

Analizator jakości energii SA2100

Przeciętni odbiorcy energii elektrycznej nie zdają sobie sprawy, ile parametrów sieci energetycznej muszą zmierzyć instalatorzy, aby daną instalację dopuścić do użytkowania. Ile parametrów musi być spełnionych, aby zachować zgodność z licznymi normami i przepisami. Kiedyś elektryka kojarzono ze zwykłym miernikiem uniwersalnym i neonowym próbnikiem napięcia, dzisiaj takie wyposażenie wzbudziłoby tylko uśmiech.

Więcej informacji:

NDN-Zbigniew Daniluk
ul. Janowskiego 15, 02-784 Warszawa
tel.: 226 444 250, 226 411 547
tel./faks: 226 416 196
e-mail: ndn@ndn.com.pl, www.ndn.com.pl



Zasilacze impulsowe jeszcze kilka, kilkanaście lat temu stanowiły elitarny, jeśli można użyć takiego sformułowania, rodzaj zasilania. Rozwój technologii spowodował, że technika ta wkroczyła pod strzechy i dzisiaj w każdym domu można znaleźć sporo urządzeń zasilanych impulsowo, od ładowarek smartfonów, przez energooszczędne żarówki, po zasilacze komputerów i laptopów. Grupę takich urządzeń można ogólnie nazwać nieliniowymi odbiornikami energii elektrycznej. Ten rodzaj zasilania odznacza się wieloma zaletami, jednak ma też wady. Z zasady działania zasilacza impulsowego wynika, że kształt przebiegu prądu i napięcia znacznie się od siebie różni. I nie chodzi tylko o ewentualne przesunięcia fazowe. Prąd płynie w liniach zasilających tylko przez pewną część okresu, co jest powodem generowania silnych zaburzeń. Z oczywistych przyczyn nie powinny one przedostawać się do sieci zasilającej. Ocenia się, że 25-procentowy udział nieliniowych odbiorników energii elektrycznej może negatywnie oddziaływać na inne urządzenia. Konieczne jest więc stosowanie odpowiednich filtrów, dławików itp., a skuteczność ich działania można sprawdzać m.in. za pomocą opisywanego w artykule analizatora jakości energii SA2100.

Charakterystyka ogólna miernika jakości energii SA2100

Większość zastosowań miernika SA2100 jest związana z pomiarami w terenie. Konsekwencją tego jest względnie mała i lekka obudowa, która może być wygodnie przenoszona w dostarczonej wraz z przyrządem torbie. Pojemność torby jest na tyle duża, że z powodzeniem można w niej pomieścić dość bogate wyposażenie dodatkowe. Składają się na nie 4 sondy prądowe i 5 dość długich przewodów pomiarowych, a także sieciowy zasilacz/ładowarka. Aby uchronić miernik od uszkodzeń mechanicznych, o które nie jest trudno na budowie czy linii produkcyjnej, obudowa przyrządu jest dodatkowo zabezpieczana gumowym holsterem.

Na końcówki przewodów pomiarowych są zakładane sporych wymiarów żabki, które z łatwością są mocowane do zacisków pomiarowych. Problemem technicznym może być użycie standardowych sond prądowych. Sonda wykonana w postaci pętli musi być zakładana na przewód prądowy, co wymaga rozszycia



wiązki przewodów. Można oczywiście stosować też sondy o innej budowie, na przykład cęgowo. Założenie takiej sondy na przewód jest wówczas znacznie prostsze.

Z badaniem jakości energii wiąże się wykonanie jednoczesnego pomiaru kilku wielkości elektrycznych stanowiących dane wejściowe dla złożonych obliczeń matematycznych. Wszystkie operacje muszą być prowadzone w czasie rzeczywistym, i jak nie trudno się domyślić, najlepiej nadaje się do tego procesor DSP. W analizatorze SA2100 zastosowano podwójny procesor wspierany dodatkowo układami FPGA. Elektroniką zarządza osadzony system operacyjny uClinux. Interfejs użytkownika jest oparty na kolorowym wyświetlaczu LCD o przekątnej 5,6 cala, z matrycą o rozdzielczości 320×240 punktów i 4-stopniowym układem regulacji jasności świecenia.

Analizator SA2100 mierzy, oblicza i wyświetla na ekranie w postaci liczbowej lub graficznej parametry czterech napięć i prądów. Mierzone są także składowe DC. Przyrząd ten jest przeznaczony do pomiarów 1- i 3-fazowych sieci elektrycznych. Menu pomiarów zawiera następujące opcje:

- Napięcie/Prąd/Częstotliwość.
- Zapady i przebiegięcia.
- Harmoniczne.
- Moc i energia.
- Migotanie światła.
- Asymetria.
- Stany nieustalone.
- Prąd rozruchowy.
- Rejestrator.

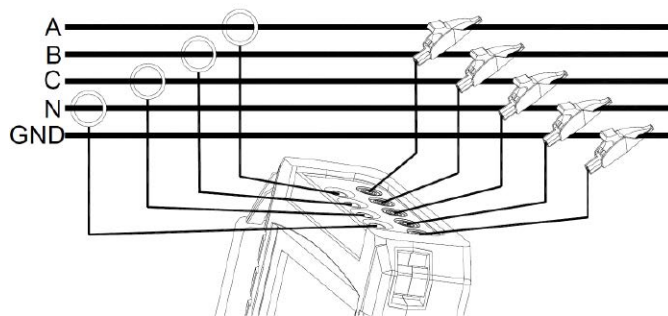
Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych są określone normą PN-EN 50160. Wprawdzie norma ta nie ma charakteru obligatoryjnego, ale stanowi odniesienie w ocenie jakości energii elektrycznej. Analizator SA2100 ma te parametry zapisane w swojej pamięci, co umożliwia dokonywanie łatwej i szybkiej oceny jakości energii dostępnej w dowolnym obiekcie. Oprócz limitów wyznaczonych normą 50160 użytkownik może wprowadzać też własne.

Wyniki pomiarów zarówno w postaci liczbowej, jak i graficznej (zrzuty ekranowe) mogą być zapisywane w pamięci analizatora i przesyłane do komputera. Komunikacja odbywa się za pośrednictwem sieci LAN. Niestety nie ma opcji Wi-Fi, nie można też transferować danych przez interfejs USB. Przyrząd wyposażono w kartę pamięciową o pojemności 8 GB. Dziwić może zastosowana w przyrządzie obsługa plików. Użytkownik nie ma możliwości zachowania np. zrzutu ekranowego bezpośrednio w pamięci USB. Naciśnięcie przycisku *Save* powoduje zapisanie pliku w wewnętrznej pamięci Flash. Aby taki plik przenieść do komputera za pośrednictwem pamięci USB, należy nacisnąć przycisk *Memory*, a następnie kolejno plik po pliku zapisywać na pendrive. Przy dużej liczbie plików jest to bardzo uciążliwe.

Bardzo ważnym dla użytkownika parametrem jest czas pracy przyrządu na baterii. Zastosowany w analizatorze akumulator NiMH ma pojemność 3,8 Ah, a to pozwala na ciągłą pracę w terenie przez ponad 7 godzin. Na ładowanie należy przeznaczyć 6 godzin.

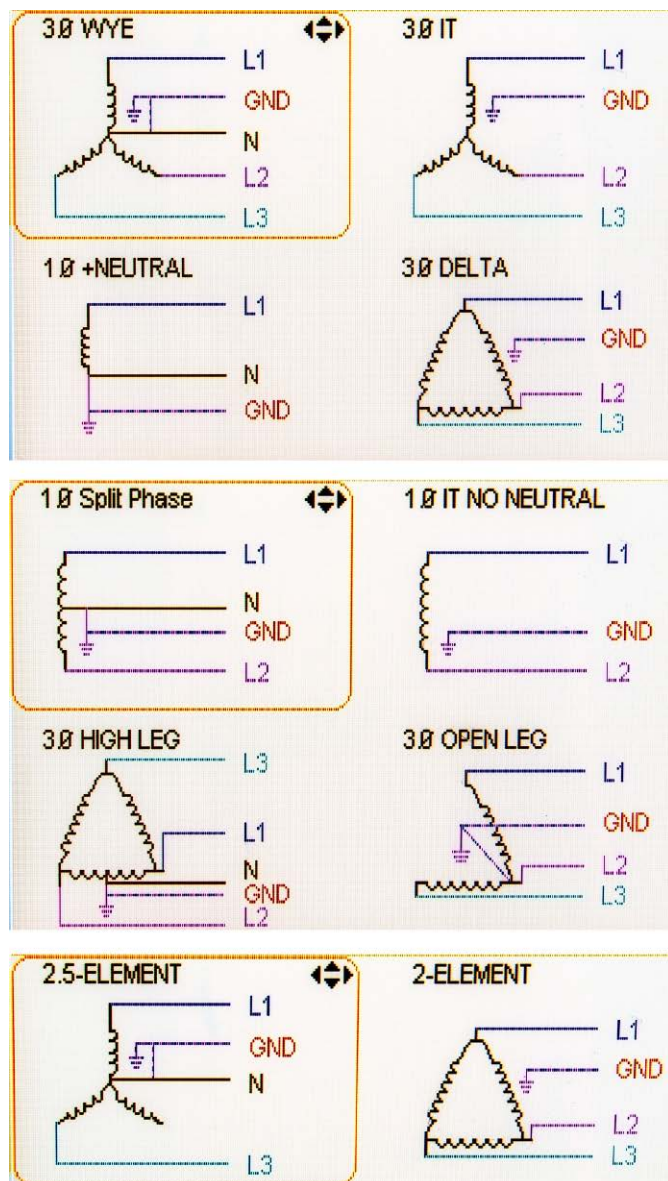
Przygotowanie miernika do pracy

W pomiarach sieci 3-fazowych plątania przewodów pomiarowych może być całkiem spora, zalecana jest więc daleko posunięta



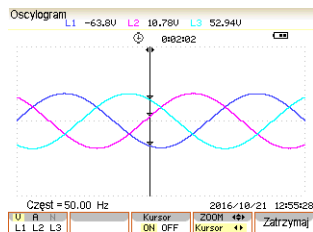
Rysunek 1. Napięciowe i prądowe gniazda analizatora SA2100

disciplina i zachowanie porządku na stanowisku pomiarowym. Najbardziej złożone konfiguracje wykorzystują 9 przewodów – 3 przewody napięciowe i 3 pętle prądowe dołączane do linii fazowych, 1 przewód napięciowy i 1 pętla prądowa dołączana do linii neutralnej i 1 przewód napięciowy dołączany do uziemienia (rysunek 1). Dla zapewnienia prawidłowego pomiaru kątów fazowych prądu należy zadbać o jednakową orientację pętli prądowych. Przydatne są w tym odpowiednie oznaczenia graficzne umieszczone na pętlach.



Rysunek 2. Konfiguracje sieci mierzonej analizatorem SA2100

Przed przystąpieniem do pomiarów należy bardzo dokładnie rozpoznać typ sieci, która będzie mierzona, a następnie wybrać odpowiadającą jej konfigurację połączeń z menu „Setup”. Wykonując połączenia, można posługiwać się schematami wyświetlanymi na ekranie analizatora (rysunek 2).



Rysunek 3. Badanie sieci 3-fazowej w trybie oscyloskopowym z użyciem kursora

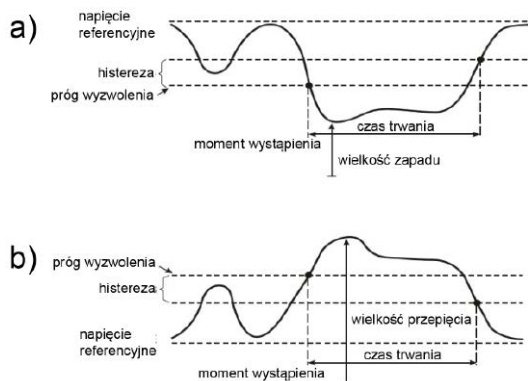
Pomiary

Pomiary zwykle rozpoczynają się od szybkiego przeglądu stanu sieci i wstępnej oceny parametrów. Wykorzystywany jest do tego tryb oscyloskopowy (Scope mode), w którym można obserwować poszczególne przebiegi napięć i prądów tak jak na oscyloskopie. Prosty kursor jest przydatny do oceny wartości chwilowych tych przebiegów (rysunek 3). Możliwe jest także powiększanie i rozciąganie oscylogramów w pewnym zakresie.

Konkretne pomiary są wybierane z menu. Firmware zawiera 9 procedur pomiarowych przeznaczonych do wyznaczania różnych parametrów sieci zasilającej. Po wybraniu opcji „Napięcie/Prąd/Częstotliwość” na ekranie zostają wyświetlone wyniki pomiarów napięcia skutecznego we wszystkich fazach i przewodzie neutralnym, napięcia międzyszczytowe oraz współczynniki kształtu. Analogiczne parametry są mierzone dla prądów. W zależności od wybranej konfiguracji pomiarowej i opcji podawane są wartości fazowe lub międzyfazowe napięć i prądów. Krótkookresową ocenę stabilności parametrów sieci przeprowadza się, wybierając funkcję „Trendy”. Na ekranie są wówczas wyświetlane wykresy poszczególnych parametrów w funkcji czasu.

Szybkie skoki napięć i prądów (w górę lub w dół) są wykrywane pomiarem „Zapady i przebiecia” (Dips and Swells). Zakłócenia tego typu są określone normą IEC61000-4-30, ale parametry graniczne mogą być modyfikowane przez użytkownika. Graficzną definicję przedstawiono na rysunku 4. Każde zdarzenie tego typu jest zaznaczane na wykresie i zapisywane w specjalnym rejestrze. Użytkownik już po pomiarze może ten rejestr przeglądać. Jest w nim zapisany moment zdarzenia (data i godzina) oraz jego typ. W pomiarze są rozróżniane 4 zdarzenia: CHG – szybka zmiana napięcia, DIP – zapad napięcia, INT – przerwa napięcia, SWL – przebiecie.

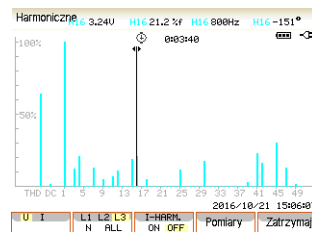
Jedną z najlepszych metod pozwalających ocenić ogólny poziom zakłóceń występujących w sieci jest pomiar zawartości



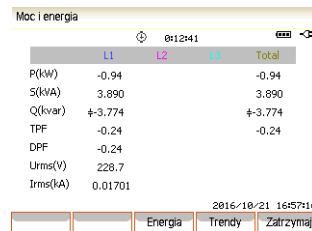
Rysunek 4. Graficzna definicja zapadów i przebiecia

harmonicznych THD. Po wybraniu opcji „Harmoniczne” na ekranie analizatora pojawia się wykres harmonicznych rejestrowanych w każdej z linii zasilającej skonfigurowanej do pomiaru. Możliwe jest też wybranie pojedynczej linii (rysunek 5). Nad wykresem jest wyświetlany obliczony procentowy współczynnik zawartości harmonicznych THD. Przyrząd mierzy do 50 harmonicznych zadeklarowanej częstotliwości podstawowej, uwzględniana jest też składowa stała. Zawartość harmonicznych jest odnoszona do częstotliwości podstawowej albo do wartości RMS napięcia lub prądu. Parametry poszczególnych harmonicznych – numer harmonicznej, napięcie (lub prąd), procentowa zawartość wskazanej harmonicznej, częstotliwość, przesunięcie fazowe – są wyświetlane po naporowaniu kursora na daną harmoniczną. Wyniki mogą być również wyświetlane w postaci tabelarycznej.

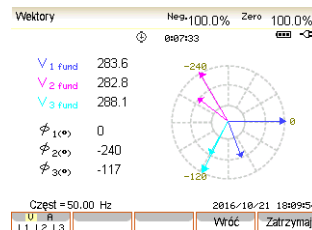
Opisywane w artykule urządzenie jest zaliczane do grupy analizatorów jakości energii, jednym z podstawowych pomiarów będzie więc pomiar mocy odbiorników elektrycznych i zużywana w określonym czasie energia. Parametry te są mierzone po wybraniu opcji „Moc i energia”. Wyniki są jak zwykle prezentowane w formie tabelarycznej (rysunek 6) lub w postaci wykresu trendu. Na podstawie pomiaru napięć i prądów w poszczególnych fazach miernik oblicza moc czynną, bierną i pozorną, a także współczynnik mocy (cos(φ), ozn. TPF). Współczynnik mocy jest definiowany jako kosinus kąta między wektorem podstawowej harmonicznej prądu i napięcia. Parametr ten dobrze określa przesunięcia fazowe dla przebiegów nieodkształconych, ale wraz ze wzrostem harmonicznych jego wartość przestaje być miarodajna. Dlatego mierzone są dwa rodzaje współczynnika mocy: TPF (apparent power factor) uwzględniający wszystkie harmoniczne i DPF (displacement power factor), w którym uwzględniana jest tylko podstawowa harmoniczna. Po uaktywnieniu opcji „Energia” uruchamiany jest licznik czasu wykorzystywany do obliczania energii jako iloczynu mocy i czasu. Na podstawie przesunięcia fazowego między mocą bierną i rzeczywistą analizator określa charakter odbiornika energii. Jest on zaznaczany w postaci symbolu graficznego (kondensatora lub cewki) umieszczonego obok wyświetlanej mocy biernej. Jednym z pomiarów, które mogą być prowadzone z użyciem analizatora SA2100, jest „Migotanie światła” (tzw. flicker,



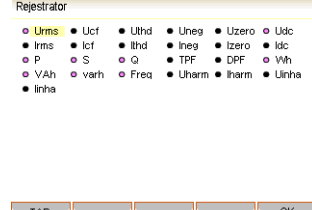
Rysunek 5. Wykres harmonicznych



Rysunek 6. Tabelaryczne wyniki pomiarów mocy i energii



Rysunek 7. Wykresy wskazowe



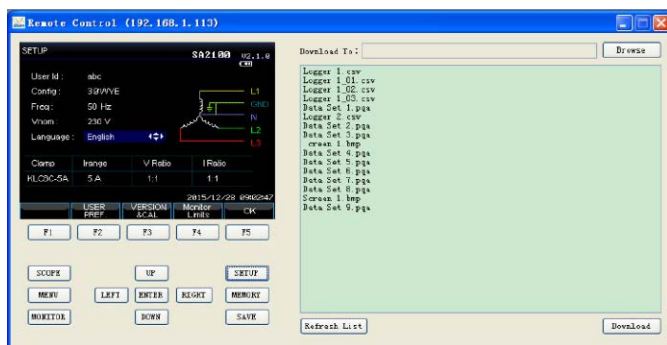
Rysunek 8. Okno wyboru rejestrowanych parametrów

Tabela 1. Najważniejsze dane techniczne analizatora jakości mocy SA2100

| Częstotliwości sieci | | | |
|--|---|---------------|----------------------------|
| Częstotliwość nominalna | Zakres częstotliwości | Rozdzielczość | Dokładność |
| 50 Hz | 42,50...57,50 Hz | 0,01 Hz | ±0,01 Hz |
| 60 Hz | 51,00...69,00 Hz | 0,01 Hz | ±0,01 Hz |
| 400 Hz | 340...460 Hz | 0,01 Hz | ±0,01 Hz |
| Wejścia napięciowe | | | |
| Liczba wejść | 4 (3 fazowe i 1 neutralne), sprzężenie DC | | |
| Maksymalne napięcie wejściowe ciągłe | 1000 Vrms | | |
| Zakres napięcia nominalnego | 50...500 V | | |
| Maksymalne napięcie impulsowe | 6 kV | | |
| Impedancja wejściowa | 4 MΩ 5 pF | | |
| Wejścia prądowe | | | |
| Liczba wejść | 4 (3 fazowe i 1 neutralne), sprzężenie DC | | |
| Typ | Pętla prądowa z wyjściem napięciowym mV | | |
| Nominalny zakres wejściowy | 0...5,625 V _{peak} , 0...3,97 Vrms sinus | | |
| Zakres wejściowy | 1...3000 Arms z pętlą prądową | | |
| Impedancja wejściowa | 50 kΩ | | |
| System próbkowania | | | |
| Rozdzielczość | 16 bitów | | |
| Szybkość próbkowania | 20 kSa/s w 8 kanałach synchronicznych | | |
| Próbkowanie RMS | 5000 punktów dla 10/12 cykli (IEC 61000-4-30) | | |
| Synchronizacja PLL | 4096 punktów dla 10/12 cykli (IEC 61000-4-7) | | |
| Tryby pracy ekranu | | | |
| Wykres przebiegów | 4 przebiegi napięciowe i 4 prądowe wyświetlane synchronicznie | | |
| Wykres wskazowy | Intuicyjny wykres wskazowy pokazujący zależności fazowe między napięciami i prądami | | |
| Tabele | Liczbowe wyniki pomiaru napięcia, prądu, częstotliwości, harmonicznym, mocy, energii, flickera i asymetrii | | |
| Trendy | Wyniki pomiaru napięcia, prądu, częstotliwości, harmonicznym, mocy, energii, flickera i asymetrii w postaci wykresów trendu | | |
| Tabele zdarzeń | Tabelaryczna prezentacja zarejestrowanych danych przekraczających wyznaczone dla nich limity | | |
| Wykres słupkowy | Wykresy przedstawiające harmoniczne | | |
| Zakresy pomiarowe, rozdzielczość, dokładność | | | |
| Napięcie/prąd/częstotliwość | Zakres pomiarowy | Rozdzielczość | Dokładność |
| Vrms (AC+DC) | 1...1000 Vrms | 0,1 Vrms | ±0,5% napięcia nominalnego |
| Vpk | 1...1400 Vpk | 0,1 Vpk | ±0,5% napięcia nominalnego |
| V(CF) | 1,0~>2,8 | 0,01 | ±5% |
| Arms (AC) | | | |
| 10 mV/A | 0...100 A | 0,1 A | ±0,5%±0,2 A |
| 1 mV/A | 1...1000 A | 0,1 A | ±0,5%±0,2 A |
| 50 mV (65 mV)/1000 A | 15...5000 A | 1 A | ±1%±2 A |
| A(CF) | 1...10 | 0,01 | ±5% |
| Częstotliwość nominalna | | | |
| 50 Hz | 42,5...57,5 | 0,01 Hz | ±0,01 Hz |
| Częstotliwość nominalna | | | |
| 60 Hz | 51...69 | 0,01 Hz | ±0,01 Hz |
| Częstotliwość nominalna | | | |
| 400 Hz | 340...460 | 0,01 Hz | ±0,1 Hz |
| Harmoniczne | Zakres pomiarowy | Rozdzielczość | Dokładność |
| Liczba harmonicznym | 1...50 | | |
| Liczba podharmonicznym | 1...49 | | |
| Napięcie harmonicznym | 0,0...100,0% | 0,1% | ±0,1%±n×0,1% |
| Prąd harmonicznym | 0,0...100,0% | 0,1% | ±0,1%±n×0,1% |
| THD | 0,0...100,0% | 0,1% | ±2,5% |
| Składowa DC | 0,0...100,0% | 0,1% | ±0,2% |
| Częstotliwość | 0...3500 Hz | 1 Hz | 1 Hz |
| Faza | -360°... 0° | 1° | ±n×1,5° |
| Moc i energia | Zakres pomiarowy | Rozdzielczość | Dokładność |
| Moc czynna, bierna i pozorna | 1,0...20,00 MW | 0,1 kW | ±1,5%±10 |

Tabela 1. cd.

| Zakresy pomiarowe, rozdzielczość, dokładność | | | |
|---|-----------------------------|---------------|------------|
| Energia | 0,00 kWh...200 GWh | 10 Wh | ±1,5%±10 |
| Współczynnik mocy | 0..1 | 0,01 | ±0,03% |
| Moc i energia | Zakres pomiarowy | Rozdzielczość | Dokładność |
| Prąd rms | 0...3000 Arms | 0,1 | ±1,5%±5 |
| Czas trwania prądu rozruchowego | 6 s...32 min | 10 ms | ±20 ms |
| Inne | | | |
| Wyświetlacz | LCD, 5,6 cala, 320×20 | | |
| Pamięć Flash | 128 MB | | |
| Karta pamięci | 8 GB | | |
| Maksymalne napięcia na wejściach napięciowych | 600 V CAT IV 1000 V CAT III | | |
| Maksymalne napięcie na wejściach prądowych | 42 Vpk | | |
| Wymiary | 262×173×66 mm | | |
| Masa | 1,6 kg | | |
| Akumulator | NiMh 7,2 V, 3,8 Ah | | |
| Czas pracy na zasilaniu akumulatorowym | >7 godzin | | |
| Czas ładowania | 6 godzin | | |



Rysunek 9. Okno programu sterującego zdalnie analizatorem

ozn. P_{st}). To dość specyficzny parametr istotny dla ergonomii pracy. W wyniku badań stwierdzono, że wahania napięcia zasilającego żarówki elektryczne występujące z częstotliwością ok. 8,8 Hz powodują niekorzystny wpływ na samopoczucie człowieka. Szczegóły określono w normie PN-EN 61000-4-15. W pomiarach brane są pod uwagę dwa rodzaje flickera: P_{st} – tzw. wskaźnik 10-minutowy i długookresowy P_{lt} .

Kolejny pomiar – „Asymetria”, jest wykorzystywany do badania balansu między fazami. Najbardziej przemawiają wykresy wskazowe stanowiące graficzną interpretację wyników (rysunek 7). Na wykresach są rysowane wektory napięć i prądów, a na podstawie informacji podawanych w polach liczbowych można zorientować się o zależnościach ilościowych pomiędzy poszczególnymi parametrami. Pomiar balansu ma duże znaczenie m.in. dla użytkowników silników 3-fazowych. Zbyt duże przesunięcia fazowe powodują nadmierne rozgrzewanie się silnika, a w konsekwencji zwiększają prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń.

Ostatnie pomiary pozwalają oceniać zjawiska zachodzące podczas włączania urządzeń elektrycznych lub podczas zmiany warunków ich pracy. Pierwsza opcja – „Stany nieustalone”, analizuje napięcia i prądy z wysoką rozdzielczością. Możliwe jest wychwycenie bardzo krótkich skoków napięciowych o dużej energii. Szybkość próbkowania w tym pomiarze dochodzi do 20 kSa/s. Mimo bardzo krótkiego czasu zakłócenia energia ta jest na tyle duża, że może powodować nawet

uszkodzenia urządzeń dołączonych do sieci zasilającej. Analizator przechwytywa do 100 zdarzeń tego typu.

Do stanów nieustalonych można też zaliczyć fazę rozruchu silników elektrycznych. Występujące w wirniku opory statyczne muszą być pokonane, ale podczas rozkręcania wirnika powoduje to konieczność dostarczenia w pierwszej chwili pracy silnika dużo większej mocy niż w warunkach normalnej pracy. Po ustabilizowaniu się warunków duży prąd rozruchowy maleje do wartości nominalnej. Pomiary tych parametrów są możliwe po uruchomieniu opcji „Prąd rozruchowy”. Określa się w nim czas trwania pomiaru, prąd nominalny, próg i histerezę. Naciśnięcie następnie przycisku *Start* powoduje rozpoczęcie wykreślenia wykresu napięcia lub prądu, na którym nanoszone są wartości rozruchowe.

W sytuacjach, gdy użytkownik energii elektrycznej uskarża się na pojawiające się losowo problemy z siecią, nie pozostaje nic innego, jak poddać taką sieć obserwacji. Pomiar można przeprowadzić na dwa sposoby. Pierwszym z nich jest wybranie opcji „Rejestrator”, a następnie zaznaczenie wszystkich parametrów, które mają być zapisywane. Lista obejmuje wszystkie wielkości mierzone w omawianych wcześniej pomiarach (rysunek 8). Pozostałe parametry to interwał i czas rejestracji. Dane są zbierane przez cały zadeklarowany czas rejestracji, a po naciśnięciu przycisku *Zapisz* są zapisywane w pliku dyskowym.

Inną metodą podglądania sieci jest funkcja monitorowania uruchamiana przyciskiem *Monitor*. Stan sieci jest przedstawiany w postaci wykresów słupkowych, a po naciśnięciu przycisków funkcyjnych pod poszczególnymi rodzajami pomiarów na ekranie zostaje wyświetlona tabela z zarejestrowanymi zdarzeniami. Podawana jest data i godzina wystąpienia danego zdarzenia, jego rodzaj i czas trwania. Parametry są też wyświetlane w postaci wykresów trendu.

Najważniejsze parametry techniczne analizatora jakości mocy SA2100 przedstawiono w tabeli 1. Do przyrządu jest dodawana płytką z instrukcją obsługi oraz programem, który może być wykorzystywany jako zdalny pulpit miernika (rysunek 9).

JAROSŁAW DOLIŃSKI, EP