

# ŁATWE TESTOWANIE PRZYRZĄDÓW DO BADANIA JAKOŚCI ENERGII

Lukas Dieterich (OMICRON electronics GmbH / Uniwersytet w Stuttgarcie), Cord Mempel (OMICRON electronics GmbH), Adrian Eisenmann (Uniwersytet w Stuttgarcie)

lukas.dieterich@omicronenergy.com

Austria

## Streszczenie

Rosnące znaczenie jakości energii znajduje swoje odbicie we wzroście liczby przyrządów do badania jakości energii instalowanych w sieciach elektroenergetycznych o wszystkich poziomach napięcia. Na początku tej publikacji zostaną krótko opisane podstawy testowania urządzeń tego typu, zdefiniowane w normach IEC. Zostanie zaprezentowany zestaw planów testów dla wspomaganych programowo badań mierników jakości energii zgodnych z IEC 62586-2, dla badań typu przeprowadzanych przez producentów i porównywalnych z nimi testów akceptacyjnych wykonywanych w przedsiębiorstwach energetycznych. Istniejące już plany testów przygotowane przez producenta testera zostały całkowicie zmienione w celu odzwierciedlenia najnowszych zmian w normach i aby zapewnić użytkownikom wsparcie podczas badania, przede wszystkim w zakresie oceny testu. Zostaną omówione wnioski poczynione podczas testowania typowego miernika jakości energii. Dodatkowo zostanie przedstawiony odpowiedni zestaw testów dla badań na obiekcie wykonywanych w ramach uruchomień lub podczas badań okresowych mierników jakości energii.

## Słowa kluczowe

Jakość energii, analizator jakości energii, badanie typu, szablony testów, IEC 61000-4-30, IEC 62586, EN 50160

## 1 Wprowadzenie

Ze względu na rosnącą liczbę źródeł rozproszonych (takich jak instalacje fotowoltaiczne), a także coraz częstsze obciążenie niekonwencjonalne systemów, stale wzrasta znaczenie jakości energii (ang. power quality – PQ) w sieciach elektroenergetycznych. Przedsiębiorstwa energetyczne muszą dowodzić zgodności z obowiązującymi normami, takimi jak EN 50160; zakłady przemysłowe zawierają umowy dotyczące jakości dostarczanej energii i nawet konsumenci coraz częściej doświadczają skutków niedostatecznej jakości energii. Zgodnie z raportem z Europejskiego Badania Jakości Energii Elektrycznej koszty niedostatecznej jakości energii w UE przekraczają 150 miliardów euro rocznie [1]. Ta tendencja będzie się utrzymywać wraz ze stałym wzrostem wykorzystania elementów energoelektronicznych i nieliniowych, które wpływają na jakość energii w sieciach elektroenergetycznych.

Prowadzi to do zwiększania liczby instalowanych mierników jakości energii w sieciach elektroenergetycznych i w punktach przyłączenia do sieci. Ich wadliwe działanie lub obniżona dokładność mogą wpływać na koszty ponoszone przez operatorów. Z drugiej strony, zwłaszcza wśród mniejszych przedsiębiorstw energetycznych, a także pośród klientów przemysłowych i użytkowników końcowych, brakuje świadomości związanej z jakością energii i doświadczenia w zakresie badania tej jakości. Odzwierciedla to również fakt, że nakłady na poprawę jakości energii i monitorowanie jakości dostarczanej energii w UE stanowią jedynie około 10% wspomnianych wcześniej kosztów [2].

Podstawowymi wymaganiami względem systemu monitorowania jakości energii są dokładność pomiaru i niezawodne działanie wszystkich używanych przyrządów. Jednak w wielu przypadkach nie przywiązuje się dużej wagi do tego aspektu podczas instalowania nowych przyrządów do badania jakości energii (ang. power quality instruments – PQI). Ponadto często nie wykonuje się dalszych kontroli i badań okresowych. Dzieje się tak dlatego, że poza zabezpieczeniami nie istnieją powszechnie przyjęte zasady lub procedury instalacji, badań okresowych lub kalibracji. Dlatego też błędne działanie lub zmniejszona dokładność mogą pozostawać niezauważone, mimo że prowadzą do powstawania znaczących kosztów finansowych.

Obecnie większość mierników jakości energii w sieciach WN lub SN jest zaliczana, zgodnie z IEC 61000-4-30, do klasy A lub S. Dla tych urządzeń normy IEC 62586-1 i -2 definiują wymagania i badania typu, które muszą być przeprowadzane przez producentów. Zasadniczo odpowiednie podzestawy tych testów mogą być stosowane do kwalifikowania przyrządów badających jakość energii (testy akceptacyjne), podczas testów wykonywanych w trakcie instalacji i konserwacji. Jednak testy zdefiniowane w tych normach są czasochłonne i niełatwe do zrozumienia. Drugie wyzwanie jest związane z oceną testu, np. rozpoznawaniem sytuacji, w których jest wymagane dalsze przetwarzanie licznych charakterystyk zarejestrowanych przez testowane urządzenie.

Jednocześnie może już być dostępny odpowiedni sprzęt testujący: dokładność wielu nowoczesnych testerów zabezpieczeń spełnia również wymagania niezbędne do testowania przyrządów badających jakość energii. Przy dostępnych planach testów i odpowiednich modułach oprogramowania, testy przyrządów badających jakość energii przestają być „czarną magią”, a stają się czymś porównywalnym do badań zabezpieczeń.

W tym względzie niniejszy artykuł wnosi swój udział do opracowania prostego, przejrzystego i praktycznego sposobu testowania przyrządów do badania jakości energii.

## 2 Jakość energii wg IEC 61000-4-30

Ujmując rzecz prosto, jakość energii opisuje stopień zgodności pomiędzy idealnym sygnałem sinusoidalnym a występującym faktycznie kształtem fali dla energii elektrycznej rozpraszanej w sieci elektroenergetycznej. Tradycyjnie jakość energii jest rozumiana jako jakość napięcia. Jednak, obok takich parametrów jak częstotliwość i napięcie, współcześnie obejmuje ona również kryteria dodatkowe, w tym niezawodność usługi i charakterystyki prądowe.

Dla testów przyrządów badających jakość energii norma IEC 61000-4-30 wymienia następujące parametry:

- stabilność częstotliwości;
- zjawiska związane z napięciem;
  - wahania wartości bezwzględnych;
  - zapady, narastanie i przerwy;
  - harmoniczne, interharmoniczne;
  - asymetria;
  - migotanie;
  - nagłe zmiany napięcia;
- zjawiska związane z prądem;
  - wahania wartości modułu;
  - harmoniczne, interharmoniczne;
  - asymetria;
- napięcia sygnalizacyjne w sieci elektroenergetycznej.

Ponadto istnieją testy umożliwiające badanie specjalnych funkcji urządzeń:

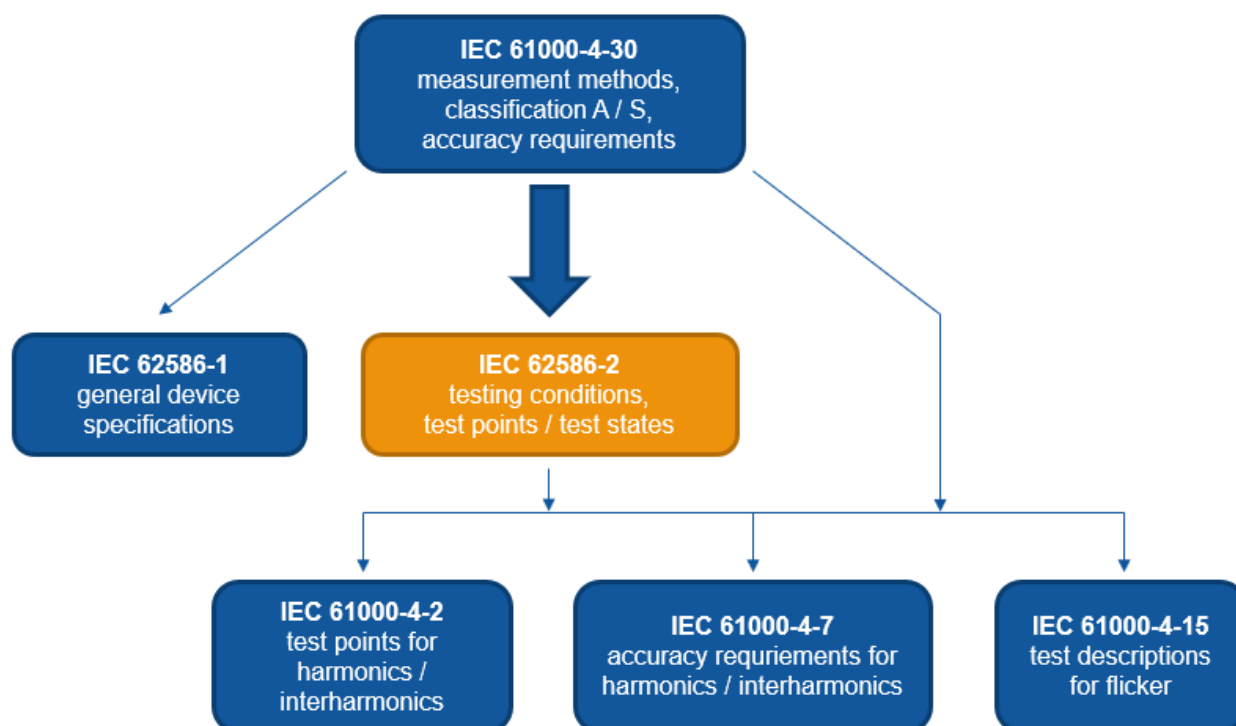
- oznaczanie wartości pomiaru ze względu na występowanie zdarzeń napięciowych;
- dokładność zegara wewnętrznego;
- zmiany wielkości wpływu czynników zewnętrznych.

Skutki niewystarczającej jakości energii rozciągają się od zakłóceń, poprzez przestoje, aż do zniszczenia urządzeń podłączonych do sieci elektroenergetycznej. Główną przyczynę szkód finansowych stanowią w szczególności zapady i krótkie przerwy, jak również udary i stany nieustalone powstające w środowisku przemysłowym [1].

### 3 Testowanie przyrządów do badania jakości energii

#### 3.1 Normy dotyczące testowania przyrządów badających jakość energii

Normatywne warunki podstawowe dla testów przyrządów do badania jakości energii zdefiniowano w ramach różnych norm IEC. Może to być mylące w pewnym stopniu i dlatego też opisano krótko tę kwestię poniżej i przedstawiono graficznie (Figure 1). Podstawę standaryzacji pomiarów jakości energii stanowi norma IEC 61000-4-30, w której zdefiniowano podstawowe metody oraz określono klasyfikację urządzeń (klasa A lub S), włącznie z wymaganą dokładnością. Ta norma przywołuje normę IEC 62586-1 w przypadku ogólnych specyfikacji urządzeń oraz normę 62586-2 w przypadku faktycznego opisu (typu) sygnałów testujących. W niektórych wyjątkowych przypadkach, w procedurze testowej należy uwzględnić dodatkowe normy – IEC 61000-4-2, 61000-4-7 i 61000-4-15.



Rysunek 1: Podstawy testów przyrządów badających jakość energii wg norm IEC

#### 3.2 Ustawienia testu

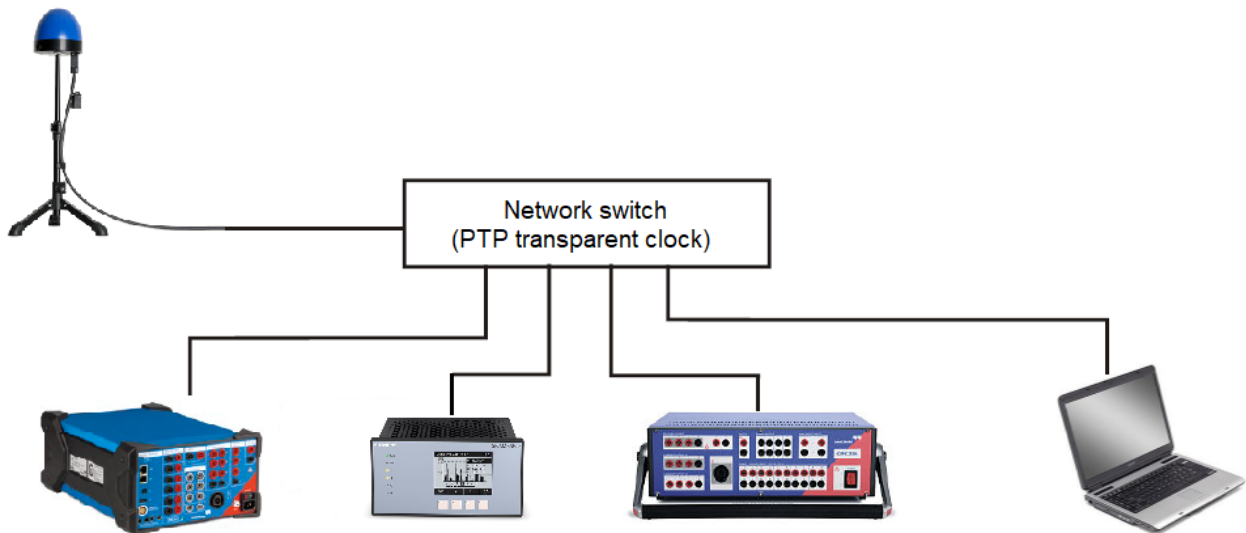
Typowe wymagania dla testera przy testowaniu urządzeń badających jakość energii to:

- 3 kanały wyjściowe napięcia;
- 3 kanały wyjściowe prądu;
- wysoka dokładność (odpowiadająca klasie przyrządu do badania jakości energii, który będzie poddawany testom);
- moduły oprogramowania, które ułatwiają poprawną symulację zjawisk z zakresu jakości energii;
- tester musi być zdolny do pracy z planami testów zautomatyzowanych;
- testy mogą być rozpoczynane w sposób zsynchronizowany i uruchamiane za pomocą sygnału czasowego.

W przypadku niektórych testów, synchronizacja testera i przyrządu badającego jakość energii jest warunkiem koniecznym. Jest tak, na przykład, w przypadku oceny krótkotrwałego migotania  $P_{st}$  lub

niepewności zegara. W przypadku wielu innych testów synchronizacja nie jest obowiązkowa, ale bardzo pomaga w płynnej realizacji procedury testowej i ułatwia ocenę wyników.

Wykonując badania praktyczne w ramach przygotowywania niniejszej pracy, używaliśmy testerów OMICRON CMC 256plus i CMC 430, ponieważ oba te urządzenia spełniają wymagania dotyczące dokładności dla testów przyrządów badających jakość energii klasy A. Testowanymi urządzeniami były Siemens SICAM Q200 oraz Eberle PQI-DA (oba klasy A wg normy IEC 61000-4-30). Dla zapewnienia synchronizacji czasu podłączono urządzenie CMGPS 588. W wielu testach, w celu uzyskania pomiarów referencyjnych, dodano do konfiguracji urządzenie CMC 430 z wbudowaną funkcją Enerlyzer Live. Kompletną konfigurację testu przedstawia Figure 2.



Rysunek 2: Konfiguracja testu do badania przyrządów jakości energii: CMGPS (u góry), CMC 430 (po lewej), SICAM Q200 (w środku), CMC 256plus (po prawej), komputer (ilustracja własna, źródło poszczególnych rysunków OMICRON [3] oraz Siemens [4]).

### 3.3 Szablony testu

Wykonywanie i ocenianie testów przyrządów do badania jakości energii może być dość skomplikowane. Dlatego też opracowano szczegółowe plany testów, które objaśniają przeprowadzane badanie i dostarczają użytkownikowi wytyczne w zakresie oceny. Zawierają one wszystkie informacje potrzebne do przeprowadzenia testu, takie jak ustawienia testera, a także konfiguracja testowanego obiektu i oczywiście sygnałów testowych.

Plany testu można automatycznie dostosowywać do zdefiniowanego napięcia znamionowego i częstotliwości znamionowej przyrządu, który ma być testowany.

Dzięki tym szablonom użytkownik może zacząć test od razu. Użytkownik może łatwo przeprowadzić i ocenić każdy test, nawet jeżeli nie posiada głębszej wiedzy na temat ram normatywnych przedstawionych w rozdziale 3.1. Szablony automatycznie przeprowadzą użytkownika przez wszystkie potrzebne testy, przerywając jedynie przy wyświetlaniu okien dialogowych programu o charakterze informacyjnym. Każdy szablon umożliwia użytkownikowi wprowadzanie konkretnych wpisów dla wykorzystywanego testera, a także dla testowanego obiektu. Ponadto realizowane testy mogą być dostosowywane do dowolnych specjalnych zastosowań; istnieje możliwość wprowadzania indywidualnych zmian (np. kroków testowych, które mają być wykonane, okresów czasowych przed incydentem lub danych związanych ze zjawiskami takimi jak amplituda migotania).

### 3.4 Ocena

W przeciwieństwie do testów zabezpieczeń, dla których wynik testu zależy od sygnału binarnego, ocena badania jakości energii wymaga większego wysiłku. W niektórych przypadkach użytkownik może uzyskać wartości mierzone istotne dla oceny po prostu poprzez odczyt licznika z wyświetlacza przyrządu badającego jakość energii. Jednak w większości scenariuszy testowych ocenę przeprowadza się w oparciu o odczyt zmierzonych i obliczonych wartości z pamięci miernika jakości energii. Co więcej, istnieją testy, w których do sformułowania oceny jest niezbędne dalsze przetwarzanie istotnych danych.

Utworzone szablony testu będą automatycznie pytać użytkownika o ocenę każdego testu. Test można ocenić jako *Zaliczony/Niezaliczony/Nieoceniony*. Zawsze istnieje możliwość zmiany oceny w późniejszym terminie, poprzez wybór opcji *oceny ręcznej*. Dlatego też naszym zaleceniem jest oznaczanie testów jako *Nieocenione* w pierwszym etapie. Później, w drugim etapie, przy użyciu dodatkowych narzędzi, takich jak program MS Excel, można dokonać ostatecznej oceny.

Szablony testu zapewniają użytkownikowi wsparcie w zakresie oceny, włącznie z arkuszem kalkulacyjnym programu Excel, służącym do dalszej obróbki danych uzyskanych podczas testu. Dzięki temu użytkownik może dokonać oceny szybciej, bez czasochłonnego odwoływania się do zawartości norm.

## 4 Badania typu i testy akceptacyjne zgodne z IEC 62586

Udostępniono już niektóre plany testów opracowane dla wcześniejszej wersji normy IEC 62586. W pierwszym etapie uaktualniono i rozszerzono te testy, tak aby objęły wszystkie badania zdefiniowane w IEC 62586-2. Ominięto jedynie kilka testów, np. do badania wpływu temperatury. Do szablonów dołączono podręcznik użytkownika, który zapewnia dodatkowe wsparcie podczas testowania przyrządów badających jakość energii.

Wspomniane wcześniej okna dialogowe programu, które dostarczają użytkownikowi kluczowych informacji przy każdym teście, powinny sprawić, że będzie zbyt ciężkie czytanie tekstu norm IEC. Jednocześnie struktura każdego szablonu jest zgodna z odpowiednim rozdziałem normy IEC 62586-2. To samo dotyczy numeracji i nazewnictwa testów. A zatem, jeżeli użytkownik będzie potrzebował dodatkowych informacji, będzie mógł je szybko znaleźć.

Umożliwia to wykonywanie badań typu i testów akceptacyjnych. Oczywiście takie testy są przeprowadzane przede wszystkim przez producentów przyrządów do badania jakości energii lub przez duże przedsiębiorstwa energetyczne w przypadku wstępnej kwalifikacji konkretnych przyrządów. Jednak łatwość użycia, prostota konfiguracji testu i możliwość wykorzystania zestawów testowych, które są już dostępne do testowania zabezpieczeń, poszerza grupę potencjalnych użytkowników. W rozdziale 5 omówiono, w jaki sposób można wykorzystać odpowiedni podzestaw tych testów do badań obiektowych podczas uruchomień lub prac serwisowych.

### 4.1 Przykłady scenariuszy testowych

Większość wymaganych warunków badania można spełnić w oparciu o proste charakterystyki kształtów sygnałów, takie jak zmiany krokowe, sekwencje lub wariacje jednego lub dwóch parametrów napięcia lub prądu. Istnieje również możliwość przedstawienia pozornie skomplikowanych sygnałów jak w poniższym równaniu pochodzącym z IEC 62586-2 [5]:

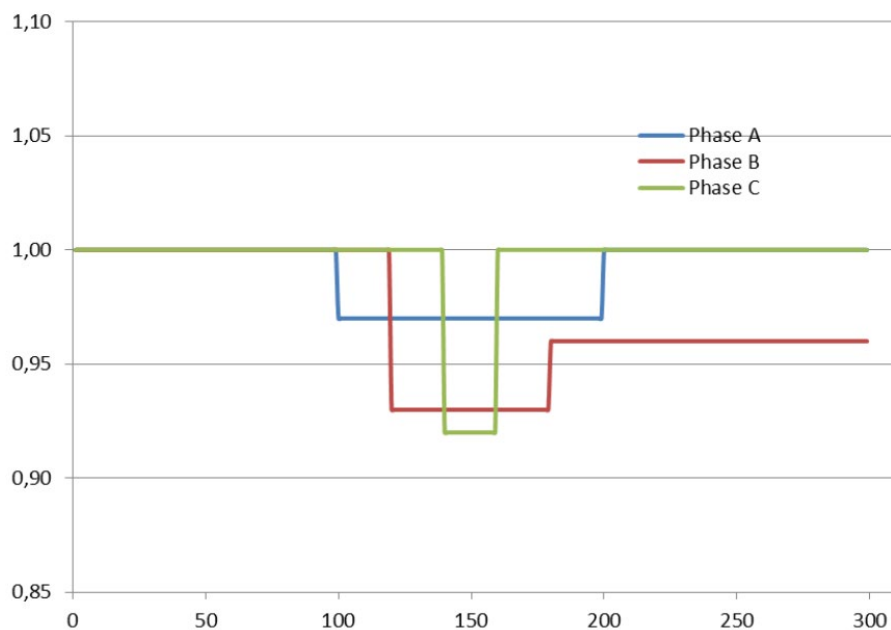
$$u_H(t) = \sqrt{2}U_{din} \cdot \cos(2\pi f_n t + \varphi_n) + [1 + A_m \cdot \cos(2\pi f_m t + \varphi_m)] \cdot 0,1 \cdot \sqrt{2}U_{din} \cdot \cos(2\pi M f_n t + \varphi_M) \quad (1)$$

gdzie:	$u_H(t)$	napięcie w funkcji czasu, indeks $H$ dla zawartości harmonicznych	V
	$U_{din}$	napięcie znamionowe	V
	$f_n, f_m$	częstotliwość znamionowa, częstotliwość modulująca	Hz

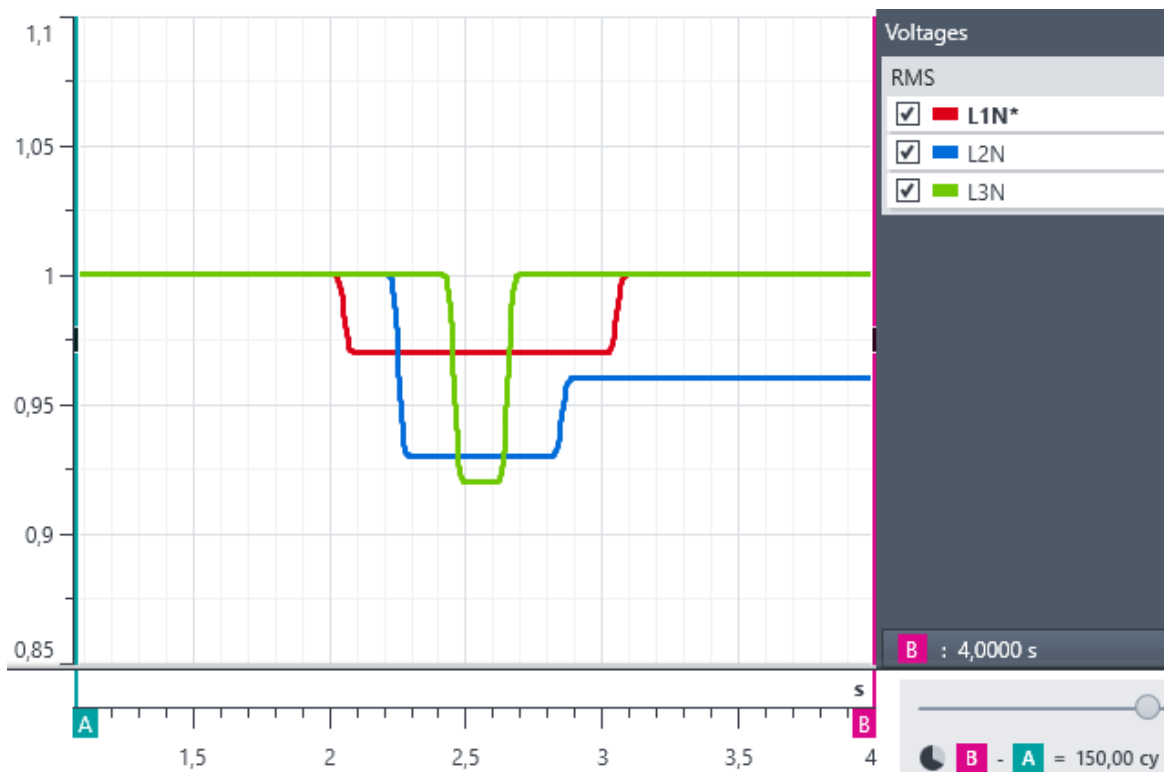
$\varphi_n, \varphi_m, \varphi_M$	faza sygnału podstawowego, modulującego, harmonicznego	°
$A_m$	amplituda sygnału modulującego	V
$M$	Numer harmonicznej	-

„Tłumaczenie” tego wzoru brzmiałoby następująco: wielkość wyjściowa napięciowego sygnału harmonicznego przy określonej harmonicznej, która jest modulowana z częstotliwością  $f_m$  i dodawana do napięcia znamionowego.

Przeprowadziliśmy pomiary referencyjne dla wielu sygnałów testowych celem sprawdzenia, czy dokładność i synchronizacja sygnału wyjściowego spełnia wymagania podane w normie. Figure 3 pokazuje przykładowy scenariusz testowy, jak opisano w normie, natomiast Figure 4 prezentuje taki sam sygnał wyjściowy testera.



Rysunek 3: Sygnał testowy zgodnie z opisem podanym w normie; oś x – czas w półokresach; oś y – napięcie w pu (źródło: IEC 62586-2 [5])



Rysunek 4: Sygnał testowy przy pomiarze referencyjnym

## 4.2 Wnioski z testowania przyrządów do pomiaru jakości energii z użyciem szablonów

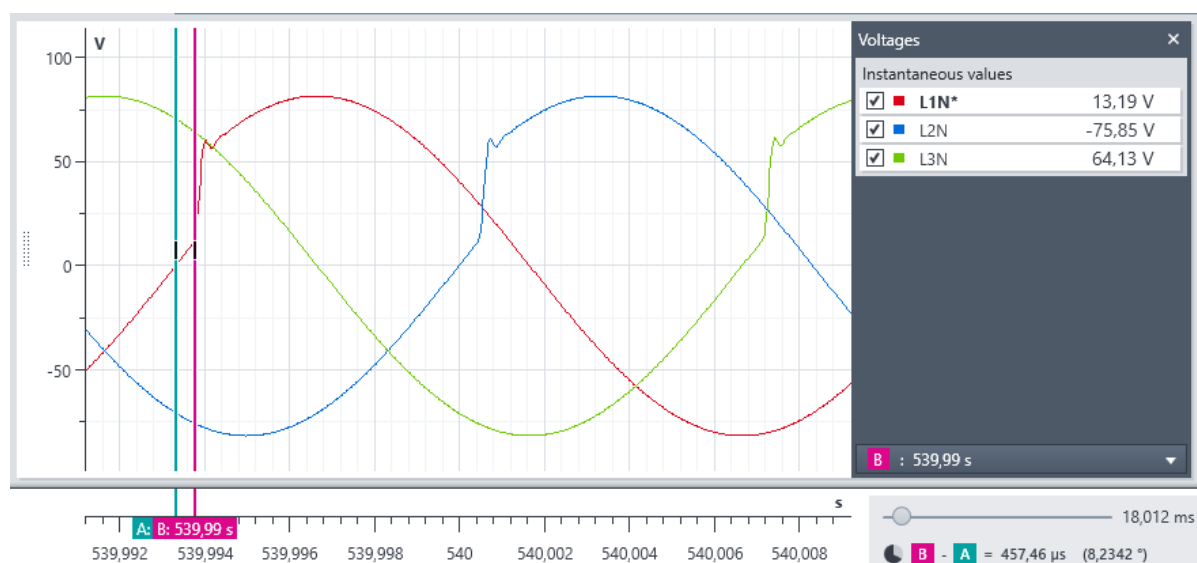
Pierwszym wnioskiem ogólnym jest to, że szablony zostały wdrożone prawidłowo i można je zrealizować. Sygnały testowe generowane przy ich użyciu są zgodne z wymaganiami. Następnie ustalono, że przeprowadzenie i ocena wszystkich testów zdefiniowanych w normie IEC 62586-2 zajmuje około dwóch tygodni (nawet przy oszczędności czasu uzyskanej dzięki szablonom).

Bardziej szczegółowe obserwacje dotyczą synchronizacji czasu i prawidłowego dopasowania *czasów przed incydem i po nim*. Synchronizacja czasu i rozpoczynanie testów przy użyciu sygnału czasowego sprawiają, że ocena zmierzonych wartości jest znacznie łatwiejsza. W przypadku niektórych testów jest konieczne użycie zewnętrznego źródła czasu. Są to na przykład wszystkie testy, w których jest mierzony *ciągły, nienakładający się sygnał*, ponieważ musi być poddana ocenie określona sekwencja wartości pomiaru. Jest to również konieczne dla wszystkich rodzajów testów *agregacji mierzonych wartości*, które muszą się rozpoczynać przy kolejnych pełnych dziesięciu minutach. Sygnał przed incydem (*czas przed incydem*) i sygnał po incydencie (*czas po incydencie*) mają wartości znamionowe i reprezentują normalny stan sieci elektroenergetycznej. W przypadku większości testów, w których są oceniane wartości chwilowe, te czasy są mniej ważne, ze względu na wysoką częstotliwość i dokładność pomiaru analizatorów jakości energii. Są jednak testy, takie jak test krótkotrwałego migotania  $P_{st}$ , dla których jest niezbędne zdefiniowanie *czasu przed incydem*. Dzieje się tak dlatego, że wartość  $P_{st}$  jest określana na przestrzeni dziesięciu minut i raptowna zmiana sygnału wyjściowego od zera do określonej wartości sygnału testowego spowodowałaby uzyskanie nieprawidłowych wartości pomiaru. W tym kontekście podobnym problemem jest fakt, że wymagana dokładność dla maksymalnego migotania chwilowego  $P_{inst,max}$  jest osiągnięta po raz pierwszy po kilku minutach stałego podawania sygnału incydemtu. Co więcej, ten czas ustalania różni się dla różnych przyrządów badających jakość energii, które poddawaliśmy testom.

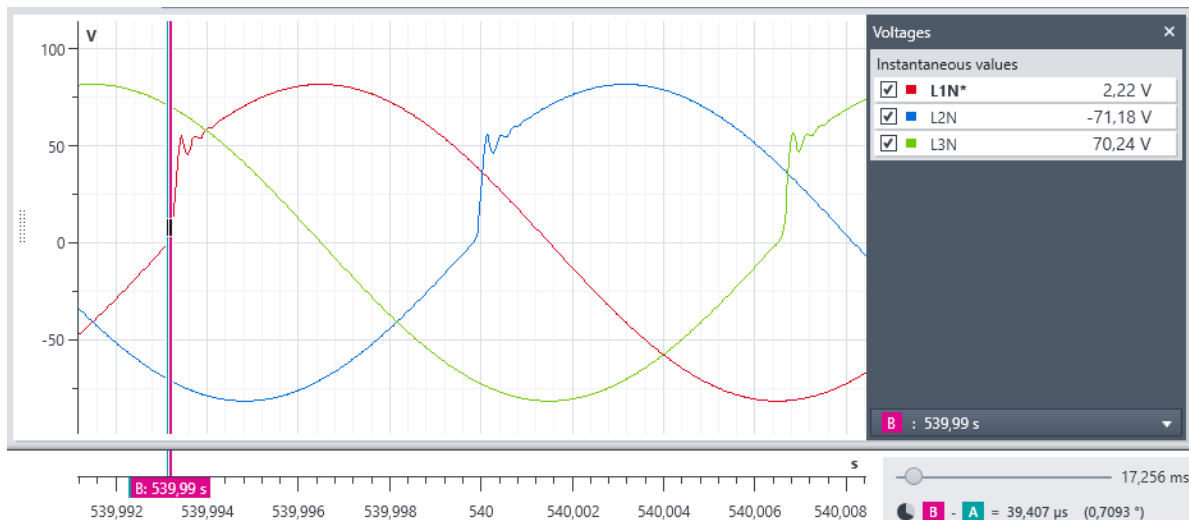
### 4.3 Ograniczenia i możliwości poprawy

Określiłiśmy różne ograniczenia sprzętu używanego w konfiguracjach testu, a także oprogramowania.

- Głównym problemem dotyczącym użytego oprogramowania *Test Universe* jest fakt, że moduł testowy przeznaczony do badania zjawisk związanych z jakością energii oferuje ograniczone ustawienia i opcje testów dla niektórych sygnałów testowych, a także dla składowych harmonicznych i interharmonicznych prądu. Te testy zostały dodane w ostatniej wersji normy i najwyraźniej moduł PQ nie został jeszcze odpowiednio rozbudowany.
- Napięcie pomocniczego wyjścia napięciowego DC testera CMC 256plus jest ograniczone do wartości 264 V DC. W zależności od urządzenia, które ma być poddawane badaniom, w jednym z testów może być potrzebne wyższe napięcie wyjściowe (może być konieczne zastosowanie dodatkowego standardowego źródła napięcia DC).
- Norma definiuje preferowane napięcia i prądy znamionowe dla przyrządów badających jakość energii (włącznie z przyrządami podłączanymi bezpośrednio). I znów, zależnie od danego przyrządu do badania jakości energii, zakres amplitud napięcia na wyjściu może być niewystarczający w przypadku podłączanych bezpośrednio mierników jakości energii. Jednak w przypadku najbardziej powszechnych rodzajów przyrządów badających jakość energii, włącznie ze wszystkimi przyrządami tego typu podłączanymi za pośrednictwem przekładników, ten problem nie występuje.
- Wewnętrzny zegar systemowy testera CMC 256plus dla wyjścia wielkości analogowych ma częstotliwość 10 kHz. Oznacza to, że analogowe sygnały testowe są generowane co 0,1 ms. W przypadku testów przeprowadzanych dla skoków fazy, każdy z nich następuje dla każdej fazy dokładnie w punkcie przekraczania wartości zerowej – należy brać to pod uwagę. Przy częstotliwości 50 Hz oznacza to opóźnienie pomiędzy fazami równe 6,67 ms ( $t = \frac{1}{3} \cdot 20 \text{ ms} = 6,6\bar{6} \text{ ms}$ ). W tym przypadku, na etapie definiowania testu (szablonu), należy dokonać świadomego zaokrąglenia. Figure 5 pokazuje sygnały wyjściowe:
  - a) bez odpowiedniego zaokrąglenia. Skoki fazy nie następują dokładnie w punkcie przekraczania wartości zerowej.
  - a) z odpowiednim zaokrągleniem. W tym przypadku pozostałe opóźnienie bez żadnym wątpliwości mieści się w granicach dokładności dla testowania przyrządów klasy A badających jakość energii.







Rysunek 5: Sygnały wyjściowe przy testach skoków fazy; a) bez odpowiedniego zaokrąglenia (na górze); b) z odpowiednim zaokrągleniem (na dole)

## 5 Badania okresowe

Podczas instalacji lub w ramach badań okresowych liczba scenariuszy testowych musi być znacząco mniejsza. Czas trwania testu trzeba skrócić z dwóch tygodni do ok. dwóch godzin (podobnie do czasów trwania testów zabezpieczeń).

Najpierw wykluczaliśmy testy, które nie są przydatne podczas instalacji lub w ramach badań okresowych, opierając się na następujących kryteriach:

- Sprawdzenie metody pomiarowej: testowanie poprawności zastosowanej metody pomiaru jest częścią badania typu. Dla użytkownika końcowego precyzja pomiaru wartości jest ważniejsza niż leżąca u jej podstaw metoda pomiarowa.
- Przewidywalny wynik: jeżeli nie ma ku temu uzasadnionych przesłanek, nie zalecamy przeprowadzania testów o przewidywalnych wynikach; np. test bez zastosowania zniekształceń harmonicznych nie da wyniku pomiaru THDS znacząco różnego od wartości zerowej.
- Znaczenie praktyczne: test nie jest praktyczny, jeżeli użytkownik nie potrafi zrozumieć i zinterpretować jego oceny lub gdy istnieje bardzo mało przypadków zastosowania testu. Przykładowo warunki badania przy napięciu o wartości 10% napięcia znamionowego i temperaturze  $-10^{\circ}\text{C}$  rzadko będą występować w budynku stacji. A jeżeli wystąpią takie okoliczności, to ważniejsze będą inne problemy niż dokładność przyrządów do badania jakości energii.
- Stosowalność: testy przy określonych warunkach środowiskowych nie mogą być odtworzone podczas badań na obiekcie.

W kolejnym kroku oceniono każdy test, biorąc pod uwagę jego czas trwania, złożoność i znaczenie, aby uzyskać ostateczną punktację określającą znaczenie testu dla badania okresowego. W efekcie dokonano wyboru testów o całkowitym czasie trwania ok. jednej godziny (sam czas trwania: bez oceny, czytania okien dialogowych itp.). Tę minimalną listę testów pokazuje Figure 6. Przy aktualnym stanie naszej wiedzy, jest to jedynie podstawa do dalszych dyskusji.

Template	Topic	Number	Description
6.1	Frequency	A1.2.2	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.2	Voltage magnitude	A2.2.2	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.3	Flicker	F6.2.1	Check response characteristic for sinusoidal and rectangular voltage changes
6.3	Flicker	F6.2.2	Check response characteristic for sinusoidal and rectangular voltage changes
6.4	Swells, dips	A4.1.2 a)	Check amplitude and duration accuracy for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.2 b)	Check amplitude and duration accuracy for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.3 a)	Check threshold for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.3 b)	Check threshold for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.3 c)	Check threshold for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.3 d)	Check threshold for swells and dips
6.5	Voltage unbalance	A5.1.4	Check accuracy of voltage unbalance measurement
6.6	Voltage harmonics	A6.2.1	Check measuring uncertainty – single even harmonic
6.6	Voltage harmonics	A6.2.2	Check measuring uncertainty – single odd harmonic
6.6	Voltage harmonics	A6.2.3	Check measuring uncertainty – single high harmonic
6.6	Voltage harmonics	A6.2.4	Check measuring range – low end
6.6	Voltage harmonics	A6.2.5	Check measuring range – high end
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.2	Check measuring uncertainty – single low order interharmonic
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.3	Check measuring uncertainty – single medium order interharmonic
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.4	Check measuring uncertainty – single high order interharmonic
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.5	Check measuring range – low end
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.6	Check measuring range – high end
6.8	MSV	A8.2.1 a)	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.8	MSV	A8.2.2 a)	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.8	MSV	A8.2.3 a)	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.13	RVC	A13.4.1	Check correct detection of RVC in a polyphase system
6.14	Current magnitude	A14.2.2	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.15	Current harmonics	A15.2.1	Check measuring uncertainty – single even harmonic
6.15	Current harmonics	A15.2.2	Check measuring uncertainty – single odd harmonic
6.15	Current harmonics	A15.2.3	Check measuring uncertainty – single high harmonic
6.15	Current harmonics	A15.2.4	Check measuring range – low end
6.15	Current harmonics	A15.2.5	Check measuring range – high end
6.16	Current interharmonics	A16.2.2	Check measuring uncertainty – single low order interharmonic
6.16	Current interharmonics	A16.2.3	Check measuring uncertainty – single medium order interharmonic
6.16	Current interharmonics	A16.2.4	Check measuring uncertainty – single high order interharmonic
6.16	Current interharmonics	A16.2.5	Check measuring range – low end
6.16	Current interharmonics	A16.2.6	Check measuring range – high end
6.17	Current unbalance	A17.1.5	Check accuracy of current unbalance measurement

Rysunek 6: Wybór testów do badań okresowych przyrządów badających jakość energii (IEC 62586-2)

## 6 Podsumowanie i kolejne kroki

W 17 szablonach testowych stworzonych z myślą o przejrzystości, użyteczności i przyjazności dla użytkownika, zaimplementowano około 250 pojedynczych testów dla przyrządów do badania jakości energii. Wraz z 90-stronicowym podręcznikiem użytkownika powinno to umożliwić przeprowadzenie wszystkich rodzajów testów na przyrządach badających jakość energii wymienionych w IEC 62586-2, w sposób zgodny z IEC 61000-4-30, osobom niebędącym specjalistami z zakresu jakości energii.

Dodatkowo przedstawiono szkic dla przyszłych badań okresowych przyrządów jakości energii. Obejmuje on przede wszystkim testy, których wynik i ocena są znaczące i ważne dla użytkowników końcowych, zarówno dla przedsiębiorstw energetycznych, jak i dla klientów przemysłowych.

Kolejnym krokiem będzie dalszy rozwój koncepcji badań okresowych. Aktualny wybór testów powinien zostać uzasadniony i dopracowany w sposób naukowy. Poszukujemy partnerów, którzy będą chcieli współpracować z nami przy praktycznej weryfikacji naszych ustaleń podczas testów terenowych. Naszym celem jest sprawdzenie, czy wybrane scenariusze testowe nadają się do realizacji w terenie i czy zapewniają wymagane rezultaty dotyczące działania i dokładności używanych przyrządów do badania jakości energii.

## **Bibliografia**

- [1] J. Manson i R. Targosz, „European Power Quality Survey Report,” Leonard Energy, 2008.
- [2] R. Targosz i D. Chapman, „The Cost of Poor Power Quality,” Leonardo Energy, 2015.
- [3] OMICRON, CMGPS 588 User Manual, Klaus: OMICRON, 2015.
- [4] Siemens, „Siemens.com,” 2019. [Online]. Available: <https://new.siemens.com/global/de/produkte/energie/energieautomatisierung-und-smart-grid/netzqualitaet-und-messung/netzqualitaetsrekorder-sicam-q200.html>. [Data uzyskania dostępu: 21. Januar 2019].
- [5] IEC, 62586-2:2017 Power quality measurement in power supply systems - Part2: Functional tests and uncertainty requirements, Geneva: IEC, 2017.

OMICRON to firma międzynarodowa służąca branży elektroenergetycznej innowacyjnymi rozwiązaniami w zakresie testowania i diagnostyki. Zastosowanie produktów firmy OMICRON pozwala użytkownikowi z dużą dozą pewności ocenić stan urządzeń podstawowych i dodatkowych zainstalowanych w systemie. Gamę produktów uzupełniają usługi w obszarze konsultacji, uruchomień, testowania, diagnostyki i szkoleń.

Klienci w ponad 160 krajach polegają na zdolności firmy do dostarczania najnowocześniejszej technologii o doskonałej jakości. Nasze centra serwisowe na wszystkich kontynentach zapewniają dostęp do obszernej bazy wiedzy oraz doskonałej obsługi klienta. Wszystko to, w połączeniu z rozległą siecią partnerów handlowych, sprawia, że nasza firma jest liderem w branży elektroenergetycznej.

Szczegółowe informacje, dodatkowe publikacje oraz dane kontaktowe naszych oddziałów na całym świecie można znaleźć na naszej stronie internetowej.