

Możliwości pomiaru sprawności układów przekształtnikowych

Possibilities of measuring the energy efficiency of converter systems

Efektywne wykorzystanie energii i minimalizowanie strat generowanych w urządzeniach pobierających energię elektryczną to zagadnienia, na które kładzie się ogromny nacisk w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat. Jednak, aby można było straty zmniejszać w jak największym stopniu, potrzebna jest analiza urządzeń pod kątem elementów, które w jak największym stopniu owe straty w danej maszynie generują. Dopiero po identyfikacji rodzaju strat i miejsca ich występowania można poczynić działania prowadzące do zwiększenia efektywności energetycznej danego urządzenia.

Silniki elektryczne są najczęściej wykorzystywanym typem maszyn elektrycznych, w niezliczonej gamie rozwiązań konstrukcyjnych i różnorodności zastosowań. Korzyści płynące z zastosowania napędu elektrycznego można zaobserwować w bardzo wielu dziedzinach. Do najważniejszych z nich należą:

- przemysł – każdy zakład przemysłowy, mniej lub bardziej zautomatyzowany, wyposażony jest w silniki elektryczne stosowane na przykład w walcowniach, suwnicach, pompach, sprężarkach, obrabiarkach, wentylatorach, aż po ogromne maszyny stosowane w górnictwie;
- komunikacja i transport – począwszy od napędu lokomotyw elektrycznych i pojazdów komunikacji miejskiej, aż po wózki akumulatorowe, rozruszniki i alternatory;
- rolnictwo – wszelkiego rodzaju maszyny rolnicze, takie jak siewczarnie, młocarnie, mieszalniki, dojarki elektryczne, podajniki i dmuchawy;
- gospodarstwo domowe – artykuły RTV i AGD, od stosunkowo większych silników w pralkach i odkurzacach, aż do mniejszych w golarkach i trymerach.

Rozwój materiałów półprzewodnikowych (tranzystory, tyrystory, diody), spowodował popularyzację układów pośredniczących, otwierając nowe możliwości adaptacji układów napędowych w dowolnej dziedzinie naszego życia. Obecnie ogólnodostępne i odpowiednio dobrane przemienniki częstotliwości i softstarty potrafią sterować każdym napędem, w sposób umożliwiający bardzo efektywne wykorzystanie jego walorów.

Układ energoelektroniczny (nazywany układem przekształtnikowym) jest elementem pośredniczącym pomiędzy źródłem a odbiornikiem energii elektrycznej. Energia elektryczna pobierana z zewnętrznego źródła zasilającego ma ściśle określone parametry (prąd, napięcie, amplitudę, częstotliwość). Energia elektryczna na wyjściu, po przetworzeniu w układzie pośredniczącym, regulowana jest według potrzeb i wymagań użytkownika, a dokładniej napędu, który ma zasilić. Stosowanie przekształtników energoelektronicznych skutkuje zmniejszeniem zużycia energii elektrycznej i rozszerzeniem możliwości regulacyjnych zasilanego urządzenia.

Pomimo iż w modelowaniu przekształtników energii oraz układów napędowych poczyniono ogromne postępy, ostateczna weryfikacja wyników odbywa się po pomiarze na obiekcie rzeczywistym. Prężnie rozwijająca się technika pomiarowa, pozwalająca na ocenę sprawności układów napędowych umożliwia także weryfikację układu i algorytmów sterowania, a otrzymane podczas pomiarów wyniki, po fachowej interpretacji, umożliwiają ocenę badanego urządzenia w zależności od przyjętych kryteriów.

Silnie rozwijającą się grupą układów energoelektronicznych są przekształtniki wielopoziomowe ze względu na ich niezwykle korzystne właściwości. Najważniejsze spośród tych właściwości, to przetwarzanie energii przy niskich stratach mocy i poprawionych parametrach jakości energii. Zmniejszenie strat mocy wpływa bezpośrednio na gabaryty układu chłodzenia, zaś poprawa jakości przetwarzanej energii może przyczynić się do zmniejszenia gabarytów elementów reaktancyjnych przekształtnika lub filtrów stosowanych w otoczeniu przekształtnika. Te korzystne właściwości sprawiają, że możliwe staje się budowanie urządzeń wykorzystujących przekształtniki wielopoziomowe o mniejszych gabarytach, a to z kolei redukuje koszty urządzenia oraz poprawia jego właściwości eksploatacyjne.

Efektywność energetyczna

W każdej maszynie elektrycznej w czasie pracy pewien odsetek energii jest tracony, przez co część mocy oddawana jest w postaci ciepła i jej elementy się nagrzewają. Straty te mają

¹⁾ e-mail: d.cebula@doktorant.po.edu.pl

różne źródła i przyczyny powstania. Łączy je jednak to, że obniżają one efektywność energetyczną danego urządzenia. W celu określenia efektywności urządzenia lub maszyny konieczne jest obliczenie sprawności.

„Ocenę sprawności układów napędowych w zakresie ich sprawności energetycznej umożliwia symulacja, przy założeniu znajomości algorytmów sterowania i prawidłowego przyjęcia modeli przyrządów półprzewodnikowych oraz maszyn elektrycznych. W większości przypadków brakuje jednak istotnych informacji niezbędnych do identyfikacji parametrów elementów układu napędowego” [1]. W celu uzyskania informacji potrzebnych do modelu układu napędowego niezbędna jest znajomość parametrów elektromechanicznych charakterystycznych dla badanego obiektu. Jeśli te wielkości nie są znane z wcześniejszych badań, w zasadzie jedynym sposobem ich uzyskania jest wykonanie pomiaru wybranych charakterystycznych stanów pracy takiego obiektu. W warunkach przemysłowych nie zawsze jest to możliwe w takim zakresie, jaki oczekiwaliby zespół pomiarowy. Dlatego wykonanie pomiaru wielkości elektrycznych i mechanicznych na czynnym układzie napędowym jest poważnym i skomplikowanym przedsięwzięciem, wymagającym dobrego przygotowania zespołu przeprowadzającego pomiar, przetestowania i przygotowania sprzętu oraz przyrządów pomiarowych, a także skoordynowania działań zespołu dokonującego pomiar z pracą służb utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie właściciela badanego urządzenia.

Wraz z wykonywaniem pomiarów trzeba wziąć pod uwagę bardzo wiele czynników. Przede wszystkim otoczenie, w jakim znajduje się układ pomiarowy, a które może w znaczny sposób oddziaływać na badany układ i przekłamywać wyniki pomiarów. Stąd też pojawia się pytanie o wiarygodność i skalę błędu pomiaru parametru, jakim jest sprawność.

Zgodnie z definicją sprawność energetyczna układu, oznaczana małą grecką literą eta (η) i mierzona metodą pośrednią, jest to iloraz mocy dostarczanej przez badany układ do obciążenia przez moc pobieraną przez ten układ ze źródła zasilania, czyli w większości przypadków z sieci zasilającej. W zależności od badanego układu wzór na sprawność jest lekko modyfikowany i rozszerzany o dodatkowe wielkości wpływające na sprawność. Ogólnie jednak wyrażona jest ona wzorem:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (1)$$

gdzie:

P_1 – moc pobierana z sieci,

P_2 – moc użyteczna obciążenia.

Wyznaczenie sprawności energetycznej wymaga pomiaru wejściowych oraz wyjściowych napięć i prądów analizowanego układu. Wielkości charakteryzujące się wysoką wartością składowej stałej i niskimi wartościami składowej zmiennej nie nastroczają większych problemów przy pomiarze. Jednak w praktycznie każdym układzie energoelektronicznym, co najmniej jedna z mierzonych wielkości ma przebieg sinusoidalny lub impulsowy o składowej zmiennej, znacznie większej od składowej stałej. Komplikuje to znacznie weryfikację wyniku pomiaru, ponieważ zachodzi potrzeba wyznaczenia wartości skutecznych sygnałów przemiennych o różnych częstotliwościach i kształcie.

Wyznaczenie wartości trudno mierzalnych

Układy napędowe z przemiennikami częstotliwości stanowiące przedmiot pomiarów bardzo często są częścią procesu produkcyjnego. Nastrocza to wiele problemów z instalacją układu pomiarowego i generuje szereg ograniczeń, które dość często okazują się bardzo trudne do wyeliminowania. Dodatkowo bardzo często ograniczenia te powodują, że pomiary nie mogą być wykonane z zadowalającą dokładnością, co powoduje błędy pomiarowe i mniej satysfakcjonujące rezultaty. Zwłaszcza gdy walczymy o optymalizację danego układu i nawet drobna poprawa sprawności niesie za sobą wymierne korzyści w postaci chociażby sporych oszczędności, czy wydłużenia żywotności danego urządzenia. Jak się jednak okazuje, na rzeczywistym obiekcie, instalacja czujników nie jest prosta i elementy układu są poza naszym zasięgiem. W miejscu, gdzie nie mamy możliwości zainstalowania elementów układu pomiarowego ze względu na ograniczenia konstrukcyjne, technologiczne i eksploatacyjne, z pomocą przychodzi symulacja.

Największą trudność napotykaemy zazwyczaj podczas prób pomiaru prędkości obrotowej i momentu na wale układu napędowego. Dzieje się tak ze względu na stosowanie zamkniętych układów regulacji, gdzie wartość prędkości obrotowej podawana jest jedynie informacyjnie i orientacyjnie, a często także przeliczana proporcjonalnie z innych wielkości fizycznych, silnie zależnych od układu sterowania. Przy pomiarach wymagających precyzyjnych wyników nie niesie ona użytecznej informacji, a jedynie informuje, jakiego rzędu wielkości możemy się spodziewać i w jakich granicach oscylujemy. Adekwatnie wygląda sytuacja w przypadku pomiaru momentu obciążenia na wale silnika. Wielkości te możemy z zadowalającą dokładnością obliczyć na drodze symulacji. W pierwszej kolejności musimy jednak dokonać identyfikacji parametrów badanego silnika, aby dalej móc go zamodelować. Wybór metody estymacji parametrów silnika zależy ściśle od badanego napędu, czasu przeprowadzanego pomiaru i identyfikacji oraz stanu układu napędowego podczas prowadzenia pomiarów (z wirującym lub nieruchomym wirnikiem).

Precyzyjne wyznaczenie sprawności w układach napędowych z przemiennikami częstotliwości dla użytkowanego obiektu rzeczywistego jest w praktyce właściwie niewykonalne, ze względu na brak możliwości zainstalowania czujników o dużej dokładności pomiaru prądu. Tutaj z pomocą przychodzi symulacja, dzięki której możemy obliczyć wartości sprawności poszczególnych elementów układu przekształtnika i wykorzystać je w doborze układu sterującego, którego zadaniem jest spełnienie wymagań i dostosowanie napędu do funkcji, jaką ma pełnić oraz warunków pracy.

Urządzenia pomiarowe

Wartość skuteczna nie jest wielkością zależną od częstotliwości. Jednak elektroniczne urządzenia pomiarowe posiadają ograniczone pasmo przenoszenia, co prowadzi do zmian wyświetlanych wartości pomiarowych wraz ze zmianą częstotliwości. W przypadku pomiarów dokonywanych na urządzeniach przystosowanych do sygnałów sinusoidalnych o częstotliwości rzędu 50-60 Hz nie ma to większego znaczenia. Problem pojawia się w przypadku wykonywania pomiarów przy przebiegach odkształconych o znacznie większej częstotliwości. Jest to źródłem

dodatkowego błędu pomiarowego, co ma ogromne znaczenie dla wyników pomiaru wykonywanego przez użytkownika. Należy więc zwrócić szczególną uwagę na zastosowanie odpowiedniej metody pomiarowej, a co za tym idzie także urządzenia pomiarowego.

W niezliczonej gamie dostępnych na rynku urządzeń pomiarowych nie każde nadaje się do wykonania specyficznych pomiarów. Dobór urządzenia, a w zasadzie jego dokładności wyników pomiarów nie jest rzeczą łatwą. Należy przeanalizować wiele czynników i cech, jakie powinien posiadać układ pomiarowy. Bezdyskusyjnie priorytetem jest i zawsze będzie bezpieczeństwo obsługi. Innymi również bardzo ważnymi oczekiwaniami, które powinien spełniać pożądaną przyrząd pomiarowy, są: wysoka klasa pomiaru (możliwie najmniejszy błąd pomiaru), rejestrowanie i przechowywanie danych w pamięci udostępnianej do dalszej analizy i obróbki danych, odpowiednia liczba kanałów i szeroki zakres pomiaru, możliwość rozpoczęcia pomiaru w momencie wystąpienia zaprogramowanego zdarzenia, a także niezawodna komunikacja z innymi wymaganymi urządzeniami, odporność na czynniki zewnętrzne (zakłócenia) oraz separacja galwaniczna obwodów pomiarowych, wysoka częstotliwość próbkowania i stosunkowo długi czas pomiaru, a co za tym idzie także nośnik pamięci o dużej pojemności.

Mierniki o dużej dokładności z reguły zbudowane są z wielu mniejszych elementów, przez co ich transport i montaż na obiekcie rzeczywistym może okazać się kłopotliwy. Stąd też kolejną ważną cechą urządzenia pomiarowego jest modułowość. Przy wyborze urządzenia trzeba sobie odpowiedzieć na pytanie do czego ma ono służyć. Wówczas mamy dwie możliwości wyboru: selekcja spośród urządzeń przeznaczonych do konkretnych zastosowań lub konfigurowanie własnego urządzenia z modułów dostępnych u producenta sprzętu. Drugie rozwiązanie jest o tyle bardziej elastyczne, że można wykonać układ pomiarowy w dowolnej konfiguracji. W przypadku urządzeń przeznaczonych do konkretnych zastosowań z reguły nie jest możliwa ingerencja w budowę urządzenia bez utraty gwarancji.

Układy napędowe zawierające przekształtniki energoelektroniczne stanowią obiekty, których dokładny pomiar jest skomplikowany ze względu na obecność przebiegów odkształconych, co wymusza konieczność stosowania zaawansowanych technik pomiarowych i układów kondycjonowania sygnałów bez tłumienia harmonicznych.

Jednym z czołowych producentów przetworników do pomiaru prądów i napięć jest firma *LEM*, znana obecnie jako *FLUKE*. Przetworniki tej firmy charakteryzuje separacja galwaniczna obwodu pierwotnego od wtórnego. Urządzenia pomiarowe firmy *LEM* mierzą prądy w zakresie od pojedynczych mA do kilkudziesięciu kA, przy częstotliwościach od składowej stałej rzędu nawet kilkuset kHz. Napięciowy lub prądowy sygnał wyjściowy może być proporcjonalny zarówno do wartości chwilowej mierzonego prądu, jak również do wartości skutecznej. Na Politechnice Opolskiej znajduje się dwunastokanałowy przyrząd tej firmy – *NORMA D6200* (rys. 1).

Jest to przyrząd laboratoryjny, dlatego jego transport i wykorzystanie do pomiarów przemysłowych nastęrczają pewnych trudności, niemniej jednak jest to możliwe. Przyrząd jest w stanie mierzyć sygnały do częstotliwości 70 kHz w 12 kanałach. Szczegóły dotyczące analizy błędów i dokładności pomiaru tego dedykowanego do badań układów napędowych urządzenia można znaleźć w [5, 6].



Rys. 1. LEM NORMA D6200 [7]

Ze względu na gabaryty urządzenia *NORMA D6200*, jego instalacja na dłuższy czas w warunkach przemysłowych wydaje się przedsięwzięciem wręcz niemożliwym do zrealizowania, a zdarza się, że sytuacja wymaga, aby monitorować obiekt w celu weryfikacji poprawności działania urządzenia i otoczenia, w którym się znajduje. Miernikami, które można bez problemu wykorzystać do tego typu zadań jest seria analizatorów mocy *TOPAS* (rys. 2) [8].

Szczelna i odporna na udary obudowa oraz stosunkowo niewielkie gabaryty, w porównaniu z wcześniej opisywanym urządzeniem, umożliwiają pomiar i zapis wyników w pamięci przez czas uzależniony od czasu próbkowania na 8 konfigurowalnych kanałach (8 napięciowych lub 4 napięciowe i 4 prądowe). Znajdujące się w zestawie akcesoria (cegi prądowe, wtyki itd.) umożliwiają montaż nawet w nietypowych i trudno dostępnych instalacjach. Dedykowane oprogramowanie pozwala na analizę danych i eksport do pliku w celu obróbki wyników w dowolnym środowisku. W zależności od zastosowanych sensorów do pomiaru prądu błąd pomiaru waha się w granicach (0,5 - 1%).



Rys. 2. Analizator mocy TOPAS 1000

W dalszym ciągu są to jednak urządzenia dedykowane do wykonywania określonych zadań i posiadające ograniczenia, zarówno programowe jak i sprzętowe. Ze względu na chociażby zbyt niską częstotliwość próbkowania nie sprawdzą się one w układach napędowych z przekształtnikami energoelektronicznymi.

Wówczas należy sięgnąć po bardziej zaawansowaną aparaturę pomiarową, do której niewątpliwie należy modułowy system pomiarowy firmy *National Instruments* (rys. 3), znajdujący się na Politechnice Opolskiej, służący do pomiaru stanów dynamicznych w układach napędowych. Opis wykorzystanych modułów kart pomiarowych przedstawiono w [7]. Matryca dysków o pojemności 1 TB, zapisuje dane z 16 kanałów pomiarowych o częstotliwości próbkowania minimum 400 kS/s. Łączenie czujników pomiarowych z przetwornikami odbywa się za pomocą bloku BNC 2120, który umożliwia także podłączenie przewodów koncentrycznych.



Rys. 3. Zestaw pomiarowy firmy *National Instruments* [7]

Dopełnieniem zestawu są monitor, klawiatura i mysz, ułatwiające sterowanie urządzeniem. Ze względu na to, iż jest to jednak przyrząd laboratoryjny, na potrzeby transportu został on umieszczony w zwartej skrzyni, co znacząco ułatwia pomiary w terenie. Z uwagi na to, iż karty pomiarowe na każdym z kanałów mają wspólną masę, niezbędne jest sprowadzenie wszystkich sygnałów do potencjału przewodu neutralnego sieci, z której przyrząd jest zasilany.

Kolejną ważną rzeczą jest zakres pomiarowy opisywanego przyrządu, zawiera się on bowiem w przedziale od -10 do $+10$ V. Wymusza to zastosowanie dzielników napięciowych, dedykowanych dla danego zakresu napięć, i połączenie ich także ze współ-

ną masą miernika. Znajdujące się na Politechnice Opolskiej zestawy dzielników dla niskiego i średniego napięcia zostały wykonane z precyzyjnych rezystorów, o dokładności 0,1%.

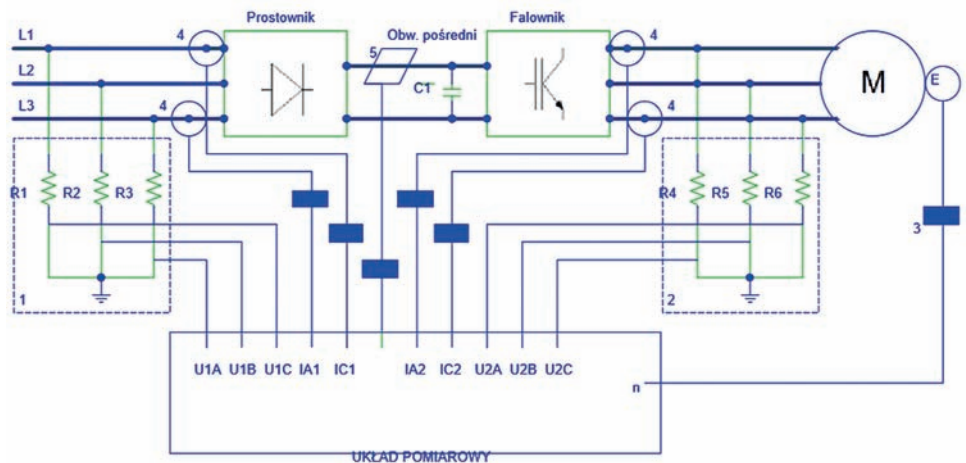
Mankamentem jest brak dedykowanego dla zestawu oprogramowania do wykonywania pomiarów. Program ten należy wykonać we własnym zakresie lub zlecić podmiotom realizującym tego typu zlecenia. Każdy z podzespołów ma dołączone sterowniki, dzięki którym wykonanie poprawnie i niezawodnie działającej aplikacji jest zdecydowanie ułatwione.

Zagadnieniem nastroczającym często problemów jest instalacja czujników do pomiaru prądu na obiekcie rzeczywistym. Rzadko kiedy mamy możliwość ingerencji w instalację, aby szeregowo włączyć w obwód urządzenie pomiarowe. Trzeba wówczas skorzystać z innych rozwiązań. Najłatwiejszym z nich jest wykorzystanie przekładników prądowych będących częścią pracującego urządzenia, jeżeli takie istnieją. Wówczas należy jednak pamiętać, że są one mało dokładne i mają ograniczone pasmo przenoszenia częstotliwości, co obarcza pomiary sporym błędem. W przypadku braku przekładników należy zastosować czujniki do pomiaru pośredniego. W obwodach o symetrycznych przebiegach przemiennych wokół przewodów lub szyn z prądem montuje się cewki Rogowskiego. Wysoka dokładność (0,2% dla centralnie ułożonego przewodu z prądem) i szerokie pasmo przenoszenia częstotliwości, przy precyzyjnym montażu powodują, że pomiar jest rzetelny i satysfakcjonujący oraz stanowi bogate źródło użytecznych informacji. Wadą tych czujników jest jednak brak możliwości zastosowania w przypadku przebiegów zawierających składową stałą ze względu na ich różniczkujące działanie. Wówczas stosuje się czujniki hallotronowe, a zwłaszcza te z nich, które pozwalają na otwarcie obwodu magnetycznego na czas montażu wokół przewodu z prądem.

Ważną wielkością, niosącą wiele cennych informacji o napędzie, jest moment elektromagnetyczny. Urządzenia do pomiaru tej wielkości są niestety z reguły drogie, co eliminuje je w większości przypadków z użyteczności. Wykorzystując odpowiednie wzory i zależności można jednak wartości średnie i chwilowe tej wielkości wyznaczyć z wartości chwilowych prądów i napięć. Błąd wartości momentu wyznaczonego tą metodą szacuje się na około 3%. Dokładność drogiej i skomplikowanych urządzeń do pomiaru momentu jest jednak porównywalna, dlatego taki sposób postępowania jest w pełni akceptowalny i poprawny.

Rys. 4. Schemat układu pomiarowego do badania układu napędowego z przekształtnikiem energoelektronicznym

- 1, 2 – 3-fazowe dzielniki napięcia,
- 3 – układ kondycjonowania impulsów enkodera,
- 4 – cewki Rogowskiego,
- 5 – przetwornik prądowy,
- E – enkoder



Przykładowy schemat układu pomiarowego do badania układu napędowego z przekształtnikiem energoelektronicznym przedstawiono na rysunku 4. Zaznaczono na nim punkty pomiarowe napięć i prądów oraz prędkości obrotowej. Pomiar odbywa się poprzez rejestrację przebiegów wartości chwilowych prądów i napięć na wejściu i wyjściu przemiennika częstotliwości oraz przebiegu prędkości kątowej silnika. Wykorzystując te pomiary można obliczyć sprawność przekształtnika energoelektronicznego, a na podstawie widm harmonicznych, także współczynnik zawartości wyższych harmonicznych THD w napięciach i prądach.

W przypadku napędów zasilanych bezpośrednio z sieci pomiar sprowadza się do rejestracji trzech napięć i trzech prądów. W przypadku układu napędowego z przemiennikiem częstotliwości liczba wykorzystywanych kanałów pomiarowych ulega podwojeniu lub wykorzystane są 4 czujniki prądowe, a pozostałe wielkości natężenia prądu zostają wyznaczone za pomocą operacji arytmetycznych. W obydwóch przypadkach dodajemy dodatkowo jeden kanał dla pomiaru prędkości obrotowej silnika. Możliwe jest także mierzenie dodatkowych wielkości, jak chociażby prądu obrotu DC, które pozwalają precyzyjniej kontrolować przekształtnik i lepiej zrozumieć zjawiska w nim zachodzące.

Wykonywanie pomiarów na obiektach przemysłowych w słabo znanym lub całkowicie nowym otoczeniu nie jest rzeczą trywialną. Należy wziąć pod uwagę szereg zależności, które mogą mieć wpływ na wyniki pomiarów, powodować przekłamanie wyników lub całkowicie je zakłócać. Niewątpliwie przydaje się w takich sytuacjach ogromne doświadczenie i wiedza oraz zmysł techniczny. Każdy obiekt jest inny i nie należy generalizować kilku przypadków lub uparcie szukać analogii poza drobnymi wyjątkami, kiedy mamy stuprocentową pewność popartą niezbitymi dowodami. Taka droga na skróty może spowodować, że pomiary, choć z pozoru mogą się wydawać poprawne i satysfakcjonujące, to w rzeczywistości będą bezużyteczne. Cią-

gle rozwijana technika pomiarowa wiele problemów rozwiązuje za nas, pod warunkiem odpowiedniej konfiguracji i przeznaczenia danego urządzenia.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Beniak R., Gardecki A., Moch J., *Problemy cyfrowych pomiarów elektrycznych w układach napędów średniego i niskiego napięcia*. „Pomiary Automatyka Robotyka” 2010, nr 12, s.102 -105.
- [2] Posobkiewicz K., Górecki K., *Problem pomiaru sprawności energetycznej układów energoelektronicznych*. „Przegląd Elektrotechniczny” 2012, nr 1b, s. 189 -192.
- [3] Banach H., *Badanie sprawności układu przemiennik częstotliwości – indukcyjny silnik klatkowy*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty problemowe” 2014, nr 3, s. 253 - 258.
- [4] Beniak R., Gardecki A., *Analiza wielowariantowa napędu przekształtnikowego umożliwiająca ocenę sprawności i oddziaływania na środowisko*. „Przegląd Elektrotechniczny” 2011, nr 2, s. 22-25.
- [5] Beniak R., Gardecki A., Moch J., *Praktyczne aspekty pomiarów mocy w układach przekształtnikowych*. Archiwum Konferencji PPEEm 2009, Wista 2009, s. 33-37.
- [6] D6000 Wide Band Power Analyser, Measuring Instruments. Operating Instructions. LEM NORMA GmbH. Edition 6E.
- [7] Beniak R., Gardecki A., Moch J., *Pomiary napędów elektrycznych w stanach dynamicznych z wykorzystaniem dedykowanych układów pomiarowych*. „Przegląd Elektrotechniczny” 2011, nr 2, s. 9-12.
- [8] Operating Instructions Power Quality Analyser TOPAS 1000 http://www.suparule.com/docs/Topas_1000_User_Manual.pdf
- [9] NI 6132/6133 Specifications, <http://www.ni.com/pdf/manuals/371231d.pdf>



World
Sustainable
Energy Days

2019

27 February - 1 March 2019, WELS / AUSTRIA

WWW.WSED.AT

00 Energiesparverband, Landstraße 45, A-4020 Linz,
T: +43-732-7720-14386, office@esv.or.at, www.esv.or.at
ZVR 171568947

