

Innowacyjny system sterowania KOGASTER

Jerzy Jura, Sławomir Bartoszek, Jerzy Jagoda, Dariusz Jasiulek, Krzysztof Stankiewicz, Łukasz Krzak

1. Wstęp

Specyficzne warunki pracy maszyn górniczych, związane szczególnie ze środowiskiem zagrożonym wybuchem metanu i pyłu węglowego, narzucają projektantom spełnienie szeregu wymagań określonych w normach. Zapewnienie bezpieczeństwa w wyrobiskach górniczych wymaga stosowania budowy przeciwybuchowej od instalacji elektrycznych i układów sterowania. Realizowane jest to poprzez umieszczenie układów elektrycznych i sterowania w obudowach ognioszczelnych i/lub wykonanie ich w technologii iskrobezpiecznej.

Stosowanie systemów sterowania zabudowanych w skrzyniach ognioszczelnych jest uzasadnione w przypadku, gdy sterowane są układy napędowe dużej mocy. Przykładowo falownik zasilający silnik elektryczny musi być zabudowany w skrzyni ognioszczelnej. Natomiast czujniki, przetworniki pomiarowe czy interfejs człowiek – maszyna, takie jak terminale, przyciski, lampki czy manipulatory nie muszą być zabudowywane w skrzyniach ognioszczelnych. Prezentowany system sterowania rozproszonego KOGASTER pozwala na budowę iskrobezpiecznych układów sterowania. Charakterystycznymi cechami systemu sterowania KOGASTER są:

- struktura rozproszona [1];
- iskrobezpieczna magistrała CAN [2];
- budowa iskrobezpieczna wykorzystana w konstrukcji poszczególnych modułów [3].

Spełnienie powyższych wymagań pozwoliło na utworzenie innowacyjnego systemu sterowania maszyn górniczych KOGASTER.

System sterowania KOGASTER łączy zalety układów z obwodami iskrobezpiecznymi oraz umożliwia połączenie z układami sterowania napędów maszyn górniczych zabudowanych w skrzyniach ognioszczelnych.

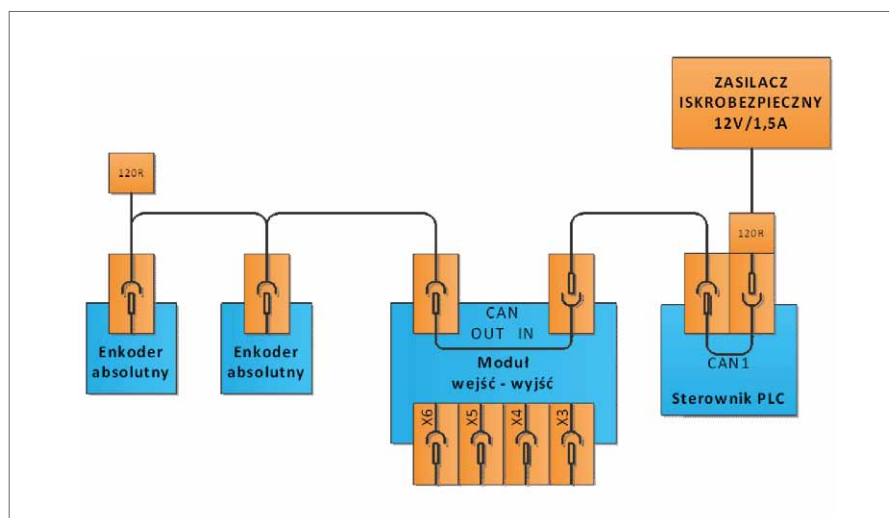
2. Struktura rozproszonego układu sterowania

System sterowania KOGASTER jest rozproszonym układem sterowania. System składa się z modułu sterownika, wejść – wyjść oraz przetworników pomiarowych i elementów wykonawczych. Do łączenia modułów układu sterowania wykorzystywana jest cyfrowa magistrała danych CAN [2]. Podstawowa konfiguracja składa się z czujników i przetworników wraz z modułem wejść – wyjść i sterownika PLC. Układ zasilany jest z jednego zasilacza iskrobezpiecznego. Nie są stosowane w tym przypadku bufor i separatory sygnałów wejściowych i wyjściowych między obwodami iskrobezpiecznymi a nieiskrobezpiecznymi modułami sterownika. Schemat blokowy przykładowego układu sterowania przedstawiono na rys. 1.

Wprowadzenie odrębnego układu zasilania elementów wykonawczych (np. rozdzielaczy hydraulicznych), podłączonych do obwodów iskrobezpiecznych, wymusza stosowanie w module wejść – wyjść izolacji galwanicznej zapewniającej spełnienie odpowiednich wymagań

Streszczenie: W ITG KOMAG prowadzone są prace rozwojowe oraz wdrożeniowe, dotyczące układu sterowania rozproszonego w maszynach górniczych. Układ bazuje na magistrali CAN, wykonanej jako obwód iskrobezpieczny. Zastosowanie struktury rozproszonej oraz iskrobezpiecznej magistrali CAN posiada szereg zalet, takich jak elastyczność i możliwość rozbudowy (układy otwarte). W artykule przedstawiono moduły oraz przykładowe połączenia z iskrobezpiecznymi czujnikami i przetwornikami. Omówiono konfiguracje układów sterowania z redundancją magistrali CAN w odniesieniu do maszyn górniczych o podwyższonej niezawodności.

w odniesieniu do układu zasilania modułu i magistrali CAN oraz rozdzielaczy (rys. 2). Kolorami żółtym i pomarańczowym oznaczono strefy zasilania odrębnymi obwodami iskrobezpiecznymi. Wdzielono trzy strefy:



Rys. 1. Schemat blokowy sterowania rozproszonego z wykorzystaniem pojedynczej magistrali CAN

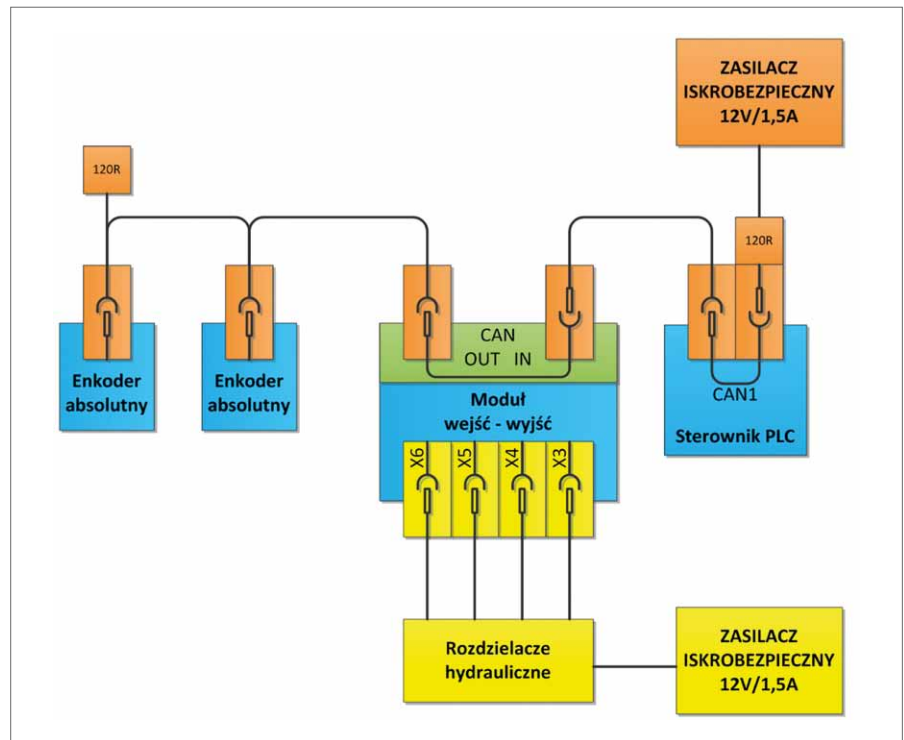
- wyjścia, w postaci niespolaryzowanych styków przekaźników;
- interfejs cyfrowej magistrali CAN – wprowadzenie separacji galwanicznej pozwala na wykorzystanie sygnałów magistrali w różnych obwodach iskrobezpiecznych oraz na zmniejszenie zakłóceń indukowanych w innych obwodach;
- zasilanie procesora wraz z przetwornikiem analogowo-cyfrowym oraz wejściami dwustanowymi. Ta strefa połączona jest galwanicznie z zasilaniem modułu.

Takie rozwiązanie wymaga zasilania przetworników i czujników z tego samego zasilacza iskrobezpiecznego co moduł wejść – wyjść. Oferowane na rynku przetworniki i czujniki spełniają ten wymóg.

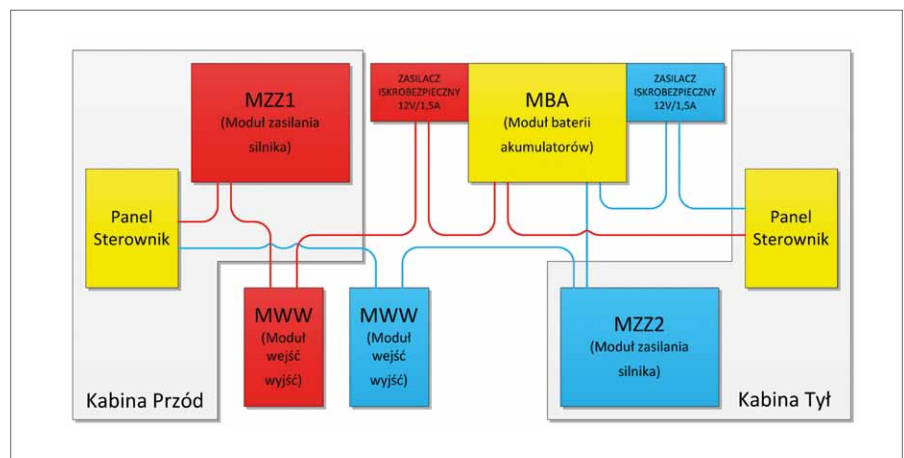
Zwiększenie niezawodności w układach rozproszonych odbywa się poprzez redundancję magistrali CAN oraz dublowanie modułów i przetworników. Ze względu na koszty stosowanie takich rozwiązań jest uzasadnione w maszynach, od których wymagane jest wysokie bezpieczeństwo i niezależność działania. Redundancja układu sterowania podnosi co prawda koszty jednostkowe, ale pozwala na obniżenie kosztów wynikających z przestojów, związanych z ewentualną awarią. Przykładem takiego rozwiązania jest lokomotywa akumulatorowa wyposażona w dwa niezależne panele-sterowniki oraz dwa niezależne napędy. Schemat blokowy struktury układu sterowania rozproszonego z redundancją przedstawiono na rys. 3.

Kolorem czerwonym i niebieskim oznaczono redundantne obwody iskrobezpieczne. Kolorem żółtym oznaczono elementy, których konstrukcja powinna być wykonana w taki sposób, aby zapewnić redundancję sterowania. Najważniejszym elementem redundantnego układu sterowania jest panel-sterownik PLC, który pełni jednocześnie funkcje panelu i sterownika. Jest on wyposażony w dwa interfejsy iskrobezpieczne CAN, zapewniające izolację galwaniczną, oraz umożliwia zasilanie z dwóch niezależnych zasilaczy iskrobezpiecznych.

Porównując przedstawione powyżej konfiguracje rozproszonych układów sterowania, należy stwierdzić, że można stosować sterowanie z redundancją, nie



Rys. 2. Schemat blokowy sterowania rozproszonego z wykorzystaniem pojedynczej magistrali CAN i dwóch różnych obwodów iskrobezpiecznych



Rys. 3. Schemat blokowy sterowania rozproszonego z redundancją

podnosząc znacząco kosztów układu sterowania. Układ sterowania z redundancją zwiększa liczbę stanów awaryjnych, przy których maszyna może bezpiecznie funkcjonować. Daje to możliwość ograniczenia strat wynikających z przestojów spowodowanych awariami. Naprawę można przesunąć do bardziej dogodnego momentu, a niektóre funkcje sterowania zostają zachowane pomimo awarii jednego z elementów sterowania.

3. Panel operatorski PO-1 i kasetka sterująca KS-1

Panel operatorki PO-1 wdrożony do produkcji w firmie P.H.U. Gabrypol Sp. z R. Juszczak jest podstawowym modulem systemu sterowania KOGASTER. Panel przewidziany jest do pełnienia zarówno funkcji interfejsu człowiek – maszyna jak i sterownika rozproszonego układu sterowania z redundantną magistralą komunikacji CAN.

Jest to zespół automatyki przemysłowej przystosowany do działania w warunkach zagrożenia wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Panel operatorski składa się z kolorowego wyświetlacza LCD o rozdzielczości 800 × 480, wejść i wyjść dwustanowych, wejść analogowych oraz cyfrowych interfejsów, takich jak CAN, Ethernet czy USB. Interfejs Ethernet może być wykonany w dwóch wersjach: przewodowym „LAN” oraz światłowodowym „OPTO”. Ponadto panel przystosowany jest do tworzenia redundantnych układów sterowania z wykorzystaniem magistrali CAN. Realizowane jest to poprzez dwa niezależne izolowane galwanicznie interfejsy CAN. Redundancja obejmuje również układ zasilania. Panel może być zasilany z dwóch niezależnych zasilaczy iskrobezpiecznych.

W typowej konfiguracji, w układzie sterowania maszyny, panel połączony jest z kasetą sterującą KS-1, rys. 4. Kaseca wyposażona jest w przyciski, lampki sygnalizacyjne oraz wyłącznik awaryjny. W zależności od implementacji można zastosować różną liczbę i różny typ przełączników oraz lampek LED w kasecie sterującej.

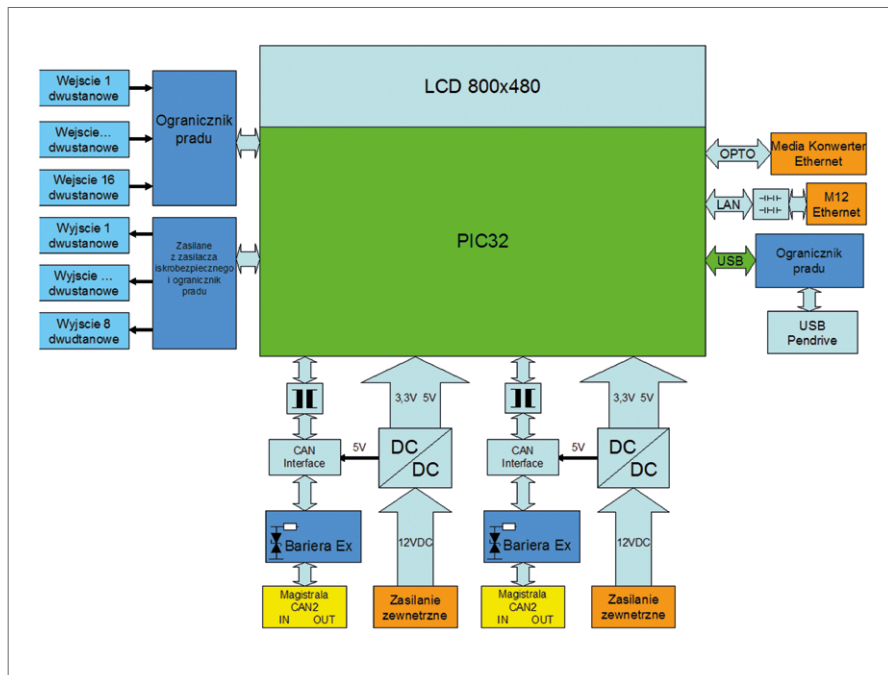


Rys. 4. Kaseca sterująca KS-1 [7]

Schemat blokowy panelu PO-1 przedstawiono na rys. 5.

Panel operatorski wykonano z wykorzystaniem typowej obudowy posiadającej dopuszczenie do stosowania w konstrukcjach urządzeń górniczych o wymiarach 260 × 160 × 90 oraz płyty montażowej wykonanej ze stali nierdzewnej. Na rys. 6 przedstawiono izometryczny widok panelu PO-1.

Panel PO-1 może być wykonany w kilku wariantach, w zależności od wymagań klienta. Możliwe są trzy wykonania związane z dostępnością interfejsu Ethernet.



Rys. 5. Schemat blokowy panelu PO-1 [7]

Wykonanie podstawowe nie zawiera interfejsu Ethernet, pozostałe dwa wykonania posiadają następujące oznaczenia:

- „LAN” – interfejs przewodowy Ethernet 100 Mb iskrobezpieczny;
- „OPTO” – interfejs światłowodowy 100 Mb (światłowód wielomodowy).

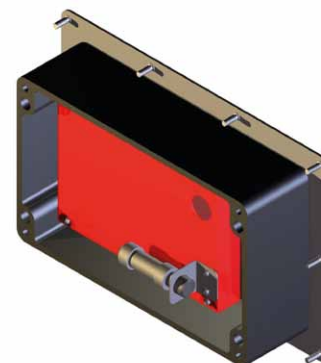
Interfejs USB wyprowadzony jest wewnątrz obudowy i służy do podłączania pamięci pendrive PO-1/PN. Przeznaczony jest on do zapisu danych przetwarzanych przez układ sterowania. Może również pełnić rolę nośnika danych funkcji *data logger*. Jego wykorzystanie zależy od programu nadrzędnego panelu, opracowywanego indywidualnie dla każdego rozwiązania.

Panel programowany jest poprzez złącze JTAG w języku C, dedykowanym do procesorów PIC32. Standardowo panel wyposażony jest w program diagnostyczny wraz z bibliotekami opracowanych podprogramów. Docelowy program, dedykowany do danej aplikacji, jest tworzony indywidualnie i poddawany badaniu przez jednostkę certyfikującą wraz z całym układem sterowania maszyny.

Na rys. 7 pokazano miejsce zabudowy pamięci pendrive. Dostęp do pamięci jest możliwy po odkręceniu tylnej pokrywki panelu. Dane magazynowane w pamięci mogą być odczytane poprzez



Rys. 6. Panel operatorski PO-1 [7]



Rys. 7. Instalacja pendrive PO-1/PN [7]

sieć Ethernet z wykorzystaniem złącz LAN lub OPTO.

Panel PO-1 otrzymał certyfikat „TEST 13 ATEX 0073X” dla zabudowy w maszynach i urządzeniach górniczych o cechach:

- I M2(M1) Ex ib [op is Ma] I Mb (dla wersji „OPTO”);
- I M2 Ex ib Mb (dla pozostałych wersji).

4. Moduł wejść – wyjść

Opracowano również moduł wejść – wyjść analogowych i cyfrowych (rys. 8). Moduł przeznaczony jest do współpracy z panelem operatorskim i jest przewidziany do stosowania w układach rozproszonego sterowania. Przetworniki wielkości nieelektrycznych, takie jak: mostki tensometryczne, rezystory termometryczne, przetworniki wydłużenia siłowników hydraulicznych wykorzystywane w układach sterowania można podłączyć do wejść modułu. Moduł charakteryzuje się niewielkimi gabarytami oraz indywidualnym dostosowaniem złącz wyjściowych. Moduł i podłączone przetworniki powinny być zasilane z jednego zasilacza iskrobezpiecznego.



Rys. 8. Moduł wejść – wyjść analogowych i cyfrowych [6]

Moduł pozwala na podłączenie przetworników zasilanych napięciem 12 V, posiadających następujące wejścia analogowe:

- 0–10 V, 0–20 mA lub 4–20 mA;
- rezystory termometryczne PTC i NTC;
- rezystory PT100/PT1000;
- mostek tensometryczny (istnieje również możliwość podłączenia półmostka i ćwierćmostka tensometrycznego). Moduł wyposażony jest również w:
- 8 wejść dwustanowych (styki niespolaryzowane lub indukcyjne czujniki zbliżeniowe typu NAMUR);

- 4 wyjścia dwustanowe (styki niespolaryzowane zwierne lub rozwierane).

Moduł charakteryzuje się niewielkimi gabarytami (160 × 75 × 60). Przedstawione rozwiązanie pozwala na dostosowanie modułów do konkretnej aplikacji i spełnienia oczekiwań producentów maszyn w zakresie preferowanych złącz w wiązkach kablowych.

Wejścia analogowe i dwustanowe są zasilane z tego samego źródła iskrobezpiecznego, z którego zasilany jest moduł wejść – wyjść. Podobnie jest w przypadku przetworników wielkości nieelektrycznych będących samodzielnymi urządzeniami, których zasilanie i sygnał wyjściowy stanowią jeden obwód iskrobezpieczny. Dotyczy to również indukcyjnych czujników zbliżeniowych oraz wyłączników krańcowych i styków niespolaryzowanych przekaźników.

Moduł posiada również cztery przekaźniki, których styki niespolaryzowane są dostępne jako odizolowane obwody. Styki mogą być wykorzystane do zapalania lampek sygnalizacyjnych i włączania sygnałów dźwiękowych.

Programowanie modułu odbywa się poprzez magistralę CAN, zgodnie ze standardem CANopen DS301 i DS401. Magistrala CAN wykorzystywana jest do zamiany programu modułu bez konieczności otwierania obudowy. Daje to dużą swobodę i elastyczność przy serwisowaniu modułów i dostosowaniu do wymagań użytkownika.

Kolejną ważną cechą modułu jest możliwość kalibracji wejść analogowych. Ma to szczególne znaczenie w przypadku stosowania przetworników wykorzystujących mostki tensometryczne i układy potencjometryczne.

Wykorzystane w module przetworniki 24-bitowe można kalibrować metodami cyfrowymi. Stosowanie potencjometrów do kalibracji nie jest możliwe z wielu powodów, stąd wykorzystano metodę linearyzacji dwupunktowej, wykonywaną przez mikrokomputer. Kalibracja wymaga podania na wejście modułu dwóch wartości napięć lub prądów. Wprowadzenie wartości rzeczywistej dla dwóch punktów powoduje automatyczną korektę wskazań. Moduł wysyła na magistralę CAN wartości rzeczywiste mierzonych parametrów. Cały proces kalibracji wykonywany jest z wykorzystaniem ko-

mend wysyłanych na magistralę CAN, poprzez oprogramowanie konfiguracyjne, zgodne ze standardem CANopen [4]. Kalibrację można przeprowadzić zatem szybko i bez konieczności otwierania obudowy modułu.

5. Moduł pomiarowy prądów

Kolejnym elementem rozproszonego systemu sterowania KOGASTER będzie projektowany obecnie moduł pomiaru prądów AC lub DC pobieranych przez silniki trójfazowe lub prądów w układach dystrybucji energii pojazdów akumulatorowych. W zależności od zastosowanego przetwornika moduł może mierzyć prądy o maksymalnych wartościach: 200 A, 400 A, 600 A lub 800 A.

Do modułu można ponadto podłączyć napięcia z przekładników prądowych. Pozwala to na obliczanie mocy czynnej i biernej w obwodach prądu zmiennego, a w obwodach prądu stałego określenie stopnia naładowania akumulatorów. Na rys. 9 przedstawiono moduł pomiarowy prądów.



Rys. 9. Moduł pomiarowy prądów [6]

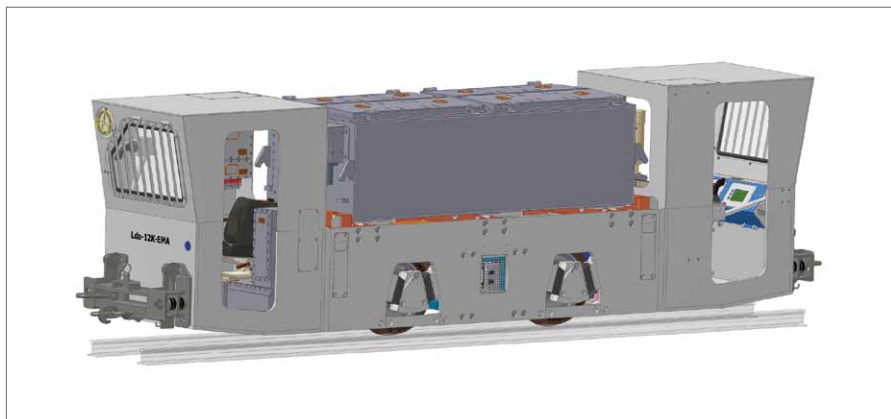
Układ pomiarowy wykorzystuje halotron do kompensacji strumienia magnetycznego w obwodzie magnetycznym. Sygnałem wyjściowym jest napięcie proporcjonalne do prądu przepływającego przez przewód przeprowadzony przez otwór przekładnika.

Programowanie modułu, podobnie jak w module wejść – wyjść odbywa się poprzez magistralę CAN.

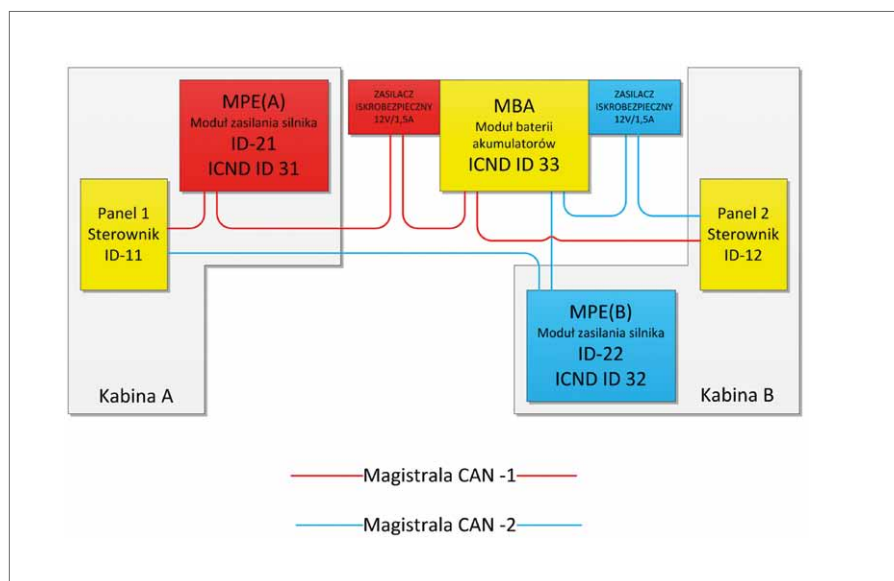
6. Wdrożenie innowacyjnego systemu sterowania KOGASTER

System sterowania KOGASTER został wdrożony w układzie sterowania lokomotywy akumulatorowej LDA-12K-EMA, rys. 10.

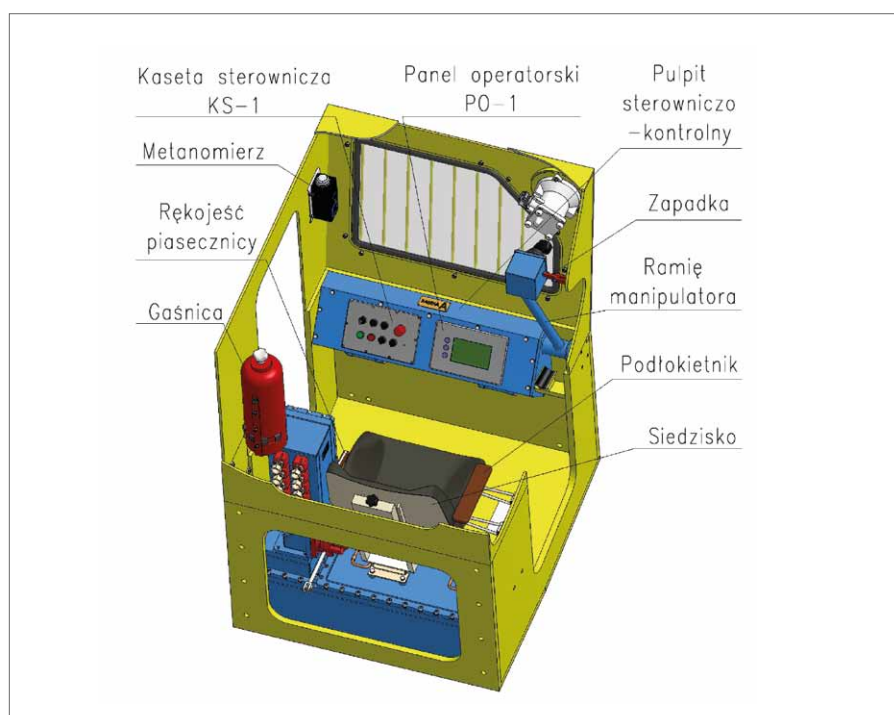
Układ sterowania wykorzystuje dwa panele PO-1. Jeden znajduje się w kabinie A, a drugi w kabinie B. Panele współpracują z dwoma falownikami sterują-



Rys. 10. Lokomotywa akumulatorowa LDA-12K-EMA



Rys. 11. Uproszczony schemat blokowy sterowania lokomotywy LDA-12K-EMA



Rys. 12. Zabudowa panelu PO-1 i kasety KS-1 w kabinie lokomotywy

cymi dwoma silnikami napędowymi. Uproszczony schemat blokowy sterowania lokomotywy LDA-12K-EMA przedstawiony jest na rys. 11.

Widok panelu PO-1 wraz z kasetą KE-1 zamontowanych w kabinie lokomotywy przedstawiono na rys. 12.

Zastosowane rozwiązanie łączy układy wykonawcze, zabudowane w skrzyniach ognioszczelnych oraz iskrobezpieczne obwody sterowania. Jednoczesne wykorzystanie dwóch silników napędowych z falownikami pozwoliło na pełne wykorzystanie redundancji magistrali CAN oraz dwóch paneli PO-1 z zaimplementowanym programem redundancji sterowania.

7. Podsumowanie

Konstrukcje przetworników, enkodérów, falowników, proporcjonalnych rozdzielaczy hydraulicznych oraz innych elementów automatyki wyposażonych w interfejsy z magistralą CAN wykorzystują produkowane seryjnie mikroprocesory i mikrokomputery wyposażone w wewnętrzne kontrolery. Różnorodność produkowanych podzespołów półprzewodnikowych umożliwia projektantom maszyn i urządzeń górniczych dostosowanie konstrukcji do wymagań klienta. Dalszy rozwój maszyn górniczych będzie w coraz większym stopniu wiązał się z rozwiązaniami wykorzystującymi układy sterowania rozproszonego, opartymi na magistralach cyfrowych.

Opracowywane w ITG KOMAG elementy systemów rozproszonych pozwalają na elastyczne projektowanie układów sterowania i charakteryzują się następującymi zaletami:


- mogą być stosowane w różnych maszynach górniczych, z obwodami iskrobezpiecznymi i nieiskrobezpiecznymi;
- moduły wejść/wyjść mogą być dostosowane do różnych przetworników wielkości elektrycznych i nieelektrycznych;
- rejestrowane parametry mogą zostać poddane analizie z wykorzystaniem zaawansowanych, zewnętrznych aplikacji komputerowych;
- zbudowany na bazie opracowywanych modułów system sterowania posiada strukturę otwartą i pozwala na modyfikację liczby i typów podłączanych czujników oraz przetworników;

- rozproszony układ sterowania pozwala użytkownikowi na zminimalizowanie kosztów inwestycji dzięki możliwości konfiguracji w odniesieniu do potrzeb, przy jednoczesnej modernizacji sprzętowej i programowej.

Opracowywane moduły posiadają oprogramowanie interfejsów CAN zgodnie ze standardem CANopen CiA301 [4]. Wybrany protokół jest protokołem otwartym, dla którego istnieje możliwość zastosowania wielu standardów. Przewiduje się, że w najbliższym czasie powstaną standardy dostosowane do nowych maszyn, urządzeń i elementów automatyki.

Literatura

- [1] TANENBAUM A.S., STEHEN M.V.: *Systemy rozproszone. Zasady i paradygmaty. Klasyka informatyki*. WNT, Warszawa 2006.
- [2] Karta katalogowa: BOSCH GmbH: CAN Specification ver 2.0, 1991.
- [3] Norma PN-EN 60079-11 Atmosfery wybuchowe: Część 11: „Zabezpieczenie urządzeń za pomocą iskrobezpieczeństwa i”.
- [4] CAN in Automation (CiA) 301 „CANopen application layer and communication profile”.
- [5] www.lem.com. Strona internetowa firmy LEM.
- [6] „Iskrobezpieczny system sterowania maszyn górniczych bazujących na magistrali CAN i protokole CANopen”. Sprawozdanie z realizacji pracy statutowej ITG KOMAG 2010-2012, praca niepublikowana.
- [7] „Instrukcja Panel Operatorski PO-1” W84.026IOR, praca niepublikowana.

 **Jerzy Jura, Sławomir Bartoszek, Jerzy Jagoda, Dariusz Jasiulek, Krzysztof Stankiewicz** – Instytut Techniki Górniczej KOMAG;
Łukasz Krzak – P.H.U. Gabrypol Sp. j. Z. i R. Juszczak

artykuł recenzowany