

Mikroprocesorowy układ sterowania systemem hamowania elektropneumatycznego zespołów trakcyjnych

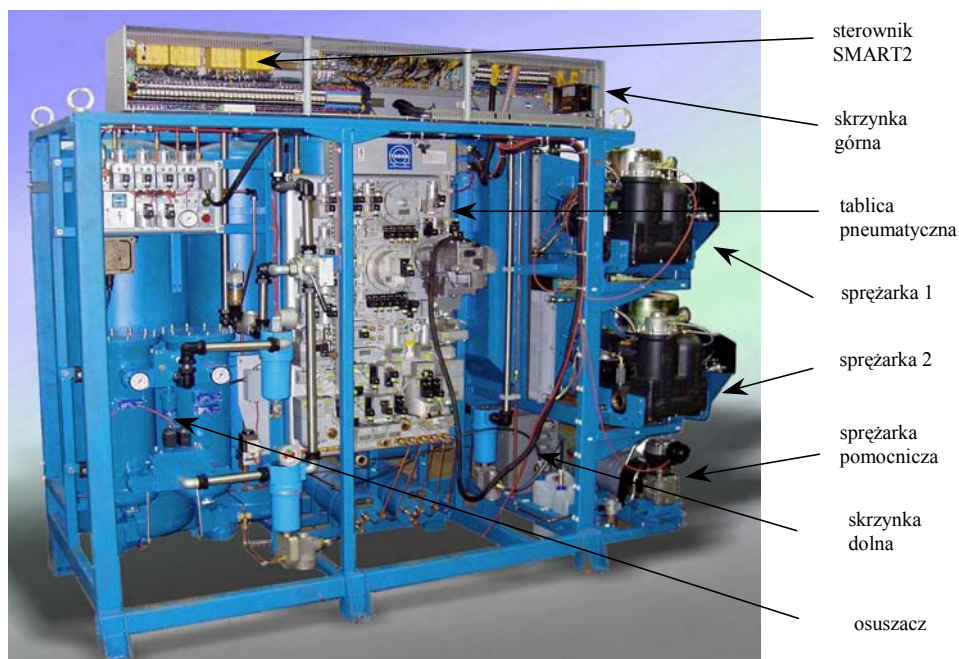
W artykule przedstawiono strukturę sprzętową mikroprocesorowego układu sterowania systemem hamowania elektropneumatycznego zespołów trakcyjnych. Omówiono system komunikacji układu sterowania oraz koncepcję redundancji. Przedstawiono funkcje układu sterowania ze szczególnym naciskiem na współpracę hamulca elektropneumatycznego oraz elektrodynamicznego. Przedstawiono przebiegi z działania układu. Artykuł powstał w ramach projektu badawczego „Rozproszony system mikroprocesorowego sterowania układami: napędowym, hamowania i pomocniczymi w pojazdach szynowych z napędem spalinowym” N502 028 31/3533 oraz projektu badawczego „Mechatroniczny system współdziałania wielu układów hamulców zespołów trakcyjnych” Nr 4T 12C 01530 finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

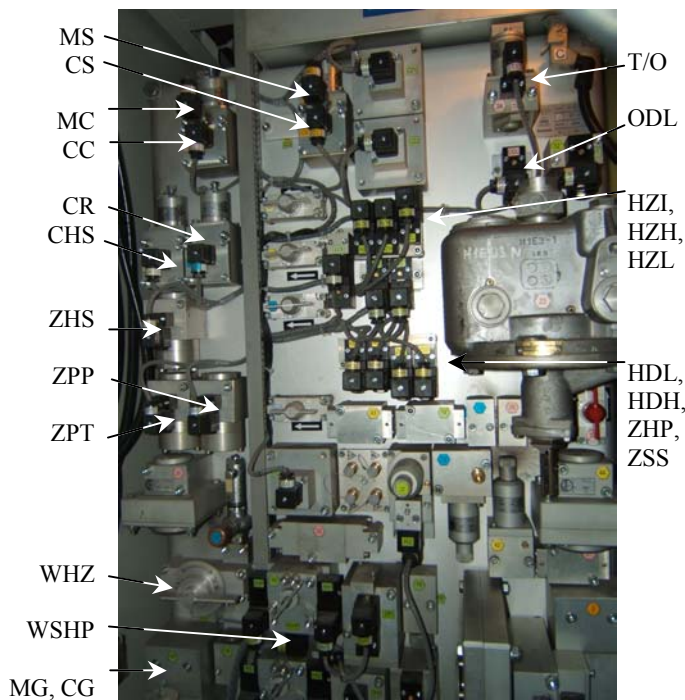
1 Wprowadzenie

Przedmiotem artykułu jest mikroprocesorowy układ sterowania systemem hamowania elektropneumatycznego zespołów trakcyjnych. Układ ten, w zależności od realizacji, składa się z jednego sterownika mikroprocesorowego lub większej ich liczby, komunikujących się ze sobą za pośrednictwem magistrali CAN (układ rozproszony). Sterowniki wchodzące w skład mikroprocesorowego układu sterowania znajdują się na tablicach hamulcowych. Układ sterowania zastosowany może być na dowolnych pojazdach trakcyjnych. W niniejszym artykule przedstawiony jest układ sterowania przeznaczony dla zespołów trakcyjnych.

Opracowanie złożonego systemu sterowania układem kilku tablic pneumatycznych dla zespołów trakcyjnych poprzedziły prace nad systemem pneumatycznym opartym na jednej tablicy pneumatycznej i współpracującej z jednym sterownikiem mikroprocesorowym. W latach 2002-2004 w Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR” opracowano i zrealizowano mikroprocesorowe układy sterowania systemem pneumatycznym dla zmodernizowanej lokomotywy ET22 i dwóch zmodernizowanych lokomotyw ST44. Rozwiązania takie zostały przedstawione w [5, 6]. Na rys. 1 przedstawiony jest widok kontenera dla zmodernizowanej lokomotywy ET22, a na rys. 2 przedstawiony jest widok tablicy pneumatycznej zmodernizowanej lokomotywy ST44.

Rys. 1. Kontener z systemem pneumatycznym dla zmodernizowanej lokomotywy ET22





Rys. 2. Tablica pneumatyczna zmodernizowanej lokomotywy ST44

W tych rozwiązaniach sterowniki mikroprocesorowe umieszczone są obok tablic pneumatycznych, a sygnały sterujące i diagnostyczne doprowadzone są na wejścia i wyjścia sterownika mikroprocesorowego krótkimi przewodami.

W rozwiązaniu układu pneumatyki przedstawionym w artykule sterownik mikroprocesorowy zintegrowany jest z tablicą pneumatyczną i znajduje się w jej skrzyni (patrz rys. 11 i rys. 12). Przewody sygnałów wejściowych i wyjściowych dochodzące do sterownika mikroprocesorowego zostały skrócone, zmniejsza się ilość połączeń i zwiększa pewność działania układu.

2. Działanie układu sterowania

2.1. Rodzaje hamulców

W elektrycznych zespołach trakcyjnych stosowanych jest kilka typów hamulców, które muszą ze sobą współdziałać w sposób zapewniający, z jednej strony, skuteczne i ekonomiczne hamowanie, z drugiej strony — bezpieczeństwo. Podstawowe rodzaje hamulców to hamulec pneumatyczny, hamulec elektropneumatyczny typu bezpośredniego oraz hamulec elektrodynamiczny. Oprócz tego stosowany jest również hamulec parkingowy, hamulec postojowy sprężynowy oraz hamulec szynowy [3, 4, 9, 12]. Mikroprocesorowy układ sterowania systemem hamowania elektropneumatycznego będący przedmiotem niniejszego artykułu może realizować następujące zasadnicze funkcje:

- współpracę hamulca elektropneumatycznego oraz elektrodynamicznego
- hamowanie podczas utrzymywania prędkości zadanej pociągu

- hamowanie nagłe na skutek zadziałania systemów SHP lub Radio-stop
- hamowanie na skutek zadziałania hamulca bezpieczeństwa (z możliwością jego „mostkowania przez maszynistę”).

Ogólna zasada działania **hamulca pneumatycznego zespolonego (PN)** jest następująca. Sprężarka dostarcza sprężone powietrze do zbiornika głównego. Sygnały z zaworu maszynisty lub z manipulatora hamulca powodują zmiany ciśnienia w przewodzie głównym. W pociągu przewód główny pełni zarówno funkcję zasilającą układy wykonawcze w sprężone powietrze jak i funkcję sterującą — przekazywanie sygnałów o żądanym poziomie hamowania. Z przewodu głównego powietrze przedostaje się poprzez zawory rozrządcze do zbiorników pomocniczych.

Obniżenie ciśnienia w przewodzie głównym, spowodowane upuszczeniem przez maszynistę części powietrza z przewodu głównego za pośrednictwem manipulatora hamulca, powoduje przestawienie wagonowych zaworów rozrządczych pociągu w położenie, w którym sprężone powietrze przepływa ze zbiorników pomocniczych, za pośrednictwem zaworów rozrządczych do przekładników ciśnienia a następnie do cylindrów hamulcowych (jednocześnie następuje odcięcie zbiornika pomocniczego od przewodu głównego). W cylindrach hamulcowych sprężone powietrze powoduje powstanie siły i dalej poprzez przekładnię dźwigniową nacisk par ciernych, co wywołuje hamowanie pociągu. Poziom siły hamowania uzależniony jest od wielkości spadku ciśnienia w przewodzie głównym.

W przypadku **hamulca elektro-pneumatycznego (EP)** sprężone powietrze przepływa ze zbiorników pomocniczych do przekładników ciśnienia a następnie do cylindrów hamulcowych na skutek zasilania elektrozaworów, sterowanych elektrycznie na podstawie zadanej nastawy manipulatorem hamulca. Sygnały z manipulatora prowadzone są wzdłuż całego pociągu (linia długa) i dochodzą do każdego wagonu lub wózka (tablicy hamulcowej). Ten rodzaj hamowania oprócz elementów pneumatycznych zawiera dużo elementów elektrycznych i elektronicznych, które są bardziej podatne na zmienne warunki otoczenia i na uszkodzenia niż elementy pneumatyczne. Z drugiej strony jednak układy elektryczne hamulca (w porównaniu z układami hamulca pneumatycznego) eliminują opóźnienie wdrożenia hamowania i wydłużenie czasu narastania sił hamowania wzdłuż pociągu poprawiając wyraźnie jego skuteczność hamowania. Przy tym rodzaju hamowania poziom siły hamowania również uzależniony jest od nastawienia O/P (RIC/RAPID)

oraz od stanu obciążenia pojazdu (informacja przekazywana przy pomocy sygnałów binarnych Próżny/Ładowny lub sygnałów analogowych pochodzących z czujników masy). W wersji najbardziej zaawansowanej, do sterowania hamulcem EP można zastosować sterownik mikroprocesorowy. Do sterownika dochodzą sygnały z linii długiej oraz wszystkie sygnały z pulpitu oraz tablic pneumatycznych istotne dla sterowania hamulcem. Jedną z danych wejściowych jest informacja o prędkości pociągu, którą wykorzystuje się do wyznaczania opóźnienia hamowania. Prędkość tę sterownik wyznacza na podstawie pomierzonych prędkości osi (tak się dzieje zazwyczaj, gdy sterownik realizuje jednocześnie funkcję wykrywania i likwidacji poślizgu przy hamowaniu), otrzymuje ją z zewnętrznego urządzenia przeciwoślizgowego lub od sterownika pojazdu za pośrednictwem łącza szeregowego (np. CAN, RS485 lub RS232) lub sygnału analogowego. W tym przypadku sterowanie realizowane jest w pętli zamkniętej. Wartość ciśnienia w cylindrach hamulcowych dobierana jest tak, aby zapewnić żadaną wartość opóźnienia pociągu [8, 11].

Hamulec elektrodynamiczny (ED) w nowoczesnych pojazdach wymagany jest obligatoryjnie a realizowany jest przy pomocy przekształtników i silników trakcyjnych, które podczas takiego hamowania działają jak prądnica. Energia wytworzona przez silniki w pracy prądnicowej zwracana jest do sieci trakcyjnej lub wytracana na oporniku hamowania. Podstawowe zalety tego rodzaju hamowania to: energooszczędność, znaczne ograniczenie zużycia okładzin hamulcowych oraz niski poziom hałasu. Przykładowy przebieg siły hamulca ED przedstawiony jest na rys. 8. Hamulec ED stosuje się zawsze we współpracy (ang. *blending*) z hamulcem EP.

W układzie przedstawionym w niniejszym artykule wybór rodzaju hamowania odbywa się przy pomocy nastawnika układu hamulcowego. Do wyboru są następujące tryby hamowania: PN (hamowanie hamulcem pneumatycznym), EP (hamowanie hamulcem elektropneumatycznym), EP+ED (współpraca hamulca elektropneumatycznego i elektrodynamicznego).

Do realizowania współpracy hamulca ED i EP zastosowano sterownik mikroprocesorowy. Sterownik ten, na podstawie zadanej manipulatorem hamulca wartości opóźnienia, wysyła do sterowników przekształtników wartość zadanej siły hamowania ED. Po otrzymaniu zwrotnej wartości realizowanej siły, brakującą siłę hamowania sterownik uzupełnia za pomocą hamowania EP. Ponieważ ze względów ekonomicznych bardziej korzystny jest hamulec ED, zatem sterownik dąży do maksymalnego wykorzystania jego siły (działanie hamulca ED jest priorytetowe) z uwzględnieniem masy wszystkich wagonów (wózków) i zadanego przez maszynistę opóźnienia hamowania.

3. Struktura sprzętowa

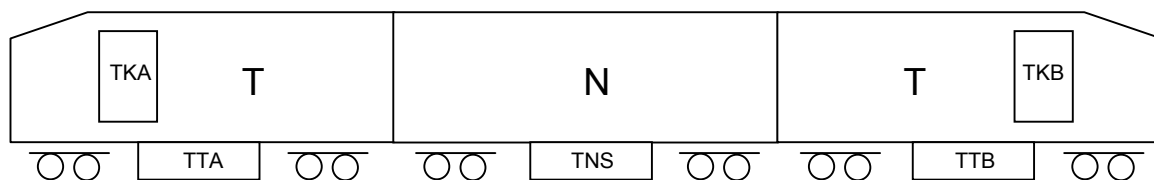
Układ mikroprocesorowy zintegrowany jest z układem sterowania hamulców, zrealizowanym w postaci tablic hamulcowych. Konfiguracja układu oraz rodzaj tablic zależy od typu pojazdu.

Układ realizowany jest w wersji scentralizowanej lub rozproszonej, w zależności od struktury układu hamulcowego. W dalszej części rozdziału przedstawiono dwie przykładowe konfiguracje systemu [1, 2] dla zespołów trakcyjnych.

3.1. Trójwagony zespół trakcyjny o układzie osi 2-2-Bo-Bo-2-2

Zespół składa się z trzech wagonów, z których środkowy jest napędny, natomiast dwa skrajne toczne. Możliwa jest trakcja wielokrotna. Na podwoziu każdego wagonu oraz w kabinach znajduje się tablica pneumatyczna (razem 5 sztuk). Na tablicy znajdującej się na podwoziu wagonu napędnego znajduje się mikroprocesorowy sterownik hamulców. Na rys. 3 przedstawiono schemat pokazujący rozmieszczenie tablic na zespole trakcyjnym.

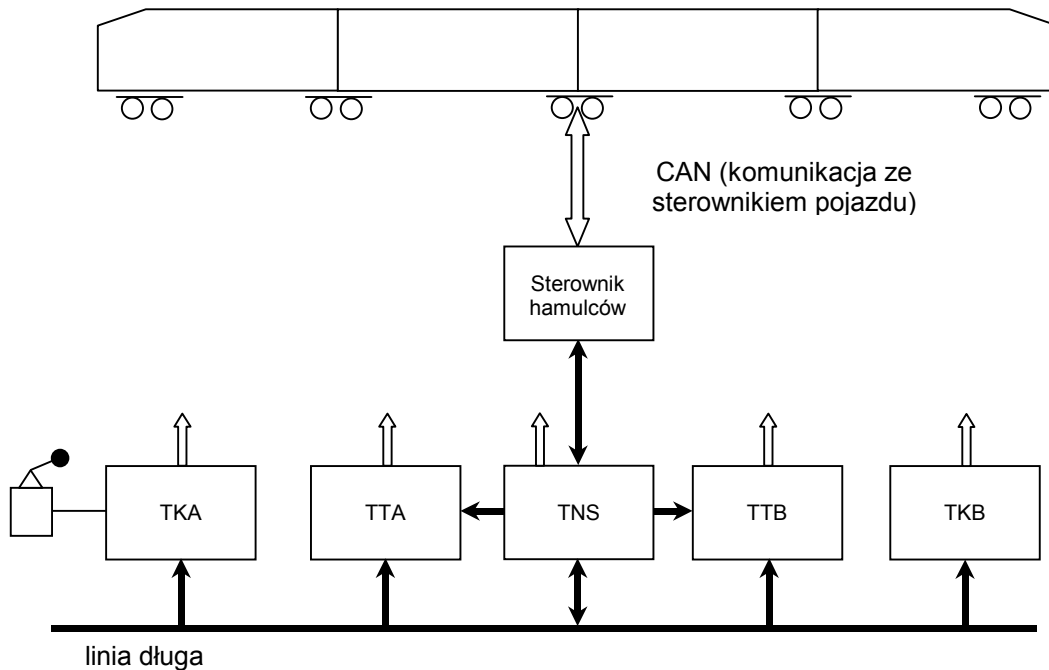
Schemat połączeń sterownika hamulców z tablicami pneumatycznymi oraz ze sterownikiem pojazdu znajduje się na rys. 4. Sterownik znajduje się na tablicy pneumatycznej wagonu napędnego i wyposażony jest w wejścia cyfrowe, poprzez które odbiera informacje o stanie tablic i pojazdu. Wyposażony jest on



Rys. 3. Rozmieszczenie tablic w trójwagony zespół trakcyjny o układzie osi 2-2-Bo-Bo-2-2

Legenda (wspólna dla rys. 3 i 4):

- 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 A
- ↑ – sygnały sprzętowe 24VDC do sterownika pojazdu



Rys. 4. Schemat połączeń scentralizowanego sterownika hamulców z tablicami pneumatycznymi oraz sterownikiem pojazdu

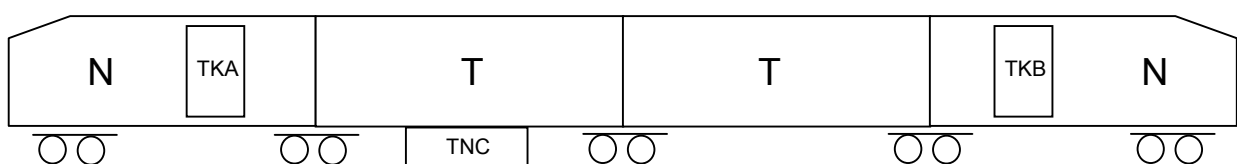
również w wyjścia cyfrowe, za pomocą których steruje odpowiednimi układami wykonawczymi wszystkich pięciu tablic pneumatycznych. Sterownik łączy się po magistrali CAN ze sterownikiem nadrzędnym, którym jest sterownik pojazdu. W przypadku awarii sterownika hamulców niemożliwe jest hamowanie hamulcem ED, możliwe jest jednak nadal hamowanie EP i PN. W takim przypadku następuje natychmiastowe automatyczne przełączenie układu hamulca w tryb EP oraz wyświetlona zostaje odpowiednia informacja dla maszynisty.

3.2. Czterowagonowy zespół trakcyjny o układzie osi Bo-2-2-2-Bo

Zespół trakcyjny składa się z czterech wagonów, z których dwa skrajne są wagonami napędzonymi, natomiast dwa środkowe są toczne. Możliwa jest trakcja wielokrotna. W przedziale maszynowym każdego wagonu napędzonego oraz na podwoziu jednego z wagonów tocznych znajduje się tablica pneumatyczna

(razem 3 sztuki). Na rys. 5 przedstawiono schemat pokazujący rozmieszczenie tablic na zespole trakcyjnym.

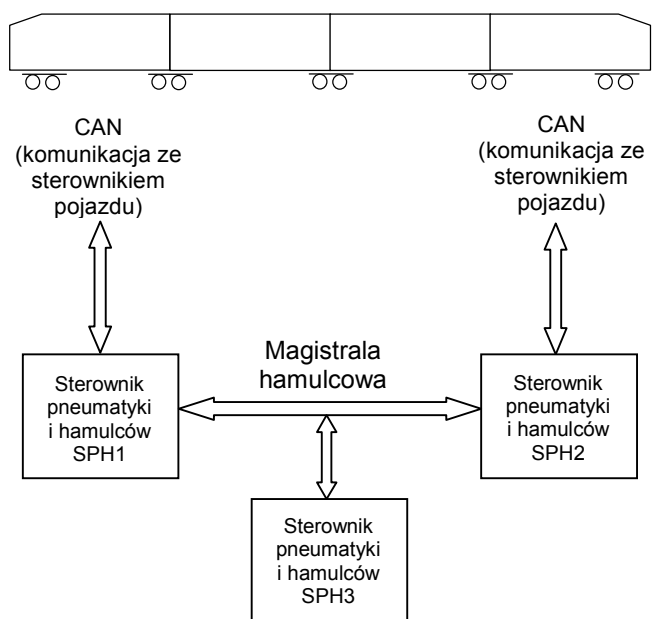
Rozproszony sterownik hamulców składa się z 3 sterowników (rys. 6). Sterowniki SPH1 i SPH2 są sterownikami tablic pneumatycznych wózków napędzonych, sterownik SPH3 jest sterownikiem tablicy pneumatycznej wózka tocznego. Sterownik SPH1 lub SPH2 pełni funkcję sterownika Master systemu hamowania. Sterowniki te są połączone ze sobą własną magistralą hamulcową CAN, stosowaną tylko i wyłącznie do przesyłania informacji związanych z hamulcem. Ciągła diagnostyka sprawności sterowników przeprowadzana za pośrednictwem hamulcowej magistrali CAN zapewnia natychmiastowe wykrycie uszkodzenia sterownika. W przypadku awarii jednego ze sterowników następuje natychmiastowe automatyczne przełączenie układu hamulca tablicy z uszkodzonym sterownikiem w tryb EP, natomiast na pozostałych tablicach przełączenia takiego dokonują sterowniki tablic, o ile jest to konieczne.



Rys. 5. Rozmieszczenie tablic w czterowagonowym zespole trakcyjnym o układzie osi Bo-2-2-2-Bo

Legenda:

TKA – tablica kabinowa wagonu napędzonego A
 TKB – tablica kabinowa wagonu to napędzonego B
 TNC – tablica na podwoziu wagonu tocznego C



Rys. 6. Schemat połączeń rozproszonego sterownika hamulców z tablicami pneumatycznymi oraz ze sterownikiem pojazdu

4. Redundancja i bezpieczeństwo

Sygnaly z manipulatora hamulca (linia długa) prowadzone są wzdłuż całego pociągu i dochodzą do każdej tablicy hamulcowej. W niektórych sytuacjach oprócz manipulatora hamulca stosowany jest tzw. manipulator jazdy i spowalniania. W takim wypadku polecenie hamowania może być wydane jednym z dwóch manipulatorów, przy czym wyższy priorytet ma manipulator hamulca. Sterowanie linii długiej realizowane jest tylko przez manipulator hamulca. Polecenie hamowania wydawane przez manipulator jazdy i spowalniania przekazywane jest do mikroprocesorowego systemu sterowania hamulcem za pośrednictwem magistrali CAN.

W przypadku awarii mikroprocesorowego systemu sterowania hamulcem istnieje konieczność rozpatrzenia dwu przypadków:

1. hamowanie realizowane było manipulatorem hamowania (jest to przypadek bardziej korzystny),
2. hamowanie realizowane było nastawnikiem jazdy i spowalniania.

W pierwszym przypadku, gdy przy nastawie EP+ED nastąpi uszkodzenie mikroprocesorowego sterownika hamulca, mikroprocesorowy system sterowania układami hamulca powoduje automatyczne przełączenie w tryb hamowania EP. Jednocześnie sterownik lokomotywy na podstawie informacji o uszkodzeniu sterownika hamulca (brak komunikacji po magistrali CAN) wyłącza hamulec ED. Ponieważ zadawanie hamowania realizowane jest manipulatorem hamulca, zatem z linii długiej dostępne są sygnaly odpowiedniego stopnia hamowania. Układ hamowania realizuje odpowiedni stopień hamulca EP. Na panelu wyświetlane są odpowiednie komunikaty dla maszynisty. Hamowanie

jest kontynuowane bez zmiany skuteczności hamowania i konieczności podejmowania dodatkowych działań przez maszynistę.

W drugim przypadku, czyli w przypadku awarii mikroprocesorowego systemu sterowania przy nastawieniu ED+EP i wydania polecenia hamowania za pomocą nastawnika jazdy i spowalniania, rozproszony mikroprocesorowy system sterowania pneumatyką i hamulcami również powoduje automatyczne przełączenie w tryb hamowania EP. Ponieważ manipulator hamowania jest na pozycji 0, a zadawanie hamowania jest realizowane nastawnikiem jazdy i spowalniania, tablice hamulcowe realizują zerowy stopień hamowania (nastąpi wyluzowanie hamulca).

Na panelu wyświetlane są odpowiednie komunikaty dla maszynisty, a maszynista musi na nie zareagować hamując manipulatorem hamulca (jeżeli nie wykona tego przestawienia nie będzie realizowane hamowanie). Stwarza to niewielki stopień zagrożenia, spowodowanego dezorientacją maszynisty w sytuacji awaryjnej. Ponieważ jednak istnieje dźwignia hamowania nagłego, zagrożenie to nie jest zbyt duże. Celem jest więc stosowanie na pojeździe jednego manipulatora sterowania hamowaniem.

Podsumowując w przypadku systemu hamulcowego o opisaną powyżej strukturze, w przypadku awarii mikroprocesorowego systemu sterowania hamulcem niemożliwe jest, co prawda hamowanie hamulcem elektrodynamicznym oraz współdziałanie hamulców elektrodynamicznego i elektropneumatycznego, jednak w dalszym ciągu pozostają sprawne hamulce elektropneumatyczny oraz pneumatyczny, które mogą zostać użyte do zahamowania pojazdu lub pociągu. A zatem przy zastosowaniu systemu hamulców o redundantnej strukturze sprzętowej, mikroprocesorowy system sterowania układu hamulca zasadniczo nie jest systemem krytycznym ze względu na bezpieczeństwo, ponieważ pomimo jego uszkodzenia możliwe jest zahamowanie pojazdu lub pociągu.

5. Komunikacja

W przypadku rozproszonego systemu sterowania hamulców, sterowniki wchodzące w skład systemu połączone są ze sobą przy pomocy hamulcowej magistrali CAN. Jeden ze sterowników tablic wagonów napędnych pracuje w trybie Master, drugi w trybie Slave. Przyporządkowanie to nie jest dokonane na stałe, ale odbywa się na początku uruchomienia pojazdu. Stosowany jest następujący algorytm: sterownik tablicy znajdującej się w wagonie z aktywną kabiną jest sterownikiem Master, drugi jest sterownikiem Slave. Jeżeli w pojeździe żadna z kabin nie jest aktywna, co może mieć miejsce w przypadku jazdy wielokrotnej, sterownikiem Master zostaje sterownik o niższym adresie węzła CAN.

Programy obu sterowników są identyczne. W zależności od funkcji sterownika (Master albo Slave)

uruchamiane są odpowiednie bloki programowe, zależne od funkcji sterownika. Algorytm obliczeniowy realizowany jest jedynie przez sterownik Master. Sterownik Slave oraz sterownik wagonu tocznego przekazują jedynie do sterownika Master dane po hamulcowej magistrali CAN oraz odbierają tą samą drogą dane i polecenia sterowania wyjściami fizycznymi.

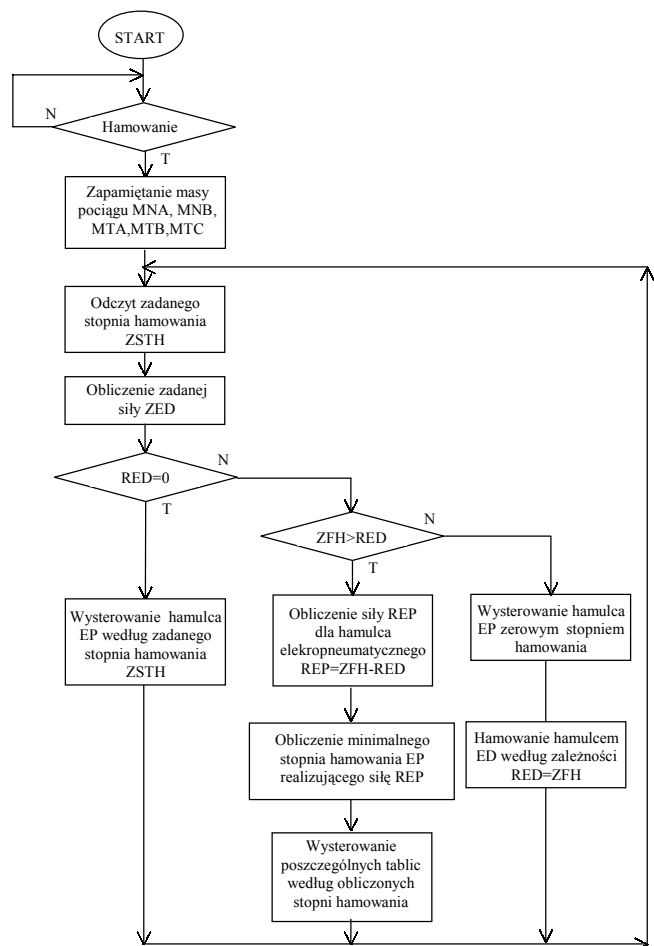
Sterowniki znajdujące się na tablicach hamulcowych w wagonach napędnych połączone są za pośrednictwem magistrali pojazdu ze sterownikami pojazdu oraz sterownikami napędu znajdującymi się w tych wagonach. Oba sterowniki, zarówno Master jak i Slave, odbierają po magistrali pojazdu do której są podłączone, dane ze sterownika pojazdu oraz dane ze sterowników napędu oraz wysyłają do nich dane diagnostyczne dotyczące stanu układu hamulcowego.

6. Algorytm

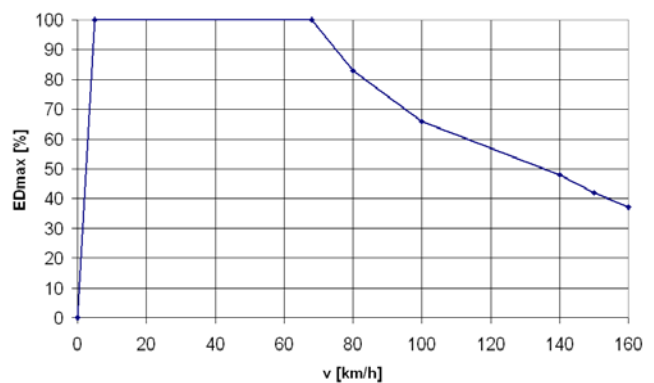
Pełny algorytm sterowania układem pneumatyki i hamulców elektrycznego zespołu trakcyjnego (e.z.t.) w układzie przedstawionym na rys. 6, realizowany przez sterowniki mikroprocesorowe SPH1, SPH2 i SPH3, jest algorytmem złożonym. Dla uproszczenia w artykule została przedstawiona część algorytmu realizowanego przez sterownik Master i dotycząca sterowania współpracą hamulca EP i ED.

Działanie algorytmu rozpoczyna się od momentu wdrożenia hamowania dowolnym manipulatorem hamulca przekazujący zadany stopień hamowania ZSTH (zadane opóźnienie hamowania). Dla każdego wózka e.z.t. realizowane są na bieżąco pomiary masy wózków napędnych (MAN, MBN) i tocznych (MAT, MCT, MBT), które w momencie wdrożenia hamowania są zapamiętywane i obowiązują do końca danego cyklu hamowania. Zapamiętane masy po uwzględnieniu przyjętego współczynnika mas wirujących oraz zadanej wartości opóźnienia są podstawą do wyliczenia maksymalnej siły hamowania FMAX i zadanej siły hamowania dla pojazdu ZFH oraz zadanej siły hamowania ZED dla hamulca ED. Ponieważ w momencie rozpoczęcia hamowania wartość realizowanej siły hamulca RED jest równa 0, następuje wysterowanie hamulca elektropneumatycznego EP do pełnej wartości zadanej. W miarę gdy wartość siły RED rośnie, na wózkach napędnych (NA,NB) następuje wycofywanie siły hamulca EP tak, by sumaryczna siła $FEP+RED \geq ZFH$. Gdy wartość realizowanej siły RED jest dostatecznie duża realizowane będzie również wycofanie siły hamulca EP z wózków tocznych (TA, TB, TC) zgodnie z zasadą priorytetu hamulca ED dla pojazdu.

Układ mikroprocesorowego sterowania hamowaniem umożliwia realizowanie 14 stopni hamowania (rys. 9 i 10). W przypadku zerowego stopnia hamowania realizowane jest podhamowanie ciśnieniem około 20 kPa (przygotowanie do hamowania – pokonanie sił sprężyn w cylindrach hamulcowych).

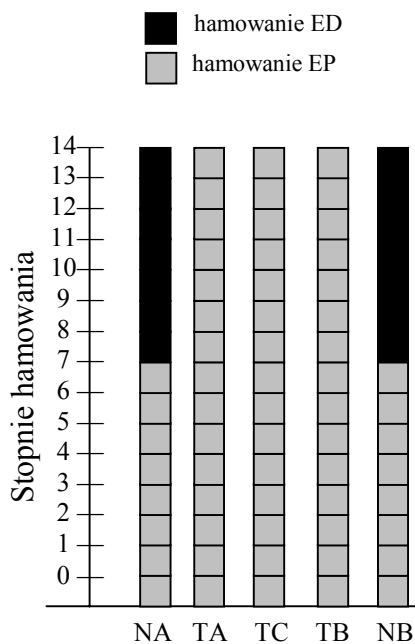


Rys 7. Algorytm sterowania współpracą hamulca EP i hamulca ED

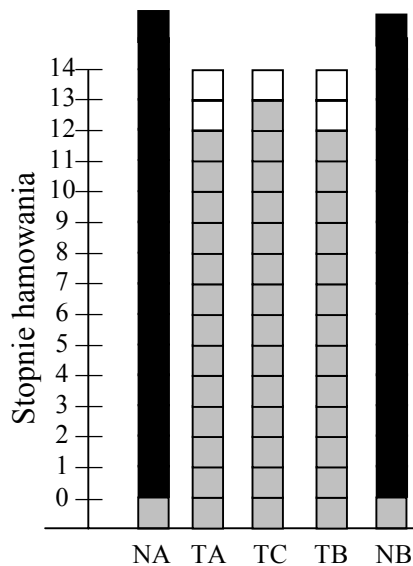


Rys 8. Poglądowy przebieg siły hamulca ED w funkcji prędkości.

Maksymalna siła hamulca EDmax zależy od prędkości zespołu trakcyjnego i dlatego wysterowanie hamulca EP również będzie zależało od prędkości. Na rysunku 9 przedstawiony jest rozkład sił hamulca EP i ED dla poszczególnych wózków przy prędkości 120 km/h. Na rysunku 10 przy prędkości 40 km/h. Przebiegi przedstawione na rys. 9 i 10 odpowiadają hamowaniu maksymalnym stopniem hamowania.



Rys 9. Poglądowy rozkład sił hamowania EP i ED przy prędkości 120 km/h



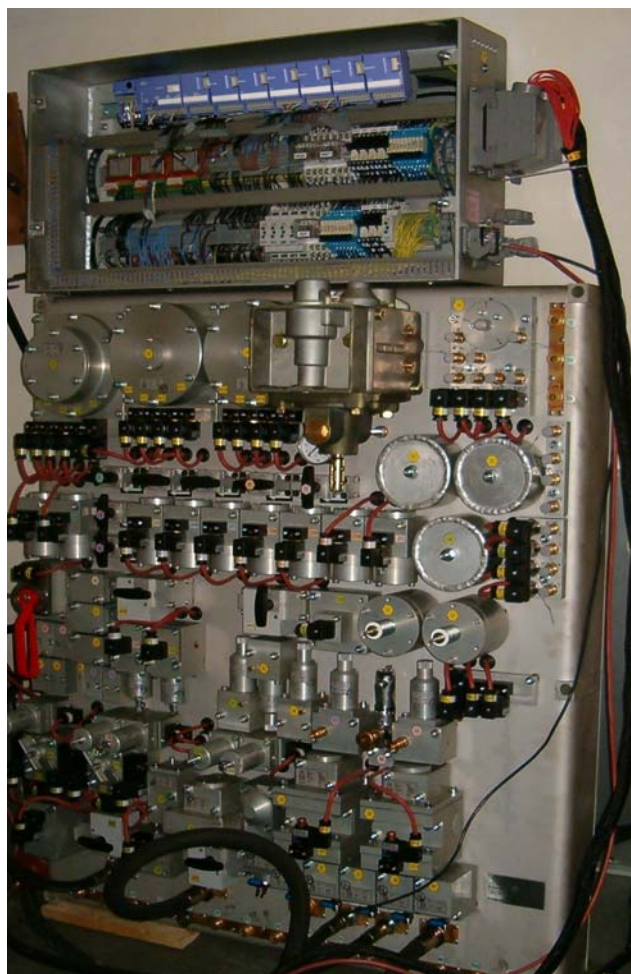
Rys 10. Poglądowy rozkład sił hamowania EP i ED przy prędkości 40 km/h

7. Zastosowanie

Przedstawiony w punkcie 6 algorytm sterowania współpracą hamulców EP i ED został z powodzeniem zastosowany w kilku e.z.t:

- w elektrycznym zespole trakcyjnym 15WE produkcji Pesa Bydgoszcz, eksploatowanych od czerwca 2006 r. przez PKP Przewozy Regionalne w Łodzi
- w dwu zmodernizowanych przez ZNTK Mińsk Mazowiecki elektrycznych zespołach trakcyjnych 6WEc dla Kolei Mazowieckich, przekazanych do ruchu w połowie 2007 r.
- w dwu zmodernizowanych przez ZNTK Mińsk Mazowiecki elektrycznych zespołach trakcyjnych EN57 dla Kolei Mazowieckich, przekazanych do ruchu pod koniec 2007 r.
- w czterech zmodernizowanych przez ZNTK Mińsk Mazowiecki elektrycznych zespołach trakcyjnych EN57 dla SKM Gdynia, przekazanych do ruchu na przełomie 2007/2008 r.

W [9] przedstawiony jest widok tablicy kabinowej i wagonowej zastosowanej w zmodernizowanych elektrycznych zespołach trakcyjnych przez ZNTK Mińsk Mazowiecki. Na rys. 11 przedstawiony jest widok tablicy kabinowej zastosowanej w elektrycznym zespole trakcyjnym 15WE. Elektryczny zespół trakcyjny 15WE jest pojazdem trójwagony, a do sterowania układem hamulcowym zastosowane są 2 tablice kabinowe.



Rys 11. Kabinowa tablica hamulcowa czteroczołowego elektrycznego zespołu trakcyjnego na wózkach Jakoba

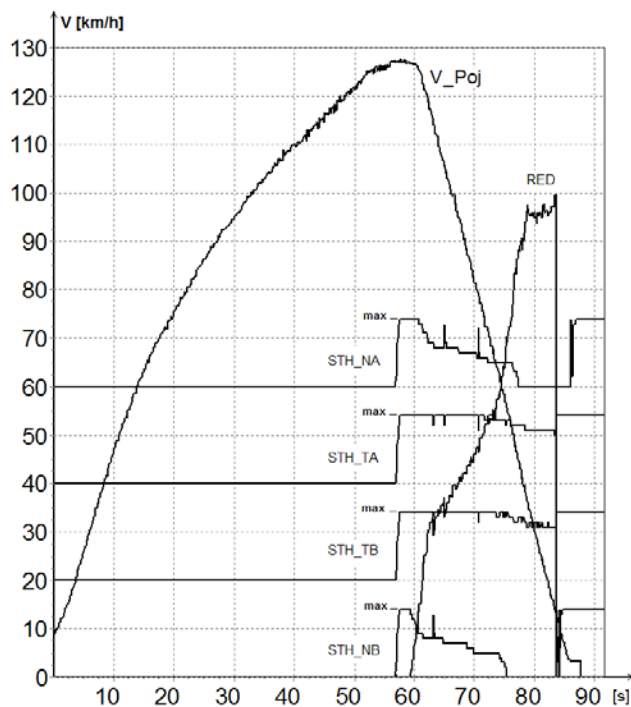
Dla czteroczłonowego zespołu trakcyjnego potrzebna jest dodatkowa tablica wagonowa, której widok przedstawiony jest na rys. 12. Dwie tablice kabiny i jedna tablica wagonowa działają według schematu sterowania systemem hamowania, który jest przedstawiony na rys. 5 i 6.



Rys 12. Wagonowa tablica hamulcowa

8. Rejestracja i wizualizacja przebiegu sygnałów

Układy tablic wyposażone są w wyjścia diagnostyczne RS-232 umożliwiające podczas uruchamiania i jazdy zespołu trakcyjnego rejestrowanie wyników i zapisywanie ich do pliku tekstowego. Do celów rejestracji wykorzystywana jest aplikacja „Diagnostyka”. Za pomocą drugiej aplikacji „Wykresy” można wyniki prezentować w formie wykresów. Obydwie aplikacje zostały opracowane w IPS „TABOR” [7].



Rys 13. Przebieg rozruchu i hamowania e.z.t 15WE
 STH_NA, STH_NB: stopnie hamowania wózkami napędzonymi,
 STH_TA, STH_TA: stopnie hamowania wózkami tocznymi

Na rys. 13 przedstawione są wyniki hamowania elektrycznego zespołu trakcyjnego 15 WE z wykorzystaniem aplikacji „Wykresy”. Na wykresie przedstawiony jest przebieg prędkości i siły realizowanej przez hamulec ED. Na tle tych przebiegów pokazane są realizowane stopnie hamowania wózków napędzanych i wózków tocznych i ich zmiana w zależności od zmiany siły ED. Dla lepszej widoczności przebiegi poszczególnych stopni hamowania przesunięte są o 20 jednostek.

9. Podsumowanie i wnioski

Mikroprocesorowy układ sterowania systemem hamulcowym opracowany w IPS „TABOR” jest systemem uniwersalnym. W prosty sposób może zostać przystosowany do dowolnego pojazdu. W zależności od zapotrzebowania może on działać samodzielnie jako niezależny system hamulcowy lub współpracować ze sterownikiem głównym pojazdu. Układ sterowania w różnych wariantach został z powodzeniem zastosowany w nowym elektrycznym zespole trakcyjnym 15WE oraz w zmodernizowanych e.z.t. 6WEc i EN57. W IPS „TABOR” prowadzone są prace nad dalszym optymalizowaniem konstrukcji tablic hamulcowych w celu zwiększenia niezawodności, zmniejszenia wymiarów i kosztów.

Wynika z tego wnioski, że w Polsce możliwe jest zaprojektowanie, wykonanie i wdrożenie z powodzeniem na pojazdach szynowych nowoczesnych systemów hamulcowych porównywalnych poziomem z systemami firm światowych.

Literatura:

- [1] Barna G., Durzyński Z.: *Struktura rozproszonego systemu mikroprocesorowego sterowania zespołem trakcyjnym*, *Technika Transportu Szynowego*, 2008, 3, s. 36-43
- [2] Barna G., Stypka M.: *Model matematyczny hamowanego zespołu trakcyjnego*, OR-9134, *Praca niepublikowana*, Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”, Poznań, 2007
- [3] Barna G., Stypka M.: *Niezawodność i bezpieczeństwo mikroprocesorowych systemów sterowania*, OR-9135, *Praca niepublikowana*, Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”, Poznań, 2008
- [4] Basak S. i inni, *Modernizacja elektrycznego zespołu trakcyjnego serii EW60 (6WEb)*, *Technika Transportu Szynowego*, 2007, 5-6, s. 44-53
- [5] Durzyński Z., Stypka M.: *Sterowanie systemem pneumatycznym zmodernizowanej lokomotywy elektrycznej ET22*, *Pojazdy Szynowe*, 2006,
- [6] Haba M., Stypka M., Barna G.: *Mikroprocesorowy układ sterowania systemem pneumatycznym zmodernizowanej lokomotywy spalinowej ST44*, *Pojazdy Szynowe*, 2006,

- [7] Haba M.: Programy wspomagające uruchamianie mikroprocesorowych systemów sterownia w pojazdach szynowych, *Pojazdy Szynowe* 2007, 2, s. 45-52
- [8] Kaluba M.: Urządzenia pośredniczące w mikroprocesorowym sterowaniu nowoczesnych układów pneumatycznych hamulca, *Pojazdy Szynowe*, 2002, 4, s. 49-52
- [9] Kaluba M.: Mikroprocesorowy układ sterowania systemami hamulców dla zespołów trakcyjnych, *Pojazdy Szynowe*, 2007, 4, str. 7-10.
- [10] Kaluba M.: Mikroprocesorowe sterowanie hamulcami w pojazdach trakcyjnych, *Materiały XVIII Konferencji Naukowej Pojazdy Szynowe, Katowice-Ustroń, 17-19 września 2008*
- [11] Małuskiewicz M.: Zastosowanie binarnych sygnałów elektrycznych w układach sterowania hamulcami autobusów szynowych, *Pojazdy Szynowe*, 2002, 4, s. 41-48.
- [12] Masłowska T.: Hamulce na medal, *Kurier PKP*, 34/26.08.2007, s. 11