

Uniwersalne bloki funkcjonalne z wejściami rozszerzającymi funkcjonalność do sterowania napędami technologicznymi

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję uniwersalnych bloków funkcjonalnych do sterowania napędami technologicznymi za pomocą sterowników PLC. Bloki funkcjonalne zostały opracowane zgodnie z warstwowym modelem systemów sterowania. Zaimplementowano dwa podstawowe bloki funkcjonalne obsługujące napędy technologiczne z typowymi obwodami zasilania i obwodami sterowniczymi. Uniwersalność bloków zapewnia zestaw dodatkowych wejść rozszerzających, dzięki którym może on współpracować z innymi blokami funkcjonalnymi do obsługi mniej typowego osprzętu napędu.

Abstract. The paper presents the idea of all-purpose function blocks for technological drive controlled by programmable logic controller (PLC). The function blocks have been developed according to the layer model of control systems. Two basic function blocks to handle technological drives with typical supply and control circuits have been implemented. A versatility of the function blocks are provided by a set of additional expanding inputs, which allow to cooperate with other blocks to handle less typical drive accessory. (**General purpose function blocks with inputs expanding functionality for control of technological drives**).

Słowa kluczowe: systemy sterowania, sterowniki programowalne, obwody zasilania napędów, obwody sterownicze

Keywords: control systems, programmable logic controller, drive supply circuits, control circuits

Wstęp

W ciągach technologicznych jednym z podstawowych elementów wymagających sterowania są napędy urządzeń technologicznych. Wykorzystanie sterowników programowalnych i systemów SCADA pozwoliło wprowadzić nowe możliwości do systemu sterowania w porównaniu do systemów wykorzystujących logikę przekaźnikową. Wśród tych możliwości należy zwrócić uwagę na zwiększenie bezpieczeństwa eksploatacji poprzez zwielokrotnienie torów wyłączania napędu, wprowadzenie dokładnej diagnostyki stanu napędu i obwodów zasilania, sterowniczego i bezpieczeństwa oraz możliwość realizacji bardziej złożonych algorytmów sterowania samymi napędami.

W literaturze można znaleźć wiele opisów systemów sterowania pojedynczymi, autonomicznymi napędami. Szczególnie dużo jest dostępnych artykułów omawiających sterowanie napędów z silnikami indukcyjnymi, także z wykorzystaniem sterowników programowalnych [1, 2]. Szeroko opisywane są także systemy sterowania obejmujące fragment linii technologicznej. Opisywane systemy obejmują przeważnie do kilkunastu urządzeń i czujników [3, 4]. Systemy sterowania całych ciągów technologicznych są opisywane przeważnie pod kątem architektury sprzętowej systemu: wykorzystanych sterowników, topologii sieci informatycznej oraz systemu SCADA [5].

Architektura oprogramowania sterującego ciągami technologicznymi jest przedstawiana w literaturze rzadko. Oprogramowanie to jest najczęściej dostarczane przez firmy komercyjne instalujące system sterowania.

W artykule przedstawiono architekturę oprogramowania sterującego zgodnego z normą PN-EN 61131-3 [6, 7] dla napędów urządzeń w ciągach technologicznych. Różnorodność rozwiązań spotykana w przemyśle uniemożliwia opracowanie w pełni uniwersalnych bloków funkcjonalnych do obsługi napędów i urządzeń w ciągach technologicznych.

Jednym ze sposobów rozwiązania problemu różnorodności napędów jest opracowanie i/lub wykorzystanie oprogramowania narzędziowego pozwalającego na automatyczne generowanie kodu bloków funkcjonalnych obsługujących napędy technologiczne na podstawie wbudowanych szablonów i danych opisujących konkretny napęd (np. wymaganych trybów pracy, czujników itp.) [8]. Oprogramowanie to generuje kod zgodny z normą PN-EN 61131-3, ponieważ praktycznie wszystkie

współcześnie produkowane sterowniki udostępniają możliwość programowania zgodnego lub zgodnego w znacznym zakresie z tą normą.

W artykule zaproponowano inne podejście do rozwiązania problemu różnorodności bazujące na blokach funkcjonalnych o dużym stopniu uniwersalności, do sterowania napędami technologicznymi. Uniwersalność tę uzyskano dzięki warstwowej strukturze oprogramowania oraz odpowiedniemu interfejsowi bloków funkcjonalnych. Interfejs ten pozwala łączyć je z innymi blokami obsługującymi specyficzne własności napędu lub osprzęt oraz blokami obsługującymi inne napędy w ciągu w celu uzyskania wymaganych uzależnień technologicznych. Autorzy opracowali dwa typy bloków funkcjonalnych do sterowania napędami. Mała ilość typów bloków funkcjonalnych wykorzystywanych w oprogramowaniu ułatwia testowanie oprogramowania oraz nie powoduje znaczącego powiększania się wielkości kodu programu sterowania, tak jak to ma miejsce w przypadku generowania nowego typu bloku dla każdego napędu na podstawie szablonu. Dodanie kolejnej instancji bloku funkcjonalnego danego typu dla kolejnego napędu powoduje alokację obszaru pamięci tylko dla danych bloku. Kod bloku nie jest powielany.

Podobne rozwiązanie można spotkać w systemach Siemens lub ABB. Przykładowo w pakiecie Control Builder F firmy ABB są dostępne bloki funkcjonalne IDF_1 i IDF_2 do sterowania napędami jedno- i dwukierunkowym. Dostarczone w pakiecie ekrany synoptyczne wskazują na obsługę napędów na podstawowym poziomie.

Przedstawiona idea oprogramowania została przez autorów zaimplementowana w środowisku programistycznym ISaGRAF [9, 10] dla sterowników o otwartej architekturze i z powodzeniem zastosowana do sterowania urządzeniami i ciągami technologicznymi w hutnictwie, przemyśle wapienniczym, cementowym i innym [10, 11, 12].

Warstwowy model systemów sterowania

Współczesne systemy sterowania przemysłowego są budowane według modelu warstwowego [9]. Wymieniając od najniższej, są to warstwy:

– sterowania bezpośredniego, w której można wyróżnić obwody zasilania energetycznego: stycznik(i) napędu, zabezpieczenia energetyczne, energoelektroniczne zasilacze napędu (np. falowniki), układy rozruchowe (np.

soft-starty lub rozruszniki silników pierścieniowych) oraz obwody sterownicze pozwalające na sterowanie ręczne wraz z niskopoziomowymi blokadami i zabezpieczeniami oraz obwodem bezpieczeństwa,

- sterowania pośredniego, w której za pomocą sterowników programowalnych realizowane są algorytmy sterowania, blokady i zabezpieczenia technologiczne i odpowiednie współdziałanie urządzeń,
- sterowania operatorskiego, nadzoru i monitorowania, w skład której wchodzi system SCADA wizualizacji i zdalnego sterowania procesem oraz archiwizacji stanu procesu. Z poziomu tej warstwy odbywa się ingerencja operatora w przebieg procesu.

- sterowania technologicznego, na poziomie której wypracowywane są wytyczne do prowadzenia procesu,
- zarządzania, gdzie prowadzona jest analiza ekonomiczna i opracowywane są wytyczne ekonomiczne do prowadzenia procesu.

Na poprawność pracy ciągu technologicznego, możliwości jego konfigurowania oraz bezpieczeństwo urządzeń i obsługi zasadniczy wpływ ma program sterujący w warstwie sterowania pośredniego.

W modelu warstwowym dana warstwa może komunikować się tylko z dwoma warstwami przylegającymi do niej. Tak więc dla programu sterującego danymi wejściowymi są:

- sygnały o stanie aparatów i urządzeń ciągu oraz parametry ich pracy przekazywane z warstwy sterowania bezpośredniego,
- sygnały sterujące z systemu SCADA (tryby sterowania, załącz/wyłącz, wartości zadane itp.) z warstwy sterowania operatorskiego najczęściej poprzez sieć informatyczną.

W wyniku realizacji algorytmu sterowania wypracowywane są dane wyjściowe:

- sygnały sterujące przekazywane do warstwy sterowania bezpośredniego,
- dane o stanie ciągu technologicznego do wizualizacji oraz archiwizacji w systemie SCADA przekazywane do warstwy sterowania operatorskiego.

Komunikacja sterownika z warstwą sterowania bezpośredniego odbywa się poprzez wejścia i wyjścia binarne i/lub analogowe oraz za pomocą obiektowych sieci informatycznych, a z warstwą sterowania operatorskiego najczęściej poprzez sieć informatyczną.

Warstwowa struktura oprogramowania sterującego

Oprogramowanie sterownika zostało opracowane zgodnie z modelem warstwowym [10, 13]. W oprogramowaniu można wyróżnić następujące warstwy:

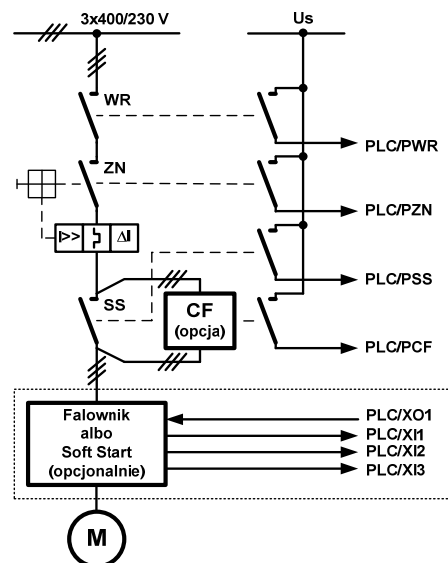
- warstwa bloków funkcjonalnych do obsługi aparatów elektrycznych i czujników: przekaźników (styczników), wyłączników, czujników symetrii zasilania, czujników ruchu, czujników wielkości analogowych itp.,
- warstwa bloków funkcjonalnych do obsługi napędów, które realizują wybór trybu pracy (sterowania) napędu, procedurę załączania/wyłączania napędu, generują alarmy związane z napędem i wypracowujące sygnały o stanie napędu dla systemu SCADA; w warstwie tej realizowane są także blokady technologiczne ciągu.
- warstwa bloków funkcjonalnych do obsługi grupy napędów lub ciągu technologicznego jako całości, realizująca procedury uruchamiania i zatrzymywania ciągu w automatycznym trybie pracy.
- warstwa bloków funkcjonalnych wypracowująca sygnały mające wpływ na pracę całości ciągu np. kontrola napięć sterowniczych, monitorowanie stanu wyłączników bezpieczeństwa całego ciągu itp.

Warstwowa architektura oprogramowania sterownika w sposób naturalny zapewnia uporządkowanie i przejrzystość

kodu programu, dzięki czemu ułatwia wprowadzanie modyfikacji, testowanie i uruchamianie oprogramowania.

Współpraca sterownika z obwodem zasilania napędu

Na rysunku 1 przedstawiono uproszczony schemat typowego obwodu zasilania napędu z silnikiem asynchronicznym klatkowym niskiego napięcia.



Rys. 1. Schemat typowego obwodu zasilania napędu

W obwodzie zasilania umieszczone są: wyłącznik (odłącznik) remontowy (WR), wyłącznik (ZN) wyzwalany zabezpieczeniami elektrycznymi napędu oraz stycznik manewrowy (SS), służący do bieżącego załączania i wyłączania napędu. Opcjonalnym elementem jest czujnik symetrii faz (CF) z kontrolą styków stycznika SS. Pozwala on wykryć niesymetrię zasilania niebezpieczną dla silników oraz diagnozować stan styków głównych stycznika.

Z obwodu zasilania do sterownika przesyłane są następujące sygnały potwierdzenia:

- załączenia wyłącznika remontowego (PLC/PWR),
- załączenia zabezpieczeń (PLC/PZN),
- załączenia stycznika głównego (PLC/PZ),
- symetrii zasilania (PLC/PCF), o ile jest zainstalowany czujnik.

Sygnały PLC/PWR, PLC/PZN i ewentualnie PLC/PCF informują o gotowości obwodu do załączenia stycznika głównego SS. Ze względu na oszczędność wejść sterownika czasem praktykuje się łączenie szeregowo styków generujących te sygnały i przekazanie do sterownika informacji zbiorczej. Wadą takiego rozwiązania jest brak możliwości wygenerowania przez sterownik informacji o przyczynie braku gotowości lub o miejscu awarii obwodu zasilania.

W zależności od trybu pracy stycznik SS jest sterowany poprzez obwód sterowniczy za pomocą przycisków sterowania lokalnego albo przez sterownik.

W napędach o regulowanej prędkości dodatkowo instaluje się przemiennik częstotliwości (rys.1). Przemiennik komunikuje się ze sterownikiem kilkoma sygnałami zależnymi od modelu przemiennika. Dla poprawnego działania bloku funkcjonalnego napędu do sterownika muszą być przesłane sygnały o gotowości przemiennika i awarii. Inne sygnały wejściowe mają charakter diagnostyczny. Sygnałem wyjściowym do przemiennika jest najczęściej sygnał zadanej prędkości napędu.

Współpraca sterownika z obwodem sterowniczym

Obwód sterowniczy jest obwodem, w którym zbiegają się 4 ścieżki oddziaływania na stan napędu [13]:

- załączania/wyłączania napędu przy sterowaniu w trybie lokalnym ze skrzynki sterowania lokalnego,
- załączania/wyłączania napędu przez sterownik w trybach zdalnym i automatycznym,
- wyłączenia napędu przez zabezpieczenia energetyczne,
- wyłączenia napędu przez obwód bezpieczeństwa.

Schemat przykładowego obwodu sterowniczego i obwodu bezpieczeństwa z dwoma wyłącznikami bezpieczeństwa dla jednego napędu technologicznego jest przedstawiony na rysunku 2, na którym zaznaczono sygnały przekazywane z i do sterownika (PLC/xxx)

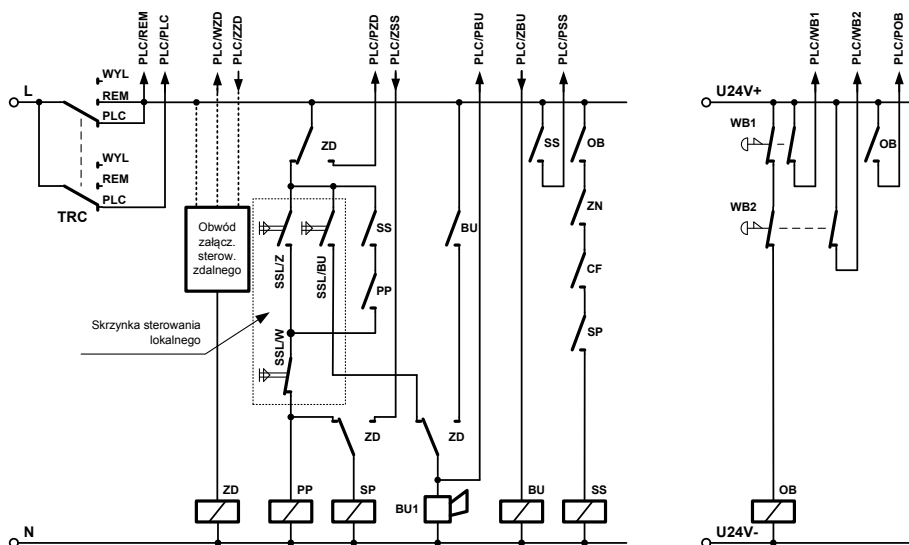
Przełącznik TRC służy wyborowi jednego z trzech trybów pracy całego ciągu (lub grupy napędów):

- wyłączonego (WYL), kiedy wyłączone są napięcia sterownicze,
- remontowego (REM), kiedy załączone są napięcia

sterownicze z możliwością sterowania lokalnego wszystkimi napędami,

- sterowania za pośrednictwem sterownika (PLC), kiedy napędy są sterowane zdalnie lub automatycznie przez sterownik. W trybie tym istnieje możliwość indywidualnego przełączenia każdego napędu do sterowania lokalnego.

Załączenie stycznika SS napędu odbywa się za pomocą przekaźnika pomocniczego SP pod warunkiem zamknięcia styków: przekaźnika obwodu bezpieczeństwa OB, potwierdzenia zabezpieczeń energetycznych ZN i symetrii zasilania CF. Wybór źródła sygnałów załączenia stycznika SS napędu i sygnalizacji przedrozruchowej BU zależy od stanu przekaźnika sterowania zdalnego SZD. W stanie wyłączonym tego przekaźnika odbywa się za pomocą przycisków sterowania lokalnego SSL/Z, SSL/W i SSL/BU, a w stanie załączonym – sygnałami PLC/ZSS i PLC/ZBU. Przełączenie do trybu lokalnego zawsze powoduje wyłączenie napędu z możliwością rozruchu w tym trybie.



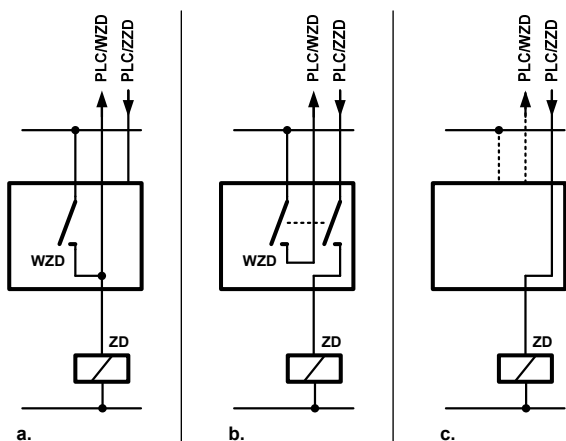
Rys. 2. Schemat przykładowego obwodu sterowniczego i obwodu bezpieczeństwa

Na rysunku 3 są przedstawione trzy przykładowe obwody załączania przekaźnika sterowania zdalnego SZD.

lokalnego, co w pewnych przypadkach może doprowadzić do niebezpiecznych stanów napędu lub ciągu.

Obwód drugi (rys. 3b) pozwala także bezwarunkowo przełączyć do trybu sterowania lokalnego za pomocą przełącznika WZD. Jeżeli przełącznik WZD jest załączony to tryb sterowania zdalny/lokalny jest przełączany przez sterownik za pomocą sygnału PLC/ZZD. Układ daje dużą elastyczność, ponieważ pozwala operatorowi procesu na przełączenie do sterowania lokalnego z poziomu systemu SCADA. Możliwe jest uzależnienie możliwości przełączenia z poziomu systemu SCADA od stanu napędu i/lub ciągu.

W trzecim przypadku (rys. 3c) sterowanie przekaźnika ZD odbywa się zawsze pod kontrolą sterownika napędu. Przełączanie sterowania lokalnego i zdalnego odbywa się tylko z poziomu systemu SCADA pod kontrolą sterownika.



Rys. 3. Obwody załączania przekaźnika sterowania zdalnego

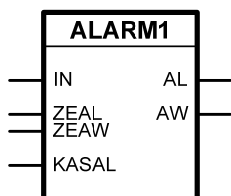
W pierwszym przypadku (rys. 3a) sterowanie przekaźnika ZD odbywa się za pomocą przełącznika WZD na panelu sterowania lokalnego. Do sterownika jest przysyłany sygnał o stanie tego przełącznika. Układ taki daje możliwość bezwarunkowego przełączenia do trybu

Pomocnicze blok funkcjonalne

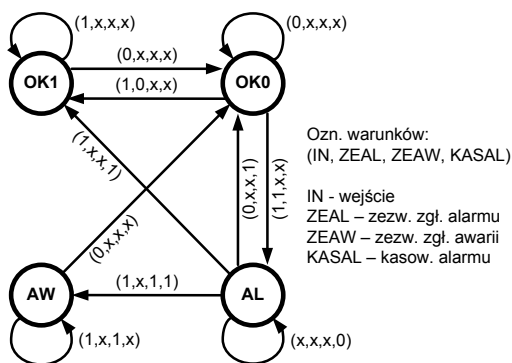
Bloki funkcjonalne sterowania napędem opisane w następnej części wymagają obsługi aparatów i urządzeń pomocniczych napędu. Do ich obsługi zdefiniowano kilka bloków wykorzystywanych w blokach sterowania napędem.

Blok funkcjonalny alarmu

Blok funkcjonalny alarmu ALARM1 jest uniwersalnym blokiem do wykrywania i zapamiętywania stanów alarmowych. Symbol bloku i graf przejść pomiędzy stanami są pokazane na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Symbol bloku funkcjonalnego alarmu ALARM1

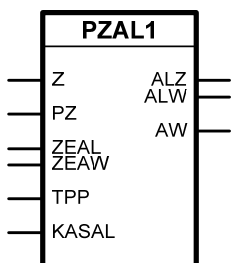


Rys. 5. Graf stanów bloku funkcjonalnego alarmu ALARM1

Alarm jest generowany na wyjściu AL przez narastające zboczne sygnał podanego na wejście IN, jeżeli zezwolenie alarmu jest aktywne (ZEAL=1). Stan alarmu jest pamiętany do chwili skasowania go sygnałem KASAL. Jeżeli aktywne jest zezwolenie awarii (ZEAW=1), to na wyjściu AW jest sygnalizowana awaria. Awaria ma miejsce wtedy, gdy po skasowaniu alarmu wejście IN jest nadal w stanie 1, co oznacza, że nie zanikła przyczyna zgłoszenia alarmu.

Bloki funkcjonalne do kontroli przekaźników i styczników

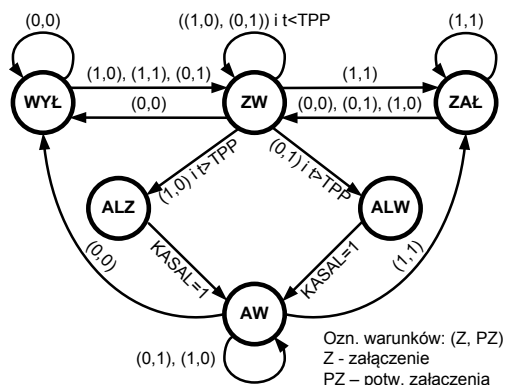
Symbol bloku funkcjonalnego do kontroli przekaźników i styczników PZAL1 jest przedstawiony na rysunku 6.



Rys. 6. Symbol bloku do kontroli przekaźników PZAL1

W bloku kontroli przekaźników (styczników) jest sprawdzana zgodność sygnału żądania załączenia przekaźnika (Z) z sygnałem potwierdzenia załączenia (PZ) pobieranym z jednego styku przekaźnika. Jeżeli zezwolenie alarmów jest aktywne (ZEAL=1) i niezgodność sygnałów Z i PZ trwa dłużej niż dozwolony czas TPP, to generowany jest alarm załączenia ALZ (jeśli Z=1 i PZ=0) albo alarm wyłączenia ALW (jeśli Z=0 i PZ=1). Jeżeli zezwolenie awarii jest aktywne (ZEAW=1) i po skasowaniu alarmy (KASAL=1) niezgodność sygnałów Z i PZ trwa nadal, to jest sygnalizowana awaria sygnałem AW.

Na rysunku 7 jest pokazany graf przejść pomiędzy stanami bloku PZAL1, gdy zezwolenia alarmu i awarii są aktywne (ZEAL=1 i ZEAW=1): WYŁ – stan wyłączenia, ZW – stan załączania lub wyłączania, ZAŁ – stan załączenia, ALZ, ALW – stan alarmów załączenia i wyłączenia, AW – stan awarii.



Rys. 7. Graf stanów bloku do kontroli przekaźników PZAL1

Dostępne są także dwa bardziej rozbudowane bloki funkcjonalne PZAL2 i PZAL3.

Blok PZAL2 umożliwia dokładniejszą diagnostykę przekaźników lub styczników. Ma on dwa parametry TPP1 i TPP2, które określają maksymalny czas niezgodności sygnałów Z i PZ. Czas TPP1 określa maksymalny czas niezgodności w wyniku żądania załączenia lub wyłączenia (w chwili zmiany sygnału Z), a TPP2 – czas niezgodności w stanie załączenia lub wyłączenia. Czas TPP2 przyjmuje się 2÷3 mniejszy od TPP1. Pozwala to wykrywać drgania styków przekaźników, które są najczęściej wynikiem uszkodzenia mechanicznego przekaźnika.

Blok PZAL3 jest przeznaczony do kontroli wyłączników średniego napięcia załączanych napędem elektrycznym lub pneumatycznym i wyłącznych za pomocą cewki wybijakowej. Wyłączniki takie mają wielokrotnie większy czas załączania od czasu wyłączenia. Blok PZAL3 ma zadawane niezależnie maksymalne czasy niezgodności sygnałów Z i PZ w chwili załączania i wyłączania TPPZ i TPPW oraz czas niezgodności sygnałów w stanie ustalonym TPP2.

Bloki funkcjonalne do kontroli innych aparatów i czujników

Do kontroli wyłączników remontowych, zabezpieczeń napędu, czujników symetrii zasilania, wyłączników bezpieczeństwa stosować można bloki alarmu ALARM1. Na wejścia IN bloku podaje się sygnały PCL/PWR, PCL/PZN, PCL/PCF, PCL/PWBx (rys. 2), a na wejścia zezwoleń sygnały o fazie rozruchu lub pracy napędu, aby alarmy nie były zgłaszane w czasie zatrzymania.

Napięcia sterownicze można także kontrolować za pomocą bloków ALARM1. Zgłaszanie alarmów zezwala się, gdy wybrany jest zdalny tryb pracy napędu.

Do kontroli ruchu napędu za pomocą czujników ruchu są stosowane bloki o podobnym działaniu jak bloki do kontroli przekaźników. Sprawdzają one zgodność sygnału załączenia napędu z sygnałem ruchu z czujnika z odpowiednio dobranym maksymalnym czasem ich niezgodności. Najczęściej za pomocą sygnału załączenia napędu zezwala się na testowanie sygnału ruchu napędu. Oznacza to, że ruch nie jest kontrolowany, gdy napęd jest wyłączony (np. nie kontroluje się czasu wybiegu).

Bloki funkcjonalne sterowania napędem

Bloki funkcjonalne napędu zapewniają kompleksową obsługę napędu technologicznego:

- monitorowanie i/lub przełączanie trybu pracy,
- monitorowanie aparatów i urządzeń współpracujących z napędem i zgłaszanie alarmów w przypadku nieprawidłowości,
- sterowanie rozruchem,
- kontrolowanie obwodu bezpieczeństwa,

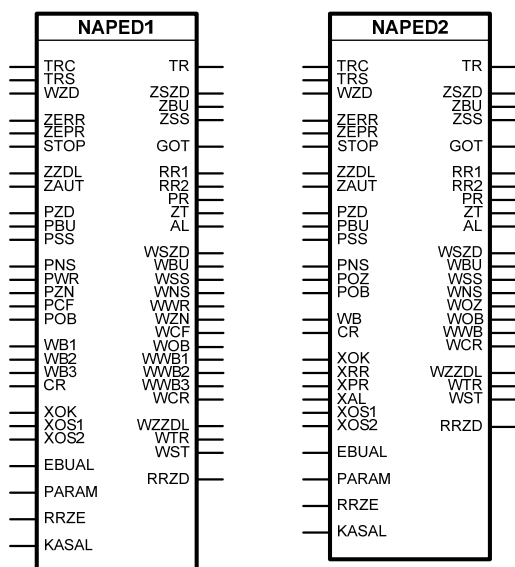
- możliwość realizacji blokad technologicznych w ciągach,
- możliwość blokowania jednoczesnego rozruchu wielu napędów

Do sterowania napędami opracowano dwa bloki funkcjonalne, których symbole przedstawiono na rysunku 8.

Blok NAPED1 jest blokiem z uproszczonym interfejsem pozwalającym na współpracę z blokami do obsługi prostych urządzeń współpracujących z napędem jak np. czujniki temperatury. Ma on wejścia dla wszystkich sygnałów potwierdzeń z obwodu zasilania i może współpracować z trzema wyłącznikami bezpieczeństwa. Jest on wykorzystywany do sterowania większością typowych napędów bez konieczności dodatkowych bloków.

Blok NAPED2 jest wyposażony w pełny interfejs pozwalający na współpracę z blokami funkcjonalnymi do obsługi dodatkowych urządzeń takich jak falowniki w torze zasilania napędu, rozruszniki silników, układy przełączania prędkości itp. Zewnętrznej obsługi wymagają tutaj sygnały potwierdzeń z obwodu zasilania napędu (w bloku jest jedno wejście zbiorcze) i z obwodu bezpieczeństwa, jeśli jest zainstalowane więcej niż jeden wyłącznik bezpieczeństwa.

Przy projektowaniu bloków napędu przyjęto założenie, że cały stan napędu jest pamiętany w sterowniku, a wszystkie sygnały sterujące z systemu SCADA mają charakter impulsowy. Takie rozwiązanie zapobiega zmianom stanu napędu w przypadku przerw w komunikacji między sterownikiem i systemem SCADA.



Rys. 8. Symbole bloków funkcjonalnych sterowania napędem

Poniżej zestawiono wejścia bloków funkcjonalnych NAPED1 i NAPED2 ze wskazaniem sygnałów pobieranych z obwodów zasilania i sterowniczego.

– TRC, TRS, WZD – wybór trybu pracy. Na wejście TRC jest podawany sygnał 0, 1, 2 wypracowywany na bazie sygnałów PLC/REM i PLC/PLC (rys. 2). Do wejścia TRS jest dostarczany sygnał z systemu SCADA o wyborze trybu automatycznego, zdalnego lub lokalnego wypracowany na podstawie sygnałów Aut, Zdl, Lok (rys. 9, 10 i 11). Wejście WZD jest skojarzone z sygnałem PLC/WZD i jest wykorzystywane w obwodach z możliwością lokalnego przełączania do trybu lokalnego (rys. 3a, b).

– ZERR, ZEPR – zezwolenie rozruchu i zezwolenie pracy. Zezwolenie rozruchu umożliwia rozpoczęcie sekwencji rozruchu; później jest nieistotne. Zezwolenie pracy musi być równe „1” (aktywne) przez cały czas rozruchu i pracy. Zanik zezwolenia pracy powoduje wyłączenie napędu, przy czym

ponowne pojawienie się zezwolenia uruchamia napęd bez konieczności ingerencji operatora. Wejście zezwolenia pracy służy do realizacji blokad technologicznych.

– STOP – zatrzymanie napędu, przy czym ponowne załączenie wymaga reakcji operatora. Z tym wejściem jest najczęściej skojarzona wewnętrzna zmienna w programie sterowania.

– ZZDL, ZAUT – wejścia żądania załączenia w trybie zdalnym i automatycznym. Sygnał na wejście ZZDL jest pobierany z systemu SCADA, a ZAUT jest skojarzony ze zmienną programu sterowania wypracowywaną przez warstwę sterowania automatycznego.

– PZD, PBU, PSS – potwierdzenie załączenia przekaźników trybu zdalnego, sygnalizacji przedrozruchowej i stycznika silnika. Na wejścia te są doprowadzone sygnały PLC/PZD, PLC/PBU i PLC/PSS z obwodu sterowniczego (rys. 2).

– PNS – potwierdzenie napięcia sterowniczego pobierany z bloku kontroli napięć sterowniczych.

– PWR, PZN, PCF lub POZ – potwierdzenie załączenia wyłącznika remontowego, zabezpieczeń napędu i czujnika faz (blok NAPED1) lub zbiorcze wejście potwierdzenia obwodu zasilania (blok NAPED2). Dla bloku NAPED1 wykorzystuje się bezpośrednio sygnały PLC/PWR, PLC/PZN i PLC/PCF z obwodu zasilania (rys. 1). Na wejście POZ podaje się zbiorczy sygnał wypracowany programowo na podstawie dostępnych sygnałów potwierdzeń z obwodu zasilania.

– POB – potwierdzenie przekaźnika obwodu bezpieczeństwa pobierane z obwodu bezpieczeństwa (sygnał PLC/POB na rysunku 2).

– WB1, WB2, WB3 lub WB – potwierdzenie załączenia wyłączników bezpieczeństwa (blok NAPED1) lub zbiorcze potwierdzenie wyłączników bezpieczeństwa (blok NAPED2). W przykładowym obwodzie bezpieczeństwa z dwoma wyłącznikami (rys. 2) są to sygnały PLC/WB1, PLC/WB2. W przypadku bloku NAPED2 na wejście WB jest podawany sygnał zbiorczy wypracowywany programowo.

– CR – potwierdzenie ruchu napędu z czujnika ruchu napędu.

– XOK – potwierdzenie poprawności działania urządzenia dodatkowego lub poprawnego stanu z innych czujników napędu (np. temperatury). Zaniknięcie potwierdzenia (sygnał równy „0”) na tym wejściu w fazie rozruchu lub pracy powoduje zgłoszenie alarmu. Na wejście to jest podawany sygnał wypracowywany programowo.

– XRR, XPR, XAL – wejścia stanu rozruchu, pracy i alarmu dodatkowych urządzeń związanych z napędem (rozruszniki, falowniki itp.) (blok NAPED2). Sygnały podawane na te wejścia są wypracowywane przez dodatkowe, dedykowane bloki funkcjonalne obsługujące te urządzenia.

– XOS1, XOS2 – wejścia sygnałów ostrzeżeń 1-go i 2-go stopnia. Ostrzeżenia nie wyłączają napędu, ale ich stan jest pokazywany na ekranie synoptycznym. Ostrzeżenie 2-go stopnia uniemożliwia załączenie napędu. Na wejścia te podaje się najczęściej sygnały przekroczenia progów ostrzeżeń przez temperaturę urządzenia.

– EBUAL – wejście alarmu z instalacji zbiorczej sygnalizacji przedrozruchowej. Pojawienie się tego sygnału w fazie załączenia sygnalizacji przedrozruchowej przerywa rozruch. Sygnał ten jest wypracowywany przez blok obsługi zbiorczej sygnalizacji przedrozruchowej.

– PARAM – parametry czasowe bloku. Z wejściem tym jest kojarzona struktura, której składowe zawierają parametry napędu definiowane jako stałe w programie lub pobierane z systemu SCADA.

– RRZE – zezwolenie rozruchu z nadrzędnej warstwy oprogramowania sterowania ciągami.

– KASAL – kasowanie alarmu pobierane najczęściej z systemu SCADA.

Zanik dowolnego potwierdzenia w fazie rozruchu lub pracy napędu powoduje wygenerowanie odpowiedniego alarmu.

Bloki NAPED1 i NAPED2 generują następujące sygnały wyjściowe:

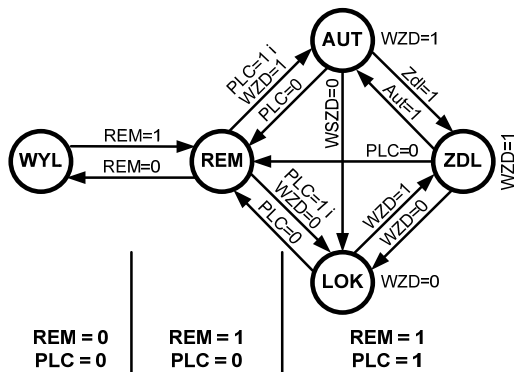
- TR – aktualny tryb pracy. Wyjście to jest skojarzone ze zmienną wykorzystywaną w programie sterowania.
- ZSZD, ZBU, ZSS – załączenie przekaźnika sterowania zdalnego, sygnalizacji przedrozruchowej, stycznika napędu. Wyjścia te są skojarzone z wejściami obwodu sterowniczego PLC/ZSD, PLC/ZBU i PLC/ZSS (rys. 2).
- GOT – gotowość napędu. Wyjście to jest skojarzone ze zmienną wykorzystywaną w programie sterowania.
- RR1, RR2, PR, ZT, AL. – stan napędu: rozruch faza 1 i 2, praca, zatrzymywanie, alarm. Wyjścia to są skojarzone ze zmiennymi wykorzystywanymi w programie sterowania.
- WSZD, WBU, ..., WCR – status aparatów i osprzętu pomocniczego przekazywany do wizualizacji i archiwizacji w systemie SCADA.
- WZZDL – status załączenia zdalnego do systemu SCADA,
- WTR, WST – tryb i stan pracy do wizualizacji i archiwizacji w systemie SCADA,
- WST – stan pracy do systemu SCADA,
- RRZD – żądanie rozruchu skojarzone ze zmienną używaną w nadrzędnej warstwie oprogramowania sterowania ciągiem.

Tryby pracy

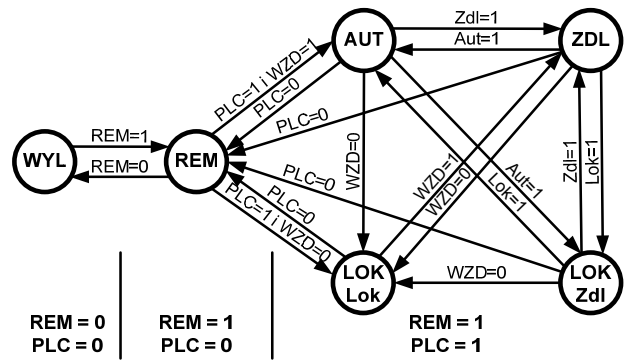
Bloki funkcjonalne NAPED1 i NAPED2, w zależności od konfiguracji, obsługują trzy warianty załączenia przekaźnika sterowania zdalnego (rys. 3). Na rysunkach 9, 10 i 11 przedstawiono grafy przejść pomiędzy trybami pracy dla poszczególnych wariantów. Przelączeniem trybów sterują sygnały wprowadzane na wejścia TRC, TRS i WZD bloku napędu. Na wejście TRC są wprowadzone sygnały o stanie przelącznika TRC (rys. 2 - sygnały PLC/REM, PLC/PLC), na wejście TRS sygnały z systemu SCADA (sygnały Aut, Zdl, Lok wysyłane jako żądania operatora), a na wejście WZD – stan przelącznika sterowania zdalnego WZD.

Blok funkcjonalny napędu pozwala na pracę napędu w następujących trybach:

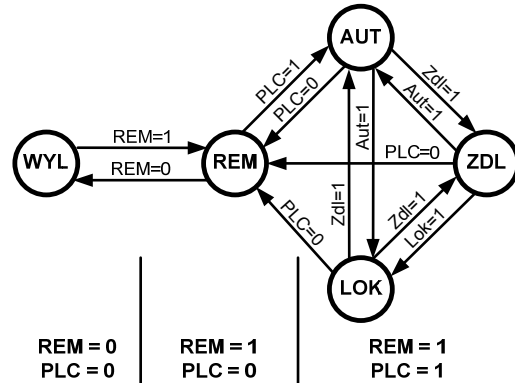
- Wyłączony (REM=0, PLC=0), kiedy wyłączone są napięcia sterownicze.
- Remontowy (REM=1, PLC=0), gdy załączone są napięcia sterownicze z możliwością sterowania lokalnego napędów. Alarmy nie są zgłaszane.



Rys. 9. Graf przejść między trybami pracy z lokalnym załączeniem przekaźnika sterowania zdalnego



Rys. 10. Graf przejść między trybami pracy z lokalnym i zdalnym załączeniem przekaźnika sterowania zdalnego



Rys. 11. Graf przejść między trybami pracy ze zdalnym załączeniem przekaźnika sterowania zdalnego

- Automacyjny (REM=1, PLC=1) oraz,
- Zdalny (REM=1, PLC=1), w którym kontrolę na napędem ma sterownik. Sygnał żądania załączenia napędu jest pobierany z wejścia ZAUT lub ZZDL oraz aktywne są wszystkie blokady technologiczne i alarmy. Dwa wejścia sterowania załączeniem umożliwiają załączenie automatyczne (kiedy sygnał załączenia jest wypracowywany w sterowniku w warstwie oprogramowania sterującej pracą całego ciągu) lub zdalne (kiedy sygnał załączenia jest generowany przez operatora za pomocą systemu SCADA). Przelączenie pomiędzy tymi trybami odbywa się na żądanie operatora (sygnały Aut i Zdl).
- Lokalny (REM=1, PLC=1), w którym dany napęd jest przelączony do sterowania lokalnego, podczas gdy całość ciągu jest sterowana przez sterownik. W zależności od konfiguracji obwodu sterowniczego przelączenie odbywa się lokalnie za pomocą przelącznika WZD i/lub zdalnie z systemu SCADA (sygnał Lok). W trybie lokalnym są wyłączone alarmy i blokady technologiczne.

Załączenie i wyłączenie napędu

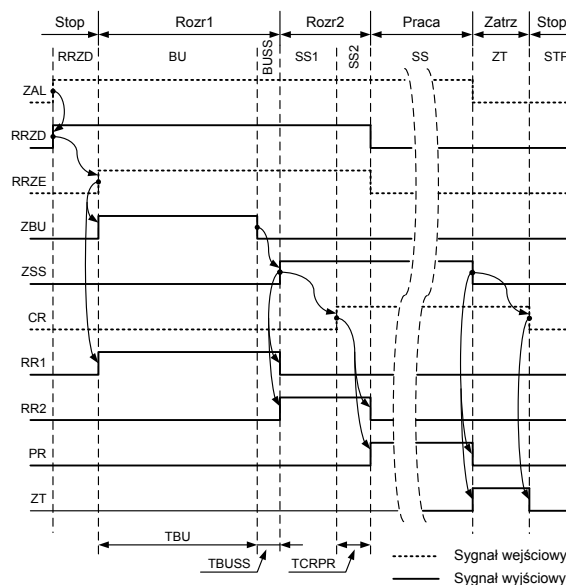
Na rysunku 12 są przedstawione przebiegi czasowe sygnałów wejściowych i wyjściowych bloku funkcjonalnego napędu w fazie rozruchu napędu, pracy i jego zatrzymania, przy założeniu spełnienia następujących warunków: napęd jest w stanie gotowości (GOT=1), jest zezwolenie pracy (ZEPR=1) i rozruchu (ZERR=1), nie ma żądania STOP (STOP=0) i nie wystąpił żaden alarm. Oznaczenia stanów napędu (RRZD, BU, BUSS itd.) są zgodne z grafem przedstawionym na rysunku 13.

Procedura uruchomienia napędu w trybach zdalnym lub automatycznym rozpoczyna się po pojawieniu sygnału załączenia na wejściu ZZDL lub ZAUT (rys. 12 – ZAL=1) w zależności od trybu.

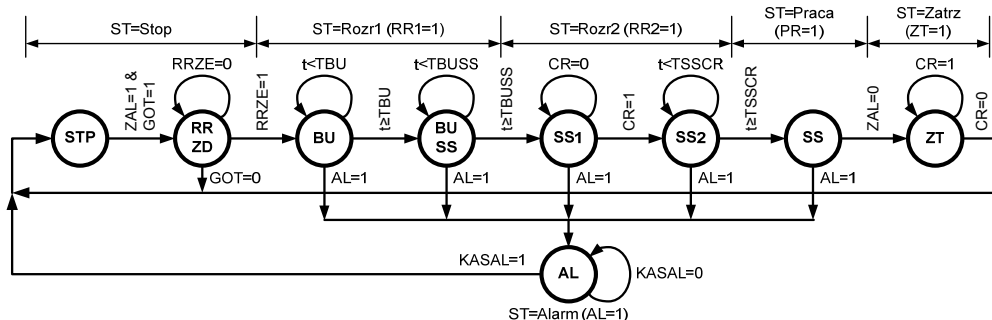
Blok napędu zgłasza żądanie rozruchu (RRZD=1) do nadrzędnej warstwy oprogramowania w sterowniku. Rozstrzygnięta jest tam kolejność załączeń napędów, które jednocześnie zgłaszają żądanie rozruchu i mają zezwolenia technologiczne (np. nie są uzależnione technologicznie przepływem materiału).

Po uzyskaniu zezwolenia (RRZE=1) załączana jest sygnalizacja przedrozruchowa (ZBU=1) na czas TBU i napęd przechodzi do stanu Rozr1 (RR1=1). Po zakończeniu działania sygnalizacji i odmierzeniu dodatkowego czasu TBUSS załączany jest stycznik napędu (ZSS=1). Napęd znajduje się w drugiej fazie rozruchu Rozr2 (RR2=1). Po pojawieniu się sygnału z czujnika ruchu (CR=1) i odczekaniu dodatkowego czasu TCRPR, rozruch zostaje zakończony i napęd przechodzi w stan Praca (PR=1). Zerowany jest jednocześnie sygnał żądania rozruchu (RRZD=0).

Normalne wyłączenie napędu następuje po podaniu odpowiedniego sygnału na wejście ZZDL lub ZAUT (ZAL=0), który powoduje wyłączenie stycznika napędu (ZSS=0). Do momentu, kiedy wykrywany jest ruch (CR=1) napęd znajduje się w fazie zatrzymywania (ZT=1). Następnie przechodzi w stan Stop.



Rys. 12. Przebiegi czasowe w fazie rozruchu, pracy i zatrzymania napędu



Rys. 13. Graf stanów napędu

Jeżeli w fazie rozruchu RR1 lub RR2 lub pracy PR wystąpi alarm (rys. 13), napęd jest wyłączany (ZSS=0) i przechodzi w stan alarmu (AL.). Po skasowaniu alarmu napęd przechodzi w stan stopu (STP). Jeżeli ustąpi przyczyna wystąpienia alarmu, to zostanie spełniony warunek gotowości (GOT=1) i napęd może być załączony ponownie.

Współpraca bloku napędu z dodatkowymi urządzeniami

Blok funkcjonalny NAPED2 posiada wejścia XOK, XRR, XPR, XAL, umożliwiające współpracę z urządzeniami wymagającymi oddzielnego bloku funkcjonalnego do sterowania.

Wykorzystanie tych wejść dobrze ilustruje sposób połączenia z rozrusznikiem silnika pierścieniowego. Na wejście zezwolenia rozruchu (ZERR) należy podać sygnał informujący o włączonych wszystkich sekcjach rozrusznika (w przypadku ręcznie sterowanego rozrusznika wodnego jest to sygnał z odpowiedniego wyłącznika krańcowego rozrusznika). Dodatkowy blok funkcjonalny musi wypracować sygnał pracy XPR na podstawie sygnału potwierdzenia o zwartych pierścieniach silnika (w rozruszniku ręcznym jest to sygnał z drugiego wyłącznika krańcowego). Sygnał rozruchu XRR można wyznaczyć jako stan od załączenia stycznika napędu (wyjście ZSS) do chwili pojawienia się sygnału pracy z rozrusznika. Sygnał alarmu XAL można przykładowo generować jako skutek

zaniku sygnału potwierdzenia o zwartych pierścieniach w czasie pracy napędu lub zbyt długo trwającej fazie rozruchu. Sygnał XOK informuje o braku alarmu i gotowości urządzenia.

W przypadku współpracy z falownikiem sygnały podawane na wejścia ZERR, XOK, XRR, XPR i XAL są przeważnie dostępne bezpośrednio ze sterownika falownika lub po przekształceniu za pomocą prostych funkcji logicznych.

Podsumowanie

W odróżnieniu od innych rozwiązań, zastosowanie opracowanych uniwersalnych bloków funkcjonalnych opartych warstwowym modelu oprogramowania, wyposażonych w interfejs z wejściami rozszerzającymi funkcjonalność, zakodowanych zgodnie z normą PN-EN 61131-3, daje bardziej elastyczne a zarazem jednorodne narzędzie pozwalające na uzyskanie spójnych programów.

Przedstawiona w artykule koncepcja, która została opracowana między innymi dzięki wieloletniemu przemysłowemu doświadczeniu autorów, pozwala na wykorzystanie dwóch typów uniwersalnych bloków funkcjonalnych do sterowania i kontroli pracy wielu różnych napędów technologicznych spotykanych w przemyśle. Uniwersalność bloków funkcjonalnych uzyskano dzięki:

- warstwowemu modelowi oprogramowania, w którym najniższą warstwę stanowią bloki funkcjonalne obsługujące

aparaty elektryczne i czujniki warstwy obiektowej napędu (styczniki, przekaźniki, wyłączniki, czujniki ruchu itp.). Kolejną, wyższą warstwę oprogramowania stanowi jeden z dwóch zaproponowanych bloków napędu, które zapewniają współpracę wszystkich aparatów pomocniczych napędu, przełączają tryb pracy, kontrolują r ozruch itp. Najwyższą warstwę oprogramowania sterowników stanowi warstwa sterująca ciągiem jako całością (elementy tej warstwy nie są przedmiotem niniejszego artykułu),

– zaimplementowaniu w bloku funkcjonalnym napędu obsługi typowych aparatów i czujników warstwy obiektowej, w które wyposażony jest prawie każdy napęd technologiczny,

– wyposażeniu bloku funkcjonalnego napędu w interfejs wejściowy pozwalający na wymianę informacji pomiędzy blokami funkcjonalnymi obsługującymi rzadziej występujące urządzenia pomocnicze jak na przykład falowniki w przypadku napędów o regulowanej prędkości, rozruszniki silników pierścieniowych lub układy łagodnego startu (tzw. soft starty),

– zakodowaniu wszystkich bloków w językach zgodnych z normą PN-EN 61131-3.

Oprogramowanie bazujące na opisanych blokach zostało zaimplementowane w środowisku ISaGRAF, które pozwala programować sterowniki o architekturze otwartej. Uniwersalne bloki funkcjonalne stanowią bazę oprogramowania sterującego wdrożonego w hutnictwie, przemyśle cementowym, wapienniczym i innym [10,11,12]. Oprogramowanie to steruje ciągami zawierającymi od kilkunastu do ponad pięćdziesięciu napędów. Wykorzystanie dwóch typów uniwersalnych bloków funkcjonalnych do sterowania kilkudziesięcioma różnymi napędami potwierdziło słuszność przyjętych założeń: łatwość dodawania kolejnych napędów do aplikacji sterowania i niewielki wzrost wielkości kodu po dodaniu kolejnego napędu. Dla aplikacji sterowania obsługującej 26 napędów i ponad 30 innych urządzeń (zawory dwustanowe, kierownice materiału itp.) dodanie kolejnego bloku funkcjonalnego napędu wraz z kodem obsługującym uzależnienia technologiczne dodanego napędu powoduje zwiększenie kodu o 2-5 kB w stosunku do 300 kB.

LITERATURA

- [1] Velagic J., Kaknjo A., Osmic N., Džananović T., Networked based control and supervision of induction motor using OPC server and PLC, *Proceedings of ELMAR Conference*, IEEE Conference Publications 2011, 251-255
- [2] Al-Ali A.R., Negm M.M., Kassas M., A PLC based power factor controller for a 3-phase induction motor, *Conference Record of*

- the 2000 IEEE Industry Applications Conference*, IEEE Conference Publications 2000, vol. 2, 1065-1072
- [3] Yilmaz S., Cakir B., Gedik A., Dincer H., Speed control of a conveyor system by means of fuzzy control aided PLC, *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics ISIE '99*, 1999, vol. 3, 1328-1332
- [4] Rajeswari V., Suresh L.P., Rajeshwari Y., Water storage and distribution system for pharmaceuticals using PLC and SCADA, *International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, IEEE Conference Publications 2013, 79-86
- [5] Jidai Wang, Aiqin Sun, Dongyue Zhang, Yali Xue, Implementation of network control systems for improvement of traditional dyeing processes, *2012 UKACC International Conference on Control*, IEEE Conference Publications 2012, 830-833
- [6] Norma PN-EN 61131-3:2004, Sterowniki programowalne - część 3: Języki programowania, PKN, Warszawa 2004
- [7] Kasprzyk J., Programowanie sterowników przemysłowych, WNT, Warszawa, 2006
- [8] Danilevicius G., Ezerkis D., Kaunas L.B., Data structures and interfaces for automated PLC applications development process, *IEEE 6th Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*, IEEE Conference Publications 2011, 546-549
- [9] Werewka J., Systemy rozproszone sterowania i akwizycji danych, Sterowniki programowalne i magistrale miejscowe, CCATIE, Kraków, 1998
- [10] Mikoś Z., Wróbel G., Hayduk G., Kwasnowski P., Jachimski M., Zygmunt H., Środowisko ISaGRAF do tworzenia rozproszonych aplikacji sterowania i regulacji, *Systemy czasu rzeczywistego – postępy badań i zastosowania*, WKiŁ, Warszawa 2009, 43-62
- [11] Mikoś Z., Wróbel G., Hayduk G., Zygmunt H., Kwasnowski P., Jachimski M., Using ISaGRAF environment for stone-crushing line control, *Proceedings of 6th International Carpathian Control Conference*, Miskolc-Lillafred, 2005, 311-316
- [12] Mikoś Z., Wróbel G., Hayduk G., Jachimski M., Kwasnowski P., Zygmunt H., Control system of dosing installation for lime hydration process, *Proceedings of 7th International Carpathian Control Conference*, Rožnov p. R., 2006, 373-376
- [13] Mikoś Z., Jachimski M., Zygmunt H., Wróbel G., Hayduk G., Kwasnowski P., Wpływ wybranych struktur obwodów sterowniczych napędu technologicznego na funkcjonalność systemu sterowania, *Projektowanie, analiza i implementacja systemów czasu rzeczywistego*, WKiŁ, Warszawa 2011, 163-176

Autorzy: dr inż. Zbigniew Mikoś, dr inż. Marcin Jachimski, dr inż. Grzegorz Wróbel, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: mikos@agh.edu.pl, jachim@agh.edu.pl, wrobel@agh.edu.pl.