

Sprzęt do pomiarów w obwodach elektrycznych napędów średniego i niskiego napięcia

Józef Moch

Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej

Pomiary w układach napędowych, zwłaszcza zawierających energoelektroniczne układy przetwarzania energii, wymagają stosowania coraz doskonalszego sprzętu pomiarowego. Pewna część działających w zakładach przemysłowych układów napędowych zasilana jest z sieci średniego napięcia i zasila silniki średniego napięcia. Ze względu na bezpieczeństwo przy wykonywaniu pomiarów w tych układach, sygnały pomiarowe zarówno prądów jak i napięć pobiera się zwykle z wyjść wbudowanych w układ przekładników prądowych i napięciowych. Urządzenia te są kalibrowane dla częstotliwości napięcia sieci (50 Hz) i w różnym stopniu tłumią wyższe harmoniczne mierzonych wielkości. Ich charakterystyki częstotliwościowe rzadko są znane, dlatego rzetelna ocena dokładności wykonanego pomiaru z reguły nie jest możliwa. Ważnym sygnałem mierzonym w układach napędowych jest prędkość. W układach rzeczywistych dostęp do tego sygnału bywa utrudniony lub niemożliwy. W Instytucie Układów Elektromechanicznych i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Opolskiej w ciągu dziesięciu ostatnich lat zdobyto rozległe doświadczenie pomiarowe, zakupiono i wytworzono kilka zestawów, za pomocą których wykonywane są pomiary elektrycznych i mechanicznych wielkości w układach napędowych. W artykule opisano m.in. oryginalne układy kondycjonowania sygnałów do pomiaru napięć w sieciach średniego napięcia i do pomiaru różnych rodzajów sygnałów prędkości obrotowej.

Słowa kluczowe: doświadczenie pomiarowe, napęd elektryczny, kondycjonowanie sygnałów, pomiar prędkości obrotowej

Instytut Układów Elektromechanicznych i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Opolskiej od wielu lat wykonuje pomiary w układach napędowych i energetycznych na zlecenia zewnętrzne i na potrzeby własnych badań. W związku z tą działalnością przez ostatnie lata zakupione zostały wyspecjalizowane przyrządy pomiarowe oraz różne typy czujników pomiarowych. Część oprzyrządowania została samodzielnie zaprojektowana. Zadania zbudowania go i przetestowania podjęła się firma Energotest-Diagnostyka w Brzeziu.

Rodzaje przyrządów pomiarowych do pomiarów w napędach i energetyce

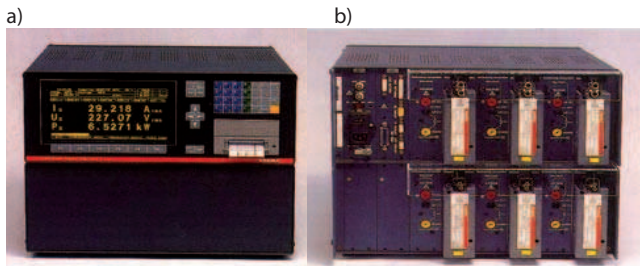
Współczesny przyrząd pomiarowy powinien spełnić wiele oczekiwań użytkownika, z których do najważniejszych należą:

- wysoka klasa (błąd pomiaru odniesiony do zakresu pomiarowego)
- odpowiednia do potrzeb liczba kanałów pomiarowych oraz możliwie szeroki wybór zakresów mierzonych wielkości
- wysokie bezpieczeństwo obsługi
- dobre wyposażenie w czujniki pomiarowe
- łatwość przekazywania cyfrowych wyników pomiaru do sprzętu komputerowego lub możliwość ich zapisu na nośnikach pamięci
- możliwość długotrwałej rejestracji wybranych wielkości pomiarowych
- możliwość wyzwalania pomiaru za pomocą dowolnego zdarzenia zdefiniowanego w dowolnie wybranym kanale pomiarowym
- łatwość przeglądania wyników zarejestrowanych w pamięci przyrządu i zarządzania plikami wynikowymi
- dobry i niezawodny program komunikacyjny
- często pożądaną właściwością przyrządu jest izolacja galwaniczna kanałów pomiarowych.

Przegląd bieżącej oferty producentów sprzętu pomiarowego pozwala wyróżnić co najmniej dwa rodzaje konstrukcji tego sprzętu.

Pierwszy rodzaj stosowany jest w przyrządach dobrze zdefiniowanych do konkretnych potrzeb: analizatorach sieci, mocy, jakości energii lub rejestratorach zużycia energii. Są to urządzenia w zwartych, bezpiecznych izolowanych obudowach, często wyposażone w prostą klawiaturę i ekran. Korzystając z nich można wybrać zadanie pomiarowe lokalnie lub zdalnie z komputera, za pośrednictwem interfejsu komunikacyjnego (np. Ethernet, USB). Współczesne przyrządy realizują pomiar metodą cyfrową. Stosuje się w nich przetwarzanie analogowo-cyfrowe z wysoką rozdzielczością, najczęściej 12–24 bitów. Częstotliwości próbkowania są zależne od potrzeb, od kilku kHz do kilkunastu MHz. Im wyższa częstotliwość próbkowania, tym większe muszą być zasoby pamięci wewnętrznej przyrządu. Im wyższa rozdzielczość przetwarzania, tym większa dokładność wykonywanego pomiaru. Kanały pomiarowe większości przyrządów mają zwykle maksymalną dokładność 0,5–0,01 %. Przyrządy powinny mierzyć co najmniej wartości: średnie, skuteczne, maksymalne, międzyszczytowe, ale również chwilowe (tryb oscyloskopowy), zdefiniowane dla napięć i prądów w okresie (lub półokresie) napięcia zasilającego. Przykłady przyrządów przeznaczonych do wykonywania określonych funkcji pomiarowych znaleźć można np. w ofercie firmy Fluke. Są to analizatory mocy FLUKE NORMA 4000/5000 [1] (wcześniejszą wersję LEM-NORMA D6000/6200 przedstawiono na rys. 1), analizatory sieci (TOPAS 1000/2000), analizatory jakości energii (FLUKE 435, MEMOBOX808), rejestratory energii (FLUKE 1735).

Drugi rodzaj konstrukcji występuje w przyrządach uniwersalnych, zwykle o modułowej konstrukcji, które pozwalają nabywcy na samodzielne skonfigurowanie zestawu pomiarowego i sterującego. W tej kategorii można znaleźć również zaawansowaną technicznie aparaturę laboratoryjną.



Rys. 1. Analizator mocy LEM-NORMA D6200: a) widok z przodu, b) widok z tyłu z zamontowanymi bocznikami

Fig. 1. LEM-NORMA D6200 Power Analyser: a) front view, b) rear view with installed shunts

Typowym rozwiązaniem przyrządów tej grupy są produkty firmy National Instruments. Przykładowy zestaw tego typu zmontowany w chassis NI PXIe 1062Q [2] przedstawiono na rys. 2. Wejściami kart pomiarowych są złącza o gęstym upakowaniu pinów. Do doprowadzania sygnałów pomiarowych służą więc zewnętrzne terminale, w których sygnały są włączane do listew zaciskowych lub złącz BNC.



Rys. 2. Zestaw pomiarowy firmy National Instruments

Fig. 2. National Instruments measurement set

Dostawcy tego typu sprzętu na ogół nie sprzedają finalnego oprogramowania, pozwalającego na wykonywanie pomiarów. Dostarczają natomiast sterowniki do poszczególnych składników systemu, które zaawansowanemu programiście pozwalają opracować program sterujący pomiarami zgodnie z oczekiwaniami i życzeniem klienta. Nie jest to też sprzęt z założenia mobilny. Poza wymienionymi wcześniej elementami składa się on jeszcze z pewnej liczby kabli połączeniowych i monitora ekranowego. Zestawianie go w miejscu doraźnych pomiarów przemysłowych byłoby kłopotliwe. Dlatego dużą korzyść dla planowanych pomiarów przynieść może zintegrowanie elementów systemu w jednej, przenośnej obudowie (rys. 3).

Rys. 3. Urządzenie pomiarowe National Instruments zintegrowane w skrzyni przenośnej

Fig. 3. National Instruments measurement set integrated in portable box



Elementy tego typu rozwiązań proponują zarówno producenci sprzętu pomiarowego, jak i producenci profesjonalnej aparatury nagłaśniającej.

Przyrządy z oferty producentów podzielić można również na mobilne i przeznaczone do wbudowania.

Jedną z istotnych funkcji przyrządu jest wyzwalanie pomiaru. Często zadaniem pomiaru jest ustalenie przyczyny wadliwego funkcjonowania urządzeń w pewnych, rzadko występujących, zakłóconych warunkach zasilania. Dlatego przyrząd powinien dawać możliwość zdefiniowania, jakie odstępstwo od standardowego zasilania ma wyzwoić pomiar (*trigger*). Tryb wyzwalania powinien umożliwiać tzw. *pre-triggering*, czyli rejestrację przebiegów, w zadanym przedziale czasu, wyprzedzających zaburzenie wyzwalające pomiar. Przy zakupie przyrządu warto sprawdzić, czy możliwe jest ustawienie wyzwalania pomiaru możliwie szerokim zestawem zdarzeń w kanałach napięciowych i prądowych. Warto mieć także możliwość wyzwolenia pomiaru z kanału rejestrującego prędkość.

Sygnaly pomiarowe w sieciach elektroenergetycznych i napędach elektrycznych

Większość zainstalowanych obecnie w obiektach przemysłowych i energetyki napędów elektrycznych zasilana jest z sieci niskiego napięcia (poniżej 1 kV). Grupa napędów dużych mocy (1 MW i więcej) współpracuje z sieciami średniego napięcia. Na ogół zadanie pomiarowe zakłada pomiar trzech napięć i trzech prądów. W układach napędowych z przekształtnikami napięć liczba niezbędnych kanałów pomiarowych ulega podwojeniu. Wynika stąd minimalna liczba kanałów pomiarowych przyrządu: 6 prądowych i 6 napięciowych. Dodatkowo zachodzi potrzeba pomiaru prędkości obrotowej napędu.

Bezpośredni pomiar momentu z reguły nie jest możliwy. Wartości średnie i chwilowe momentu elektromagnetycznego, wytwarzanego przez maszyny indukcyjne, w najbardziej technicznie zaawansowanych rozwiązaniach sprzętowych wyznaczane są na bazie zarejestrowanych wartości chwilowych prądów i napięć. Dokładność takiego pomiaru szacowana jest na około 3 %, jest więc niewiele gorsza od dokładności kosztownych urządzeń mierzących tę wielkość [3].

Przyrządy przeznaczone do bezpośredniego użycia w sieciach elektroenergetycznych mają często izolowane wzajemnie kanały pomiarowe. Dopuszczalne napięcia między kanałami w najlepszych rozwiązaniach osiągają wartości 5 kV. Pomiar napięcia w obwodach niskiego napięcia nie przedstawia więc większych problemów. Możliwe jest włączenie sond napięciowych w dowolne miejsce obwodów niskiego napięcia. Niemożliwe jest natomiast podłączenie sond pomiarowych bezpośrednio do linii zasilania średniego napięcia (w układach napędowych najczęściej nie więcej niż 6 kV). W tym przypadku sondy pomiarowe można włączyć w obwodach wyjściowych przekładników napięcia, o ile są zainstalowane w układzie, lub wykorzystać specjalistyczne układy kondycjonowania sygnałów pomiarowych.

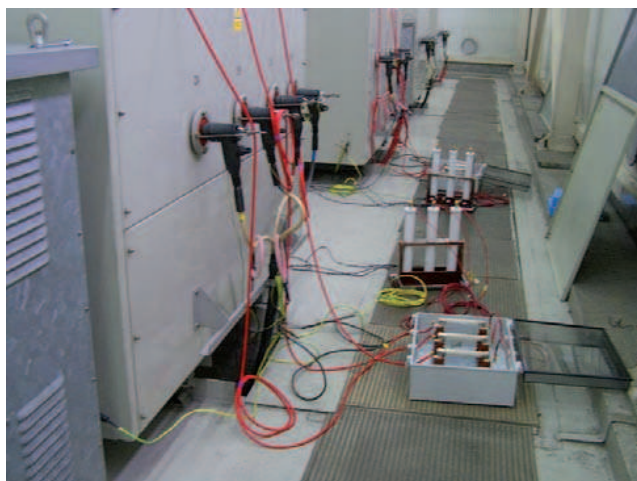
Kanały pomiarowe systemów z kartami przetworników analogowo-cyfrowych mają zwykle maksymalne zakresy napięciowe ± 10 V i masę wspólną z jednostką sterującą. Taka konfi-

guracja wejść ogranicza możliwość ich włączania do sieci tylko do układów, które można odnieść do masy układu pomiarowego. Dla izolowanych trójfazowych układów SN zostały zaprojektowane w Politechnice Opolskiej i zbudowane w firmie Energotest-Diagnostyka w Brzeziu koło Opola dzielniki rezystancyjne (rys. 3), pozwalające obniżyć wartości mierzonych napięć do poziomu akceptowanego przez wejścia karty pomiarowej. Do budowy dzielników użyto wysokiej klasy bezindukcyjnych rezystorów, zamontowanych w izolacyjnych kolumnach teflonowych, wypełnionych olejem izolacyjnym. Do połączeń z układem SN używa się atestowanych przewodów wysokonapięciowych, które wytwórca dzielników przetestował napięciem 50 kV na stanowisku probierczym. Ponieważ w warunkach doraźnego pomiaru nie można wykluczyć przebieg z układu o bardzo dużych mocach zwarcia pomiędzy przewodami lub do ziemi, dla bezpieczeństwa osób i urządzeń zbudowano dwa trójfazowe zestawy bezpieczników średniego napięcia, zmontowanych w izolacyjnych skrzynkach (rys. 4).



Rys. 4. Skrzynka bezpieczników średniego napięcia dla napięciowych sygnałów pomiarowych

Fig. 4. Medium voltage fuse box for voltage measurement signals



Rys. 5. Dzielniki napięcia z zabezpieczeniami zwarciovymi połączone do układu napędowego 6 kV

Fig. 5. Voltage dividers with fuse-boxes connected to 6 kV drive system

Dwa zestawy dzielników z zabezpieczeniami, włączone na wejściu i wyjściu przekształtnika średniego napięcia przedstawiono na rys. 5.

Bardziej kłopotliwy jest dokładny pomiar prądu w obwodach elektroenergetycznych. Zwykle nie ma

możliwości ich rozpinania w celu wprowadzenia szeregowych czujników (boczników) pomiarowych. Rozwiązaniem łatwym do zastosowania jest wykorzystanie wyjść przekładników prądowych, o ile są dostępne w badanym urządzeniu. Jednak, zarówno przekładniki prądowe, jak i napięciowe mają ograniczone pasmo przenoszonej częstotliwości oraz rzadko klasę lepszą niż 0,5. Używając ich wyjść pomiarowych skazujemy się już na wstępie na błędy pomiaru związane z tą ich niedoskonałością. Przy braku możliwości pomiaru bezpośredniego i świadomości błędów wprowadzanych przez istniejące w układzie przekładniki, należy szukać innych sposobów uzyskiwania sygnałów pomiaru prądu. Rozróżnić należy przy tym obwody o symetrycznych przebiegach przemiennych i obwody zawierające składnik stałoprądowy.



Rys. 6. Cewka Rogowskiego z integratorem do pomiarów prądu w obwodach do 10 kV

Fig. 6. Rogowski Coil with integrator for current measurement in MV systems up to 10 kV

Dla tych pierwszych znakomitym rozwiązaniem są tzw. cewki Rogowskiego [4] (rys. 6). Do zalet tych czujników prądu zaliczyć można szerokie pasmo przenoszenia częstotliwości, niewielki wymiar geometryczny i łatwość obsługi. Do wad – ograniczenie działania do symetrycznych prądów przemiennych, dokładność – co prawda dość wysoka (np. 0,2 % przy centralnym położeniu przewodu z prądem) – ale zależna od sposobu opasania przewodu przez czujnik. Dla prądów odkształconych zawierających składnik stałoprądowy stosować można hallotronowe czujniki prądu [5]. W podstawowym wykonaniu mają one zamknięty obwód magnetyczny, przez co nie ma możliwości nałożenia ich na przewód z prądem bez jego rozłączenia. Pewne rozwiązania pozwalają na otwarcie obwodu magnetycznego i ponowne złożenie go wokół przewodu z prądem. Przykładem tego jest czujnik przedstawiony na rys. 7.



Rys. 7. Przetwornik pomiarowy prądu LEM z możliwością rozmontowania obwodu magnetycznego

Fig. 7. Current transducer LEM with magnetic circuit split ability

Ze względu na jego gabaryty nie zawsze możliwe jest jego zainstalowanie w ciasno upakowanych obwodach DC przemienników częstotliwości. W każdym przypadku zastosowania bezstykowych czujników prądu należy zwracać uwagę na wartość napięć roboczych ich izolacji oraz na trasy prowadzonych przewodów połączeniowych.

Badanie układów napędowych wiąże się z pomiarem ich prędkości obrotowej. Dość często sygnałem informującym o chwilowej wartości prędkości są sygnały prostokątne z enkodera. Sygnały te mają charakter prądowy lub napięciowy o różnych możliwych poziomach. Czujniki te, sprzęgnięte z silnikiem napędu, bywają bardzo oddalone od miejsca wykonywania pomiaru. W związku z tym z zaprojektowano w Instytucie UEiEP, a wykonano w firmie Optel w Opolu, uniwersalny układ przetwarzający dowolny rodzaj sygnałów prostokątnych prądowych lub napięciowych na standardowy sygnał prostokątny TTL. Układ ten nie obciąża źródła sygnału prostokątnego, separuje źródło od masy przyrządu pomiarowego i umożliwia transmisję sygnału bez opóźnień i zniekształceń na odległość do 10 m. Graniczna częstotliwość przenoszona przez układ to 300 kHz, co zapewnia z nadmiarem poprawne przesyłanie i rejestrację sygnałów z enkoderów o rozdzielczości 4000 imp/obrót i prędkości napędu 3000 obr/min. (rys. 8).



Rys. 8. Układ kondycjonowania dowolnych sygnałów enkodera

Fig. 8. Signal conditioning system for any type of encoder

W niektórych przypadkach w zestawie rejestrowanych sygnałów pomiarowych niezbędny jest sygnał z automatyki napędu. Sygnały te mają zwykle poziom 0(4)–20 mA, od 0 do ± 10 V lub 0–10 V. Galwaniczne połączenie ich z masą przyrządu pomiarowego może spowodować błędne działanie badanego układu, stąd konieczne staje się zastosowanie układów separujących. Autor zastosował wzmacniacz separujący Phoenix Contact typu MACX MCR-UI-UI-UP, który można skonfigurować za pomocą zestawu przełączników na dowolny rodzaj sygnału automatyki na wejściu i wyjściu [6].

Opisany zestaw urządzeń pomiarowych, wyposażony w profesjonalne oprogramowanie opracowane w firmie CIT Engineering Polska, zdał wielokrotnie egzamin w trudnych warunkach przemysłowych, w bezpośredniej bliskości silnie zakłócających urządzeń takich, jak przetwornice częstotliwości. W Instytucie UEiEP Politechniki Opolskiej działa zespół, który

prowadząc od kilkunastu lat prace pomiarowe w warunkach przemysłowych nabył już w tej dziedzinie spore doświadczenie.

Bibliografia

1. www.tequipment.net/pdf/LEM/Norma4000_datasheet.pdf
2. sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/202664
3. Norma D600, Wide Band Power Analyser System, Option 61T1, Digital Torque Measurement. Operating Instruction
4. homepage.ntlworld.com/rocoil/principle.htm, <http://www.powertekuk.com/cwtmini.htm>
5. www.lem.com/hq/en/component/option,com_catalog/task,displaymodel/id,70.00.69.001.0/
6. eshop.phoenixcontact.com/phoenix/logon.o?user=anonym&general=en

Hardware for medium and low voltage electrical drives measurements

Measurements in electrical drives, especially with electronic systems of power conversion, require still to perfect measurement equipment's state of the art. Some of the industrial active drives are powered from medium voltage network, and also supplies medium voltage engines. For the sake of measurement's safety the measured signals are taken from outputs of voltage and current transformers installed in the system. These facilities are calibrated to network frequency (50 Hz), in different extents suppressing the upper harmonics of the measurement signals, their frequency characteristics are mostly unknown, so the accuracy of measurement results is uncertain. Important measurement signal in electrical drive is its rotational speed. In industrial reality access to this signal is difficult or even impossible. During last ten years in Faculty of Electrical Engineering, Automatic Control and Computer Science in Opole University of Technology a lot of measurement experience was collected as well as a few hardware sets had been build to measure an electrical and mechanical values in drive systems. In the article original solutions of signal conditioning for voltage measurement in medium voltage network were described as well as for different types of rotational speed signals.

Keywords: measurement experience, electrical drive, signal conditioning, rotational speed measurement

dr inż. Józef Moch

Długoletni pracownik Politechniki Opolskiej. Specjalizuje się w energoelektronice, pomiarach i napędzie elektrycznym.

e-mail: j.moch@po.opole.pl

