

Śmierzchalski Roman

Kolendo Piotr

Politechnika Gdańska, Gdańsk, Polska

Computerized control and protection systems in technical objects and installations

Komputerowe systemy sterowania i zabezpieczeń w obiektach oraz instalacjach technicznych

Keywords / Słowa kluczowe

control systems, computer technology, safety systems, industrial and naval installations
systemy sterowania, techniki komputerowe, układy bezpieczeństwa, instalacje przemysłowe i okrętowe

Abstract

The article presents some safety-related problems of the computer control systems and overall automation. The development of automation and information technology in recent years has forced to develop a number of new technologies and solutions for advanced process control and other technical installations. It seeks for automation of complex technical installations, conceived as means of controlling all subsystems and devices automatically, without human intervention. However, if we consider the economic aspects, the maintenance-free concept is not justified. The partial automation of selected systems is also of interest. This work considers some general aspects of control system design with emphasis on safety aspects. As an example of the protection system, the installation of diesel engine oil lubrication is presented.

1. Wprowadzenie

Zastosowanie w systemach przemysłowych układów sterowania z centralnego stanowiska, zmniejszyło uciążliwość obsługi urządzeń i bezpieczeństwo pracy. W obecnie eksploatowanych systemach sterowania instalacji przemysłowych pulpity operatorskie stanowią standardowe stanowiska sterowania. Operacje z lokalnego stanowiska awaryjnego, są wykonywane tylko w wyjątkowych sytuacjach, najczęściej w stanach pracy awaryjnej.

Współczesne rozwiązania systemów przemysłowych, zmierzają do ich kompleksowej automatyzacji. Automatyzacja kompleksowa rozumiana jest, jako możliwość sterowania wszystkimi układami i urządzeniami w sposób automatyczny lub sterowania zdalnego z centralnego stanowiska z udziałem operatora. Instalacja przemysłowa, jako kompleksowo zautomatyzowany system musi być wyposażony w urządzenia automatyki obsługujące maszyny i mechanizmy, występujące w instalacji, niezależnie od swoich funkcji.

Urządzenia automatyki pozwalają na sterowanie zdalne, w którym sygnały przesyłane są za pomocą sieci komunikacyjnej zwykle zdwojonej. Analizując pracę zautomatyzowanego systemu należy rozpatrywać zagadnienia dotyczące: struktury zintegrowanego systemu sterownia, układów sterowania i kontroli oraz zamkniętych układów regulacji automatycznej w systemie. Urządzenia kontroli zawiera wspólne określenie dla układów alarmowych, bezpieczeństwa i wskazujących.

2. Automatyzacja obiektów i instalacji technicznych

Automatyzacja kompleksowa obiektów i instalacji technicznych prowadzi do bezobsługowej pracy wszystkich urządzeń. Rozwiązanie takie jest możliwe z technicznego punktu widzenia, ale wymaga specjalistycznego wyposażenia instalacje techniczne w urządzenia sterujące i kontrolne. Jeśli uwzględnia się aspekty ekonomiczne, to koncepcja

instalacji bezobsługowej nie jest obecnie uzasadniona, natomiast powszechne zastosowanie znajduje częściowa automatyzacja, w której tylko część systemów i urządzeń podlega automatycznemu sterowaniu i kontroli. Stopień automatyzacji określa się przez zespół cech charakteryzujących techniczną realizację układów sterowania i kontroli.

Uwzględnia się przy tym właściwości: układu człowiek–urządzenie, układów sterowania, układów kontroli, pracy systemów zautomatyzowanych z punktu widzenia niezawodności oraz bezpieczeństwa przeciwpożarowego.

Przykładem częściowej automatyzacji jest automatyzacja np. elektrociepłowni. Zautomatyzowaną elektrociepłownią można eksploatować z centralnego stanowiska sterowania i kontroli. Komendy do systemu mogą być wydane przez operatora lub przez układy automatyki poprzez pojedyncze polecenia, co oznacza z reguły sekwencyjne wykonanie całego szeregu instrukcji, tak, aby dane polecenie zostało zrealizowane zgodnie z wymaganiami technicznymi.

Po wykonaniu sekwencji zadań układ automatyki kontroluje stan realizacji polecenia. W zautomatyzowanych systemach urządzenia automatyki działają według ustalonego algorytmu, sterując poszczególnymi procesami w zależności od zmian warunków zewnętrznych i odchyień od przebiegów dopuszczalnych, jednocześnie nadzorując i sygnalizując przebieg realizacji tych procesów.

Ponadto aktywują funkcje alarmowania i zabezpieczenia, niezbędne do kontroli stanów krytycznych pracujących urządzeń. Środkami technicznymi łączącymi układy automatyki z obiektami sterowania są czujniki pomiarowe (np. czujniki temperatury, ciśnienia czy prędkości obrotowej) i elementy wykonawcze (np. styczniki uruchamiające pompy przesmarowania, zawory powietrza sterującego itp.).

Do automatyzacji stosowane są obecnie komputerowe systemy sterowania. Systemy wyposażone w określone programy sterujące realizują zadania zgodnie z przebiegami procesów. Układy pomiarowe kontrolują parametry przebiegu procesu, a układy sterujące, analizując i porównując te parametry z wartościami zadanymi, wypracowują sygnały do układów wykonawczych, wpływając bezpośrednio na stan obiektów.

W kontekście powyższych stwierdzeń zautomatyzowanie instalacji polega na opracowaniu algorytmów sterowania oraz skonstruowaniu środków technicznych pozwalających na realizację tych algorytmów, co umożliwia wykonanie przez instalację wszystkich zadań z jednoczesnym

zachowaniem założonych parametrów technicznych i wymogów bezpieczeństwa.

Projektując skomputeryzowane systemy automatyki uwzględnia się:

- zakres automatyzacji instalacji,
- wymagania ze względu na konstrukcję,
- komunikację i sposób współdziałania układów komputerowych,
- strukturę systemu sterowania – ze względu na podział funkcji i umiejscowienie poszczególnych skomputeryzowanych urządzeń sterujących,
- podział układów automatyki na realizujące funkcje sterujące oraz kontrolne, które zapewniają bezpieczeństwo pracy urządzeń i instalacji, jako całości,
- powiązania układów sterujących i kontrolnych z pracą poszczególnych urządzeń.

3. Komputerowy system sterowania

Analizując rozwiązania komputerowych systemów sterowania instalacji przemysłowych oraz określając typ konfiguracji ze względu na sposób współdziałania układów komputerowych, wśród rozwiązań można wyróżnić dwa podstawowe typy systemów: system scentralizowany, jednokomputerowy i system rozproszony (zdecentralizowany).

W systemach przemysłowych znaczna odległość między komputerem znajdującym się zazwyczaj w centrali sterująco-kontrolnej a urządzeniami instalacji i punktami pomiarowymi prowadzi do wysokich kosztów okablowania, montażu oraz zabezpieczenia tych przewodów przed wpływem zakłóceń elektromagnetycznych. W związku z tym systemy scentralizowane nie mają zastosowania we współczesnych instalacjach.

Budowę systemu sterowania z rozproszonymi mikroprocesorowymi układami opiera się na wielopoziomowej strukturze sterowania (rys.1), w której wyróżnia się, powiązane siecią komunikacyjną, poziomy zarządzania, sterowania i obiektów [8].

W systemie rozproszonym (zdecentralizowanym) przetwarzanie wartości stanu procesu, funkcje kontroli i sterowania są rozdzielone pomiędzy kilka przestrzennie rozproszonych komputerów – zwykle sterowników programowalnych (paneli lokalnych). Sterowniki te wyposażone są w karty wejść i wyjść analogowych oraz cyfrowych, umożliwiające pomiar wielkości i sterowanie poszczególnymi urządzeniami siłowni za pośrednictwem członów pomiarowych i elementów wykonawczych.




Sterowniki, wykorzystując zwykle zdwojoną sieć (w celu zapewnienia bezpieczeństwa przesyłania

informacji w czasie awarii), komunikują się z nadrzędnym komputerem (stacją roboczą), odpowiedzialnym za koncentrację sygnałów i wysyłanie sygnałów zadających do sterowników. Ponadto komputer nadrzędny obsługuje pulpit operatorski.



Rysunek 1. Poziomy sterowania systemu komputerowego

W komputerowych systemach sterowania prawidłowe funkcjonowanie systemu, jako całości zależy od tego, czy urządzenia poszczególnych poziomów spełniają określone wymagania w sposób właściwy. Chodzi mianowicie o liczbę przesyłanych informacji, czas odpowiedzi na sygnał oraz częstotliwość transmisji [2][8]. Przybliżone parametry przesyłanych informacji, czasu odpowiedzi na sygnał oraz częstotliwości transmisji zostały przedstawione na rysunku (Rysunek 2).

	Liczba urządzeń	Liczba informacji	Czas odpowiedzi	Częstotliwość transmisji
Poziom zarządzania 	dziesiątki	kbajty	100 ms-1 s	1/s
Poziom sterowania 	setki	bajty	10-100 ms	~10/s
Poziom obiektowy 	tysiące	bity	<10 ms	~100/s

Rysunek 2. Wymagania komputerowych systemów w zależności od poziomu sterowania

Ze względu na wymagania techniczne, bezpieczeństwo, dyspozycyjność systemu, niezawodność współpracujących urządzeń oraz ekonomikę rozwiązań, system o konfiguracji rozproszonej ma obecnie powszechne zastosowanie w systemach automatyki. W dalszej części będzie

analizowany zautomatyzowany system oparty na zdecentralizowanej konfiguracji systemów komputerowych.

4. Systemy zdecentralizowane

W systemach o strukturze zdecentralizowanej sterowanie systemami i urządzeniami odbywa się z wykorzystaniem rozproszonych i przypisanych do tych urządzeń mikroprocesorowych układów programowalnych – tzw. sterowników swobodnie programowalnych PLC (PLC – ang. Programming Logic Controllers). Dotyczy to różnego rodzaju urządzeń i instalacji mechanicznych oraz elektrycznych (np. pomp, zaworów, przekaźników). Rozproszone sterowniki programowalne [7], [6] zajmują najniższe miejsce w hierarchii decyzyjnej tej struktury.

Sterowniki wraz z elementami wykonawczymi i z czujnikami pomiarowymi znajdują się zwykle w pobliżu obiektu sterowania. Poprzez karty A/C (analogowo-cyfrowe) i B/C (binarno-cyfrowe) – moduły wejściowe – sterowniki koncentrują informacje z czujników umieszczonych w punktach pomiarowych obiektów. Natomiast poprzez moduły wyjściowe (karty C/A – cyfrowo-analogowe i C/B – cyfrowo-binarne), sygnały sterujące są przesyłane do urządzeń wykonawczych (np. zaworów, siłowników itp.).

Sygnały sterujące są generowane przez procesor sterownika zgodnie z algorytmem sterowania umieszczonym w pamięci sterownika. Czynności sterujące wchodzące w skład sekwencyjnych instrukcji sterownika realizowane są w obrębie układu czujnik sterownik urządzenie wykonawcze. Sygnały, rozkazy o większej wadze decyzyjnej (wartości zadane, parametry), są generowane z wyższych poziomów sterowania. Istnieje również ograniczona możliwość wpływania na przebieg procesu poprzez bezpośrednie zadanie wartości sterujących w sterowniku. Rozwiązanie takie stosuje się w sytuacji awaryjnej, np. podczas przerwy w komunikacji z centralnym komputerem nadrzędnym lub w celach konserwacyjno-naprawczych.

Kolejny stopień w tej hierarchii stanowią lokalne stacje procesorowe, połączone ze sterownikami programowalnymi PLC – interfejsami transmisji szeregowej (np. RS-232, RS-422, RS-485) [2]. Zadaniem stacji procesorowych jest obróbka informacji docierającej z podlegającej im grupy sterowników, jak i obróbka informacji, które są odbierane przez te sterowniki. Jednak trzeba zaznaczyć, że część urządzeń np. regulowane napędy elektryczne wymagają specjalizowanych sterowników. W tym wypadku sterownik PLC stanowi element koncentrujący sygnały i zadający sygnały wejściowe do sterownika specjalizowanego.

Stacje procesorowe sprawują nadzór nad działaniem PLC oraz sterownikami specjalizowanymi i koordynują ich współpracę. Z uwagi na zwiększenie niezawodności stosuje się rozwiązania z pełną redundancją przez zdublowanie stacji procesorowych.

Najwyższy poziom sterowania – poziom zarządzania i nadzoru obsługują centralne komputery. Zwykle są to dwa komputery pracujące w systemie „Master-Slave” połączone magistralą z siecią (np. Profibus, CAN) wraz z pulpitemi operatorskimi. Umiejscowienie pulpitu oraz komputerów zależy od typu instalacji i rozproszenia stanowisk sterowania. W dedykowanych punktach decyzyjnych przewiduje się jedynie możliwość wpływu na parametry bezpośrednio związane z danym stanowiskiem sterowania.

Komputery centralne połączone są ze stacjami procesorowymi za pomocą sieci LAN (ang. Local Area Network). Na większości obecnie rozwiązaniach automatyki stosuje się także łącze Ethernetu, dzięki któremu parametry techniczne systemu sterowania, na bieżąco lub w postaci plików danych zarejestrowanych przebiegów, przekazywane są do centralnego biura zarządzającego.

Całością komputerowego systemu zarządza system operacyjny wyposażony w odpowiednie oprogramowanie aplikacyjne [7], [6]. Architektura komputerowego systemu operacyjnego zaprojektowana jest zwykle w trzech warstwach.

Warstwa pierwsza, na poziomie sterowników, jest stworzona na podstawie znacznej liczby podprogramów sterujących i kontrolujących pojedyncze obiekty sterowania (urządzenia). Realizacja zadań podprogramów na poziomie sterowników jest wynikiem danych otrzymanych z czujników pomiarowych obiektów. Warstwa ta nie obejmuje wykonywania poleceń od operatora, lecz uwzględnia tylko stan, w którym znajduje się obiekt.

Warstwa druga, to wykonywanie wszystkich podprogramów realizujących polecenia od operatora, z uwzględnieniem stanu obiektu za pośrednictwem lokalnych stacji procesorowych.

Trzecia warstwa obejmuje alarmowanie oraz sygnalizowanie nieprawidłowości i awarii w całym systemie, zbieranie danych o stanie urządzeń, a także, w zależności od stopnia dostępu do systemu, zdalne sterowanie i zmianę parametrów oraz wartości sterujących.

Wszystkie warstwy oprogramowania powiązane są ze sobą według określonych priorytetów tak, aby nie dopuścić do nieokreślonych, konfliktowych, sytuacji mogących doprowadzić do awarii urządzeń sterowanych. W wypadku zmiany parametrów i jeśli stanowiska dostępu do systemu są zdwojone,

dokonywanie tych zmian jest możliwe tylko z jednego stanowiska w systemie (ang. Master-Slave), pod warunkiem, że operator posiada uprawnienia dostępu do systemu [9].

Na poziomie zarządzania i nadzoru realizowane są następujące funkcje: monitorowanie parametrów urządzeń i alarmowanie o przekroczeniu przez nie dopuszczalnych wartości oraz o nieprawidłowych stanach, prezentowanie na ekranie monitorów schematów mnemotechnicznych (tzw. mimik) z aktualnym stanem poszczególnych systemów i urządzeń analizowanych systemów, graficzne zobrazowanie wartości mierzonych parametrów, okresowe rejestrowanie parametrów i wydruk stanów alarmowych występujących w instalacji, sygnalizacja grup alarmowych (grupa alarmowa – zespół urządzeń powiązanych funkcjonalnie i sygnalizacja alarmowa), automatyczne blokowanie fałszywych alarmów (np. po celowym zatrzymaniu urządzenia), automatyczne oraz zdalne sterowanie urządzeniami i zmiana parametrów, nadzór nad bezpieczeństwem pracy operatora, autokontrola prawidłowości działania układu komputerowego.

5. Układy sterowania i kontrolne

Na poziomie sterowników układy automatyki realizują funkcje sterowania i kontroli pracy poszczególnych obiektów. Funkcje kontroli obejmują funkcje alarmujące, zabezpieczające i wskazujące. Ze względu na bezpieczeństwo pracy systemu, funkcje te przejmują oddzielne sterowniki.

Funkcje sterowania realizują układy sterowania automatycznego i zdalnego. Pierwsze z wymienionych są przeznaczone do sterowania pracą urządzeń bez ingerencji człowieka, zgodnie z ustalonym zadaniem. Z kolei układy sterowania zdalnego umożliwiają personelowi oddziaływanie ze stanowiska operatorskiego na pracę określonego urządzenia w celu realizacji zadania [3], [4], [5].

Układ alarmowy pełni zadanie sygnalizowania stanów, w których występują odchylenia od ustalonych wartości granicznych parametrów obiektów sterowania, lub w których następują zmiany w wybranych warunkach pracy urządzenia. Układ alarmowy jest aktywny, po zadziałaniu układu bezpieczeństwa, lub gdy nastąpi zanik energii zasilającej poszczególne układy automatyki, oraz po włączeniu się zasilania rezerwowego tych urządzeń (*Rysunek 3a*).

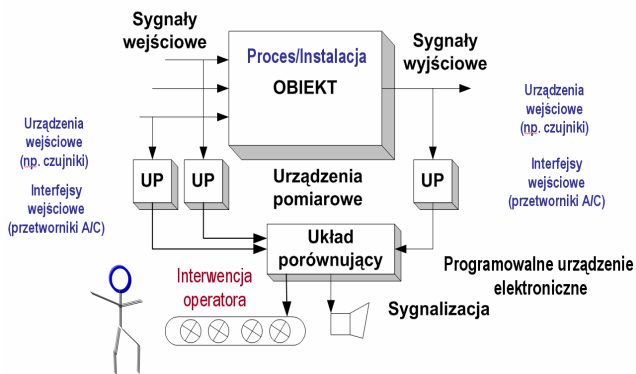
Stany alarmowe poszczególnych urządzeń są wskazywane na stanowiskach sterowania, a także poprzez generowanie sygnałów świetlnych i dźwiękowych. Sygnał świetlny jest podawany światłem przerywanym i podświetlany napis potwierdza awarię. Skasowanie sygnału świetlnego

jest możliwe dopiero po usunięciu przyczyn jego powstania. Potwierdzenie alarmu powoduje zmianę charakteru tego sygnału ze światła migającego na ciągłe lub zmianę częstotliwości migania, a sygnalizacja dźwiękowa ustaje.

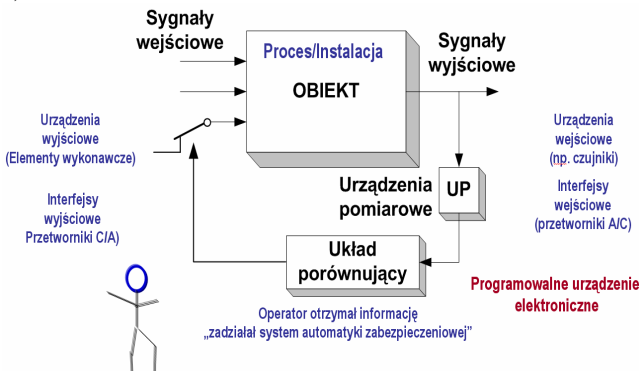
Układ alarmowy działa niezależnie od układów sterowania i bezpieczeństwa. W wypadku przerwania obwodu lub innego uszkodzenia układ posiada funkcję samokontroli, wyzwalającą sygnał alarmowy informujący o tym uszkodzeniu. W celu ułatwienia wykrycia krótkotrwałych stanów alarmowych samoczynnie zanikających, układ zachowuje informacje tak, aby sygnalizacja przejściowych stanów alarmowych była utrzymana do chwili ich potwierdzenia.

Zadaniem układów bezpieczeństwa jest generowanie sygnałów oddziaływających na urządzenie sterowane – obiekt w taki sposób, aby zabezpieczyć to urządzenie przed awarią lub rozszerzeniem się jej skutków. Układ bezpieczeństwa urządzeń działa automatycznie po przekroczeniu granicznych wartości parametrów, które mogą spowodować awarię (Rysunek 3b).

a)



b)



Rysunek 3. Schematy blokowe: a) układu alarmowego; b) układu bezpieczeństwa

Ponadto system bezpieczeństwa, uwzględniając właściwości i cechy zabezpieczanych urządzeń, obejmuje swoim działaniem wszystkie możliwe do przewidzenia stany awaryjne. Ze względu na to, że

omawiany układ musi działać niezależnie od układów sterowania i alarmowego, jakiegokolwiek uszkodzenia tych ostatnich nie wpływają na jego pracę.

Układ bezpieczeństwa działa w określonej sekwencji: realizuje w określonej kolejności funkcje prowadzące do stanów mniej krytycznych, zmniejszających zagrożenie. System bezpieczeństwa w pierwszej fazie uruchamia zespół urządzeń rezerwowych, pozwalający na przywrócenie normalnych warunków pracy, później redukuje obciążenie, przez co praca urządzenia zostaje czasowo dostosowana do zaistniałych warunków. W końcowej fazie działania układu bezpieczeństwa następuje awaryjne zatrzymanie jego pracy.

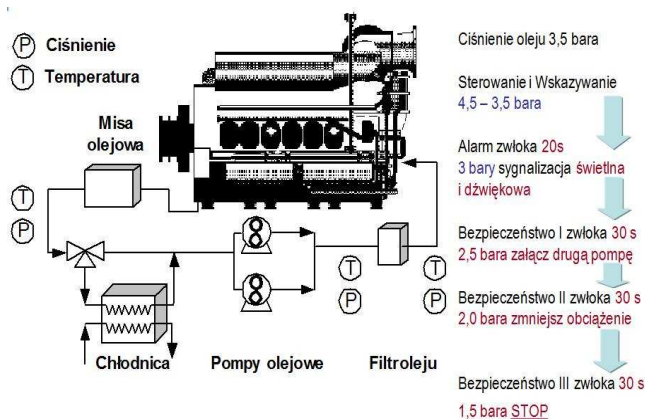
Po zatrzymaniu urządzenia przez układ bezpieczeństwa jego ponowne uruchomienie nie następuje automatycznie, lecz wyłącznie po uprzednim ręcznym odblokowaniu. W niektórych stanach krytycznych układ bezpieczeństwa powoduje natychmiastowe zatrzymanie pracy urządzenia z pominięciem faz przejściowych.

6. Realizacja komputerowego systemu alarmowego i bezpieczeństwa

Na Rysunku 4 została przedstawiona zasada działania systemu alarmowego i bezpieczeństwa ciśnienia oleju silnika spalinowego z podziałem na funkcję alarmową i bezpieczeństwa. W Systemie olejowym jedna z pomp napędzanych silnikiem elektrycznym lub zawieszona pompa olejowa zasysa olej z misy olejowej i tłoczy go poprzez trójdrożny zawór termostatyczny na chłodnicę (wymiennik ciepła), a następnie przez filtr olejowy do silnika. Zawór termostatyczny zapewnia stałą temperaturę oleju smarowego na wejściu do silnika. W odpowiednich miejscach instalacji dokonywany jest pomiar temperatury i ciśnienia.

Zatrzymanie silnika spalinowego następuje przez system bezpieczeństwa następuje, gdy ciśnienie oleju spadnie poniżej określonej wartości (np. ok. 1, 5 Bara – wartość ta jest dobierana indywidualnie do typu silnika). W systemie tym, oprócz pompy głównej obiegowej, silnik posiada dodatkową pompę z napędem elektrycznym, spełniającą funkcję pompy wstępnego przesmarowania.

Realizacja komputerowych systemów alarmowych i bezpieczeństwa realizowana jest w oparciu o sterowniki programowalne. Propozycja aplikacji systemu alarmowego i bezpieczeństwa ciśnienia oleju silnika spalinowego, przy użyciu sterownika PLC SAIA PCD z wykorzystaniem technologii webowej do celów sterowania i wizualizacji przedstawiają Rysunki 5 i 6 [1].

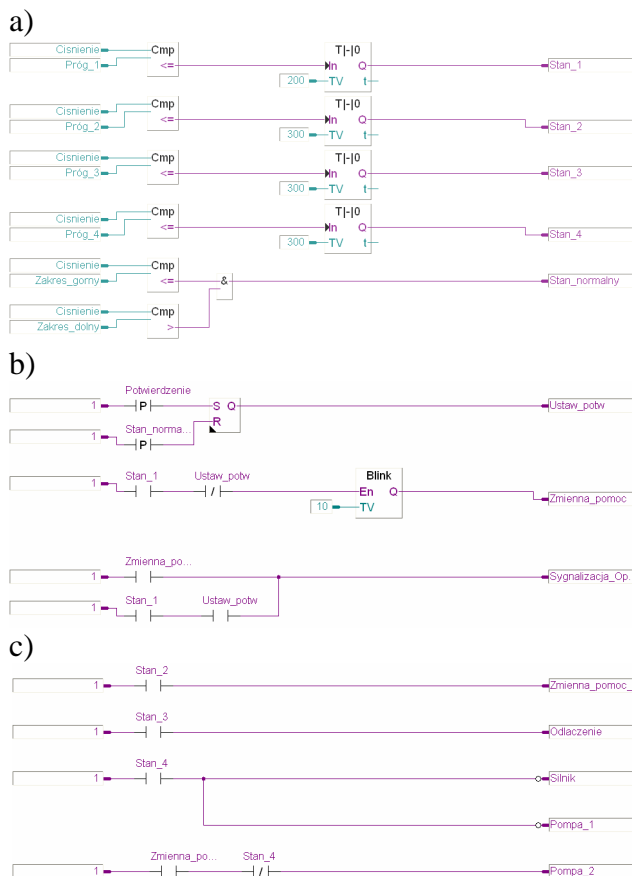


Rysunek 4. Schematy blokowe: a) układu alarmowego; b) układu bezpieczeństwa

W przypadku prawidłowego ciśnienia silnika (ciśnienie 3,5 - 4 Bara) pracuje jedynie układ wskazujący, który odczytuje aktualne wartości ciśnienia i przedstawia je w postaci słupkowych wskazań (barografów) Rysunek 6. W pierwszej fazie programu (Rysunek 5a) system porównuje wartość wejściową ciśnienia z progami przedstawionymi na Rysunek 4. Jeżeli wartość ciśnienia spada poniżej 3 bar uaktywnia się działanie układu alarmującego. Jednak sygnalizacja jest aktywna po uwzględnieniu opóźnień zadziałania progów alarmowego jednego z sygnałów przekazywanych z czujników pomiarowych, które określają aktualny stan pracy systemu olejowego.

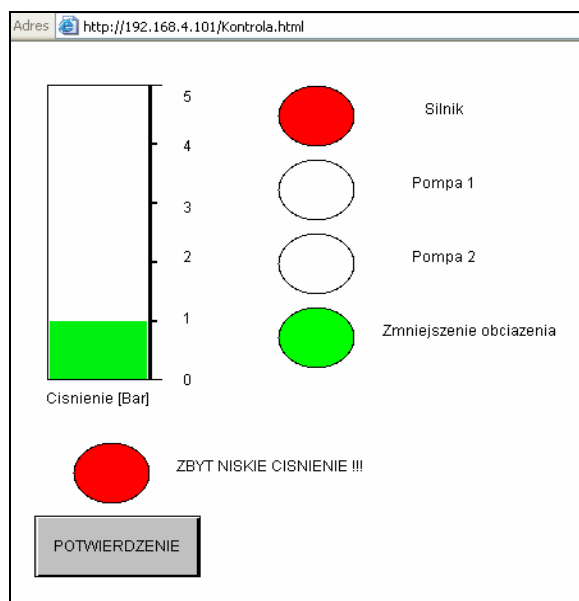
Po zadziałaniu układu alarmowego, sygnalizacja świetlna i dźwiękowa informuje operatora o przekroczeniu stanu alarmowego i żądane jest potwierdzenie przyjęcia alarmu poprzez wciśnięcie przycisku usunięcia sygnalizacji przez operatora. Dopóki potwierdzenie nie zostanie przyjęte sygnalizacja optyczna i akustyczna informuje w sposób ciągły operatora o przekroczeniu wartości granicznych.

W przypadku dalszego spadku ciśnienia zadziała układ bezpieczeństwa. W pierwszym etapie załączy on dodatkową pompę, jeżeli to działanie nie spowoduje zmiany wartości ciśnienia nastąpi zmniejszenie obciążenia silnika. Dalszy spadek ciśnienia spowoduje wyłączenie silnika przez układ bezpieczeństwa. Zgodnie z wymaganiami poszczególne etapy działania systemu są realizowane z określoną zwłoką czasową. Na Rysunku 6 została przedstawiona wizualizacja procesu przy użyciu technologii webowej SAIA. Dzięki zastosowaniu webservera na sterowniku PLC możliwe kontrolowanie i sterowanie procesem z dowolnego komputera za pomocą Web paneli lub przeglądarki www.



Rysunek 5. Program działania systemu alarmowego i bezpieczeństwa na sterowniku SAIA PCD

- system porównuje wartość wejściową ciśnienia z wartościami progami i uaktywnia system ze zwłoką,
- potwierdzenie przyjęcia alarmu,
- zadziałanie systemu bezpieczeństwa (pompa 2, zmiana obciążenie, odłączenie silnika).



Rysunek 6. Wizualizacja procesu przy użyciu technologii webowej SAIA pod adresem <http://192.168.4.101/Kontrola.html>

7. Podsumowanie

W artykule przedstawiono funkcje i zasady działania systemów komputerowych sterowania i układów automatyki bezpieczeństwa. Rozpatrywano ogólne zagadnienia systemów sterowania elementów składowych systemu ze szczególnym uwzględnieniem zabezpieczeń.

W systemach dąży się do automatyzacji kompleksowej instalacji technicznych, rozumianej, jako możliwość sterowania wszystkimi układami i urządzeniami w sposób automatyczny, bez udziału człowieka. Przedstawiono jako przykład aplikację działania układu bezpieczeństwa, zabezpieczenia instalacji olejowej silnika napędowego spalinowego przed spadkiem ciśnienia oleju smarowego.

Literatura

- [1] Dokumentacja techniczna (2010). *Sterowniki serii PCD*. Podręcznik sprzętowy, SAIA-Burgess Electronics, Switzerland, www.saia-pcd.com.
- [2] Mielczarek, W. (1993). *Szeregowe interfejsy cyfrowe*. Helion, Gliwice.
- [3] Polski Rejestr Statków (2003). *Przepisy klasyfikacji i budowy małych statków morskich, część VII – Urządzenia elektryczne i automatyka*, Gdańsk 2003.
- [4] Polski Rejestr Statków (2002). *Przepisy klasyfikacji i budowy statków morskich, część VIII – Urządzenia elektryczne i automatyzacja*, Gdańsk.
- [5] Polski Rejestr Statków (2002). *Przepisy Klasyfikacji i Budowy Statków Morskich, część VII – Silniki, mechanizmy, kotły i zbiorniki ciśnieniowe*, Gdańsk.
- [6] Polski Rejestr Statków (2002). *Wymagania dla systemów komputerowych*. Publikacja nr 9/P, Gdańsk.
- [7] Polski Rejestr Statków (1998). *Zasady uznawania programów komputerowych*. Publikacja nr 14/P, Gdańsk.
- [8] Sacha, K. (1999). *Systemy czasu rzeczywistego*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [9] Śmierchalski, R. (2004). *Automatyzacja systemu elektroenergetycznego statku*. Wydawnictwo Gryf, Gdańsk.

