

## Inteligentne podstacje elektroenergetyczne

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono architekturę komunikacyjną inteligentnych podstacji elektroenergetycznych bazującą na standardzie komunikacyjnym Ethernet oraz na obiektowym modelu reprezentacji danych. Zarysowano podstawy standardu IEC 61850 i przedstawiono podstawowe elementy tego standardu zapewniające interoperacyjność pomiędzy urządzeniami instalowanymi w podstacjach, pomiędzy podstacjami oraz podstacji z centrami nadzoru obszarowego i krajowego.

**Abstract.** The article presents a communication architecture of an intelligent power substations based on Ethernet standard communication and object-oriented data model representation. The fundamentals of IEC 61850 standard are outlined and the basic elements of this standard to ensure interoperability between devices installed in substations, between substations and substations and zonal or national supervision centers are presented. (**Intelligent Power Substations**).

**Słowa kluczowe:** Podstacje energetyczne, sieci komputerowe, IEC 61850.

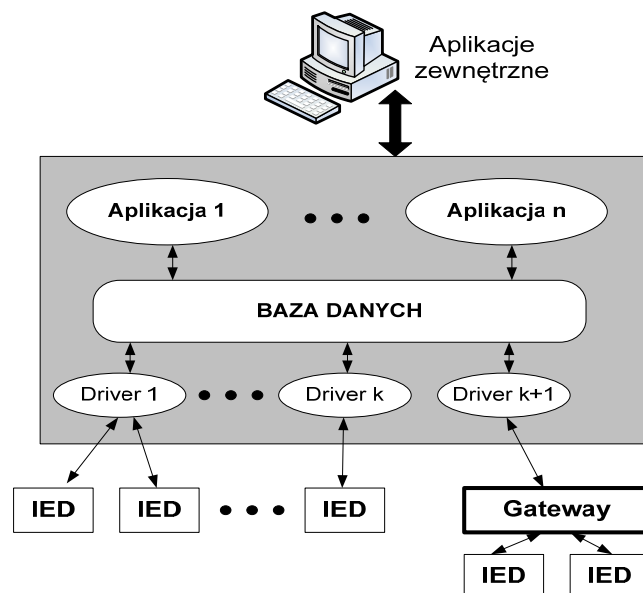
**Keywords:** Power substations, computer networks, IEC 61850.

doi:10.12915/pe.2014.11.13

### Wprowadzenie

Rozwój sieci elektroenergetycznych (SE) w kierunku inteligentnych sieci SG (Smart Grid) o dwukierunkowym przepływie energii, sieci otwartych na mikro sieci i odnawialne źródła energii, sieci angażujących zaawansowane rozwiązania IT zapewniające interoperacyjność poszczególnych elementów tworzących współczesną SE, wymaga również wprowadzenia istotnych modyfikacji na poziomie pomiarowo – sterującym (automatyki) podstacji elektroenergetycznych (PE) [1]. Automatyki PE wymagają interakcji z urządzeniami (np. zabezpieczeniami, przekładnikami) pracującymi w różnych polach PE. W przypadku klasycznej realizacji PE wymagane jest wprowadzenie tzw. okrężnych obwodów sygnalizacyjnych lub pomiarowych, co znacznie zwiększa złożoność PE, jej koszty inwestycji i eksploatacji oraz podatność całego układu na potencjalne uszkodzenia. Obniżenie kosztów oraz zwiększenie niezawodności systemu osiągnięto poprzez zastąpienie kosztownych i kłopotliwych w eksploatacji obwodów okrężnych, cyfrową magistralą komunikacyjną umożliwiającą swobodną wymianę informacji pomiędzy poszczególnymi elementami automatów rozproszonych w podstacji. Pierwsze generacje cyfrowych magistral komunikacyjnych bazowały na protokołach Modbus, DNP 3.0 czy CAN. Pomimo niewątpliwych korzyści wynikających z ich stosowania, okazało się, że rozwiązania te sprawdzają się głównie na poziomie lokalnym, natomiast próba zapewnienia interoperacyjności pomiędzy stacjami była trudna do zrealizowania. Na rys. 1 przedstawiono najczęściej obecnie spotykaną architekturę PE. Dane z urządzeń pomiarowych i sterujących przechowywane są w bazie danych i są wykorzystywane przez aplikacje lokalne i przekazywane są do centrów nadzoru. Komunikacja z poszczególnymi urządzeniami realizowana jest z użyciem „driverów” komunikacyjnych obsługujących poszczególne urządzenia IED (Intelligent Electronic Device). W przypadku stosowania urządzeń z protokołami firmowymi, ich obsługa wymaga stosowania urządzeń pośredniczących Gateway. Takie rozwiązanie systemu komunikacyjnego, w kontekście wymagań wynikających z wprowadzanych obecnie inteligentnych SE nie było satysfakcjonujące z uwagi na zbyt niską przepływność i przepustowość magistralowych systemów komunikacyjnych bazujących na interfejsach RS-422/485 oraz z uwagi na opóźnienia wynikające z konwersji protokołów i interfejsów. Ponadto klasyczna struktura systemu komunikacyjnego PE jest rozwiązaniem, które nie jest dobrze przygotowane do spełnienia wymogu interoperacyjności pomiędzy PE oraz pozostałymi elementami występującymi we współczesnej strukturze SE.

Problemy te rozwiązuje wprowadzenie, zgodnie z normą IEC 61850, standardu Ethernet wraz z obiektowymi modelami danych. Prowadzone w ostatnich latach prace doprowadziły do opracowania standardów umożliwiających uzyskanie znacznie bardziej zadawalającego stopnia interoperacyjności. Jednym z nich jest standard IEC 61850 oraz standardy IEC 61968 i IEC 61970 [2, 3, 4]

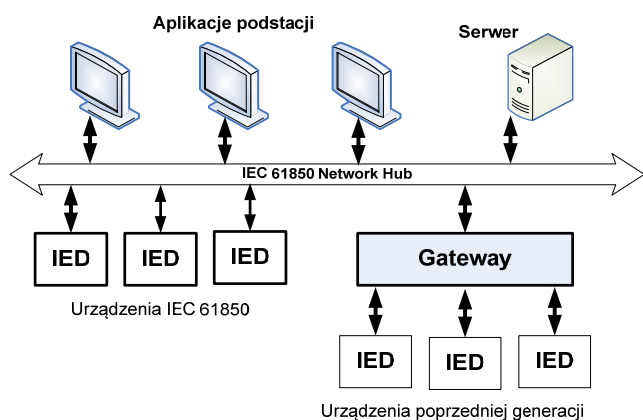


Rys. 1. Klasyczna struktura systemu komunikacyjnego podstacji

### Inteligentne podstacje elektroenergetyczne

Istotną rolę we współczesnych inteligentnych PE odgrywa jak najlepsze rozwiązanie ich systemów komunikacji lokalnej i rozległej. Każda inteligentna PE powinna być wyposażona w szybką lokalną sieć komputerową, która zapewni niezawodną i szybką komunikację pomiędzy urządzeniami pomiarowymi, sterującymi oraz aplikacjami. Dane gromadzone na PE oraz otrzymywane z innych PE lub nadrzędnych centrów zarządzania powinny być gromadzone na lokalnym serwerze PE. Lokalny serwer PE powinien być połączony poprzez router z siecią prywatną operatora systemu dystrybucji lub operatora systemu przesyłowego. Połączenie to można zrealizować również z wykorzystaniem sieci publicznej. Jednak wymaga to zastosowania bezpiecznych łączy komunikacyjnych np. kanałów VPN, zapewniających poufność i integralność przesyłanych danych.

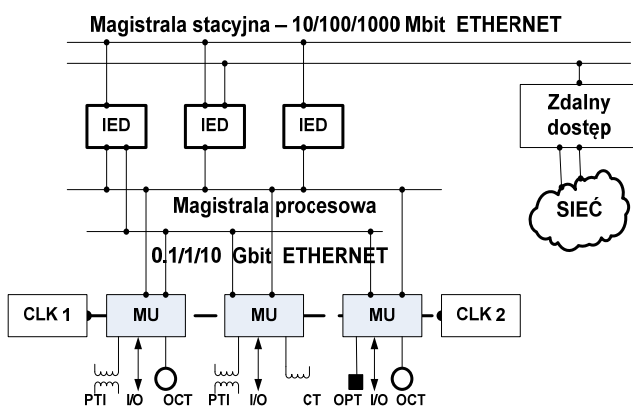
O ile rozwiązanie zagadnień bezpiecznej komunikacji na poziomie sprzętowym i programowym w sieci publicznej lub prywatnej można uznać obecnie za satysfakcjonujące, to dużo gorzej przedstawia się sytuacja w samych PE. Duże nadzieje wiąże się z wprowadzaniem obecnie w PE nowym standardem bazującym na otwartym protokole komunikacyjnym, zgodnym z normą IEC 61850 (rys. 2).



Rys. 2. Struktura podstacji zgodna z IEC 61850

### Standard IEC 61850

Standard IEC 61850 opracowano i wdrożono w celu zapewnienia integracji i interoperacyjności pomiędzy urządzeniami instalowanymi w PE i pomiędzy PE [2, 3]. Integracja i interoperacyjność oznaczają zdolność urządzeń zainstalowanych w PE do wymiany informacji i interakcji (współdziałania) z urządzeniami zainstalowanymi na innych PE w celu wykonywania zadań zdefiniowanych przez użytkowników. Norma ta określa m. in. sieci łączności oraz systemy automatyki w stacjach. Modele danych i komunikacji są obiektowe, hierarchiczne i zorientowane na konkretną funkcję w systemie. Obejmują wszystkie trzy poziomy komunikacji wyróżnione w stacji elektroenergetycznej: procesu, pola i stacji. Na rys. 3 przedstawiono architekturę PE zgodną z normą IEC 61850. W porównaniu do rozwiązań poprzedniej generacji, wyróżniono w niej dwa poziomy magistral komunikacyjnych bazujących na komunikacji w standardzie Ethernet, stosowanym we współczesnych sieciach teleinformatycznych na poziomie sieci lokalnej, miejskiej i rozległej.

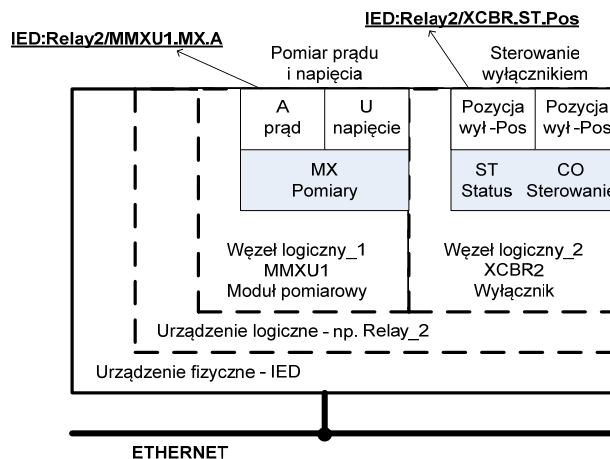


Rys. 3. Architektura podstacji zgodna z IEC 61850

Przyjęcie takiego rozwiązania, które jest otwarte zarówno na technologię komunikacyjną „client-server” jak i „peer-to-peer”, znacznie ułatwia współpracę pomiędzy PE oraz poszczególnych PE z centrami nadzoru obszarowej lub krajowej dyspozycji mocy. Przyjęto, że magistrala komunikacyjna na poziomie wyższym (magistrala stacyjna) będzie pracowała z przepływnościami od 10 do 1000

Mbit/sek, natomiast magistrala procesowa obsługująca urządzenia pomiarowo – sterujące zainstalowane na obiekcie będzie pracowała z przepływnościami o rząd wyższymi tzn. od 0.1 do 10 Gbit/sek. Wynika to z wyższych wymagań czasowych nakładanych na komunikację pomiędzy urządzeniami pomiarowymi i sterującymi MU (Merging Unit). Informacja pomiarowa z urządzeń MU, obsługujących czujniki, przetworniki i we/wy binarne, poprzez magistralę procesową jest mapowana do urządzeń IED. Każda z wymienionych cech nowej architektury jest niezmiernie istotna z punktu widzenia zadań jakie wynikają z ewolucji SE w stronę sieci inteligentnych. Zarówno na poziomie magistrali stacyjnej jak i procesowej przewidziano możliwość realizacji połączeń redundantnych klasy Dual Homing, co oznacza, że jeżeli urządzenie jest podłączone do dwóch przełączników, to w przypadku kiedy połączenie zdefiniowane jako primary nie będzie funkcjonowało, to w sposób automatyczny działanie tego łącza przejmuje drugie połączenie typu secondary. Na poziomie magistrali procesowej i stacyjnej wykorzystuje się możliwość realizacji transmisji priorytetowych oraz konfiguracji sieci VLAN. Z uwagi na wysokie wymagania synchronizacji czasowej stawiane urządzeniom zainstalowanym w PE na poziomie obiektowym, w normie przewidziane zostały dwa źródła sygnałów zegarowych CLK1 i CLK 2.

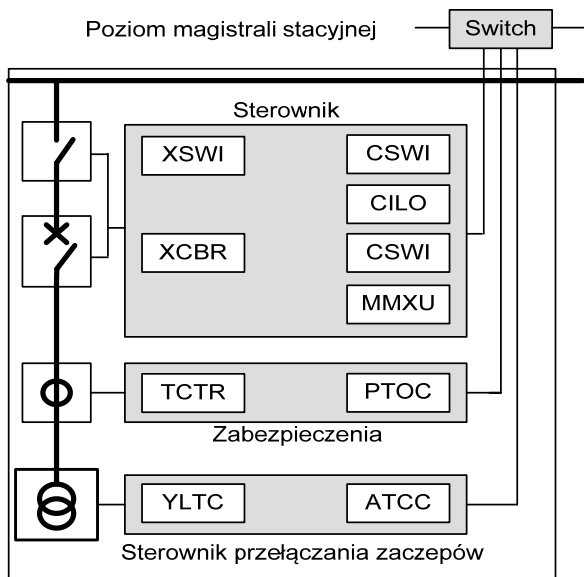
Jednym z kluczowych elementów normy IEC 61850 niezbędnych do sformalizowania urządzeń, danych i komunikacji w PE było zdefiniowanie urządzenia logicznego oraz węzła logicznego. Na rys. 4 przedstawiono model węzła IEC 61850. Do formalnego definiowania funkcji wprowadzono koncepcję węzłów logicznych LN (Logical Node). LN oznacza najmniejszą jednostkę funkcjonalną danego urządzenia IED, która może komunikować się z innymi LN. LN jest obiektem, który zawiera związane z nim atrybuty. Zdefiniowany jest również znormalizowany dostęp do danych. Każdy węzeł PE posiada nazwę, która identyfikuje LN, atrybut oraz urządzenie logiczne, w którym dany węzeł został zdefiniowany np.: Relay2/MMXU.MX.A.



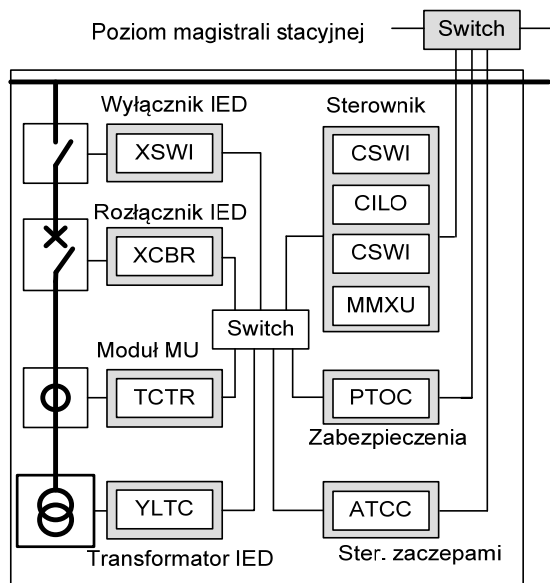
Rys. 4. Model węzła IEC 61850

Zarówno nazwy węzłów, urządzeń jak i atrybutów są znormalizowane, co umożliwiłoby definiowanie wymagań funkcjonalnych w sposób znormalizowany. Relacje pomiędzy poszczególnymi LN definiuje się z wykorzystaniem języka konfiguracji podstacji SCL (Substation Configuration Language) bazującego na XML. Pliki SCL definiują topologię podstacji oraz funkcje i konfiguracje urządzeń IED. Podstawową korzyścią z takiego rozwiązania jest oddzielenie się od części fizycznej PE i operowanie jedynie ze standaryzowanymi nazwami i zmiennymi. Zaproponowane w normie

rozwiązanie formalizacji PE i jej automatyki, powinno ułatwić projektantom automatyki PE oraz operatorom linii przesyłowych i dystrybucyjnych zrozumienie funkcjonalności danej PE. Ważnym elementem procesu projektowania automatki PE w standardzie IEC 61850 jest projekt konfiguracji komunikacji z użyciem profilu GOOSE, który określa powiązania komunikacyjne między poszczególnymi urządzeniami w PE realizowane z pominięciem stosu komunikacyjnego TCP/IP [4]. Pominięcie stosu TCP/IP pozwala na skrócenie czasu transmisji pomiędzy węzłami logicznymi, dzięki czemu możliwe jest spełnienie rygorystycznych ograniczeń czasowych związanych z przesyłaniem krytycznych informacji (zmiana statusu, blokowanie, odłączenie, itp.). Komunikaty GOOSE mają postać raportów o strukturze obiektowej, złożonych z sygnałów oraz wartości analogowych. Zawartość każdego raportu określa tzw. zestaw danych odwołujący się do wybranych danych źródełowych.



Rys. 5. Funkcjonalności węzłów IEC 61850 w podstacji bez magistrali procesowej



Rys. 6. Funkcjonalności węzłów IEC 61850 w podstacji z magistralą procesową

Na rys. 5 i rys. 6 przedstawiono funkcjonalności węzłów dla pojedynczej linii zgodnie z nazwami zdefiniowanymi w

standardzie IEC 61850. W pierwszym przypadku (rys. 5), który można określić jako rozwiązanie klasyczne, nie występuje magistrala procesowa a większość funkcjonalności skoncentrowana jest w jednym fizycznym urządzeniu sterownika. W drugim przypadku (rys. 6), funkcjonalności zostały rozproszone i są realizowane przez kilka urządzeń fizycznych IED połączonych pomiędzy sobą ethernetowym systemem komunikacyjnym. Takie rozwiązanie pozwala projektantowi podstacji w prosty sposób zastosować rozwiązania redundantne dla wybranych, newralgicznych funkcjonalności wraz z redundancją części komunikacyjnej.

Z uwagi na wysokie wymagania niezawodnościowe stawiane rozwiązaniom automatyki zabezpieczeniowej instalowanym w podstacjach elektroenergetycznych, często występującym problemem do pokonania jest unikanie pojedynczego punktu awarii. Jeżeli wymaganie to dotyczyłoby np. dwóch funkcjonalności XCBR oraz TCTR, to w rozwiązaniu klasycznym (rys. 5) oznaczałoby to konieczność zainstalowania drugiego sterownika i drugiego układu zabezpieczającego. Tak rozwiązana redundancja układowa zawierałaby dużą nadmiarowość funkcjonalną w stosunku do postawionych wymagań. Znacznie prościej problem pojedynczego punktu awarii można rozwiązać w podstacjach zaprojektowanych zgodnie z wymogami normy IEC 61850, ponieważ dostęp do poszczególnych funkcjonalności jest niezależny poprzez magistralę procesową (rys. 6). Ponadto, jeżeli wymóg usunięcia pojedynczego punktu awarii będzie odnosił się również do magistrali procesowej, to poprzez zainstalowanie redundantnego przełącznika i wykonaniu dodatkowych połączeń pomiędzy rozłącznikiem IED (XCBR) i modułem MU (TCTR) daje się ten postulat zrealizować, co w przypadku rozwiązania klasycznego nie jest możliwe.

#### Podsumowanie

Standard IEC 61850 jest unikalny z uwagi na stopień wykorzystania współcześnie opracowanych technologii teleinformatycznych, mechanizmów wymiany danych i obiektowych technologii informatycznych wraz z językiem SCL do stworzenia formalnego opisu danych i automatki realizowanych w PE. Do najważniejszych zalet standardu IEC 61850 należy zaliczyć: zapewnienie interoperacyjności urządzeń, zmniejszenie opóźnień wynikających z konwersji protokołów i interfejsów, łatwość diagnostyki urządzeń i redukcję okablowania rozdzielni. Wysoce użyteczną cechą rozwiązań bazujących na IEC 61850 jest otwartość na rozwiązania redundantne dla wybranych funkcjonalności. Dzięki dostępności narzędzi projektowych dla IEC 61850 proces projektowania podstacji, pomimo stosowania zaawansowanych rozwiązań, nie jest trudny.

#### LITERATURA

- [1] Alcatel-Lucent: Rozwiązania Smart Grid dla przedsiębiorstw energetycznych. WNP, Warszawa, 2010.
- [2] Mackiewicz R.E.: Overview of IEC 61850 and Benefits. SISCO USA, 2006. [http://www.sisconet.com/downloads/iec61850-overview\\_and\\_benefits\\_paper\\_general.pdf](http://www.sisconet.com/downloads/iec61850-overview_and_benefits_paper_general.pdf).
- [3] Schwartz K.: IEC 61850 beyond Substations. The Standard for the whole Energy Supply System. Macau, CEPPI, 2008.
- [4] Wieczorek Z.: Komunikacja zgodna z IEC 61850. Ethernet przełączający jako infrastruktura komunikacyjna dla systemów sterowania, nadzoru i zabezpieczeń SE. Elektro.info, 5/2010.

**Autorzy:** doc. dr inż. Emil Michta, dr inż. Robert Szulim, dr inż. Adam Markowski, dr hab. inż. Wiesław Miczulski, prof. UZ, Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Metrologii Elektrycznej, ul. Podgórska 50, 62-246 Zielona Góra,  
E-mail: [E.Michta@ime.uz.zgora.pl](mailto:E.Michta@ime.uz.zgora.pl), [R.Szulim@ime.uz.zgora.pl](mailto:R.Szulim@ime.uz.zgora.pl), [A.Markowski@ime.uz.zgora.pl](mailto:A.Markowski@ime.uz.zgora.pl), [W.Miczulski@ime.uz.zgora.pl](mailto:W.Miczulski@ime.uz.zgora.pl).