

System zabezpieczający transformator średniego napięcia przed przegrzaniem bazujący na PLC i SCADA

Krzysztof Oprzędkiewicz

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej

Streszczenie: W pracy przedstawiono propozycję aplikacji SCADA przeznaczonej do monitorowania w czasie rzeczywistym temperatury rdzeni transformatorów zasilających zakład przemysłowy. Omówiono założenia i sposób realizacji projektu z wykorzystaniem typowych, dostępnych na rynku elementów systemów automatyki. Aplikacja umożliwia monitorowanie temperatury transformatorów oraz alarmowanie w przypadku przekroczenia wartości ostrzegawczych i alarmowych przez temperaturę. Prezentowana aplikacja została wdrożona praktycznie w zakładzie przemysłowym.

Słowa kluczowe: transformatory średniego napięcia, sterowniki PLC, systemy SCADA, systemy zabezpieczające

DOI: 10.14313/PAR_205/102

1. Wprowadzenie

W każdym współczesnym zakładzie produkcyjnym przestój wywołany przez awarię systemu zasilania implikuje poważne straty finansowe. Z tego względu zapewnienie ciągłości dostaw energii elektrycznej ma kluczowe znaczenie dla poprawnego prowadzenia jakiegokolwiek procesu produkcyjnego. Energia elektryczna w większości dużych i średnich przedsiębiorstwach jest dostarczana za pośrednictwem transformatorów średniego napięcia. Wyznaczając zapotrzebowanie na moc konkretnego zakładu, brane są pod uwagę następujące czynniki: moc potrzebna do funkcjonowania maszyn i urządzeń produkcyjnych, oświetlenia, ogrzewania i wielu innych procesów.

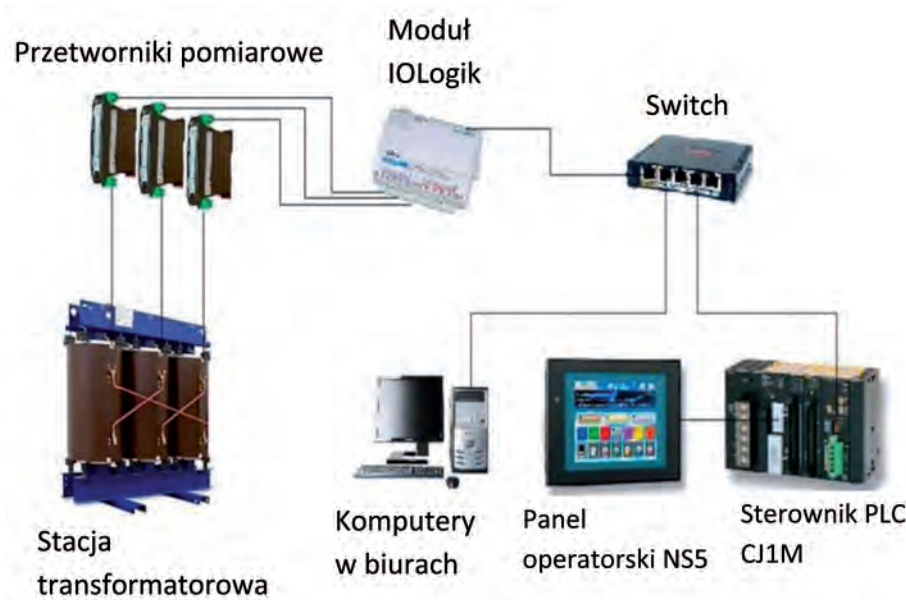
Należy zauważyć, że częste zmiany w parku maszynowym firmy wynikające z konieczności dostosowania do potrzeb rynku, mogą doprowadzić do znacznego zwiększenia zapotrzebowania na moc elektryczną. Może to skutkować tym, że transformatory, które zostały przeliczone na konkretne zapotrzebowanie mocy, zostaną przeciążone, co

spowoduje przegrzanie i włączenie zabezpieczeń termicznych oraz wyłączenie dostaw energii przez transformator, wstrzymanie produkcji, co w dalszej konsekwencji generuje straty związane ze zniszczeniem surowców, półproduktów lub materiałów produkcyjnych. Dodatkowo – długotrwała eksploatacja transformatora przegrzanego nawet poniżej temperatury krytycznej znacznie zmniejsza jego trwałość.

Z powyższych względów systemy automatyki zabezpieczeniowej są istotną częścią stacji transformatorowej zasilającej każdy większy zakład produkcyjny. Wymagania stawiane przed tego typu systemami są opisane w normach (m.in. IEC 61850), oferta rynkowa różnych rozwiązań jest szeroka (np. EATON MRA4, ABB RET615), oferowany sprzęt realizuje funkcje zabezpieczające przed wieloma niekorzystnymi zdarzeniami występującymi podczas pracy stacji transformatorowej (zwarcie, przeciążenie prądowe, przegrzanie i inne). Należy zaznaczyć, że są to zabezpieczenia typu przekaźnikowego, działające niezawodnie, ale powodujące dłuższe lub krótsze wyłączenie zasilania.

W artykule zaprezentowano propozycję realizacji systemu zabezpieczającego przed przegrzaniem transformator SN. System ten może być alternatywą lub uzupełnieniem typowego systemu zabezpieczającego, zrealizowanego za pomocą specjalizowanych elementów (np. ABB RET615). Bazuje on na aplikacji SCADA i ma znacznie rozszerzoną funkcjonalność w stosunku do typowych elementów automatyki zabezpieczeniowej. System umożliwia ciągle monitorowanie temperatury rdzeni transformatora oraz reakcję, nie tylko w razie przegrzania, lecz także podczas wystąpienia temperatury niższej od krytycznej, ale skracającej żywotność rdzenia transformatora oraz archiwizację zebranych danych.

Zaletą prezentowanego systemu jest możliwość odpowiednio wczesnej reakcji (jeszcze przed wystąpieniem awarii) w celu zapobiegnięcia awaryjnego postojowi zakładu, np. przez wyłączenie procesów narażonych na większe straty, bądź próbę ograniczenia poboru energii elektrycznej przez niektóre, mniej krytyczne dla produkcji urządzenia.



Rys. 1. Ogólny schemat sprzętowy systemu
Fig. 1. The general hardware scheme of the system

Dane zebrane w odpowiednio długich przedziałach czasowych z wykorzystaniem omawianego systemu mogą też być wykorzystane do planowanej rozbudowy systemu zasilania w zakładzie oraz planowania produkcji i planowania rozmieszczenia i harmonogramowania odbiorów energii. Proponowane rozwiązanie może być łatwo rozbudowane (programowo lub sprzętowo) o nowe funkcje, np. system predykcyjny, ostrzegający przed przegrzaniem awaryjnym lub długotrwałym, powodującym skrócenie żywotności transformatora.

Prezentowany w artykule system został zbudowany pod kierownictwem autora w 2011 r. [3]. Jedno z głównych założeń przyjętych przy opracowywaniu systemu dotyczyło stosowania typowych, tańszych elementów automatyki i możliwości realizacji zaprezentowanych rozwiązań z wykorzystaniem innych elementów sprzętowo-programowych. Główne funkcje realizowane przez system:

- podgląd w czasie rzeczywistym temperatury rdzeni poszczególnych transformatorów w stacji,
- alarmowanie przed wystąpieniem stanu awaryjnego,

Tab. 1. Funkcje głównych elementów systemu
Tab. 1. Functions of main elements of the system

Element	Funkcja
Przetwornik pomiarowy	Zbieranie wartości temperatury z czujników temperatury umieszczonych w transformatorach i wysłanie ich w postaci analogowej do modułu zbierającego Moxa IOLogik
Moduł Moxa IOLogik	Zebranie danych z przetworników w postaci sygnałów analogowych 4–20 mA i udostępnienie ich za pośrednictwem sieci Ethernet dla szczebla nadrzędnego oraz dla sterownika PLC i panelu operatorskiego, działanie w trybie awaryjnym
Switch ethernetowy CJ1W-ETN21	Komunikacja między obiektami i PLC oraz opcjonalna komunikacja ze szczeblem nadrzędnym w zakładzie
Panel HMI Omron NS5-TQ	Główna platforma sprzętowa aplikacji SCADA
Sterownik PLC OMRON C1JM	Konwersja danych z obiektu odczytanych za pośrednictwem sieci Ethernet do postaci możliwej do odczytu przez aplikację SCADA

- ostrzeżenie o przekroczeniu bezpiecznych wartości temperatury, skutkującym (w razie długiego trwania) obniżeniem żywotności transformatora,
- archiwizacja przebiegów temperatury.

W dalszej części pracy zostanie zaprezentowana architektura sprzętowo-programowa zbudowanego systemu.

2. Architektura sprzętowo-programowa systemu

System zabezpieczający transformator średniego napięcia przed przegrzaniem został zrealizowany w konfiguracji rozproszonej (rys. 1). Połączenie poszczególnych elementów wykonano na bazie sieci Ethernet (wewnętrzna sieć zakładowa) oraz łącza RS-232 pracującego zgodnie z protokołem HostLink (protokół firmy OMRON dedykowany sterownikom PLC i panelom operatorskim tej firmy). Temperatura rdzeni transformatorów jest odczytywana za pośrednictwem termopar, które współpracują z analogowymi przetwornikami pomiarowymi. Sygnałem wyjściowym z tych przetworników jest znormalizowany sygnał prądowy 4–20 mA, który jest następnie podawany na moduł akwizycji danych Moxa IOLogik, który przesyła te dane za pośrednictwem sieci Ethernet do sterownika PLC i panelu. Dane te mogą też być udostępnione innym aplikacjom, np. na poziomie głównego energetyka lub zarządu zakładu.

Panel operatorski, stanowiący platformę sprzętową dla aplikacji SCADA jest połączony ze sterownikiem PLC za pomocą łącza RS-232, pozostałe elementy połączone są w ramach zakładowej sieci Ethernet, zabezpieczonej przed niepowołanym dostępem. Jedną z możliwości jest zastosowanie przemysłowego switcha sieciowego z firewallem, np. Westermo L210-F3G [13], NaviNet seria IF1000 [14].

W sytuacji awaryjnej (zbliżanie się do niebezpiecznej temperatury i awaria łącza sieciowego) moduł Moxa IOLogik może samodzielnie wygenerować sygnał alarmu, który spowoduje uruchomienie odpowiednich procedur, np. awaryjnego wyłączenia zasilania.

3. Aplikacja SCADA

Aplikacja SCADA została zrealizowana z użyciem dedykowanego oprogramowania CX designer, które jest dostarczane wraz z panelem operatorskim użytym w projekcie. Funkcjonalność tego oprogramowania jest typowa dla prostszych środowisk programistycznych SCADA i zupełnie wystarcza do realizacji rozważanej aplikacji.

Opracowana aplikacja została przewidziana do obsługi trzech stacji transformatorowych, natomiast w razie potrzeby może być rozbudowana do obsługi większej liczby stacji. Uproszczony schemat blokowy przejść między oknami aplikacji przedstawiono na rys. 2, okno główne aplikacji na rys. 3, a okno do monitorowania temperatury z użyciem wykresów kołowych na rys. 4.

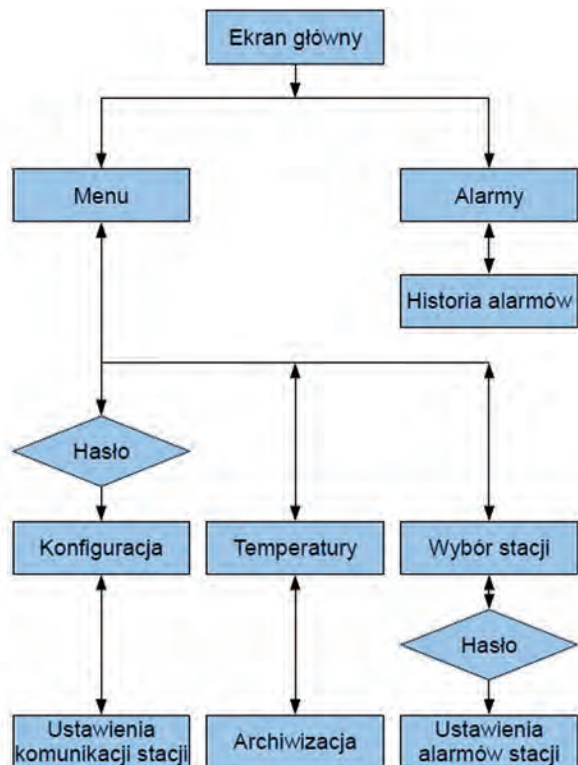
W celu zwiększenia czytelności wyników pomiarów, w oknie pokazanym na rys. 4 przyjęto następujące kody kolorystyczne:

- do 90 °C – kolor niebieski – praca z obciążeniem znamionowym,
- w przedziale 90–140 °C – kolor żółty – stan ostrzegawczy,
- powyżej 140 °C – kolor czerwony – stan awaryjny.

Dane ze wszystkich punktów pomiaru temperatury mogą być archiwizowane w pamięci nieulotnej panelu operatorskiego, a następnie wykorzystane w algorytmie ostrzegawczym.

Dla ułatwienia nadzoru temperatury transformatorów oraz sprawdzania poprawności pracy samej aplikacji wykorzystano typową opcję systemów SCADA, jaką jest możliwość konfiguracji różnego rodzaju alarmów. W rozważanej aplikacji zdefiniowano dwie grupy alarmów:

- Alarmy związane z wartościami temperatury monitorowanych punktów: są to alarmy aktywowane przekroczeniem krytycznej wartości przez temperaturę określonego transformatora. Podczas testów aplikacji próg aktywacji każdego z tych alarmów ustawiono na 130 °C.



Rys. 2. Schemat blokowy przejść między oknami aplikacji SCADA

Fig. 2. The block diagram of transitions between SCADA windows

- Alarmy aplikacji – alarmy aktywowane wystąpieniem określonych zdarzeń awaryjnych podczas pracy aplikacji. Jako sytuacje alarmowe przyjęto następujące zdarzenia:
 - Brak komunikacji – alarm występuje, gdy przekroczony zostaje zdefiniowany czas na odpowiedź z konkretnej stacji transformatorowej. Wymiana danych



Rys. 3. Główne okno aplikacji SCADA
Fig. 3. The main window of the SCADA application

odbywa się przez odpytywanie kolejnych stacji, przy czym czas na przesłanie odpowiedzi z pytanej aktualnie stacji nie przekracza 15 s. Gdy odpowiedź na zapytanie nie zostanie w tym czasie udzielona, program przechodzi do następnej stacji i wystawia błąd komunikacji stacji bieżącej.

- Przekroczony czas cyklu – w przypadku braku odpowiedzi z żadnej z trzech monitorowanych stacji zostaje przekroczony maksymalny czas komunikacji i zostaje wystawiony błąd i aktywowany alarm. Czas komunikacji został zdefiniowany jako 46 s ze względu na to, iż w projekcie zostały ujęte trzy stacje transformatorowe. W przypadku rozbudowy systemu można ten czas odpowiednio wydłużyć.
- Błąd ramki danych – po odebraniu danych sprawdzana jest poprawność ramki Modbus/TCP. Pod uwagę brany jest identyfikator transakcji, identyfikator protokołu, długość odebranej ramki danych oraz numer jednostki i kod funk-

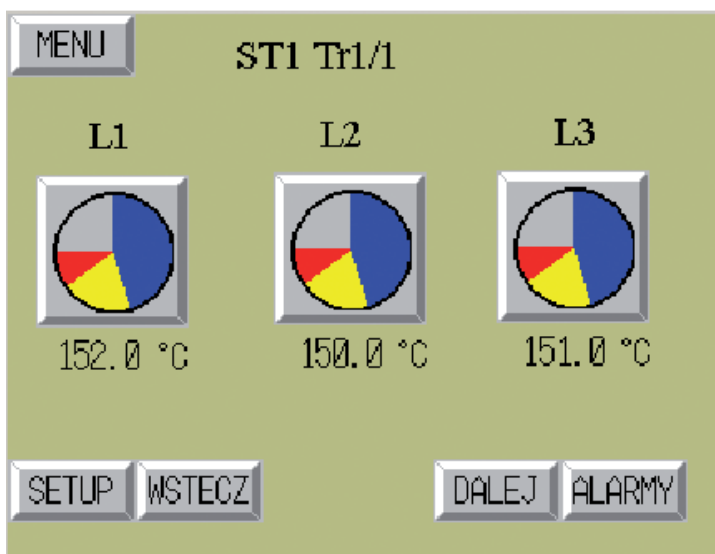
cji, który został zwrócony. W przypadku niezgodności którejs z danych aktywowany zostaje odpowiedni alarm.

- Błąd urządzenia pomiarowego – w celu wykrycia uszkodzenia termopary bądź przetwornika pomiarowego został stworzony prosty algorytm wykrywający to uszkodzenie. Błąd ten wystąpi w przypadku przekroczenia wartości maksymalnej temperatury lub gdy napięcie złącza termopary wyniesie 0 V.
 - Wyłączona komunikacja – alarm związany z wyłączeniem przez operatora komunikacji z którąś ze stacji transformatorowych, przy czym wyłączenie to jest wykonywane odpowiednim przyciskiem na panelu operatorskim.
 - Wyłączony alarm temperatury – generowanie alarmów może zostać wyłączone odpowiednim przyciskiem w oknie związanym z odpowiednią stacją transformatorową. W przypadku wyłączenia alarmów wyświetlona zostaje informacja o braku kontroli danej stacji.

4. Podsumowanie

Wnioski i uwagi końcowe zostały sformułowane następująco:

- Przedstawiony w artykule system SCADA został praktycznie zrealizowany i wdrożony do zastosowania w zakładzie produk-



Rys. 4. Okno do podglądu temperatury transformatorów
Fig. 4. Window to monitoring of transformers temperature

cyjnym mającym problemy związane z przekroczeniem mocy znamionowych transformatorów średniego napięcia. Zakład ten jest przedsiębiorstwem, w którym przerwanie procesu produkcyjnego w wyniku braku energii wiąże się z ogromnym nakładem kosztów na jego wzniesienie. W warunkach tego zakładu rozważany system SCADA wykazał swoją pełną praktyczną przydatność.

- Dane zebrane za pomocą opracowanej aplikacji mogą być zastosowane do wielu celów nie związanych bezpośrednio z awaryjnymi wyłączeniami przeciążonych transformatorów. Jako przykłady zastosowania można wskazać:
 - przygotowywanie planów produkcji zakładu (dobowych i tygodniowych) w sposób zapewniający równomierne obciążenia dla wszystkich stacji,
 - planowanie rozmieszczenia stanowisk pracy w zakładzie w sposób zapewniający równomierne obciążenie wszystkich stacji transformatorowych,
 - przygotowanie danych związanych z projektami rozbudowy systemu zasilania dla zakładu.
- Przedstawiona propozycja systemu monitorowania temperatury stacji transformatorowych powinna być traktowana jako szczególny przykład alternatywnej realizacji lub rozbudowy systemu zabezpieczającego z wykorzystaniem typowych, niskobudżetowych elementów systemów PLC.
- W ramach dalszej rozbudowy rozważanego systemu możliwa jest realizacja między innymi modułu programowego pozwalającego na odpowiednio wczesne ostrzeżenie przed przegrzaniem, co pozwoliłoby podjąć odpowiednie działania z wyprzedzeniem. Moduł taki może bazować na modelu ciepłym transformatora.

10. Programmable Terminals: OPERATION MANUAL. No. V098-E1-04.
11. Programmable Terminals: Setup manual. No. V083-E1-18.
12. TERMINALE PROGRAMOWALNE SERII NS – katalog produktu.
13. [www.westermo.com/web/web_en_idc_com.nsf/all-documents/B7A8EEE9407447CEC12578930033D176], Managed Gigabit Switch MDI-110-F3G.
14. [www.logistykait.pl/router-firewall-seria-if1000.html], Przemysłowy Router/Firewall – IF1000. ■

SCADA for temperature monitoring in medium voltage transformer

Abstract: In the paper a proposition of SCADA application dedicated to real-time temperature monitoring of transformers cores powering a factory is presented. The assumptions and method of project realization with the use of typical components were discussed. The proposed application makes possible temperature monitoring and warning and alarming, when the maximal permissible values of temperature are exceed. The presented SCADA system was practically applied in factory.

Keywords: medium voltage transformers, SCADA systems, protective systems

Artykuł recenzowany, nadesłany 21.01.2014, przyjęty do druku 18.02.2014.

Bibliografia

1. Bailey D., Wright E., *Practical SCADA for Industry*, 2003.
2. Dybowski P. i in., *Układy elektromechaniczne i transformatory. Obliczenia i zadania*, Wyd. AGH, Kraków 2010.
3. Kijas S., *System SCADA do zdalnego monitorowania temperatury transformatorów średniego napięcia*, praca dyplomowa magisterska zrealizowana pod kierownictwem K. Oprzędkiewicza na Wydziale EAIiE AGH w 2011 r.
4. McLyman W.T., *Transformer and inductor design handbook*, CRC Press/Taylor & Francis Group 2011,
5. CJ1W-ETN21 – MODBUS TCP MANUAL STA46.
6. CX-Designer Ver. 3._NS-CXDC1-V3 Cat. No. V099-E1-06.
7. Host Connection Manual:Host Link. No. V098-E1-04.
8. Omron CJ1M CPU – katalog produktu.
9. Programmable Terminals – PROGRAMMING MANUAL Cat. No. V073-E1-12.

dr hab. inż. Krzysztof Oprzędkiewicz

Absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie z 1988 r. (Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki, kierunek studiów: Elektronika, specjalność Automatyka). Aktualnie zatrudniony w Katedrze Automatyki i i Inżynierii Biomedycznej na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH na stanowisku profesora nadzwyczajnego oraz w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Tarnowie na stanowisku profesora nadzwyczajnego. Zainteresowania naukowe: problemy sterowania systemami dynamicznymi o niepewnych parametrach, sterowanie cyfrowe, automatyka przemysłowa.

e-mail: kop@agh.edu.pl

