

Modelowanie procesu pozyskiwania informacji dla systemu sterowania w Smart Grid

Streszczenie. Dążenie do stworzenia elektroenergetycznych sieci zasługujących na miano sieci inteligentnych pociąga za sobą konieczność pozyskiwania coraz większej ilości informacji. Jest to szczególnie istotne, gdy chce się optymalizować pracę sieci oraz unikać zagrożeń związanych z generacją rozproszoną i mikrogeneracją. Celem referatu jest zaprezentowanie możliwości wykorzystania funkcji oferowanych przez sterowniki PLC, jako źródła danych uzupełniającego informacje podstawowe niezbędne dla sterowania siecią elektroenergetyczną określaną, jako Smart Grid

Abstract. Development of electric power networks that can be considered as intelligent networks entails the need for acquiring ever greater amount of information. It is particularly important, when the grid optimization task is to be realized with an effort to avoid hazards related to the dispersed and micro generation. [3]. The objective of this article is to present application potentialities of the functions offered by programmable logic controllers (PLC's) to be used as a source of supplementary data for the basic information that is necessary to control an electric power network system referred to as a Smart Grid. (Modeling of the data acquisition process for a Smart Grid control system).

Słowa kluczowe: Sieć inteligentna, energetyka rozproszona, IEC 61850, PLC.

Keywords: Smart Grid, dispersed generation, IEC 61850, PLC.

Wstęp

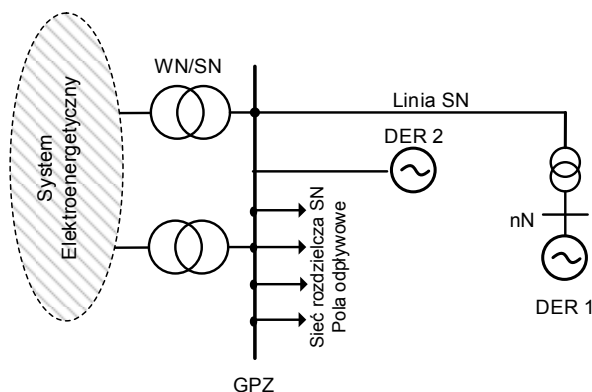
Wzrost znaczenia odnawialnych źródeł energii oraz generacji rozproszonej stwarza szereg problemów natury technicznej przy włączaniu ich do sieci elektroenergetycznej, które należy rozwiązać. Jednocześnie wzrastają oczekiwania odbiorców, co do niezawodności zasilania i jakości dostarczanej energii. W tym celu konieczne jest gromadzenie informacji pozwalających identyfikować pojawiające się problemy i zagrożenia zarówno po stronie sieci jak i źródła. Do tego celu wykorzystuje się urządzenia telemechaniki oraz automatyki zabezpieczeniowej i pomiarowej. Można zastosować również dodatkowe urządzenia, jakimi są sterowniki PLC pozwalające na dostarczanie informacji o stanie nadzorowanego obiektu lub urządzenia. Jednym z elementów pozwalających na bezpieczną, przewidywalną i efektywną współpracę wszystkich podmiotów przyłączonych do sieci jest stworzenie dopasowanego do współczesnych wymogów technicznych systemu sterowania i nadzoru (SSiN), z którego wszyscy będą czerpać dla siebie niezbędne informacje. SSiN może mieć różnorodną strukturę, jednak musi ona uwzględniać oczekiwania zarówno operatora sieci, użytkowników jak i właścicieli źródeł [5]. Istnienie takich systemów jest warunkiem budowania sieci inteligentnych, w których odbiorcy oraz ich źródła w pełni współpracują z siecią elektroenergetyczną [1].

W artykule przedstawiony zostanie proces dostarczania dodatkowych informacji do SSiN w oparciu o rozwiązania techniczne oferowane przez urządzenia telemechaniki i współpracujące z nimi sterowniki PLC. Zaprezentowany zostanie sposób elastycznego modelowania środowiska pozwalającego na wymianę wybranych danych pomiędzy systemem sterującym siecią elektroenergetyczną, a systemem nadzorującym pracę instalacji prosumenckiej i zainstalowanych w nim źródeł energii elektrycznej.

Tworzenie systemu sterowania i nadzoru oparte zostało o standard IEC 60870, IEC 61850 i jego rozszerzenie opisujące pracę źródeł rozproszonych, a także o standard CIM opisujący strukturę i położenie poszczególnych elementów sieci elektroenergetycznej. Dzięki takiemu podejściu opisany SSiN jest zgodne z zaleceniami zdefiniowanymi dla Smart Grid i pozwalają, na współpracę z innymi elementami tworzącymi system inteligentny [1]. Daje również podstawy do jego dalszego rozwoju.

Współpraca instalacji prosumenckich z siecią elektroenergetyczną

Współczesne rozwiązania techniczne pozwalają na tworzenie systemów sterujących pracą zarówno rozległych sieci elektroenergetycznych (SSiN), pojedynczych obiektów energetycznych jak również instalacji budynkowych (BMS) lub przemysłowych [2]. Idea sieci Smart Grid opiera się na założeniu pełnej współpracy pomiędzy operatorem sieci elektroenergetycznej oraz użytkownikiem instalacji prosumenckiej [3], w której pracuje źródło energii (rys.1).



Rys.1. Przykład przyłączenia źródeł w sieci elektroenergetycznej i instalacji prosumenckiej

Przy tej współpracy osiągnane są następujące korzyści:

1. Dzięki informacjom o rozproszonych źródłach energii operator sieci ma możliwość optymalizacji jej pracy, minimalizacji strat, właściwego doboru automatyki EAZ oraz przeciwdziałaniu potencjalnym zagrożeniom i zakłóceniom mogącym pojawić się w sieci [6].
2. Prosument może np. optymalizować pracę swojego źródła w celu osiągnięcia maksymalnych korzyści technicznych i ekonomicznych [3][2].

Sposób wymiany danych pomiędzy SSiN operatora, a systemem sterowania instalacją (BMS) zależy od miejsca przyłączenia do sieci, odległości od GPZ oraz napięcia w punkcie przyłączenia (PCC). Zależy również od dostępnej infrastruktury technicznej i zainstalowanych w niej urządzeń. Czynniki te determinują rodzaj i zakres wymienianych informacji, dobór odpowiedniej technologii komunikacji oraz standard transmisji danych. W praktyce mogą również definiować ograniczenia, co do ilości i szybkości transmisji przesyłanych danych.

Zastosowanie sterownika PLC do kontroli pracy instalacji prosumenckiej

Dzięki swym właściwościom, modułowej budowie oraz możliwości programowania sterowniki PLC mogą być wykorzystane do tworzenia systemów kontrolujących pracę źródeł energii, instalacji zasilającej, w której źródła pracują, jak również poszczególnych obwodów instalacji i urządzeń prosumenta [4]. Do badań wykorzystano sterownik WAGO-I/O-SYSTEM serii 750-880. Jego modułowa budowa pozwala na elastyczne dostosowanie listy sygnałów wejściowych i wyjściowych oraz portów komunikacyjnych dostosowanych do potrzeb obiektu, który nadzoruje. Wykonuje się to poprzez dobór modułów współpracujących ze sterownikiem. Moduły dostępne dla sterownika można podzielić na następujące grupy:

1. Podstawowe, niezbędne do kontroli pracy źródła oraz poszczególnych urządzeń i aparatów. Można do nich zaliczyć: moduły wejść i wyjść analogowych, moduły wejść i wyjść binarnych.
2. Specjalne, odpowiadające za sterowanie wybraną grupą urządzeń np. silnikiem krokowym.
3. Specjalne, pomiarowe dla sygnałów przemiennych jednofazowych i trójfazowych. Pozwalają one na bezpośrednią lub pośrednią realizację pomiarów w obwodach zasilających i odbiorczych.
4. Specjalne, sterujące pracą instalacji w systemach KNX, DALI czy EnOcean. Mogą stanowić one również element integrujący części BMS pracujące w różnych technologiach.
5. Komunikacyjne, pozwalające na komunikację z wykorzystaniem różnych mediów i protokołów.

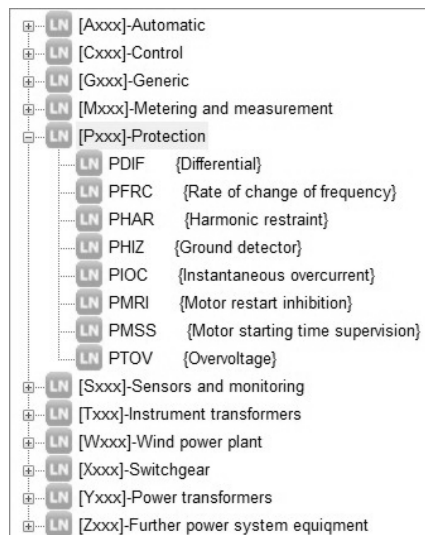
Aby w pełni wykorzystać właściwości poszczególnych modułów producent dostarcza wraz z nimi biblioteki niezbędne w tworzeniu aplikacji [10]. Dzięki dostępnym bibliotekom możliwe jest stworzenie aplikacji w środowisku CoDeSys sprawiającej, że poprzez jeden lub kilka współpracujących ze sobą sterowników tworzymy system sterowania urządzeniem, częścią instalacji jak również całym budynkiem. Cechą charakterystyczną sterownika WAGO jest interfejs HMI, zrealizowany poprzez wbudowany serwer WWW. Pozwala on na komunikację z tworzonym systemem sterującym (aplikacją) z dowolnego komputera pracującego w sieci przy zachowaniu wymaganych środków bezpieczeństwa uwzględniających np. prawa dostępu użytkowników oraz metody bezpiecznej komunikacji.

Sterownik PLC jako element SSiN

Zastosowanie sterownika WAGO-I/O-SYSTEM serii 750-880 pozwala na użycie go, jako urządzenia telemechaniki wymieniającego dane zgodnie ze standardem IEC 60870 lub nowszym IEC 61850. Takie podejście pozwala na współpracę sterownika z innymi urządzeniami tworzącymi system SCADA nadzorujący sieć elektroenergetyczną. Przyjmując, jako rozwiązanie drugi ze standardów sterownik staje się urządzeniem IED (Intelligent Electronic Device), którego funkcje i parametry budowane są w oparciu o węzły logiczne LN [8]. Wprowadzenie standardu IEC 61850 do sterowników, pozwoliło na wprowadzenie tych urządzeń do projektu stacji opisanego, jako plik SCD. Plik ten zawiera informację o wszystkich urządzeniach IED realizujących określone funkcje w obrębie stacji elektroenergetycznej oraz o sposobie wymiany informacji pomiędzy nimi. Aby było to możliwe konieczne jest odpowiednie skomunikowanie poszczególnych urządzeń w celu zapewnienia wymagań jakościowych podczas wymiany danych.

Konfiguracja pojedynczego sterownika może być zbudowana w oparciu o następujące elementy:

1. Węzły logiczne, do których należą: wymagane dla każdego urządzenia IED węzły LNN0 oraz LPHD, LN opisane w IEC 61850-5, LN opisane w IEC 61850-7-410, IEC 61850-7-420 oraz 61400-25-1. Rysunek 2 przedstawia grupy dostępnych dla sterownika 750-880 węzłów logicznych [7], [8], [9].
2. Raporty buforowane i niebuforowane (*buffered and unbuffered report*).
3. Zbiory danych (*DataSet*).



Rys.2. Dostępne w sterowniku WAGO-I/O-SYSTEM serii 750-880 grupy węzłów logicznych

Przedstawione na rysunku 2 grupy węzłów logicznych obrazują możliwości wykorzystania sterownika, jako urządzenia IED. Są to grupy pozwalające na modelowanie pomiarów, automatyki zabezpieczeniowej, monitorowanie wybranych parametrów procesu, jaki i pracy samego sterownika oraz sterowanie łącznikami. Na szczególną uwagę zasługują węzły logiczne dedykowane źródłom rozproszonym (DER), współpracującym z nimi elementom jak transformatory, zasobniki energii czy chociażby stacja meteorologiczna. Dzięki takiemu podejściu w systemie sterowania mogą pojawić się różnorodne informacje dostosowane do potrzeb użytkownika.

Konfiguracja sterownika jako IED

Zastosowanie standardu IEC 61850 w sterowniku PLC sprawia, że konieczne staje się zdefiniowanie nowych właściwości dla tego urządzenia. Należą do nich:

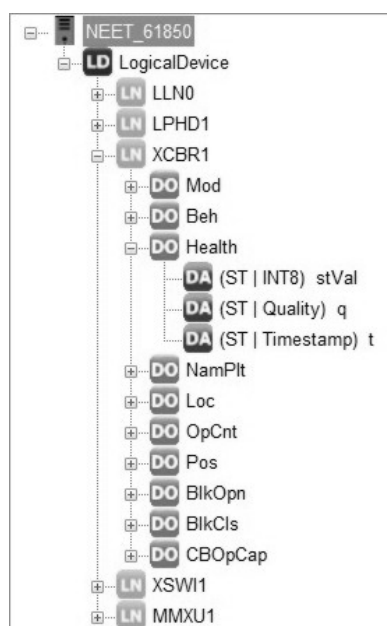
1. Określenie rodzaju danych wymieniających pomiędzy procesem, a urządzeniem oraz pomiędzy urządzeniami tworzącymi układ SCADA.
2. Konfiguracja komunikacji sieciowej. Każde urządzenie IED komunikuje się za pomocą interfejsu sieci Ethernet, dla którego należy określić wszystkie parametry związane z komunikacją TCP/IP. Dodatkowo dla niektórych typów danych (komunikaty GOOSE czy wartości próbkowane) konieczne jest skonfigurowanie komunikacji multicastowej na poziomie warstwy łącza danych modelu OSI. Komunikację tą określa się dla nadawcy jak i odbiorcy danych. Należy również określić preferowany sposób synchronizacji czasu.
3. Konfiguracja węzłów logicznych. Wymusza ona pojawienie się określonych węzłów logicznych w zależności od zadań jakie będzie realizował sterownik. Tworzone funkcje pomiarowe, zabezpieczeniowe czy kontrolne wymagają niekiedy współpracy wielu węzłów LN. Niektóre z LN mogą więc pojawiać się wielokrotnie.

4. Dla określonych rodzajów danych konieczne jest wskazanie miejsca ich przechowywania poprzez zdefiniowanie DataSet, a także określenie sposobu raportowania zmian dokonywanych na danych. Liczba DataSet oraz raportów określana jest na etapie konfiguracji IED.

Jako przykład zamodelowany został prosty układ składający się z kilku węzłów logicznych pozwalających na zarządzanie łącznikami oraz realizację pomiarów. Dodane zostały obowiązkowe węzły LPHD i LNN0 opisują status urządzenia fizycznego i logicznego, jakim jest sterownik. Pozostałe węzły odwzorowują parametry wyłącznika (XCBR) i odłącznika (XSWI) oraz odpowiadają za pomiary (MMXU). W przypadku użycia więcej niż jednego LN z danej grupy ich nazwy uzupełniane są na końcu kolejnymi numerami, dzięki czemu opis pozostaje jednoznaczny.

Zgodnie z wymaganiami IEC 61850 lista obiektów danych DO w każdym LN, może być kształtowana zależnie od tego czy są one wymagane lub opcjonalne [8]. Przykład obiektów danych oraz ich atrybutów (DA) dla LN XCBR1 przedstawia rysunek 3.

Dzięki takiemu podejściu można udostępnić poprzez zbiory danych i raporty tylko takie informacje, które są niezbędne dla zewnętrznego SSiN przekazującego dane do operatora sieci elektroenergetycznej. Informacje wykorzystywane tylko lokalnie, związane z monitorowaniem instalacji i zarządzaniem pracą źródeł pozostaną do dyspozycji sterownika i nie będą odwzorowywane na IEC 61850.



Rys.3. Przykład konfiguracji węzłów logicznych oraz ich atrybutów

Przygotowaną konfigurację sterownika PLC można wyeksportować, jako plik ICD. Plik ten traktowany jest jako szablon opisujący możliwości urządzenia IED. W celu dołączenia sterownika do opisu SSiN stacji. Następnym krokiem jest zaimportowanie pliku ICD do środowiska (aplikacji) odpowiadającej za konfigurację SSiN dla całej stacji (rozdzielniczy) z systemem, której sterownik będzie się komunikował. Powstanie projekt konfiguracji automatyki stacji zgodny z IEC 61850. Ostatnim etapem jest przeniesienie danych szczegółowych zawartych w tym projekcie do poszczególnych urządzeń w tym sterownika PLC. Jest to szczególnie istotnie przy wymianie i dostępie do danych przechowywanych na różnych urządzeniach. W zależności od typów danych i rodzaju komunikatów

definiowane są relacje klient-serwer lub wystawca-subskrybent.

Odwzorowanie parametrów IED w środowisku CoDeSys

O właściwościach i zadaniach realizowanych przez sterownik decyduje to, z jakich modułów się składa oraz jak zostaną one wykorzystane w tworzonej aplikacji. Podstawowym środowiskiem dla sterowników WAGO-I/O-SYSTEM serii 750-880 jest program CoDeSys w wersji 2.3. Zastosowanie standardu IEC 61850 znajduje odzwierciedlenie również w środowisku CoDeSys, w którym tworzona jest aplikacja dla sterownika. Aby móc skonfigurować sterownik należy dla konfiguracji jego zasobów w opcji *PLC Configuration* wprowadzić wszystkie dołączone moduły (*Hardware configuration*) oraz rozszerzenie IEC61850-Konfig. Wywołane zostanie oprogramowanie WAGOIEC61850 Konfigurator, w którym musimy wprowadzić wszystkie dane opisane w poprzednim rozdziale. Zapisanie wprowadzonych w tym konfiguratorze ustawień generuje zmiany w środowisku programowania sterownika.

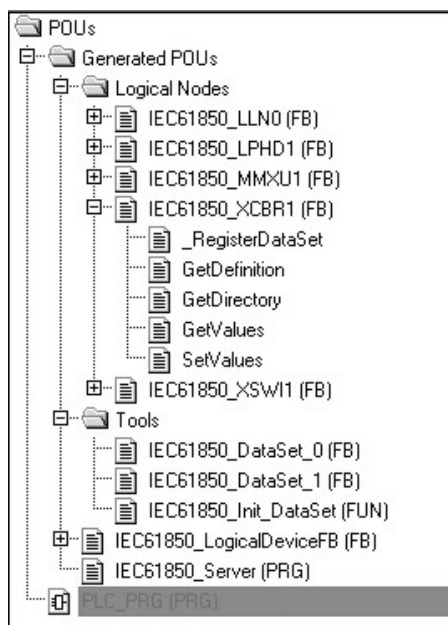
Wszystkie dane oferowane przez IED w środowisku CoDeSys dostępne są, jako zmienne globalne. W *Global Variables* pojawia się nowa grupa opisana jako *IEC61850 Generated Globale Variablen* definiująca dane zawarte w konfiguracji IEC61850.

Dodatkowo mamy do dyspozycji bibliotekę o nazwie WAGOLIB_IEC61850_V1.0.0 opisująca wszystkie zmienne dostępne dla standardu.

Rysunek 4 pokazuje, jak wybór określonych węzłów logicznych wpływa na zawartość projektu głównego dla sterownika PLC. Dla każdego z dodanych LN tworzony jest blok funkcyjny opisujący:

- odwołanie do DataSet,
- definicję węzła,
- położenie (ścieżka dostępu),
- sposób pobierania wartości atrybutów,
- dostęp do raportu (opcjonalnie),
- sposób wstawiania wartości atrybutów.

Dzięki takim blokom funkcyjnym możliwe jest odczytywanie lub manipulacja danymi przypisanymi do określonych atrybutów DO w LN. Usługi te są zgodne z opisem LN zawartym w IEC 61850-5.



Rys.4. Odwzorowanie konfiguracji IED w środowisku CoDeSys

W katalogu *tools* dodawane są bloki funkcyjne opisujące zbiory danych (DataSet), które pozwalają wskazać czy dany DataSet jest aktywny oraz umieszczona jest funkcja inicjująca ich działanie. Dodatkowo tworzone są dwa bloki opisujące wszystkie metody definiowania węzłów logicznych i ich danych oraz konfiguracji urządzenia, jako serwera komunikacyjnego dla standardu.

Opisane zmienne, funkcje i bloki funkcyjne mogą być wykorzystane do tworzenia aplikacji sterownika. Oprócz nich mogą być również stosowane biblioteki i funkcje wykorzystywane do obsługi poszczególnych modułów.

Tworząc aplikacje sterownika PLC możemy stworzyć lokalny system sterując i monitorując pracę instalacji. Może on działać jako system autonomiczny. Wykorzystując moduły specjalne można włączyć do niego urządzenia pracujące w technologii KNX czy DALI. Łącząc ze sobą wiele sterowników możemy stworzyć rozproszony układ zarządzający całą instalacją oraz poszczególnymi źródłami energii. Możemy w aplikacji zawrzeć dowolną logikę i reguły, które pozwolą osiągnąć zamierzony cel. Jest to typowe działanie dla sterowników PLC.

Ponieważ sterownik ma być również częścią SSiN nadzorująca pracę sieci elektroenergetycznej konieczne jest przeniesienie (przypisanie) wybranych informacji do zmiennych opisujących atrybuty węzłów logicznych. Jako przykład można przedstawić to następująco, moduł 750-495 pozwala na prowadzenie pomiarów w obwodach trójfazowych niskiego napięcia. Dzięki dostarczonym przez producenta bibliotekom mamy dostęp do wartości skutecznych prądów i napięć w poszczególnych fazach, mocy czynnych, biernych i pozornych oraz innych danych. Dane np. o wartości skutecznej napięcia mogą być wykorzystane lokalnie, można je również przypisać do zmiennych odpowiadających odpowiedniemu atrybutowi węzła MMXU w standardzie IEC 61850. To przypisanie sprawi, że informacja o napięciu staje się dostępna dla wszystkich IED w SSiN sterujących pracą sieci. Możliwa jest również sytuacja odwrotna, w której zmiany atrybutów LN wymuszone przez SSiN przepisane zostają na parametry lokalne. Można powiedzieć, że sterownik PLC stał się w ten sposób tłumaczem danych pomiędzy lokalnym systemem sterowania, a systemem zewnętrznym.

Jedną z cech sterowników WAGO jest posiadanie wbudowanego serwera WWW. Pozwala to na tworzenie wizualizacji pracy lokalnego systemu sterowania na bazie przeglądarki internetowej oraz urządzeń mobilnych. Pozwala również na zarządzanie i monitorowanie zasobów sterownika za pomocą przeglądarki. Dane wprowadzane do wizualizacji mogą być zarówno danymi lokalnymi jak i globalnymi związanymi ze zdefiniowanymi węzłami logicznymi LN.

Wnioski

W artykule zaprezentowano sposób połączenia dwóch systemów nadzorujących pracę sieci elektroenergetycznej oraz przyłączonej do niej instalacji prosumenckiej. Dzięki zastosowaniu sterownika PLC wyposażonego w standard IEC 61850 uzyskujemy połączenie pomiędzy SSiN operatora sieci, a systemem sterowania instalacja prosumencką. Sterownik staje się elementem łączącym oba systemy, dzięki czemu pomiędzy operatorem sieci i prosumentem mogą być przekazywane wybrane dane niezbędne dla współpracy obu systemów. Pozostałe dane

wykorzystywane w sterowniku PLC mogą być stosowane lokalnie do nadzoru pracy źródła i wybranych obwodów instalacji, a uzyskane wyniki dostępne są przez poprzez wewnętrzny serwer sterownika. Zastosowanie takiego rozwiązania sprawia, że system sterowania zarządzający siecią elektroenergetyczną zyskuje dane na temat pracy źródeł rozproszonych, które w normalnych warunkach nie są kontrolowane. Oparcie komunikacji o standard IEC61850 stosowany w elektroenergetyce jest zalecanym rozwiązaniem dla Smart Grid. Choć na dzień dzisiejszy takie rozwiązanie wydaje się mocno skomplikowane to może ono zyskiwać na znaczeniu wraz wprowadzaniem urządzeń telemechaniki do coraz mniejszych obiektów elektroenergetycznych na średnim i niskim napięciu, a więc coraz bliżej instalacji prosumenckich.

Artykuł powstał w ramach realizacji projektu badawczo-rozwojowego w ramach programu: GEKON – GENERATOR KONCEPCJI EKOLOGICZNYCH GEKON1/02/2014108/19/2014 pt. „Dynamiczne zarządzanie zdolnościami przesyłowymi sieci elektroenergetycznych przy wykorzystaniu innowacyjnych technik pomiarowych

Autorzy: dr inż. Robert Jędrychowski, Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: r.jedrychowski@pollub.pl; dr hab. inż. Piotr Miller, Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: p.miller@pollub.pl. dr inż. Michał Wydra, Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: m.wydra@pollub.pl.

LITERATURA

- [1] IEC Smart Grid Standardization Roadmap. Prepared by SMB Smart Grid Strategic Group (SG3), June 2010; Edition 1.0
- [2] Jędrychowski R., Wydra M., Modeling of control systems dedicated to dispersed energy sources, Przegląd Elektrotechniczny 90 (2014), n.3, 247-250
- [3] Jędrychowski R., Kontrola pracy małych źródeł energii elektrycznej w sieci niskiego napięcia, Rynek Energii 21(2009) n.81, 46-51
- [4] Jędrychowski R., Wykorzystanie sterowników PLC, jako źródła informacji dla systemów nadzorujących pracę jednostek wytwórczych małej mocy, Rynek Energii 110 (2014), n.1, 30-34
- [5] Kacejko P., Inżynieria elektryczna i technologie informatyczne w nowoczesnych technologiach energetycznych. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 82, Lublin 2011
- [6] Miller P., Wancerz M., Jędrychowski R., Wykorzystanie informacji o zmianach topologii sieci do dynamicznej korekty nastaw elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej, Rynek Energii, 116 (2015), n.1, 20-25
- [7] PN-EN 61400-25-1 Turbozespoły wiatrowe. Komunikacja układów monitorowania i sterowania elektrowni wiatrowych Marzec 2006
- [8] PN-EN 61850-7 Systems and telecommunication networks for energy companies automation. November 2011
- [9] PN-EN 61850-7-420 Systems and telecommunication networks in substations. Communication systems for dispersed energy sources. December 2009
- [10] WAGO. Dokumentacja techniczna. Technika pomiaru prądu i energii