

Trudności oraz korzyści stosowania standardu Ethernet w systemach zarządzania pracą niskonapięciowych silników elektrycznych

Bazując na powszechnie przyjętej opinii dotyczącej kompaktowości prostej budowy oraz eksploatacji inteligentnych stacji sterowniczych (ISS), można pokazać, jakie korzyści oferują urządzenia nowej generacji. Dla końcowego użytkownika polegają one na większym bezpieczeństwie, dużych możliwościach diagnostycznych i komunikacyjnych oraz znacznie większych korzyściach technologicznych, co w efekcie przekłada się na możliwość oszczędności (zarówno w nakładach kapitałowych, jak i wydatkach inwestycyjnych).

Na podstawie badań przeprowadzonych przez BYK Additives (Wlk. Brytania) można wnioskować, czemu użytkownicy wybierają komunikację Ethernet w ISS zamiast szeroko stosowanej komunikacji polowej. Porównywano korzyści związane z dotychczasową koncepcją sieciową (jeżeli takowa istniała) z korzyściami, jakie potencjalnie niesie ze sobą koncepcja bazująca na komunikacji Ethernet.

I. WSTĘP

Termin Inteligentne Stacje Sterownicze, ISS (fot. 1) bądź pokrewny, jest coraz częściej stosowany w odniesieniu do projektowania nowoczesnych stacji zarządzania pracą napędów. Odnosi się on do problematyki stosowania inteligentnych czujników, przetworników pomiarowych oraz innych urządzeń elektrycznych. Podstawową zasadą projektowania takich systemów jest komunikacja i transmisja danych między układami rozruchowymi, pomiarowymi, monitorującymi oraz zabezpieczającymi, z użyciem magistrali sieciowej, zamiast doprowadzania sygnałów tradycyjnym okablowaniem. Inteligentne urządzenia elektryczne (IUE), jako serce ISS, są zdolne do pełnienia kilku funkcji jednocześnie, wykraczających daleko poza samą ochronę oraz monitorowanie pracy. W efekcie liczba sprzętów potrzebnych do prawidłowej pracy układu napędowego zostaje zredukowana.

Prócz oczywistych korzyści do rozważenia pozostają pewne kompromisy. IUE mogą wprawdzie generować większe koszty dla pojedynczych komponentów systemu, jednakże biorąc pod uwagę konieczność obszernego okablowania w tradycyjnych rozwiązaniach, stosowanie nowych technologii okazuje się być najbardziej efektywne kosztowo.

Ograniczenia przestrzenne i wagowe, charakterystyczne np. dla pływających jednostek produkcyjnych/wydobywczych, które w przypadku ISS przejawiają się w postaci oszczędności liczby komponentów oraz potrzebnego okablowania, mogą przełożyć się na postać oszczędności wagowych dla



Fot. 1. Inteligentna szafa sterownicza ISS

indywidualnych napędów. Naturalnie, takie oszczędności generowane są w odniesieniu do każdego, nawet małego elementu – poczynając od zredukowania kilku kilogramów w jednej sekcji rozdzielniczej wysuwnej, co przekłada się na bardziej kompaktową budowę.

Klienci przeprowadzający modernizację systemów, by przejść z tradycyjnie okablowanych 11 kW rozwiązań na nowoczesne, z zastosowaniem inteligentnych urządzeń elektrycznych (IUE), mogą wykazać oszczędności wagowe na poziomie 4,4 kg, co

przekłada się również na redukcję przestrzeni szuflady dzięki zmniejszeniu jednego z jej parametrów – wysokości – ze 150 do 100 mm. Taka oszczędność przestrzeni w odniesieniu do jednego napędu pozwala producentowi na zwiększenie pojemności szuflad ISS, co skutkuje redukcją liczby poziomów rozdzielnic, a tym samym zmniejszeniem wysokości szafy.

W tradycyjnie projektowanych systemach sygnały (statuśowe oraz innego rodzaju dane) doprowadzane są do punktu zbiorczego, takiego jak sekcja zarządzania, do dalszej transmisji i przetwarzania przez system nadrzędny. W tego typu rozwiązaniach okablowanie systemu jest pracochłonne, jednak w przypadku IUE wszystkie dane transmitowane są poprzez magistralę sieciową, co eliminuje konieczność stosowania przewodów indywidualnie dla każdego sygnału. Owocuje to oszczędnością czasu, wkładu pracy, jak i kosztów. Eliminacja konieczności oprzewodowania indywidualnych sygnałów powoduje, że istnienie sekcji zarządzającej (zbierającej i przetwarzającej sygnały) staje się zbędne. Przekłada się to na znaczną redukcję wagi (w niektórych przypadkach dochodzącej do wartości 200 kg), jak również na zmniejszenie szerokości pojedynczego panelu nawet o 400 bądź 600 mm.

II. BYK Additives

Firma BYK Additives & Instruments jest jednym ze światowych liderów w sektorze dodatków oraz oprzyrządowania. Jedną z jej ostatnich inwestycji została przeprowadzona w Widnes, w północno-zachodniej Anglii. Skupiono się na wymianie przestarzałych paneli sterowniczych.

Współpracując z różnymi producentami, BYK zastąpiła stare stacje sterownicze nowymi, oferującymi możliwość pozyskania danych z IUE. Zaowocowało to zminimalizowaniem liczby nieplanowanych przestojów, możliwością autorekonfiguracji nowych urządzeń oraz pozwoliło na zdalny dostęp poprzez VPN (ang. *Virtual Private Network*).

Spełnienie powyższych warunków było podstawowym wymaganiem niezbędnym do rozszerzenia sieci światłowodowej firmy BYK do przesyłu danych z rozdzielni, co przełożyło się na nielimitowaną transmisję oraz odporność na zakłócenia przesyłu.

Podjęta decyzja pozwoliła na realizację wszystkich założonych celów: efektywną ekonomicznie digitalizację paneli oraz wykorzystanie włókien światłowodowych do transmisji danych w rozdzielniach (za pomocą konwertera transmisji widocznego na fot. 2).

III. Niezawodność wymiany danych

Biorąc pod uwagę fizyczne metody transmisji (np. przewod komunikacji ethernetowej Cat5), bardzo ważne jest zachowanie integralności danych, co daje gwarancję niezawodności procesu. Profinet bazuje na protokołach TCP, UDP i IP. Podstawową różnicą między TCP oraz UDP (ang. *User Datagram Protocol*) jest gwarancja sekwencyjnej transmisji i odbioru danych między stacjami wysyłającymi i odbierającymi, jaką daje TCP. Każdy pakiet danych jest sprawdzany pod względem poprawności oraz monitorowany w celu uzyskania poprawnej transmisji. W przypadku braku potwierdzenia odebrania



Fot. 2. Konwerter mediów – przewód Cat5 na włókno optyczne

przez stację pakiety są wysłane ponownie. Koncepcja UDP jest podobna, jednak otrzymywanie żądań, jak i sprawdzanie ich poprawności odznacza się większą szybkością oraz większą niezawodnością. Dla poprawnego funkcjonowania procesu zgodność czasowa oraz niezawodność przesyłu danych jest najważniejsza, naturalne jest więc istnienie mechanizmów służących do zapewnienia, że dane zostaną odebrane przez właściwego odbiorcę z jak najpoprawniejszą ramką czasową.

Piętą achillesową komunikacji Ethernet typu punkt – punkt z użyciem protokołu CMSA było zawsze wymaganie najbardziej krytycznego stopnia warunkowania. Taki stopień warunkowania był zawsze wyzwaniem dla jakiegokolwiek innej komunikacji niż master/slave. Z CMSA każdy punkt miał podobny priorytet sieciowy oraz „słuchał”, czy sieć jest pusta, by móc wysłać dane.

Profinet, podobny do Modbus TCP, pozostaje przy koncepcji master/slave oraz używa mediów ethernetowych do transferu danych. Mówiąc ogólnie, telegram Profinet posiada wyższy priorytet niż TCP oraz UDP. Zostało to zdefiniowane w standardzie IEEE 802.1Q, natomiast pole PCP (ang. *Priority Code Point*) zdefiniowane jest w nagłówku ramki ethernetowej.

Profinet wykorzystuje różnorodne środki w celu zapewnienia wymiany danych w wymaganym czasie. Z uwagi na to telegram Profinet ma bardzo wysoki priorytet i wyższe bezpieczeństwo sygnałów oraz jest deterministyczny. Wykorzystując IEEE 802.1Q, zawsze jest on jednym z ważniejszych „uczestników” magistrali, co daje pewność, że dane dotrą do właściwego odbiorcy w akceptowalnym przedziale czasu. Ponieważ wymagania stawiane przez automatykę to mniejsza przepustowość i krótszy czas, w warstwie Profinetu dostępne są dwa poziomy ulepszeń. Zoptymalizowana (pod względem wydajności) wymiana danych jest nazywana komunikacją RT (ang. *Real Time*). Następują tu 1 ms update’y z jitterem 100 µs, które wykorzystywane są do wymiany standardowych danych

procesowych między sterownikiem (PLC) a urządzeniem IO. Drugi stopień to deterministyczna, zsynchronizowana czasowo komunikacja IRT (ang. *Isochronous Real Time*) z update'em <1 ms oraz jitterem <1 μs. Właściwym przykładem tego typu zarządzania wydajnością są dane procesowe, takie jak wartości zmiennych elektrycznych silnika (prąd, napięcie, moc itp.), które, przetwarzane poprzez sterownik w czasie rzeczywistym, nie są traktowane jako najważniejszy element. Jednak funkcje ważne pod względem bezpieczeństwa, takie jak awaryjne wyłączenie, które muszą być realizowane bardzo szybko, będą transmitowane z użyciem protokołu IRT.

Maksymalizacja dostępności przy określonej topologii

W większości przemysłu przestoje generują straty nie tylko w postaci zatrzymania produkcji, utraty danych czy materiałów, lecz również kosztów związanych z ponownym uruchomieniem. W celu wykluczenia tego problemu tam, gdzie jest to możliwe, system sterowania i sieć są projektowane w taki sposób, aby osiągnąć najlepszą wydajność oraz czas update'u. Realizacja tych założeń możliwa jest poprzez redundancję systemu oraz redundancję mediów.

Minimalnym wymogiem związanym z redundancją systemu jest założenie, by urządzenia sterujące były zdolne do komunikacji z czuwającym systemem sterowania (który w przypadku wystąpienia uszkodzenia przejmuje pracę systemu podstawowego). Oczywiście każdy element, aż do silnika włącznie, może zostać zduplikowany. Może to być np. jedynie redundancja w postaci sterownika oraz sieci zamiast powielania indywidualnych urządzeń, szczególnie jeśli się weźmie pod uwagę, że aktualnie dostępne komponenty oferują funkcje diagnostyczne, informacje eksploatacyjne oraz dane statystyczne.

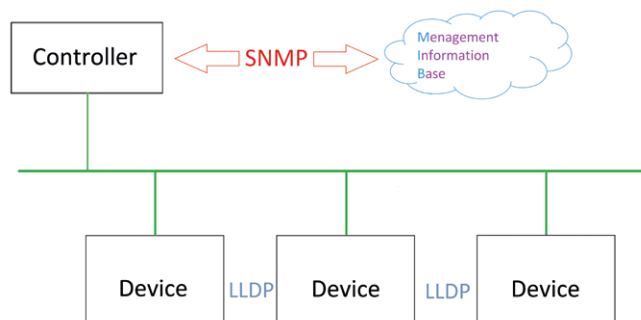
Redundancja mediów polega na ponownym routingu ścieżek komunikacyjnych, co zapewnia wymianę danych między sterownikiem a IUE. Jako przykład posłużyć może firma BYK – tam w ISS został wykorzystany Profinet, który opiera się na protokole MRP (ang. *Media Redundancy Protocol*) w celu rekonfiguracji ścieżek komunikacyjnych w czasie 200 ms. Oznacza to, że w przypadku wystąpienia błędu związanego albo z urządzeniem, albo z siecią ścieżka komunikacji z urządzeniami do zarządzania pracą napędu zostanie zachowana.

IV. Zalety oraz przeszkody wprowadzenia komunikacji Ethernet w ISS

Prosta wymiana urządzeń

W miarę upływu czasu urządzenia (włączając IUE) będą nieuchronnie wymagały wymiany (zastąpienia). BYK jako jedną z zalet nowego rozwiązania zidentyfikował prostą wymianę urządzeń bez potrzeby używania komputera bądź switcha z programowalnym adresem. W tym przypadku czynnikiem decydującym była minimalizacja wpływu interakcji między IO (IUE) oraz pracą obiektu. Możliwość prostej wymiany IUE poprzez usunięcie szuflady wysuwnej oraz zastąpienie jej zapasową, bez konieczności ingerencji inżyniera (z narzędziami programistycznymi), jest oczywistą korzyścią.

W wyniku powszechnej adaptacji przemysłowych sieci Ethernet (IE, ang. *Industrial Ethernet*) powstało wiele protokołów



Rys. 1. Prosta wymiana urządzeń

oferujących użytkownikom szereg korzyści z uwzględnieniem topologii, diagnostyki oraz budowy sieci.

W przykładzie widocznym na rys. 1 ukazana jest koncepcja, którą kierowało się BYK Additives, polegająca na wymianie IUE oraz automatycznej rekonfiguracji.

Zazwyczaj urządzenie sterujące przypisuje adresy IP przy użyciu protokołu DCP (*Discovery and Configuration Protocol*), również w warstwie łącza danych. Dzięki wykorzystaniu LLDP, SNMP oraz DCP urządzenie sterujące zna lokalizację oryginalnego urządzenia na mapie topologii. Program przechowywany w CPU (skojarzonej z oryginalnym urządzeniem) można wykorzystać z urządzeniem zastępczym, w efekcie czego konfiguracja zostaje wczytana do nowego IUE. Taki proces trwa zazwyczaj kilka milisekund, czyli znacznie krócej niż samo wpięcie adresującego switcha bądź przyłączenie laptopa.

Zdalny dostęp (łączność Https)

Aktualnie powszechne jest posiadanie przez IUE zintegrowanej funkcjonalności Web Server, dzięki czemu możliwe jest zdalne zalogowanie się do inteligentnego urządzenia zarządzającego pracą napędu (z poziomu standardowej przeglądarki) i przegląd dostępnych danych z urządzenia. Zazwyczaj takie rozwiązanie realizowane jest poprzez szyfrowane logowanie (Https:) oraz zarządzane poprzez VPN (ang. *Virtual Private Network*), co zapewnia wystarczający poziom bezpieczeństwa. Routing poprzez VPN sprawia, że adres IP jest niewidoczny w sieci operatora oraz szyfrowane są (różnymi metodami, np. LT2P/IPsec lub Open VPN) dane transportowane w sieci.

Wskutek racjonalizacji struktury kwalifikacyjnej pracowników przedsiębiorstw pod względem poziomu umiejętności technicznych oraz zarządzających zdolność do zdalnej diagnozy problemu (poprzez właściwe zasoby) jest jedną z ważniejszych zalet. Korzyści są nawet większe w przypadku zdalnych jednostek lub dla bezobsługowych zakładów produkcyjnych. Firma BYK była zdolna do wykorzystania tych technologii, co doprowadziło do rozwoju wielu innych działów rynku produkcji.

Infrastruktura łączona

W przypadku wcześniejszych ISS IUE komunikowały się za pomocą sieci polowych. Przykładowo: na potrzeby komunikacji

Profibus użytkownik musiał przygotować cztery przewody, zaakranować kabel, a następnie obserwować działanie instalacji zależnie od repeaterów oraz odstępów między kablami. Jest to całkowicie prawidłowa i częsta praktyka, ale oczywiście końcowy użytkownik lub operator również będą mieli pewne wymagania dotyczące sieci IT. Tradycyjnie zostałyby to rozwiązania za pomocą technologii Ethernet wykorzystującej przewody ethernetowe bądź światłowodowe. Biorąc pod uwagę, że użyte zostają dwa różne typy mediów, części zamiennie wymagane dla niezawodnego działania systemu powinny zostać zakupione zarówno dla sieci polowej, jak i IT. W przypadku, gdy ISS bądź infrastruktura procesowa budowana jest w oparciu o Ethernet, możliwe jest zrationalizowanie części zamiennych i wykluczenie tych związanych z sieciami polowymi.

Topologia dostosowana do ISS z modułami wysuwymi

Istnieją pewne trudności związane ze stosowaniem MRP w ISS, jednakże jeżeli zastosowana jest topologia pierścieniowa, potencjalne usunięcie sekcji rozruchowej może wywołać przerwę w „pierścieniu”. Taka sytuacja sama w sobie nie stwarza problemów, jednak w przypadku usunięcia kolejnego modułu lub uszkodzenia któregoś z IUE w tym samym czasie powstaje kilka przerw. W związku z tym komunikacja z jakimkolwiek IUE znajdującym się w obrębie przerwy zostanie przerwana. Z tego względu w odniesieniu do rozdzielnic z modułami wysuwymi należy w razie konieczności wymiany modułów rozważyć utworzenie połączeń mostkowych.

W przypadku MRP może uczestniczyć w transmisji maksymalnie 50 stacji (np. IUE) w pojedynczym pierścieniu. Ograniczenie to istnieje ze względu na skończony czas (<200 ms) obiegu ramki w pierścieniu i powrotu do mastera. Jeżeli przekroczy się maksymalną liczbę uczestników, może się zdarzyć, że ramka nigdy nie powróci do mastera sieci i zostanie to przez niego zinterpretowane jako przerwa w transmisji.

Ze względu na to pojedyncze pierścienie muszą posiadać ograniczoną liczbę uczestników, jednak może być brane pod uwagę istnienie kilku ringów w ISS bądź mostkowanie połączeń.

V. PANEL UŻYTKOWNIKA

ISS przedsiębiorstwa BYK były produkowane przez producenta w Wielkiej Brytanii i tak jak w przypadku innych paneli cena wykonania uwzględniała wycenę komponentów oraz wkładu pracy, jak również materiały produkcyjne.

W jednej szafie znajdowało się średnio 90 połączonych odgałęzień silnikowych. Wzrost kosztów dla wdrożenia tych IUE do komunikacji Ethernet wyniósł około 12,5%. Dodatkowo koszt inwestycji został zwiększony o kilka switchy ethernetowych służących do zarządzania siecią. Całkowita podwyżka kosztów dla całej inwestycji wyniosła ok. 3,500 £ (dla 90 obwodów).

Na bardzo wrażliwym na cenę rynku wstępne oznaczenia składników sprawiły wrażenie wzrostu cen. W rzeczywistości podwyższone koszty komponentów były tylko jednym z wielu elementów ogólnych kosztów paneli, a ceny stali, miedzi itp. pozostały na tym samym poziomie, dzięki czemu ogólny procentowy wzrost cen był w sumie niewielki.

Na stworzenie sieci oczywiście składają się takie czynności, jak trasowanie kabli, konfiguracja topologii, terminacja itp. Dla BYK w montażu konwencjonalnym zostałyby stworzonych 5 sieci profibusowych. Jak zostało wspomniane wcześniej, dla pojedynczej sieci Profibus istnieje granica maksymalnej liczby przyłączonych slave'ów, należy też rozważyć długość przewodów oraz ilość repeaterów. Czas, jaki należy liczyć na „rozłożenie” sieci przy użyciu Profibus DP, jest szacowany na około 85 godzin z dodatkowymi 12 godzinami testów. Przy użyciu technologii *plug-and-play* w komunikacji Profinet typu punkt – punkt czasy te ulegają zmniejszeniu z 85 do 24 godz., co oznacza ich redukcję o około 70%.

Biorąc pod uwagę lokalne godzinowe koszty pracy na okablowanie, zostało udowodnione, że oszczędności wydajnościowe przekładają się na redukcję kosztów, co całkowicie równoważy wydatki na poczet ethernetowych IUE oraz switchy. Dzięki użyciu komunikacji Ethernet całkowity koszt jednej szafy był znacznie niższy.

VI. WNIOSKI

Wraz ze wzrostem popularności komunikacji Ethernet operatorzy rynku ropy i gazu oraz użytkownicy końcowi na innych rynkach będą musieli stawić czoła pytaniu, kiedy jest właściwy moment na wdrożenie tej technologii. Artykuł ukazuje wiele korzyści: proces łączenia i infrastrukturę IT, prostą wymianę sprzętów, zdalne usługi, szybkość, elastyczność topologii itd., lecz pokazuje również, że adaptacja takiej technologii nie zawsze oznacza różnicę w cenie.

Chociaż użytkownicy mają tendencję do rozszerzania istniejących sieci poprzez dodanie dodatkowych urządzeń polowych, mogą także dostosowywać istniejące struktury za pomocą serwerów proxy do połączenia technologii polowych i Ethernet. Oznacza to, że technologia Ethernet jest korzystna i komercyjnie opłacalna nie tylko w przypadku nowych inwestycji i instalacji.

Literatura

- [1] Broszura: SIEMENS AG, Simatic Net, redundant networks for industry Modbus Protocol Specification.
- [2] SIVACON S8 – Technical Planning Information.
- [3] Industrial Communication with Fieldbus and Ethernet; Klasen, Frithjof; Oestreich, Volker; Volz, Michael (Hrsg.).
- [4] Configuration of an MRP ring with SIMOCODE and SIMATIC S7-1500.

SIEMENS

Siemens Sp. z o.o.
ul. Żupnicza 11
03-821 Warszawa

e-mail: dariusz.ways@siemens.com
www.siemens.pl/simocode