



Yokogawa PX8000

Oscyloskop do pomiarów mocy i obwodów zasilania, część 2

Yokogawa jest znana użytkownikom na całym świecie jako producent przyrządów pomiarowych o unikatowych cechach funkcjonalnych, precyzji i pięknym designie. W wielu przypadkach trudno byłoby zastąpić urządzenia Yokogawy innymi. W drugiej części artykułu opisano precyzyjny oscyloskop do pomiarów mocy PX8000.

Precision Power Scope, czyli oscyloskop do precyzyjnego pomiaru mocy elektrycznej? Brzmi to dość zaskakująco i enigmatycznie, oscyloskop postrzegany jest bowiem raczej jako uniwersalny przyrząd pomiarowy, nie zaś jako urządzenie dedykowane do pomiarów wąskiej grupy parametrów. Można sądzić, że pomiar mocy każdym oscyloskopem cyfrowym wyposażonym w sondy prądowe, nie powinien stanowić większego problemu. Tymczasem Yokogawa proponuje specjalny typ oscyloskopu, który właściwie nie nadaje się do pomiarów innych parametrów

niż moc elektryczna. Urządzenie opatrzone symbolem PX8000 nie jest jednak wyłącznie oscyloskopem, *de facto* mamy do czynienia ze skomplikowanym miernikiem mocy i jakości mocy, za pomocą którego można prowadzić kompleksową ocenę sieci energetycznych i systemów zasilania.

Nietypowa budowa

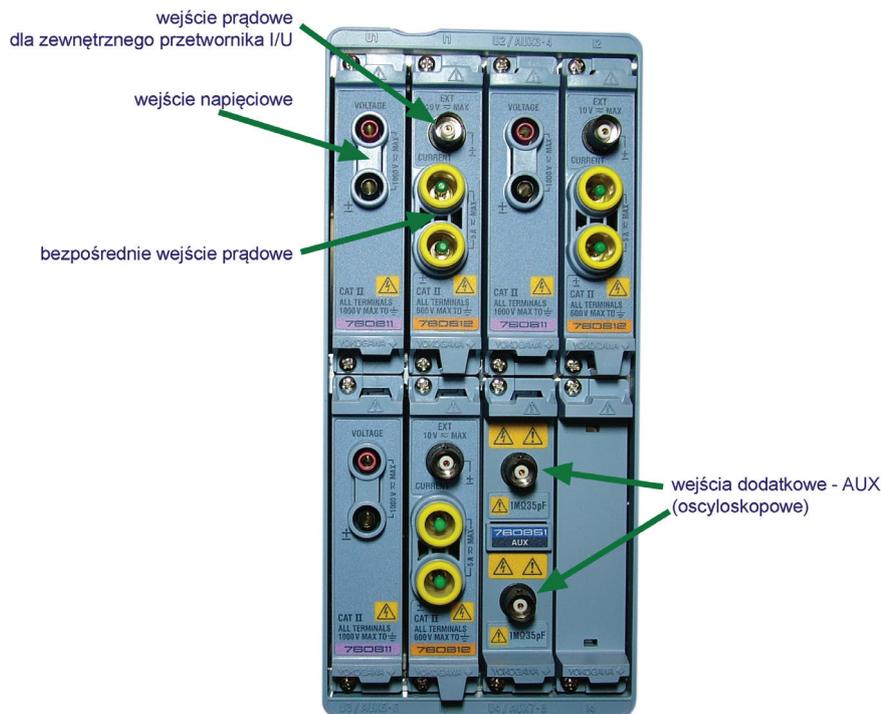
Moc jest iloczynem napięcia i prądu. Do jej wyznaczenia jest więc konieczny pomiar obu tych parametrów. W tym celu PX8000 wyposażono w 3 pary wkładek napięcio-

Dodatkowe informacje:

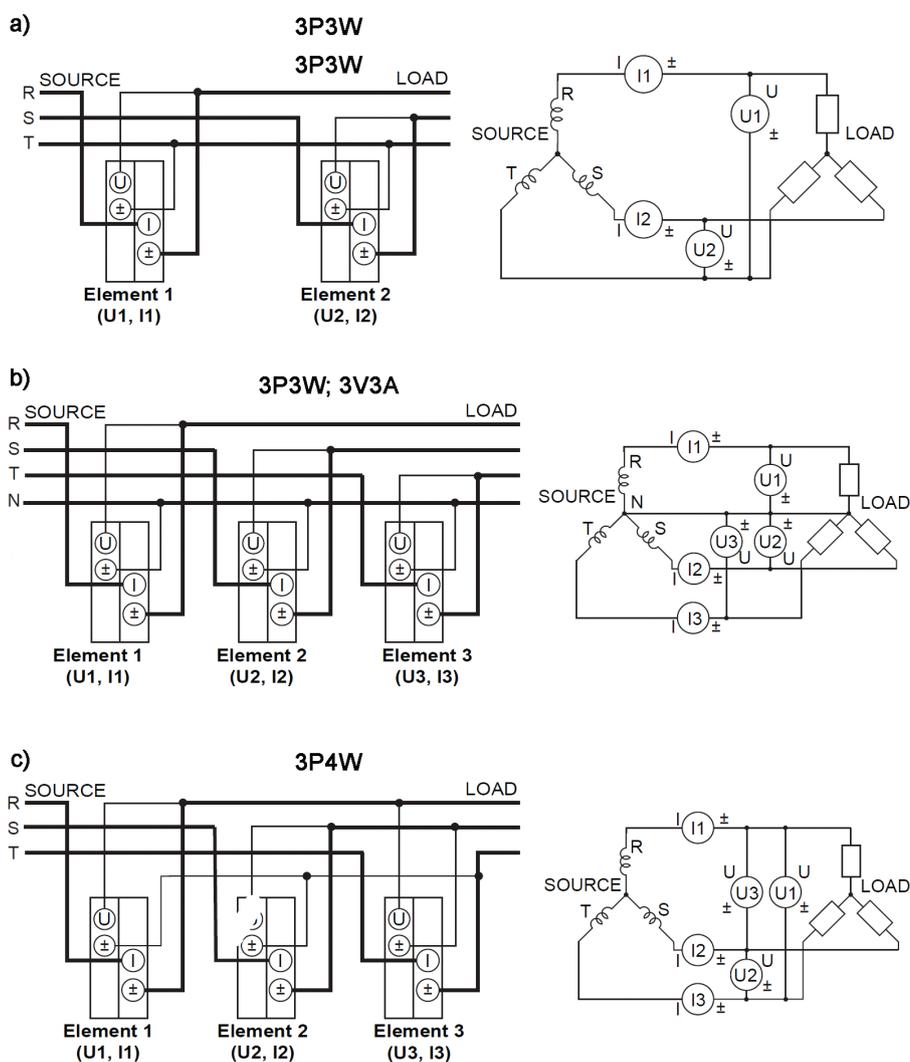
Redakcja Elektroniki Praktycznej dzięki firmie NDN z Warszawy, wyłącznemu dystrybutorowi i autoryzowanemu serwisowi firmy Yokogawa T&M w Polsce, za udostępnienie oscyloskopu PX8000 do testów.

wych i prądowych umożliwiającą badanie 3-fazowych instalacji elektrycznych (**fotografia 1**). Znalazło się też miejsce dla dwóch dodatkowych kanałów oscyloskopowych. Ostatecznie można powiedzieć, że mamy do czynienia z 8-kanałowym oscyloskopem o bardzo specyficznych parametrach i cechach użytkowych. Należy zwrócić uwagę na możliwość bezpośredniego dołączania wysokich napięć oraz mierzenia prądów o dużych natężeniach.

Pomiar prądów zawsze stanowi pewien niewygodny problem. Tradycyjna metoda polega na włączeniu amperomierza w obwód elektryczny szeregowo z obciążeniem. Wiąże się to z koniecznością przerywania połączeń, a to nie zawsze jest wygodne, a nawet możliwe. Alternatywną metodą jest stosowanie cęgów prądowych, które są zakładane na jeden z przewodów prądowych. W takim



Fotografia 1. Widok wkładek pomiarowych: a) kanał napięciowy, b) kanały prądowe, c) kanały dodatkowe



Rysunek 2. Przykładowe konfiguracje pomiarowe

przypadku obwód wprowadzie nie jest przerywany, ale przewody muszą być co najmniej rozszyte, tak aby możliwe było objęcie jednego z nich cęgami.

Wkładki prądowe oscyloskopu PX8000 mają zdublowane wejścia. Dolną parę gniazd można traktować jako zaciski pomiarowe amperomierza, do górnego wejścia (typu BNC) dołączana jest natomiast sonda prądowa z wyjściem napięciowym. Typowe współczynniki przetwarzania są równe 50 mA/V i 500 mA/V.

Dwa dodatkowe kanały pomiarowe (AUX) są wykorzystywane na przykład przy pomiarach silników elektrycznych. Oscyloskopem PX8000 można mierzyć prędkość obrotową, moment obrotowy i moc silnika.

Filozofia pomiarów

Przyrząd PX8000 zaskakuje użytkowników w każdym elemencie. Trudno przenieść na niego przyzwyczajenia z obsługi klasycznych oscyloskopów. Zastosowane w PX8000 rozwiązania związane są ze specyfiką pomiarów sieci 3-fazowych zarówno dla konfiguracji gwiazdy, jak i trójkąta (połączenia 3-lub 4-przewodowe). Przyjęta koncepcja nie jest zbyt czytelna. Aby ją zrozumieć, trzeba dość dokładnie przeanalizować instrukcję. Jednym z ważniejszych pojęć jest system połączeń (*Wiring System*), określający topologię połączenia przyrządu z badaną siecią. Możliwe są 4 przypadki:

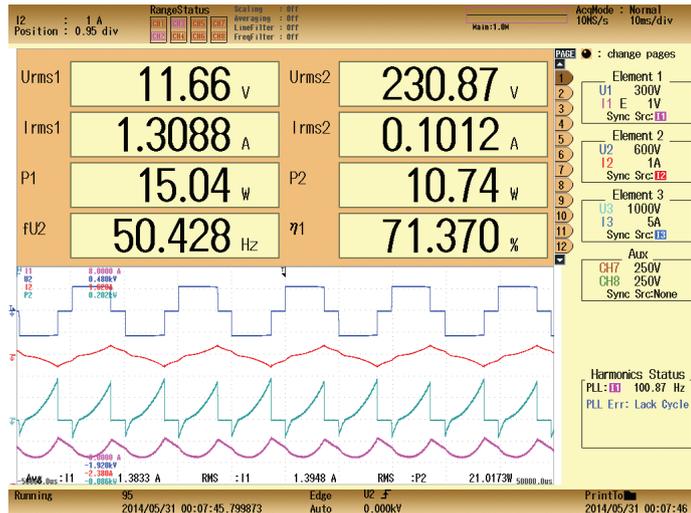
- 1P2W – jedna faza, połączenia dwoma przewodami,
- 1P3W – jedna faza, połączenie trzema przewodami,
- 3P3W – trzy fazy, połączenie trzema przewodami,
- 3P4W – trzy fazy, połączenie czterema przewodami,
- 3P3W (3V3A) – metoda trzech napięć i trzech prądów.

W ramach systemu połączeń wyróżnia się jednostki połączeniowe (*Wiring Units*) składające się z dwóch lub trzech pogrupowanych ze sobą tzw. elementów. Można zdefiniować dwie takie jednostki: ΣA i ΣB . Elementy są definiowane przez pomiarowy kanał napięciowy, kanał prądowy, wirtualny kanał obliczający moc, filtr liniowy i filtr częstotliwościowy (oba filtry są przypisane do kanału napięciowego, prądowego i mocowego danego elementu). Filtr liniowy eliminuje wysokoczęstotliwościowe zakłócenia. Jego częstotliwości graniczne są równe: 500 Hz, 2 kHz, 20 kHz i 1 MHz. Filtr częstotliwościowy jest natomiast dołączany do bloku pomiaru częstotliwości badanego napięcia (prądu). Jego parametry graniczne są równe: 100 Hz, 500 Hz, 2 kHz lub 20 kHz. Oba filtry mogą być też wyłączone. Możliwe jest ponadto utworzenie 4 elementu, do którego są przypisane np. dodatkowe kanały pomiarowe AUX (CH7 i CH8). Taka konfiguracja może być wykorzystywana do pomiarów parametrów

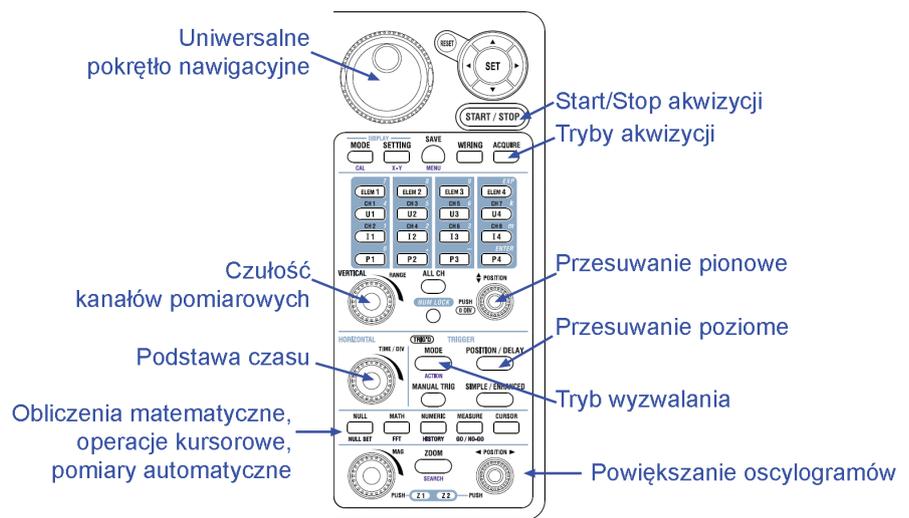
silników elektrycznych. Przykładowe połączenia dla sieci 3-fazowych przedstawiono na rysunku 2.

Przyjęta w oscyloskopie PX8000 koncepcja konfiguracji toru pomiarowego pozwala na wyznaczanie złożonych parametrów, które są w szerokim zakresie definiowane przez użytkownika. Jednym z ważniejszych jest obliczanie wydajności (sprawności) badanej sieci. Obliczenia tych parametrów są oparte na tzw. η formułach. Możliwe jest zdefiniowanie 4 takich formuł. Argumentami obliczeń mogą być moce wyznaczone w każdym z 4 elementów, suma mocy z każdej jednostki połączeniowej ($P_{\Sigma A}$ i $P_{\Sigma B}$, moc P_m z modułów wykorzystujących kanały dodatkowe AUX, a także argumenty definiowane przez użytkownika. Przykładem zastosowania η formuł jest obliczanie sprawności falowników (inwerterów). W tym przypadku moc dostarczana (wejściowa) jest obliczana w elemencie 1 w jednofazowym obwodzie dwuprzewodowym, a moc pobierana (wyjściowa) jest obliczana w elemencie 2, który jest również utworzony z obwodu jednofazowego, dwuprzewodowego. Odpowiednia η formuła oblicza sprawność jako: $\eta = P2/P1 \times 100\%$. Na podobnej zasadzie mogą być tworzone dużo bardziej złożone wyrażenia matematyczne. Przykładowe wyniki pomiarów z zastosowaniem η formuł przedstawiono na rysunku 3. Badano tu turystyczną przetwornicę napięcia stałego 12 V na napięcie zmienne 230 V o nominalnej mocy wyjściowej 200 W. Przetwornice obciążono świetłówką o mocy 10 W. W polu $\eta 1$ umieszczono formułę zdefiniowaną według wcześniejszego opisu. Moc $P1$ mierzono elementem 1 po stronie DC, natomiast moc $P2$ mierzono elementem 2 po stronie AC. Jak widać, w takich warunkach przetwornica osiąga sprawność ok. 71%. Niestety obserwujemy również jak dalece napięcie wyjściowe odbiega od sinusoidy.

W oscyloskopie PX8000 zaimplementowano ponadto funkcje wspomagające wyznaczanie parametrów międzyfazowych. Są to tzw. Obliczenia Delta (Delta Computation, Δ Measure) umożliwiające wykonanie obliczeń takich parametrów, jak: napięcia i prą-



Rysunek 3. Pomiar z zastosowaniem η formuł obliczający sprawność przetwornicy DC/AC



Rysunek 4. Elementy regulacyjne oscyloskopu PX8000

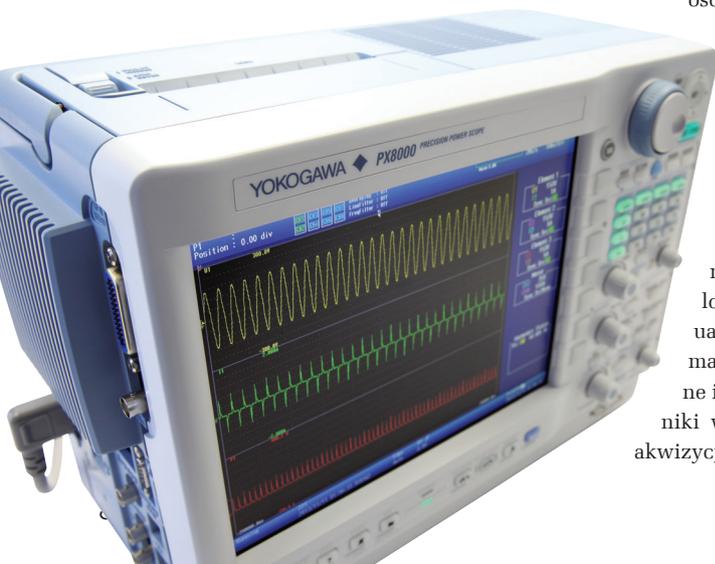
dy różnicowe, napięcie liniowe i prąd fazy (3P3W > 3V3A), dokonywane są także przekształcenia gwiazda -> trójkąt i trójkąt -> gwiazda.

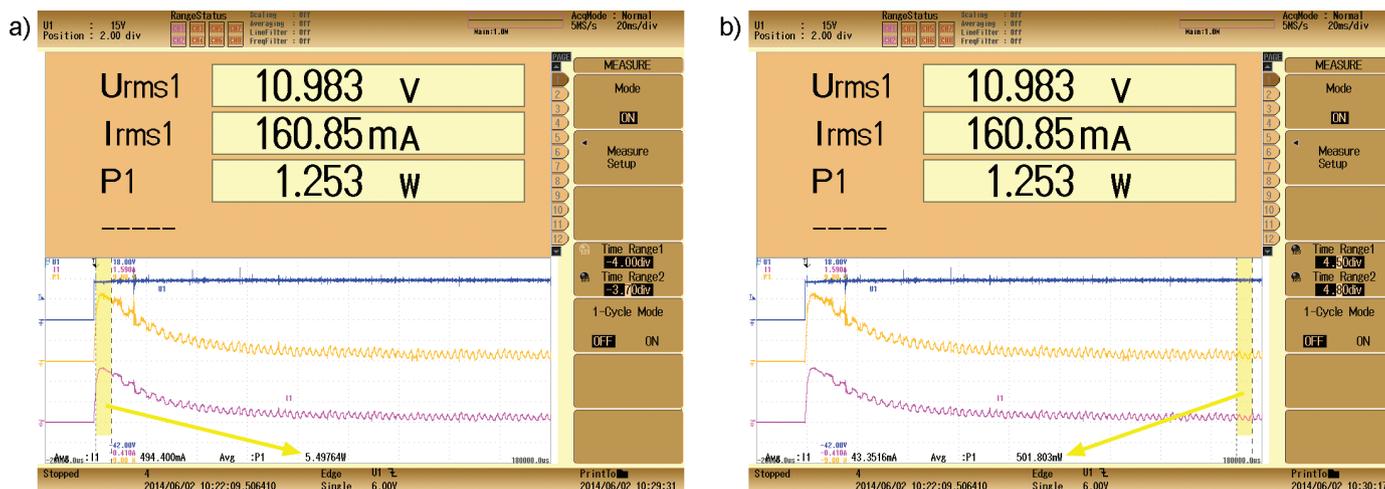
PX8000 jako oscyloskop

Jak oznajmia producent, przyrząd PX8000 mimo dość wąskiego przeznaczenia jest jednak oscyloskopem. Potwierdzeniem tego jest szereg jego cech funkcjonalnych, parametrów technicznych charakteryzujących oscyloskopy, a także ogólna zasada obsługi. Przyjrzyjmy się więc elementom regulacyjnym umieszczonym na płycie czołowej (rysunek 4). Łatwo dostrzec charakterystyczne dla oscyloskopów pokrętki: podstawy czasu, czułości kanałów pomiarowych, przesuwu oscylogramów. Są też elementy uaktywniające obliczenia matematyczne, pomiary automatyczne i kursorowe, a także przełączniki wyboru trybów wyzwalania, akwizycji itp. Uzupełniają je elemen-

ty konfigurujące pomiary mocy i klawiatura numeryczna.

O sprofilowaniu oscyloskopu PX8000 do pomiarów mocy decyduje przede wszystkim oprogramowanie firmowe oraz niektóre rozwiązania układowe, np. duża liczba kanałów pomiarowych, w tym standardowe wyposażenie w kanały prądowe. Ogólna zasada działania jest natomiast charakterystyczna dla oscyloskopu cyfrowego. Jest więc układ akwizycji z przetwornikami analogowo-cyfrowymi, rekord danych, w którym są zapisywane próbki dane itd. Układ akwizycji pracuje w trybach spotykanych w zwykłych oscyloskopach cyfrowych (Auto, AutoLevel, Normal, Single, SingleN, On Start). Są one wybierane w zależności od charakteru pomiarów. Na przykład przy badaniu prądu rozruchowego silnika elektrycznego, albo przy analizie startu przetwornicy napięciowej najlepsze będzie prawdopodobnie wyzwalenie jednorazowe lub typu Normal z odpowiednio wybranym zdarzeniem wyzwalającym (rysunek 5). Najczęściej stosowane jest proste wyzwalanie poziomem napięcia, prądu lub mocy, ale możliwości jest znacznie więcej. W trybach rozszerzo-





Rysunek 5. Jednorazowe wyzwolenie poziomem napięcia wykorzystane do pomiaru prądu rozruchowego silnika elektrycznego, a) moc chwilowa w fazie rozruchu, b) moc chwilowa w warunkach ustabilizowania się obrotów

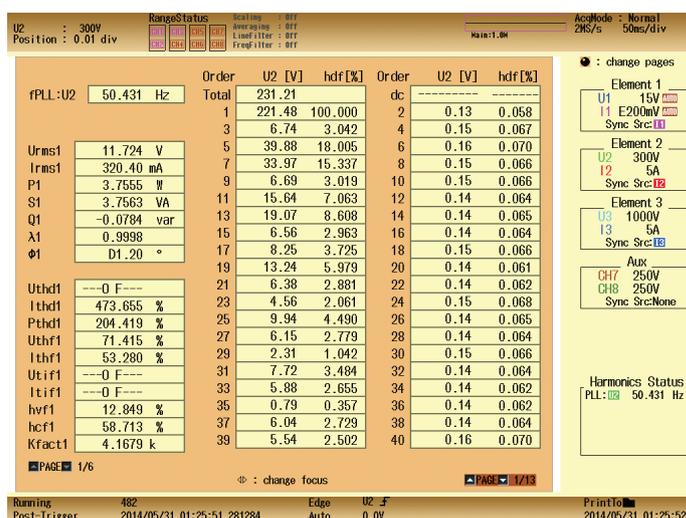
Tabela 1. Zależności między częstotliwością podstawową, szybkością próbkowania, szerokością okna i maksymalną liczbą harmonicznymi

Częstotliwość podstawowa	Szybkość próbkowania	Szerokość okna	Liczba analizowanych harmonicznymi
20...600 Hz	$f \times 1024$	8 przebiegów	500
600...1200 Hz	$f \times 512$	16 przebiegów	255
1,2...2,6 kHz	$f \times 256$	32 przebiegi	100
2,6...6.4 kHz	$f \times 128$	64 przebiegi	50

nych można tworzyć złożone sekwencje wyzwalań, składające się z dwóch zdarzeń uzależnionych od siebie zależnościami czasowymi lub logicznymi. Przykładem jest wyzwalenie $A \rightarrow B(N)$, w którym najpierw oczekiwane jest zdarzenie zdefiniowane jako A, a następnie zliczane są zdarzenia zdefiniowane jako B. Po n-tym wystąpieniu takiego zdarzenia następuje wyzwolenie. Pozostałe zdarzenia wyzwalań w trybie rozszerzonym to: A Delay B, Edge On A, OR, AND, Period, Pulse Width, Wave Window. Dostrzegamy więc duże podobieństwa do trybów wyzwalań stosowanych w klasycznych oscyloskopach cyfrowych. Dotyczy to również źródeł wyzwalań. Mogą nimi być wszystkie kanały napięciowe, prądowe, wirtualny kanał mocy oraz kanały dodatkowe,

a także sygnały zewnętrzne doprowadzone do specjalnego gniazda. Możliwe jest wybranie jednej z trzech wielkości histerezy układu wyzwalań, dzięki czemu unika się zrywania synchronizacji oscylogramów przy dużych szumach. Dodatkowe możliwości optymalnego wyzwalań dają parametr *Hold-Off*, który usypia układ akwizycji na określony czas po wyzwoleniu. W pomiarze przedstawionym na rys. 5 zastosowano jednorazowe wyzwolenie poziomem napięcia U1 (na narastającym zboczach). Przy takich nastawach wyraźnie uchwycono moment startu silnika, a po zastosowaniu funkcji pomiarowych w prosty sposób stwierdzono, że moc rozruchowa jest ok. 10 razy większa od mocy pobieranej już w warunkach ustabilizowanych.

Klasa oscyloskopu cyfrowego, a zarazem jego możliwości pomiarowe oceniana jest z grubsza zwykle na podstawie kilku najważniejszych parametrów, takich jak: pasmo analogowe, szybkość próbkowania, długość rekordu. W przypadku PX8000 jest podobnie, z tym że nie do końca. Producent na przykład w ogóle nie określa pasma analogowego, podaje natomiast częstotliwości filtra liniowego i częstotliwościowego, o których była już mowa. Bardziej istotne są natomiast maksymalne napięcia, które mogą być dołączane do kanałów pomiarowych. I tak: maksymalny napięciowy zakres pomiarowy oscyloskopu PX8000 jest równy $1000 V_{RMS}$, zaś maksymalny zakres prądowy dla wewnętrznego przetwornika jest równy $5 A_{RMS}$. Standardowo rekord ma 10 Mpunktów, może być on jednak zwiększony do 50 Mpunktów dla opcji M1 i do 100 Mpunktów dla opcji M2. Na twarzach użytkowników oscyloskopów cyfrowych przyzwyczajonych do szybkości próbkowania mierzonych w gigasamplach na sekundę może pojawić się wyraz zwątpienia, gdy spojrzą na szybkość próbkowania oscyloskopu PX8000, ponieważ wynosi ona „zaledwie” 100 MSa/s. Pamiętajmy jednak, że przyrząd ten jest wykorzystywany do pomiarów sygnałów o względnie niskich częstotliwościach. Z drugiej strony trzeba jednak pamiętać, że sygnały te mogą zawierać krótkie impulsy o stromych zboczach, znacznie poszerzające widmo częstotliwościowe, narzucając tym samym odpowiednio wysoką minimalną częstotliwość próbkowania. Należy tu jednak uspokoić użytkowników. Parametry oscyloskopu PX8000 umożliwiają dokonywanie pomiarów harmonicznymi wysokiego rzędu, nawet w wysokoczęstotliwościowych przetwornicach. Co więcej, prawdopodobnie trudno byłoby obecnie znaleźć inny przyrząd tej klasy wykorzystywany do takich pomiarów. Maksymalna liczba analizowanych harmonicznymi, szybkość próbkowania i szerokość okna są funkcjami częstotliwości podstawowej mierzonego sygnału. Zależności te przedstawiono w tabeli 1.



Rysunek 6. Tabelaryczna forma prezentacji pomiarów harmonicznymi

Jedną z ważniejszych zalet oscyloskopu PX8000 jest bardzo duża rozdzielczość i dokładność pomiarów, co uzyskano dzięki zastosowaniu 12-bitowych przetworników A/C. Oscylogramy są wyświetlane na powierzchni o rozmiarach 801×656 pikseli. Cała matryca wyświetlacza (LCD TFT) ma 1024×768 punktów. Pola numeryczne wy-

świetlające liczbowe wartości mierzonych parametrów mają szerokość 5 lub 6 cyfr. Przykładowo, uzyskiwane dokładności przy wyłączonych filtrach są równe:

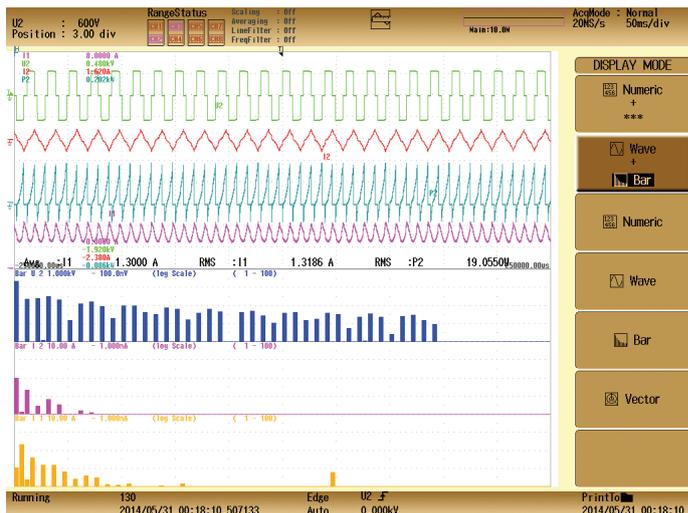
$$\begin{aligned} \text{napięcie i prąd} & - \{0,001 \times f + 0,001 \times n\} \% \text{odczytu} + 0,1\% \text{zakresu,} \\ \text{moc} & - \{0,002 \times f + 0,002 \times n\} \% \text{odczytu} + 0,2\% \text{zakresu,} \end{aligned}$$

gdzie f – częstotliwość harmonicznnej [kHz], n – numer harmonicznnej.

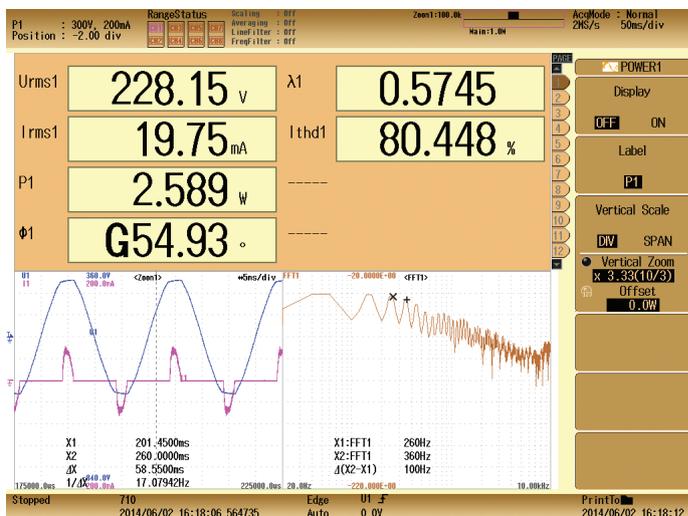
Wyniki analizy harmonicznnych mogą być przedstawiane w postaci tabelarycznej, jak na **rysunku 6** lub w postaci wykresu słupkowego (**rysunek 7**).

Obliczenia matematyczne, praca w trybie X-Y

Na tym nie kończą się podobieństwa przyrządu PX8000 do klasycznego oscyloskopu cyfrowego. Użytkownicy mogą korzystać z bardzo rozbudowanego mechanizmu obliczeń matematycznych, mogą tworzyć własne wyrażenia matematyczne pozwalające na wyznaczanie nie mierzonych standardowo parametrów. Do kategorii obliczeń zaliczana jest także analiza FFT, taka sama, jaką spotykamy w zwykłych oscyloskopach cyfrowych. Na **rysunku 8** przedstawiono pomiary ładowarki telefonu Nokia podczas ładowania akumulatorów. Wyraźnie widoczny jest impulsowy charakter pracy, mający swoje odzwierciedlenie w widmie prądu pobieranego z sieci elektrycznej, a także w zawartości harmonicznnych (pole Ithd1 w części numerycznej ekranu).



Rysunek 7. Wykres słupkowy przedstawiający zawartość harmonicznnych



Rysunek 8. Wykres FFT widma prądu ładowania akumulatora telefonu Nokia

Zależności fazowe między przebiegami są bardzo dobrze eksponowane w trybie X-Y. W oscyloskopie PX8000 argumentami wykresów tego typu mogą być sygnały z każdego kanału napięciowego, prądowego, mocowego, dodatkowego, a także wyniki obliczeń matematycznych (**rysunek 9**). Na ekranie można wyświetlać jednocześnie dwa wykresy X-Y.

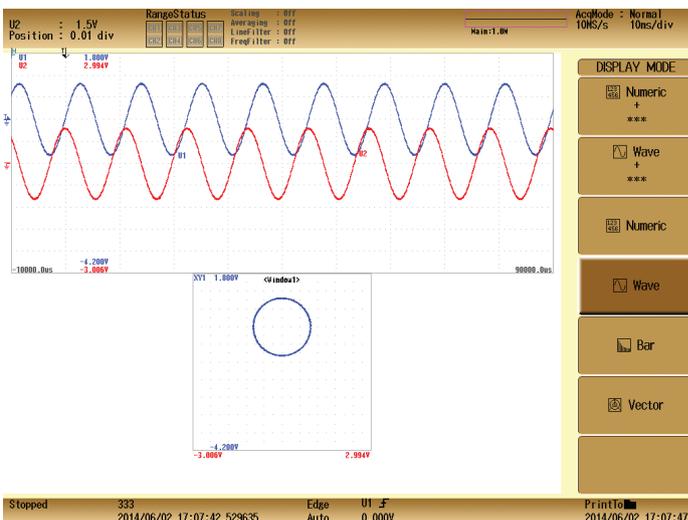
Do wizualnej interpretacji parametrów obwodów 3-fazowych służą natomiast wykresy wektorowe. Są one dostępne jednak tylko opcjonalnie. Wykres wektorowy stanowi wizualizację 3D napięć i prądów fazowych (**rysunek 10**).

Testy GO/NO-GO, zapisywanie i drukowanie danych i konfiguracji

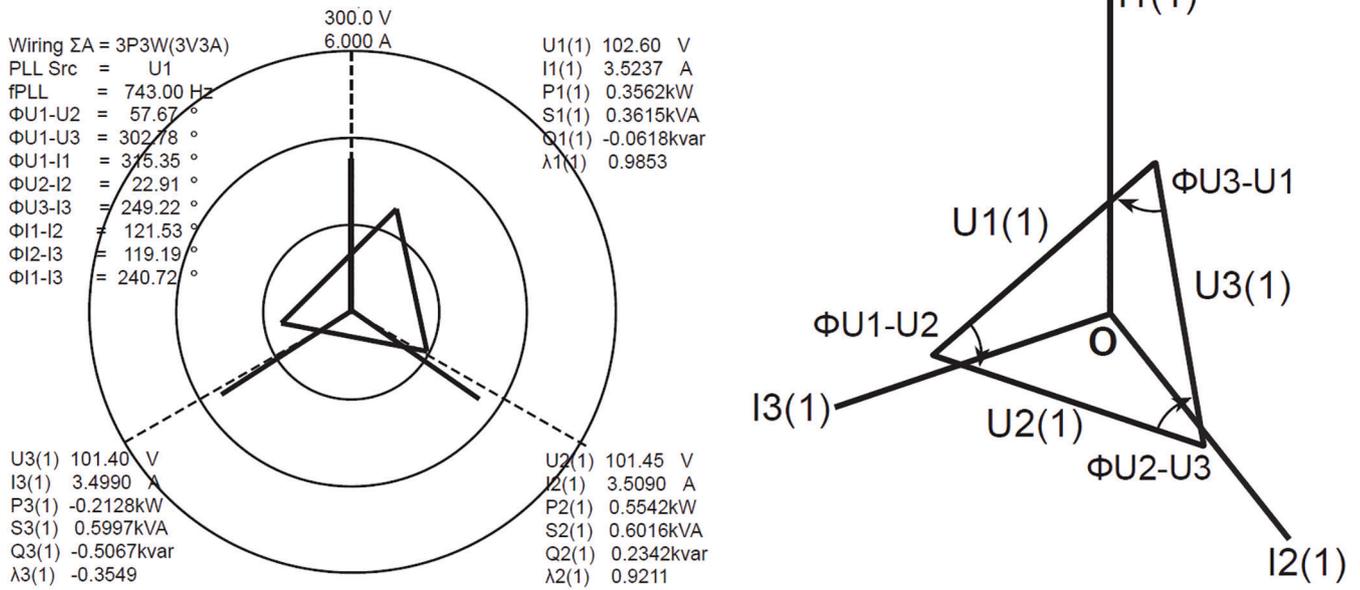
Oscyloskop PX8000 jest często wykorzystywany do szybkiej oceny stanu badanego obiektu (sieci elektrycznej), często w warunkach terenowych. Jedną z najszybszych metod stosowanych w takich pomiarach jest test GO/NO-GO, będący odpowiednikiem znanych z oscyloskopów cyfrowych testów maski, Past-Fail itp.

Użytkownik może także zapisywać konfigurację przyrządu w pamięciach masowych typu pendrive, kartach SD lub na dyskach sieciowych, jeśli oscyloskop połączony z jakąś siecią LAN. Możliwe jest również wykonywanie zrzutów ekranowych i robienie bezpośrednich wydruków m.in. na wbudowanej drukarce (wyposażenie opcjonalne).

Analizę danych zarejestrowanych w trakcie pomiaru umożliwiają zaawansowane opcje przeszukiwania i śledzenia histo-



Rysunek 9. Wykres X-Y



Rysunek 10. Wykres wektorowy parametrów sieci 3-fazowych

rii. Ich skuteczność jest zależna od długości rekordu.

Mierzone oscyloskopem PX8000 parametry mają w wielu przypadkach bardzo złożone definicje. Aby uniknąć ewentualnych nieporozumień związanych z ich interpretacją, w dodatku do instrukcji obsługi podano dokładne definicje i wzory opisujące każdy z mierzonych parametrów. Znajdują się tu również opisy stosowanych metod pomia-

rowych. Tę część manuala można traktować jak nienajgorszy podręcznik zawierający sporą dawkę specjalistycznej wiedzy.

Wadą oscyloskopu PX8000 jest niezbyt intuicyjne konfigurowanie pomiaru. Początkowo trudno jest opanować i powiązać ze sobą wszystkie Elementy, Jednostki Połączeniowe Pomiaru typu delta, η formuły itp. Wiele wątpliwości rozjaśnia się jednak w miarę wykonywania kolejnych ekspery-

mentów. W czasie pomiarów należy zachowywać najwyższą czujność i przestrzegać zasad BHP. Mamy bowiem do czynienia z napięciami zagrażającymi życiu. Oscyloskop PX8000 będą jednak obsługiwać najwyższej klasy specjaliści, którzy doskonale zdają sobie sprawę ze wszystkich zagrożeń. Nie można też pominąć stresu związanego z obsługą nie taniego przyrządu.

Jarosław Doliński, EP

REKLAMA

Dobry powód, aby kupić iPada?



Od teraz możesz czytać Elektronika z wykorzystaniem iPada.

www.elektronikaB2B.pl