

Grażyna Barna, Zbigniew Durzyński

Struktura rozproszonego systemu mikroprocesorowego sterowania zespołem trakcyjnym

Przedmiotem niniejszego artykułu jest rozproszony system sterowania mikroprocesorowego trakcyjnym pojazdem szynowym rozwiązany dla zespołu trakcyjnego. System może być zastosowany w nowych lub modernizowanych zespołach trakcyjnych. W dalszej części artykułu termin pojazd odnosić się będzie do zespołu trakcyjnego, natomiast termin pociąg oznaczać będzie jeden, dwa lub trzy zespoły trakcyjne w trakcji wielokrotnej.

W artykule przedstawiono zasady projektowania systemów sterowania pod kątem niezawodności i bezpieczeństwa oraz przedstawiono utworzoną na podstawie tych zasad strukturę rozproszonego systemu sterowania. Przedstawiono i omówiono sposób realizacji magistrali pociągu oraz magistrali pojazdu. Zaprezentowano poszczególne sterowniki wchodzące w skład systemu. Przedstawiono możliwości diagnostyczne systemu sterowania oraz sposób ich realizacji.

Niezawodność i bezpieczeństwo

Prace nad systemem sterowania wymagają uwzględnienia na każdym etapie powstawania systemu (koncepcji, projektowania, opracowywania, eksploatacji) zagadnień związanych z niezawodnością i bezpieczeństwem. Podstawą takich prac jest przeprowadzenie analizy zagrożeń dla bezpieczeństwa i niezawodności. Polega ona na określeniu i ocenie zagrożeń dla danego systemu, co z kolei pozwala na opracowanie najskuteczniejszych środków ich kontrolowania [1].

Z zastosowania rozproszonego systemu sterowania wynika kilka istotnych korzyści dla niezawodności i bezpieczeństwa systemu. Po stronie korzyści wymienić należy fakt, że poszczególne procesy obsługiwane są przez osobne sterowniki mikroprocesorowe, co ogranicza konieczność tworzenia programów wielozadaniowych, nieuniknionych w przypadku jednoprocessorowego systemu scentralizowanego. Oprócz tego występowanie w systemie wielu sterowników umożliwia, przy odpowiednim zaprojektowaniu tego systemu, zrealizowanie redundancji sprzętowej, a także redundancji programowej z wykorzystaniem do tego celu rezerwy obliczeniowej procesorów. Z drugiej strony w rozproszonym układzie sterowania wzrastają wymagania dotyczące jakości oprogramowania. Jest to szczególnie istotne w sytuacji, gdy w systemie sterowania realizowana jest redundancja. W istotny sposób wzrasta wówczas stopień złożoności programu, gdyż należy przewidzieć wiele sytuacji awaryjnych i odpowiednie sposoby reakcji [1].

Istotnym aspektem niezawodności i bezpieczeństwa jest aspekt ekonomiczny, który z oczywistych względów musi być brany pod uwagę. Problem ten poruszany jest przez wielu auto-

rów (np. [1, 8, 9]). Niewłaściwie zaprojektowana redundancja systemu sterowania może przyczynić się do powstania nakładów finansowych związanych z jego budową, nie spowoduje natomiast zmniejszenia kosztów związanych z utrzymaniem pojazdów [1, 8]. Podstawową zasadą projektowania niezawodnego systemu sterowania pojazdem jest zapewnienie maksymalnej redundancji przy minimum nakładów sprzętowych.

Biorąc pod uwagę przedstawione fakty, niezawodność i bezpieczeństwo rozproszonego systemu sterowania pojazdem szynowym, będącego przedmiotem niniejszego artykułu, realizowane są na trzech płaszczyznach:

- sprzętowej
- strukturalnej
- programowej.

Na płaszczyźnie sprzętowej zwiększenie niezawodności systemu sterowania odbywa się poprzez:

- zastosowanie wysokiej jakości sprzętu (optoizolacja, pełna zgodność z normami kolejowymi, zwłaszcza w zakresie temperatur, zakresu napięć zasilających, odporności na drgania i wstrząsy)
- odpowiednie prowadzenie, ekranowanie i uziemienie magistrali CAN.

System sterowania pojazdem realizowany jest w oparciu o moduły mikroprocesorowe przeznaczone dla kolejnictwa MAS-T szwajcarskiej firmy SELECTRON. Moduły te mają świadectwo zgodności z normą kolejową EN 50155:2001 dotyczącą wymagań dla wyposażenia elektronicznego stosowanego w taborze oraz z normą EN 50121-3-2:2000 dotyczącą kompatybilności elektromagnetycznej dla zastosowań kolejowych. Oprócz tego posiadają wyspecjalizowane moduły dostosowane do potrzeb kolejowych, takie jak np. szybkie wejścia licznikowe dla układów przeciwpoślizgowych i interfejsy magistrali pociągu. Moduły te są szeroko stosowane na taborze kolejowym w Polsce oraz innych krajach europejskich (Szwajcaria, Niemcy, Holandia, Austria, Czechy). Sterowniki te stosowane są z powodzeniem w wielu systemach sterowania zaprojektowanych i wyprodukowanych w Instytucie Pojazdów Szynowych TABOR [2, 10, 11, 12, 17].

Na płaszczyźnie strukturalnej zwiększenie niezawodności systemu sterowania odbywa się poprzez stosowanie odpowiedniej struktury systemu sterowania zapewniającej redundancję [15], np.:

- redundantnej magistrali pociągu
- redundantnej magistrali pojazdu
- redundantnych sterowników pojazdu i pociągu
- redundantnych interfejsów magistrali pociągu
- podłączenia sterowników najważniejszych systemów do obu magistrali pojazdu.

Na płaszczyźnie programowej zwiększenie niezawodności systemu sterowania odbywa się poprzez syntezę scenariuszy uszkodzeń oraz uwzględnienie w algorytmach sterowania sytuacji awaryjnych. Do tej kategorii można zaliczyć w szczególności programowe przełączanie na redundanтную jednostkę mikroprocesorową oraz redundanтную magistralę pojazdu lub pociągu w przypadku uszkodzenia jednostki lub magistrali zasadniczej.

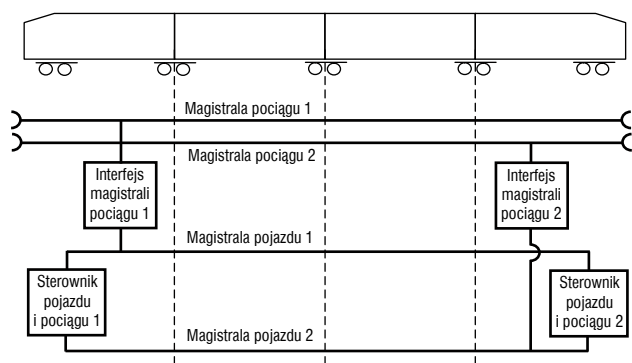
Struktura systemu sterowania

System sterowania realizuje swoje funkcje na trzech poziomach swojej hierarchicznej struktury sterowania [5, 14]:

- pociągu
- pojazdu
- podsystemów.

Struktura sieci komunikacyjnej rozproszonego systemu sterowania zespołu trakcyjnego przedstawiona jest na rysunku 1.

Do poziomu sterowania pociągu należy sterowanie w trakcji wielokrotnej, realizowane za pomocą magistrali pociągu. Dwa lub trzy zespoły trakcyjne tego samego typu mogą współpracować w układzie sterowania wielokrotnego. Magistrala pociągu umożliwia wymianę danych w ramach pociągu między poszczególnymi pojazdami wchodzącymi w jego skład. Magistrala pojazdu z kolei umożliwia wymianę danych między poszczególnymi sterownikami w ramach pojazdu.



Rys. 1. Struktura sieci komunikacyjnej rozproszonego systemu sterowania zespołu trakcyjnego

Magistrala pociągu

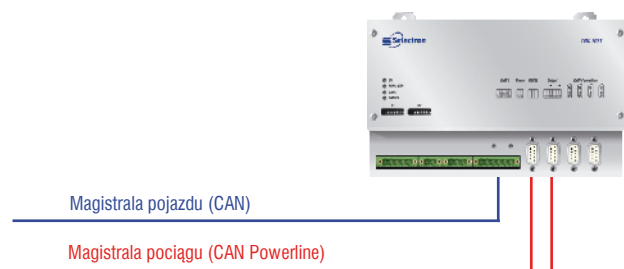
W sytuacji, gdy wymagana jest jazda zespołów trakcyjnych w trakcji wielokrotnej, konieczne jest zastosowanie magistrali pociągu. Magistrala pociągu służy do przesyłania wszelkiego rodzaju informacji między sterownikami podłączonymi do magistrali pojazdu poszczególnych pojazdów w trakcji wielokrotnej, co umożliwia:

- nadzorowanie kompletnego składu pociągu
- sterowanie i diagnostykę systemów trakcyjnych oraz hamowania poszczególnych pojazdów
- sterowanie i diagnostykę pozostałych urządzeń pociągu, takich jak np. drzwi i klimatyzator
- rejestrację stanów pracy poszczególnych podsystemów.

W przypadku zespołów trakcyjnych wymagana jest płynna konfiguracja pociągu, co wynika z faktu, że w skład pociągu może wchodzić różna liczba pojazdów (zazwyczaj jeden, dwa lub trzy). Pojazdy mogą być łączone w dowolnej kolejności. W takim przypadku konieczne jest zastosowanie tzw. interfejsów magistrali pociągu, umożliwiających płynną konfigurację pociągu. Interfejs

magistrali pociągu stanowi przejście między magistralą pociągu a lokalną magistralą pojazdu.

W prezentowanym systemie sterowania stosowane są moduły TBC 702-T. Jako interfejs magistrali pojazdu zastosowane zostało łącze CAN [15, 16, 18, 19]. Jako interfejs magistrali pociągu zastosowane zostało łącze CAN Powerline, opracowane specjalnie do celów realizacji magistrali pociągu [3]. Interfejs magistrali pociągu jest podwójny, co umożliwia zastosowanie redundancji w komunikacji pociągu (rys. 2). Dane warstwy fizycznej łącza CAN Powerline przedstawione są w tabeli 1.



Rys. 2. Widok interfejsu magistrali pociągu TBC 702-T ze wskazaniem rodzaju podłączanych magistral

Tabela 1

Dane warstwy fizycznej łącza CAN Powerline [19]

Medium transmisyjne	Skrętka
Prędkość transmisji	[kbps] 20, 50, 80, 125
Długość magistrali	[m] do 500
Maksymalna liczba węzłów	16
Napięcie linii	[V] 48

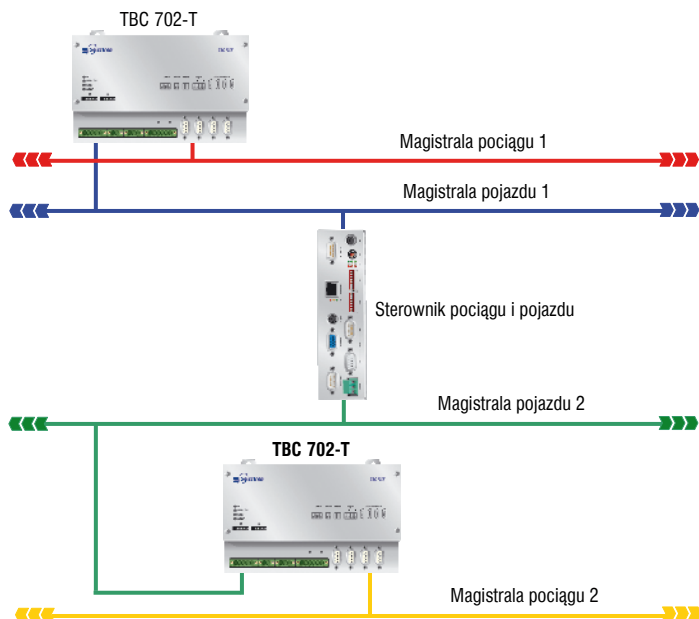
Moduły TBC 702-T umożliwiają konfigurację magistrali pociągu (dynamiczne przydzielanie adresów poszczególnym modułom, tzw. „chrzest magistrali pociągu”) i dlatego nadają się do stosowania w przypadku pociągów o zmiennym składzie. Moduły przeprowadzają konfigurację podczas rozruchu systemu sterowania. Wykrywany jest wówczas skład pociągu, a poszczególnym modułom przyporządkowywane są dynamiczne adresy. Profil komunikacji modułu TBC 702-T został zrealizowany zgodnie z wytycznymi karty UIC 556.

Wyposażenie modułu TBC 702-T w podwójny sprzęg magistrali pociągu umożliwia zastosowanie redundancji magistrali pociągu w różnych wariantach. Ze względu na symetryczną strukturę zespołu trakcyjnego zastosowano wariant wykorzystujący dwa moduły TBC 702-T oraz dwie linie magistrali pociągu na pojazd (rys. 3). Taki wariant zapewnia niezawodną pracę systemu w przypadku uszkodzenia jednego z interfejsów magistrali pociągu albo jednej magistrali pociągu.

Magistrala pojazdu

Wszystkie sterowniki w ramach jednego pojazdu są połączone ze sobą za pomocą redundanтной magistrali pojazdu (rys. 3). Komunikacja po magistrali pojazdu zrealizowana jest zgodnie z protokołem CANopen [18].

W każdym pojeździe znajduje się sterownik nadrzędny pojazdu, czyli sterownik odpowiedzialny za sterowanie systemami znajdującymi się w tym pojeździe, przede wszystkim systemem napędowym i hamowania. Sterownik nadrzędny pojazdu stanowi węzeł nadrzędny sieci CANopen (CAN Open Master). Funkcjonalność węzła CANopen Master została zaimplementowana zgodnie

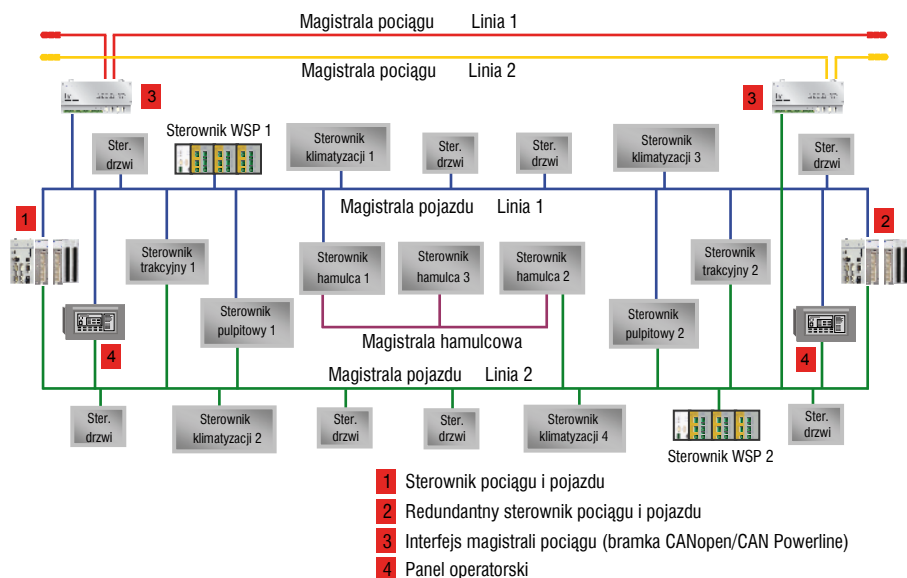


Rys. 3. Koncepcja redundancji magistrali pociągu i pojazdu

z normą DS 301 V 4.02. Drugi sterownik pojazdu stanowi sterownik redundantny. Oznacza to, że sterownik ten stale sprawdza czy sterownik pełniący funkcję CANopen Master wysyła wiadomości CAN. W przypadku gdy sterownik pełniący funkcję CANopen Master zaprzestaje wysyłania wiadomości, drugi sterownik automatycznie przejmuje funkcję CANopen Master.

Do każdej magistrali pojazdu podłączony jest jeden interfejs magistrali pociągu. Oba interfejsy przekazują te same dane. W ten sposób, w przypadku awarii jednego z interfejsów, zostaje zachowana komunikacja pociągu.

Poszczególne sterowniki wchodzące w skład systemu sterowania podłączone są do obu magistrali pojazdu albo tylko do jednej z nich. Do obu magistrali pojazdu podłączone są sterowniki pełniące funkcje sterowania związane bezpośrednio z jazdą lub hamowaniem zespołu trakcyjnego. Wszystkie dane wysyłane przez sterowniki podłączone do obu magistrali pojazdu wysyłane są na obu magistralach CAN jednocześnie. Sterowniki podłączo-



- 1 Sterownik pociągu i pojazdu
- 2 Redundantny sterownik pociągu i pojazdu
- 3 Interfejsy magistrali pociągu (bramka CANopen/CAN Powerline)
- 4 Panel operatora

Rys. 4. Schemat struktury systemu sterowania dla zespołu trakcyjnego

ne do obu magistrali pojazdu, które odbierają dane z danego sterownika, wykorzystują dane z pierwszej magistrali CAN, jeżeli nie wykryją zaniku transmisji po tej magistrali. W przypadku wystąpienia błędu wykorzystywane są dane z drugiej magistrali. Sterowniki podzespołów tego samego typu, posiadające jeden interfejs CAN, podłączone są do różnych magistrali pojazdu, aby w przypadku uszkodzenia jednej z magistral sterownik pojazdu nie utracił komunikacji ze wszystkimi sterownikami podzespołów tego typu. Dotyczy to przede wszystkim sterowników drzwi oraz sterowników klimatyzacji.

Sterowniki podzespołów podłączone do magistrali pojazdu stanowią węzły podporządkowane sieci CAN Open (CAN Open Slave). Funkcjonalność węzła CAN Open Slave została zaimplementowana zgodnie z normą DS 301 V 4.01.

Budowa systemu sterowania Wprowadzenie

Uproszczony schemat struktury systemu sterowania dla zespołu trakcyjnego przedstawiono na rysunku 4.

W każdym pojeździe znajdują się systemy związane ze sterowaniem pociągiem oraz ze sterowaniem pojazdem.

Do systemu sterowania pociągiem zaliczają się następujące urządzenia:

- sterownik pociągu
- sterownik pulpitowy
- panel operatorski.

Są to urządzenia, które znajdują się w każdej połowie pojazdu, ale zawsze wykorzystywane są tylko te, które znajdują się w połowie pojazdu z aktywną kabiną. Działanie tych urządzeń dotyczy nie tylko pojazdu w którym się znajdują, ale całego pociągu.

Do sterowania pojazdem zaliczają się sterowniki pojazdu oraz wszystkie systemy sterowania współpracujące z tymi sterownikami.

Sterowniki systemu sterowania pociągiem

1. Sterownik pociągu

Sterownik pociągu realizuje sterowanie pociągiem (jeden, dwa lub trzy zespoły trakcyjne). Sterownik pociągu nie musi mieć własnych wejść ani wyjść. Wszystkie sygnały wejściowe i wyjściowe doprowadzone będą albo do systemu sterowania pojazdu albo do rozproszonych sterowników komunikujących się po magistrali pojazdu. Algorytm sterowania pociągiem realizowany jest przez osobny podprogram w głównym sterowniku pojazdu. Funkcje sterowania pociągiem przejmuje sterownik pojazdu znajdujący się w połowie zespołu trakcyjnego z kabiną aktywną. Rozwiązanie takie zapewnia dużą niezawodność systemu, ponieważ nawet w przypadku pociągu składającego się z jednego pojazdu zapewniona jest redundancja sterownika pociągu. W przypadku awarii sterownika realizującego algorytm sterowania pociągiem, funkcję sterownika pociągu przejmuje drugi sterownik pojazdu prowadzącego.

2. Sterownik pulpitowy

Sterownik pulpitowy umieszczony jest w pobliżu pulpitu maszynisty. Wyposażony jest w odpowiednią liczbę modułów wejściowych i wyjściowych, umożliwiających odbieranie sygnałów z pulpitu oraz sterowanie lampkami sygnalizacyjnymi. Ponieważ sterownik pulpitowy jest urządzeniem związanym ze sterowaniem pociągiem, dlatego zrealizowany jest z wykorzystaniem sterownika posiadającego podwójny interfejs CAN (np. sterownik CPU 723-T wyposażony w moduły wejść i wyjść) i podłączony jest do systemu sterowania zespołu trakcyjnego za pośrednictwem obu magistral pojazdu. Takie rozwiązanie zapewnia poprawne funkcjonowanie pomimo awarii jednej z magistral. Przykładowy widok sterownika pulpitowego przedstawiony jest na rysunku 5. Liczba zastosowanych modułów wejść i wyjść zależy od konkretnego zastosowania.



Rys. 5. Sterownik pulpitowy

3. Panel operatorski

W systemie sterowania zespołu trakcyjnego stosowany jest panel operatorski szwajcarskiej firmy PIXY AG typu INC-60 lub INC-70 w wersji dotykowej lub z przyciskami, w zależności od życzenia klienta. Panel ten jest komputerem wyposażonym w szereg interfejsów komunikacyjnych, zintegrowanym z kolorowym wyświetlaczem LCD. Aluminiowa obudowa z żebrami chłodzącymi (chłodzenie pasywne) gwarantuje odporność urządzenia na trudne warunki eksploatacji. Urządzenie spełnia wymagania normy kolejowej EN 50155. Panel wyposażony jest w pamięć FLASH, co umożliwia gromadzenie danych diagnostycznych, które następnie mogą być przegrane na dysk komputera przenośnego w celu analizy. Panel operatorski INC-70 w wersjach z przyciskami i dotykowej przedstawiono na rysunku 6.

Panele operatorskie firmy PIXY są szeroko stosowane na torze kolejowym w Polsce oraz innych krajach europejskich (Szwajcaria, Niemcy, Holandia, Austria, Czechy) [20].



Rys. 6. Panel operatorski INC-70 w wersji z przyciskami (po lewej) oraz dotykowej (po prawej) [20]

Panel operatorski stanowi interfejs między maszynistą a systemem sterowania. W zależności od konfiguracji systemu panel realizować może następujące funkcje:

- logowanie maszynisty – identyfikacja osoby prowadzącej pojazd, co zabezpiecza pociąg przed nieautoryzowanym dostępem
- prezentowanie stanu podsystemów pojazdu/pociągu
- diagnozowanie podzespołów pociągu/pojazdu: wyświetlanie odpowiednich alarmów i ostrzeżeń
- uruchamianie testów pojazdu realizowanych na postoju (np. próba hamulca, szczelności układu przewodu głównego)
- zastąpienie urządzeń pulpitowych podłączonych do sterownika pulpitowego, w przypadku jego awarii, wskaźnikami i zadajnikami wirtualnymi
- archiwizowanie danych diagnostycznych, alarmów, ostrzeżeń i logowania.

Wymiana danych między panelem a systemem sterowania realizowana będzie za pośrednictwem magistrali CAN. Ponieważ panel operatorski jest urządzeniem związanym ze sterowaniem pociągiem, dlatego wyposażony jest również w podwójny interfejs CAN, co umożliwia jego podłączenie do systemu sterowania zespołu trakcyjnego za pośrednictwem obu magistral pojazdu i zapewnia poprawne funkcjonowanie pomimo awarii jednej z magistral.

Sterowniki systemu sterowania pojazdem

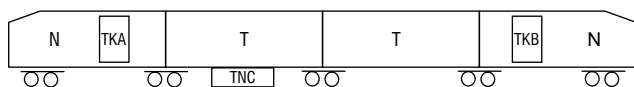
1. Wprowadzenie

W skład systemu sterowania pojazdem wchodzi następujące elementy:

- sterowniki pojazdu
- sterowniki systemu napędowego
- rozproszony system sterowania pneumatyki i hamulców
- sterowniki układu przeciwoślizgowego przy hamowaniu (WSP – *Wheel Slide Protection*)
- sterowniki drzwi
- sterowniki klimatyzacji
- sterowniki wyłącznika szybkiego
- sterowniki WC.

Wszystkie te sterowniki powinny być wyposażone w interfejs CAN i umożliwiać komunikację zgodną ze standardem CANopen. Sterowniki podsystemów związanych bezpośrednio z prowadzeniem jazdy powinny być wyposażone w podwójny interfejs CAN, umożliwiający podłączenie sterowników do obu magistrali CAN.

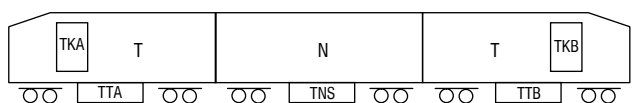
rech wagonów, z których dwa skrajne są wagonami napędnymi, natomiast dwa środkowe są wagonami tocznymi.



Rys. 10. Rozmieszczenie tablic na czterowagonowym zespole trakcyjnym o układzie osi Bo-2-2-2-Bo

TKA – tablica kabinowa wagonu napędnego A, TKB – tablica kabinowa wagonu napędnego B, TNC – tablica na podwoziu wagonu tocznego C

Na rysunku 11 przedstawiono przykładowe rozmieszczenie tablic na trójwagonowym zespole trakcyjnym o układzie osi 2-2-Bo-Bo-2-2. Zespół składa się z trzech wagonów, z których środkowy jest napędny, natomiast dwa skrajne toczne.



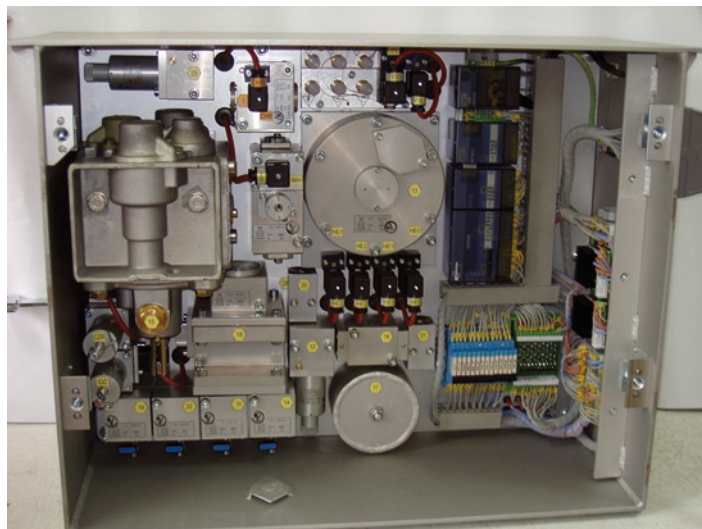
Rys. 11. Rozmieszczenie tablic na trójwagonowym zespole trakcyjnym o układzie osi 2-2-Bo-Bo-2-2

TKA – tablica kabinowa wagonu tocznego A, TKB – tablica kabinowa wagonu tocznego B, TTA – tablica na podwoziu wagonu tocznego A, TTB – tablica na podwoziu wagonu tocznego B, TNS – tablica na podwoziu wagonu napędnego (ze sterownikiem mikroprocesorowym)

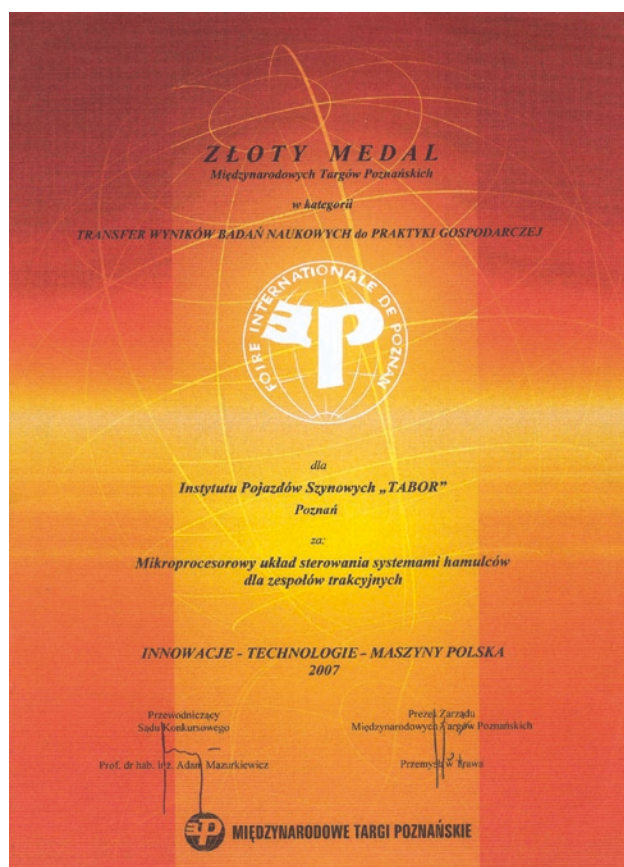
Na rysunkach 12 i 13 przedstawiono układ zaprezentowany w 2007 r. na Międzynarodowych Targach Poznańskich, natomiast na rysunku 14 – Złoty Medal, przyznany na targach za ten układ.



Rys. 12. Kabinowa tablica hamulcowa



Rys. 13. Wagonowa tablica hamulcowa



Rys. 14. Złoty Medal Międzynarodowe Targi Poznańskie 2007

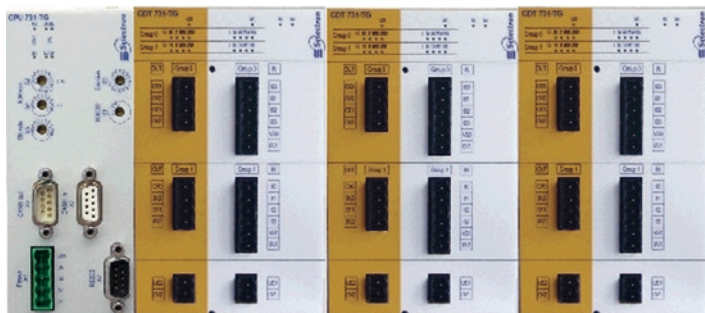
Konfiguracja sterownika (ściśle związana z konfiguracją układu hamowania) zależy od rodzaju i układu zespołu trakcyjnego. Przykładowa konfiguracja składa się z trzech sterowników: dwóch sterowników tablic wagonów napędnych oraz sterownika tablicy wagonu tocznego (rys. 10). Sterowniki te połączone są za pomocą hamulcowej magistrali CAN, zamykającej się w obrębie jednego zespołu trakcyjnego. Podczas jazdy zespołu trakcyjnego jeden ze sterowników tablic wagonów napędnych pełni funkcję sterownika Master pneumatyki i hamulców. Każdy ze sterowników tablic wagonów napędnych podłączony jest do systemu sterowania zespołu trakcyjnego za pośrednictwem innej magistrali pojazdu.

Takie rozwiązanie zapewnia poprawne funkcjonowanie układu pomimo awarii jednej z magistral pojazdu.

5. Sterowniki układu przeciwoślizgowego przy hamowaniu

Sterownik układu przeciwoślizgowego przy hamowaniu, realizujący wykrywanie poślizgu przy hamowaniu oraz jego likwidację dzięki odpowiedniemu sterowaniu zaworów upustowych, opisany jest w [2].

Sterownik ten składa się z jednostki centralnej CPU 731-TG oraz z odpowiedniej liczby modułów przeciwoślizgowych CDT 731-TG. Moduł CDT 731-TG opracowany jest zgodnie z wymaganiami norm EN 61508, EN 50128 oraz EN 50129. Obecnie moduł jest w trakcie uzyskiwania świadectwa na zgodność z SIL2 (*Safety Integrated Level 2*). Każdy z modułów obsługuje jeden wózek (2 osie). Moduł zapewnia wejścia licznikowe dla czujników prędkości oraz wyjścia cyfrowe do sterowania zaworów upustowych. Moduł umożliwia przeprowadzanie testów kanałów wejściowych i wyjściowych. Zastosowanie modułu umożliwia zrealizowanie układu przeciwoślizgowego spełniającego wymagania karty UIC 541-05. W zespole trakcyjnym zostaną zastosowane dwa sterowniki przeciwoślizgowe, po jednym na każde pół zespołu trakcyjnego. Sterownik przeciwoślizgowy, wraz z czujnikami prędkości osi oraz zaworami upustowymi, realizuje wykrywanie i likwidację poślizgu przy hamowaniu oraz, opcjonalnie, wykrywanie i likwidację poślizgu przy jeździe. Widok sterownika układu przeciwoślizgowego przedstawiono na rysunku 15.



Rys. 15. Sterownik układu przeciwoślizgowego hamowania

6. Sterowniki drzwi

Sterowniki drzwi dostarczane są przez ich producenta. Sterowniki drzwi wyposażone są w jeden interfejs CAN. Sterowniki sąsiadujących drzwi powinny być podłączone do różnych magistral pojazdu tak, aby zapewnić możliwość przemieszczania pasażerów w przypadku uszkodzenia jednej z magistrali. Sterowniki drzwi otrzymują od sterownika pojazdu rozkazy dotyczące stanu drzwi oraz przekazują do sterownika pojazdu dane diagnostyczne.

7. Sterowniki klimatyzatorów

Sterowniki układów klimatyzacji dostarczane są przez ich producenta. Sterowniki mogą być wyposażone w jeden lub dwa interfejsy CAN. W przypadku zastosowania jednego interfejsu CAN sterowniki układów klimatyzacji znajdujących się w jednej połowie zespołu trakcyjnego powinny być podłączone do dwóch różnych magistrali pojazdu. Zadawanie wielkości parametrów dotyczących pracy układów klimatyzacji może odbywać się, w zależności od konfiguracji układu, za pomocą panelu operatorskiego zespołu trakcyjnego lub za pomocą specjalnego panelu

sterująco-diagnostycznego, stanowiącego część systemu klimatyzacji.

Diagnostyka

Prezentowany system sterowania zespołem trakcyjnym wyposażony jest w system diagnostyki pokładowej. Zadaniem diagnostyki pokładowej jest nadzorowanie prawidłowości działania pojazdu na podstawie analizy pochodzących z niego sygnałów [4, 5]. Zastosowanie diagnostyki pokładowej może zwiększyć bezpieczeństwo i niezawodność pojazdów szynowych, a także jego podatność obsługową.

Diagnostyka pokładowa polega na monitorowaniu funkcji realizowanych przez układ sterowania i określaniu stanu mechanicznych i elektrycznych części najważniejszych podzespołów wchodzących w skład pojazdu [4, 5, 14], w szczególności sterowników mikroprocesorowych, zarówno sterowników wchodzących w skład rozproszonego systemu sterowania, jak i innych, istotnych dla funkcjonowania pojazdu. Zastosowanie w systemie transmisji protokołu CANopen zapewnia wysoki poziom diagnozowania poprawności działania poszczególnych jednostek mikroprocesorowych [18]. Diagnostyka pokładowa obejmuje zarówno testy przeprowadzane przed rozpoczęciem jazdy, jak i kontrolę czynną podczas jazdy.

Informacje diagnostyczne wykorzystywane są na kilka sposobów. Przede wszystkim wykorzystywane są bezpośrednio do sterowania pojazdem. Przykładowo, w przypadku uszkodzenia urządzeń głównych systemów następuje automatyczne zatrzymanie pojazdu. Oprócz tego informacje diagnostyczne istotne dla prowadzenia pojazdu (komunikaty o usterkach oraz środki zaradcze) prezentowane są na bieżąco maszyniście. Może on też za pomocą panelu operatorskiego uzyskać dostęp do innych interesujących go danych. Jednocześnie dane diagnostyczne zapisywane są w pamięci nieulotnej, skąd mogą zostać odczytane przez personel warsztatowy, a za pomocą interfejsu diagnostycznego mogą zostać przeniesione do komputera PC. Umożliwia to dalsze przetworzenie danych i poddanie ich szczegółowej analizie, która ma na celu ocenę stanu poszczególnych podzespołów. Dzięki temu można wykryć pogorszenie stanu urządzeń i elementów na wczesnym etapie. W dalszym etapie rozwoju systemu sterowania przewidziane jest wysyłanie informacji o uszkodzeniach z pociągu do zakładów utrzymania taboru drogą radiową. Będzie ono wykonywane automatycznie lub na żądanie obsługi podczas jazdy lub postoju (przerw podczas jazdy).

Możliwa jest również diagnostyka pracy systemu sterowania podczas jazdy, przeprowadzana za pomocą przenośnego komputera PC. Komputer, wyposażony w kartę CAN, może być podłączony do magistrali CAN za pomocą gniazda serwisowego, co umożliwia monitorowanie transmisji informacji po tej magistrali oraz monitorowanie działania wszystkich sterowników wchodzących w skład systemu sterowania podłączonych do tej magistrali. Oprócz tego komputer może zostać podłączony do wybranego sterownika za pomocą łącza RS-232 w celu odbioru danych diagnostycznych. Dane te mogą być na bieżąco prezentowane w postaci tekstowej i graficznej, mogą być również gromadzone na twardym dysku komputera w celu poddania ich późniejszej analizie. Tego rodzaju diagnostyka możliwa jest dzięki zastosowaniu oprogramowania diagnostycznego zainstalowanego na komputerze przenośnym oraz w sterownikach. Zagadnienie to omówione jest szerzej w [6, 7].

Podsumowując, diagnostyka wspomaga prace związane z utrzymaniem pojazdu, co prowadzi do zmniejszenia kosztów utrzymania oraz zwiększenia niezawodności i wskaźnika gotowości technicznej. Diagnostyka prowadzi również do zwiększenia bezpieczeństwa, ponieważ umożliwia wczesne wykrycie sytuacji awaryjnych. Zwiększenie bezpieczeństwa osiąga się również przez to, że system sterowania w sytuacjach wyjątkowych (awaryjnych), wykrytych przez system diagnostyki, automatycznie podejmuje odpowiednie działania.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono system sterowania zespołem trakcyjnym, w którym zastosowano redundantną magistralę pociągu, redundantną magistralę pojazdu oraz redundantne sterowniki pojazdu i pociągu. Sterowniki związane z systemem sterowania pociągu oraz prowadzeniem jazdy i hamowaniem podłączone są do obu magistral pojazdów. System zaprojektowany jest w oparciu o wysokiej jakości, mające liczne referencje, sterowniki firmy Selectron, spełniające wymagania norm kolejowych. Wymienione cechy systemu, w połączeniu z odpowiednim oprogramowaniem, zapewniają wysoką niezawodność, bezpieczeństwo oraz podatność obsługi systemu. Elastyczność systemu zapewnia możliwość jego łatwego dostosowania do innych potrzeb klienta. □

Literatura:

- [1] Barna G.: *Niezawodność i bezpieczeństwo mikroprocesorowych systemów sterowania pojazdów szynowych w porównaniu z systemami konwencjonalnymi*. XVI Konferencja Naukowa Pojazdy Szynowe, Poznań-Kiekrz, 13–16 września 2004 r.
- [2] Barna G., Stypka M.: *Układ wykrywania i likwidacji poślizgu dla zmodernizowanej lokomotywy spalinowej ST44*. XVII Konferencja Naukowa Pojazdy Szynowe, Kazimierz Dolny, 13–15 września 2006 r.
- [3] Beikirch H., Voss M., Kirchner K.-P., Schultze H.: *CAN powerline application for rolling stock*. 8th International CAN Conference (ICC), Las Vegas (Nevada), USA, 2002.
- [4] Biliński J., Marciniak J.: *Nowoczesne urządzenia diagnostyki stacjonarnej i pokładowej lokomotyw elektrycznych dużych prędkości*. Problemy kolejnictwa, zeszyt 113, s. 49–72. Warszawa 1993.
- [5] Durzyński Z.: *Sterowanie i diagnozowanie nowoczesnych pojazdów szynowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej – Maszyny Robocze i Pojazdy, nr 42, s. 6–28. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1995.
- [6] Haba M.: *Wizualizacja i archiwizacja danych diagnostycznych z mikroprocesorowego układu sterowania zmodernizowanej lokomotywy ST44*. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, 2/2006, s. 29–36, Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Warszawa, 2006.
- [7] Haba M.: *Programy wspomagające uruchamianie mikroprocesorowych systemów sterowania w pojazdach szynowych*. Pojazdy Szynowe 2/2007, s. 45–52.
- [8] Johansson R.: *Dependability characteristics and safety criteria for an embedded distributed brake control system in railway freight trains*. Chalmers Lindholmen University College, Göteborg Sweden, Report no.8, August 2001.
- [9] Kadziński A.: *Wprowadzenie do zagadnień bezpieczeństwa systemów kolejowych pojazdów szynowych*. XII Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe '96”, Poznań-Rydzyń, 21–24 października 1996 r., t. 2, s. 133–138.
- [10] Kaluba M.: *Mikroprocesorowy układ sterowania systemami hamulców dla zespołów trakcyjnych*. Pojazdy Szynowe 4/2007, s. 7–10.
- [11] Kaluba M.: *Mikroprocesorowe sterowanie hamulcami w pojazdach trakcyjnych*. Artykuł przyjęty na XVIII Konferencję Naukową Pojazdy Szynowe, Katowice-Ustroń, 17–19 września 2008 r.
- [12] Iwanowski J., Lipińska D.: *Mikroprocesorowy układ sterowania zespołem wentylacyjno-grzewczym dla tramwaju*. Pojazdy Szynowe 1/2008, s. 50–55.
- [13] Mastowska T.: *Hamulce na medal*. Kurier PKP 34/26.08.2007 r., s. 11.
- [14] Marciniak J.: *Technika komputerowa w pojazdach szynowych*. Prace Naukowe Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej, nr 86, Wrocław 2002, s. 131–146.
- [15] Riedel B., Studer M.: *Innovative communication and control systems in rail vehicles*. Rail Industry International, <http://www.engineerlive.com/rail-international/engineering-and-maintenance/1379/innovative-communication-and-control-systems-in-rail-vehicles.shtml>
- [16] Schumacher P. M., Riedel B.: *CAN in Railroad and Tramway Applications*. Proceedings of the 5th International CAN Conference (ICC) 1998.
- [17] Stypka M., Barna G.: *Struktura mikroprocesorowego układu sterowania systemem hamowania elektropneumatycznego pojazdów trakcyjnych*. Artykuł przyjęty na XVIII Konferencję Naukową Pojazdy Szynowe, Katowice-Ustroń, 17–19 września 2008 r.
- [18] CAN in Automation, <http://www.can-cia.org/>
- [19] Selectron Systems AG, <http://www.selectron.ch>
- [20] PIXY AG, <http://www.pixy.ch>

Autorzy

mgr inż. Grażyna Barna

dr inż. Zbigniew Durzyński

Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” Poznań

e-mail: elektrotechnika@tabor.com.pl