

mgr inż. ANDRZEJ GACEK
dr inż. LESZEK KSIĄŻEK
mgr inż. PAWEŁ WLAZŁO
Instytut Tele- i Radiotechniczny

Transmisja danych z elektronicznych przetworników prądowych na szynę procesową w standardzie IEC 61850

W energetyce standard IEC 61850 jest coraz powszechniej stosowanym rozwiązaniem przy wdrożeniach nowych stacji rozdzielczych lub przy modernizacji stacji istniejących. Jednym z głównych aspektów poprawnego funkcjonowania tego typu systemów jest pomiar podstawowych wielkości elektrycznych, takich jak np. prąd i napięcie. W artykule dokonano opisu systemu akwizycji i przesyłania wartości chwilowych prądu wykorzystującego przekładniki bezrdzeniowe. Przedstawiono główne problemy implementacyjne systemu, a także wskazano czynniki, które mogą wpłynąć na dalszą poprawę jego parametrów technicznych.

słowa kluczowe: stacje rozdzielcze, przekładniki bezrdzeniowe, transmisja danych, standard IEC 61850.

1. WSTĘP

Standard IEC 61850 jest aktualnie w energetyce rozwiązaniem coraz powszechniej stosowanym przy wdrożeniach nowych stacji rozdzielczych lub przy modernizacji stacji istniejących. Jednym z głównych aspektów poprawnego funkcjonowania tego typu systemów jest pomiar podstawowych wielkości elektrycznych, takich jak prąd i napięcie, oraz ich pochodnych. Obecnie w kwestii pomiarów prądu coraz częściej rozważa się zastąpienie klasycznych przekładników rdzeniowych przekładnikami bezrdzeniowymi wykorzystującymi cewki Rogowskiego. Rozwiązania te posiadają wiele zalet w stosunku do stosowanych dotychczas. Zapewniają dużo większą dynamikę pomiarów oraz dużo lepszą liniowość. Charakteryzują się znacznie mniejszymi gabarytami i masą, przez co ułatwiony jest ich montaż. W artykule dokonano opisu systemu akwizycji i przesyłania wartości chwilowych prądu wykorzystującego przekładniki bezrdzeniowe. Każdy z trzech torów prądowych wyposażony jest w inteligentny układ pomiarowy, który dokonuje synchronicznych pomiarów prądu w takt impulsów synchronizowanych czasem

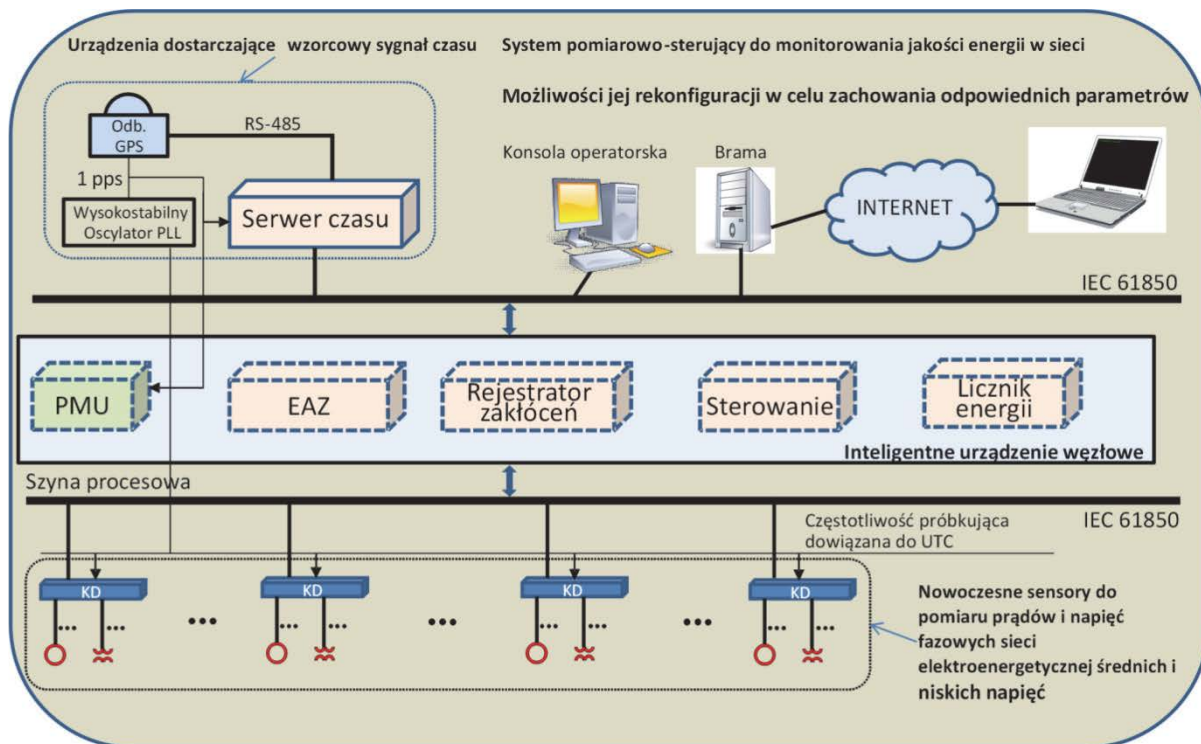
UCT (*Universal Coordinated Time*). Za pomocą łącz światłowodowych dane pomiarowe przesyłane są do koncentratora danych, w którym są formowane w struktury zgodne z normą IEC 61850 w zakresie przesyłania próbek pomiarowych *Sampled Value* łączem Ethernet. Przedstawiono główne problemy implementacyjne systemu, a także wskazano na czynniki, które mogą wpłynąć na dalszą poprawę jego parametrów technicznych.

2. INTELIGENTNY PRZETWORNIK PRĄDOWY

W nowoczesnych inteligentnych stacjach rozdzielczych (rys. 1) wydziela się tzw. szynę procesową do przesyłu informacji w formacie cyfrowym o ustalonym standardzie. W praktycznych realizacjach takich systemów szynę procesową tworzy się, wykorzystując infrastrukturę sieci Ethernet. Główne elementy takiej infrastruktury to przemysłowe switchy Ethernet oraz łącza transmisyjne światłowodowe lub typu „skrętka miedziana” (tam gdzie jest możliwa do zastosowania). Obecnie w obszarze sieci inteligentnych *Smart Grid* w zakresie stacji rozdzielczych uznanym

i zalecanym standardem wymiany informacji pomiędzy elementami stacji jest IEC 61850 [1, 2, 3, 8]. Standard ten pozwala m.in. sterować i monitorować pola rozdzielcze poprzez funkcje serwera MMS (*Manufacturing Message Specification*), realizować blokady międzypolowe poprzez mechanizm GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) oraz przysyłać próbkowane wartości chwilowe prądów

i napięć (*Sampled Values*). Wszystkie urządzenia dołączone do szyny procesowej wystawiają lub pobierają z niej potrzebne wartości. Jednymi z najważniejszych danych przesyłanych w stacji rozdzielczej są wartości pomiarowe prądów i napięć. W stacjach realizowanych zgodnie z normą IEC 61850 informacje te udostępniane są przez urządzenia typu *Merging Unit* [4].



Rys. 1. Inteligentna stacja rozdzielcza

Inteligentny przetwornik prądowy został opracowany w dwóch wersjach:

- z zasilaniem autonomicznym (rys. 2),
- z zasilaniem zewnętrznym.

W obu wariantach stosowany jest ten sam przetwornik prądowy oraz układ elektroniczny [6]. Odpowiada on za pomiar prądu, przetworzenie wartości na znormalizowany format oraz synchroniczne ich wysyłanie do koncentratora zgodnie z sygnałami synchronizacyjnymi. Umieszczenie w pobliżu przetwornika układu pomiarowego zmniejsza wpływ zakłóceń pola elektromagnetycznego na mierzony sygnał [5].

Wersja ISP zasilana z prądów operacyjnych posiada ograniczenie związane z zasilaniem urządzenia przy małych prądach w stosunku do wartości nominalnej. Częściowym rozwiązaniem tego problemu jest właściwy dobór zasilającego transformatora prądowego do wartości prądu nominalnego, tak aby układ mógł poprawnie pracować przy 5% wartości prądu nominalnego.



Rys. 2. Widok ISP w wersji z zasilaniem autonomicznym

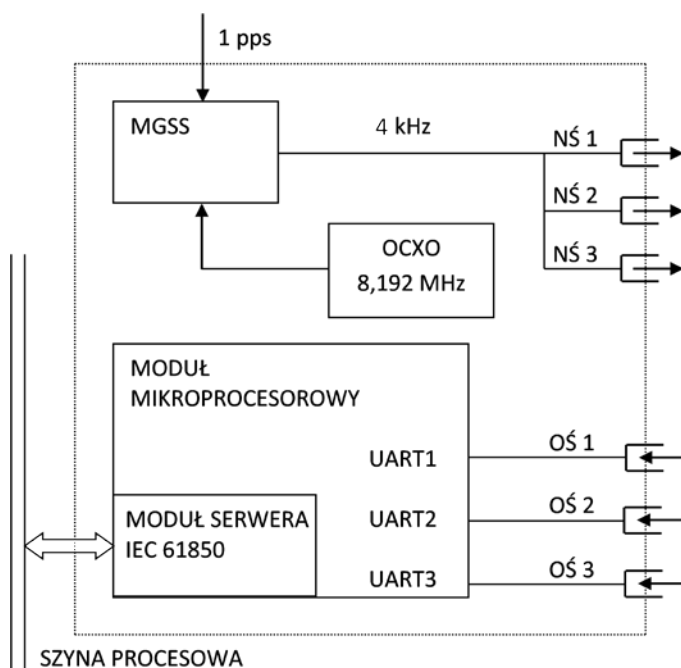
W rozwiązaniu ISP z zasilaniem zewnętrznym nie występują wyżej wymienione ograniczenia. Przetwornik jest mniejszy i lżejszy. Konieczne jest jednak zapewnienie ciągłości jego zasilania.

2.1. Jednostka łącząca

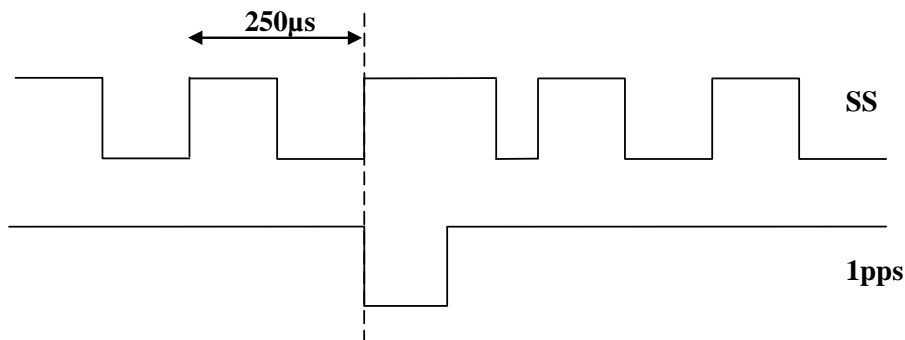
Jednostka łącząca (*Merging Unit* – MU) jest inteligentnym urządzeniem elektronicznym (*Intelligent Electronic Device* – IDE) pełniącym rolę koncentratora danych oraz interfejsu między światem analogowym a cyfrowym. Źródłem sygnałów są przekładniki/przetworniki prądów i napięć. MU udostępnia dane w postaci zsynchronizowanych czasowo pakietów próbek – *Sampled Values* (SV). Zgodnie z wymaganiami standardu przesyłanie danych przewiduje dwa warianty ich udostępniania: 80 lub 256 komple-

tów próbek/okres [7]. Komplet próbek SV składa się z: $I_1, I_2, I_3, I_0, U_1, U_2, U_3$ i U_0 , zsynchronizowanych do czasu UTC z dokładnością do 4 μ s.

W przedstawianym rozwiązaniu, zwanym koncentratorem danych (KD), pełniącym funkcję *Merging Unit*, udostępniane są tylko wartości prądów fazowych (rys. 3) w formie ciągów zsynchronizowanych próbek pochodzących z inteligentnych przetworników prądowych (ISP). Próbki mogą być wystawiane przez KD na szynę procesową w wariancie 80 lub 256 próbek/okres. Pobieranie danych z ISP i ich synchronizacja odbywa się poprzez łącza światłowodowe – nadajniki NŚ 1, NŚ 2 NŚ 3 i odbiorniki OŚ 1, OŚ 2 OŚ (rys. 3). Synchronizacja czasu w KD i przetworników prądowych ISP odbywa się z dokładnością 3,5 μ s.



Rys. 3. Schemat blokowy koncentratora danych

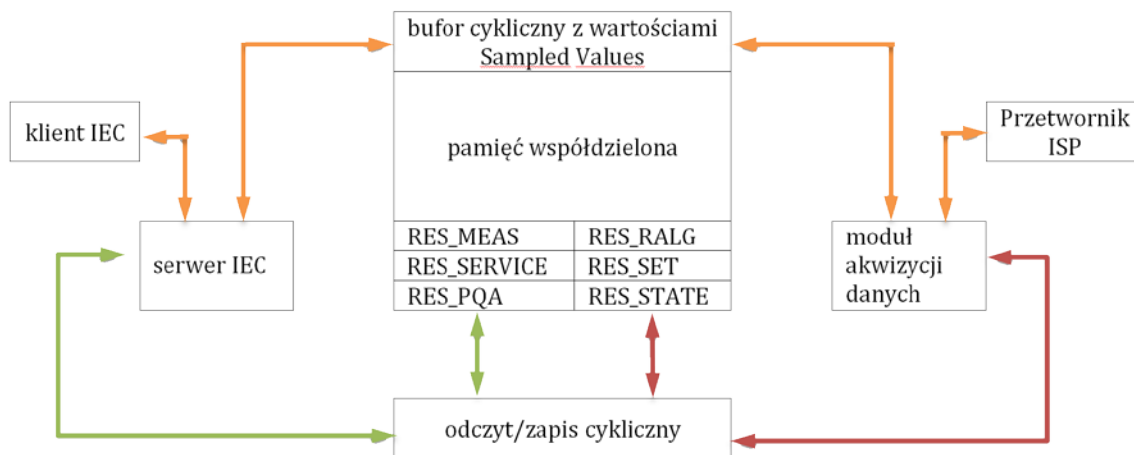


Rys. 4. Kształt sygnału synchronizującego (SS) przetworniki ISP. Linią przerywaną zaznaczono punkt synchronizacji czasowej modułu MGSS z czasem UTC

Jednostkę centralną urządzenia stanowi mikroprocesor ARM Cortex – A8 z zainstalowanym systemem operacyjnym Linux. Wymiana danych pochodzących z ISP z modułem serwera IEC 61850 odbywa się poprzez pamięć współdzieloną. Za synchronizację czasu odpowiada moduł generacji sygnału synchronizującego (MGSS), który generuje sygnał synchronizujący dowiązany czasowo do skali czasu UTC pozyskiwanej przez odbiornik GPS – sygnał czasu z odbiornika GPS jest dostarczany w postaci ciągu impulsów 1 pps. Na rys. 4. przedstawiono kształt sygnału synchronizującego przetworniki ISP. Jest to sygnał prostokątny o wypełnieniu 50% i częstotliwości 4kHz. Co sekundę impuls odpowiadający zboczu sygnału 1 pps ma wypełnienie 75%. Na podstawie tej informacji ISP dosynchronizowują pobieranie próbek do czasu wzorcowego UTC.

2.2. Transmisja danych na szynę procesową

Model transmisji wielkości próbkowanych z przetwornika prądowego do innych użytkowników oparty jest na szybkim i niezawodnym systemie dystrybucji danych poprzez zastosowanie mechanizmu publikacji i subskrypcji danych w postaci tzw. *Sampled Values* wykorzystywanych w standardzie IEC 61850. Transmisja wartości próbkowanych jest uwarunkowana czasowo, dlatego ścieżka związana z przekazaniem danych od przetwornika do systemu zewnętrznego musi być bardzo szybka, a jednocześnie niezawodna. Jednostka centralna sterownika wyposażona jest w kilka modułów funkcjonalnych, które odpowiadają za akwizycję danych (próbek), umieszczenie ich w odpowiednich strukturach buforowych i wysłanie na komunikacyjną szynę procesową do odbiorcy. Aby proces ten przebiegał bardzo szybko, zastosowano międzyprocesowe mechanizmy komunikacji (ang. IPC) poprzez użycie pamięci współdzielonej w postaci bufora cyklicznego, zdefiniowano interfejsy dostępu wraz z kontrolą kompletności operacji zapisu i odczytu do pamięci poszczególnych modułów funkcjonalnych (rys. 5).



Rys. 5. Schemat ideowy mechanizmu komunikacji międzyprocesowej wykorzystywanej w module mikroprocesorowym KD

Mechanizm publikacji wartości próbkowanych SV poprzez moduł serwera IEC 61850 pełniącego rolę wydawcy może odbywać się na dwa sposoby:

- z zastosowaniem MULTICAST-APPLICATION-ASSOCIATION – mechanizmu rozsyłania grupowego, kontrolowanego przez węzeł logiczny MSVCB,
- z zastosowaniem UNICAST SAMPLE VALUE CONTROL BLOCK – mechanizmu rozsyłania indywidualnego, kontrolowanego przez węzeł logiczny USVCB.

W praktyce oba mechanizmy posiadają pewną funkcjonalność odróżniającą je od siebie. W przypadku zastosowania wariantu pierwszego istnieje możliwość transmisji wartości do większej niż jeden liczby użytkowników (subskrybentów), przy czym komunikacja między wydawcą a subskrybentem odbywa się w trybie połączenia grupowego. Możliwość sterowania mechanizmem publikacji mają tylko uprawnieni subskrybenci. Sama publikacja wartości próbkowanych odbywa się niezależnie od tego, czy wartości te są pobierane przez jakiegokolwiek subskrybenta.

W przypadku skorzystania z drugiej metody wartości próbkowane transmitowane są tylko do jednego odbiorcy (subskrybenta). Subskrybent inicjuje komunikację z wydawcą, ustanawiając połączenie dwustronne aplikacji. Następnie może skonfigurować węzeł logiczny odpowiadający za mechanizm publikacji wartości próbkowanych i uruchamia publikację tych wartości poprzez zmianę atrybutu SvEna na „Aktywny”. Podczas transmisji wartości próbkowanych między subskrybentem a wydawcą musi być ustanowione połączenie na poziomie aplikacji. Gdy połączenie takie zostanie zamknięte/zerwane, wydawca automatycznie zaprzestaje publikacji wartości.

Dane pochodzące z *Merging Unit* są wykorzystywane m.in. przez: sterowniki polowe, rejestratory zakłóceń, analizatory jakości energii. Ponieważ transmisja wartości SV ma specjalne uwarunkowania czasowe, w praktyce do tego rodzaju transmisji pomiędzy wydawcą a subskrybentami wydzielona jest odrębna fizyczna szyna procesowa – oddzielna sieć komunikacyjna. Komunikaty SV są opatrzone specjalnym nagłówkiem używanym przy transmisji w sieciach wirtualnych, zawierającym m.in. identyfikator sieci oraz priorytet komunikatu. Aby system transmisyjny spełniał wymagania czasowe związane z przesyłaniem dużej ilości komunikatów, należy zastosować odpowiednie urządzenia pośredniczące, które będą w stanie kolejkować dużą liczbę komunikatów oraz zapewnić obsługę ich priorytetów.

3. PODSUMOWANIE

W tradycyjnych rozwiązaniach połączenia pomiędzy przekładnikami a sterownikami polowymi realizowane są za pomocą kabli elektrycznych przenoszących informację w postaci sygnału analogowego. Sygnał taki narażony jest na oddziaływanie zakłócającego pola elektromagnetycznego występującego w stacjach rozdzielczych. Nowoczesne technologie i standard IEC 61850 pozwalają na zmianę podejścia do sposobu przekazywania informacji pomiędzy

urządzeniami wchodzącymi w skład stacji oraz informacji wystawianych i pobieranych z szyny procesowej. Zastosowanie w stacjach rozdzielczych łączności typu Ethernet z łączami światłowodowymi w warstwie fizycznej, odpornymi na zakłócenia elektromagnetyczne, pozwala na przesyłanie danych w znormalizowanych formatach i ich wykorzystywanie przez dowolne urządzenia inteligentne zainstalowane w stacji. Przedstawione w artykule rozwiązanie charakteryzuje się szerokim zakresem zastosowań i dużą odpornością na zakłócenia elektromagnetyczne, a także zapewnia wysoką pewność oraz jakość dostarczanych danych. W celu zwiększenia niezawodności funkcjonowania rozwiązania takie powinny być wyposażone w redundantne łącza transmisyjne dublujące łącza główne.

Niniejsza publikacja zawiera wyniki prac uzyskane podczas realizacji projektu PBS1/B4/2/2012 finansowanego przez NCBiR.

Literatura

1. Gacek A., Książek L.: *Modelowanie systemu automatyki stacji w standardzie IEC61850*. „Elektronika”, 2000, nr 7(51), s. 71-74.
2. Dolezilek D., Whitehead D., Skendzic V.: *Integration of IEC 61850 GSE and Sampled Value Services to Reduce Substation Wiring*. Schweitzer Engineering Laboratories 2010.
3. IEC 61850 International Standard, Communication Networks and Systems in Substations, Part 5 to 9-2, 2003-2004.
4. Lee H.H., Kim G.S., Lee J.H., Kim B.J.: *Real-Time Communications on IEC 61850 Process Bus Based Distributed Sampled Measured Values Applications in Merging Unit*. Lecture Notes in Computer Science 5226, Springer 2008.
5. Lisowiec A.: *Wpływ parametrów cewki Rogowskiego na wartości pomiarowe w stacjach dynamicznych*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, 2006, nr 8(427), s. 7-11.
6. Przybysz R., Wlazło P.: *Inteligentne przetworniki prądowe w automatyce elektroenergetycznej*. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, 2014, nr 5(519), s. 5-11.
7. UCA International Users Group, Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2, July 2004.
8. Weiss S., Graeve P., Andersson A.: *Benefits of Converting Conventional Instrument Transformer Data into Smart Grid Capable Process Data Utilizing IEC 61850 Merging Unit*. CIRED – 21st International Conference on Electricity Distribution, Frankfurt, June 2011, 6-9.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.