

System dystrybucji sygnału do synchronizacji izolowanych sensorów prądu i napięcia

Streszczenie. Wymóg izolacji galwanicznej sensorów do pomiaru prądów i napięcia od trójfazowej sieci elektroenergetycznej SN, powoduje szereg problemów związanych z synchronizmem próbkowania, przesyłaniem danych oraz zasilaniem sensorów. Artykuł zawiera opis unikatowego systemu dystrybucji zasilania i sygnału synchronizującego izolowane galwanicznie sensory - przetworniki próbkujące prądy i napięcia trójfazowej sieci elektroenergetycznej SN. Synchronizacja próbkowania jest podyktowana dokładnością pomiaru kątów przesunięć fazowych pomiędzy poszczególnymi prądami lub napięciami sieci SN, a w konsekwencji obliczeń mocy, energii, synchronofazorów i wartości RMS.

Abstract. The requirement of galvanic isolation of current and voltage measuring sensors for three-phase mains grid causes a number of problems related to sampling synchronism, data transmission and sensor supply. Article describes the unique distribution system of power and synchronizing signal for galvanically isolated sensors - transducers sampling currents and voltage in the three-phase power network. Synchronization of sampling rate is mandatory due to the accuracy of the of phase shifts angles measurement between voltages or currents in grid and consequently the calculations of power, energy, synchrophazors and RMS value. **(Signal distribution system for synchronization of isolated current and voltage sensors)**

Słowa kluczowe: izolacja galwaniczna, sensor napięcia, sensor prądu, synchronizacja.

Keywords: galvanic isolation, voltage sensor, current sensor, synchronization.

Wstęp

Kontrola procesu przesyłania, rozdzielania i użytkowania energii elektrycznej poprzez sterowanie aparaturą łączeniową i zabezpieczanie elementów systemu elektroenergetycznego wymaga zastosowania urządzeń elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej (EAZ). Urządzenia tego typu muszą posiadać wiarygodne dane pomiarowe, a więc informacje na temat wartości płynących prądów czy wartości napięć obecnych na zaciskach pomiarowych, a także o zależnościach czasowych pomiędzy wartościami chwilowymi. Od elementów pomiarowych odpowiedzialnych za bezpieczeństwo dostaw energii i bezpieczeństwo ludzi wymaga się wysokiej niezawodności podczas wykonywania zadań w całym okresie eksploatacji, jak i stabilnej pracy niezależnej od czynników środowiska zewnętrznego.

Jako medium pomiarowe prądów i napięć fazowych wykorzystywane są czujniki prądu i czujniki napięć. Od prawidłowości danych pochodzących z tych podstawowych elementów konstrukcji stacji elektroenergetycznych zależy bezpieczeństwo ludzi i dostaw energii, a od samych czujników wymaga się wysokiej niezawodności podczas wykonywania zadań w całym okresie eksploatacji, jak i stabilnej pracy niezależnej od czynników środowiska zewnętrznego. Często przewody pomiarowe są równolegle prowadzone do szyn, prądowych, lub montowane są w miejscach o wysokich natężeniach pól elektromagnetycznych odpowiedzialnych za wprowadzanie błędów pomiarowych. Rozwiązanie proponowane w projekcie uodparnia cały system pomiarowo – zabezpieczeniowy od tego typu błędów zapewniając jednocześnie wysokim poziom izolacji galwanicznej warunkującej wysokie bezpieczeństwo infrastruktury i personelu. W projekcie klasyczne analogowe czujniki prądu i napięcia zastąpiono sensorami prądu i napięcia wyposażonymi w wyjścia światłowodowe.

Topologia systemu

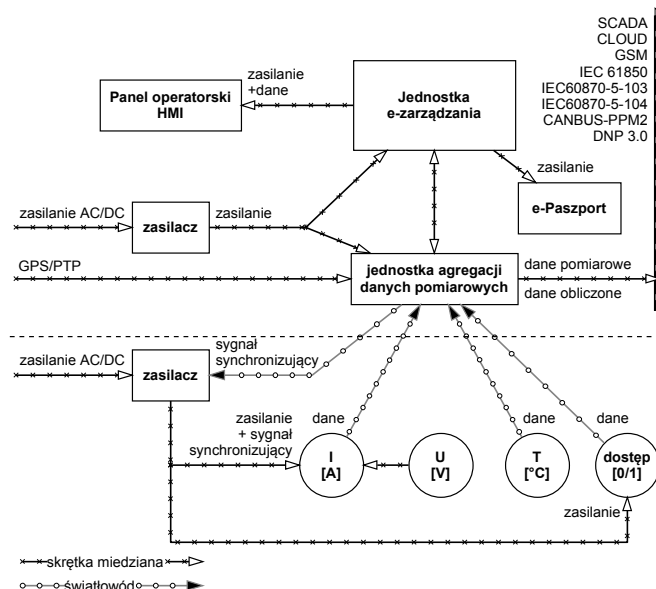
Wszystkie – zarówno nowe, jak i klasyczne konstrukcje stacji elektroenergetycznych wykorzystują każdorazowo urządzenia sterujące, pomiarowe, zabezpieczające i automatyzujące proces przesyłania i rozdzielania energii elektrycznej. Urządzeniami tymi zwykle są sterowniki zabezpieczeniowe potocznie zwane urządzeniami EAZ. W klasycznej topologii, do urządzenia EAZ dołączone są

drogą analogową czujniki pomiaru napięć i prądów. Od dołączonych czujników wymaga się odpowiedniej precyzji wykonania, odpowiednich współczynników przetwarzania. Zwykle czujnikami tymi są różne rodzaje transformatorów lub dzielników rezystancyjnych i/lub pojemnościowych, takich jak przekładniki prądowe, przekładniki napięciowe, a coraz częściej cewki Rogowskiego i rezystancyjne dzielniki do pomiaru napięć. Wadą tych rozwiązań jest konieczność stosowania dodatkowych zabezpieczeń pomiędzy zastosowanymi czujnikami i urządzeniem EAZ, a także że że pełna informacja (w tym o zależnościach czasowych) o parametrach mierzonych prądów i napięć dostępna jest jedynie w urządzeniu bezpośrednio dołączonym do czujników.

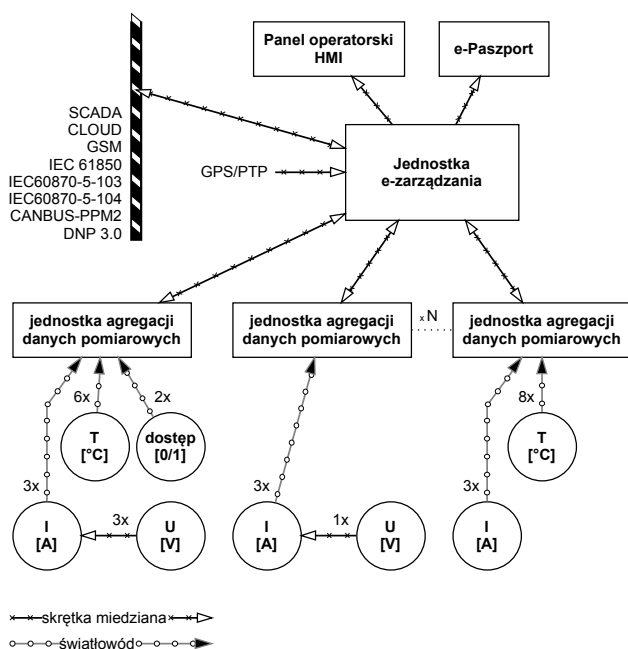
Zaproponowana w projekcie topologia (fig. 1.) eliminuje te wady. Przedstawione poniżej schematycznie rozwiązanie techniczne umożliwiające akwizycję danych pomiarowych w systemie elektroenergetycznym wykorzystuje jako podstawę swojego działania światłowodowy. Nielektryczne medium transmisyjne użyte do budowy systemu pomiarowego gwarantuje:

- wysoką niezawodność transmisji danych,
- dużą odporność transmitowanego sygnału na zakłócenia elektromagnetyczne obecne w przemysłowym środowisku systemu elektroenergetycznego,
- dużą prędkość transmisji danych pomiarowych,
- brak utraty jakości i ilości transmitowanych danych na duże odległości pomiędzy sensorami i jednostką akwizycji danych pomiarowych,
- wysoki poziom separacji galwanicznej pomiędzy sensorem pomiarowym a jednostką akwizycji danych,
- dane udostępniane za pomocą światłowodów dostępne są nie tylko w urządzeniu odbierającym, ale udostępniane są wszystkim zainteresowanym urządzeniom w sieci.

W klasycznych konstrukcjach urządzeń pomiarowych nie ma możliwości szybkiej dystrybucji pełnej informacji o mierzonym sygnale w jego cyfrowej postaci – a więc w postaci próbek prądów i napięć każdej fazy. Urządzenia pomiarowe potrzebują czasu na próbkowanie kompletu sygnałów, analizę na drodze cyfrowej, która często służy do zabezpieczeń – podstawowego zadania sterowników EAZ. Możliwość udostępniania próbek sygnału posiada każdorazowo niższy priorytet.



Rys.1. Topologia skalowalnego systemu z inteligentnymi sensorami do e-zarządzania stacjami elektroenergetycznymi



Rys.2. Przykładowa implementacja systemu demonstrująca jego skalowalność poprzez dołączanie różnego typu i liczby urządzeń

W proponowanym w projekcie rozwiązaniu sytuacja jest odmienna. Cechą różniącą te dwa podejścia jest zastosowanie sensorów wykorzystujących klasyczne czujniki prądu i napięcia, ale uzbrojone w dedykowane układy kondycjonujące, próbkujące i udostępniające agregowane dane dla każdej fazy - dla prądu i dla napięcia. Ponadto konstrukcja sensorów umożliwia podanie sygnału synchronizującego, dzięki czemu pozyskane synchronicznie dane posiadają pełną informację na temat zależności czasowych. Tak zebrane dane dostarczane są światłowodami do jednostki agregującej dane z sensorów, która dalej udostępnia te dane za pomocą znanych protokołów sieciowych dedykowanych do udostępniania danych pomiarowych zainteresowanym urządzeniom. Dane te mogą być wykorzystane do zdalnego wyłączenia – w tym awaryjnego (zabezpieczenia EAZ), sterowania procesami przesyłu, automatyzacji. To dzięki przesyłaniu kompletnej

informacji o sygnałach mierzonych, dane te mogą być wykorzystane w klasyczny sposób do sterowania, automatyzacji procesu przesyłania energii, a także do zabezpieczania sieci elektroenergetycznej.

Skalowalność systemu

Dzięki zastosowaniu opisanej topologii system zyskuje jeszcze jedną bardzo pożądaną właściwość – skalowalność (patrz fig. 2.), definiowaną jako zdolność systemu do utrzymania wydajności przy zwiększaniu jego obciążenia poprzez wzrost liczby elementów składowych. Skalowalność świadczy o bogatych możliwościach elastycznego rozbudowywania systemu w sensory pomiarowe.

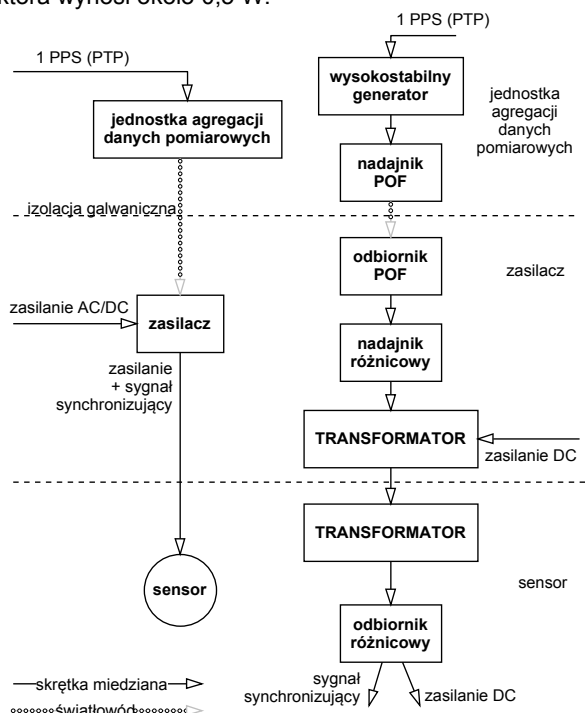
Dotychczas takie rozbudowywanie systemu pomiarowo zabezpieczającego pociągało za sobą duże nakłady inwestycyjne wiążące się z instalacją klasycznych rozwiązań pomiarowych – zazwyczaj z kompletem czujników pomiarowych. W projekcie problem ten nie istnieje, ponieważ dane przesyłane są światłowodem w dowolne miejsce stacji elektroenergetycznej – tam gdzie znajduje się jednostka agregacji danych. Podejście takie ułatwia projektowanie stacji elektroenergetycznej i jednocześnie stanowi podstawę do optymalizacji kosztowej całego rozwiązania.

System dystrybucji sygnału synchronizującego

Zastosowanie opisanej topologii systemowej wiąże się z koniecznością synchronizowania momentu próbkowania wykonywanego przez sensory pomiarowe [1]. Ze względu na fakt, że sensory do pomiaru napięć i prądów muszą być od siebie separowane galwanicznie, w konstrukcji sensorów do wysyłania danych zastosowano światłowody. Zastosowanie sensorów wyposażonych w przetworniki próbkujące sygnał pochodzący z czujników oraz w obwody przetwarzające próbkowane sygnały w użyteczny sygnał cyfrowy wysyłany następnie przez nadajnik światłowodowy, wymusiło dostarczenie odpowiedniej, niewielkiej energii elektrycznej do zasilania przetworników i układów nadawczych. Innymi słowy kosztem technologicznym rozwiązania wykorzystującego sensory z wyjściem cyfrowym jest konieczność stosowania zasilaczy do zasilania tych sensorów.

W celu optymalizacji zasobów sprzętowych i samego procesu przesyłania pełnej informacji o prądach i

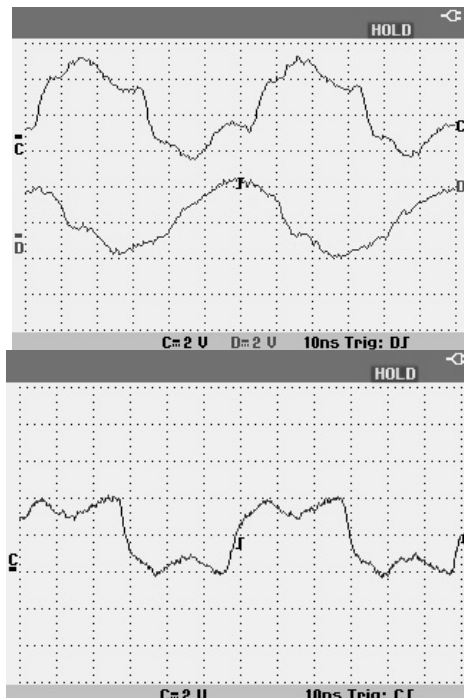
napięciach w sieci – zastosowano metodę sprzęgania sygnału synchronizującego z napięciem zasilającym (fig. 3.). Należy zaznaczyć, że komplet przesyłanych informacji zawiera zarówno dane pomiarowe, jak i sygnał synchronizujący te dane. Dodatkowo do sensorów musi zostać dostarczone napięcie zasilające o niewielkiej mocy, która wynosi około 0,5 W.



Rys.3. System dystrybucji sygnału synchronizującego; po lewej reprezentacja sygnałów fizycznych, po prawej z uwzględnieniem fizycznej formy transmisji.

Na Fig.3. zaprezentowano system dystrybucji sygnału synchronizujący wykorzystany w projekcie. Widać na nim po lewej drogę sygnału synchronizującego od jednostki agregacji danych do sensora, a po prawej stronie droga sygnału synchronizującego opisana jest w sposób bardziej szczegółowy uwzględniający nie tylko medium transmisyjne, ale również fizyczną formę transmisji opisującą drogę sygnału synchronizującego.

Fig. 4. Przedstawia oscylogramy pochodzące z obwodów dystrybucji sygnału synchronizującego.



Rys.4. Oscylogramy sygnału synchronizującego; u góry: C sygnał wysokostabilnego generatora kwarcowego D-sygnał podawany na nadajnik światłowodowy na dole: C – sygnał synchronizujący przetworniki ADC w sensorach

Podsumowanie

Skalowalny system z inteligentnymi sensorami do zarządzania stacjami elektroenergetycznymi umożliwia konstruowanie nowoczesnych rozwiązań dla elektroenergetycznych sieci Smart Grid zarówno niskiego jak i średniego napięcia oraz umożliwia adaptowanie bieżących konstrukcji do rosnących wymagań stawianych inteligentnym sieciom energetycznym.

Zastosowane w projekcie rozwiązania konstrukcyjne a w szczególności wykorzystanie światłowódów do przesyłania informacji - gwarantuje pełną kompatybilność z klasycznymi konstrukcjami stacji wykorzystującymi tradycyjne czujniki prądów i napięć dołączone do urządzeń EAZ. Rozwiązanie to sprawdzi się jednak przede wszystkim w nowo konstruowanych stacjach elektroenergetycznych pracujących w sieciach SMART GRID.

Innowacyjne rozwiązania techniczne wprowadzone w systemie takie jak: synchronizacja czasowa komponentów systemu, cyfrowa transmisja danych za pomocą światłowódów, zwiększają niezawodność dostaw energii elektrycznej, bezpieczeństwo personelu oraz zastosowanej aparatury.

Artykuł powstał w ramach Projektu RPMA.01.02.00 -14-5759/16 pod nazwą „Skalowalny system z inteligentnymi sensorami do zarządzania stacjami elektroenergetycznymi” finansowanego poprzez: Regionalny Program Operacyjny Województwa Mazowieckiego na lata 2014-2020 Oś priorytetowa I Wykorzystanie działalności badawczo-rozwojowej w gospodarce Działanie 1.2 Działalność badawczo - rozwojowa przedsiębiorstw.



Autorzy:

mgr inż. Paweł Michalski, Instytut Tele- i Radiotechniczny, ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, E-mail: pawel.michalski@itr.org.pl; mgr inż. Jerzy Chudorliński, Instytut Tele- i Radiotechniczny, ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, E-mail: jerzy.chudorliński@itr.org.pl; mgr inż. Karol Makowiecki, Instytut Tele- i Radiotechniczny, ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, E-mail: karol.makowiecki@itr.org.pl;

LITERATURA

- [1] Kalinowski A., Kowalski G. Lisowiec A., Bezrdzeniowy przetworzik prądowy z synchronizacją, *Elektronika* 11.2015, s. 83-84