

Andrzej BUJAKOWSKI

Instytut Systemów Sterowania - Katowice

Wiesław JAGŁA

Instytut Podstawowych Problemów Elektrotechniki
i Energoelektroniki Politechniki Śląskiej

MIKROPROCESOROWY SYSTEM STEROWANIA LOKOMOTYWY MANEWROWEJ

Streszczenie: W artykule omówiono mikroprocesorowy system sterowania lokomotywy manewrowej, realizujący na lokomotywie polecenia przekazywane zdalnie drogą radiową. Przedstawiono założenia i koncepcję systemu oraz opisano sposób jego realizacji. Zamieszczono również algorytm sterowania realizowany przez oprogramowanie mikrokomputera.

1. WPROWADZENIE

Lokomotywę manewrową można uważać za jeden z istotnych obiektów stacji rozrządowej, który może podlegać sterowaniu. Interesuje nas tu głównie praca lokomotywy w rejonie górki rozrządowej w trakcie procesu rozrządzania. Proces rozrządzania - przy założeniu optymalnej organizacji obiegu dokumentów na stacji, a co za tym idzie eliminacji postójów wynikających z oczekiwania na przygotowanie dokumentów odprawianego składu - decyduje o przepustowości stacji rozrządowej. Wydajność procesu rozrządzania może być podnoszona między innymi przez modernizację hamulców torowych górki rozrządowych (sterowanie w funkcji aktualnej prędkości staczającego się wagonu) oraz przez precyzyjne sterowanie prędkością napychania rozrządzanego składu.

Zmienna prędkość napychania składu, zależna od długości i masy kolejnych odpręgów, może być realizowana jedynie na drodze zdalnego sterowania lokomotywy manewrowej przez nadrzędny system komputerowy optymalizujący pracę górki rozrządowej. Przedmiotem niniejszego artykułu jest cyfrowy system sterowania lokomotywą manewrową (system SSL), który umożliwia realizację tak pomyślanego zdalnego sterowania. Omawiany układ sterowania został zrealizowany w wersji modelowej w laboratorium Zespołu Trakcji

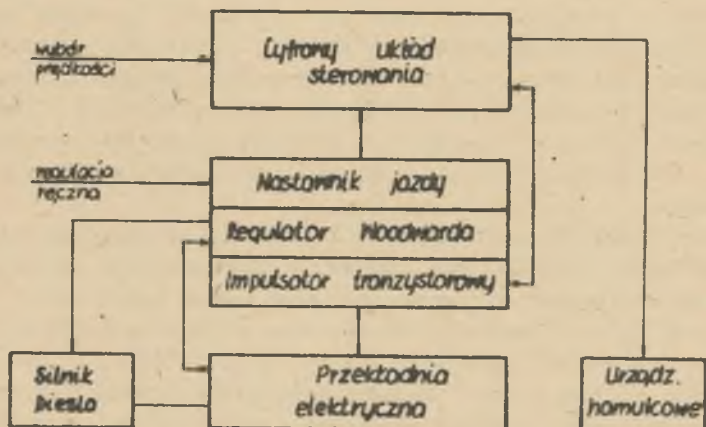
Elektrycznej Instytutu Podstawowych Problemów Elektrotechniki i Energoelektroniki Politechniki Śląskiej.

Założono możliwość zdalnego przekazywania informacji do 4 lokomotyw manewrowych pracujących jednocześnie w rejonie stacji przy wykorzystaniu jednego kanału łączności radiowej.

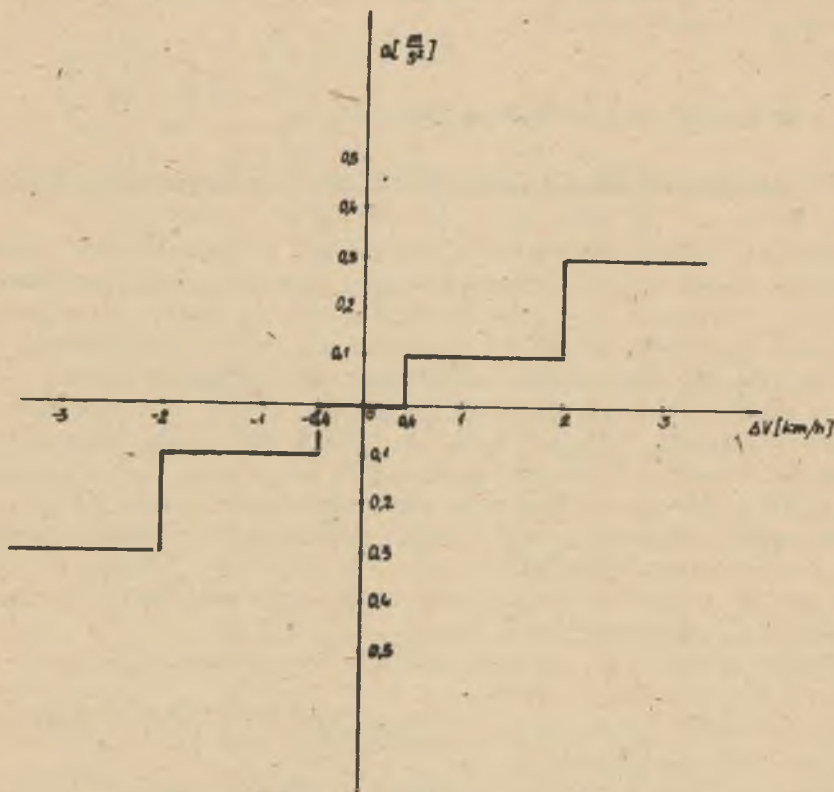
Założono stabilizację prędkości jazdy z dokładnością 0,1 m/s (0,4 km/godz) dla zadanych prędkości jazdy do 10 km/h oraz z dokładnością 0,3 m/s w zakresie prędkości 10-20 km/h. Maksymalną szybkość jazdy lokomotywy przy sterowaniu zdalnym ograniczono do 20 km/h oraz założono następujące stopniowanie prędkości zadanej: 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20 km/h.

2. KONCEPCJA UKŁADU STEROWANIA LOKOMOTYWĄ MANEROWĄ

Zadania i założenia cyfrowego układu sterowania dla lokomotywy manewrowej typu SM 31 są podobne jak dla układu lokomotywy linowej typu SU 46 [1]. Założono realizację układu sterowania w oparciu o mikrokomputer. W celu realizacji założonej dokładności stabilizacji prędkości jazdy wprowadzono dodatkowo impulsowy regulator wzbudzenia. Sposób włączenia cyfrowego układu sterowania do urządzeń lokomotywy SM 31 przedstawiono na rys. 2.1. Zakłada się, że układ sterowania będzie współpracował z regulatorem Woodwarda i z istniejącymi urządzeniami hamulcowymi. Układ sterowania oddziałując na regulator Woodwarda, regulator impulsowy wzbudzenia i urządzenia hamulcowe powinien zapewnić stabilizację żądanej wartości prędkości jazdy.



Rys. 2.1



Rys. 2.2

Struktura i działanie układu sterowania dla lokomotywy manewrowej SM31 jest podobna do układu sterowania lokomotywy SU46 [1], z pewnymi wyjątkami, mianowicie dla lokomotywy SM31 przyjęto inną strefę nieczułości układu (rys. 2.2) oraz inne zakresy minimalnych i maksymalnych wartości przyśpieszeń.

Drugą wprowadzoną innowacją jest sposób i pomiar prędkości opierający się na pomiarze odcinka czasu pomiędzy dwoma kolejnymi impulsami z impulsatora. Pomiar prędkości jest niezależny dla wszystkich osi lokomotywy. Dla powyższego sposobu pomiaru prędkości przyjęto po jednym czujniku impulsowym na każdą oś.

Opisany cykl pomiarowy T układu sterowania cyfrowego lokomotywy SU46, dla lokomotywy SM31 jest wewnętrznym cyklem obsługi poszczególnych bloków funkcjonalnych przez mikrokomputer zgodnie z algorytmem sterowania. W celu realizacji założonej dokładności stabilizacji prędkości jazdy wprowa-

dzono dodatkowy impulsowy regulator wzbudzenia wzbudnicy. Działanie układu stabilizacji prędkości zawierającego regulatora Woodwarta i regulatora wzbudzenia opisano w pracy [1].

3. SYSTEM STEROWANIA LOKOMOTYWA MANEŻEREM SSL

3.1. Rola systemu SSL w komputerowym kierowaniu pracą stacji rozrządowej

System SSL stanowi jeden z wielu podsystemów komputerowego systemu kierowania stacją i może być wykorzystywany do automatyzacji procesów rozrządzenia i formowania pociągów. Szczególną wagę ma proces rozrządzenia, który w dużym stopniu decyduje o przepustowości stacji rozrządowej. System SSL jest tak projektowany, by mógł być wykorzystywany zarówno w całkowicie zautomatyzowanym procesie rozrządzenia, jak i autonomicznie. W pierwszym przypadku, dane wyjściowe dla systemu SSL będą generowane i przekazywane on-line z nadrzędnego komputera sterującego całym procesem rozrządzenia, natomiast w przypadku pracy autonomicznej rolę członu zadającego prędkość napechania składu będzie sprawował doświadczony operator z pulpitu sterowania zdalnego.

Ze względu na zakładaną współpracę z nadrzędnym systemem komputerowym przyjęto następujące założenia:

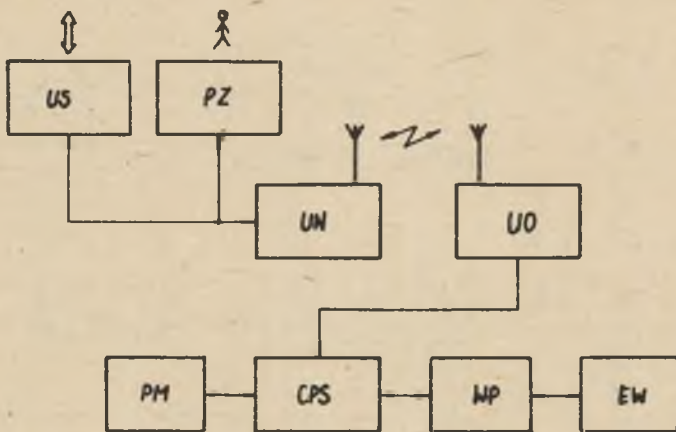
- struktura systemu musi zapewnić możliwość programowego zapisywania i odczytywania istotnych rejestrów,
- dane wejściowe i wyjściowe do/z systemu powinny posiadać organizację bajtową (słowo 8 bitowe),
- sposób sprzężenia z systemem nadrzędnym (interface) powinien być dokładnie sprecyzowany, a w miarę możliwości zgodny z jakimś powszechnie stosowanym standardem,
- konstrukcja systemu powinna być modułowa, by umożliwiała zmiany funkcjonalne lub technologiczne poszczególnych modułów bez ingerencji w pozostałe moduły systemu.

3.2. Struktura systemu SSL

Podział SSL na bloki funkcjonalne

W ramach systemu SSL można wyróżnić następujące bloki funkcjonalne (rys. 3.1):

- a - układ sprzężenia US, służący do wprowadzenia i wyprowadzenia informacji do/z systemu SSL z/do systemu nadrzędnego w standardowy sposób,
- b - pulpit zdalnego sterowania PZ,
- c - radiowe urządzenie nadawczo-odbiorcze UN,
- d - radiowe urządzenie odbiorczo-nadawcze UO,
- e - cyfrowy podsystem sterowania lokomotywy CPS,



Rys. 3.1

- f - pulpit maszynisty PM,
- g - warstwa układów pośredniczących i izolujących WP,
- h - elementy wykonawcze EW.

Bloki d, e, f, g, h zabudowane są na lokomotywie manewrowej.

3.3. Struktura systemu CPS

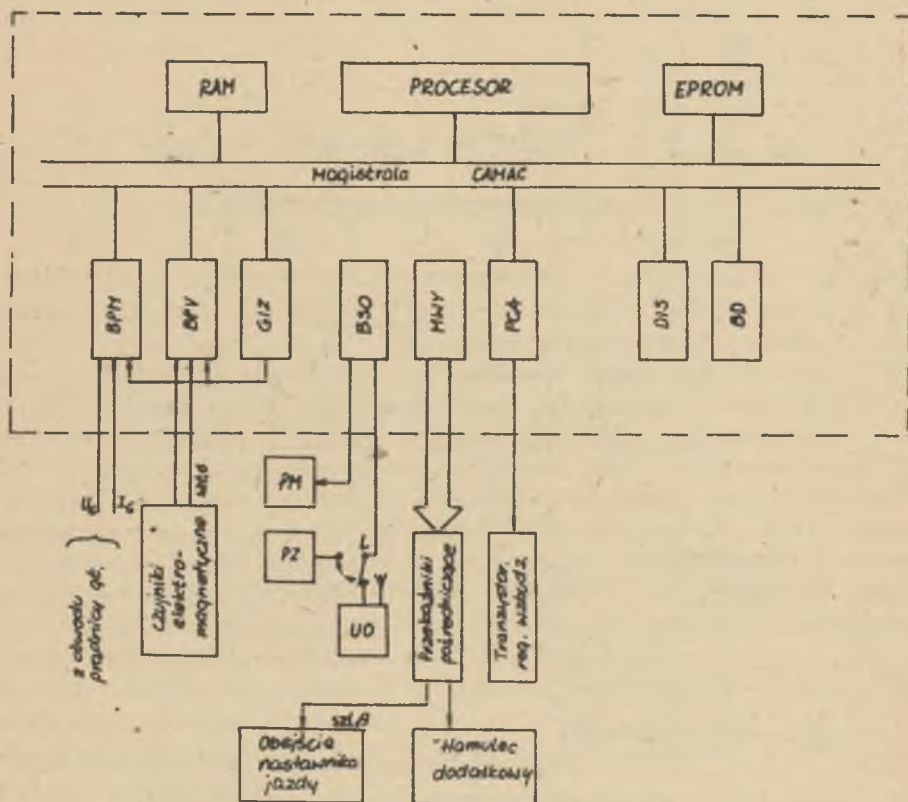
Cyfrowy system sterowania CPS, znajdujący się na lokomotywie, stanowi jądro systemu SSL, w którym dokonuje się lokalne przetwarzanie danych wejściowych, realizacja algorytmów sterowania, autotestowanie systemu oraz reagowania informacji przekazywanych zwrótnie z lokomotywy do systemu nadrzędnego.

Ze względu na znaczną złożoność funkcji i możliwość ich przyszłego modyfikowania przyjęto koncepcję realizacji CPS w oparciu o mikrokomputer (na bazie mikroprocesora Intel 8080) i standardy mechaniczno-elektryczne systemu CAMEC.

Przyjęta struktura systemu CPS została przedstawiona na rys. 3.2. Mikrokomputer stanowi autonomiczny sterownik kasety, dzięki czemu w sposób programowy może sterować wykonywaniem operacji przez poszczególne moduły oraz odczytywać z bloków potrzebne aktualnie dane, by na ich podstawie w przetworzeniu zainicjować kolejne operacje w modułach funkcjonalnych.

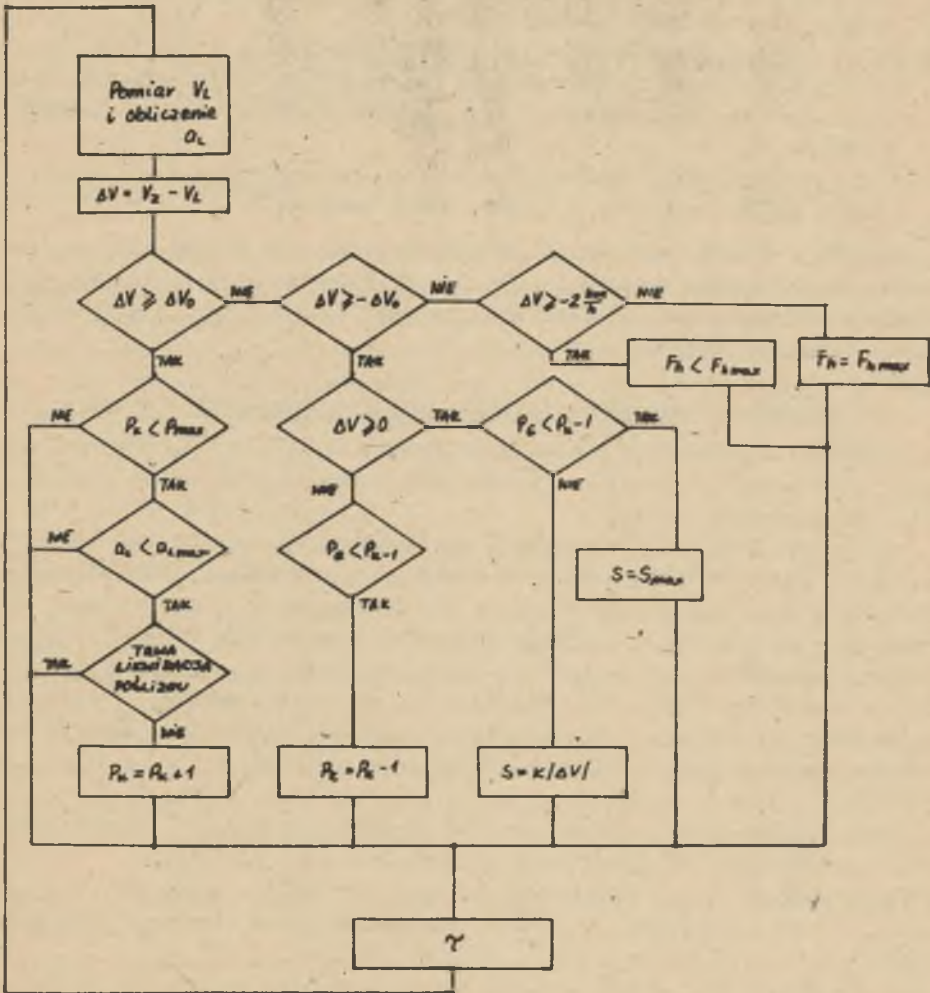
W systemie zastosowano następujące moduły:

- 1) - mikrokomputer (opracowany przez autorów w standardzie CAMEC zgodnie z normą EUR 6500),
- 2) - pamięć stała EPROM - dla programu sterującego i stałych parametrów,
- 3) - pamięć o dostępie swobodnym RAM - jako bufor liczebników.



Rys. 3.2

- 4) - blok pomiaru mocy generatora BPM - generuje na wyjściu wartość aktualnej mocy generatora w postaci cyfrowej w kodzie dwójkowym. Wynik pomiaru jest zapamiętywany w rejestrze po to, by było możliwe odczytywanie wartości mocy w dowolnej fazie następnego cyklu pomiarowego. Sygnały wejściowe oddzielone są galwanicznie od CPS,
- 5) - generator impulsów zegarowych GIZ - standardowy blok typu 730A produkcji ZAE "POLON";
- 6) - blok pomiaru prędkości BPV - umożliwia niezależny pomiar prędkości wszystkich osi lokomotywy, zapewnia izolację galwaniczną CPS od zewnętrznych czujników prędkości;
- 7) - moduł wyjść cyfrowych MWY - ma za zadanie wyprowadzanie z podsystemu CPS sygnałów typu "załącz - wyłącz" sterujących stycznikami bocznikującymi nastawniki jazdy lub oddziałyującymi na układ hamulcowy; Wyjście bloku izolowane są galwanicznie od CPS,



- V_L - prędkość lokomotywy
- a_L - przyspieszenie lokomotywy
- s - sygnał sterujący
- P_k - moc odpowiadająca k-tej pozycji nastawnika jazdy
- P_G - aktualna moc prądnicy głównej
- τ - opóźnienie

Rys. 3.3

- 8) - przetwornik cyfrowo-analogowy PCA - przetwarza sygnał cyfrowy na analogowy dla sterowania impulsatorami tranzystorowymi. Blok PCA posiada izolację galwaniczną części cyfrowej od analogowej. Napięcie przebicia izolacji wynosi 500 V;
- 9) - blok sprzęgający z urządzeniem odbiorczo-nadawczym i pulpitem maszynisty BSO - służy do przyłączenia urządzenia łączności radiowej znajdującego się na lokomotywie oraz pulpitu maszynisty do magistrali CAMAC;
- 10) - blok diagnostyczny BD, zadaniem którego jest wykrywanie i sygnalizacja nieprawidłowości w trakcie pracy urządzenia.

Wszystkie sygnały wychodzące lub przychodzące z/do kasyety CPS są izolowane galwanicznie. Wymaganie to wynika z konieczności zabezpieczenia układów elektronicznych od zakłóceń i przepięć pochodzących z silnoprądowych obwodów lokomotywy.

3.4. Algorytm działania cyfrowego podsystemu sterowania lokomotywą

Algorytm działania CPS przedstawia schemat na rys. 3.3. Algorytm ten jest realizowany cyklicznie ze stałym taktom regulacji T_R przez mikroprocesorowy sterownik kasyety.

Każdy takt sterowania rozpoczyna się pomiarem prędkości lokomotywy V_L (odczyt z rejestru bloku BPV) oraz obliczeniem aktualnego przyspieszenia lokomotywy a_L . Jednocześnie dokonuje się programowa kontrola poślizgu kół pędnych. W celu kontroli poślizgu wszystkie osie napędne lokomotywy (dwie w przypadku układu modelowego) wyposażone być muszą w czujniki prędkości. Kontrola poślizgu polega na odczytywaniu i wyliczaniu różnicy prędkości wszystkich osi lokomotywy w stosunku do prędkości minimalnej. Wartość tej różnicy wskazuje zarówno na fakt wystąpienia poślizgu, jak i na jego wielkość.

Następnie sterownik pobiera wartość prędkości zadanej V_Z (odczyt rejestru z bloku BSO) i oblicza różnicę prędkości $\Delta V = V_Z - V_L$. W zależności od znaku błędu prędkości oraz od stosunku błędu ΔV do wielkości strefy nieczułości ΔV_0 akcja podejmowana przez sterownik jest różna.

Jeżeli $V_Z > V_L + \Delta V_0$ i jednocześnie aktualny stopień mocy oraz aktualne przyspieszenie nie osiągnęły wartości granicznych, to stopień mocy zwiększany jest o jeden.

Gdy $V_L < V_Z < V_L + \Delta V_0$, to w zależności od stosunku aktualnej mocy generatora P_G do mocy odpowiadającej najbliższemu niższemu stopniowi mocy P_{K-1} sygnał sterujący impulsowy regulator wzbudzenia (tj. liczba przesyłana do bloku FCA) przybiera wartość maksymalną lub proporcjonalną do błędu.

W przypadku gdy prędkość aktualna jest większa, od wartości zadanej V_Z , wtedy w zależności od wielkości błędu ΔV możliwe są cztery warianty:

- a) hamowanie pełne,
- b) hamowanie niepełne,
- c) obniżenie stopnia mocy o jeden,
- d) brak reakcji.

Po każdym przejściu algorytmu program sterujący zawiesza się na czas wynikający z taktu regulacji.

4. BADANIA MODELOWE

Przedstawioną koncepcję sterowania lokomotywy manewrowej zrealizowano laboratoryjnie w zespole Trakcji Elektrycznej Instytutu Podstawowych Problemów Elektrotechniki i Energoelektroniki. Jako obiekt regulacji wykorzystano kopalnianą lokomotywę dołową, jeżdżącą po trzydziestometrowym odcinku toru. Silnik Diesla symulowany był przez silnik prądu stałego z ujemnym prędkościowym sprzężeniem zwrotnym.

Dla realizacji modelu opracowano i zrealizowano w całości:

- cyfrowy podsystem sterowania CPS,
- impulsator tranzystorowy,
- przekaźnikowo-stycznikowy układ obejścia nastawnika jazdy,
- pulpity zdalnego sterowania i układy transmisji radiowej.

W trakcie prób ruchowych cyfrowy podsystem sterowania zmontowany był razem z impulsatorem tranzystorowym, układem przekaźnikowo-stycznikowym i usytuowany był w bezpośrednim sąsiedztwie układu elektromaszynowego zasilającego lokomotywę ruchowymi, podwieszonymi kablami.

W czasie badań modelowych stwierdzono stosunkowo wysoką odporność układu sterowania na zakłócenia elektromagnetyczne. We wstępnym okresie badań odnotowano zwrotny wpływ zakłóceń generowanych przez przełączane styczniki na stan rejestru wyjść cyfrowych. Efekt ten wyeliminowano dwoma sposobami:

- przez odpowiedni dobór pojemności blokujących, układy wzmacniaczy wyjściowych,
- przez programowe sprawdzanie stanu rejestru wyjściowego i ewentualną ponowną próbę zapisu po każdej operacji powodującej przełączenie styczników.

Zbudowany model układu sterowania będzie służył jako stanowisko laboratoryjno-badawcze. Przeprowadzono próby ruchowe sprawdzające przyjętą koncepcję załączonego algorytmu sterowania. Z uzyskanych wyników pomiarowych wynika, że zrealizowany układ pozwala osiągnąć założoną dokładność stabilizacji prędkości jazdy przy przyjętej dokładności pomiaru prędkości lokomotywy równej 0,1 km/h.

Badania dynamiki układu zamierza się przeprowadzić po wydłużeniu odcinka torów z 30 do 80 m.

5. WNIOSKI

Zastosowanie zdalnie sterowanej lokomotywy manewrowej do napychania składów wagonów na górkę rozrządową pozwoli na skrócenie czasu rozrządzenia. Przy zdalnym sterowaniu lokomotywy istnieje możliwość podporządkowania jej nadrzędnemu systemowi komputerowemu optymalizującemu pracę stacji rozrządowej. Wynikiem prac prowadzonych w Zespole Trakcji Instytutu Podstawowych Problemów Elektrotechniki i Energoelektroniki nad modelami zdalnego systemu sterowania jest model układu przeznaczony do instalowania we wszystkich typach lokomotyw manewrowych.

LITERATURA

- [1] JAGŁA W., BUJAKOWSKI A.: koncepcja układu sterowania cyfrowego lokomotyw spalinowo-elektrycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 78, 1982.
- [2] KONOPKA Z.: Przykłady badań wybranych układów napędowych pojazdów trakcyjnych z zastosowaniem modelowania na mc. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 78, 1982.
- [3] MÜLLER H.J., ZIMMER R.: Die autonome Fahr und Bremssteuerung des Triebfahrzeuges 42 C der DD Banart AGG. Elektrische Bahnen 1972 nr 7, s. 8.
- [4] ENSLOW PH.: Systemy cyfrowe wieloprocesorowe. WNT, Warszawa 1978.
- [5] LEONADES ED.C.: Control and Dynamic System. Vol. 10. New York, Academic Press 1973.
- [6] BAUMANN W.: Standard - Interfaces der elektronischen Messtechnik. Berlin VEB Verlag Technik 1974.

Wpłynęło do redakcji 29.V.1981 r.

Recenzent: doc. dr inż. Ryszard Matusiak

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАНЕВРОВЫМ ЛОКОМОТИВОМ

Р е з ю м е

В статье обсуждена микропроцессорная система управления маневровым локомотивом, реализующая на локомотиве передачу расположения путем радиотелеуправления. Представлены задачи и концепция системы, а также описан способ ее осуществления. Представлен тоже алгоритм, реализуемый средствами программирования миникомпьютера.

MICROPROCESSOR CONTROL SYSTEM OF THE SWITCHING LOCOMOTIVE

S u m m a r y

The paper deals with microprocessor control system of the switching locomotive which performs commands sent by radio from the remote control desk.

Assumptions, idea and the way of system realization were given. The paper contains also control algorithm performed in software.