

doi:10.15199/48.2023.02.62

Sterownik PLC jako translator komunikacyjny Modbus-IEC 61850

Streszczenie. Artykuł opisuje projekt i wykonanie wieloprotokołowego translatora komunikacyjnego, który został zrealizowany z wykorzystaniem sterownika PLC oraz wdrożony w systemie SCADA stacji elektroenergetycznej Laboratorium LINTE² na Politechnice Gdańskiej.

Abstract. The paper describes the design and implementation of a multi-protocol communication translator that was accomplished with a PLC controller and implemented in the SCADA system of power substation in Laboratory LINTE² at Gdańsk University of Technology. (PLC Controller as a Modbus-IEC 61850 Communication Translator).

Słowa kluczowe: sterowniki PLC, systemy SCADA, protokoły komunikacyjne, IEC 61850.

Keywords: PLC controllers, SCADA systems, communication protocols, IEC 61850.

Wstęp

Wraz z rozwojem inteligentnych sieci elektroenergetycznych (ang. *Smart Grid*), wykorzystanie wydajnych technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) staje się niezbędne do zapewnienia niezawodnej i bezpiecznej pracy wszystkich elementów tych sieci.

Jednocześnie, różnorodność spotykanych systemów i urządzeń ICT powoduje szereg trudności z ich wzajemnym dopasowaniem i skomunikowaniem. Szczególnie jest to widoczne w automatyce stacji elektroenergetycznych, gdzie brak interoperacyjności urządzeń pochodzących od wielu różnych producentów przysparza istotnych problemów w ich integracji w systemach sterowania i nadzoru (ang. SCADA).

Opisane rozwiązanie powstało w ramach pracy dyplomowej inżynierskiej, obronionej na Politechnice Gdańskiej w 2022 roku [1].

Translatorzy komunikacyjne w systemach SCADA

W nowoczesnych stacjach elektroenergetycznych coraz częściej znajdują zastosowanie systemy SCADA, dzięki czemu możliwa jest m.in. zdalna kontrola operatorska nad urządzeniami instalowanymi w stacjach (łączniki, przekładniki zabezpieczeniowe, sterowniki polowe itp.).

Podstawą budowy i działania systemów SCADA jest komunikacja, w której wykorzystane są różnorodne sieci i protokoły komunikacyjne, takie jak: Modbus RTU, Modbus TCP, DNP3, IEC 60870-5-101/-103/-104, IEC 61850.

Jednocześnie, w sieciach komunikacyjnych zdarzają się sytuacje, gdy dochodzi do konieczności połączenia się z urządzeniami, które nie mają interfejsu/protokołu zgodnego z dostępnymi lub wymaganymi w systemie SCADA.

W takich przypadkach wykorzystuje się specjalne urządzenia "tłumaczące" komunikację z jednego interfejsu/protokołu na inny. Urządzenia takie nazywane są koncentratorami, brankami, lub translatorami komunikacyjnymi. Nazwa takich urządzeń w języku polskim nie jest jeszcze ujednoczona i ustabilizowana, w związku z czym, dla uniknięcia nieporozumień, w niniejszej pracy zdecydowano się na stosowanie określenia *translator komunikacyjny*.

Funkcje translatorów komunikacyjnych mogą pełnić specjalizowane inteligentne urządzenia cyfrowe (ang. *Intelligent Electronic Devices – IED*), które z reguły realizują również inne zaawansowane funkcje z zakresu automatyki stacyjnej. W stacjach elektroenergetycznych urządzenia IED zazwyczaj pełnią rolę sterowników polowych (w obrębie wybranych pól stacji) lub sterowników stacyjnych (w obrębie całej rozdzielni lub stacji).

Przykładowym przemysłowym translatorem komunikacyjnym jest urządzenie MOXA MGate 5109 obsługujące protokoły Modbus oraz DNP3 [2].

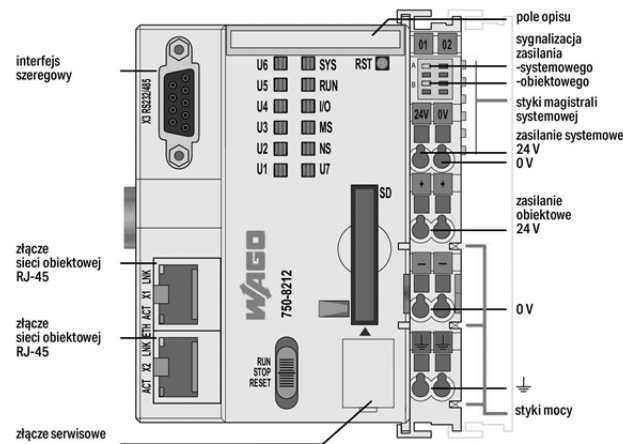
Sterownik WAGO PFC200

Do budowy translatora komunikacyjnego wykorzystano sterownik programowalny WAGO PFC200 8212/025-001 należący do modularnego systemu WAGO I/O System [4].

Sterownik posiada wbudowane 2 porty Ethernet, 1 złącze RS-232/-485, wspiera moduły dwustanowe i analogowe z serii 750/753 oraz szereg protokołów komunikacyjnych, w tym Modbus RTU/TCP, DNP3, IEC 60870-5-101/-103/-104, IEC 61400-25, IEC 61850-7 – dzięki czemu jest dobrze przystosowany do realizacji wielorakich funkcji rozproszonej automatyki w stacjach elektroenergetycznych.

Środowisko programistyczne sterownika PFC200 tworzą e!COCKPIT (CoDeSys 3.5) oraz WAGO-I/O-PRO (CoDeSys 2.3), które wspierają tworzenie aplikacji we wszystkich językach programowania zgodnych z IEC 61131-3 [3].

Widok sterownika WAGO PFC200 pokazano na rys. 1.



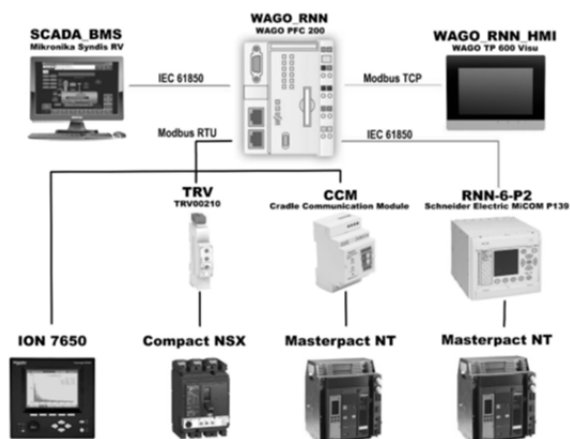
Rysunek 1. Sterownik PLC WAGO PFC 200 (2. generacji) [4]

Schemat systemu komunikacyjnego sterownika

Głównym zadaniem opracowanego sterownika (z funkcją wieloprotokołowego translatora) jest pośredniczenie w zdalnej komunikacji pomiędzy systemem SCADA Laboratorium LINTE², a aparaturą zainstalowaną w jego stacji zasilającej (rozdzielnicą RNN).

Sterownik stacyjny został zrealizowany na bazie sterownika WAGO PFC200, który dodatkowo wyposażono w dotykowy panel operatorski (ang. HMI) typu WAGO TP600, umożliwiający odczyt sygnałów oraz sterowanie lokalne urządzeń połączonych ze sterownikiem [5].

Ideowy schemat systemu komunikacyjnego sterownika WAGO_RNN pokazano na rys. 2.



Rysunek 2. Schemat systemu komunikacyjnego sterownika WAGO_RNN

Sterownik, nazwany WAGO_RNN, realizuje następujące funkcje i wykorzystuje następujące protokoły komunikacyjne:

- klient komunikacyjny „odpytujący” dwadzieścia cztery urządzenia zainstalowane w stacji RNN za pomocą protokołu Modbus RTU,
- serwer komunikacyjny odpowiadający na zapytania otrzymywane z panelu HMI za pomocą protokołu Modbus TCP,
- klient komunikacyjny „odpytujący” trzy przełączniki zabezpieczeniowe za pomocą protokołu MMS/IEC 61850,
- serwer komunikacyjny odpowiadający na zapytania otrzymywane z systemu SCADA za pomocą protokołu MMS/IEC 61850.

Ważnym zadaniem sterownika WAGO_RNN, oprócz umożliwienia komunikacji pomiędzy wyżej wymienionymi podsystemami, jest również reprezentacja danych (parametrów, pomiarów i sterowań), przesyłanych pomiędzy sterownikiem a systemem SCADA, w ustandaryzowanym modelu danych zgodnym z normą IEC 61850.

Sterownik stacyjny realizuje również nadzór nad trybami komunikacji *zdalny/lokalny*, także zgodnie z normą IEC 61850 [6]. Dzięki temu możliwa jest m.in. realizacja sterowania pozycją wyłączników w rozdzielni RNN z wykorzystaniem trybu *Select Before Operate*, który zwiększa bezpieczeństwo eksploatacyjne wykonywania operacji łączeniowych w środowisku wielodostępny.

WAGO_RNN ma również możliwość wykonywania połączeń komunikacyjnych za pomocą protokołu GOOSE/IEC 61850, co jednak w aktualnej realizacji translatora nie zostało wykorzystane.

Komunikacja Modbus RTU

Protokół Modbus RTU, oparty na komunikacji szeregowej RS-232/422/485, należy do najpopularniejszych protokołów komunikacyjnych. Jest to otwarty protokół typu klient-serwer, w którym transmisja polega na odczytywaniu i zapisywaniu danych przez urządzenie zwane *klientem* (dawniej *master*) za pomocą rejestrów połączonych siecią szeregową urządzeń zwanych *serwerami* (dawniej *slave*) [7].

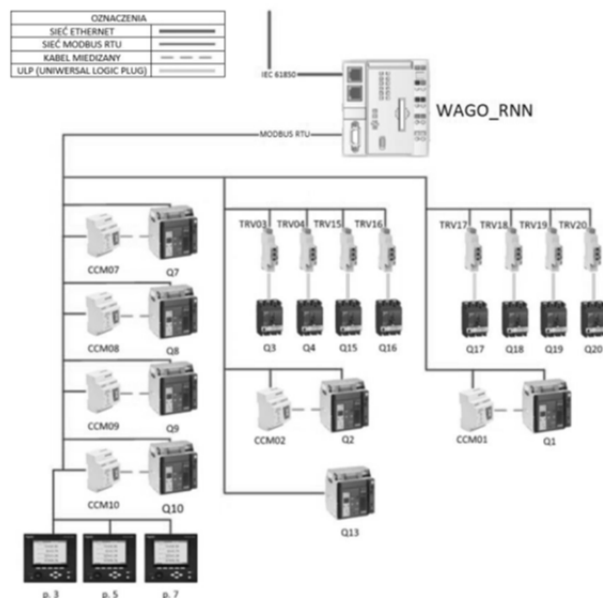
W ramach projektu wykonano nową magistralę szeregową (sieć komunikacyjną Modbus RTU) pomiędzy sterownikiem WAGO_RNN, a następującymi urządzeniami zainstalowanymi w rozdzielni RNN:

- 3 analizatory parametrów sieci ION7650 służące do akwizycji pomiarów elektrycznych w głównych węzłach stacji,

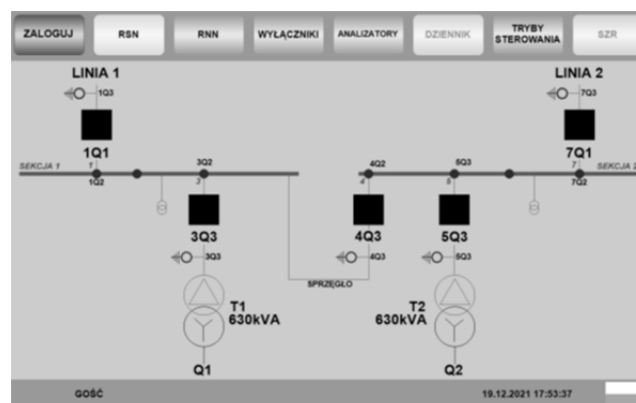
- 7 wyłączników MasterPact NT wyposażonych w moduły zabezpieczająco-sterujące *MicroLogic*.
- 8 wyłączników Compact NSX wraz z modułami komunikacyjnymi *Modbus TRV IFM*,
- 6 modułów komunikacyjnych *Cradle Communication Module* służących do monitorowania stanu wózków wyłączników MasterPact NT.

Konfigurację parametrów komunikacyjnych w protokole Modbus RTU zrealizowano w programie WAGO I/O PRO (CoDeSys 2.3), za pomocą półautomatycznego kreatora *Modbus Master Configurator*. W efekcie powstały odrębne podprogramy odpowiadające za komunikację z serwerami urządzeń slave – odpowiednimi wyłącznikami i analizatorami parametrów sieci w rozdzielni RNN.

Szczegółowy schemat sieci komunikacyjnej Modbus RTU pokazano na rys. 3.



Rysunek 3. Schemat systemu komunikacyjnego sterownika WAGO_RNN



Rysunek 4. Widok głównego ekranu aplikacji panelu HMI

Komunikacja Modbus TCP

Protokół Modbus TCP bazuje na standardzie sieci Ethernet TCP/IP, dzięki czemu w łatwy sposób można łączyć się pomiędzy urządzeniami posiadającymi interfejs TCP/IP.

Użycie protokołu Modbus TCP pozwoliło zrealizować komunikację sterownika WAGO_RNN z panelem HMI, przy czym oprogramowanie sterownika zrealizowano za pomocą WAGO-I/O-PRO (CoDeSys 2.3), a oprogramowanie panelu HMI za pomocą e!COCKPIT (CoDeSys 3.5).

Zrealizowana komunikacja Modbus TCP umożliwiła m.in. odwzorowanie stanu aparatów w rozdzielnicy RNN na ekranie panelu HMI, co pokazano na rys. 4.

Komunikacja klienta MMS/IEC 61850

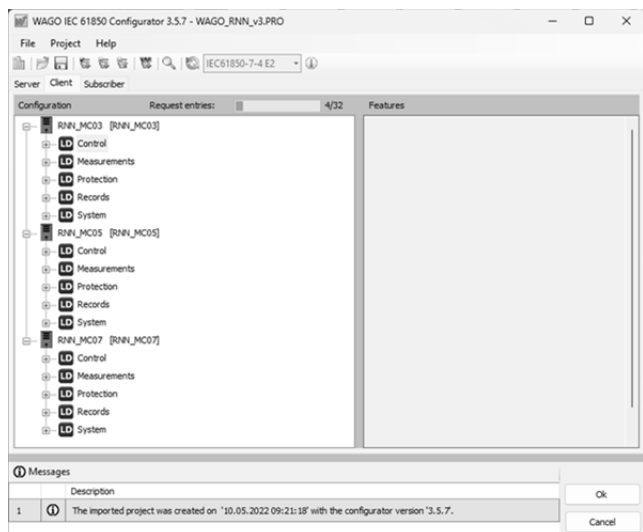
Komunikacja między WAGO_RNN, a przekaźnikami zabezpieczeniowymi MiCOM P139 zrealizowana została za pomocą protokołu komunikacyjnego MMS/IEC 61850, w którym wykonywane są sterowania i nadzór nad odpowiednimi wyłącznikami, a także nadzór nad członami zabezpieczeniowymi przekaźników.

W tym rozwiązaniu sterownik WAGO_RNN jest klientem protokołu komunikacyjnego MMS/IEC 61850, natomiast przekaźniki MiCOM P139 są serwerami IED tego protokołu.

Konfiguracja klienta MMS/IEC 61850 została utworzona za pomocą odczytu plików informacji konfiguracyjnych (ang. CID) ze skomunikowanych urządzeń IED – w tym wypadku przekaźników zabezpieczeniowych MiCOM P139.

W sterowniku WAGO_RNN oprogramowano odczyt wszystkich raportów komunikacyjnych, skonfigurowanych w przekaźnikach zabezpieczeniowych, a także sterowanie wyłącznikami z wykorzystaniem trybu *Select Before Operate*.

Struktura modelu danych konfiguracji klienta została pokazana na rys. 5.



Rysunek 5. Konfiguracja klienta MMS/IEC 61850 sterownika WAGO_RNN

Model danych i komunikacja serwera MMS/IEC 61850

Standard IEC 61850 pozwala usystematyzować strukturę informacji dot. urządzeń IED instalowanych w sieciach i stacjach elektroenergetycznych.

Hierarchiczna struktura serwera WAGO_RNN zawiera trzynaście urządzeń logicznych (ang. *Logical Devices – LD*). Poszczególne LD odwzorowują informacje z poszczególnych urządzeń fizycznych zainstalowanych w RNN.

Szczególnym urządzeniem logicznym w strukturze WAGO_RNN jest *LD Reports*, w którym zdefiniowano raporty przeznaczone do odczytu przez klientów serwera MMS/IEC 61850. Utworzono trzy raporty, zawierające odpowiednio: 1. pomiary z analizatorów ION7650, 2. pozycje wszystkich łączników, 3. stany wyzwolenia członów zabezpieczeniowych w wybranych wyłącznikach.

Nadzór and trybem sterowania *Zdalny/Lokalny*

Proces sterowania pozycjami wyłączników w rozdzielnicy RNN został zaprogramowany zgodnie z normą IEC 61850. Sterowanie wyłącznikami w trybie *Select Before*

Operate polega na rezerwacji wyłącznika przed jego wystawianiem i odwołaniu rezerwacji po jego wystawianiu, co oznacza, że do czasu odwołania rezerwacji żaden inny klient nie będzie w stanie wystawiać zarezerwowanego wyłącznika.

Dodatkowo, w celu zapewnienia bezpieczeństwa pracy w rozdzielnicy RNN oraz spełniania warunków rezerwacji sterowań zaprogramowano obsługę wielopoziomowych uprawnień do sterowania z wykorzystaniem trybów *Zdalny/Lokalny*.

Nadzór nad trybem sterowania *Zdalny/Lokalny* jest możliwy z poziomu panelu HMI. W celu zapewnienia kontroli nad sterowaniem, każdemu klientowi (SCADA, HMI) nadano odpowiednią kategorię sterowania

Włączenie sterownika WAGO_RNN do systemu SCADA

Odczyt raportów serwera WAGO_RNN w systemie SCADA zrealizowano za pomocą utworzenia nowego klienta protokołu MMS/IEC 61850 – na podstawie odczytu pliku CID wygenerowanego w sterowniku WAGO_RNN.

Na tej podstawie utworzono referencje w bazie danych systemu SCADA do odpowiednich danych otrzymywanych w raportach serwera MMS/IEC 61850. Analogiczne referencje w systemie SCADA utworzono również do sygnałów sterujących dostępnymi w WAGO_RNN.

Podsumowanie

W ramach realizacji pracy dyplomowej przeprowadzono testy sterownika WAGO_RNN, które potwierdziły jego prawidłowe działanie, a w szczególności potwierdziły:

- prawidłową realizację zdalnej komunikacji z urządzeniami połączonymi za pomocą protokołów Modbus RTU, Modbus TCP oraz MMS/IEC 61850,
- prawidłową realizację sterowania łącznikami w rozdzielnicy RNN zarówno z systemu SCADA, jak i z panelu operatorskiego HMI,
- prawidłową realizację blokad sterowania łącznikami w rozdzielnicy RNN w wybranych trybach sterowania.

Wykonane testy potwierdziły również dużą przydatność sterownika WAGO PFC200 do realizacji złożonych funkcji operatorskich i komunikacyjnych w nowoczesnych stacjach elektroenergetycznych.

Autorzy dziękują przedsiębiorstwu WAGO ELWAG sp. z o.o. z Wrocławia za udostępnienie sterownika WAGO PFC200 do realizacji pracy dyplomowej.

*Autorzy: dr inż. Andrzej Augusiak, prof. PG, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, E-mail: andrzej.augusiak@pg.edu.pl;
inż. Jakub Redmerski, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, E-mail: jakubredmerski@gmail.com;
inż. Stanisław Pomykacz, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, E-mail: spomykacz@sep.gda.pl;*

LITERATURA

- [1] Redmerski J., Pomykacz S.: *Sterownik PLC jako wieloprotokółowy gateway komunikacyjny przeznaczony do stacji RNN w Laboratorium LINTE²*, Politechnika Gdańska (2022)
- [2] Datasheet, MGate 5109 Series, Moxa Inc. (2022)
- [3] Norma PN-EN 61131-3:2013-10 - wersja angielska
- [4] Product Manual, WAGO I/O System 750-8212 PFC200, WAGO GmbH & Co. KG (2022)
- [5] Product Manual, WAGO Touch Panels 600 Standard Line, WAGO GmbH & Co. KG (2021)
- [6] Norma PN-EN 61850-7-4:2011/A1:2020-11 - wersja angielska
- [7] Modicon Modbus Protocol Reference Guide, Modicon (1996)