko montażowe hamowni 200 kW



Rys. 2. Stanowisko montażowe hamowni 9 kW

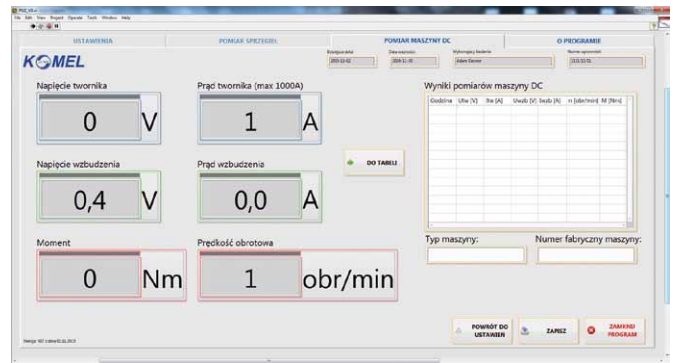


Rys. 3. Stanowisko montażowe hamowni 15 kW

wybrano środowisko, które oparte jest na języku G, będącym językiem programowania graficznego, tzn. wszystkie funkcje, rozkazy i polecenia programu opisane są za pomocą ikon graficznych. Środowisko to może być używane do wykonywania pomiarów, przeprowadzania testów, sterowania przyrządami pomiarowymi, sterowania procesami technologicznymi, wykonywania zaawansowanych obliczeń matematycznych. Najważniejsze cechy wybranego środowiska to m.in. obsługa wielu



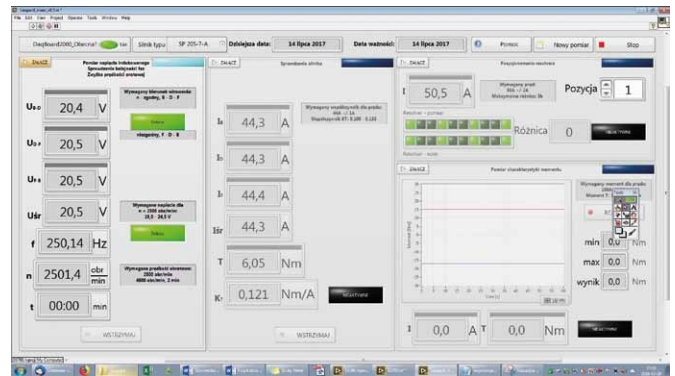
Rys. 4. Pulpit sterowniczy hamowni 200 kW



Rys. 7. Przyrząd wirtualny hamowni 200 kW



Rys. 5. Pulpit sterowniczy hamowni 9 kW



Rys. 8. Przyrząd wirtualny hamowni 15 kW



Rys. 6. Pulpit sterowniczy hamowni 15 kW

różnych urządzeń, komunikacja poprzez dostępne porty, intuicyjność, wielowłtkowość, możliwość budowania plików wykonywalnych [3].

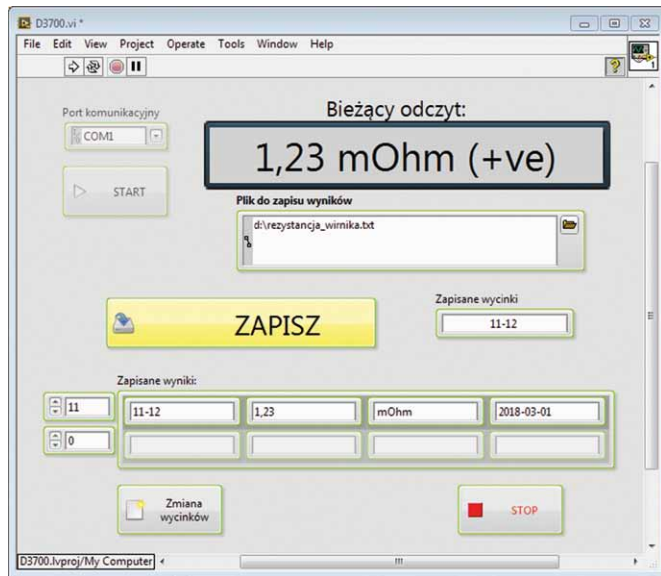
Oprogramowanie pomiarowe hamowni przedstawionych na rysunkach 1 i 3 napisano w języku G (środowisko LabView). Oprogramowanie nadzoruje łączność i poprawne funkcjonowanie części pomiarowej, umożliwia wykonanie nastaw modułów pomiarowych (ich konfigurację), obliczeń wielkości elektrycznych i mechanicznych, zapisanie wyników [2]. W hamowni przedstawionej na rysunku 2 zastosowano klasyczne tablicowe przyrządy pomiarowe.

Na rysunku 7 przedstawiono wygląd jednego z ekranów przyrządu wirtualnego, za pomocą którego wykonywane są pomiary, rejestracje oraz generacja raportów z pomiarów i ich archiwizacja, przeznaczonych do współpracy z hamownią 200 kW (rys. 1).

Na rysunku 8 przedstawiono wygląd ekranu przyrządu wirtualnego, za pomocą którego wykonywane są pomiary i rejestracje oraz bieżąca ocena wyników pomiarów wykonywanych na hamowni 15 kW (rys. 3).

### 5. Inne zastosowanie przyrządów wirtualnych

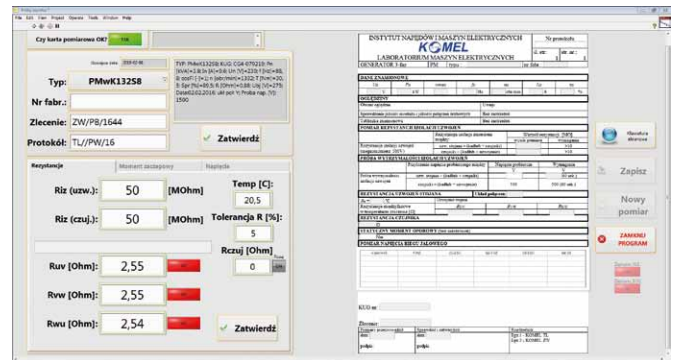
Możliwości środowiska programistycznego powinny być wykorzystane przez programistę w najwyższym stopniu. LabView jest środowiskiem oferującym programiście bardzo wiele. W stanowiskach badawczych mogą być wykorzystane przetworniki pomiarowe i specjalizowane karty pomiarowe, tak jak to zrobiono w przypadku hamowni 200 kW (rys. 1) oraz 15 kW (rys. 3). Oprócz powyższych przykładów wykorzystania, przyrządy wirtualne stanowią uzupełnienie przyrządów pomiarowych, takich jak analizatory mocy, induktry lub cyfrowe mierniki rezystancji, przekładni transformatorów itp. Takie oprogramowanie umożliwia i ułatwia gromadzenie wyników pomiarów, generowanie gotowych raportów z prób. Na rysunku 9 przedstawiono oprogramowanie do obsługi mostka cyfrowego do pomiaru rezystancji (rys. 10). Na rysunku 11 przedstawiono przyrząd wirtualny do badania generatorów synchronicznych z magnesami trwałymi (rys. 12). Na rysunku 13 przedstawiono oprogramowanie do testowania transformatorów energetycznych, współpracujące m. in. z induktrym (rys. 14) oraz analizatorem mocy (rys. 15).



Rys. 9. Oprogramowanie mostka cyfrowego



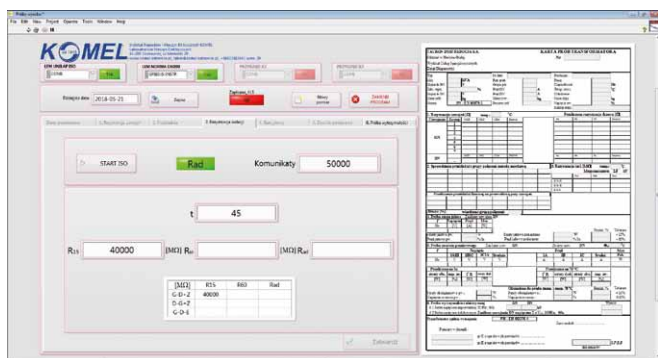
Rys. 10. Cyfrowy mostek do pomiaru rezystancji



Rys. 11. Przyrząd wirtualny do badania generatorów synchronicznych z magnesami trwałymi



**Rys. 12.**  
Generator  
synchroniczny  
z magnesami  
trwałymi



**Rys. 13.** Przyrząd wirtualny do badania transformatorów energetycznych



**Rys. 14.**  
Induktorowy  
miernik rezystancji  
izolacji



**Rys. 15.**  
Analizator mocy

## 6. Podsumowanie

Zaprojektowane i wykonane stanowiska badawcze cechuje modułowa i kompaktowa budowa, która pozwala na dość dowolne rozlokowanie poszczególnych elementów w istniejącej infrastrukturze. Nie jest wymagane wykonywanie specjalnych budowlanych prac przygotowawczych, takich jak np. wylewanie i poziomowanie fundamentów.

W artykule przedstawiono przykłady wykorzystania wirtualnych przyrządów pomiarowych w praktyce. Profesjonalnie przygotowane oprogramowanie umożliwia przeprowadzenie szerokiego zakresu prób. Przytoczone przykłady aplikacji pokazują różnorodność zastosowań w codziennej pracy laboratorium badawczego i stacji prób.

Wiele lat doświadczeń, budowania i użytkowania przyrządów wirtualnych oraz różnorodność ich zastosowania pokazuje, że stanowią one istotny element wyposażenia badawczego laboratorium. Wirtualne przyrządy pomiarowe wykorzystywane są podczas badań stacjonarnych prowadzonych na stanowiskach w laboratorium jako rejestratory szybkozmiennych lub wolnozmiennych przebiegów, analizatory czy zwykłe mierniki.

Szybka modernizacja lub naprawa przyrządu poprzez dodanie nowych (innych) funkcji, wymianę modułów pomiarowych może zostać zrealizowana w bardzo krótkim czasie, na stanowisku badawczym. Bardzo duże możliwości zapisu czy eksportu wyników pomiarowych stanowią również o uniwersalności tego typu urządzeń.

Szeroka gama możliwych do zastosowania przetworników i kart pomiarowych powoduje, że to użytkownik decyduje o parametrach swojego przyrządu, może więc osiągnąć kompromis pomiędzy dokładnością a ceną przyrządu wirtualnego i klasycznego. Wykorzystanie wysokiej klasy przetworników oraz karty pomiarowej zwiększa dokładność pomiarów i rejestracji, ale powoduje wzrost ceny przyrządu wirtualnego.

Niniejszych zalet brakuje przyrządom zamkniętym (np. analizator mocy). Przyrządy takie są niezwykle precyzyjne w pomiarach i wykonaniu, co stanowi duży problem podczas ewentualnych napraw serwisowych. Jak wynika z doświadczenia autorów oraz z sygnałów docierających od innych użytkowników, przedstawiony na rysunku 15 analizator mocy jest przyrządem, którego naprawa w obecnych czasach jest bardzo trudna. Ostatnie egzemplarze przyrządu zostały wyprodukowane w latach 2006–2007 i po ponad 10 latach od zakończenia produkcji naprawa w serwisie producenta jest praktycznie niemożliwa. Jednak niewątpliwą zaletą takiego przyrządu jest niezwykle wysoka dokładność wykonywanych pomiarów, pod warunkiem zachowaniu systematycznego kalibrowania.

## Literatura

- [1] BIERNAT A., URBAŃSKI W.: *Wirtualna technika pomiarowa w laboratoriach maszyn elektrycznych*. „Napędy i Sterowanie” 5/2012.
- [2] POLAK A., DECNER A.: *Hamownie badawcze nowej generacji*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 3/2016.
- [3] DECNER A., BARAŃSKI M.: *Wirtualne przyrządy pomiarowe oraz systemy akwizycji danych przeznaczone do badań maszyn elektrycznych*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 23/2015.

dr inż. Adam Decner – KOMEL, Laboratorium Maszyn Elektrycznych, specjalista badawczo-techniczny, e-mail: a.decner@komel.katowice.pl;  
dr inż. Artur Polak – KOMEL, Laboratorium Maszyn Elektrycznych, Kierownik Laboratorium, e-mail: labor@komel.katowice.pl