
mgr inż. Jerzy JURA
mgr inż. Sławomir BARTOSZEK
mgr inż. Jerzy JAGODA
dr inż. Dariusz JASIULEK
dr inż. Krzysztof STANKIEWICZ
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

mgr inż. Łukasz KRZAK
P.H.U. Gabrypol Sp. J. Z i R Juszczyk

System sterowania KOGASTER - nowe trendy w budowie maszyn górniczych

Streszczenie

Tworzenie niezawodnych w działaniu układów sterowania w maszynach i urządzeniach przeznaczonych do pracy w wyrobiskach górniczych napotyka na wiele problemów. W ITG KOMAG podjęto prace rozwojowe oraz wdrożeniowe nad układami sterowania rozproszonego w maszynach górniczych. System sterowania KOGASTER 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.

Słowa kluczowe: układ sterowania napędów maszyn górniczych, układ sterowania rozproszonego, schemat blokowy układu sterowania, panel operatorski, kasetka sterująca, wdrożenie systemu

Keywords: control systems for drives of mining machines, fuzzy logic control system, block diagram of control system, dispatcher control panel, control cartridge, implementation of the system

Summary

Designing the reliable control systems in machines and equipment intended for use in mine workings faces many problems. In KOMAG, research and implementation projects on development of fuzzy logic control system in mining machines, have been undertaken. KOGASTER control system is based on CAN system made as the intrinsically safe circuit. Use of fuzzy logic structure and intrinsically safe CAN creates many advantages such as flexibility and possibility of extending the system (open systems). Modules as well as the examples of connection with intrinsically safe sensors and transducers are presented. Configurations of the control systems with CAN redundancy, regarding the mining machines of increased reliability, are discussed.

1. Wstęp

Specyficzne warunki pracy maszyn górniczych, związane z zagrożeniem wybuchu metanu i pyłu węglowego, narzucają projektantom spełnienie szeregu wymagań określonych w normach. Zapewnienie bezpieczeństwa przy pracy maszyn i urządzeń górniczych wymaga stosowania budowy przeciwwybuchowej 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. Na przykład falownik zasilający silnik elektryczny musi być zabudowany w skrzyni ognioszczelnej. Natomiast czujniki, przetworniki pomiarowe czy interfejs człowiek – maszyna w tym

terminale, przyciski, lampki czy manipulatory nie muszą być zabudowywane w skrzyniach ognioszczelnych.

2. System sterowania KOGASTER

Prezentowany system sterowania rozproszonego KOGASTER pozwala na budowę iskrobezpiecznych układów sterowania maszyn górniczych. Charakterystycznymi cechami systemu sterowania KOGASTER są:

- rozproszona struktura [1];
- iskrobezpieczna magistrala CAN [2];
- iskrobezpieczna budowa poszczególnych modułów [3].

System sterowania KOGASTER wykonany z wykorzystaniem obwodów iskrobezpiecznych umożliwia połączenie z układami sterowania napędów maszyn górniczych zabudowanych w skrzyniach ognioszczelnych. System sterowania KOGASTER jest rozproszonym układem sterowania. System może

składać się kilku modułów, takich jak: moduł sterownika, moduł panelu – sterownika, moduł wejść-wyjść, oraz przetworników pomiarowych i elementów wykonawczych. Do łączenia modułów układu sterowania jest wykorzystywana cyfrowa magistrala 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.

Możliwe jest także wprowadzenie odrębnego układu zasilania elementów wykonawczych modułu wejść wyjść (np. rozdzielaczy hydraulicznych), podłączonych do obwodów iskrobezpiecznych.

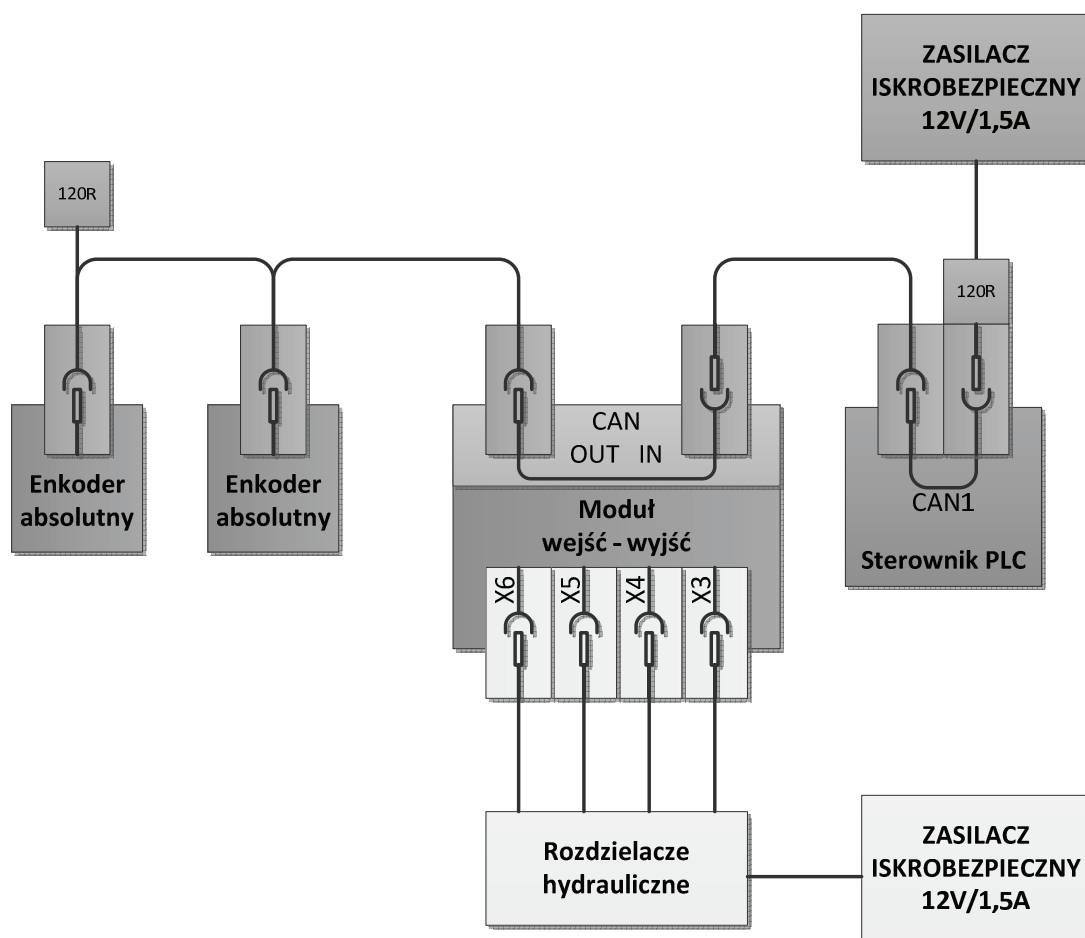
Na rysunku 1 przedstawiono przykładową konfigurację systemu. Kolorami żółtym i pomarańczowym oznaczono strefy zasilania odrębnymi obwodami iskrobezpiecznymi. Wydzielono trzy strefy:

- 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,

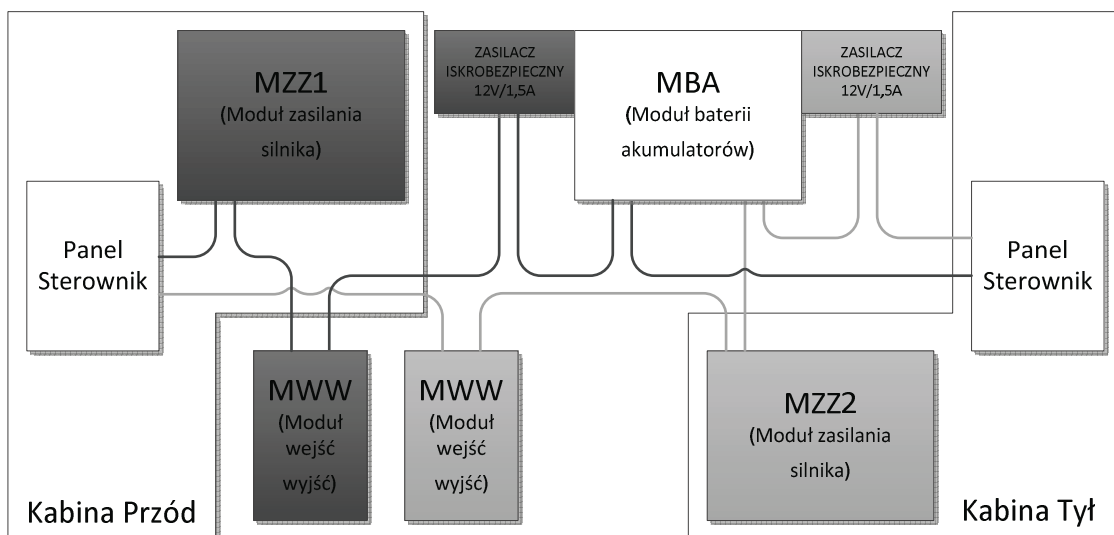
- zasilanie procesora wraz z przetwornikiem analogowo – cyfrowym oraz wejściami dwustanowymi. Ta strefa połączona jest galwanicznie z zasilaniem modułu.

Takie rozwiązanie wymaga zasilania przetworników i czujników z tego samego zasilacza iskrobezpiecznego co moduł wejść – wyjść.

System sterowania KOGASTER pozwala na zwiększenie niezawodności poprzez możliwość wykorzystania modułu sterownika w układach rozproszonych z redundancją magistrali CAN oraz z dublowaniem modułów i przetworników. Stosowanie takich rozwiązań jest uzasadnione szczególnie 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 przestoju, związanych z awariami. 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 rysunku 2.



Rys.1. Schemat blokowy systemu sterowania rozproszonego z wykorzystaniem pojedynczej magistrali CAN i dwóch różnych obwodów iskrobezpiecznych



Rys.2. Schemat blokowy sterowania rozproszonego z redundancją lokomotywy akumulatorowej [8]

Kolorem czerwonym i niebieskim oznaczono redundantne obwody iskrobezpieczne. Kolorem żółtym oznaczono elementy, których konstrukcja jest 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 odseparowane galwanicznie oraz umożliwia zasilanie z dwóch niezależnych zasilaczy iskrobezpiecznych.

Należy stwierdzić, że w konfiguracji rozproszonych układów sterowania można stosować sterowanie z redundancją, nie podnosząc znacząco kosztów jego zastosowania. Układ sterowania z redundancją zwiększa liczbę stanów awaryjnych, przy których maszyna może bezpiecznie funkcjonować. Daje to możliwość ograniczenia strat wynikających z przestojów spowodowanych ewentualnymi awariami. Naprawę można przesunąć na dogodny moment, a wybrane funkcje sterowania mogą być zachowane pomimo awarii jednego z elementów systemu.

2.1. Panel operatorski PO-1 i kasetę sterującą KS-1

Panel operatorski PO-1 wdrożony do produkcji w firmie P.H.U. Gabrypol Sp. J. Z i R Juszczyk jest podstawowym modułem systemu sterowania KOGASTER. Pełni on funkcję interfejsu człowiek – maszyna, jak i sterownika rozproszonego układu sterowania z redundancją magistralą komunikacji CAN.

Panel ten jest zespołem automatyki przemysłowej przystosowany do działania w warunkach zagrożenia wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Panel operatorski (rys. 3) składa się z kolorowego wyświetlacza LCD o rozdzielczości 800x480, wejść i wyjść dwustanowych, wejść analogowych oraz cyfrowych interfejsów, takich jak CAN, Ethernet czy USB. Interfejs Ethernet wykonany może być wykonany w dwóch wersjach: jako przewodowy „LAN” lub

światłowodowy „OPTO”. Przystosowany jest on także do tworzenia redundantnych układów sterowania z wykorzystaniem magistrali CAN. Jest to realizowane 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). Kasetę jest wyposażoną w przyciski, lampki sygnalizacyjne oraz wyłącznik awaryjny. W zależności od przeznaczenia można zastosować różne przełączniki oraz lampki LED.



Rys.3. Panel operatorski PO-1 [7]



Rys.4. Kaseta sterująca KS-1 [7]

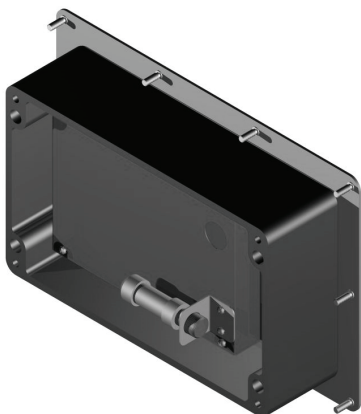
Panel PO-1 może być wykonany w trzech wariantach, związanych z dostępnością interfejsu Ethernet. Wykonanie podstawowe nie zawiera interfejsu Ethernet, a pozostałe dwa wykonania posiadają następujące oznaczenia:

„LAN” - interfejs przewodowy Ethernet 100 Mb iskrobezpieczny;

„OPTO”- interfejs światłowodowy 100 Mb (światłowód wielomodowy).

Interfejs USB jest wyprowadzony wewnątrz obudowy i służy do podłączania pamięci pendrive PO-1/PN. Służy 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 w odniesieniu do każdego rozwiązania.

Na rysunku 5 pokazano miejsce zabudowy pamięci pendrive PO-1/PN dostępnej po odkręceniu tylnej pokrywy panelu. Dane magazynowane w pamięci mogą być odczytane poprzez sieć Ethernet z wykorzystaniem złącz LAN lub OPTO.



Rys.5. Instalacja pendrive PO-1/PN [7]

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

I M2(M1) Ex ib [op is Ma] I Mb (w wersji „OPTO”),

I M2 Ex ib Mb (w pozostałych wersjach).

2.2. Moduł wejść - wyjść

Moduł wejść – wyjść analogowych i cyfrowych jest przeznaczony do współpracy z panelem operatorskim w układach rozproszonego sterowania. Przewidziano dwa wykonania modułu. Wykonanie pierwsze (rys. 6) jest przeznaczone do zabudowy w układach wykorzystujących złącza. Dzięki takiemu rozwiązaniu można szybko wymienić moduł lub odłączyć zespół współpracujący z modułem. Drugie wykonanie (rys. 7) pozwala na podłączenie czujników i przetworników do listwy zaciskowej. Możliwe jest również zabudowanie przycisków przełączników lokalnego panelu sterują-

cego. Przetworniki wielkości nieelektrycznych, takie jak: mostki tensometryczne, rezystory termometryczne, przetworniki wydłużenia siłowników hydraulicznych, wykorzystywane w układach sterowania można podłączyć do wejść modułu. Moduł w wykonaniu pierwszym charakteryzuje się niewielkimi gabarytami (rys. 6), a w wykonaniu drugim indywidualnym podłączeniem przetworników i czujników do listwy zaciskowej (rys. 7). Moduły i podłączone przetworniki powinny być zasilane z jednego zasilacza iskrobezpiecznego. Wyjątkiem są wyjścia dwustanowe w postaci styków niespolaryzowanych.

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 pół-mostka i ćwierć-mostka tensometrycznego).

Moduł wyposażony jest również w:

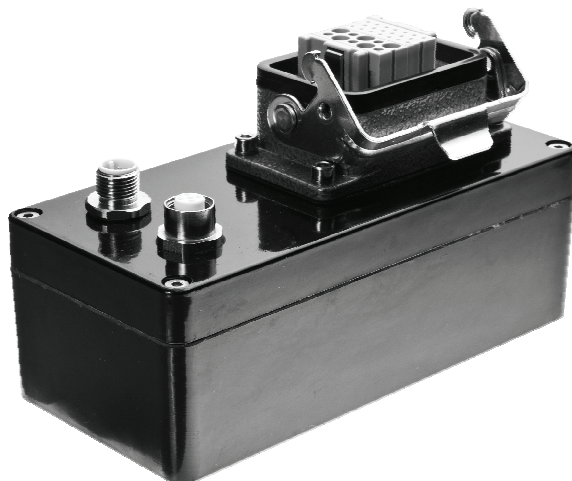
- 8 wejść dwustanowych (styki niespolaryzowane lub indukcyjne czujniki zbliżeniowe typu NAMUR),
- 4 wyjścia dwustanowe (styki niespolaryzowane zwierne).

Moduł w wykonaniu pierwszym charakteryzuje się niewielkimi gabarytami (160x75x60). Przedstawione rozwiązanie pozwala na dostosowanie modułów do konkretnej aplikacji i spełnia oczekiwania producentów maszyn w zakresie preferowanych złącz w wiązkach kablowych.

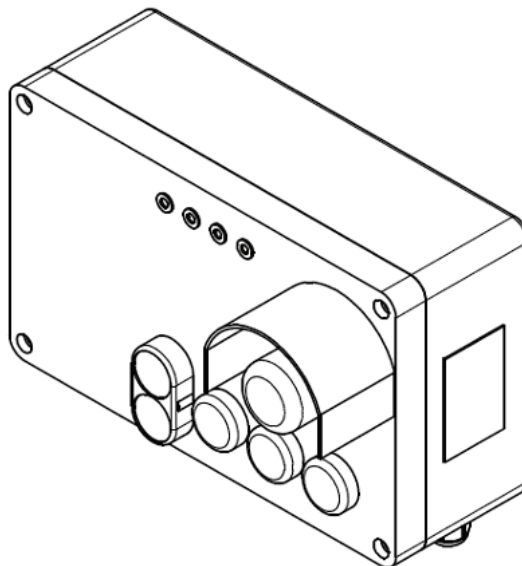
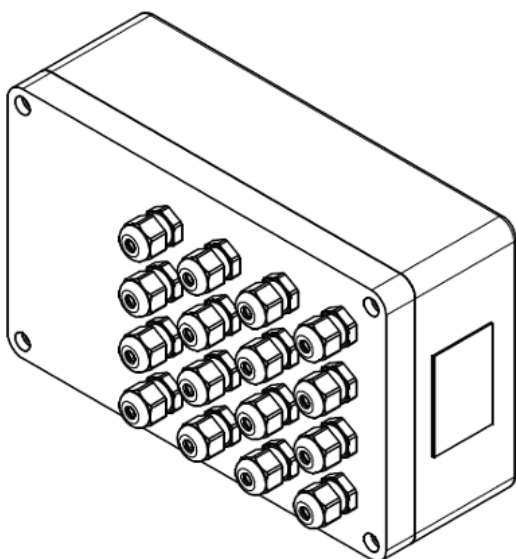
Wejścia analogowe i dwustanowe są zasilane z tego samego źródła iskrobezpiecznego, z którego zasilany jest moduł wejść – wyjść. Podobnie jest w przypadku przetworników wielkości nieelektrycznych będących samodzielnymi urządzeniami, których zasilanie i sygnał wyjściowy stanowią jeden obwód iskrobezpieczny.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

Moduł posiada również cztery przekaźniki, których styki niespolaryzowane są dostępne w postaci odizolowanych obwodów. Styki mogą być wykorzystane do zapalania lampek sygnalizacyjnych i włączania sygnałów dźwiękowych oraz sterowania górniczymi wyłącznikami silnikowymi.

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



Rys.6. MWW-1/1 Moduł wejść - wyjść analogowych i cyfrowych wykonanie pierwsze [6]



Rys.7. MWW-1/2 Moduł wejść - wyjść analogowych i cyfrowych wykonanie drugie [6]

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

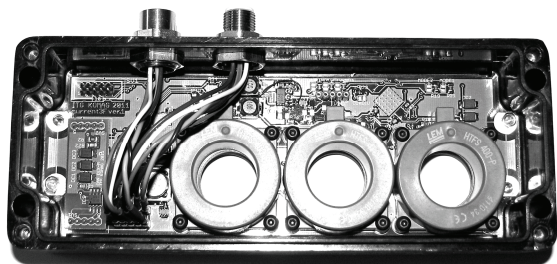
Wykorzystane w module przetworniki są kalibrowane metodami cyfrowymi. Stosowanie potencjometrów do kalibracji nie jest możliwe, stąd wykorzystano metodę linearyzacji dwupunktową. Kalibracja wymaga podania na wejście modułu dwóch wartości napięć lub natężeń przepływu prądów. Wprowadzenie wartości w rzeczywistych jednostkach pomiarowych w odniesieniu do dwóch punktów powoduje automatyczną korektę wskazań. Moduł wysyła na magistralę CAN wartości w jednostkach rzeczywistych mierzonych parametrów. Cały proces kalibracji jest wykonywany z wykorzystaniem magistrali CAN, poprzez oprogramowanie konfiguracyjne, zgodne z standardem CANopen [4]. Kalibrację można

przeprowadzić szybko i bez konieczności otwierania obudowy modułu.

2.3. Moduł pomiaru prądów

Kolejnym elementem rozproszonego systemu sterowania KOGASTER jest moduł pomiaru natężeń przepływu prądów AC lub DC, pobieranych przez silniki trójfazowe lub prądów w układach dystrybucji energii pojazdów akumulatorowych (rys. 8). W zależności od zastosowanego przetwornika moduł może mierzyć prądy o maksymalnych wartościach: 200 A, 400 A, 600 A lub 800 A.

Do modułu można podłączyć również napięcia z przekładników napięciowych. Pozwala to na obliczanie mocy czynnej i biernej w obwodach prądu zmiennego, a w obwodach prądu stałego określenie stopnia naładowania akumulatorów.



Rys.8. Moduł pomiarowy prądów [6]

Układ pomiarowy wykorzystuje hallotron 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.

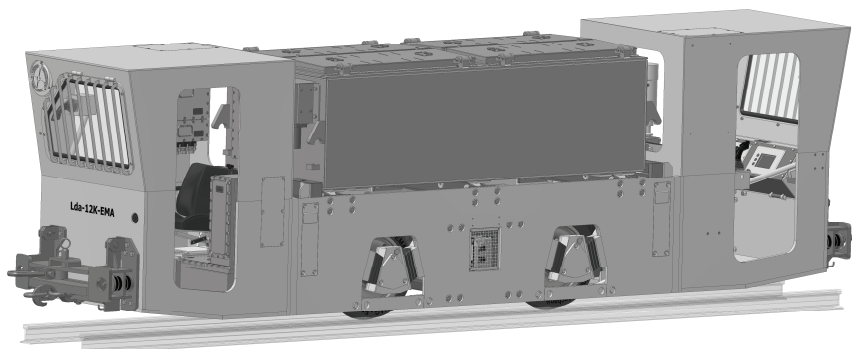
3. Wdrożenie systemu sterowania KOGASTER

System sterowania KOGASTER został wdrożony w układzie sterowania lokomotywy akumulatorowej LDA-12K-EMA (rys. 9).

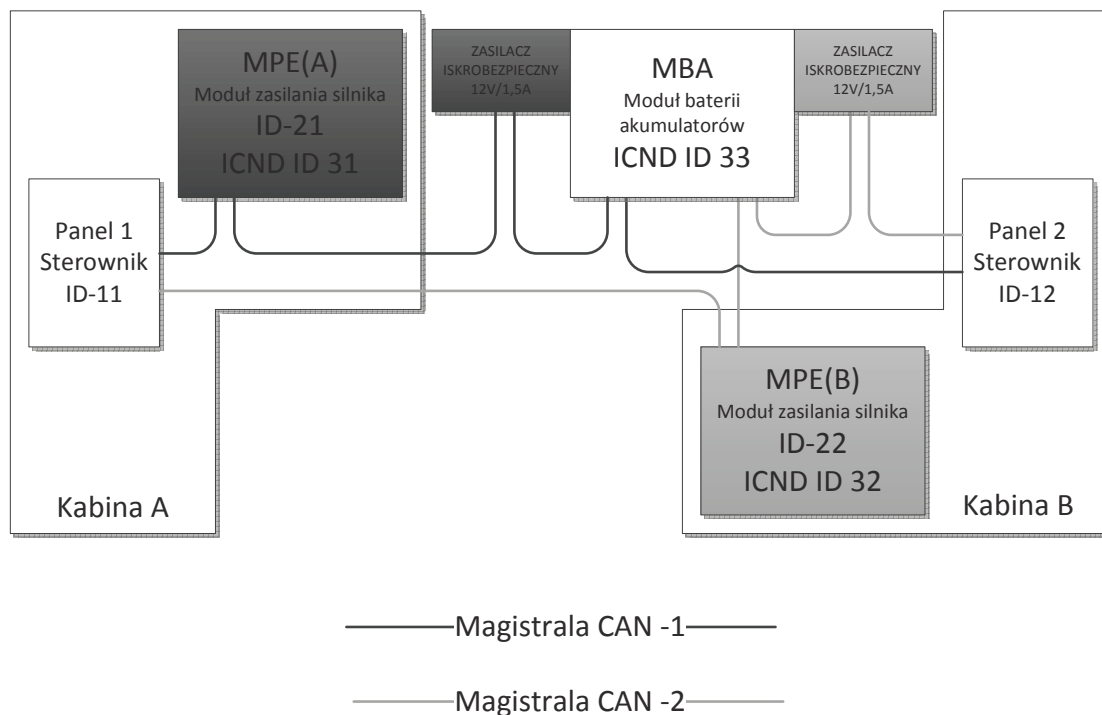
Układ sterowania wykorzystuje dwa panele PO-1 po jednym w kabinie. Panele współpracują z dwoma zespołami falowniki - silnik. Uproszczony schemat blokowy lokomotywy LDA-12K-EMA przedstawiono na rysunku 10.

Zabudowę panelu PO-1 wraz z kasetą KE-1 w kabinie lokomotywy przedstawiono na rysunku 11.

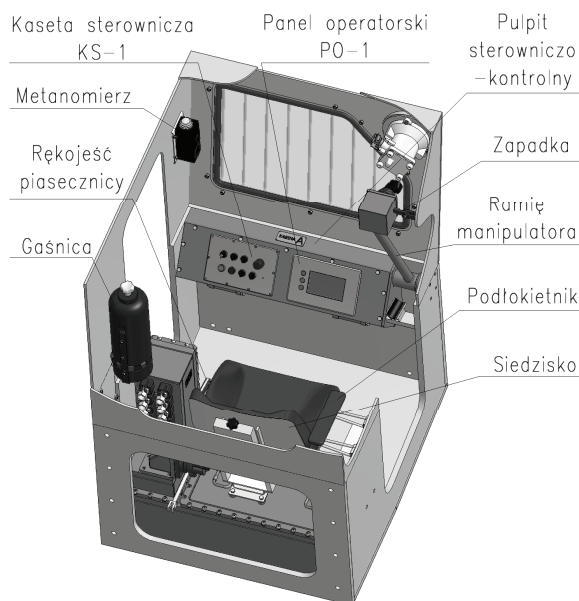
Zastosowane rozwiązanie łączy układy wykonawcze, zabudowane w skrzyniach ognioszczelnych oraz iskrobezpieczne obwody sterowania. Jednoczesne sterowanie dwóch silników napędowych z falownikami pozwoliło na pełne wykorzystanie redundancji magistrali CAN oraz dwóch paneli PO-1 z zaimplementowanym programem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



Rys.9. Lokomotywa akumulatorowa LDA-12K-EMA [8]



Rys.10. Uproszczony schemat blokowy lokomotywy LDA-12K-EMA [8]



Rys.11. Zabudowa panelu PO-1 i kasety KS-1 w kabinie lokomotywy [8]

4. Podsumowanie

Konstrukcje przetworników, enkoderów, falowników, proporcjonalnych rozdzielaczy hydraulicznych oraz innych elementów automatyki wyposażonych w interfejsy z magistralą CAN, wykorzystują produkowane seryjnie mikroprocesory i mikrokomputery wyposażonych 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 systemu sterowania KOGASTER 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 czujników i 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 dostosowaniu jego konfiguracji do potrzeb.

Opracowywane moduły posiadają oprogramowanie interfejsów CAN zgodne ze standardem CANopen CiA301 [4]. Wybrany protokół jest protokołem otwartym, w odniesieniu do którego istnieje możliwość zastosowania wielu standardów.

Literatura

1. Tanenbaum A.S., Stehen M.V.: Systemy rozproszone. Zasady i paradygmaty. Klasyka informatyki. WN-T, 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. JURA J. i inni: Iskrobezpieczny system sterowania maszyn górniczych bazujących na magistrali CAN i protokole CANopen. ITG KOMAG Gliwice 2010-2012, (praca nie publikowana).
7. Pieczora E. i inni: Instrukcja Panel Operatorski PO-1. W84.026IOR. ITG KOMAG 2013 (praca nie publikowana).
8. Pieczora E. i inni: Instrukcja eksploatacji. Lokomotywa Akumulatorowa LDA-12K-EMA. ITG KOMAG Gliwice 2014 (praca nie publikowana).

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2014 r.