ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1976

Seria: ELEKTRYKA z. 54 Nr kol. 490

Janusz DZIULAK
Wiesław JAGŁA
Tadeusz TLATLIK

KONCEPCJA STEROWANIA CYFROWEGO POJAZDAMI TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ

Streszczenie. W artykule omówiono koncepcję układu sterowania cyfrowego przeznaczonego dla taboru trakcji elektrycznej, stosowanego w ruchu podmiejskim. Przedstawiono sposób sterowania automatycznego, realizowanego w funkcji drogi w oparciu o sygnały przekazywane z torowiska.

1. Wstęp

Rozwój i podwyższenie gęstości ruchu na liniach podmiejskich wymaga zastosowania automatyzacji sterowania ruchem pociągu. Dotyczy to zarówno automatyzacji sterowania ruchem samego pociągu jak również sterowania kompleksowego grupą pociągów przez ośrodek dyspozycyjny wyposażony w centralną maszynę cyfrową. W poniższym artykule przedstawiono projekt koncepcyjny układu cyfrowego umożliwiającego samoczynne sterowanie pracą wagonów silnikowych jednostek elektrycznych zapewniający poprawę ich właściwości trakcyjnych. Układ cyfrowy będzie sterował pojazdem automatycznie w funkcji drogi na podstawie informacji przekazywanych z torowiska. Rozpatrzono koncepcję budowy układu sterowania cyfrowego w oparciu o uniwersalną maszynę cyfrową z możliwością powiązania i współpracy z istniejącym układem rozrządu oporowego, jak również z wariantem rozrządu tyrystorowego.

2. Wymagania stawiane układowi sterowania

W kraju stosuje się obecnie sterowanie ruchem pociągu z udziałem maszynisty. Oznacza to, że maszynista poza obserwacją trasy ruchu pociągu, musi stale wykonywać czynności "regulatora" dla układu rozrządu i układów napędowych. Proces regulacji realizowany przez maszynistę jest nieoptymalny z uwagi na liczne przeregulowania, a ponadto absorbuje jego uwagę. Proponowany układ sterowania cyfrowego "przejmuje" funkcje regulatora wykonywane dotychczas przez maszynistę, a ponadto bierze udział w procesie sterowania ruchem pociągu w oparciu o informacje stałe i o sygnały przesyłane z torowiska. Oznacza to, że wartość prędkości jazdy będzie determinowana przez układ cyfrowy, który również będzie pełnił rolę regulacyjną. Wymagania stawiane układowi sterowania sprowadzają się do samoczynnego wybierania prędkości jazdy, jej stabilizacji oraz samoczynnego rozruchu i wybieraniu punktów pracy w których rozpoczyna się hamowanie (w przyjętym sposobie sterowania uwzględniono również dokładny dojazd do peronu). Sterowanie odbywa się automatycznie na podstawie informacji stałych o spo-

sobie przejazdu danej trasy oraz informacji przekazywanych z torowiska. Informacje stałe wczytywane są do pamięci minikomputera zainstalowanego na pojeździe z zewnętrznego nośnika informacji np. z taśmy perforowanej. Informacje te zawierają dane np. o wymaganych prędkościach na poszczególnych odcinkach trasy, czasach przejazdu przez określone punkty, dopuszczalnych przyśpieszeniach przy rozruchu i opóźnieniach przy hamowaniu, czasach przejazdu i odjazdu ze stacji i o innych parametrach zależnych od profilu trasy, składu oraz rodzaju prowadzonego pociągu.

Drugą grupę informacji stanowią dane przekazywane z torowiska za pośrednictwem urządzeń zrk (np. SHP) lub też urządzeń centralnego automatycznego systemu sterowania ruchem pociągów. Do nich należy np. sygnał "stój", sygnał ograniczenia prędkości, sygnał "droga wolna",a ponadto szereg innych sygnałów przekazywanych bądź ze stałych punktów przytorowych, bądź też z centralnego ośrodka automatycznego sterowania ruchem pociągów. Praca cyfrowego układu sterowania w oparciu o powyższe informacje sprowadza rolę maszynisty do nadzorowania pracy układu i obserwacji trasy, ingerencji w przypadkach nieprawidłowej reakcji układu na sygnały zewnętrzne oraz w sytuacjach awaryjnych.

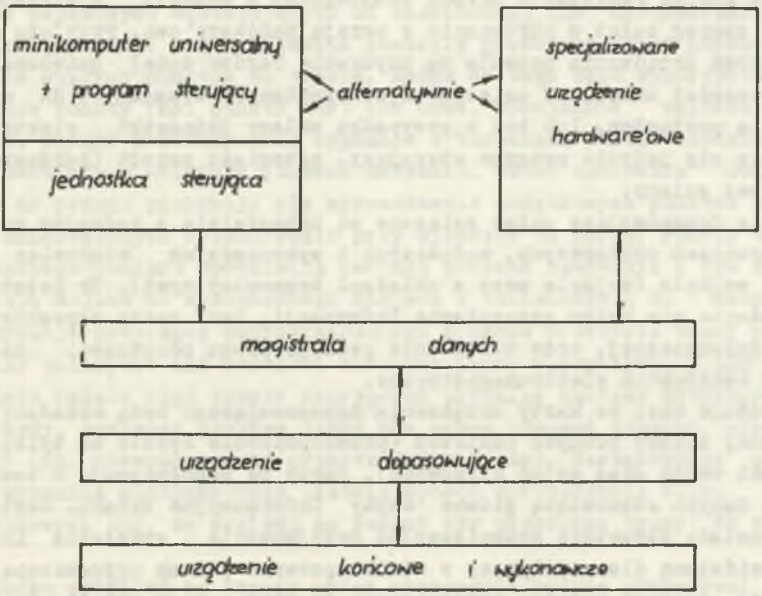
Założono, że układ sterowania cyfrowego powinien umożliwiać stabilizację żądanej prędkości jazdy z dokładnością do 1 km/h w całym zakresie zmian prędkości. Założenie to wynika stąd, że obecnie maszynista dokonuje takich samych a często większych przeregulowań posługując się wskazaniami prędkościomierza i manipulując ręcznie nastawnikiem jazdy jednostki.Układ umożliwia sterowanie prędkością jazdy pociągu w funkcji drogi na podstawie zadanego programu jazdy, jednak z uwzględnieniem sygnałów przekazywanych z torowiska i możliwością modyfikacji nastaw prędkości maszynistę w dowolnym czasie. Oznacza to, że dokonuje się pomiaru drogi aktualnie przebytej przez jednostkę (wraz z pomiarem przyspieszeń), w funkcji której podane są wszystkie parametry niezbędne do sterowania ruchem pociągu.Maszynista może dokonywać modyfikacji nastaw prędkości posługując się pulpitem cyfrowo-funkcyjnym urządzenia. Dopuszcza się możliwość przesyłania sygnałów sterujących z nadrzędnego punktu dyspozytorskiego (dysponującego centralnym ośrodkiem dyspozytorskim obliczeniowym) dla zapewnienia sterowania kompleksowego grupy pociągów.

3. Koncepcja cyfrowego układu sterowania dla wagonów silnikowych jednostek elektrycznych

3,1. Opis ogólny układu

Stosunkowo duży koszt urządzeń cyfrowych narzuca zastosowanie cyfrowego układu sterującego w pierwszym rzędzie do jednostek elektrycznych z wagonami silnikowymi używanymi w ruchu podmiejskim gdzie częstotliwość przejazdów jest duża w porównaniu z ruchem na liniach dalekobieżnych. Dlatego też w artykule omówiono układ przeznaczony dla jestnostek elektrycznych.

Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie dwie wersje układu, równoważne z punktu widzenia pełnej funkcji lecz odmiennie zrealizowane.



Rys. 1. Struktura blokowa układu

Urządzenie hardware'owe pokazane na rysunku zawiera specjalizowane bloki komparatorów, liczników, rejestrów i układów decyzyjnych, które dzięki odpowiedniemu połączeniu wykonują żądane funkcje sterujące. Urządzenie to komunikuje się poprzez wewnętrzną magistralę danych i urządzenia dopasowujące z urządzeniami końcowymi (np. pulpit układu sterowania dla maszynisty) i wykonawczymi, współpracującymi z układem rozrządu samoczynnego jednostki elektrycznej i układem hamulcowym.
W przypadku rozwiązania z minikomputerem rolę cyfrowego urządzenia specjalizowanego spełnia odpowiedni program maszyny cyfrowej. Odpowiednie bloki komparatorów, liczników i pozostałych układów zostały zastąpione podprogramami komparacji, zliczania itd., a odpowiednie powiązanie pomiędzy tymi podprogramami zapewnia tzw. program operacyjny nadzorczy.

W programie sterującym przewiduje się następujące główne podprogramy:

- system operacyjny nadzorczy,
- podprogram pomiaru prędkości,
- podprogram pomiaru przyspieszeń,
- podprogram badania przekroczeń prędkości i przyspieszeń,

- podprogram ustalonego programu jazdy,
- podprogram dokładnego dojazdu do peronu,
- podprogram obsługi urządzeń przytorowych i urządzeń transmisyjnych,
- podprogram obsługi pulpitu maszynisty.

Wydaje się,że realizacja układu zbudowanego w oparciu o minikomputer wykazuje szereg zalet w porównaniu z wersją hardware'ową. Przyjęta struktura blokowa urządzenia pozwala na uzyskanie bardzo dużej uniwersalności i elastyczności układu. W zależności od stawianych wymagań co do sposobu sterowania pociągiem, lub też w przypadku zmiany jednostki elektrycznej modyfikuje się jedynie program sterujący, natomiast sprzęt (hardware) pozostaje bez zmiany.
Urządzenia dopasowujące układ związane są integralnie z rodzajem oraz ilością urządzeń odbiorczych, nadawczych i wykonawczych stanowiąc zbiór tzw. kar wejścia (wyjścia wraz z układami transmisyjnymi). Te ostatnie mają za zadanie nie tylko przesyłanie informacji, lecz także zapewnienie izolacji galwanicznej, oraz utrzymanie pewnego progu odporności na zewnętrzne zakłócenia elektromagnetyczne.

Przewiduje się, że karty urządzenia dopasowującego będą składały się z niewielkiej liczby różnych pakietów (prawdopodobnie będzie to tylko kilka typów kart wejść oraz wyjść cyfrowych). Karty te współpracują z tzw. magistralą danych stanowiącą główne szyny informacyjne układu. Magistrala danych posiada strukturę organizacyjną przyjmowania i wysyłania informacji przewidzianą dla współpracy z minikomputerem jednak uproszczoną do tego stopnia, że jest możliwe przyłączenie do niej wprost układów dopasowujących.
Podłączenie minikomputera uniwersalnego do magistrali odbywać się będzie poprzez jednostkę sterującą. Przewiduje się wykorzystanie minikomputera operującego słowem o długości 8 bitów (np. minikomputer systemu MERA 300, produkowany w kraju). Przyjęta w ten sposób struktura pozwala na wykorzystanie w razie potrzeby innego minikomputera, co będzie możliwe przy zmianie konstrukcji jedynie części jednostki sterującej bez potrzeby przekonstruowania pozostałych urządzeń układu.
Istnieje również możliwość wykonania uproszczonej wersji urządzenia,obejmującego niektóre bloki specjalizowanego układu hardware'owego, której funkcja zostałavy zawężona do sterowania ruchem pociągu tylko na podstawie nastaw dokonywanych przez maszynistę przy użyciu pulpitu sterowniczego. W takim przypadku część układu odpowiedzialna za sterowanie wg z góry zadanego programu (w funkcji drogi) i za łączność z ośrodkiem dyspozycyjnym byłaby pominięta.

Przyjęto założenie sterowania ruchem jednostki według drogi.Oznacza to, że cała trasa (w ruchu podmiejskim będą to odległości nie przekraczające kilkudziesięciu kilometrów) będzie posiadać swoje odwzorowanie na nośniku informacji. Odwzorowanie to będzie zawierać wszystkie niezbędne dane, dotyczące prędkości jazdy na poszczególnych odcinkach trasy,ograniczeń sta-

łych oraz czasów osiągnięcia kolejnych stacji lub innych punktów kontrolnych. Pomiar przebytej drogi będzie odbywał się na drodze cyfrowej poprzez zliczenie impulsów z czujnika umieszczonego nad zębami przekładni głównej zestawu kołowego jednostki.
Celem uniknięcia sumowania się błędu pomiaru drogi np. w przypadku średnicy kół napędowych odbiegających od znamionowej lub krótkotrwałego poślizgu kół, stosuje się w układzie kontrolę przebytej drogi poprzez wykorzystanie stałych punktów na trasie. Można do tego celu wykorzystać już istniejące punkty (np. punkty SHP) lub nowe, specjalnie zainstalowane w tym celu. Sposób przekazywania sygnałów z torowiska został bardziej szczegółowo omówiony w kolejnym punkcie artykułu. Wobec założenia dokładnego dojazdu do peronu proponuje się wprowadzenie dodatkowych punktów kontrolnych rozmieszczonych bezpośrednio przy wjeździe na peron. Punkty te służą do dokładnego pomiaru opóźnienia pociągu podczas hamowania i tym samym umożliwiają dojazd do wyznaczonego miejsca z dokładnością do 1 metra.

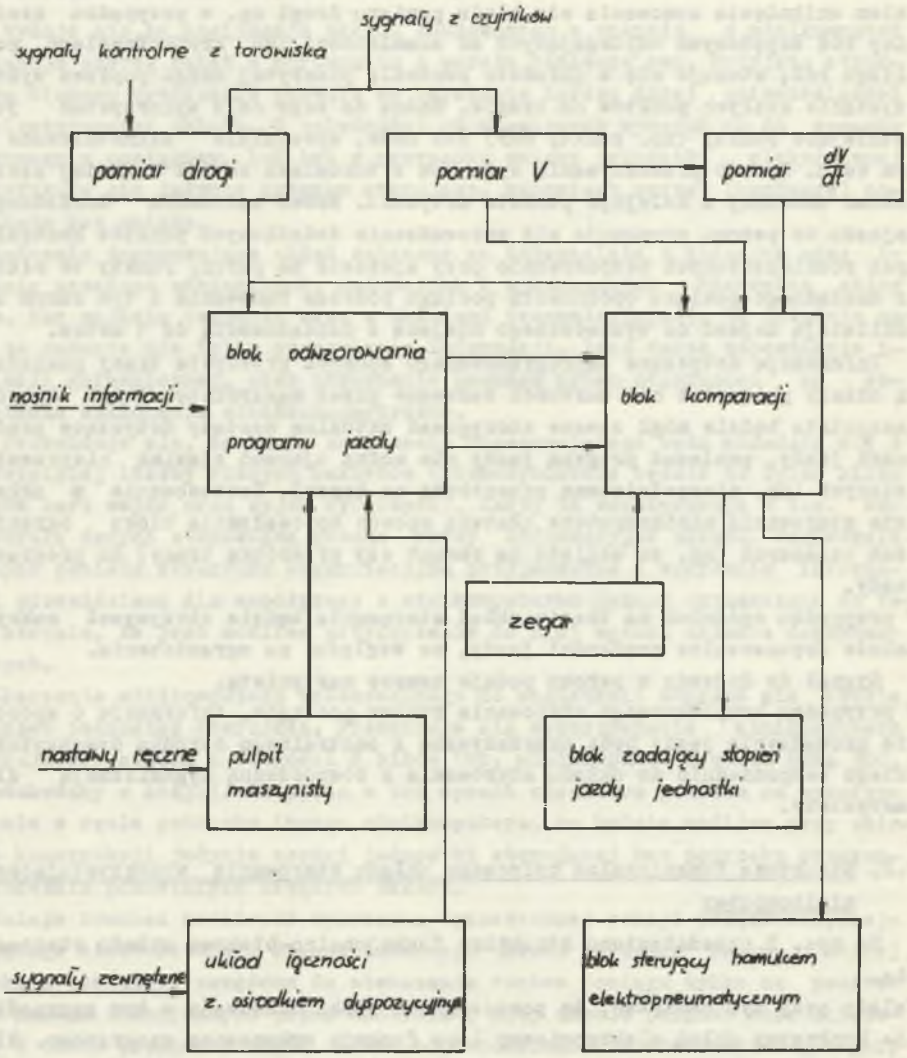
Informacje dotyczące zaprogramowanego sposobu przebycia trasy posiadają niższy priorytet niż wartości zadawane przez maszynistę. W ten sposób maszynista będzie mógł zawsze skorygować aktualne nastawy dotyczące prędkości jazdy, ponieważ program jazdy nie można ujmować zjawisk nieprzewidzianych (np. niespodziewana przeszkoda na torze). Zastosowanie w układzie sterowania minikomputera ułatwia sposób wprowadzania bloku ograniczeń czasowych (np. ze względu na remont czy przeróbkę trasy) do programu jazdy.
W przypadku opóźnień na trasie układ sterowania będzie utrzymywał maksymalnie dopuszczalne prędkości jazdy, ze względu na ograniczenia.

Sygnał do dojazdu z peronu podaje zawsze maszynista.
W przypadku kompleksowego sterowania ruchem pociągów, informacje o sposobie prowadzenia jazdy będą przekazywane z centralnego ośrodka dyspozytorskiego bezpośrednio do układu sterowania z równoczesną sygnalizacją dla maszynisty.

3.2. Struktura funkcjonalna cyfrowego układu sterowania wykorzystującego minikomputer

Na rys. 2 przedstawiono strukturę funkcjonalno-blokową układu sterowania.
Należy przy tym pamiętać, że poszczególne bloki oznaczają w tym przypadku nie konkretny układ elektroniczny lecz funkcję wykonawczą programowo. Bloki pomiaru drogi i pomiaru prędkości V posługują się licznikami programowymi, natomiast pomiaru wielkości przyspieszenia $\frac{dV}{dt}$ dokonuje się metodą różnicową.
Do bloku odwzorowującego program jazdy dostarczone są informacje wejściowe z zewnętrznego nośnika informacji (najniższy priorytet linia przerywana na rysunku), informacje pochodzące z centralnego ośrodka dyspozycyjnego (priorytet wyższy - linia ciągła) oraz informacje z pulpitu maszynisty

(najwyższy priorytet - linia wytłuszczona). Zadaniem tego bloku jest wybranie danych o najwyższym priorytecie by następnie proces sterowania przebiegał w oparciu o te właśnie dane.



Rys. 2. Schemat funkcjonalny układu

Blok komparacji porównuje dane o aktualnie najwyższym priorytecie (które uznane są za dane odwzorowujące program jazdy) z wielkościami zmierzonymi takimi jak: droga, aktualna prędkość jazdy i przyspieszenie i na tej pod-

stawie generuje wielkości wyjściowe zawierające informacje o odchyłkach pomiędzy wielkościami zmierzonymi a zadanymi.
Dane te wprowadzane są do bloku zadającego stopień jazdy jednostki elektrycznej lub do bloku zadającego sygnały sterujące elektrozaworami hamulców elektromagnetycznych.

4. System łączności w relacji "tor - pojazd - tor" dla sterowania cyfrowego taboru trakcji elektrycznej

System przekazywania sygnałów z torowiska ma umożliwić przesyłanie informacji potwierdzających przejechanie określonych stałych punktów na trasie oraz dodatkowych informacji np. z dyspozytorskiego punktu sterowania ruchem pociągów.
Pewnym szczególnym przypadkiem informacji o stałych punktach na trasie będą sygnały przekazywane z torowiska- dotyczące dokładnego dojazdu do peronu z zatrzymaniem się na ustalonym miejscu.
Urządzenia przekazywania informacji w relacji "tor - pojazd - tor" obejmują dwie zasadnicze grupy urządzeń: torowych i znajdujących się na podjeździe. W systemach sterowania o niższym poziomie automatycacji zespół urządzeń torowych jest nadajnikiem, a pojazdowy odbiornikiem.
W systemach o wyższym zakresie automatyzacji każdy zespół może stanowić układ nadajnik, nadajnik - odbiornik. Zależnie od etapu realizacji poszczególnych stopni automatyzacji sterowania pociągami przekazywanie informacji 1,2 może być:

1) punktowe,
2) ciągłe - a) z obwodem torowym szynowym,
   - b) z obwodem torowym kablowym,

Działanie urządzeń punktowych polega na chwilowym sprzęgnięciu zespołu torowego z pojazdowym i wykorzystanie tego stanu do przekazania informacji.
Urządzenia przekazywania informacji w sposób ciągły z toru na lokomotywę przekazują ją wzdłuż całej drogi przebiegu pociągu.W przypadku pierwszym proponuje się wykorzystanie elementów SHP stosowanych na liniach PKP, z tym, że należy wtedy uzależnić rezonatory torowe od wskazań sygnalizatorów przytorowych oraz wprowadzić sygnalizację kabinową opartą na wykorzystaniu pętli z przewodów kablowych ułożonych między torami, połączonych z nadajnikiem sygnałów, których wysyłanie uzależnione jest od stanu sygnalizatora przytorowego. Przy zbliżeniu się do pętli kablowej na pulpicie sterowniczym pojazdu zapali się lampka odpowiadająca aktualnemu sygnałowi na sygnalizatorze. Jeżeli obraz sygnalizatora zmieni się w czasie przejazdu nad pętlą zostanie to powtórzone w kabinie.
Przekazywanie informacji w sposób ciągły proponuje się zrealizować za pomocą przewodów znajdujących się między torami szyn. Przewody te wykorzystywane są jako antena do dwustronnej łączności w relacji "tor - pojazd".

Wydaje się, że realizacja tego typu łączności jest uzależniona technicznie i ekonomicznie przy szybkościach powyżej 160 km/h, albo przy pełnej automatyzacji sterowania ruchem za pomocą maszyny cyfrowej określonego rejonu kolejowego. Polecenia z punktu sterowania przekazywane przez urządzenia transmisyjne inicjowałyby pracę cyfrowego układu sterowania, znajdującego się na pociągu. Tradycyjna sygnalizacją przy realizowaniu tej koncepcji jest zbędna, a rola maszynisty sprowadza się do kontroli prawidłowości pracy urządzeń na lokomotywie i ingerencji w przypadku awarii. Pociąg będzie przekazywał do punktu sterowania dane o szybkości chwilowej i miejscu znajdowania się.

5. Wnioski końcowe

Systemy kompleksowego automatycznego sterowania ruchem pociągów są coraz powszechniej wdrażane na świecie. Wprowadzenie cyfrowego systemu sterowania pozwala na znaczne podwyższenie gęstości ruchu pociągów przy równoczesnym podniesieniu bezpieczeństwa jazdy, gdyż maszynista odciążony od manipulacji nastawnikiem większą część swojej uwagi może przeznaczyć na obserwację trasy ruchu pociągu. Mimo wysokich kosztów takiego systemu wydaje się, że jego stopniowe wprowadzenie w kraju będzie konieczne na terenie dużych eglomeracji miejskich, gdzie należy się liczyć z bardzo szybkim wzrostem natężenia ruchu pociągów.

LITERATURA

[1] Stan techniki urządzeń automatyzacji sterowania pociągami przy dużych prędkościach jazdy. Problemy Kolejnictwa nr 42, 1968 r.
[2] Grądzki J. Urządzenia samoczynnego sterowania ruchem pociągów z przewodem liniowym jako łączem dla przekazywania informacji z toru na lokomotywę. Problemy Kolejnictwa nr 55, 1972.
[3] Klebowski M. Postępy automatyzacji sterowania ruchem pociągów na kolejach brytyjskich. Przegląd Elektrotechniki nr 8, 1970.
[4] Świderski B. Urządzenia SHP typu punktowego WKŁ - Warszawa 1971.
[5] Domański B., Świtalski M. Urządzenia elektryczne pojazdów szynowych WKŁ Warszawa 1975.
[6] Mikulski A., Tajer T. Maszyny i urządzenia elektryczne stosowane na PKP część II - WKŁ Warszawa 1974.
[7] Przegląd Kolejnictwa nr 62/1974. Urządzenia sterowania ruchem kolejowym na PKP w najbliższej przyszłości.
[8] Alston L.L. "Closdy controlled traius" New Scientist 4. 1969.
[9] Cornwell L. Britisch Rails "Comprehensive Train Central Project" Modern Reilwey 9. 1969.
[10] Radziankiewicz M. Problemy automatyzacji ruchu pociągów na kolejach radzieckich PKE nr 8 1971.

КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

Р е з ю м е

В статье обсуждена концепция системы цифрового управления, предназначенного для подвижного состава электрической тяги, применяемого в пригородном движении. Представлен способ автоматического управления, осуществляемого в в функции пути на основе сигналов передаваемых из полотна.

CONCEPTION OF DIGITAL CONTROL OF ELECTRIC TRACTION VEHICLE

S u m m a r y

In the paper the concept of digital control unit for suburban electric traction is given. Automatic control is performed using signals transmitted from the track.