

Potrzeba ujednolicenia funkcjonowania automatyki opartej o kryterium częstotliwościowe

Mariusz Talaga – SPIE Energotest
Adrian Halinka – Politechnika Śląska

Streszczenie

W referacie zwrócono uwagę na trudności z wyborem odpowiedniego algorytmu pomiaru częstotliwości w Systemie Elektroenergetycznym (SEE), oraz na potrzebę wypracowania kompromisu pomiędzy dokładnością estymacji, szybkością odpowiedzi i odpornością na zakłócenia algorytmów dla poszczególnych przypadków zastosowania. Obserwuje się podejmowanie działań w celu ujednolicenia wymagań poprzez wprowadzenie kodeksów sieciowych, jednak określone w nich wymagania nie są wyczerpujące. Zauważono próbę ujednolicenia wymagań poprzez wprowadzenie kodeksów sieciowych, oraz zasygnalizowano, że wymagania te nie są wyczerpujące. Następnie opisano stan normalizacji w zakresie pomiaru częstotliwości w SEE, szczególnie dla funkcji Elektroenergetycznej Automatyki Zabezpieczeniowej (EAZ). Przytoczono wybrane parametry, które powinny być określone dla urządzeń EAZ realizujących funkcje częstotliwościowe, oraz zwrócono uwagę na potrzebę ujednolicenia metod badawczych w tym zakresie.

1. Wstęp

W systemie elektroenergetycznym (SEE) znajomość estymaty aktualnej wartości częstotliwości składowej podstawowej (pierwszej harmonicznej) lub jej odchył od wartości znamionowej ma istotne znaczenie nie tylko dla poprawnej realizacji funkcji: pomiarowej, zabezpieczeniowej, sterującej czy regulacyjnej, ale jest również ważną informacją wykorzystywaną do opisu aktualnego stanu pracy SEE, np. jego stabilności kątowej, kołysań mocy, obszarowego niezbalansowania mocy czynnej itd.

Zastosowanie techniki cyfrowej w szeroko rozumianej AEE skutkuje pojawieniem się wielu rozwiązań sprzętowych z zaimplementowanymi algorytmami pomiarowymi wyznaczającymi estymaty częstotliwości. Z punktu widzenia cyfrowych rozwiązań automatyki zabezpieczeniowej, sterującej czy regulacyjnej istotnymi czynnikami oceniającymi przydatność i skuteczność danego algorytmu pomiaru częstotliwości są, m.in.:

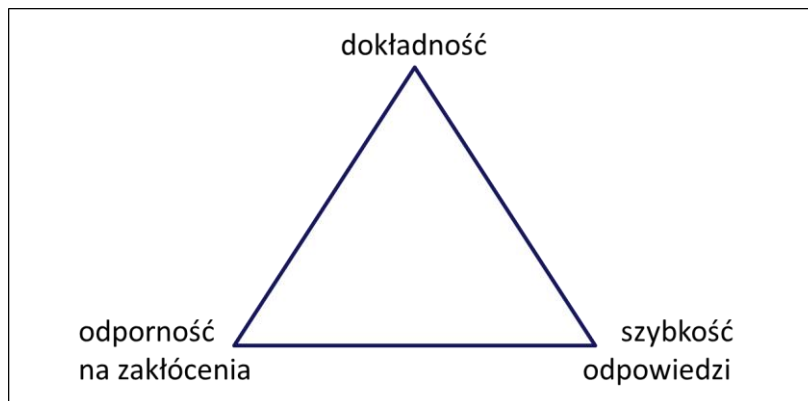
- wrażliwość algorytmów na obecność w sygnałach wejściowych składowych zakłócających, szczególnie w postaci wyższych harmonicznych i składowej aperiodycznej,
- zakres częstotliwości w którym algorytm zapewnia dostateczną dokładność pomiaru,
- długości okien pomiarowych niezbędnych dla uzyskania założonych dokładności pracy algorytmów wyznaczenia częstotliwości; z zagadnieniem tym wiąże się bezpośrednio czas uzyskania stabilnej odpowiedzi algorytmu po chwilowym zaburzeniu sygnałów wejściowych, np. wskutek zakłócenia zwarcowego,
- stopień komplikacji algorytmu i związany z tym nakład obliczeń.

2. Trudności z wyborem algorytmu pomiaru częstotliwości

Zabezpieczenia cyfrowe mogą realizować różne formy algorytmów wyznaczających estymatę częstotliwości w zależności od „przeznaczenia” uzyskanych wyników pomiaru. Projektując urządzenia automatyki konstruktorzy muszą dokonać wyboru odpowiedniego algorytmu i parametrów jego pracy spośród bogatego zbioru oferowanych metod [1], [2]. Należy przy tym wypracować pewien kompromis pomiędzy wzajemnie skorelowanymi własnościami algorytmów, m.in.: czas własny algorytmu określający jego dynamikę, dokładność, nakład obliczeniowy, odporność na zakłócenia sygnału pomiarowego, zakres częstotliwości pracy, wrażliwość na szybkości zmian częstotliwości itp.

Można przy tym z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że w każdym z produkowanych urządzeń EAZ czy nawet w każdym z dostępnych typów urządzeń w związku z postępem technologicznym może być zaimplementowany inny algorytm. Często jego realizacja i właściwości są objęte tajemnicą i stanowią pewnego rodzaju przewagę konkurencyjną. Należy tu podkreślić, że potrzeba estymacji częstotliwości we współczesnych zabezpieczeniach wynika nie tylko z stosowanych w nich często członów częstotliwościowych o stosunkowo długich czasach własnych, ale również jest wykorzystywana do adaptacji cech filtrów cyfrowych zastosowanych w realizacji innych znacznie „szybszych” funkcji zabezpieczeniowych.

Zmienność częstotliwości sygnałów pomiarowych wydaje się być jednym z najistotniejszych czynników wpływających na błędy algorytmów pomiarowych. Tymczasem obszar ten jest słabo zdefiniowany poprzez odpowiednie normy, które zazwyczaj właściwie definiują jedynie zakres częstotliwości pracy algorytmów. Informacje te są daleko niewystarczające dla zastosowań, od których wymaga się selektywnego działania automatyki, szczególnie działającej współbieżnie lub stopniowo, przy zmiennej częstotliwości. Z tych względów trudno jednoznacznie określić działanie automatyki elektroenergetycznej na wydzielonym obszarze sieciowym, gdzie, np. można spodziewać się liniowej lub quasi liniowej zmiany częstotliwości z towarzyszącą jej skokową zmianą kąta (w momencie wydzielenia obszaru sieciowego), obecności oscylacji wynikających z kołysań mocy, oraz prawdopodobną obecnością wyższych harmonicznych.



Rys. 1. Trójkąt przedstawiający wymóg kompromisu pomiędzy cechami algorytmów pomiarowych

3. Automatyka wykorzystująca kryterium częstotliwościowe

Częstotliwość jest jednym z parametrów identyfikacji stanu pracy SEE, której wartość jest praktycznie stała dopóki praca systemu ma charakter integralny (synchroniczny). W dużym systemie, jakim jest europejski system ENTSO-E trudno wyobrazić sobie sytuację, w której następuje znaczna zmiana częstotliwości np. większa niż 1 Hz. Taki stan pracy systemu wiązałby się z niezbilansowaniem mocy czynnej na poziomie kilkudziesięciu GW. Zatem w KSE w normalnych warunkach jego funkcjonowania można spodziewać się pracy urządzeń EAZ z sygnałami pomiarowymi częstotliwościowo bliskimi znamionowym. Znaczne zmiany częstotliwości mogą wystąpić w wyniku podziału systemu na wydzielone struktury (podsystemy) o różnym stopniu zbilansowania mocowego. W tych sytuacjach selektywność działania EAZ jest szczególnie pożądana ze względu na zagrożenie tzw. blackoutem, a zarazem jej uzyskanie jest utrudnione, np. z powodu nieznanych mocy zwarciovych i poziomu niezbilansowania wydzielonego obszaru, przy zmieniającej się częstotliwości i możliwych kołysaniach mocy.

Kryterium nad- i podczęstotliwościowe najczęściej wykorzystywane jest w zabezpieczeniach źródeł energii, natomiast podczęstotliwościowe do realizacji automatyki SCO, czy zabezpieczeń od przewzbudzenia. Kryterium to może służyć również do blokowania innej automatyki, np. SZR, czy blokada załączania dużych odbiorów. Funkcja ta jest rzadziej stosowana, pomimo jest istotności dla wydzielonych obszarów sieciowych. Spośród wymienionych zastosowań najbardziej wymagająca wydaje się być automatyka SCO. Ze względu na swój obszarowy charakter i dynamikę procesu, wymaga się od niej jednolitego, określonego przez operatora SEE działania, niezależnie od modelu urządzenia, a tym samym od zastosowanego algorytmu pomiaru częstotliwości.

Już wiele lat temu zauważono konieczność zapewnienia spójności działania automatyki SCO. Przykładem może być wykonana na zlecenie EPC w 2005 r. analiza działania przekaźników realizujących automatykę SCO stosowanych w KSE [3]. Analiza ta wskazuje na rozbieżności w implementacji funkcji podczęstotliwościowych w różnych modelach urządzeń. We wnioskach akcentuje się konieczność ujednolicenia wymagań.

Po dokonaniu oceny stanu automatyki odciążającej stosowanej w europejskim systemie [4], dostrzeżono m.in. problem nieselektywnego jej działania, oraz postuluje się potrzebę badania automatyki SCO. Istotnym krokiem jest określenie wymaganego czasu jej działania (własnego) poniżej 100 ms. Nieco odmienne podejście można spotkać np. w standardach NERC (USA) [5], określa się w nich całkowity czas działania automatyki SCO (do faktycznego wyłączenia) na poziomie 300 ms, w warunkach spadku częstotliwości z szybkością 0,2 Hz/s.

4. Próba ujednolicenia wymagań automatyki SCO

Wykorzystanie urządzeń wykorzystujących kryterium częstotliwościowe do realizacji różnych funkcji w SEE z jednej strony, a różnorodność algorytmów używanych do estymacji częstotliwości z drugiej strony wskazuje na potrzebę ujednolicenia wymagań w tym zakresie.

Według autorów, często wymagania stawiane przez akty prawne lub poszczególnych operatorów są niepełne lub nieprecyzyjne, określonych jest zwykle tylko kilka parametrów bez podania metodyki i warunków przeprowadzenia badań. Przykładowo, wymagania wynikające z kodeksu sieciowego NC DCC [6] dla urządzeń realizujących automatykę SCO określają jedynie zakresy nastaw częstotliwości dla poszczególnych progów zadziałania oraz czasu realizacji funkcji łącznie z czasem wyłącznika. Nie zdefiniowano natomiast tak istotnych wymagań jak określenie dokładności pomiaru częstotliwości czy zakresów pomiarowych.

Częstotliwość jest cechą charakterystyczną sygnałów pomiarowych pozyskiwanych z SEE, która jest jednakowa dla całego połączonego obszaru synchronicznego. Pewne różnice w poszczególnych obszarach sieciowych są powiązane z lokalną zmianą kątów, co obserwowalne jest jako zmiana częstotliwości. Stąd wynika potrzeba spójnego działania różnego rodzaju automatyki opartej o kryterium częstotliwościowe. W dalszej części rozważono wymagania dla automatyki odciażającej SCO.

Przedstawienie wymagań dla SCO w kodeksach sieciowych jest pozytywne w tym sensie, że jest pewną próbą ich ujednolicenia na całym obszarze poszczególnych operatorów – wydaje się jednak daleko niewystarczające i stwarzające problemy z certyfikacją urządzeń. Przykładem może być obligatoryjna maksymalna wartość czasu zadziałania ustalona na 150 ms, wartość ta jest sumą czasu własnego urządzenia EAZ i czasu zadziałania wyłącznika. Trudno jest zatem określić kryteria akceptacji tylko dla urządzenia EAZ z powodu braku możliwości jednoznacznego określenia wymagań.

Z zdefiniowanym maksymalnym czasem działania automatyki SCO wiąże się kolejny problem, mianowicie, jeśli po pewnym czasie eksploatacji czas ten zwiększy się do np. 151 ms, to układ automatyki SCO będzie uznany za niespełniający wymagań. Z drugiej strony, w zależności od metody badania można uzyskać czasy zadziałania dla funkcji podczęstotliwościowej różniące się o kilka, kilkanaście a nawet kilkadziesiąt milisekund dla tego samego urządzenia.

Propozycją autorów, racjonalną w takich przypadkach jest zezwolenie na odstępstwo od tych wymagań w pewnych granicach, polegające na odpowiednim podniesieniu progu pobudzenia zabezpieczenia. Ta wartość progowa powinna wynikać z przyjętej maksymalnej szybkości zmian częstotliwości dla którego działanie automatyki SCO jest racjonalne. Może być to wartość, dla której według NC RfG [7] mają zostać wyłączone moduły typu A, a więc 2,5 Hz/s. Dla tej wartości każda 1 ms opóźnienia mogłaby być zrównoważona podniesieniem nastawy o 2,5 mHz, a maksymalnie 50 mHz. Stosując tę zasadę można by zezwolić na odstępstwa w wymaganym czasie działania do 170 ms.

Aby móc porównać wyniki badań urządzeń różnych producentów, należy zapewnić te same warunki przeprowadzenia badań. Częściowo problemy związane z metodologią badań zostały rozwiązane wraz z opublikowaniem normy z tego zakresu [8].

5. Normalizacja dotycząca pomiaru częstotliwości

Pierwsze wymagania normatywne dotyczące pomiaru częstotliwości w SEE zastały opublikowane w normie [9] związanej z techniką synchronizacji, następnie wymagania te były uzupełniane o określenie parametrów dynamicznych [10], oraz korygowane [11] w związku z problemem osiągnięcia odpowiednich parametrów przez producentów. Pośrednio świadczy to o wyzwaniach jakie stoją przed autorami norm.

W przytoczonych normach zostało określonych wiele parametrów metrologicznych, wymagane limity dokładności pomiarów, metody badań, oraz kryteria akceptacji. Pomimo pewnych braków, wydaje się, że wymagania zawarte w normach tej serii najlepiej określają potrzeby m.in. w zakresie pomiaru częstotliwości. Pozwala to uzyskać określony poziom spójności pomiarów dokonywanych przez urządzenia spełniające wymagania norm, a pochodzące od różnych producentów. Niektóre aspekty dotyczące estymacji częstotliwości sygnałów zostały wykorzystane przy opracowywaniu normy dotyczącej wykorzystania kryterium częstotliwościowego w automatyce zabezpieczeniowej.

Norma dotycząca zabezpieczeń częstotliwościowych

Przez wiele lat nie były określone wymagania normatywne dla zabezpieczeń częstotliwościowych. Miało to wpływ na opracowanie wielu różnych wymagań, czego przykładem mogą być wymagania dla automatyki SCO. Istotą tej automatyki jest postulat jej spójnego działania w całym SEE. Zatem oczekuje się, że wymagania stawiane urządzeniom realizującym automatykę SCO będą ujednolicone.

Problem ten nie dotyczy tylko automatyki SCO, wraz ze wzrostem liczby źródeł (głównie OZE) i magazynów energii w głębi sieci, coraz więcej funkcji EAZ oparte jest na kryterium częstotliwościowym np.

zabezpieczenia od pracy wyspowej. Zatem spójność działania automatyki „częstotliwościowej” nabiera coraz większego znaczenia dla stabilności pracy SEE.

Oczekiwane ujednolicenie działania automatyki „częstotliwościowej” powinno być wprowadzane dwutorowo. Z jednej strony należy określić wymagania użytkownika, w tym przypadku operatora, dla konkretnego zastosowania w szerszym zakresie niż proponują to kodeksy sieciowe. Z drugiej strony należy użyć odpowiednich metod badawczych pozwalających na weryfikację spełnienia wymagań przez poszczególne urządzenia. Metody badań powinny uwzględniać nie tylko łagodne warunki laboratoryjne jak np. prawie wzorcowa sinusoida sygnału pomiarowego, ale również powinny pozwalać na sprawdzenie działania urządzeń w obecności sygnałów zakłócających, czy w warunkach stanu nieustalonego mierzonych sygnałów.

Częściowo oczekiwania te zostały spełnione wraz z opublikowaniem normy IEC60255-181 [8] w roku 2018. Jest to pierwsza norma dotycząca urządzeń zabezpieczeniowych i reagujących na pochodną częstotliwości, stąd wiąże się duże nadzieje na ujednolicenie podejścia do funkcji częstotliwościowych. Należy się spodziewać, że producenci stopniowo będą stosować wymienioną normę podczas prac rozwojowych kolejnych generacji urządzeń.

Przytoczona wyżej norma swym zakresem obejmuje automatykę zabezpieczeniową bazującą na pomiarze częstotliwości wykorzystywaną przez dedykowane urządzenia zabezpieczeniowe, jak również sterowniki źródeł energii np. PV, oraz sterowniki magazynów energii. W normie określono parametry jakie powinien podać producent urządzeń, oraz opisano metody badań weryfikujących te parametry. Ponadto określono metody badań pozwalające na sprawdzenie odporności algorytmów na różnego rodzaju sygnały zakłócające. Norma zawiera również słownik pojęć z zakresu jej stosowania.

6. Parametry zabezpieczeń częstotliwościowych

Zapisy normy 60255-181 [8] obligują producenta urządzeń zabezpieczeniowych do określenia wielu parametrów dotyczących funkcji częstotliwościowych. Poniżej przytoczono wybrane według autorów najistotniejsze parametry, które należy skonfrontować z oczekiwaniami dla konkretnego zastosowania, z uwzględnieniem wymagań klientów (operatorów SEE).

Zakresy pomiarowe

Istotnym czynnikiem jest określenie zakresów pomiarowych (efektywnych i operacyjnych). Efektywnym zakresem jest zakres pomiarowy gwarantujący działanie urządzenia z określoną klasą dokładności, natomiast zakres operacyjny definiuje granice działania urządzenia. Poza zakresem operacyjnym, działanie urządzenia powinno być zgodne z oczekiwaniami, ale wymagania np. dokładności nie muszą być spełnione. Zakresy pomiarowe powinny być określone dla wartości napięcia wejściowego, oraz częstotliwości, a dla zabezpieczeń wykorzystujących pochodną częstotliwości (ROCOF) również zakres pomiarów szybkości zmian częstotliwości w czasie.

Klasy dokładności

Producent powinien podać klasę dokładności funkcji zabezpieczeniowych, przy czym klasa ta powinna uwzględniać obecność sygnałów zakłócających (jak EMC czy wyższe harmoniczne) i czynników wpływających (jak wartość napięcia wejściowego, temperatura itp.) w granicach określonych przez normy. Klasa pomiarów powinna być podana dla członów częstotliwościowych, członu opóźniającego, ewentualnego wejścia blokady napięciowej, oraz dla funkcji ROCOF.

Czas pobudzenia i odpadu

Czas zadziałania i odpadu może się zmieniać w szerokich granicach w zależności od przyjętej metody badań. Norma przewiduje metody badań polegające na nagłej zmianie częstotliwości z różnym skokiem, oraz na różnych szybkościach zmian częstotliwości. Należy podać wartość minimalną, maksymalną, oraz średnią dla każdej z metod badawczych. Czasy te będą zależą od nastawionej częstotliwości, wartości skoku częstotliwości, algorytmu pomiarowego wykorzystanego w badanym urządzeniu, czy zastosowanej długości okna pomiarowego. Rozpiętość czasu pobudzenia przykładowego rozwiązania podanego w normie waha się od czasu minimalnego 70 ms do maksymalnego 200 ms w zależności od metody i parametrów badania, oraz nastawionych wartości rozruchowych.

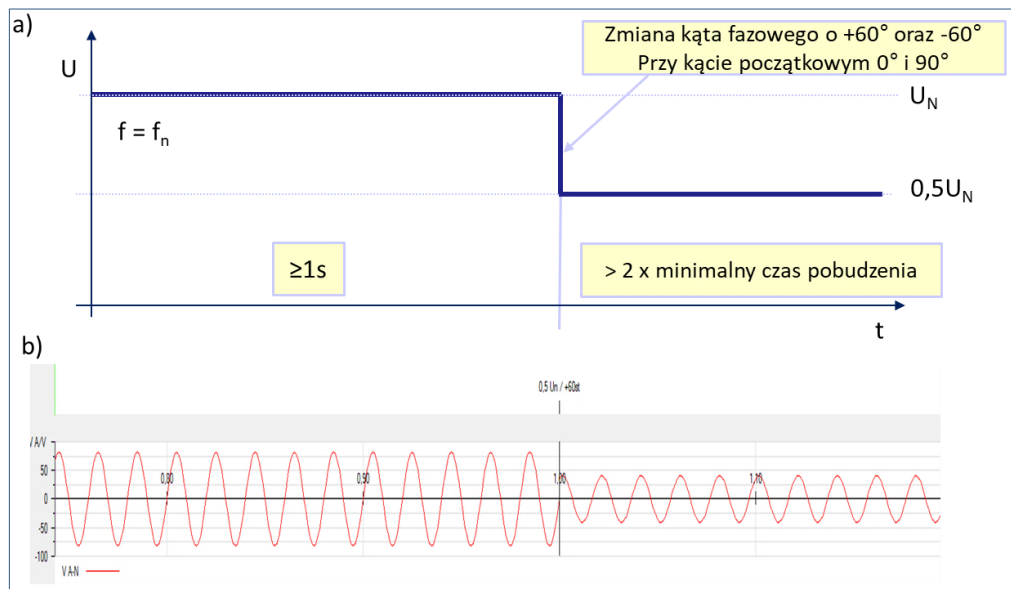
Czas dodatkowego opóźnienia

W warunkach rzeczywistych urządzenie realizujące automatykę opartą o pomiar częstotliwości i/lub jej pochodnej musi wykazać się odpowiednią selektywnością działania podczas występujących stanów zakłóceń w pracy SEE jakim są np. zwarcia. W tych warunkach nagłej zmianie ulega wartość skuteczna sygnału pomiarowego jak i jego kąt fazowy. Zapisy normy wskazują na konieczność przeprowadzenia badań w tym zakresie określając dwa rodzaje reprezentatywnych warunków. Badanie ma na celu określenie minimalnego czasu dodatkowego opóźnienia zadziałania gwarantującego brak wygenerowania sygnału wyłączającego.

7. Metody badań

Formalizacja metod badań została zawarta w normie [8], w dalszej części artykułu opisano ciekawsze scenariusze dotyczące wyznaczania dodatkowego czasu opóźnienia gwarantującego stabilność działania urządzenia (algorytmu decyzyjnego), w tym przypadku oznaczającą brak wygenerowania sygnału zadziałania. Podczas badań kryterium podczęstotliwościowe zabezpieczenia powinno być sparametryzowane na wartość progową równą 49,5 Hz, a nadczęstotliwościowe na 50,5 Hz dla częstotliwości znamionowej 50 Hz.

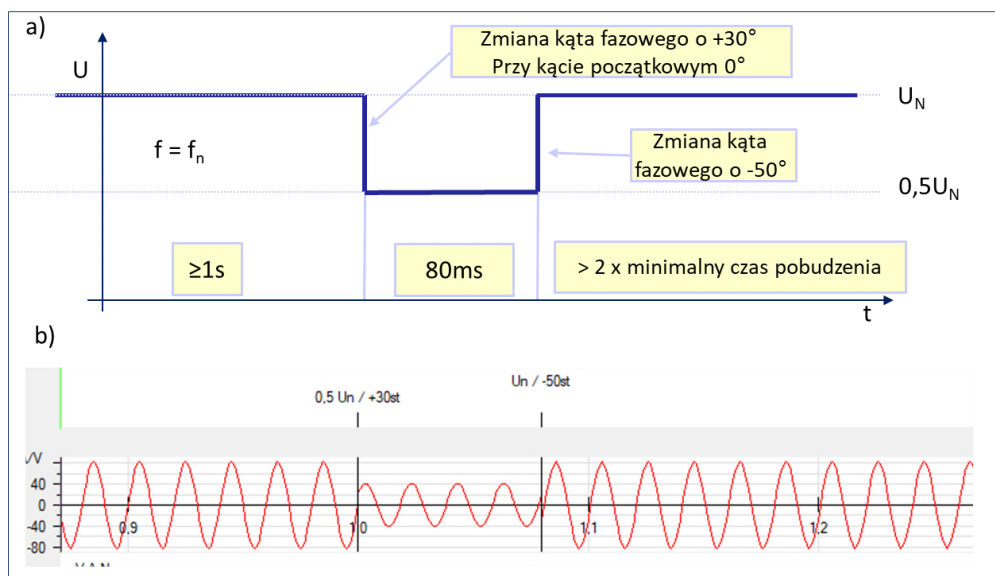
W scenariuszu 1 badano wpływ zmian wartości skutecznej napięcia i jego kąta fazowego jak na rys. 2 na uzyskiwany rzeczywisty czas pobudzenia zabezpieczenia. Testy powtarzano 20 razy dla każdego przypadku, przeprowadzając łącznie 80 prób.



Rys. 2. Metoda badania stabilności decyzji kryterium częstotliwościowego podczas symulacji zwarcia. Prezentacja scenariusza 1 testu a), przebieg czasowy wartości skutecznej napięcia testowego przy kącie początkowym 0° dla fazy L1 i skoku fazy o $+60^\circ$. b) Przebieg wartości chwilowej fazy L1

Dla drugiego scenariusza badań zasymulowany jest „przysiad” napięcia na czas 80 ms przy jednoczesnej zmianie kąta fazowego jak na rys. 3. Próbę powtórzono 20-krotnie.

Jeśli zostanie wygenerowany sygnał zadziałania, to należy ustawić dodatkowy czas opóźnienia i powtórzyć próby. Ustawiony czas, przy którym nie zostanie wygenerowany sygnał zadziałania należy zamieścić w dokumentacji, „jako czas dodatkowego opóźnienia” gwarantujący stabilność działania podczas stanów nieustalonych symulowanych w scenariuszu 1 i 2.



Rys. 3. Metoda badania stabilności decyzji kryterium częstotliwościowego podczas symulacji zwarcia. Prezentacja scenariusza 2 a), przebieg czasowy wartości skutecznej napięcia. b) Przebieg wartości chwilowej fazy L1

8. Podsumowanie

Wartość częstotliwości sieciowej (częstotliwość podstawowej harmonicznej) jest cechą charakteryzującą aktualny stan pracy SEE na całym jego obszarze. Stąd, zasygnalizowano potrzebę, ujednolicenia działania automatyki elektroenergetycznej zarówno regulacyjnej jak i zabezpieczeniowej. Działania takie są pożądane przez operatorów sieciowych. Wysiłki w tym kierunku zostały podjęte, czego efektem są zapisy w kodeksach sieciowych, określające wymagania m. in. dotyczące automatyki odciążającej w NC DC, czy regulacyjnej w NC RfG.

Aby regulacje te były skuteczne, należy przeprowadzić weryfikację spełnienia wymagań przez poszczególne urządzenia stosując jednakowe metody pomiarowe. Wydaje się, że godnym polecenia sposobem jest powołanie się na opublikowane normy z tego zakresu.

Zastosowanie norm pozwoli na ujednolicenie listy wymaganych parametrów, oraz ich weryfikację poprzez przeprowadzenie badań urządzeń według ustandaryzowanych metod. Zaletą jest również doprecyzowanie używanych pojęć, terminów i nazw poszczególnych parametrów (w języku angielskim). W normach jednak nie są podane limity (ograniczenia wartości) dla konkretnych parametrów jak np. klasa pomiaru częstotliwości. Limity te w zależności od zastosowanego kryterium częstotliwościowego należy uzgodnić pomiędzy Zamawiającym a Dostawcą.

W tym kontekście wymagania wynikające z kodeksów sieciowych w zakresie dotyczącym funkcjonalności wykorzystujących kryterium częstotliwościowe są niewystarczające, co zapewne wynikało z braku stosowanych norm z tego zakresu. Stosunkowo niedawno, w 2019 roku opublikowano opracowanie jako Polska Norma [8], które stwarza szansę na poprawę sytuacji. Należy się spodziewać, że producenci zastosują jej zapisy. Zatem proponuje się, aby w następnych edycjach wymagań wpływających z kodeksów sieciowych powołać się na normę [8]. Określenie wymagań dla parametrów w niej przytoczonych, a następnie przeprowadzenie weryfikacji uwzględniającej zaproponowane metody, pozwoliłoby znacząco ujednolicić działanie automatyki odciążającej i regulacyjnej w SEE.

Literatura

- [1] Halinka A., Talaga M.: Wybrane metody cyfrowego pomiaru częstotliwości w systemie elektroenergetycznym. Wiadomości Elektrotechniczne. Nr 3/2016.
- [2] Halinka A.: Adaptacyjne algorytmy pomiarowe cyfrowej automatyki zabezpieczeniowej generatorów o szerokim zakresie zmian częstotliwości. Rozprawa doktorska, Gliwice, 1997, Politechnika Śląska.
- [3] Kuran Z., Skrodzki S.: Analiza przekazników częstotliwościowych różnych typów najczęściej stosowanych w KSE w układach SCO. Instytut Energetyki. Warszawa, 2015.
- [4] Klimpel A., Głaz M.: Potrzeba badania i oceny automatyki SCO w KSE. Automatyka w elektroenergetyce. XVII seminarium ENERGOTEST. Zawiercie, 2014.
- [5] Standard PRC-006-NPCC-1 Automatic Underfrequency Load Shedding. Attachment C. 2012.
- [6] ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) 2016/1388 z dnia 17 sierpnia 2016 r. ustanawiające kodeks sieci dotyczący przyłączenia odbioru.
- [7] ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiające kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci.
- [8] Norma PN-EN IEC 60255-181:2019-07 - Przekazniki pomiarowe i urządzenia zabezpieczeniowe – Część 181: Wymagania funkcjonalne dla zabezpieczenia częstotliwościowego.
- [9] C37.118-2005 – IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems.
- [10] C37.118.1-2011 – IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems.
- [11] C37.118.1a-2014 – IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems – Amendment 1: Modification of Selected Performance Requirements