

Wojciech Urbański
Politechnika Warszawska

WIRTUALNA TECHNIKA POMIAROWA W DYDAKTYCE MASZYN ELEKTRYCZNYCH

VIRTUAL MEASURING TECHNIQUE IN ELECTRICAL MACHINES EDUCATION

Abstract: In the article it is shown how to use virtual devices in theoretical teaching of subjects such as metrology and electrical machines utilization. In the preface the concept of a virtual device is defined as well as some specialized software for creating such metrological systems is described. Then characteristics of virtual devices are given all together with their construction modules (sensors, measurement cards, connectors, etc.). An important part of the article is dedicated to measurement errors, first of all the ones that appear while converting signal from analogue to digital one (in blocks a/a, a/c and c/c).

The main part of the paper is dedicated to a description of a particular execution of an idea that concerns electrical machines teaching based on virtual applications. The example given shows a research station with a synchronous generator of 10 kVA rated power driven by a direct current motor. The stand is made for measuring a 3-phase generator while it is in no-load state, during a short circuit, and when it is overloaded. The generator is able to work in a co-operation with separated network as well as in a co-operation with power system (after synchronization). The station described is also prepared to calculate parameters of a 3-phase synchronous machine, Potier's reactance, for example.

1. Wstęp

Zaspokojenie potrzeb społecznych jednoznacznie związane jest z rozwojem kadr inżynierskich, obsługujących złożony majątek produkcyjny kraju. 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 są istotne 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 możliwości niewielkich, nowo powstających szkół technicznych. Tylko nieliczne z nich pozwolić 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 jest 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. 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. Wszystkie te elementy mogą być przedmiotem pomiarów i badań z użyciem odpowiednio skonstruowanych, nowoczesnych przyrządów wirtualnych. Poznanie maszyn elektrycznych bez wątpienia właściwie kształtuje sylwetkę przyszłego absolwenta - inżyniera.

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, umiejętności projektowania w oparciu o nowoczesne narzędzia informatyczne. Budowane przez nich przyrządy cechować winny: odpowiednie walory estetyczne oraz użyteczność i ergonomia.

2. Metrologia wirtualna

Za wirtualny przyrząd pomiarowy WPP (łac. *virtualis* – możliwy) zwykło się przyjmować urządzenie złożone z komputera ogólnego przeznaczenia i dołączonych doń, poprzez dowolny kanał komunikacyjny, sprzętowych bloków funkcjonalnych (wewnętrznych/zewnętrznych), przy czym funkcje i możliwości przyrządu są określone zarówno przez sprzęt, jak i oprogramowanie, a obsługa odbywa się z wykorzystaniem graficznego interfejsu użytkownika.

WPP charakteryzują się cennymi cechami:

- funkcjonalną elastycznością (*rekonfigurowalność*),
- redukcją części sprzętowej do niezbędnego minimum i wzrostem roli oprogramowania,
- otwartą architekturą,
- możliwością współpracy komputera z częścią pomiarową przyrządu poprzez sieci teleinformatyczne (Internet, GSM itp.).

Ponieważ WPP to jednocześnie urządzenie pomiarowe i informatyczne - oceniany jest zatem według kryteriów właściwych dla obu dziedzin. Ocenie metrologicznej podlega przede wszystkim niepewność wyników pomiarów. Kryteria informatyczne jakości oprogramowania WPP są typowymi kryteriami stosowanymi przy ocenie projektów informatycznych, z uwzględnieniem specyfiki przyrządów wirtualnych.

Istotne są także cechy o charakterze mieszanym (informatyczno-metrologiczne), jak kryterium szybkości działania, a w szczególności szybkości działania jego części programowej, przy zadanej części sprzętowej.

Projektanci stanowisk pomiarowych laboratoriów maszyn elektrycznych winni zwrócić uwagę na wszelkie źródła błędów projektowanego układu. Niepewność wyników pomiarów wykonywanych wirtualnym przyrządem pomiarowym pojawia się niestety na każdym etapie obróbki sygnału, przy:

- przetwarzaniu analogowo-analogowym (a/a),

- analogowo-cyfrowym (a/c),
- cyfrowo-cyfrowym (c/c).

Dla oszacowania niepewności przetwarzania a/a i a/c należy wziąć pod uwagę zwłaszcza:

- rozdzielczość przetwarzania,
- przesunięcie zera charakterystyki przetwarzania a/c (*offset*) i jego dryft temperaturowy,
- niestałość wzmocnienia,
- nieliniowość różniczkową i całkową charakterystyki przetwarzania a/a/c,
- dryft temperaturowy sygnału odniesienia,
- poziom szumów własnych,
- czas ustalania sygnału mierzonego,
- nieokreśloność aperturową (*jitter*).

Niepewność toru przetwarzania danych (c/c) realizowanego w komputerze zależy z kolei od:

- klasy zastosowanych algorytmów przetwarzania danych,
- sposobu ich programowej implementacji (dokładność procesora cyfrowego),
- niepewności danych pomiarowych podlegających przetwarzaniu.

Podsumowaniem tej części opracowania niech będzie wskazanie środowiska programowego, właściwego 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 TestPoint przedsiębiorstwa Capital Equipment Corporation. Do korzystania z algorytmów budowania 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 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*) 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 LV, pośród których bardzo istotne jest sprawne posługiwanie się nim przez dyplomantów nieinformatyków już po krótkim szkoleniu, sprawiają że to środowisko właśnie – (na ogół w wersji 8.2) wykorzystywane jest w praktyce edukacyjnej wyższych uczelni technicznych.

3. Budowa przyrządu

Jako przykład możliwości, które wnoszą do metrologii wirtualna technika pomiarowa, niech posłuży stanowisko do badań generatora synchronicznego o mocy $S_N = 10$ kVA i napięciu znamionowym $U_N = 380$ V. Generator trójfazowy napędzany jest za pomocą silnika prądu stałego i stanowi, wraz z kolumną synchronizacyjną oraz układem rozruchowym silnika, jedno z bazowych stanowisk laboratoryjnych do kształcenia ogólnego studentów Wydziału Elektrycznego PW.

Wielkościami mierzonymi są:

- napięcia międzyfazowe generatora U_v , U_u , U_w ,
- prądy przewodowe I_v , I_u , I_w ,
- prąd wzbudzenia generatora I_f ,
- prędkość obrotowa n ,
- napięcie silnika prądu stałego U_a ,
- prąd zasilania silnika napędowego I_a .

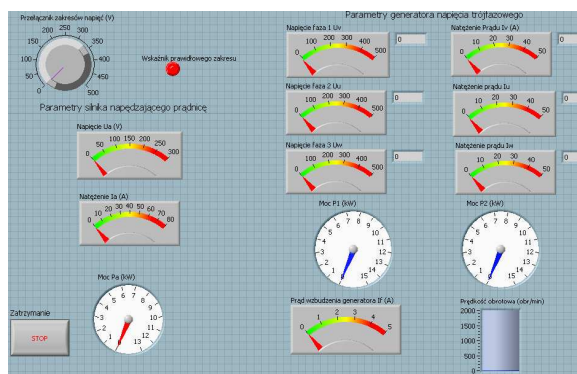
Na podstawie wartości sygnałów obliczone zostają:

- moc silnika napędzającego P_a ,
- moc czynna,
- moc bierna,
- współczynnik przesunięcia fazowego $\cos \varphi$.

Do realizacji pomiarów wykorzystano kartę pomiarową komunikującą się z komputerem

przez port USB o symbolu NI USB 6251 firmy National Instruments. Zapewnia ona do 16 różnicowych wejść analogowych, cztery wyjścia analogowe, osiem złącz BNC dla cyfrowego WE/WY oraz do 60 złącz zaciskowych. Karty akwizycji danych ze złączami BNC - NI są tworzone w technologii NI Signal Streaming, operują maksymalnie 48 cyfrowymi liniami WE/WY, umożliwiają próbkowanie z prędkością do 1,25 MS/s (750 kS/s przy pomiarach wielokanałowych), także zawierają dwa liczniki taktowania.

Interfejs graficzny wirtualnego przyrządu pomiarowego w trakcie budowy ulegał wielokrotnym, gruntownym przemianom. Ich źródłem były sugestie dydaktyków ZME PW mające za cel takie zoptymalizowanie interfejsu, aby osiągnąć jak najpełniejszy efekt nauczania o tej grupie maszyn elektrycznych. Na rysunku 1 pokazano punkt startu - pierwszy kształt ekranu miernika wirtualnego, na rys. 2 zaś – jego ostateczną formę.



Rys. 1. Wstępny projekt interfejsu graficznego

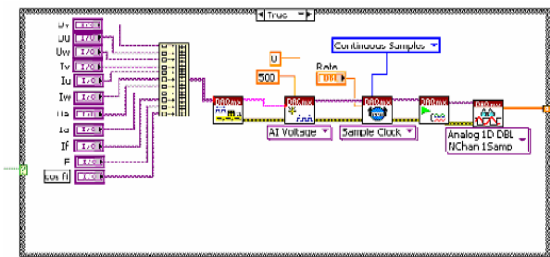


Rys. 2. Ostateczne rozwiązanie ekranu laboratoryjnego systemu pomiarowego

Podjęta została decyzja, aby wartości napięć, prądów oraz mocy silnika napędowego pokazywać dwójako. Obok wskaźnika

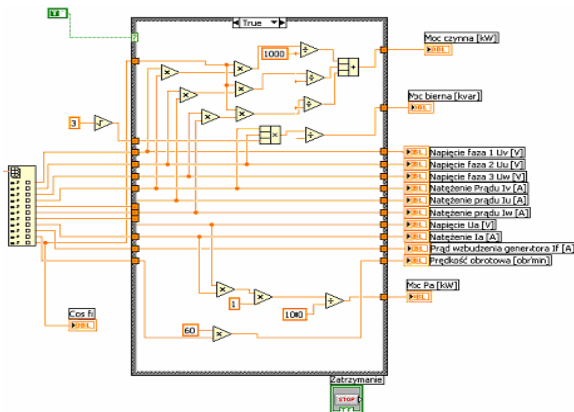
wychyłowego wartość mierzonych wielkości pokazana jest także na wskaźniku cyfrowym z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku. Podobnie prezentowane są napięcia i prądy przewodowe oraz wartości prądu wzbudzenia generatora trójfazowego. Wielkości takie, jak moc czynna, moc bierna, $\cos \varphi$ oraz prędkość obrotowa generatora przedstawione są wyłącznie w postaci cyfrowej – w ostatnim przypadku dokładność pomiaru została ograniczona do jednego miejsca po przecinku.

Moduły schematu blokowego realizowanego wirtualnego układu pomiarowego pokazane są na rysunkach 3 i 4. Pierwszy z nich przedstawia blok wejściowy sygnałów do karty pomiarowej oraz blok ich przetwarzania na wartości cyfrowe. Dzięki temu możliwa jest standaryzacja amplitud sygnałów na wyjściu tego modułu, a więc wejściu do multipleksera.



Rys. 3. Blok wejściowy do karty pomiarowej

Kolejny rysunek odwzorowuje sieć układu końcowego umożliwiającą poprawną wizualizację wyników pomiarów i obliczeń na interfejsie graficznym.



Rys. 4. Blok przetwarzania końcowego

Część sygnałów po wyjściu z multipleksera kierowana są bezpośrednio do interfejsu graficznego, pozostałe natomiast poddawane są obróbce cyfrowej (mnożniki, podzielniki, bramki logiczne), realizując zaprojektowaną wcześniej wizualizację wyników końcowych.

Rozszerzeniem funkcji układu jest możliwość testowania jego pracy. Aby można było realizować podobne symulacje blok wejściowy rozbudowano o moduł zadawania sygnałów próbnych, odwzorowujących realne sygnały fizyczne.

4. Wnioski

Nauczanie technikami wirtualnymi maszyn elektrycznych przynosi wiele korzyści dydaktycznych. Najważniejsza z nich to możliwość pogłębionego badania przez studentów cech różnych konstrukcji przetworników energii. Wszelkie pomiary i zestawiane w ich wyniku charakterystyki można realizować sprawniej, także z mniejszymi błędami pomiarowymi. Dodatkowo uproszczone stają się:

- archiwizowanie rezultatów badań,
- redagowanie protokołów i sprawozdań,
- przeprowadzanie sprawdzianów bieżącej gotowości studentów do zajęć,
- realizacja końcowych zaliczeń.

Nie bez znaczenia dla dydaktyków jest także możliwość przesyłania studiującym obszernych materiałów w postaci plików internetowych z zagadnieniami teoretycznymi i przykładami obliczeniowymi, oraz komunikatów dotyczących np. harmonogramów sesji pomiarowych. Jednak najistotniejszą wartością jest zaznajomienie studentów z przyszłymi (a standardowymi wkrótce!) metodami pomiarów maszyn elektrycznych – z metrologią wirtualną.

Literatura

- [1]. Chruściel M.: *LabVIEW w praktyce*. Wydawnictwo BTC, 2008, Legionowo.
- [2]. Kamiński G., Kosk J., Przyborowski W.: *Laboratorium maszyn elektrycznych*. OWPW 2005, Warszawa.
- [3]. Rak R.: *Wirtualny przyrząd pomiarowy*. OWPW, 2003, Warszawa.
- [4]. Sudół W.: *Nowoczesna metrologia wirtualna, budowa stanowiska do badań trójfazowej prądnicy synchronicznej*. 2009, WSEiZ, Warszawa.

Autor

dr inż. Wojciech Urbański, Instytut Maszyn Elektrycznych PW; Pl. Politechniki 1, 00-661, Warszawa; tel. 22-234-74-36; urbanski@ime.pw.edu.pl.

Recenzent

Prof. dr hab. inż. Mieczysław Ronkowski