

## BADANIE ZABEZPIECZEŃ MODUŁÓW WYTWARZANIA ENERGII ZGODNIE Z WYMAGANIAMI KODEKSU SIECI RfG

Kacper CHYŁA, Mirosław WŁAS

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki  
tel.: +48 583472337, e-mail: miroslaw.wlas@pg.edu.pl

**Streszczenie:** Celem zapewnienia bezpieczeństwa systemu elektroenergetycznego w ramach systemu wzajemnie połączonego, niezbędnym jest ustalenie jednakowych wymogów mających zastosowanie do modułów wytwarzania energii. W tym celu ustanowiony został kodeks sieci RfG dotyczący wymogów w zakresie przyłączania jednostek wytwórczych do sieci. W pracy przedstawione zostały wymagania kodeksu sieci RfG wobec zabezpieczeń źródeł wytwórczych. Na stanowisku badawczym przeprowadzono próby działania zabezpieczeń z wykorzystaniem przełącznika zabezpieczeniowego REX 640 na modelu sieci oraz wykonana została komunikacja z nadrzędnym systemem SCADA wykorzystując protokół IEC 61850. Przeprowadzone badania są niezbędne do złożenia dokumentu PGMD zezwalającego na eksploatację modułu wytwarzania energii.

**Słowa kluczowe:** Kodeks sieci RfG, REX 640, IEC 61850, PGMD.

### 1. KODEKS SIECI RfG

#### 1.1. Wprowadzenie

Rozporządzeniem Komisji Unii Europejskiej z dnia 14 kwietnia 2016 ustanowiony został Kodeks sieci (NC RfG – *Network Code, Requirements for Generators*) dotyczący wymogów w zakresie przyłączania jednostek wytwórczych do sieci. Kodeks sieci obowiązuje w Polsce od dnia 27 kwietnia 2019 roku [1].

Kodeks określa wymogi dotyczące przyłączania do sieci jednostek wytwórczych. W kodeksie sieci poprzez pojęcie jednostka wytwórcza rozumie się: synchroniczne moduły wytwarzania energii, moduły parku energii oraz morskie moduły parku energii. Kodeks sieci ustanawia przepisy zapewniające właściwe wykorzystanie zdolności zakładów wytwarzających energię elektryczną przez operatorów systemów elektroenergetycznych.

#### 1.2. Przepisy ogólne

Wymogi dotyczące przyłączania modułów wytwarzania energii do sieci stosuje się do nowych modułów wytwarzania energii. Operator systemu dystrybucyjnego może odmówić przyłączenia modułu, który nie spełnił wymogów określonych przez kodeks sieci. Kodeks sieci nie jest stosowany w przypadkach [2]:

- modułów wytwarzania energii przyłączonych do systemu przesyłowego, ani do części systemu przesyłowego czy dystrybucyjnego wysp stanowiących części państw członkowskich, który nie pracuje synchronicznie z obszarem synchronicznym,
- modułów wytwarzania energii, które zostały zainstalowane w celach zapewnienia zasilania

rezerwowego, które pracują równolegle z systemem przez mniej niż 5 minut w miesiącu,

- modułów wytwarzania energii, które nie mają stałego punktu przyłączenia do sieci i są używane przez operatorów do tymczasowego zapewnienia mocy,
- urządzeń magazynujących energię elektryczną, wyjątek stanowią szczytowo-pompowe moduły wytwarzania energii.

Istniejące moduły wytwarzania energii nie są objęte wymaganiami kodeksu sieci. Istnieje jednak wyjątek, gdy moduł wytwarzania (typu C lub D) został zmodyfikowany w takim stopniu, że jego umowa przyłączeniowa musi zostać zmieniona. Moduł wytwarzania energii uznaje się za zgodny z przepisami kodeksu sieci, jeżeli [2]:

- moduł jest już przyłączony do sieci w dniu wejścia w życie rozporządzenia,
- właściciel zakładu wytwarzania energii zawarł ostateczną umowę zakupu podstawowej instalacji wytwórczej w terminie od 2 lat od wejścia w życie rozporządzenia.

Kodeks sieci definiuje cztery typy modułów wytwarzania energii. Typy A, B, C – napięcie w punkcie przyłączenia niższe niż 110 kV, Typ D – napięcie w punkcie przyłączenia co najmniej 110 kV, niezależnie od mocy modułu. Moce maksymalne dla każdego typu zostały określone przez właściwego operatora sieci przesyłowej danego kraju (w Polsce – PSE S.A.).

#### 1.3. Kodeks sieci a Polskie Sieci Elektroenergetyczne

Wprowadzeniem i przystosowaniem wymagań kodeksu sieci do polskiego systemu elektroenergetycznego zajęło się PSE S.A. we współpracy z operatorami systemów dystrybucyjnych. Od dnia 07.12.2016 r. PSE S.A. organizowało spotkania mające na celu ustalenie zbioru wymagań technicznych kodeksu sieci. Dnia 16.07.2018 r. prezes URE wydał decyzję [3] zatwierdzającą wartości progów mocy maksymalnych dla poszczególnych typów modułów wytwarzania energii:

- A – od 0,8 do 200 kW,
- B – od 0,2 do 10 MW,
- C – od 10 do 75 MW,
- D – od 75 MW.

Prezes URE decyzją z dnia 02.01.2019 r. zatwierdził wymogi ogólnego stosowania dla przyłączania jednostek wytwórczych do sieci. Stosowanie wymogów określonych w kodeksie sieci oraz wymogów określonych na jego podstawie zaczęło obowiązywać w Polsce od 27.04.2019 r.

### 1.4. Dokument PGMD

Celem pozwolenia na użytkowanie i przyłączenie każdego nowego modułu wytwarzania energii typu B i C, właściciel zakładu wytwarzania energii przedstawia operatorowi systemu dystrybucyjnego dokument PGMD (*Power-generating Module Dokument*) [4]. Jeżeli w ramach jednego zakładu wytwarzania energii znajdują się kilka źródeł wytwórczych, to dla każdego z osobna przedstawia się niezależny dokument PGMD.

W dokumencie poza ogólnymi informacjami, jakimi są dane właściciela oraz zakładu wytwarzania energii, operator systemu może zażądać, aby właściciel zakładu uwzględnił także [4]:

- dowód umowy w sprawie nastaw zabezpieczeń i regulacji odpowiednich dla punktu przyłączenia,
- szczegółowe poświadczenie zgodności,
- szczegółowe dane techniczne modułu wytwarzania energii,
- certyfikaty sprzętu wydane przez upoważniony podmiot certyfikujący,
- modele symulacyjne dla modułów typu C,
- sprawozdania z testów zgodności,
- analizy pokazujące osiągi modułu w stanie ustalonym i dynamicznym.

Operator systemu po akceptacji dokumentu PGMD wydaje ostateczne pozwolenie na użytkowanie właścicielowi zakładu wytwarzania energii.

## 2. WYMAGANIA TECHNICZNE

### 2.1. Zbiór wymagań technicznych dla modułów typu A

Dla poszczególnych typów modułów wytwarzania przewidziane zostały odmienne wymagania techniczne. Przy czym jednostki wyższego typu muszą spełniać jednocześnie wymogi dla jednostek niższego typu. Oznacza to, że moduł wytwarzania typu D musi jednocześnie spełniać wymagania dla modułów A, B oraz C.

W niniejszym artykule przedstawione zostały wymagania techniczne dla modułów typu A i B. Wymagania dla modułów typu B są istotne dla części badawczej.

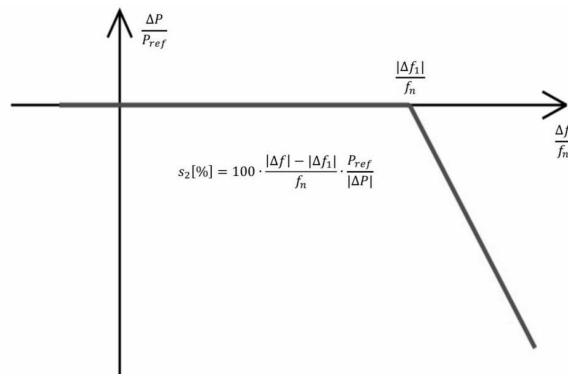
Do modułów wytwarzania typu A zalicza się moduły o mocy od 0,8 do 200 kW, w tym mikroinstalacje. W dalszej części artykułu zostaną podane podstawowe wymagania dla modułów typu A. Szczegółowe informacje o wymaganiach technicznych dla modułów wytwarzania typu A można znaleźć w [5].

Moduły typu A muszą mieć zdolność do zachowania połączenia z siecią oraz pracy w zakresach częstotliwości i okresach podanych w tabeli 1 oraz muszą mieć zdolność do zachowania połączenia z siecią oraz do pracy przy zmianach częstotliwości nie większych niż +/-2,0 Hz/s [5].

Tabela 1. Zakresy częstotliwości i okresy do zdolności zachowania połączenia z siecią

Zakres częstotliwości [Hz]	Czas pracy
47,5 – 48,5	30 min
48,5 – 49,0	30 min
49,0 – 51,0	nieograniczony
51,0 – 51,5	30 min

Moduły wytwarzania typu A muszą mieć zdolność do aktywowania rezerwy mocy czynnej w odpowiedzi na wzrost częstotliwości (tryb LFSM-O – *Limited Frequency Sensitive Mode – Overfrequency*) [5] zgodnie z rysunkiem 1.

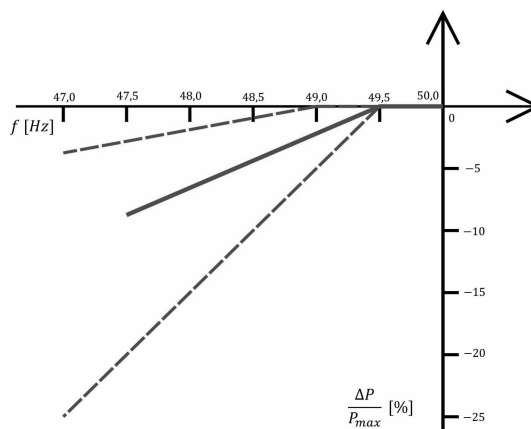


Rys. 1. Zdolność modułów do odpowiedzi częstotliwościowej mocy czynnej w trybie LFSM-O

Objaśnienia do rysunku 1:  $P_{ref}$  – moc czynna maksymalna,  $\Delta P$  – zmiana generowanej mocy czynnej,  $f_n$  – częstotliwość znamionowa. Gdy wartość  $\Delta f$  jest powyżej  $\Delta f_1$ , moduł wytwarzania musi zapewnić redukcję generowanej mocy czynnej zgodnie z wartością statyzmu  $s_2$ .

Moduły muszą mieć zdolność do reakcji na zmianę częstotliwości przy jak najkrótszej zwłoce czasowej. Zwłokę powyżej 2 sekund należy odpowiednio uzasadnić.

Moduły wytwarzania typu A dopuszczają redukcję mocy czynnej w stosunku do maksymalnej generowanej mocy przy zmniejszającej się częstotliwości dla synchronicznych modułów wytwarzania typu blok gazowy lub gazowo-parowy – 4% mocy maksymalnej na 1 Hz, przy spadku częstotliwości poniżej 49,5 Hz (rysunek 2) [5].



Rys. 2. Maksymalny spadek zdolności do generacji mocy czynnej przy spadku częstotliwości dla synchronicznych modułów wytwarzania energii typu blok gazowy lub gazowo-parowy (linia przerywana – zakres wg NC RfG, linia ciągła - wymóg)

Na podstawie przedstawionych wymagań technicznych moduły wytwarzania typu A, w tym mikroinstalacje, powinny posiadać następujące zabezpieczenia:

- dwustopniowe zabezpieczenie nadnapięciowe,
- zabezpieczenie podnapięciowe,
- zabezpieczenie pod i nadczęstotliwościowe,
- zabezpieczenie od pracy wyspowej.

### 2.2. Zbiór wymagań technicznych dla modułów typu B

Moduły wytwarzania energii typu B (od 0,2 MW do 10 MW), jak wcześniej wspomniano muszą spełniać wymagania modułów wytwarzania typu A. Moduły wytwarzania typu B muszą spełniać wymagania dotyczące pozostania w pracy podczas zwarcia. Jednostka wytwórcza

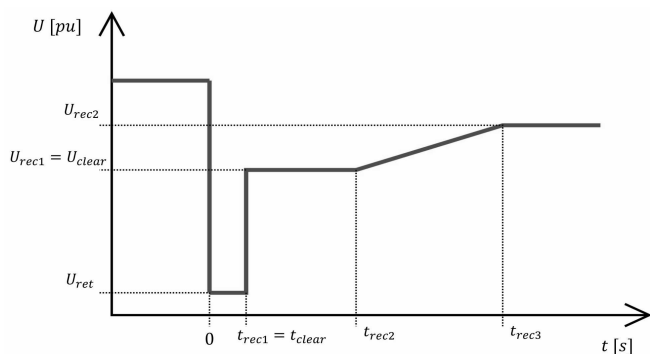
może odłączyć się od sieci podczas zwarcia w przypadku, gdy napięcie międzyfazowe w punkcie przyłączenia obniży się poniżej wymaganego profilu pozostawania w pracy podczas zwarcia.

W tabeli 2 przedstawione zostały parametry wymaganego profilu dla synchronicznych modułów wytwarzania energii, a na rysunku 3 przedstawiony został wymagany profil. Parametr  $U_{ret}$  oznacza napięcie utrzymane w punkcie przyłączenia w trakcie zwarcia,  $t_{clear}$  oznacza moment usunięcia zwarcia. Parametry  $U_{recX}$ ,  $t_{recX}$  określają pewne punkty dolnych wartości granicznych.

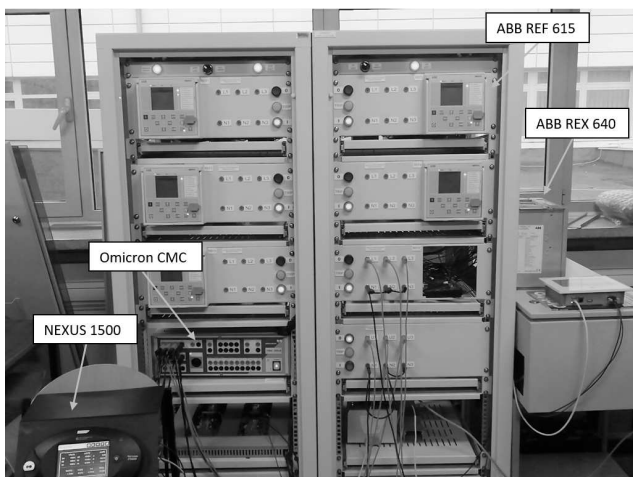
Pozostałe wymagania dla modułów wytwarzania typu B można znaleźć w [6].

Tabela 2. Parametry w zakresie zdolności synchronicznych modułów wytwarzania energii do pozostawania w pracy w czasie zwarcia

Parametry napięcia [p.u.]	Parametry czasu [s]		
$U_{ret}$	0,05	$t_{clear}$	0,15
$U_{clear}$	0,70	$t_{rec1}$	0,15
$U_{rec1}$	0,70	$t_{rec2}$	0,70
$U_{rec2}$	0,85	$t_{rec3}$	1,50



Rys. 3. Wymagany profil pozostawania w pracy podczas zwarcia dla synchronicznego modułu wytwarzania energii



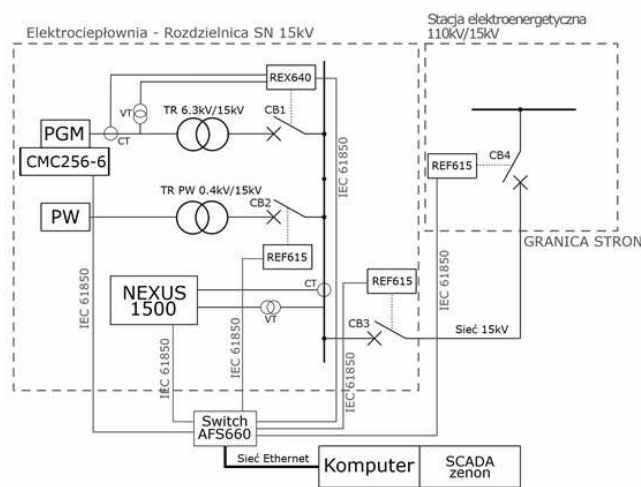
Rys. 4. Stanowisko badawcze

### 3. STANOWISKO BADAWCZE

Podstawą do zbudowania stanowiska badawczego był rzeczywisty obiekt jakim jest elektrociepłownia gazowa. Obiekt, jako że jest w fazie budowy, musi spełniać wymagania kodeksu sieci RfG. Moc generatora zastosowanego na obiekcie wynosi 2028 kW, a więc zaliczamy go do modułów wytwarzania energii typu B.

Na rysunku 4 przedstawione zostało stanowisko badawcze. Urządzeniami składowymi stanowiska były przełączniki zabezpieczeniowe REF 615 oraz REX 640 (ABB), które służyły jako urządzenia zabezpieczające. Do symulowania generatora wykorzystany został tester zabezpieczeń Omicron CMC 256-6. Na stanowisku znajdował się także analizator parametrów sieci Nexus 1500. Do obsługi stanowiska wykorzystane zostały odpowiednie programy inżynierskie. Dodatkowo na stanowisku znajdował się komputer z systemem SCADA (COPA-DATA zenon). Wszystkie urządzenia na stanowisku zostały połączone w sieć i skomunikowane zgodnie z protokołem IEC 61850. Szczegółowy opis stanowiska, oprogramowania i obiektu rzeczywistego znajdują się w [7].

Zaimplementowany na stanowisku model sieci został przedstawiony na rysunku 5. Model sieci odwzorowuje fragment rozdzielni SN elektrociepłowni.



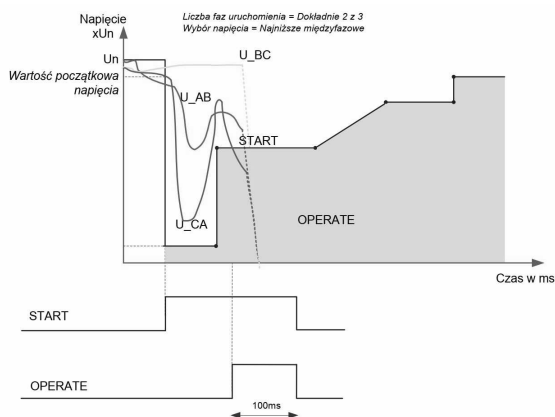
Rys. 5. Graficzne przedstawienie struktury zamodelowanej sieci (PGM – moduł wytwarzania energii, PW – potrzeby własne)

### 4. PRZEPROWADZONE BADANIA

Na stanowisku badawczym zostało przeprowadzone badanie dotyczące pozostawania w pracy podczas zwarcia dla synchronicznego modułu wytwarzania energii. Nastawy zabezpieczeń wynikały wprost z przepisów kodeksu sieci RfG.

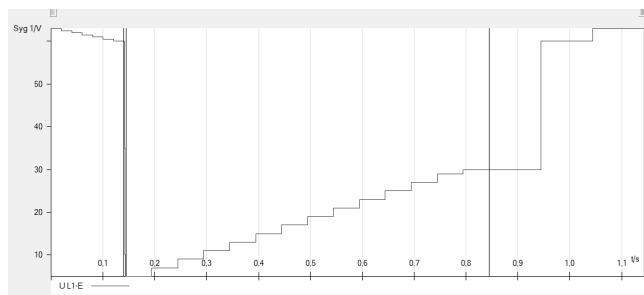
Zabezpieczeniem wykorzystanym w badaniach było zabezpieczenie LVRTPTUV (nomenklatura wg IEC 61850), które jest zabezpieczeniem z funkcją przetrzymywania niskiego napięcia. Zasadniczo zabezpieczenie to sprowadza się do zabezpieczenia podnapięciowego. Funkcja zabezpieczeniowa LVRTPTUV umożliwia określenie własnej krzywej przetrzymywania niskiego napięcia (LVRT) dla generatorów zgodnie z obowiązującymi wymogami. Krzywa LVRT w badaniach została określona zgodnie z wymaganiami kodeksu sieci RfG przedstawionymi w tabeli 2.

Zasada działania funkcji LVRTPTUV została przedstawiona na rysunku 6. Funkcja po zarejestrowaniu spadku mierzonego w punkcie przyłączenia napięcia rzeczywistego poniżej nastawionej wartości aktywuje jej START. Po aktywacji funkcji następuje śledzenie wartości napięcia. Gdy napięcie zostanie doprowadzone do obszaru roboczego funkcji, tzn. zmierzona wartość napięcia przetnie krzywą, bezzwłocznie zostaje aktywowane wyjście OPERATE funkcji. Szczegółowe informacje o funkcji LVRTPTUV znajdują się w [8].



Rys. 6. Przykład działania funkcji LVRTPTUV [8]

Test funkcji LVRTPTUV polegał na zadaniu sygnału napięciowego na wejścia przekładniowe przekaźnika REX 640. Źródłem sygnału napięciowego był CMC 256-6. Test działania funkcji został przeprowadzony przy pomocy modułu *Omicron Ramping*, w którym zdefiniowano dwa przebiegi napięciowe – nie powodujący zadziałania, oraz powodujący zadziałanie. Na rysunku 7 przedstawiony został przebieg napięcia powodujący zadziałanie funkcji. Nastawy zabezpieczenia wykorzystanego w badaniach były zgodne z wymaganiami kodeksu sieci RfG. Test przedstawił od strony praktycznej wymagania kodeksu oraz to, że obecne na rynku przekaźniki zabezpieczeniowe np. REX 640, są wyposażone w funkcje zabezpieczeniowe, które sprostają wymaganiom kodeksu sieci.



Rys. 7. Przebieg napięcia powodujący zadziałanie funkcji LVRTPTUV

## 5. WNIOSKI

Kodeks sieci RfG, którego głównym celem jest ujednolicenie europejskiego rynku energii, wprowadza sztywno określone przepisy prawne oraz techniczne dla nowopowstających modułów wytwarzania energii. Ujednolicenie przepisów dla wszystkich modułów

wytwarzania przyczyni się do powstania w pełni wzajemnie połączonego systemu elektroenergetycznego w Europie. Aktualnie dostępne na rynku przekaźniki zabezpieczeniowe idealnie wpasowują się w wymagania stawiane przez kodeks. Poziom zaawansowania przekaźników, wraz z dostępem do wielu funkcji zabezpieczeniowych, pozwala na pełne zabezpieczenie modułu wytwórczego wraz z transformatorem polowym i polem odpływowym. Dodatkowo obecne przekaźniki zabezpieczeniowe są urządzeniami „elastycznymi” tzn., że zabezpieczają moduł typu B, a po przeprogramowaniu mogą zabezpieczać moduł typu D. Przeprowadzenie testów na oprogramowanym przekaźniku pod konkretny moduł pozwala na wychwycenie błędów w aplikacji oraz pozwala uniknąć poważnych awarii, np.: przez źle sparametryzowane funkcje zabezpieczeniowe. Niezbędnym do tego urządzeniem był tester CMC 256-6. Standard IEC 61850 pozwala na szybką komunikację pomiędzy urządzeniami zabezpieczającymi oraz komunikację z systemami nadrzędnymi SCADA. Połączenie przepisów kodeksu sieci wraz z standardem IEC 61850 przyczyni się znacząco na poprawę bezpieczeństwa i stabilności systemu elektroenergetycznego.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. <https://www.gramwzielone.pl/trendy/100811/nowe-wymogi-w-zakresie-certyfikacji-instalacji-oze> (data dostępu: 24.06.2021).
2. Rozporządzenie komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 roku ustanawiające kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączania jednostek wytwórczych do sieci.
3. Decyzja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki z dnia 16 lipca 2018 r. zatwierdzająca propozycję PSE S.A. wartości progów mocy maksymalnych dla modułów wytwarzania energii typu B, C i D.
4. Energa Operator S.A.: Dokument modułu wytwarzania energii PGMD dla typu B, C, Gdańsk, 9.09.2020 r.
5. Energa Operator S.A.: Zbiór wymagań dla modułów energii typu A, w tym mikroinstalacji, Gdańsk, 23.01.2020 r.
6. Energa Operator S.A.: Kodeks sieci RfG, zbiór wymagań technicznych dla modułów wytwarzania energii typu B przyłączanych do sieci OSD, Gdańsk, 23.01.2020 r.
7. Chyła K., Połczyński T.: Modelowanie i wizualizacja sieci średniego napięcia z jednostką wytwórczą w zakresie wymagań kodeksu sieci, praca dyplomowa magisterska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki PG, Gdańsk, 22.10.2020 r., s. 84-131.
8. ABB: Relion – Protection and control: REX640 - Technical manual, 2020 r., s. 693-701.

## TEST OF PROTECTIONS OF POWER GENERATION MODULES ACCORDING TO THE REQUIREMENTS OF THE RfG NETWORK CODE

In order to ensure the security of the power system within the interconnected system, it is necessary to establish the same requirements applicable to power generating modules. For this purpose, the RfG network code was established on the requirements for connecting generating units to the network. The paper presents the requirements of the RfG network code with regard to the security of generation sources. On the test stand, tests of protection operation were carried out with the use of the REX 640 protection relay on the network model and communication with the supervisory SCADA system was performed using the IEC 61850 protocol. The conducted tests are necessary to submit the PGMD document authorizing the operation of the power generating module.

**Keywords:** RfG network code, REX640, IEC 61850, PGMD.