

Monitoring oraz wstępna diagnostyka odbiorów zasilanych z rozdzielnic cyfrowych zgodnych z Przemysłem 4.0

Streszczenie. Cyfrowe zarządzanie procesami technologicznymi pozwala na coraz dokładniejsze monitorowanie oraz diagnostykę kluczowych odbiorów technologicznych (napędy, pompy, wentylatory itp.). Tego typu urządzenia są sterowane poprzez układy PLC, które umożliwiają ich diagnostykę oraz pomiar parametrów w czasie rzeczywistym. Znajdują się one w rozdzielnicach, z których zasilane są również inne odbiory kluczowe bez funkcji monitorowania ich stanu. Zabezpieczone one są głównie wyłącznikami instalacyjnymi czy też rozłącznikami bezpiecznikowymi. W artykule zostanie pokazana alternatywna metoda monitorowania odbiorów krytycznych bez możliwości zdalnej ich kontroli wraz z omówieniem zalet i wad tych rozwiązań.

Abstract. Digital management of technological processes allows for more accurate monitoring and diagnostics of key technological loads (drives, pumps, fans, etc.). These types of devices are controlled by PLC systems that enable their diagnostics and measurement of their parameters in real time. They are located in switchgears from which other key loads are also supplied, without the function of monitoring their condition. They are mainly protected with circuit breakers or fuse switch disconnectors. The article will show an alternative method of monitoring critical loads without the possibility of remote control of them, together with a discussion of the advantages and disadvantages of these solutions. (**Monitoring and initial diagnostics of powered loads from digital switchboards compatible with Industry 4.0**)

Słowa kluczowe: Monitoring, Diagnostyka, Bezpieczniki, Wyłączniki instalacyjne nadmiarowo-prądowe

Keywords: Monitoring, Diagnostics, Fuses, Miniature circuit breakers

Wstęp

Struktura zarządzania zakładami przemysłowymi nieustannie się zmienia. Wraz z rozwojem nowych technologii usprawnia się procesy technologiczne, a kluczowym aspektem w ich projektowaniu i wytwarzaniu jest efektywność energetyczna, która wskazuje nam nowe możliwości optymalizacyjne istniejących rozwiązań [1]. Procesy wytwarzania produktów podlegają nieustannej modernizacji, zauważalne jest to zwłaszcza na przestrzeni ostatnich lat. Wytyczne opisujące te zmiany zostały nazwane czwartą rewolucją przemysłową. Każdy sektor przemysłu niezależnie czy to jest sektor motoryzacyjny czy przemysł ciężki dąży do optymalizacji procesów produkcyjnych co wymaga analizy wielu danych oraz ich gromadzenia na niespotykaną do tej pory skalę. Powoduje to zmianę podejścia do projektowania układów, urządzeń z każdego z sektorów przemysłu. W zakresie dystrybucji zasilania, kluczowym elementem stał się monitoring parametrów zasilania, jej jakości, jak również statusu odbiorów tzw. krytycznych, które definiujemy jako te, które w procesie produkcji mogą zaważyć o jego ciągłości. Pozwala to nam na dokładną analizę procesu technologicznego, ocenę stanu technicznego urządzeń oraz zarządzania nimi na szerszą skalę w dłuższej perspektywie. Na bazie otrzymanych danych kluczowa stała się optymalizacja procesu na przestrzeni całego cyklu funkcjonowania danego przedsiębiorstwa. Monitoring w czasie rzeczywistym pozwala ocenić stan techniczny obiektu, przewidzieć i zasygnalizować konieczność okresowych przerw technologicznych na przeglądy i serwis urządzeń, które są eksploatowane podczas normalnej pracy.

W rozległych zakładach przemysłowych, gdzie proces technologiczny jest złożony, projektuje się rozdzielnice składające się z szeregu szaf dystrybucji zasilania po obiekcie [2,3]. W zależności od charakteru odbioru zasilającego, kluczowym aspektem jest jego niezawodność oraz sposób wykrywania niepożądanego stanu danego zespołu urządzeń lub awarii, które mogą się pojawić w całym cyklu życia aparatury rozdzielczej. Jednym z najważniejszych zadań w dobie Przemysłu 4.0 pozostaje więc monitoring tych odbiorów. Projektant systemu jest

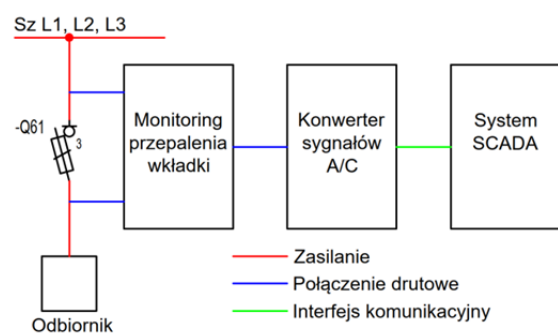
odpowiedzialny za wybór właściwej aparatury zabezpieczająco-sterującej do odbiorów z funkcjami diagnostycznymi, które zasilamy. Kluczowym staje się wybór urządzeń wchodzących w skład infrastruktury krytycznej w całym ciągu procesu technologicznego, który należy poddać ciągłemu monitoringowi oraz diagnostyce. Jednakże ilość urządzeń jakie biorą udział w tym procesie jest ogromna (zwłaszcza w obiektach o charakterze strategicznym - Elektrownie, Elektrociepłownie itp.) i ciężko jest określić konkretne urządzenia o tym statusie. W związku z czym dąży się do monitorowania wszystkich odbiorów, które są zasilane z rozdzielnic. Dla odbiorów, które zasilane są z rozdzielnic głównej proces monitorowania, diagnostyki czy sterowania jest uproszczony. Zazwyczaj mamy do czynienia z zasilaniem odbiorów typu napęd np. pomp wentylatorów czy inny. W takim przypadku standardem jest stosowanie sterowników PLC [4] jako głównego zabezpieczenia tych urządzeń. Celem priorytetowym tych działań jest zabezpieczenie silnika na wypadek uszkodzenia, jednakże sterowniki te umożliwiają również monitorowanie parametrów silnika w czasie rzeczywistym. Pozwala to na gromadzenie danych na temat tych urządzeń, a odpowiednie oprogramowanie wspomaga predykcje zdarzeń takich jak serwis, awaria. Jednakże nie wszystkie odbiory są zasilane i monitorowane w obrębie jednego systemu nadzoru wizyjnego jakim jest SCADA [5,6]. Związane jest to ze złożonością procesów technologicznych. Interfejsy graficzne tych systemów mogą się różnić wraz z uprawnieniami operatora. Będą one inne dla osoby odpowiadającej za część elektryczną technologii, inne dla osoby zarządzającej częścią procesową. W związku z czym informacje o awarii w obwodach zasilania są powiązane i będą sygnalizowane tylko w ramach infrastruktury elektrycznej. Urządzenia związane z procesem technologicznym zlokalizowane są w szafach wolnostojących lub naściennych na halach produkcyjnych lub w ich pobliżu. Wymaga to decentralizacji układów zasilania. Tego typu odbiory są zasilane z rozdzielnic głównej poprzez rozłączniki bezpiecznikowe czy też wyłączniki nadprądowe. Podstawowa konfiguracja takiego układu zasilającego nie daje możliwości monitorowania zadziałania zabezpieczenia tych urządzeń. Różnorodność

odbiorów zasilających może spowodować, iż w niektórych przypadkach będziemy w stanie sprawdzić status awarii po stronie odbioru (np. gdy mamy szafę automatyki, gdzie znajdują się urządzenia sygnalizujące awarię), ale sygnał ten będzie niejednoznaczny. Informacja o braku zasilania może się pojawić z układów automatyki, ale źródłem problemu może być układ zasilania (przepalenie wkładki lub zadziałanie wyłącznika). Również informacje, które są przekazywane do interfejsu graficznego operatora systemu, mogą nie wskazywać jednoznacznej odpowiedzi o źródle problemu. Dlatego w rozwiązaniach do ciągłego sprawdzania statusu aparatury zasilającej tego typu stosuje się styki pomocnicze (w przypadku wyłączników nadprądowych), bądź to układy monitorowania wkładki (rozłączniki bezpiecznikowe). Tematyka ta została omówiona w rozdziale „Klasyczne metody monitorowania infrastruktury krytycznej”. Alternatywną metodą monitorowania tego typu odbiorów (ich stanu działania bądź awarii), jest wykorzystanie urządzeń do monitoringu parametrów odbiorów. Ich głównym celem jest pomiar prądu w obwodzie, dzięki czemu użytkownik może przeanalizować obciążenie poszczególnych odbiorów w czasie rzeczywistym. Jednakże dodatkową funkcją jaką te układy mogą pełnić przy odpowiednim ich podłączeniu i konfiguracji jest informacja o statusie zaniku zasilania za zabezpieczeniem, co jest równoznaczne z sygnalizacją zadziałania zabezpieczenia. Zostanie to omówione w rozdziale „Alternatywne metody monitorowania infrastruktury krytycznej”. Do prawidłowego działania zarówno rozwiązań opartych o styki pomocnicze oraz układy pomiarowe jest wymagana odpowiednia struktura zarówno po stronie przesyłania danych z odbiorów jak i odpowiedni interfejs graficzny, co zostało omówione w rozdziale „Struktura systemów monitorowania i diagnostyki w rozdzielnicach”. Każde zaproponowane rozwiązanie niesie za sobą pewne wyzwania, ma swoje zalety oraz wady i w zależności od aplikacji może mieć różne zastosowanie. Ta kwestia została omówiona w rozdziale „Porównanie metod monitorowania oraz wstępnej diagnostyki odbiorów krytycznych”.

Klasyczne metody monitorowania infrastruktury krytycznej

Ciągłość produkcyjna w zakładach przemysłowych w dzisiejszych czasach jest kluczowa w prowadzeniu biznesów, nie tylko ze względów na koszt przestoju serwisowych, ale również pod względem zapotrzebowania na produkty czy też komponenty do ich wytwarzania. Sytuacja ostatnich lat (COVID-19) to pokazała, zwłaszcza w sektorze motoryzacyjnym, gdzie brak jednego komponentu spowodował przestoje w produkcji samochodów. Pokazuje to jak potencjalnie awaria (w tym wypadku był czynnik ludzki) jednego z elementów w całym procesie produkcyjnym może spowodować problemy przyczynowo skutkowe w szeregu innych podmiotów. Również w złożonych procesach produkcji efekt zaniku napięcia na jednym z kluczowych elementów struktury technologicznej może doprowadzić do podobnych skutków. Dlatego też od lat tworzone są dodatkowe moduły, które umożliwiają w mniej lub bardziej dokładny sposób monitorować oraz wykrywać w szybkim tempie usterki bądź to awarie w obszarze dystrybucji zasilania. Dlatego też w odbiorach tzw. liniowych (takich, które nie mają w sobie obwodu sterującego tylko zabezpieczający – bezpiecznik, wyłącznik instalacyjny), stosuje się styki pomocnicze w celu weryfikacji ich położenia, które mogą sygnalizować zadziałanie zabezpieczenia lub przepalenia wkładki bezpiecznikowej [7,8,9,10]. W przypadku wyłączników instalacyjnych sytuacja jest prosta ze względu na ich

sposób działania oraz konstrukcję. Gdy jako zabezpieczenie stosujemy rozłącznik bezpiecznikowy, ze względu na jego budowę, uzyskanie informacji o przepaleniu wkładki nie jest już takie proste. Powodem do zastosowania rozłączników bezpiecznikowych jest wiele, jednym z nich może być zachowanie pełnej selektywności zabezpieczeń między zabezpieczeniem głównym w rozdzielnicach a szafą automatyki czy podrozdzielnicą. W takich przypadkach zastosowanie rozłącznika bezpiecznikowego wraz z sygnalizacją stanu zadziałania (przepalenia wkładki bezpiecznikowej), wiąże się z wyposażeniem go w dodatkowy moduł zewnętrzny. Typowe rozwiązanie wykonane jest w oparciu o pomiar napięcia od strony zasilania oraz na wyjściu rozłącznika bezpiecznikowego. W wyniku zaniku napięcia po stronie wyjściowej następuje sygnalizacja przepalenia wkładki. Informacje te mogą być zobrazowane bezpośrednio na module pomiarowym lub być przesyłane dalej do systemu sterowania i nadzoru wizyjnego SCADA. Przykładowe rozwiązanie zostało przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Układ monitoringu przepalenia wkładki

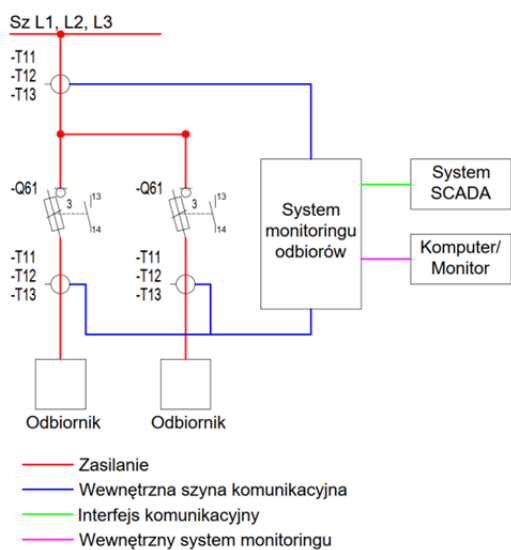
Opisane powyżej aspekty wydają się być proste do realizacji, gdy mamy mało skomplikowany układ pod względem zasilanej aparatury (ilość urządzeń do zabezpieczenia jest mała). Należy zwrócić uwagę, iż w prostych układach raczej sygnalizacja przepalenia wkładki się nie stosuje ze względu na koszt (cena układu monitoringu często przewyższa kilkukrotnie cenę samego zabezpieczenia), jak i ilość dodatkowego miejsca, które należy przewidzieć w przypadku dodatkowych modułów sygnalizacyjnych. Gdy mamy do czynienia z rozbudowanymi strukturami układów zasilania, ilość odbiorów elektrycznych do zabezpieczenia liczy się w setkach a czasami i w tysiącach. Wiąże się to z dodatkowym miejscem, w rozdzielnicach które należy przewidzieć, dodając kolejne szafy zasilające te odbiory. Z różnych powodów zmiana wymiarów rozdzielnic może okazać się niemożliwa ze względu na wielkość pomieszczenia czy innych uwarunkowań formalno-prawnych, na które trzeba zwrócić uwagę takie jak ustawy czy rozporządzenia. Dlatego też w niektórych przypadkach może być zasadne zastosowanie innych alternatywnych układów, które przy odpowiedniej konfiguracji mogą pełnić podobną funkcję. Tego typu rozwiązanie zostało omówione w następnym rozdziale.

Alternatywne metody monitorowania infrastruktury krytycznej

Coraz szybszy rozwój cyfrowych rozwiązań w zakresie zarządzania procesami technologicznymi, spowodował, iż w infrastrukturze krytycznej obiektów przemysłowych standardem stały się sterowniki PLC w zakresie monitoringu, diagnostyki oraz sterowania napędami. Dzięki zastosowaniu tych urządzeń jesteśmy w stanie w czasie rzeczywistym monitorować cały proces. Dodatkowo dane przesyłane do systemu typu SCADA można archiwizować

oraz analizować w dłuższym okresie. Pozwala to przewidzieć sytuacje awaryjne, okresowe przestoje serwisowe czy w sposób globalny prowadzić rejestr stanu technicznego wszystkich urządzeń oraz ocenić ich niezawodność. Jednakże nie wszystkie urządzenia wymagają tak złożonego układu sterowania, monitorowania czy też diagnostyki. Co więcej sterowniki PLC [11,12] tego typu nie są przeznaczone do monitorowania odbiorów liniowych, co zostało omówione w rozdziale „Klasyczne metody monitorowania infrastruktury krytycznej”.

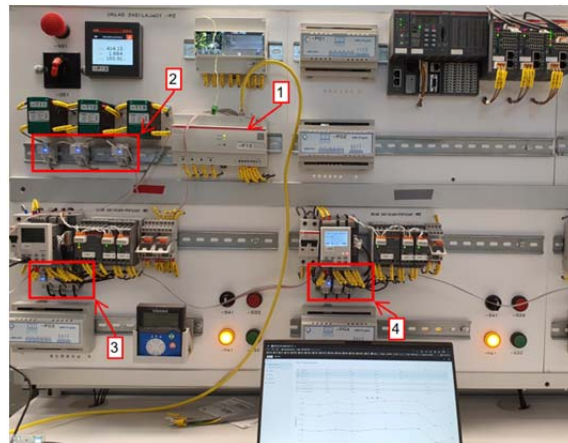
Problematyka, która została omówiona w poprzednim rozdziale opiera się na monitoringu statusu zabezpieczeń podczas pracy i wykryciu stanu określonego jako „zadziałanie zabezpieczenia”. Alternatywną metodą do badania tego typu statusu może być zastosowanie odpowiednich sensorów [13], które umożliwiają pomiar prądu w poszczególnych fazach obwodów zasilających za zabezpieczeniem. Pozwala to z dużo większą dokładnością monitorować odbiory, z uwzględnieniem przepalenia wkładki dla pojedynczej fazy. W przypadku klasycznym, dla obwodu trójfazowego, przepalenie tylko jednej wkładki bezpiecznikowej wiązało się z sygnalizacją „zadziałania zabezpieczenia”. Kluczowym aspektem pozostaje odpowiednie podłączenie i zamontowanie sensorów, tak aby w układzie logicznym sygnalizacja zadziałania miała swoje realne odwzorowanie, co zostało pokazane na rysunku 2. W oprogramowaniu należy przypisać odpowiednie funkcje sensorom zgodnie z ich przeznaczeniem, jak również ustawić parametry inicjujące sygnalizację.



Rys. 2. Alternatywny układ monitoringu przepalenia wkładki

Zaproponowany sposób konfiguracji jest jednym z możliwych, ale nie jedynym, który można wykonać. Należy zwrócić szczególną uwagę na wszystkie nastawy, tak aby układ sygnalizował poprawne zdarzenie. Jednym z kluczowych elementów przy tworzeniu całej struktury monitoringu pozostaje optymalizacja rozwiązania zarówno pod względem projektowym jak i kosztowym. Zaproponowane rozwiązanie jest optymalne, pozwala ograniczyć ilość dodatkowych komponentów wchodzących w skład całego systemu w postaci np. konwerterów sygnałów analogowo-cyfrowych oraz wprowadza ciągły monitoring poszczególnych składowych systemu (uszkodzenie sensora).

W celu pokazania możliwości alternatywnego sposobu monitorowania odbiorów krytycznych w rozdzielnicach cyfrowych, wykonano modyfikację stanowiska badawczego w laboratorium. Stanowisko badawcze zostało pokazane na rysunku 3 (1 – Jednostka centralna do monitorowania, 2- sensory od strony zasilania, 3-4 sensory od strony odbiorów). Konfiguracja sensorów została pokazana na rysunku 4.



Rys. 3. Stanowisko badawcze

Metoda monitoringu przepalenia wkładki, przy pomocy sensorów pokazuje w jaki sposób jesteśmy w stanie w sposób zdalny odczytać komunikat „zadziałania zabezpieczenia”. W niniejszym opracowaniu nie zostały pokazane inne możliwości wykorzystania tego typu monitoringu. Zostały również pominięte aspekty związane z tematyką samych zabezpieczeń, ich poprawności zadziałania oraz problemów wynikających z źródła ich zasilania [14].

Centralizacja procesów technologicznych i ich coraz szerszy monitoring a co za tym idzie zwiększone możliwości diagnostyczne poszczególnych urządzeń wymusił na dostawcach aparatury pomiarowej potrzebę implementacji funkcji zdalnego odczytu parametrów (wcześniej lokalnego). Nowe struktury powiązań pomiędzy aparaturą pomiarową a systemem typu SCADA spowodowały, iż duża ilość informacji w czasie rzeczywistym jest przesyłana przez infrastrukturę sieciową przedsiębiorstwa. Wymagało to wypracowania kryteriów jakimi należy się kierować przy projektowaniu takich systemów, a zwięźceniem tych starań było pojawienie się nowych standardów takich jak IEC61850 [15][16] czy PROFINET [17]. W rozległych sieciach przesyłowych, wynikających z dużej ilości urządzeń do monitorowania procesów technologicznych potrzeba jest weryfikacji poprawności przesyłanych danych. Oprócz weryfikacji jakości przesyłanych danych wymaga się od takich układów dużej szybkości wraz z możliwością sprawdzenia, w której chwili czasu dane zjawisko wystąpiło. Pojawiło się określenie „znacznika czasu”, który umożliwia synchronizację czasu dla wszystkich urządzeń w danej sieci co ułatwia diagnostykę oraz badanie następstwa wystąpienia poszczególnych zdarzeń. Konsekwencją tych zmian było dostosowanie urządzeń do obecnych wymogów, a co za tym idzie zmian w strukturach układów monitoringu i diagnostyki urządzeń zasilanych z rozdzielnic cyfrowych.

ID	Faza	Grupa	Czujnik	Cos(φ)
1	L1	Zasilanie	Sensor 1	AUTO
2	L2	Zasilanie	Sensor 2	AUTO
3	L3	Zasilanie	Sensor 3	AUTO
4	L1	Stanowisko_01	Sensor 4	AUTO
5	L2	Stanowisko_01	Sensor 5	AUTO
6	L3	Stanowisko_01	Sensor 6	AUTO
7	L1	Stanowisko_02	Sensor 7	AUTO
8	L2	Stanowisko_02	Sensor 8	AUTO
9	L3	Stanowisko_02	Sensor 9	AUTO
10	L1	Stanowisko_03	Sensor 10	AUTO

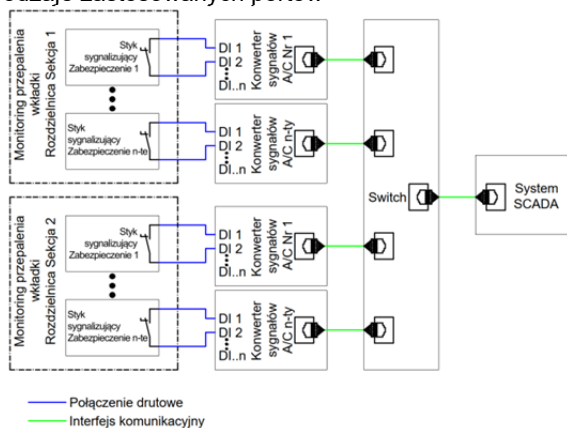
Rys. 4. Konfiguracja sensorów

Struktura systemów monitorowania i diagnostyki w rozdzielnicach

W zależności od zastosowanego rozwiązania struktury te mogą różnić się od siebie. Poniżej pokazano struktury, które mają swoje odzwierciedlenie dla przypadków omawianych w rozdziałach poświęconym metodzie klasycznej oraz alternatywnej.

W pierwszej metodzie skupiono się na klasycznym rozwiązaniu, gdzie informacje o stanie położenia wyłącznika instalacyjnego bądź to sygnalizacji przepalenia wkładki, wymusza zastosowanie konwerterów sygnałów analogowych na cyfrowe [18]. Lokalizacja konwerterów uzależniona jest od wymogów klienta (standard wykonania jaki panuje w danym przedsiębiorstwie), miejsca w rozdzielnicy (jeśli jest możliwość zlokalizowania ich wewnątrz niej) czy innych kryteriów, które zostały opisane w wymaganiach. W zależności od wybranego rozwiązania może to się wiązać z nadmiernymi kosztami wynikającymi z ilości dodatkowego okablowania jakie musi być użyte pomiędzy rozdzielnicą a systemem sterowania i nadzoru wizyjnego (SCADA). Rozwiązanie to nie umożliwia sprawdzenia w czasie rzeczywistym przerw w danym obwodzie np. w wyniku uszkodzenia kabla. Przykładowy schemat rozwiązania został pokazany na rysunku 5.

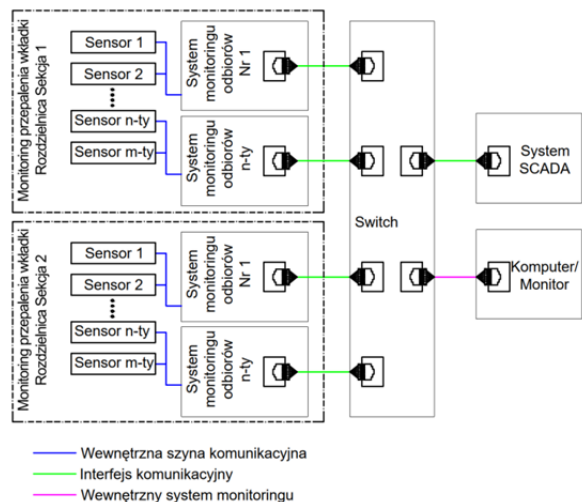
W związku z dużą różnorodnością urządzeń dostępnych na rynku, standardów wykonania, zaproponowane rozwiązania są optymalne dla różnych systemów monitoringu. Należy zwrócić szczególną uwagę na prawidłowy dobór aparatury tak aby spełniała odpowiednie normy w zakresie infrastruktury sieciowej takie jak protokoły czy rodzaje zastosowanych portów



Rys. 5. Struktura układu monitoringu dla rozwiązania klasycznego

Rozwiązanie, o którym mowa w metodzie drugiej, samo w sobie ma zintegrowany interfejs graficzny z możliwością monitorowania w czasie rzeczywistym stanu poszczególnych odbiorów. Informacje kluczowe w postaci sygnału „zadziałanie zabezpieczenia” (które mogą być predefiniowane dla każdego sensora) mogą być w sposób cyfrowy wysyłane do systemu sterowania (SCADA). Szersze możliwości diagnostyczne ma jednostka centralna,

z którą również można się komunikować w sposób zdalny. W zależności od ilości odbiorów, które wymagają monitoringu, może się pojawić konieczność zastosowania więcej niż jednej jednostki centralnej. Do urządzenie możemy podłączyć do 96 sensorów, co w zależności od ilości odbiorów jedno bądź trójfazowych możemy monitorować odpowiednią ilość urządzeń zasilanych z rozdzielnicy. Przykładowa struktura układu komunikacji z systemem sterowania została pokazana na rysunku 6.



Rys. 6. Struktura układu monitoringu dla rozwiązania alternatywnego

Porównanie metod monitorowania oraz wstępnej diagnostyki odbiorów krytycznych

Uwarunkowania geograficzne często rzutują w jaki sposób projektuje się dany zakład przemysłowy. W związku z różnorodnością zakładów produkcyjnych, ciągłymi zmianami prawnymi, bądź to normami dąży się do optymalizacji procesów technologicznych. Niesie to ze sobą wiele wyzwań zarówno po stronie projektowania urządzeń wchodzących w skład poszczególnych procesów jak i całości systemu. Konsekwencją tych zmian jest porównanie dwóch rozwiązań klasycznego oraz alternatywnego, dzięki czemu jesteśmy w stanie dostrzec zalety oraz wady poszczególnych metod. Uwarunkowania kosztowe w zależności od ilości odbiorów, które powinny podlegać monitoringowi oraz wstępnej diagnostyce, mogą być różne. Dlatego też porównanie w tym aspekcie należy rozważyć dopiero na etapie, gdy ilość odbiorów jest znana.

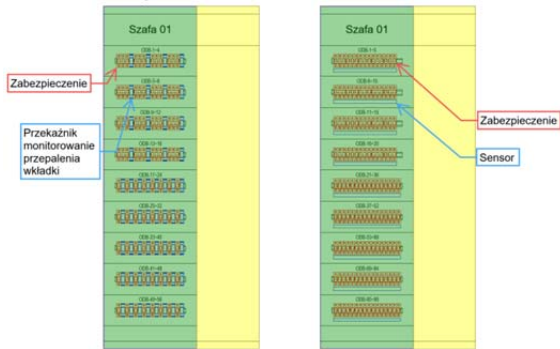
Jednakże jesteśmy w stanie porównać inne kluczowe czynniki, które mogą pozwolić na wybór danego rozwiązania w zależności od wymogów oraz kryteriów, którymi musimy się kierować na etapie projektu.

Po pierwsze możliwości sygnalizacji statusu „zadziałanie zabezpieczenia” jako podstawowego sposobu monitoringu odbiorów kluczowych. W obu przypadkach jesteśmy w stanie przekazać informacje do operatora

systemu o awarii w obwodach zasilania poszczególnych odbiorów.

Po drugie każde z rozwiązań wymaga odpowiedniego interfejsu graficznego, w celu poinformowania operatora o awarii w obwodzie. W przypadku rozwiązania klasycznego mamy do czynienia tylko z informacją „0-1”, która jest dostępna w głównym systemie typu SCADA. W alternatywnej metodzie mamy dodatkowy niezależny system monitorowania i diagnostyki odbiorów, który ma dużo większą funkcjonalność, co zostało pokazane podczas omawiania rozwiązania.

Po trzecie w celu monitorowania przepalenia wkładki w klasycznym rozwiązaniu oprócz konwerterów sygnałów A/C, musimy mieć dodatkowe przekaźniki i układy monitoringu dedykowane dla każdego z odbiorów, które zajmują dużo więcej miejsca niż rozwiązanie alternatywne. Porównanie dla jednej szafy pokazano na rysunku 7. Zakładając, że z jednej szafy możemy zasilac odbiory jednofazowe oraz trójfazowe, dla rozwiązania klasycznego możemy umieścić w jednej szafie 56 odbiorów, dla rozwiązania alternatywnego 99. Jak widać będzie to uzależnione od charakteru oraz rodzaju odbiornika. W typowych aplikacjach rozdzielnice są wieloszafowe, co jeszcze bardziej pokaże zaletę alternatywnej metody. Kolorem zielonym oznaczono przedział aparatury, żółtym przedział kablowy.



Rys. 7. Porównanie zastosowania rozwiązania klasycznego oraz alternatywnego (po lewej rozwiązanie klasyczne, po prawej alternatywne).

Po czwarte elastyczność rozwiązania. Rozwiązanie klasyczne wymaga na wczesnym etapie projektowania przewidzieć i wyspecyfikować poszczególne komponenty dla zabezpieczeń typu wyłącznik instalacyjny, rozłącznik bezpiecznikowy, wykupić odpowiednie licencje dla systemu typu SCADA, przewidzieć odpowiednie konwertery A/C. W przypadku alternatywnej metody jesteśmy w stanie nawet

na późnym etapie projektowania dodać układ monitoringu, lub nawet zaimplementować go już na etapie działającego zakładu przemysłowego.

Po piąte w przypadku alternatywnej metody monitoringu odbiorów krytycznych mamy dodatkową możliwość tworzenia reguł umożliwiających definiowanie progów alarmowych (nie tylko „0-1”). Dzięki indywidualnej parametryzacji sensorów możemy nastawić inne kryteria sygnalizacji bądź to alarmu danego obwodu w zależności od charakteru odbioru, który podlega analizie (rysunek 8).

Po szóste dostęp do informacji. W rozwiązaniu klasycznym operator musi być dostępny w pomieszczeniu systemu sterowania w celu odczytania informacji o awarii. Przy odpowiedniej konfiguracji oprogramowania w metodzie alternatywnej, informacja o awarii może zostać również przesłana na urządzenie mobilne (rysunek 8). Szczególnie może być to przydatne, gdy mamy do czynienia z systemami o rozproszonym charakterze pracy.

Po siódme w przypadku alternatywnej metody monitoringu mamy możliwość analizy zdarzeń w przedziale czasu (nie tylko statusu „0-1”), ale również innych predefiniowanych nastaw co zostało pokazane na rysunku 9.

Edytuj wybrane zdarzenie

* Sieć/Czujniki:

* Wejście:

* Wartość:

* Typ:

Próg [A]:

Opóźnienie [s]:

Wiadomość email: Włącz

SNMP trap: Włącz

Anuluj

Rys.8. Możliwości konfiguracji poszczególnych sensorów

Zdarzenia - Historyczne zdarzenia

Dzień: 3.08.2022 09:37:49 4.08.2022 09:37:49 Eksportuj

ID	Nazwa	Próg	Typ	Data i czas
3	I_ID5	0.1 [A]	Poniżej	4.08.2022, 09:37:17
2	I_ID4	1 [A]	Poniżej	4.08.2022, 09:37:17
1	I_ID4	1 [A]	Poniżej	4.08.2022, 08:49:37

Rys.9. Monitoring układu przepalenia wkładki w czasie rzeczywistym

Wnioski

Na przestrzeni ostatnich lat pojawiło się wiele rozwiązań do monitoringu i badania urządzeń w zakładach przemysłowych. Część z nich charakteryzuje się dodatkowymi funkcjami, co zwiększa możliwości diagnostyki i monitorowania odbiorów krytycznych infrastruktury zakładu przemysłowego. Dzięki odpowiedniej konfiguracji po stronie oprogramowania oraz właściwym

podłączeniu sensorów jesteśmy w stanie zoptymalizować układ monitoringu. Zostało to pokazane poprzez porównanie rozwiązana klasycznego oraz alternatywnego w oparciu o rozdzielnicę cyfrową. W zależności od wymogów, możliwa jest ich odpowiednia optymalizacji oraz dostosowanie w myśl idei Przemysłu 4.0 jako podstawy do transformacji cyfrowej rozwiązań stosowanych w przemyśle. Rozwiązania klasyczne nadal mogą pełnić

swoją podstawową funkcję do monitorowania „zadziałania zabezpieczenia” jednak w ograniczony sposób w porównaniu z rozwiązaniem alternatywnym. Jest to możliwe dzięki dodatkowym konwerterom umieszczonych w ich strukturze, co wiąże się z ich rozbudową. Jednakże zaproponowane alternatywne rozwiązanie pozwala w szerszy sposób spojrzeć na możliwości diagnostyczne urządzeń poprzez predefiniowane ustawienia dla każdego z sensorów. Dzięki temu rozwiązaniu nie tylko jesteśmy w stanie stwierdzić status „zadziałania zabezpieczenia” które odczytujemy jako sygnalizację przepalenia wkładki bezpiecznikowej, ale również możemy monitorować poszczególne fazy odbiorów trójfazowych (pomiar prądu), tworzyć logiki, czy predefiniować statusy alarmowe. Odczyt parametrów dzięki zaproponowanemu rozwiązaniu może odbywać się w sposób zdalny nie tylko z pomieszczenia systemu sterowania i nadzoru, ale również poprzez odpowiednie komunikaty wysyłane na platformy mobilne. Uproszczone metody konfiguracyjne, ograniczenie ilości urządzeń wchodzących w strukturę rozwiązania oraz znaczące zmniejszenie wymaganego miejsca w rozdzielniczy do monitorowania odbiorów pozwala zoptymalizować cały proces, a tym samym ograniczyć koszty inwestycji.

Autorzy: mgr inż. Łukasz Sołtysek, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Katedra Inżynierii Elektrycznej, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, E-mail: lukasz.soltysek@pk.edu.pl; mgr inż. Radosław Dudzik, ABB Sp. z o.o. - Biznes Elektryfikacji, Kierownik ds. rozwoju rozwiązań cyfrowych w biznesie elektryfikacji, ul. Długosza 48/60, 51-162 Wrocław, E-mail: radoslaw.dudzik@pl.abb.com.

LITERATURA

- [1] Sołtysek Ł., Szczepanik J., Dudzik R., Sułowicz M., Schwung A., Protection and Control Standards with Auto Diagnosis for the Motor in Low-Voltage Switchgear According to Industry 4.0, *Electronics*, (2021); 10(23):2993.
- [2] Szafy dystrybucyjne ABB, <https://new.abb.com/low-voltage/pl/produkty/rozdzielnicza-niskiego-napiecia-i-systemy-sterowania-napedami/mcc-and-iec-low-voltage-switchgear/rozdzielnicze-mns> (dostęp z dnia 29.06.2022)
- [3] Szafy dystrybucyjne Siemens, <https://new.siemens.com/pl/pl/produkty/energetyka/niskie-napiecie/systemy/sivacon-s8.html> (dostęp z dnia 29.06.2022)
- [4] Durocher D. B., Hussey M. R., Belzner D. E., Rizzi L., Application of Next-Generation Motor Management Relays Improves System Reliability in Process Industries, *IEEE Transactions on Industry Applications*, (March-April 2019), vol. 55, no. 2, pp. 2121-2129
- [5] Tofani K. M., Permana P. A., Harsono B. B. S. D. A., Jintaka D. R., Mangunnkusumo K. G. H., SCADA System Implementation for Small System Electricity, *2nd International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE)*, (2020), pp. 57-61
- [6] Rajeev Kumar, Dewal M. L., Kalpana Saini, Utility of SCADA in power generation and distribution system, *2010 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology*, (2010), pp. 648-652
- [7] Katalog ABB, Fuse failure relay UVT92m Product Guide 2017, https://library.e.abb.com/public/92457cb714454a8aac6a8d395cb317a1/1MDB08202-YN_UVT92m.pdf, (dostęp z dnia 29.06.2022)
- [8] Katalog ABB, Fuse monitor - OFM and OFS, <https://library.e.abb.com/public/bb01cc9df3f621dd65257115003df8e1/1SCC314001C0201.pdf> (dostęp z dnia 29.06.2022)
- [9] Eaton Katalog 2022, Aparaty i osprzęt elektryczny niskiego napięcia, <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/country/poland/catalog-ogs-page/polish-catalogs/eaton-low-voltage-power-distribution-catalog-pl-pl.pdf> (dostęp z dnia 29.06.2022)
- [10] Katalog Ferraz Shawmut; Low voltage distribution, Fuse Monitoring 100VAC to 690 VAC, <https://www.nuovaelva.it/docs/Ferraz/Fuse%20Monitoring.pdf> (dostęp z dnia 29.06.2022)
- [11] Zabezpieczenie Silnikowe SEL - sterownik PLC, <https://selinc.com/products/710/docs/> (dostęp z dnia 29.06.2022)
- [12] Zabezpieczenie Silnikowe ABB - sterownik PLC, <https://new.abb.com/low-voltage/pl/produkty/sterowniki-silnikow/universalny-sterownik-silnika/umc100-3> (dostęp z dnia 29.06.2022)
- [13] Katalog układu monitoring InSite, https://library.e.abb.com/public/4321c1a0e1374997a6db4f5f3325c681/System%20pro%20M%20compact%20InSite_catalog%20pages-dpi.pdf (dostęp z dnia 29.06.2022)
- [14] Rozegnał B., Albrechtowicz P., Mamcarz D., Radwan-Prąglowska N., Cebula A., The Short-Circuit Protections in Hybrid Systems with Low-Power Synchronous Generators, *Energies*, (2021) vol. 14, no. 1: 160.
- [15] IEC 61850-7-1:2011. Communication Networks and Systems for Power Utility automation-Part 7-1: Basic Communication Structure—Principles and Models; International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland, 2011.
- [16] Geng B., Wang Z., Ge W., Wang Ch., Li S., Gao Q., The application of IEC61850 standard in the online monitoring system of the smart substation, *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*, (2012), pp. 1-6
- [17] Yang M., Li G., Analysis of PROFINET IO Communication Protocol, *2014 Fourth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control*, (2014), pp. 945-949
- [18] Wago, System I/O: Automatyka – Katalog główny Tom 3 – wydanie 2019/2020, https://www.wago.com/pl/d/Info_60408357 (dostęp z dnia 29.06.2022)