

Możliwości zastosowania elementów inteligentnej techniki w systemach pomiarowo – sterujących do urządzeń hamulcowych pojazdów szynowych

W artykule opisano system sterowania i komunikacji układów pomiarowo - sterujących urządzeń hamulcowych pojazdu szynowego z wykorzystaniem elementów inteligentnej techniki. Omówiono algorytmy realizowane przez oprogramowanie dla stacji centralnej (MASTER), powiązanej bezpośrednio z manipulatorem hamowania, obsługiwanym przez maszynistę i dla stacji podrzędnej (SLAVE), powiązanej bezpośrednio z urządzeniami wykonawczymi układu hamowania. Przedstawiono laboratoryjne możliwości badawcze, podział funkcji między stacje oraz sposób obsługi oprogramowania. Artykuł stanowi kontynuację oraz efekt prac opisanych w [2,3] i powstał w wyniku realizacji projektu badawczego KBN nr 8T12C 068 20 „Inteligentne podsystemy mechatroniczne w procesach diagnostycznych i sterowanie hamowaniem pojazdów szynowych”.

1. Aktualny stan automatyzacji i możliwości rozwojowe techniki pomiarowej w urządzeniach hamulcowych

Ciągły rozwój transportu kolejowego na świecie charakteryzuje się m.in. wzrostem prędkości i niezbędnym z tego powodu automatyzowaniem procesów sterujących ruchem pociągów. Wymusza to postęp w zakresie sterowania napędami i hamowaniem pojazdów trakcyjnych. Ma to szczególne znaczenie w przypadku zmiany sygnału sterującego pneumatycznego na elektryczny w sterowaniu hamulcami pojazdów. Obecnie znany i stosowany układ pneumatycznego sterowania hamulcami nie daje już wystarczającej i pełnej gwarancji optymalnego działania, gdyż charakteryzuje się następującymi wadami [8]:

- występuje nie jednoczesne wejście do pracy poszczególnych wagonów pociągu (falowe rozprzestrzenianie się siły hamowania w funkcji długości pociągu),
- układ posiada duże rozmiary i masę szczególnie wtedy, gdy wyposażony jest w sterowanie skuteczności hamulca w funkcji ładunku oraz w układy współpracy kilku rodzajów hamulców zainstalowanych na pojeździe (co współcześnie staje się koniecznością),
- w przypadku konieczności stosowania wielu rodzajów hamulców na pojeździe, istnieje konieczność użycia wielu złożonych przetworników pomiarowych,
- niewystarczająca dokładność działania,
- relatywnie duża histereza układów,
- konieczność budowy układów hybrydowych (pneumatyczno-elektrycznych) w obszarze sterowania,
- niemożność zdalnego sterowania układami czysto pneumatycznymi,
- brak mobilności w kreowaniu charakterystyk sterowania hamulcem w zależności od parametrów i rodzaju pociągu oraz warunków eksploatacji,
- brak możliwości prowadzenia diagnostyki permanentnej układów sterowania,
- brak możliwości odtwarzania historii zdarzeń,
- trudności w zaprojektowaniu ergonomicznego stanowiska.

Układ sterowania nowoczesnym pociągiem zawiera wiele elementów automatycznego sterowania, które na siebie oddziałują lub są we wzajemnej zależności, tworząc złożony system automatycznego sterowania pojazdem. Jednym z tych układów jest układ hamulca, wyposażony w podukłady:

- sterowania hamulcem pojazdu i pociągu,
- zasilania,
- wykonawczy,
- rozpraszający energię.

Układ hamulcowy musi spełniać wiele różnych wymagań określonych przepisami międzynarodowymi (karty UIC) [6] a to jest możliwe jedynie przez automatyczne sterowanie hamulcami. Proces automatycznego sterowania hamulcami powinien spełniać takie kryteria jak:

- odporność na awarie i zakłócenia,
- szybkość i precyzyjność działania,
- realizację złożonych funkcji w zależności od zmian ładunku, prędkości i innych warunków eksploatacyjnych.

Współczesny wyspecjalizowany tabor szynowy będzie coraz częściej wymagał układów sterujących z wykorzystaniem inteligentnych podsystemów mechatronicznych, dla których ma być prowadzona obiektywna i automatyczna diagnostyka i kontrola. Stosując inteligentną mechatronikę dąży się do maksymalnego wyeliminowania sygnałów pneumatycznych na rzecz sygnałów elektrycznych, które doskonale nadają się do przetwarzania i diagnostyki podczas hamowania pojazdami szynowymi. Podstawowe elementy (człony) sterowania oraz cały system sterowania hamulcem przedstawić można jako nieliniową funkcję transmitancji (wejście - wyjście). Funkcje takie dobrze są realizowane w konwencjonalnych układach automatyki z wykorzystaniem regulatora PID (proporcjonalno - całkująco - różniczkującym) [1]. W ramach prezentowanego projektu badawczego zbudowano układ pomiarowo-sterujący, który jest systemem rozproszonym a którego celem jest umożliwienie uruchamiania i badania oprogramowania, realizującego różne algorytmy układów

hamulcowych. Informacje między poszczególnymi elementami systemu wymieniane są za pomocą sieci komputerowej. Do realizacji układu badawczego wybrano system sieci przemysłowej Profibus DP, dla której zrealizowano programy:

- OCTO-PDPM (PDPM oznacza: PROFIBUS DP – MASTER) dla jednostki nadrzędnej MASTER,
- PDPS (PDPS oznacza: PROFIBUS DP – SLAVE) dla jednostek podrzędnych SLAVE.

Stacja MASTER prowadzi i nadzoruje całość procesu hamowania. Cyklicznie (np. 10 razy na sekundę) komunikuje się ze wszystkimi stacjami SLAVE. W ramach tej komunikacji z każdej stacji SLAVE odczytywane są parametry opisujące aktualny stan węzła hamowania (np. regulowane ciśnienie). Do stacji SLAVE przekazywane są zlecenia wypracowane przez stację MASTER. Stacja MASTER zna stan manipulatora, czyli zlecony przez maszynistę stan układu hamowania oraz rzeczywisty, aktualny stan w każdym węźle hamowania. Na podstawie tych informacji stacja MASTER wypracowuje zlecenia dla poszczególnych węzłów hamowania. Stacje SLAVE realizują zlecenia otrzymane od stacji MASTER. Zlecenie dotyczy sposobu realizacji sterowania przez pewien, nie określony z góry okres czasu. Stacja SLAVE samodzielnie steruje węzłem hamowania zgodnie z otrzymanym zleceniem do momentu otrzymania nowego zlecenia..

Funkcje stacji MASTER:

- Monitorowanie stanu układu hamowania, obejmujące:
- stan manipulatora maszynisty,
- realizowane wartości regulowanych ciśnień,
- wartości mas mierzonych w pojeździe (opcjonalnie).
- Ustalanie, na podstawie stanu układu zadanych nowych parametrów sterowania dla poszczególnych stacji SLAVE obejmujące:
- zadaną, docelową wartość ciśnienia,
- gradient zmiany ciśnienia od aktualnego do zadanego.
- Przesyłanie do stacji SLAVE ustalonych, zadanych parametrów sterowania.

Funkcje stacji SLAVE:

- Monitorowanie zleceń od stacji master,
- Pomiar: wartości regulowanego ciśnienia i ewentualnie masy,
- Udostępnianie stacji MASTER wszystkich wartości sygnałów pomiarowych i sterujących związanych ze stacją SLAVE,
- Realizacja zleceń otrzymanych od stacji MASTER.

Realizacja ta polega na podnoszeniu lub obniżaniu ciśnienia od wartości aktualnej w momencie otrzymania nowego zlecenia (z gradientem) do wartości otrzymanej w zleceniu. Po osiągnięciu zadanej wartości ciśnienia stacja SLAVE utrzymuje (reguluje) ciśnienie na wartości zadanej do momentu otrzymania nowego zlecenia. Funkcja ta jest wewnętrznie złożona i polega głównie na wykonywaniu szeregu obliczeń prowadzących do wyznaczenia wartości napięć podawanych na zawory podnoszące i obniżające ciśnienie.

Pomiar masy własnej pojazdu będzie wykorzystywany przez stację MASTER do ustalania wartości zadanych dla poszczególnych stacji SLAVE.

Inne funkcje:

Poza podstawowymi funkcjami stacje MASTER i SLAVE mogą realizować funkcje dodatkowe (np. realizowane w stanach awaryjnych) oraz diagnostyczne, serwisowe i inne, których zakres pozostaje do ustalenia.

2. Konfiguracje mikroprocesorowych przyszłościowych układów sterowania hamulcami

Można przewidywać następujące rodzaje układów sterowania [8] :

- układ mikroprocesorowy sterowania ciśnieniem w przewodzie głównym (PG) na pojeździe prowadzącym (lokomotywie) z równoczesnym przekazywaniem przy pomocy „busa” (szyna sterowania i przesyłania danych) elektrycznych sygnałów sterujących do układów hamulca elektro-pneumatycznego na poszczególnych pojazdach, wyposażonych w procesor sterujący - diagnostyczny,
- układ mikroprocesorowy sterowania ciśnieniem w PG na pojeździe prowadzącym (lokomotywie) z równoczesnym przekazywaniem przy pomocy komunikacji satelitarnej sygnałów sterujących do układów hamulca elektro-pneumatycznego na poszczególnych pojazdach, wyposażonych w procesor sterujący - diagnostyczny,
- sterowanie procesorowe na pojeździe prowadzącym i przekazywanie sygnałów jedynie poprzez „bus” na poszczególne pojazdy, wyposażone w procesory sterujące -diagnostyczne.

Każdy układ hamulca pojazdu sterowany mikroprocesorowo powinien składać się z następujących bloków:

- pomiarowego,
- sterowania,
- diagnostyki,
- komunikacji wewnętrznej i zewnętrznej,
- przetworników elektryczno - pneumatycznych, przetwarzających sygnały elektryczne na pneumatyczne,
- pneumatyki siłowej,
- mechanicznego hamulca,
- rozpraszających energię kinetyczną pojazdów.

W celu zapewnienia właściwej redundancji całego układu niektóre z w/w bloków powinny być co najmniej zdwojone i powinny pracować według nieco innego oprogramowania. Dotyczy to przede wszystkim pierwszych czterech bloków, których działanie realizowane będzie przez układ procesora. Programowe współdziałanie bloków zapewni uzyskanie właściwych przebiegów procesów hamowania pojazdów.

3. Sygnały niezbędne do prowadzenia diagnostyki układów hamulcowych

Procesy zachodzące w układach hamulcowych pojazdów szynowych mogą być poddawane diagnostyce okresowej (wydzielone przebiegi diagnostyczne i pomiarowe np. przeglądy codzienne, kontrole po podejściu do pociągu itp.) i (lub) procesy diagnostyczno - pomiarowe permanentne,

przewodzone podczas eksploatacji. W układach hamulcowych wszystkie przebiegi ciśnień, przetwarzane przez odpowiedni układ (przetworniki ciśnienie – prąd) będą sygnałami elektrycznymi. Zależności między sygnałami (algorytmy poprawnej pracy wraz z właściwymi odchyłkami) mogą być określone dla konkretnych układów hamulcowych. W przypadku elektrycznego sterowania hamulcem pociągu, diagnostycznymi sygnałami (poza pomiarami ciśnień) będą sygnały elektryczne dla pociągu wyposażonego tylko w „bus”. Dla poszczególnych pojazdów będą to sygnały zadające określone przebiegi w pneumatycznym układzie hamulcowym, oraz sygnały z innych układów hamulca na pojeździe (np. hamulca szynowego, elektrodynamicznego, układu przeciwpoślizgowego itp.).

4. Układ realizowany w projekcie badawczym

Układ pomiarowo - sterujący realizuje różne algorytmy pracy układów urządzeń hamulcowych. Informacje między poszczególnymi elementami systemu są wymieniane za pomocą sieci komputerowej. Do realizacji układu badawczego wybrano standard sieci przemysłowej PROFIBUS DP. Przedstawiono opis standardu zastosowanej sieci, zestawienie i omówienie elementów sprzętowych i programowych układu badawczego oraz opis działania układu. Omówiono algorytmy realizowane przez oprogramowanie stacji centralnej (MASTER), powiązanej bezpośrednio z manipulatorem hamowania obsługiwany przez maszynistę i stacji podrzędnej (SLAVE), powiązanej bezpośrednio z urządzeniami wykonawczymi układu hamowania, rozmieszczonymi w poszczególnych węzłach układu hamowania na pojazdach lub na poszczególnych wózkach.

5. Sieć przemysłowa Profibus DP

5.1. Zagadnienia ogólne

PROFIBUS jest jednym z najszerzej rozpowszechnionych otwartych standardów sieci przemysłowych. Od 1996 r. jest standardem europejskim ujętym w normie PN-EN 50170 [16], co gwarantuje jego otwartość, stabilność i niezależność od producenta. Architektura protokołu transmisji PROFIBUSA jest oparta o warstwowy model odniesienia OSI (Open System Interconnection), zgodny z międzynarodowym standardem ISO 7498 [17]. Model ten dzieli protokół transmisyjny na siedem warstw logicznych o precyzyjnie zdefiniowanych interfejsach wejściowych i wyjściowych. Standard PROFIBUS występuje w trzech wersjach oznaczanych: DP, FMS, PA. Omawiany układ badawczy został zrealizowany w wersji DP. Sieć PROFIBUS DP jest optymalną wersją standardu ze względu na czas realizacji komunikacji w rozproszonych systemach komputerowych i mikroprocesorowych. PROFIBUS DP wykorzystuje dwie z siedmiu warstw modelu OSI. Są to: warstwa fizyczna (1) i łącza danych (2); dodatkowym elementem programowym jest interfejs użytkownika. Warstwy 3÷7 nie są zdefiniowane. Warstwa fizyczna (1) określa między innymi elektryczne i mechaniczne parametry medium transmisyjnego sieci. PROFIBUS DP używa dwóch wariantów medium:

- standard RS-485: wykorzystuje miedzianą, dwuprzewodową skrętkę, opcjonalnie ekranowaną (realizowany w projekcie),
- światłowod: umożliwia zwiększenie zasięgu i prędkości przesyłania danych oraz zapewnia dużą odporność na zakłócenia elektromagnetyczne.

5.2. Podstawowe parametry

Podstawowe parametry użytkowe sieci PROFIBUS DP dla RS-485:

- szybkość transmisji: 9,6 kBit/s do 12 MBit/s,
- długość segmentu sieci jest zależna od szybkości transmisji i zmienia się od 1200m dla szybkości < 93,75 kBit/s do 100m dla 12 MBit/s. Segment musi być zakończony po obu stronach terminatorami. Segmentem jest fragment sieci, w którym informacja między stacjami jest przekazywana bez pośrednictwa dodatkowych układów wzmacniających (powtarzaczy),
- liczba węzłów dołączonych do segmentu sieci: standardowe obciążenie wnoszone przez węzły do sieci wynosi przy 12 V zasilania 0,1mA dla nadajnika i 1mA dla odbiornika. W takiej sytuacji liczba węzłów nie może przekraczać 32. Przy zastosowaniu elementów wnoszących mniejsze obciążenie możliwe jest zwiększenie liczby węzłów do 127 na segment.
- sieć może składać się z wielu segmentów połączonych układami powtarzającymi (repeater).

5.3. Elementy sieci

PROFIBUS DP definiuje trzy typy urządzeń włączanych do sieci:

- DP-MASTER Klasy 1 (DPM1): węzeł nadrzędny (sterownik centralny). DPM1 inicjuje i wymienia informację z przypisanymi do niego urządzeniami SLAVE.
- DP-MASTER Klasy 2 (DPM2): są to urządzenia typu programatory, , przyrządy diagnostyczne i operatorskie używane do konfiguracji, uruchamiania, instalacji i kontroli systemu.
- DP-SLAVE: urządzenia programowalne (posiadające pamięć wraz z mikroprocesorem) lub pasywne, peryferyjne moduły wejść i wyjść nie mające możliwości inicjowania wymiany danych przez sieć.

Sieć PROFIBUS DP może być skonfigurowana do pracy w architekturze:

- Monomaster: jeden układ MASTER Klasy 1 i powiązane z nim układy SLAVE (opcjonalnie MASTER Klasy 2).
- Multimaster: kilka układów MASTER Klasy 1, każdy powiązany z własną grupą układów SLAVE (opcjonalnie MASTER Klasy 2).

W omawianym układzie badawczym zastosowano architekturę Monomaster. System taki może składać się z jednego układu MASTER i do 125 układów SLAVE. System zapewnia najkrótszy cykl komunikacyjny. Przy szybkości transmisji 12 MBit/s możliwe jest przesłanie 1 kBajt danych wejściowych i wyjściowych w czasie poniżej 2 ms.

6. Kryteria doboru sieci układu badawczego

Układ badawczy został dobrany w oparciu o poniższe kryteria:

- możliwość elastycznej konfiguracji sprzętowej węzłów SLAVE,
- łatwość rozbudowy poszczególnych węzłów SLAVE i całej sieci,
- możliwość zastosowania węzłów SLAVE jako urządzeń programowalnych realizujących złożone zadania pomiarowo - sterujące (nie tylko jako rozproszone wejścia i wyjścia),
- możliwość elastycznej implementacji różnych algorytmów hamowania pojazdów szynowych, w tym różnego rozkładu funkcji pomiarowo - sterujących między węzeł MASTER i węzły SLAVE,
- łatwość tworzenia, uruchamiania i modyfikacji oprogramowania węzła MASTER i węzłów SLAVE.

6.1. Elementy sprzętowe układu

Układ badawczy składa się z węzła MASTER i dwóch węzłów SLAVE. Węzeł MASTER stanowi komputer PC wyposażony w dodatkową kartę typu CIF50-PB [10,11,12,13,14,15]. Węzły SLAVE zbudowano z elementów firmy WAGO [11].

Węzeł MASTER

Karta typu CIF50-PB produkcji firmy Hilsher (oznaczenie w katalogu WAGO [11]: PCI DP /FMS MASTER 7kByte 758-302) i dostarczana przez firmę WAGO Kontakttechnik GmbH pozwala na wykorzystanie typowego komputera PC jako węzła MASTER w sieci PROFIBUS DP. Podstawowe parametry użytkowe karty:

- max. liczba węzłów SLAVE: 125,
- max. liczba punktów I/O: 244 Bajtów /SLAVE,
- szybkość transmisji: 9.6 kBit/s do 12 MBit/s,
- linia transmisyjna: RS-485, izolacja galwaniczna,
- interfejs PC: PCI.

Elementem karty jest dwuwejściowa pamięć RAM zawierająca między innymi skonfigurowany obraz sieci urządzeń SLAVE (obraz procesu - ang.: process image) obsługiwanych przez węzeł MASTER oraz parametry pracy sieci. Komunikacja programu MASTER z węzłami SLAVE odbywa się przez zapis i odczyt tego obszaru obrazu procesu.

Węzły SLAVE

Węzły SLAVE zbudowano z elementów systemu modułowego WAGO - I/O - SYSTEM 750 [11]. Zaletą tego systemu jest duża elastyczność konfiguracji sprzętowej. Wynika ona z tego, że węzły są budowane z modułów wejść i wyjść zawierających 2, 4 lub w przypadku modułów specjalnych jeden tor wejść lub wyjść analogowych, binarnych lub specjalnych. Pozwala to na optymalną, ze względu na ograniczenie budżetowe, budowę i rozbudowę węzłów. Można również optymalizować układ pod kątem rozmiarów. Zastosowano dwa węzły SLAVE. Pierwszy zawiera dwa tory analogowe wejściowe i dwa wyjściowe oraz dwa tory binarne wejściowe i dwa wyjściowe. Drugi węzeł zawiera dwa tory binarne wejściowe i dwa wyjściowe. Moduły wejść lub wyjść obu węzłów mogą być między sobą dowolnie wymieniane lub dokładane.

6.2. Elementy programowe układu

Oprogramowanie urządzenia MASTER

W omawianym układzie urządzenie MASTER jest komputerem klasy IBM PC pracującym pod kontrolą systemu operacyjnego Windows 95 lub wyższym. Komputer jest wyposażony w kartę CIF 50-PB stanowiącą sprzętowy interfejs do sieci PROFIBUS DP.

Zestawienie elementów oprogramowania jest następujące:

- Device Driver: **sterownik** karty CIF 50-PB dostarczany przez producenta karty, umożliwia programową obsługę karty. Elementem programowym pośredniczącym między sterownikiem a programem użytkowym jest biblioteka CIF32DLL.dll,
- NETCON: **program konfiguracyjny** sieci PROFIBUS DP, jest elementem niezbędnym do skonfigurowania i uruchomienia sieci PROFIBUS. Przy pomocy tego programu ustala się parametry pracy sieci oraz parametry włączonych do sieci urządzeń MASTER i SLAVE. Ustalenia są zapisywane w pamięci karty MASTER i SLAVE, umożliwiając ich poprawną współpracę,
- Pliki GSD: **pliki konfiguracyjne** sieci PROFIBUS, dostarczane przez producenta urządzenia, są plikami tekstowymi, zawierającymi opis urządzenia w postaci wymaganej podczas konfiguracji sieci. Format pliku jest szczegółowo zdefiniowany w standardzie PROFIBUS. Program konfiguracyjny odczytuje plik i odpowiednio przetwarza zawarte w nim informacje. Pliki są dostarczane przez producentów urządzeń przeznaczonych do pracy w sieci PROFIBUS,
- **Program użytkowy:** program realizujący ustalone funkcje węzła MASTER, jest właściwym programem węzła MASTER, realizującym jego funkcje. Program jest tworzony przez użytkownika.

7. Opis działania sieci

W omawianym układzie zastosowano sieć typu PROFIBUS DP, monomaster. Układ składa się z jednej stacji MASTER i pewnej liczby (obecnie dwóch) stacji SLAVE. Wymiana informacji między stacjami odbywa się cyklicznie. Pojedynczy cykl wymiany polega na odpytaniu przez stację MASTER wszystkich stacji SLAVE skonfigurowanych w sieci. Odpytanie pojedynczej stacji SLAVE jest zawsze inicjowane przez stację MASTER i polega na wysłaniu pytania i odebraniu od stacji SLAVE odpowiedzi. Ten sposób pracy zapewnia brak konfliktów przy dostępie stacji do linii transmisyjnej oraz pozwala dokładnie ocenić maksymalny czas cyklu pracy sieci. Powyższy proces odbywa się cyklicznie i jest realizowany przez sprzęt i oprogramowanie złącza sieciowego stacji MASTER, czyli w tym przypadku karty CIF 50-PB. Oprogramowanie to jest zaimplementowane bezpośrednio na karcie. Proces ten jest prowadzony niezależnie od programu użytkowego stacji MASTER. Program użytkowy jest źródłem informacji, które są wysyłane ze stacji MASTER do stacji SLAVE oraz ma dostęp do informacji przekazywanych w przeciwnym kierunku.

Wymiana informacji między stacją MASTER i stacjami SLAVE w sieci PROFIBUS DP odbywa się za pośrednictwem obszarów pamięci zwanych obrazem procesu.

W stacji MASTER znajduje się obszar pamięci będący obrazem procesu dotyczącym wszystkich urządzeń SLAVE, związanych z tą stacją MASTER. Każda stacja SLAVE ma własny lokalny obraz procesu mający swój odpowiednik w obrazie procesu stacji MASTER. Obraz procesu jest umieszczony fizycznie w pamięci dwuwejściowej. W stacji MASTER pamięć ta jest z jednej strony zapisywana i odczytywana przez program użytkowy stacji, a z drugiej strony przez mechanizm wysyłający i odbierający informacje z linii transmisyjnej. Obraz procesu składa się z dwóch części: wejściowej i wyjściowej. W cyklu wymiany informacji z pojedynczą stacją SLAVE odpowiadający tej stacji fragment obrazu wyjściowego jest przepisywany do części wejściowej lokalnego obrazu procesu tej stacji a część wyjściowa lokalnego obrazu procesu jest przepisywana do odpowiedniego fragmentu obrazu wejściowego stacji MASTER. Program użytkowy stacji MASTER może przekazywać dane do stacji SLAVE, wpisując je w ściśle określone miejsca wyjściowego obszaru obrazu procesu stacji MASTER. Podobnie program użytkowy może uzyskać dane ze stacji SLAVE, odczytując je z określonego miejsca wejściowego obszaru obrazu procesu stacji MASTER.

Typowym zastosowaniem powyższego mechanizmu jest sytuacja, gdy stacje SLAVE, oprócz złącza sieci PROFIBUS, posiadają tylko zestaw wejść i wyjść, natomiast nie są urządzeniami programowalnymi (brak możliwości programowania). Wówczas w obszarze wejściowym obrazu procesu jest odwzorowywany bezpośrednio stan wejść (analogowych i binarnych) stacji SLAVE, natomiast zapisywane w obszarze wyjściowym dane są bezpośrednio przenoszone na wyjścia stacji. Czyli inaczej stacja MASTER bezpośrednio kontroluje wejścia i wyjścia stacji SLAVE. W przypadku, gdy stacja SLAVE jest urządzeniem programowalnym (posiada pamięć i mikroprocesor), wejścia i wyjścia mogą być kontrolowane albo przez program stacji MASTER albo przez program stacji SLAVE. Taka sytuacja ma miejsce w omawianym układzie. Nie zmienia się tutaj sama zasada wymiany informacji. Wymieniane dane nie są jednak bezpośrednio zapisywane i odczytywane z wejść i wyjść, ale przekazywane między programami stacji MASTER i stacji SLAVE. Poszczególne miejsca w obszarze wejściowym i wyjściowym w obrazie procesu są ściśle powiązane z konkretnymi stacjami SLAVE. Powiązanie to jest dokonywane na etapie konfiguracji sieci [4].

7.1. Uruchamianie stacji SLAVE

Po zasileniu stacji SLAVE, badany jest aktualny zestaw modułów, z których złożona jest stacja. Wynikiem tego badania jest lokalny obraz procesu wspomniany w p.7.

7.2. Uruchamianie stacji MASTER

Po zasileniu stacji MASTER, lub po załadowaniu nowej konfiguracji, przeprowadzany jest proces kontroli sieci. Po pomyślnym zakończeniu kontroli sieć przechodzi do normalnej, cyklicznej pracy. Proces kontroli składa się z trzech etapów i jest prowadzony przez stację MASTER na podstawie konfiguracji zapisanej w jej pamięci. Pierwszym etapem jest sprawdzenie obecności stacji SLAVE w sieci. MASTER wysyła standardowe komunikaty do wszystkich

skonfigurowanych stacji. Stacje, które odsyłają poprawną odpowiedź są włączane do późniejszych cykli wymiany informacji. Drugim etapem jest parametryzacja stacji SLAVE, czyli przesłanie do nich zestawów parametrów ustalonych podczas konfiguracji. Trzecim etapem jest porównanie układu poszczególnych stacji ustalonych podczas konfiguracji z układem rzeczywistym. Etap ten polega na przesłaniu do stacji SLAVE dotyczącego jej opisu obrazu procesu. Stacja SLAVE porównuje go z rzeczywistym obrazem ustalonym podczas własnego uruchamiania. Jeżeli porównanie zakończy się powodzeniem, to może rozpocząć się wymiana danych z tą stacją.

8. Podział funkcji sterowania hamowaniem

Funkcje związane ze sterowaniem hamowaniem podzielono na dwie grupy.

Pierwsza grupa, to funkcje związane z wypracowywaniem aktualnych parametrów zadanych sterowania. Funkcje te są realizowane przez stację MASTER. Podstawowymi urządzeniami zewnętrznymi powiązanymi ze stacją master są:

- manipulator maszynisty,
- sieć stacji SLAVE.

Docelowo stacja master może być powiązana z dodatkowymi urządzeniami na przykład sygnalizacyjnymi.

Druga grupa, to funkcje związane z regulacją ciśnienia w węzłach układu hamowania. Funkcje te są realizowane przez stacje SLAVE.

8.1. Algorytm realizacji funkcji stacji MASTER

Manipulator maszynisty

Za pomocą manipulatora maszynista ustala tryb pracy, jaki ma być realizowany przez układ sterowania. Stacja MASTER w sposób ciągły (z punktu widzenia układu) monitoruje stan manipulatora. Manipulator przewidziany w zastosowaniu docelowym koduje swoje stany pracy za pomocą ośmiu sygnałów dwustanowych. Program badawczy symuluje powyższy manipulator za pomocą okienka na ekranie komputera, odwzorowującego poszczególne położenia manipulatora. Symulowany manipulator może być obsługiwany ręcznie myszką komputerową lub automatycznie w ramach realizacji przebiegu programu badawczego.

W drugim przypadku realizowane są zadane, powtarzalne sekwencje przestawienia manipulatora.

Sieć stacji SLAVE

Stacja MASTER wymienia informacje ze stacjami SLAVE za pomocą sieci przemysłowej PROFIBUS DP. W ramach komunikacji ze stacjami SLAVE stacja MASTER odczytuje informacje o aktualnej sytuacji w węzłach hamowania oraz przesyła zlecenia dotyczące sposobu regulacji ciśnienia w węzłach. Informacje odczytywane ze stacji SLAVE można podzielić na informacje niezbędne dla ustalania zleceń dla stacji SLAVE oraz na informacje dodatkowe. Informacje związane z ustalaniem zleceń to aktualne wartości regulowanych ciśnień oraz opcjonalnie wartości mas pojazdów. Informacje dodatkowe, to wartości obliczonych napięć sterujących oraz wartości aktualnych, obliczonych w stacjach SLAVE ciśnień zadanych. Informacje

te służą w programie badawczym do analizy pracy programu stacji SLAVE. Informacje mogą być prezentowane na monitorze i zapisywane do plików. Informacje przesyłane do stacji SLAVE, to zlecenia ustalające sposób regulacji ciśnienia. Zlecenie obejmuje zadaną, docelową wartość ciśnienia Pzad [kPa] oraz gradient Gzad [kPa/s] zmiany ciśnienia od aktualnego do zadanego.

Ustalanie zleceń dla stacji SLAVE

Podstawą algorytmu realizacji funkcji stacji MASTER jest odpowiedni dokument [5]:

Parametrami wejściowymi algorytmu ustalania zleceń dla stacji SLAVE są:

- stan manipulatora maszynisty MM,
- aktualne wartości ciśnień w węzłach hamowania,
- informacje dotyczące dotychczasowego przebiegu hamowania.

Zlecenie obejmuje zadaną, docelową wartość ciśnienia Pzad. [kPa] oraz gradient

Gzad. [kPa/s] zmiany ciśnienia od aktualnego do zadanego. Po otrzymaniu nowego zlecenia stacja SLAVE reguluje wartość ciśnienia w taki sposób, aby zmieniało się od wartości aktualnej do wartości zadanej Pzad. liniowo z gradientem Gzad. Po osiągnięciu wartości zadanej ciśnienia stacja SLAVE utrzymuje tę wartość do momentu otrzymania nowego zlecenia. Nowe zlecenie dla stacji SLAVE może być przekazane w dowolnym momencie, tzn. również podczas narastania lub obniżania ciśnienia. Podczas realizacji funkcji sterowania hamowaniem układ znajduje się zawsze w jednym z sześciu stanów pracy. Poniżej zestawiono nazwy stanów pracy wraz ze skrótowymi oznaczeniami używanymi w dalszej części tekstu:

- 1) gotowość - G,
- 2) hamowanie służbowe - HS,
- 3) napełnianie - N,
- 4) hamowanie nagłe - HN,
- 5) luzowanie wysokim ciśnieniem - LW,
- 6) wyrównanie ciśnienia - W.

Stan HS jest dalej podzielony na 12 stopni hamowania: HS1 .. HS12.

Aktualny stan pracy jest określony przez:

- sygnały związane z położeniem dźwigni manipulatora MM,
- sygnał łącznika P2, będącego dodatkowym elementem manipulatora.

Aktualny stan pracy kończy się (i zmienia na inny) wraz z przedstawieniem dźwigni nastawnika MM w inne położenie. Stany G i N mogą się również zakończyć na skutek zamknięcia łącznika P2.

8.2. Algorytm realizacji funkcji stacji SLAVE

Podstawowymi urządzeniami zewnętrznymi powiązanymi ze stacją SLAVE są:

- przetwornik regulowanego ciśnienia,
- dwa zawory elektropneumatyczne sterowane sygnałami prądowymi 4 do 20 mA służące do podnoszenia i obniżania ciśnienia regulowanego,
- sieć PROFIBUS DP dla komunikacji ze stacją MASTER,

- opcjonalnie przetwornik (zawór ważący) masy pojazdu.

Podstawową funkcją stacji SLAVE jest regulacja ciśnienia zgodnie z aktualnym zleceniem otrzymanym od stacji MASTER. Realizacja tej funkcji wymaga monitorowania zleceń przesyłanych przez stację MASTER, wykonywania pomiarów regulowanego ciśnienia, wykonywania obliczeń wynikających z algorytmu, ustawiania wartości prądów sterujących ciśnieniem i przekazywania niezbędnych danych do stacji MASTER. Stacja SLAVE po otrzymaniu zlecenia samodzielnie reguluje ciśnienie do momentu otrzymania nowego zlecenia. Regulacja polega na podnoszeniu lub obniżaniu ciśnienia od wartości aktualnej w momencie otrzymania nowego zlecenia z gradientem do wartości otrzymanej w zleceniu. Po osiągnięciu zadanej wartości ciśnienia stacja SLAVE utrzymuje (reguluje) ciśnienie na wartości zadanej.

9. Program badawczy stacji MASTER (PC)

W ramach badawczego, sieciowego układu sterowania hamowaniem rolę stacji MASTER pełni komputer PC, na którym uruchomiono program OCTO-PDPM. Program realizuje docelowe funkcje stacji MASTER (opisane w p.8.1) oraz dodatkowe funkcje, umożliwiające prowadzenie prac związanych z różnymi aspektami badania i rozwoju algorytmów sterowania hamowaniem w omawianym układzie. Dodatkowe funkcje programu to:

- prezentacja na monitorze różnych aspektów pracy układu,
- możliwość przeprowadzania powtarzalnych prób pracy układu hamowania. Próba polega na ustaleniu i automatycznej realizacji dowolnej sekwencji zmian położenia symulowanego manipulatora maszynisty. Zmiany położenia są realizowane w zadanych odstępach czasowych,
- zapis w funkcji czasu wybranych parametrów funkcjonowania układu w celu ich późniejszej analizy,
- symulowanie ręcznej obsługi manipulatora maszynisty.

Obecnie program jest przygotowany do współpracy z dwoma stacjami SLAVE.

Menu główne programu zawiera pola służące do uruchamiania poszczególnych funkcji programu.

9.1. Elementy sieci PROFIBUS DP

W menu PROFIBUS znajdują się pozycje związane z obsługą sieci PROFIBUS DP.

Pozycja „Konfiguracja” zawiera informacje o aktualnej konfiguracji poszczególnych stacji SLAVE włączonych do sieci. Konfiguracja obejmuje adres sieciowy oraz układ zastosowanych w stacji wejść i wyjść, analogowych i binarnych. Poprawne funkcjonowanie sieci wymaga, aby prezentowane informacje odpowiadały rzeczywistości, fizycznej konfiguracji stacji SLAVE. Pozycja „Obraz procesu” prezentuje obszar pamięci stanowiący obszar wymiany danych między stacją MASTER i stacjami SLAVE włączonymi do sieci. Obszar ten jest podzielony na dwie części: wejściową i wyjściową. Każda stacja SLAVE ma przydzielony w tym obszarze własny podobszar. W ramach obsługi sieci przez stację MASTER wszystkie podobszary wejściowe są wypełniane przez dane, odczytane z

poszczególnych stacji SLAVE, natomiast podobszary wyjściowe przez dane przeznaczone do wysłania do stacji SLAVE. Interpretacja poszczególnych bajtów tego obszaru jest wykonywana na etapie konfiguracji sieci PROFIBUS. Konfiguracja jest wykonywana przed przystąpieniem do używania sieci przy pomocy oprogramowania konfiguracyjnego. W przypadku omawianego układu zastosowano program NETCON. Po wybraniu pozycji „Obraz procesu” widoczne jest okno, zawierające początkowe fragmenty (obejmujące po 40 bajtów) obszarów wejściowego i wyjściowego obrazu procesu. Wartości poszczególnych bajtów przedstawiane są na bieżąco i odwzorowują stan omawianego obszaru pamięci.

9.2. Przygotowanie i przeprowadzanie próby

W ramach programu OCTO-PDPM można przeprowadzać próby pracy układu hamowania. Próba polega na automatycznej realizacji zadanej sekwencji zmian położenia symulowanego manipulatora maszynisty. Zmiany położenia są realizowane w zadanych odstępach czasowych. Próba jest realizowana na podstawie wcześniej przygotowanego zestawu danych i może być powtarzana wielokrotnie. Podczas trwania próby program stacji MASTER realizuje swój algorytm, tzn. na podstawie zmian położenia symulowanego manipulatora wypracowuje i przekazuje zlecenia dla stacji SLAVE. Stacje SLAVE regulują ciśnienie zgodnie z otrzymywanymi zleceniami. Na monitorze prezentowany jest przebieg próby. Wybrane sygnały są zapisywane w pamięci komputera i mogą być analizowane po zakończeniu próby.

W celu wykonania próby należy najpierw w menu „Próby” wybrać pozycję „Hamowanie1”. Otwiera się okno, zawierające listę przygotowanych wcześniej zestawów danych. Na liście należy wybrać wymagany zestaw i uruchomić przycisk „Start”. Powoduje to uaktywnienie prawej części panelu u dołu ekranu. Panel zawiera dodatkowe elementy informacyjne i sterujące związane z przeprowadzaną próbą. Dodatkowe elementy informacyjne obejmują: nazwę zestawu danych, numer wyników dotyczący obecnego przebiegu próby, numer realizowanego odcinka. Wybranie klawisza „Start” powoduje rozpoczęcie realizacji próby. Program automatycznie zmienia położenie symulowanego manipulatora zgodnie z wybranym zestawem danych. Zmiany można obserwować w okienku manipulatora (menu „Widok” i „Manipulator”). Podczas trwania próby zapisywane są do pamięci komputera wyniki w funkcji czasu pomiarów i obliczeń poniższych wielkości:

- Pzad [kPa] - zadana wartość ciśnienia ustalona przez stację MASTER,
- Gzad[kPa/s] - zadana wartość gradientu ciśnienia ustalona przez stację MASTER,
- Pzad(k) [kPa] - bieżąca wartość ciśnienia zadanego ustalaną przez stację SLAVE,
- Preg(k) [kPa] - bieżąca wartość ciśnienia regulowanego,
- Ipop(k) [mA] - bieżąca wartość prądu regulującego podnoszenie ciśnienia,
- Iupu(k) [mA] - bieżąca wartość prądu regulującego obniżanie ciśnienia.

Wartości ustalone przez stację MASTER są wspólne dla wszystkich stacji SLAVE. Pozostałe wartości są ustalane w ramach każdej stacji SLAVE osobno i są zapisywane w

liczbie, odpowiadającej aktualnej konfiguracji sieci. Dodatkowo zapisywane są stany wejść i wyjść binarnych obsługiwanych przez stacje SLAVE. Wejścia i wyjścia binarne są przewidziane do wykorzystania na dalszych etapach rozwoju układu. Wyniki gromadzone podczas przebiegu prób są zapisywane do plików tekstowych. Pliki znajdują się w podkatalogu: „Wyniki” w katalogu macierzystym programu. W tym podkatalogu znajdują się dalsze podkatalogi o nazwach identycznych z nazwami zestawów danych. Każdy przebieg programu ma nadawany automatycznie kolejny numer widoczny na ekranie podczas realizacji próby. Plik z wynikami nosi nazwę będącą nadanym numerem. W ramach każdego zestawu danych prowadzona jest oddzielna numeracja. Pliki zawierają nagłówki z informacją o czasie wykonania próby oraz zestawione w kolumnach zapisywane wielkości.

10. Program badawczy stacji SLAVE (PLC)

Program stacji został napisany w języku Structured Text (ST). Jest to jeden z języków programowania sterowników ujęty w normie IEC 1131 [18]. Środowiskiem tworzenia programu było oprogramowanie WAGO I/O Pro. Środowisko umożliwia podział programu na moduły i wygodne łączenie modułów w grupy. Pozwala to na uzyskanie przejrzystej struktury programu, łatwej do weryfikacji i modyfikacji. Każdy moduł składa się z dwóch części: deklaracji zmiennych lokalnych oraz treści modułu zapisanej w języku ST. Można tworzyć moduły typu program, funkcja lub blok funkcyjny. Moduły mogą się wzajemnie wywoływać według określonych zasad. Modułem wyróżnionym, wywoływanym automatycznie w każdym cyklu programu, jest moduł o nazwie PDPS. Oprócz modułów elementami programu są globalne typy danych oraz globalne deklaracje zmiennych. Typy danych to na przykład tworzone przez użytkownika typy strukturalne (struct) lub wyliczeniowe (enum). Środowisko posiada możliwość uruchamiania programów w trybie symulacyjnym oraz śledzenia pracy programu uruchomionego w środowisku docelowym (w sterowniku PLC). Moduły programu zostały podzielone na trzy grupy: PLC, Regulacja, WeWy. Grupa PLC zawiera moduł główny PDPS oraz moduły Start, Stop, Przerwa. Są to moduły organizujące pracę całego programu. Grupa Regulacja zawiera moduły związane z podstawową funkcją programu czyli z regulacją ciśnienia. Grupa WeWy zawiera moduły związane z obsługą informacji wejściowych i wyjściowych programu.

Grupa PLC

Moduł główny PDPS organizuje cykliczną pracę programu. Program zawsze pracuje w jednym z dwóch trybów: „Praca” lub „Przerwa”, w zależności od zlecenia „Start” lub „Stop”, otrzymanego od stacji MASTER. W trybie „Praca” jest prowadzona regulacja ciśnienia. W trybie „Przerwa” program oczekuje na ponowne zlecenie „Start”, co powoduje przejście w tryb „Praca”. Zlecenie „Stop” w trybie „Praca” powoduje przejście do trybu „Przerwa”. Cykl programu obejmuje:

- opracowanie informacji wejściowych,
- zainicjowanie trybu „Praca” lub „Przerwa”, jeżeli nadeszło zlecenie zmiany trybu,
- wykonanie cyklu trybu „Praca” lub „Przerwa”,
- opracowanie informacji wyjściowych.

Grupa Regulacja

Grupa Regulacja zawiera moduły związane z regulacją ciśnienia. Przebieg regulacji podzielony jest na etapy zgodnie ze zleceniami otrzymywanymi od stacji MASTER. Etap rozpoczyna się po otrzymaniu zlecenia i kończy wraz z otrzymaniem nowego zlecenia. Realizacja etapu polega na takiej regulacji ciśnienia, aby zmieniało się ono od wartości aktualnej do wartości zadanej P_{zad} [kPa], liniowo, z gradientem

Gzad [kPa/s]. Grupa ta jest podzielona na podgrupy: Init, Ustalenia, Pomocnicze. Modułem organizującym działanie pozostałych jest moduł Regulacja.

Grupa WeWy

Z punktu widzenia programu istnieją dwa źródła informacji: fizyczne sygnały wejściowe i wyjściowe analogowe i binarne oraz obszar wymiany informacji ze stacją MASTER za pośrednictwem sieci PROFIBUS DP. Grupa zawiera dwa moduły WejściaIO, WyjściaIO dotyczące sygnałów fizycznych oraz moduły WejściaDP i WyjściaDP dotyczące informacji sieciowych. Moduły WejściaIO i WejściaDP przetwarzają informację źródłową na postać odpowiednią do dalszego przetwarzania w programie. Moduły WyjściaIO i WyjściaDP przetwarzają ustalenia dokonane w programie odpowiednio na parametry fizycznych sygnałów wyjściowych i informację przygotowaną do transmisji przez sieć PROFIBUS DP.

11. Wnioski końcowe

Opracowano teoretyczne podstawy i laboratoryjny model doświadczalnego inteligentnego podsystemu mechatronicznego w procesach diagnostycznych i sterowaniu hamowaniem pojazdem szynowym. Zrealizowany został układ o perspektywie praktycznej. W zrealizowanym projekcie powstał system automatycznego sterowania hamowaniem pojazdów szynowych, natomiast jego istotą naukowo-badawczą jest system zbierania, przetwarzania i diagnozowania danych wejściowych, które w efekcie mają realizować kryteria związane z hamowaniem pojazdem szynowym. Uzyskane rezultaty teoretyczne zostały sprawdzone w warunkach laboratoryjnych i mają charakter doświadczalno-analizujący. W wyniku doświadczeń laboratoryjnych powstał model inteligentnego podsystemu mechatronicznego do diagnostyki i sterowania hamowaniem pojazdem szynowym, na bazie którego będzie można rozpocząć prace konstrukcyjne zmierzające do praktycznego zastosowania systemu.

Literatura

- [1] Bocian S.: *Model matematyczny regulatora PID do komputerowego sterowania przetwornikiem elektropneumatycznym sterowanym analogowo*. Pojazdy Szynowe 1/2002.
- [2] Bocian S.: *Inteligentna technika w systemach pomiarowo – sterujących do urządzeń pojazdów szynowych (1)*. Pojazdy Szynowe 2/2003.
- [3] Bocian S.: *Inteligentna technika w systemach pomiarowo – sterujących do urządzeń pojazdów szynowych(2)*. Pojazdy Szynowe 3/2003.
- [4] Frączek J.: *Układ badawczy dla sterowania i komunikacji układów pomiarowo – sterujących urządzeń hamulcowych pojazdu szynowego*. Praca niepublikowana IPS „TABOR” Poznań, 2002.
- [5] Frączek J.: *Opracowanie algorytmów diagnostycznych detekcji i izolacji uszkodzeń (algorytmy decyzyjne)*. Praca niepublikowana IPS „TABOR” Poznań, 2002.
- [6] Gąsowski W., Maluskiewicz M.: *Analiza wymagań stawianych przez przepisy międzynarodowe układom sterowania hamulcem zespolonym pociągu*. Pojazdy Szynowe 1/2001.
- [7] Kaluba M., Maluskiewicz M.: *Koncepcja układów elektropneumatycznych pośredniczących w sterowaniu pneumatycznymi hamulcami pojazdów szynowych*. Pojazdy Szynowe 4/2000.
- [8] Kaluba M.: *Sygnały sterujące - informacyjne dla przyszłościowych układów hamulca*. Praca niepublikowana IPS „TABOR” Poznań, 2001.
- [9] Sacha K.: *Sieci miejscowe PROFIBUS*. Mikom Warszawa, 1998.
- [10] *Device Driver Manual*. WAGO Kontakttechnik GmbH. Minden, 2000.
- [11] *General Catalogue W3*. WAGO Kontakttechnik GmbH. Minden, 2000.
- [12] *Modular I/O system. PROFIBUS DPV1 750-333 / 750-833. Manual*. WAGO Kontakttechnik GmbH. Minden, 2000.
- [13] *Protocol manual. Profibus DP Master*. WAGO Kontakttechnik GmbH. Minden, 2000.
- [14] *WAGO NETCON. System Configurator for PROFIBUS FMS, DP and Combi*. WAGO Kontakttechnik GmbH. Minden, 2000.
- [15] *WAGO I/O Pro. Manual*. WAGO Kontakttechnik GmbH. Minden, 2000.
- [16] *PN-EN50170: Systemy komunikacji miejscowej ogólnego przeznaczenia*. Warszawa 2002.
- [17] *ISO 7498: Information Processing Systems*, 1984.
- [18] *IEC 1131: Programmable Controllers*, 1992.