

Wirtualna technika pomiarowa w laboratoriach maszyn elektrycznych

Adam Biernat, Wojciech Urbański

Współczesna metrologia w sposób jednoznaczny opierana jest na metodach wirtualizujących akt pomiaru. Zalety, jakimi cechują się wirtualne metody pomiarowe, sprawiają, że kwestią czasu pozostaje wykorzystywanie jeszcze metod klasycznych, opartych o mierniki wychyłowe. Stopniowo także tradycyjne przyrządy, których podzielnice zastąpiono ekranem cyfrowym, używane będą tylko do najprostszych pomiarów.

Wirtualne metody pomiarowe szczególnie często są stosowane w szkolnictwie wyższym oraz w instytutach naukowych i przemysłowych, realizujących badania bezpośrednio wdrażane we współczesnych technologiach. O ile rozróżnienie przyrządu pomiarowego wykorzystywanego do szkolenia studentów od miernika profesjonalnego nie napotykało dotąd żadnych trudności, o tyle wirtualne przyrządy pomiarowe (WPP) można konstruować bez większych nakładów, aby obsługiwały zarówno stanowiska pomiarowe w laboratoriach studenckich, jak i naukowych. Ta istotna cecha ustrojów wirtualnych, nie wskazywana dotąd w literaturze dyscypliny, sprawia, iż wiele uczelni wirtualizuje swe laboratoria z myślą o obsłudze obu wskazanych środowisk.

Szczególne pole rozwoju nowoczesnej techniki pomiarowej znajdują w jednostkach zajmujących się pomiarami maszyn elektrycznych. To właśnie w dziedzinie maszyn elektrycznych odnaleźć można ciekawe, ale i trudne problemy identyfikacji pól: elektrycznych, magnetycznych, także pochodzenia grawitacyjnego. Stale obecne są zagadnienia mechaniczne, elektroniczne, zasilania i sterowania. Są to konstrukcje skomplikowane i realizujące odpowiedzialne zadania technologiczne. W celu wykonania kompleksowych badań należy pobierać wiele różnych sygnałów fizycznych (m.in. prąd, napięcie, moc, moment, temperatura, indukcja, parametry drgań), następnie przetwarzać je i (na podstawie odpowiedniego wnioskowania – algorytmu) wypracować ekspertyzę końcową. Opisane wymagania bardzo komplikują stanowiska laboratoryjne oraz zwiększają koszt aparatury.

Wymienione postępowanie metrologiczne jest jednakowe dla zadań wykonywanych dla celów naukowych, diagnostycznych oraz dydaktycznych. Klasyczne układy pomiarowe budowane były dotąd oddzielnie dla każdego rodzaju zadań. Na przykładzie wirtualnych układów pomiarowych trójfazowych silników indukcyjnych: obrotowych i liniowych wykazano, że można zbudować jeden ustrój realizujący potrzeby różnych zlecających. Konfigurowanie układu pomiarowego następuje wtedy nie po stronie sprzętowej, ale programowej, co przyspiesza konstruowanie systemów pomiarowych i obniża koszt wyposażenia laboratoriów w najnowocześniejszą, wielozadaniową aparaturę.

Abstract: In the article: „VIRTUAL MEASUREMENT TECHNIQUE IN ELECTRICAL MACHINES LABORATORIES” a modern concept, to join many metrological functions within test-stations operated by virtual systems, was described. Electrical machines are especially important objects that should be placed in a virtual environment. They are complicated devices carrying out important technological tasks. In order to perform their comprehensive examinations one should measure many different physical signals (among others: electric current, voltage, power, torque, temperature, induction, vibration parameters), then process them and (based on a proper inference – algorithm) develop a final evaluation. Described requirements complicate laboratory stations and increase the cost of apparatus. Mentioned metrological proceedings are the same for scientific, diagnostic and educational objectives. However classic measurement systems were constructed separately for different kinds of tasks. Taking as an example the virtual measurement systems of three-phase induction motors: rotational and linear, it was shown that it is possible to build one system carrying out the needs of different clients. Configuring the measurement system is not on the hardware side but the software, which speeds up the construction of measurement systems and lowers the cost of supplying laboratories with modern, multitask equipment.

Interesującym, bardzo ważnym wątkiem, przewijającym się niejednokrotnie podczas dyskusji nad kierunkami rozwoju systemów wirtualnych, jest pole szeroko pojmowanej dydaktyki. Zaspokojenie potrzeb społecznych jednoznacznie związane jest z rozwojem kadr inżynierskich, obsługujących bardzo skomplikowane obecnie technologie produkcyjne. Rynek pracy – polski i europejski – wykazuje duże zainteresowanie wzorowo wykształconymi technikami oraz inżynierami. Także nasze Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego wystąpiło z inicjatywą dotowania wybranych segmentów kształcenia, jako kierunków zamawianych. Pośród nich szczególnie istotne są takie dyscypliny, jak: matematyka, informatyka, chemia oraz nauki techniczne.

Ograniczone możliwości szkół państwowych, dla których naturalną barierą rozwoju jest liczba stanowisk w pracowniach dydaktycznych i laboratoriach badawczych, przynosi szansę włączenia się w nurt kształcenia kadr inżynierskich niepaństwowym placówkom uczelnianym. Niestety w znacznym stopniu utrudnione jest to koniecznością zbudowania odpowiednio zaawansowanej technicznie bazy edukacyjnej. Środki niezbędne dla wytworzenia infrastruktury dydaktycznej w postaci bogato wyposażonych laboratoriów przekraczają na ogół możli-

wości niewielkich, nowo powstających szkół technicznych. Tylko nieliczne z nich pozwolą sobie mogą na otwieranie kierunków kształcenia umożliwiających zdobycie dyplomu inżynierskiego. Interesującą ideą wspierającą nauczanie dyscyplin technicznych, zarówno w uczelniach państwowych, jak i niepaństwowych, z pewnością będzie zatem wirtualizacja stanowisk laboratoryjnych.

Koncepcja wirtualizacji badań w dziedzinie elektrotechniki coraz częściej egzemplifikowana jest interesującymi aplikacjami. Szczególnie nośne dydaktycznie są tu stanowiska do pomiarów maszyn elektrycznych. Poznanie maszyn elektrycznych bez wątplenia właściwie kształtuje sylwetkę przyszłego absolwenta – inżyniera.

Metrologia wirtualna

Istotą idei wirtualizowania pomiarów wielkości fizycznych jest operowanie nie miarami sygnałów, jak to ma miejsce w klasycznych przyrządach, ale ich przebiegami czasowymi. Przyrząd analizuje pierwotny przebieg sygnału, w którym zawarta jest antycypowana cecha obiektu fizycznego, realizując następnie szereg, niejednokrotnie złożonych, operacji matematycznych na tym sygnale. Taka właśnie koncepcja prowadzenia pomiarów stworzyła możliwość wykorzystania pierwotnych definicji charakteryzujących analizowane przebiegi, np. napięcia skutecznego, średniego, mocy chwilowej i innych. Obecne zaawansowanie przyrządów wirtualnych sprawia, iż do ich bibliotek wprowadzono praktycznie wszystkie wykorzystywane przez metrologów operacje matematyczne. Umożliwiają one wyznaczanie i obróbkę dowolnych sygnałów. Zadania obliczeniowe na ogół mają na celu:

- kondycjonowanie sygnału – wzmocnienie, tłumienie, filtrowanie harmonicznym, linearyzacja, usunięcie trendu, zerowanie składowej stałej;
- wyznaczenie podstawowych miar sygnałów – amplitudy, wartości skutecznej, wartości średniej, częstotliwości;
- analizę sygnałów – częstotliwościową (FFT), wektorową w płaszczyźnie liczb zespolonych, badanie przesunięcia fazowego, analizę harmoniczną, analizę falkową, transformaty krótkookresowe, różniczkowanie, całkowanie.

Są to najczęściej wykonywane operacje. Dodatkowo ustrój wirtualny można wyposażać w dodatkowe biblioteki, np. algorytmów sztucznej inteligencji, wraz z programami implementującymi je do aktualnie rozwiązywanego zadania pomiarowego. W ten sposób możliwe staje się identyfikowanie nawet wieloparametrowych cech badanych obiektów.

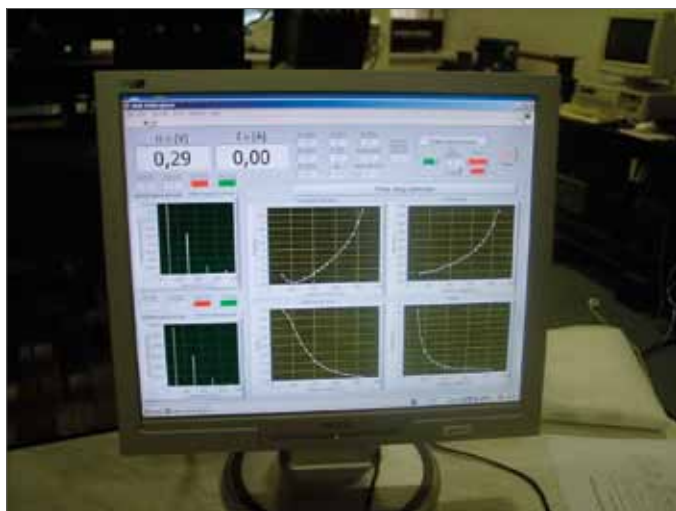
Wybór podejmowanych operacji dyktowany jest celem pomiaru.

Metodyka projektowania systemu pomiarowego prezentowana jest w wielu opracowaniach [3, 4, 5, 7] i zawarte tam precyzyjne wskazówki umożliwiają samodzielne rozpoczęcie zestawiania przyrządu wirtualnego. Także kluczowe zagadnienie z punktu widzenia metrologii, jakim jest rozpoznanie i oszacowanie błędów wnoszonych podczas aktu pomiaru, analizowano szeroko w pracy [10]. Jako uzupełnienie tych informacji warto wskazać więc środowisko programowe, właściwe dla WPP, zwłaszcza w laboratoriach maszynowych.

Od początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku odnotowuje się wyraźną progresję podaży oprogramowania tworzonego na potrzeby metrologii. Obecnie do najbardziej znanych środowisk programistycznych przyrządów wirtualnych należą: LabVIEW National Instruments, Agilent VEE Pro koncernu Agilent, DASYLab firmy Measurement Computing Corporation i Test-Point przedsiębiorstwa Capital Equipment Corporation. Do zestawiania wirtualnych przyrządów pomiarowych z powodzeniem można wykorzystać komputer z procesorem Pentium III, pamięcią RAM 512 MB, dyskiem twardym o pojemności 40 GB. Na rynku dostępne są wersje oprogramowania dla różnych systemów operacyjnych, takich jak Windows 95, Windows 98, Windows XP, Windows Vista, Windows 7 firmy Microsoft. Wyprodukowano także wersje oprogramowania dla innych systemów operacyjnych i platform sprzętowych, a więc: Mac OS Apple, Unix Hewlett-Packard, SPARC firmy Sun czy Linux.

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench* – LV) jest środowiskiem programistycznym wykorzystującym do tworzenia aplikacji graficzny język programowania (tzw. G). Idea programowania w języku G polega na przepływie danych, nie występują tu w jawnej postaci zmienne konwencjonalnych języków programowania. Kod LV opiera się na komponentach prezentowanych w postaci symboli graficznych, połączonych ze sobą przewodami. Przewody są odzwierciedleniem ścieżek przepływu informacji, który jednocześnie wymusza wykonywanie aplikacji. Model ten odróżnia LV od konwencjonalnych języków, gdzie komponenty sterują realizacją aplikacji. W LabVIEW komponent/funkcja zostanie wykonana tylko wówczas, gdy dotrą do niej wszystkie dane wejściowe. Poza podstawowymi elementami programu LV dostarcza wiele gotowych algorytmów, co czyni to środowisko niezwykle efektywnym. Zalety oprogramowania, pośród których bardzo istotne jest sprawne posługi-

reklama



Rys. 1. Ekran komputera z charakterystykami biegu jałowego

wanie się nim przez dyplomantów nieinformatyków już po krótkim szkoleniu, sprawiają, że LabVIEW właśnie (na ogół w wersji 8.2) wykorzystywany jest w nauce, przemyśle oraz w praktyce edukacyjnej wyższych uczelni technicznych.

Silnik trójfazowy pierścieniowy

Jako przykład możliwości, które wnosi do metrologii wirtualna technika pomiarowa, niech posłuży stanowisko do badań trójfazowego silnika indukcyjnego pierścieniowego typu SUDf 112M-4B o dwóch parach biegunów, mocy znamionowej $P_N = 4,0 \text{ kW}$ i napięciu zasilania $U_N = 400 \text{ V}$. Silnik trójfazowy obciążany jest za pomocą prądnicy prądu stałego i stanowi, wraz z układem rozruchowym, jedno z bazowych stanowisk laboratoryjnych do kształcenia studentów Wydziału Elektrycznego PW. Zastosowane moduły zostały tak zaprojektowane, by w oparciu o nie możliwe było dokonywanie badań naukowych oraz diagnostycznych.

Wielkościami mierzonymi są:

- napięcia międzyfazowe sieci U_v , U_u , U_w ;
- prądy przewodowe I_v , I_u , I_w ;

- prędkość obrotowa n ;
- moment na wale silnika M .

Na podstawie badanych online sygnałów wyznaczone zostają aktualne:

- napięcie i prąd średni pobierany przez silnik;
- moc czynna każdej fazy oraz całkowita;
- moc pozorna;
- starty w żelazie, straty w uzwojeniach;
- sprawność;
- przebiegi napięcia fazowego oraz prądu fazowego;
- ich widma częstotliwościowe;
- charakterystyki biegu jałowego (I , P , $\cos\phi$, $s = f(U)$ – rys. 1);
- charakterystyki stanu zwarcia (I , P , $\cos\phi$, $M = f(U)$);
- charakterystyki obciążenia (I , η , $\cos\phi$, $s = f(P_2)$).

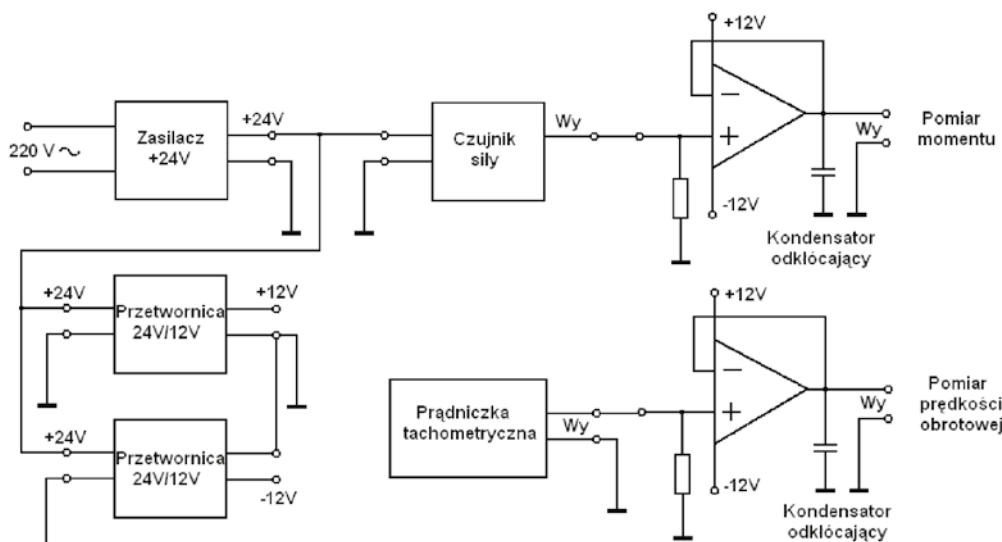
Pomiary realizowane są za pomocą wirtualnego przyrządu, w skład którego wchodzi:

- układ czujników/przetworników I/U oraz U/U zapewniających separację galwaniczną pomiędzy obwodem wejściowym (mierzonym prądem i napięciem) i wyjściowym (sygnałem pomiarowym);
- przetwornik analogowo-cyfrowy. Do pomiarów zastosowano przetwornik NI USB 6251 wyposażony w kartę przetwornika A/C;
- prądnica tachometryczna napięcia stałego;
- przetwornik siły (czujnik siły) KB52 z napięciowym wyjściem sygnałowym.

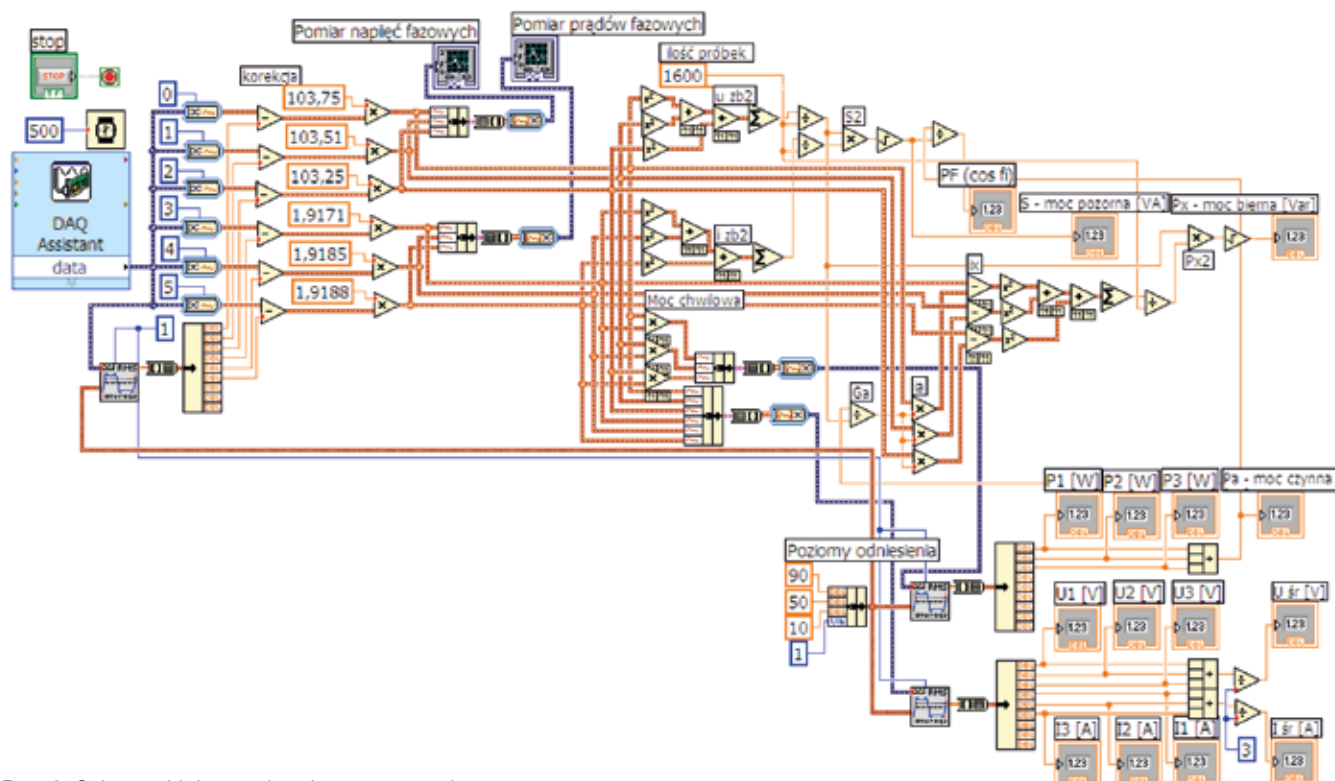
Prądnica tachometryczna i przetwornik siły współpracują z analogowym układem dopasowania (wzmacniacz operacyjny w układzie wtórnika napięciowego – rezystancja wejściowa $> 1 \text{ M}\Omega$, rezystancja wyjściowa $< 10 \Omega$) – rys. 2.

Oprogramowanie pomiarowe nadzorujące pracę przetwornika analogowo-cyfrowego jest odpowiedzialne za akwizycję danych pomiarowych, przetwarzanie danych i wizualizację pomiarów. Program pomiarowy (wirtualny przyrząd pomiarowy) został zrealizowany za pomocą oprogramowania narzędziowego LabVIEW firmy National Instruments.

W układzie pomiarowym mierzone są wielkości elektryczne: chwilowe wartości prądu fazowego i napięcia fazowego badanego silnika indukcyjnego. Silnik trójfazowy traktowany jest jak układ wieloprzewodowy spełniający z definicji zależności:



Rys. 2. Układ kondycjonowania sygnału pomiarowego momentu i prędkości obrotowej



Rys. 3. Schemat blokowy wirtualnego przyrządu realizującego pomiar wielkości elektrycznych

$$\sum_{\varsigma=1}^n i_{\varsigma} = 0$$

$$\sum_{\varsigma=1}^n u_{\varsigma 0} = 0$$

gdzie:

n – ilość przewodów układu wieloprzewodowego;
 $u_{\varsigma 0}$ – napięcia gwiazdy napięć o punkcie wspólnym dobranym w ten sposób, aby prądy przewodowe związane były z odpowiadającymi im napięciami.

Takie podejście umożliwia wprowadzenie wielkości zbiorczych – chwilowych wartości napięć i prądów, zdefiniowanych jako norma napięć i prądów:

$$u_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{\varsigma=1}^n u_{\varsigma 0}^2}$$

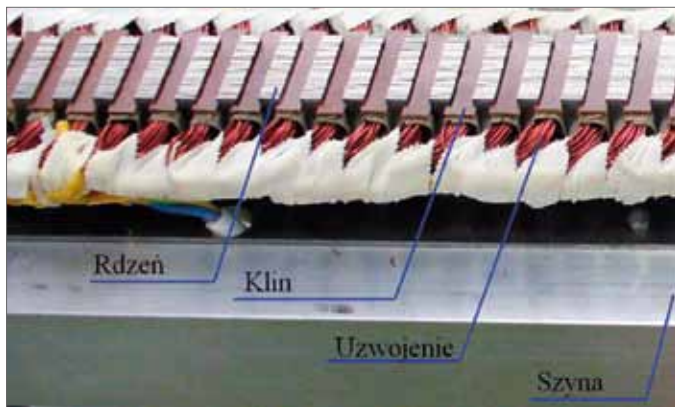
$$i_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{\varsigma=1}^n i_{\varsigma}^2}$$

dla których odpowiednio zbiorcze wartości skuteczne wyznaczone są z zależności:

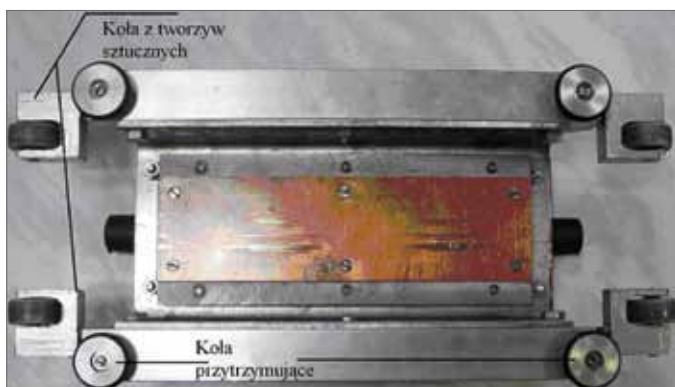
$$U_{\Sigma} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T}^T u_{\Sigma}^2 dt} = \sqrt{\sum_{\varsigma=1}^n U_{\varsigma 0}^2}$$

$$I_{\Sigma} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T}^T i_{\Sigma}^2 dt} = \sqrt{\sum_{\varsigma=1}^n I_{\varsigma}^2}$$

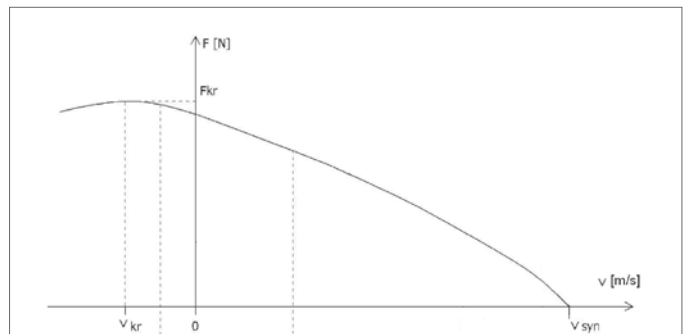
reklama



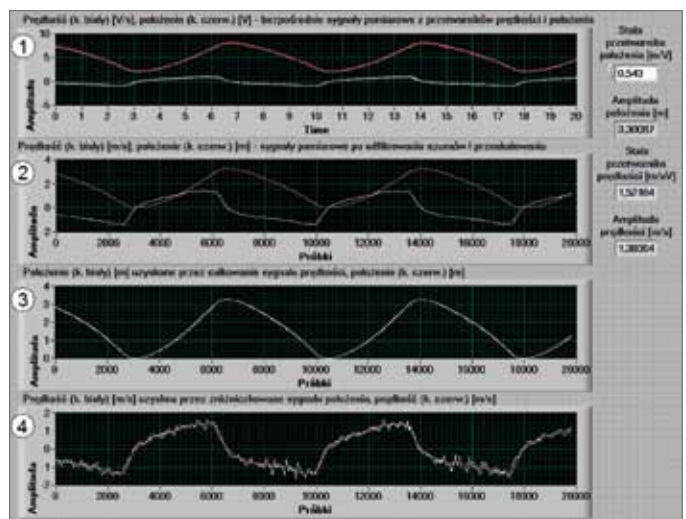
Rys. 4. Konstrukcja wzbudnika silnika liniowego



Rys. 5. Konstrukcja bieznika silnika liniowego



Rys. 6. Charakterystyka mechaniczna indukcyjnego silnika liniowego



Rys. 7. Panel wirtualnego przyrządu

Moc czynna P_a w układzie wieloprzewodowym jest wartością średnią za okres mocy chwilowej p :

$$P_a = \frac{1}{T} \int_{t-T}^T p dt = \frac{1}{T} \int_{t-T}^T \sum_{\zeta=1}^n (u_{\zeta 0} i_{\zeta}) dt$$

Moc pozorna dla układu wielofazowego zdefiniowana jest następująco:

$$S^2 = U_{\Sigma}^2 I_{\Sigma}^2$$

Wprowadzenie tak opisywanej mocy pozornej zostało wymuszone przez pojawienie się układów przełączających (prostowniki, falowniki, elektroniczne regulatory napięcia), które nie gromadząc mocy bierniej, generują ją w układzie elektrycznym. Współczynnik mocy poprawny dla wszystkich okresowo zmieniających się przebiegów prądów i napięć opisuje zależność:

$$\lambda = \frac{P_a}{S}$$

Dzięki zastosowaniu przyrządu wirtualnego wymienione wyżej parametry obliczono niekonwencjonalnie. Wielkości zbior-

cze wyznaczane są z chwilowych wartości napięć i prądów zarejestrowanych w czasie 1000 ms, a więc w czasie trwania 50 okresów napięcia zasilającego (z uwagi na zauważalne wahania w czasie mierzonych parametrów).

Schemat ideowy układu pomiarowego przedstawiono na rys. 3.

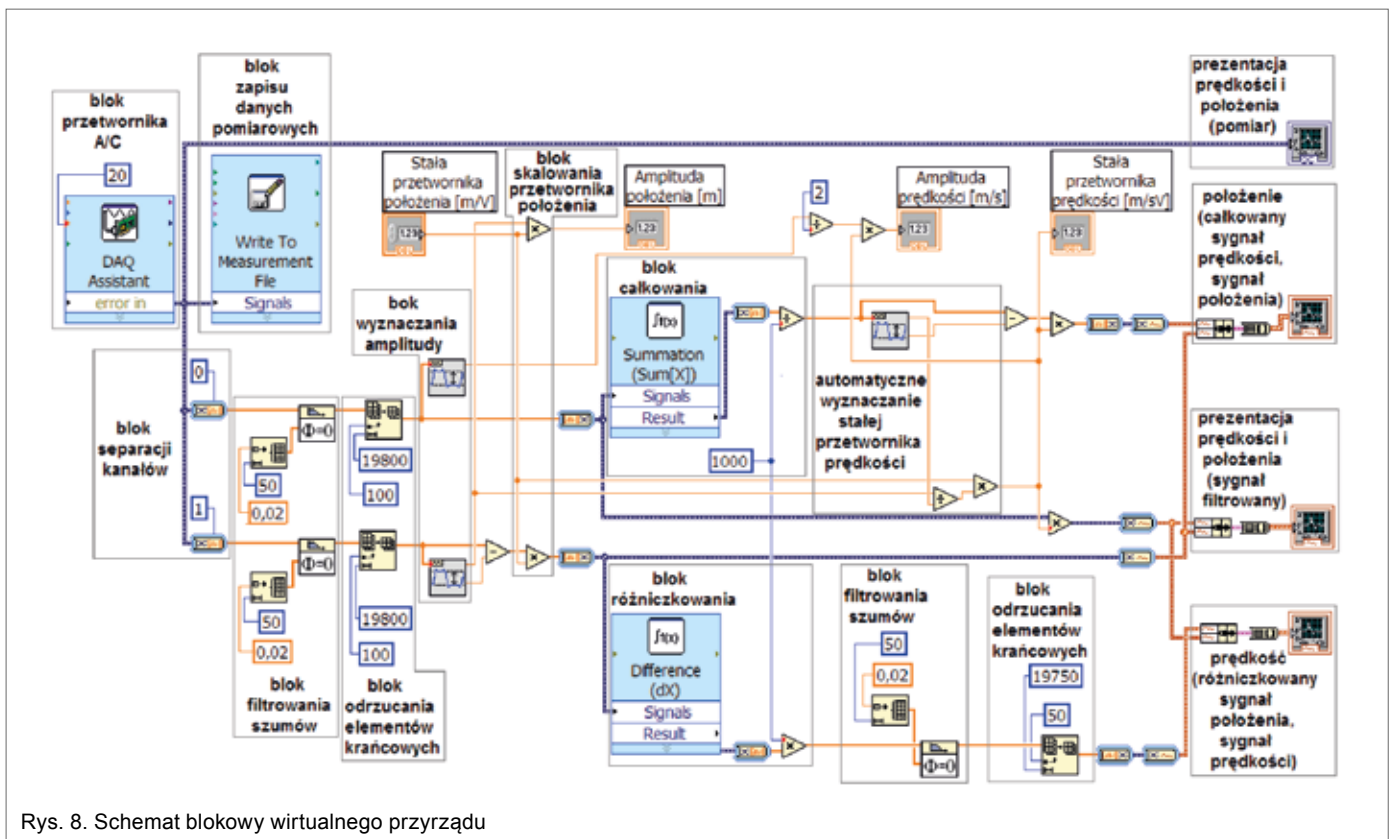
Wykonany zgodnie z wymienionymi założeniami system pomiarowy od kilku semestrów pomyślnie realizuje nałożone zadania, dowodząc swojego uniwersalnego charakteru.

Trójfazowy liniowy silnik indukcyjny

Kolejnym obiektem, podlegającym badaniom zarówno pod kątem identyfikacji cech trakcyjnych na potrzeby kształcenia studentów, jak i prac naukowych, jest stanowisko do badań silników liniowych. Poniżej opisana zostanie idea oraz realizacja badań wybranego obiektu, jakim jest silnik liniowy indukcyjny pracujący w cyklu nawrotnym. Składa on się z długiego, wąskiego wzbudnika i ruchomego bieznika. Konstrukcja wzbudnika silnika liniowego przedstawiona została na rys. 4, a konstrukcja ruchomego bieznika na rys. 5.

Prędkość synchroniczna pola magnetycznego wzbudnika wynosi:

$$v_{syn} = 2f\tau \quad [\text{m/s}]$$



Rys. 8. Schemat blokowy wirtualnego przyrządu

gdzie:

f – częstotliwość napięcia zasilającego [Hz];

τ – długość bieguna magnetycznego wytworzonego przez wzbudnik [m].

W badanym modelu silnika liniowego $f = 50$ [Hz], $\tau = 0,036$ [m] – prędkość synchroniczna pola magnetycznego wynosi zatem $v_{syn} = 3,6$ [m/s].

Specyfiką indukcyjnego silnika liniowego, z uwagi na występowanie znacznie większej szczeliny powietrznej pomiędzy wzbudnikiem a bieznikiem, jest kształt charakterystyki mechanicznej – przesunięcie siły krytycznej w kierunku małych prędkości liniowych (lub nawet prędkości ujemnych). Na rys. 6 pokazano typową charakterystykę mechaniczną silnika liniowego z dużą szczeliną powietrzną. Z uwagi na dużą szczelinę pomiędzy bieznikiem a wzbudnikiem silnik pracuje w zakresie stosunkowo niewielkich prędkości liniowych (odcinek Z1), dla których wytworzona siła jest największa.

Silniki liniowe są chętnie wykorzystywane w warunkach pracy rewersyjnej, gdyż siła przy prędkościach ujemnych może być większa niż przy prędkości zerowej, hamowanie jest zatem bardzo skuteczne. Przełączenie napięć zasilających silnik liniowy w celu dokonania rewersu wykonywane jest automatycznie za pomocą układu kontaktronowych czujników położenia twornika i styczników zamieniających kolejność faz.

Do pomiaru położenia twornika wykorzystany został bierny przetwornik położenia kątowego na rezystancję – precyzyjny potencjometr wieloobrotowy.

Do pomiaru prędkości twornika zastosowano przetwornik prędkości kątowej na napięcie. Rolę przetwornika spełnia prądnic tachometryczna napięcia stałego z magnesami trwałymi.

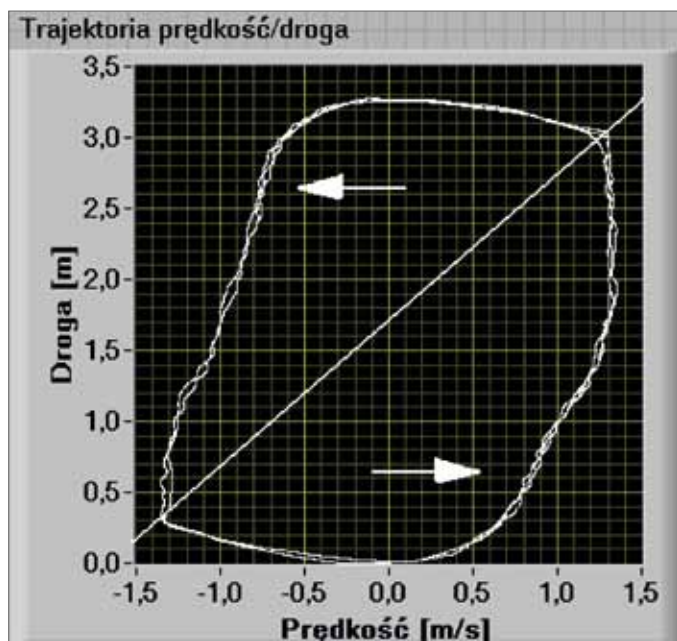
Napięcie czujnika położenia U_p i napięcie czujnika prędkości U_v podawane jest na wejścia AI0 i AI1 przetwornika analogo-

gowo-cyfrowego, wchodzącego w skład urządzenia akwizycji danych pomiarowych USB-6251 firmy National Instruments o następujących parametrach:

- magistrala przesyłu danych – USB;
- 16 wejść analogowych pojedynczych/8 wejść analogowych różnicowych;
- maksymalna częstotliwość próbkowania – $1,25 \cdot 10^6$ S/s;
- maksymalny zakres napięć wejściowych przetwornika A/C – ± 10 V;
- rozdzielczość – 16 bitów.

Urządzenie USB 5251, połączone za pomocą magistrali USB z komputerem PC wyposażonym w oprogramowanie narzędziowe LabVIEW, tworzy pomiarowy przyrząd wirtualny, którego panel (z przykładowymi danymi) oraz schemat blokowy pokazane zostały na rys. 7 i rys. 8.

reklama



Rys. 9. Przykładowa trajektoria prędkość/łożenie silnika liniowego. Strzałkami zaznaczono kierunek propagacji pola magnetycznego wzbudnika

Wirtualny przyrząd składa się z szeregu bloków realizujących zadania akwizycji, filtrowania i prezentacji danych pomiarowych oraz ich skalowania dzięki wyznaczeniu stałych przetwarzania przetworników łożenia i prędkości.

Blok przetwornika A/C

Sygnał pomiarowy dostarczany jest z bloku przetwornika analogowo-cyfrowego reprezentowanego przez blok uniwersalny DAQ Assistant, umożliwiający zdefiniowanie aktywnych kanałów wejściowych (w tym wypadku do pomiaru prędkości wykorzystywany jest kanał AI0, natomiast do pomiaru łożenia kanał AI1), częstotliwości próbkowania (wybrana została częstotliwość 1 kHz) oraz czasu pomiaru (poprzez ilość próbek w buforze pomiarowym). Czas pomiaru (wynoszący 20 sekund) został tak dobrany, aby umożliwić rejestrację pełnych czterech przemieszczeń bieżnika.

Blok zapisu danych pomiarowych

Przeskalowany sygnał pomiarowy zapisywany jest do pliku w postaci czterokolumnowej macierzy, przy czym każda para kolumn opisuje próbki i odpowiadające im wartości sygnału pomiarowego (zgodnie ze zdefiniowanymi kanałami AI1 i AI2). Do realizacji akwizycji danych wykorzystany został uniwersalny blok *Write to measurement file*.

Blok rozdzielania kanałów

W celu umożliwienia oddzielnych operacji na danych pomiarowych zarejestrowanych w kanałach AI1 i AI2 zrealizowane zostało rozdzielanie kanałów pomiarowych i jednocześnie zastąpienie kolumny przyrostu czasu (sygnał pomiarowy dostarczony przez przetwornik A/C) kolumną opisującą numer kolejnej próbki. Ta zmiana widoczna jest w oknach „2”, „3” i „4”.

Blok filtrowania szumów

Na sygnał pomiarowy nałożone są szумы oraz zakłócenia generowane przez układ przełączający, realizujący pracę na-

wrotną badanego silnika liniowego (okno „1” panelu – rys. 6). W celu ich eliminacji zastosowany został filtr nieprzesuwający fazy ($\Phi = 0$).

Blok odrzucenia elementów krańcowych

Z uwagi na to, że filtrowaniu poddany jest wektor danych pomiarowych o skończonej ilości próbek, początkowe i końcowe próbki sygnału po filtrowaniu mogą ulec zniekształceniu, gdy wartość pierwszej i ostatniej próbki jest różna od zera (na sygnał pomiarowy nałożona jest odpowiedź filtru na skok jednostkowy). W celu eliminacji zniekształceń odrzucone zostaje pierwsze i ostatnie 100 próbek pomiarowych. Dane pomiarowe poddane filtrowaniu prezentowane są w oknie „2” panelu.

Blok wyznaczenia amplitudy sygnału

Wyznaczenie amplitudy sygnału pomiarowego jest niezbędne do automatycznego obliczenia stałej przetwarzania przetwornika prędkości i realizowane jest za pomocą odpowiedniej funkcji z katalogu „Signal Processing/Waveform Measurements”.

Blok skalowania czujnika łożenia

Skalowanie polega na wymnożeniu sygnału łożenia przez stałą przetwornika łożenia k_p wprowadzonej do okna „stała przetwornika łożenia [m/V]” wirtualnego przyrządu.

Blok automatycznego wyznaczenia stałej przetwornika prędkości

W pierwszej kolejności następuje wyznaczenie maksymalnego zakresu amplitud odfiltrowanego sygnału prędkości poddanego całkowaniu. Następnie iloraz maksymalnego zakresu amplitud sygnału łożenia i maksymalnego zakresu amplitud sygnału prędkości poddanego całkowaniu zostaje wymnożony przez stałą przetwornika łożenia k_p . Wynik operacji prezentowany jest na panelu operacyjnym w postaci liczbowej (okienko „Stała przetwornika prędkości [m/sV]”). W oknie „3” panelu następuje porównanie sygnału łożenia z przeskalowanym sygnałem łożenia uzyskanym przez całkowanie sygnału prędkości – oba sygnały powinny się pokrywać.

W celu weryfikacji poprawności automatycznego wyznaczenia stałej przetwornika prędkości następuje porównanie prawidłowo skalowanego sygnału prędkości z sygnałem prędkości uzyskanym przez różniczkowanie skalowanego sygnału łożenia (okno „4”). Należy zwrócić uwagę na to, że operacja różniczkowania sygnału łożenia wprowadza znaczne szумы, które są widoczne pomimo dodatkowego filtrowania sygnału i odrzucenia elementów krańcowych.

Przeskalowane sygnały prędkości i łożenia prezentowane są w postaci trajektorii ruchu na wykresie XY (rys. 9).

Podsumowanie

Wskazane przykłady profesjonalnych stanowisk laboratoryjnych, budowanych z myślą o ich jednoczesnym wykorzystywaniu przy pracach badawczych i dydaktycznych, świadczą o uniwersalności wirtualnych przyrządów pomiarowych. W badaniach maszyn elektrycznych WPP stanowią jeszcze pewnego rodzaju nowość, wkrótce jednak będą powszechnie obowiązującym standardem. Koszty budowy systemu wirtualnego zwracają się szczególnie szybko, jeśli stanowisko badawcze pozwala na realizację zleceń diagnostycznych dla przemysłu, poprzez badanie prototypów wspiera rozwój nowych konstrukcji, służy także kształceniu kadr inżynierskich.

Istotną trudnością szerokiego wprowadzenia proponowanej metodyki zajęć politechnicznych jest niestety duży wkład pracy niezbędny do zaprojektowania, następnie wykonania i przetestowania każdego stanowiska laboratoryjnego. Wysiłek ten może być jednak znakomicie wpisany w harmonogram studiów. Rozwiązanie wskazanych zadań stanowić może tematykę prac dyplomowych inżynierskich, a także – przy bardziej zaawansowanych systemach pomiarowych – magisterskich. Tak realizowane dyplomowanie jest bardzo korzystne edukacyjnie – uczy studentów samodzielności i umiejętności projektowania w oparciu o nowoczesne narzędzia informatyczne.

reklama

Literatura

- [1] BIERNAT A.: *Badanie trójfazowego silnika indukcyjnego z wykorzystaniem przyrządu wirtualnego*. Instrukcja pomiarowa LME, Politechnika Warszawska, 2012: www.ime.pw.edu.pl/zme/dyd/mater/badanie_silnika_indukcyjnego.pdf.
- [2] BIERNAT A.: *Pomiar położenia i prędkości indukcyjnego silnika liniowego pracującego w cyklu nawrotnym*. Instrukcja pomiarowa LME, Politechnika Warszawska, 2012: www.ime.pw.edu.pl/zme/dyd/mater/metro/pomiar_predkosci.pdf.
- [3] CHRUŚCIEL M.: *LabVIEW w praktyce*. Wydawnictwo BTC, Legionowo 2008.
- [4] DRABIK M., GIL A.: *Wirtualne laboratorium pomiarowe*. „Postępy Nauki i Techniki”, 3/2009.
- [5] DUSZA D., BARTOSZEWSKI J.: *Metodyka projektowania przyrządów wirtualnych*. Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, nr 63, Wrocław 2009.
- [6] KAMIŃSKI G., KOSK J., PRZYBOROWSKI W.: *Laboratorium maszyn elektrycznych*. OWPW, Warszawa 2005.
- [7] RAK R.: *Wirtualny przyrząd pomiarowy*. OWPW, Warszawa 2003.
- [8] SUDÓŁ W.: *Nowoczesna metrologia wirtualna, budowa stanowiska do badań trójfazowej prądnicy synchronicznej*, WSEiZ, Warszawa 2009.
- [9] URBAŃSKI W.: *Wirtualna technika pomiarowa w dydaktyce maszyn elektrycznych*. Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne, nr 87, Katowice 2010.
- [10] WINIECKI W.: *Ocena parametrów wirtualnych przyrządów pomiarowych*. „Pomiary Automatyka Robotyka”, 7–8/2004.

dr inż. Adam Biernat, Instytut Maszyn Elektrycznych PW;
Pl. Politechniki 1, 00-661, Warszawa; tel. 22-234 76 81;
e-mail: biernat@ime.pw.edu.pl;
doc. dr inż. Wojciech Urbański, Instytut Maszyn Elektrycznych PW,
Pl. Politechniki 1, 00-661, Warszawa; tel. 22-234 74 36,
e-mail: urbanski@ime.pw.edu.pl

artykuł recenzowany

reklama

