

Wiesław JARZA

Instytut Podstawowych Problemów Elektrotechniki  
i Energoelektroniki Politechniki Śląskiej

Andrzej BUJAKOWSKI

Instytut Systemów Sterowania - Katowice

## KONCEPCJA UKŁADU STEROWANIA CYFROWEGO LOKOMOTYW SPALINOWO-ELEKTRYCZNYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję układu sterowania cyfrowego spalinowo-elektrycznej lokomotywy liniowej. Opisano zagadnienia rozruchu, stabilizacji prędkości jazdy w różnych warunkach trakcyjnych oraz hamowania. Prezentowane koncepcje są rezultatem prac prowadzonych w Instytucie Podstawowych Problemów Elektrotechniki i Energoelektroniki Politechniki Śląskiej, związanych ze sterowaniem lokomotyw typu SU46.

### 1. WSTĘP

Obecnie obserwuje się szybko postępujący proces automatyzacji trakcji elektrycznej i spalinowo-elektrycznej, zmierzający do modernizacji zarówno obwodów głównych, jak i układów sterowania. Modernizacja ta przebiega przede wszystkim w kierunku elektronizacji obwodów sterowania, a w szczególności: regulatorów wzbudzenia, regulatorów napięcia i regulatorów prędkości jazdy. Opanowanie technologii wytwarzania elementów scalonych, zwłaszcza cyfrowych, a w szczególności mikroprocesorów stworzyło możliwość bardziej kompleksowego podejścia do zagadnień związanych ze sterowaniem pracą lokomotyw. Specyfika układów mikroprocesorowych polega na tym, że algorytm pracy urządzenia sterującego, wprowadzany do pamięci systemu, może być w zależności od wymagań modyfikowany bez potrzeby przekonstruowywania jego części elektronicznej. W układach takich możliwa jest realizacja bardzo złożonych (w porównaniu z konwencjonalnymi elektronicznymi układami sterowania) algorytmów sterowania, o ile tylko wymagany czas wykonywania algorytmu nie jest zbyt krótki.

## 2. ZAŁOŻENIA FUNKCJONALNE

Zadaniem cyfrowego układu sterowania jest zapewnienie rozruchu lokomotywy (przy nieprzekroczeniu granicznej wartości przyspieszenia), stabilizacji prędkości jazdy w różnych warunkach trakcyjnych oraz hamowania przy zachowaniu granicznej wartości opóźnienia.

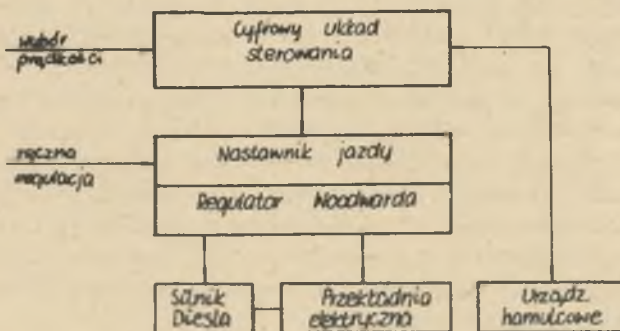
Założono, że układ sterowania cyfrowego będzie współpracował z zainstalowanym na lokomotywie regulatorem Woodwarda i z istniejącymi urządzeniami hamulcowymi.

W układzie tradycyjnym (tylko z regulatorem Woodwarda) maszynista dokonuje za pomocą nastawnika jazdy wyboru stopnia mocy, na którym będzie pracował silnik Diesla wraz z przekładnią elektryczną. Czynności te, absorbujące jego uwagę, nie pozwalają na skupienie się wyłącznie na obserwacji trasy ruchu pociągu i podejmowaniu decyzji co do wartości prędkości jazdy na trasie. Ręczna regulacja stopnia mocy przez maszynistę powoduje często przeregulowania, które podnoszą zużycie paliwa przez silnik spalinowy.

W proponowanym cyfrowym układzie sterowania czynności te przejmuje mikrokomputerowy system sterowania, a rola maszynisty sprowadza się do wyboru prędkości jazdy i obserwacji poprawności działania układu. W przypadku awarii układu cyfrowego maszynista może kontynuować jazdę w sposób tradycyjny.

## 3. STRUKTURA I DZIAŁANIE UKŁADU STEROWANIA DLA LOKOMOTYWY SU46

Sposób włączenia cyfrowego układu sterowania do urządzeń lokomotywy SU45 obrazuje rys. 1.



Rys. 1

Pulpit maszynisty zawiera stacyjkę i podświetlane przyciski funkcyjne i cyfrowe. Wybór wielkości żądanej prędkości następuje przez wciśnięcie odpowiednich przycisków. Przyjmuje się zadawanie prędkości jazdy co 5 km/godz., czyli że prędkości jazdy będą się układały w szeregu: 0; 5; 10; 15; 20, ... 120 km/godz. W praktyce takie kwantowanie prędkości jazdy jest zupełnie wystarczające. Danymi wejściowymi są informacje uzyskane z pulpitu maszynisty oraz sygnały pochodzące z czujników impulsowych, wykorzystywane do pomiaru aktualnej wartości prędkości jazdy i przyspieszenia. Jako czujniki przetwarzające prędkość obrotową zestawu kołowego lokomotywy na sygnały elektryczne proponuje się zastosować czujniki magnetoelektryczne przymocowane do obudowy przekładni zębatej i sprzęgnięte magnetycznie z kołem zębatym osadzonym na wale silnika trakcyjnego. Obwód magnetyczny zamyka się przez rdzeń magnesu czujnika, szczelinę powietrzną, koło zębate przekładni. W wyniku wirowania koła zębatego ulega zmianie wielkość szczeliny, a stąd wartość strumienia głównego na skutek zmian reluktancji. Powoduje to indukowanie się w cewce czujnika SEM o częstotliwości proporcjonalnej do liczby obrotów zestawu kołowego.

Zastosowanie w układzie dwóch czujników mocowanych nad tym samym kołem zębatym, lecz przesuniętych względem siebie o 1/2 długości podziałki zębowej, zwiększa dwukrotnie rozdzielczość urządzenia.

Pomiaru wartości prędkości dokonuje się, zliczając impulsy ze stałym taktom układu T1. W ten sposób ilość impulsów zliczona w okresie T1 reprezentuje wartość (ściślej jest to średnia za okres) aktualnej prędkości.

Przyspieszenie mierzone jest metodą różnicową przez odejmowanie wartości prędkości zmierzonej w dwóch kolejnych taktach. Proponowany schemat funkcjonalny cyfrowego układu sterowania przedstawiono na rys. 2, a przyjęte strefy regulacyjne układu na rys. 3.

Układ wyboru stopnia mocy oddziałuje na regulator Woodwarda i urządzenia hamulcowe w ten sposób, aby zapewnić stabilizację żądanej wartości prędkości. Jak widać z rys. 3, nie jest to sterowanie proporcjonalne, lecz odcinkowe, ze strefą nieczułości. Wąska strefa nieczułości układu  $\pm 1$  km/godz. pozwala uzyskać mały uchyb regulacji bez zbyt częstych prze-regulowań.

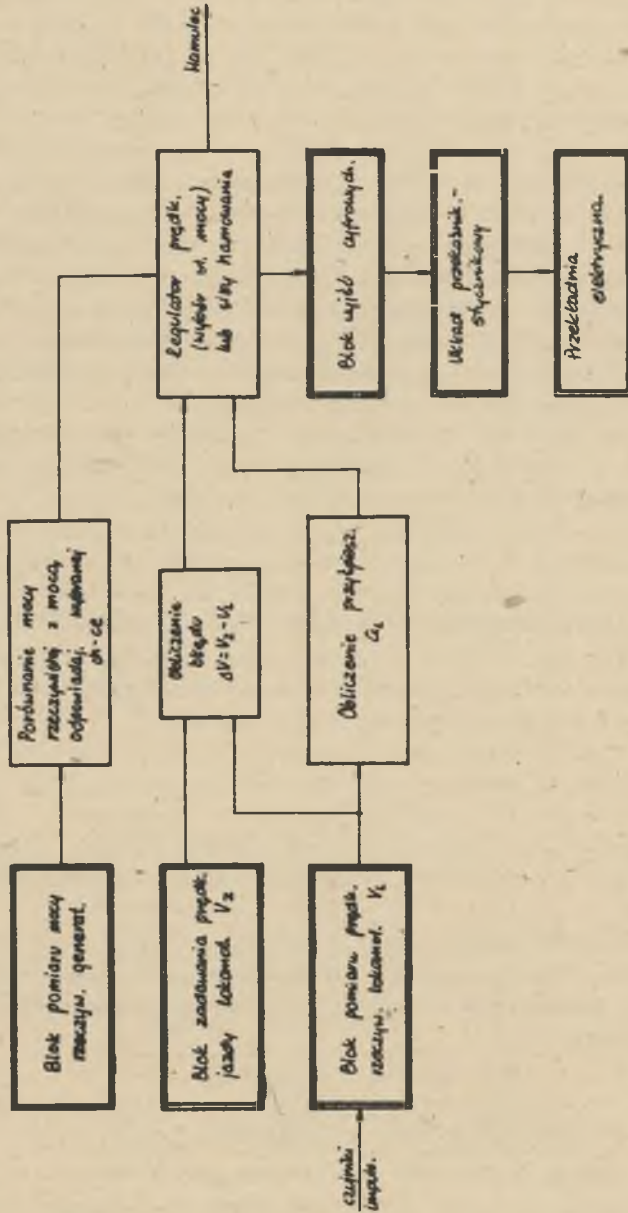
Podczas pracy układu wewnątrz założonej strefy nieczułości układ utrzymuje ostatnio wybraną wartość stopnia mocy przekładni elektrycznej, co oznacza w praktyce możliwość jazdy lokomotywy z prędkością mieszczącą się w przedziale:

$$VZ - 1 \leq V < VZ + 1 \text{ km/godz.}$$

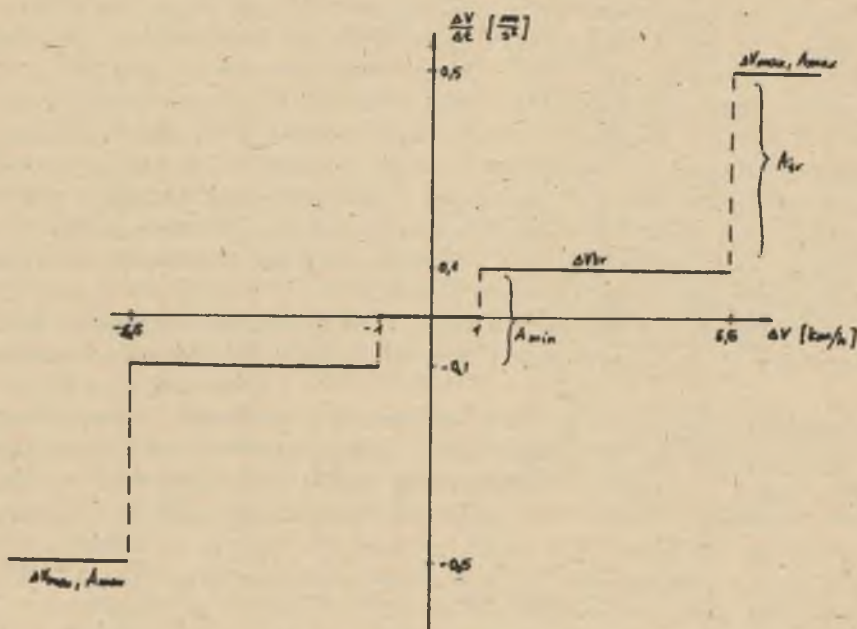
gdzie VZ oznacza zadaną wartość prędkości.

W tym przedziale wartość rozwijanych przyspieszeń jest bardzo niska i wynika głównie ze zmiany aktualnych oporów trakcyjnych. W trakcie rozruchu lokomotywy od prędkości zerowej do wartości żądanej przez maszynistę proces regulacji przebiega następująco: wobec dużej początkowej różnicy





Rys. 2



Rys. 3

prędkości dopuszczalne jest rozwijanie przyspieszeń nie większych niż  $0,5 \text{ m/s}^2$ , ponieważ układ realizuje funkcję odciążenia podług przyspieszenia. W praktyce rozwijanie tak dużych przyspieszeń możliwe jest w zasadzie przy jeździe lokomotywy nieobciążonej.

Ograniczenie wartości przyspieszeń do odpowiednich wartości granicznych następuje poprzez obniżenie stopnia mocy, gdy aktualna wartość przyspieszenia w danym takcie pomiarowym przekracza wartość dopuszczalną w określonym przedziale odchyłek prędkości. W okresie przyspieszania następuje podwyższenie stopnia mocy w kolejnych taktach podstawowych co  $T_1$ . Gdy wartość rzeczywista prędkości będzie różnić się od prędkości  $VZ-1 \text{ km/godz}$  mniej niż  $0,5 \text{ km/godz}$ ., następuje dalsze ograniczenie przyspieszenia do wartości nie większej niż  $0,1 \text{ m/s}^2$ . W rezultacie wejście do strefy nieczułości układu regulacji odbywać się będzie zawsze z przyspieszeniem nie przekraczającym  $A_{\min}$ .

Z chwilą gdy w opisanym tutaj procesie rozruchu lokomotywy prędkość  $V$  stanie się równa  $VZ-1 \text{ km/godz}$ ., następuje utrzymanie ostatnio wybranego stopnia mocy. Prędkość lokomotywy będzie dalej wzrastać zgodnie z przyspieszeniem początkowym, z jakim została osiągnięta prędkość  $VZ-1 \text{ km/godz}$ . (przyspieszenie "wejścia" w strefę nieczułości układu). Jeżeli opory jaz-

dy nie zrównoważą siły pociągowej lokomotywy, to po pewnym czasie prędkość przekroczy wartość  $VZ + 1$  km/godz, co będzie sygnałem do obniżenia stopnia mocy. Winno to spowodować obniżenie się prędkości jazdy i w następnym takcie wewnętrznym układ może znaleźć się już wewnątrz strefy nieczułości. W procesie stabilizacji prędkości jazdy wokół strefy nieczułości (tj. w przedziale  $|\Delta V| = 1,5$  km/godz) takt pomiaru prędkości i przyśpieszenia zostaje wydłużony 5÷10 razy. Podczas dalszych kolejnych taktów (teraz co 5÷10 T1) następuje pomiar przyśpieszenia i prędkości. Wydłużenie taktu pomiarowego w sąsiedztwie strefy nieczułości wynika z dążenia do eliminacji zbyt częstych przełączeń stopni mocy przy jeździe z prędkością praktycznie ustaloną. Stopień mocy zostaje zmniejszony o jeden, gdy prędkość  $V_{II}$  jest większa od  $VZ + 1$  km/godz oraz gdy zmierzona wartość przyśpieszenia jest ciągle jeszcze dodatnia. Podczas obniżenia się prędkości poniżej  $VZ - 1$  km/godz występuje proces analogiczny, z tym że następuje w tym przypadku podwyższanie stopnia mocy.

Wychylenie rączki hamulca przez maszynistę z położenia spoczynkowego (w celu przyhamowania lub zahamowania pociągu) powoduje szybkie obniżenie stopnia mocy z 10-krotnie przyśpieszonym cyklem, tj. co  $\frac{1}{10}$  T1, następnie kolejne obniżenie stopnia mocy przez układ sterujący, aż do osiągnięcia poziomu biegu jałowego. Zwolnienie urządzeń hamulcowych i powrót rączki do położenia spoczynkowego powoduje ponowne rozpoczęcie procesu stabilizacji prędkości jazdy na zadanym poziomie. Proces obniżania prędkości może odbywać się również dzięki wybieraniu nowych prędkości zedanych, niższych od uprzednio nastawionych.

Przy nastawie mniejszej prędkości jazdy, różniącej się o więcej niż 5 km/godz od prędkości poprzedniej, następuje szybkie obniżenie stopnia mocy do poziomu jałowego silnika Diesla, a następnie jazda wybiegiem aż do osiągnięcia równej granicy nowej strefy nieczułości  $VZ + 1$  km/godz. Dalej zaczyna się ponownie opisany uprzednio proces stabilizacji prędkości lokomotywy. Podczas wybrania nowej wartości prędkości niższej tylko o 5 km/godz nie następuje jazda wybiegiem, lecz kolejne obniżenie stopnia mocy (poza strefę  $VZ \pm 1,5$  km/godz z taktom T1) aż do momentu wejścia w nową strefę stabilizacji, po czym nowa wartość prędkości  $VZ$  będzie w opisany sposób utrzymywana. Rozwiązanie takie pozwala na uniknięcie niepotrzebnego w tym przypadku zejścia z prędkością obrotową silnika Diesla do poziomu biegu jałowego. Jeżeli wskutek jazdy na dużym spadku mimo ograniczenia mocy przekładni do poziomu biegu jałowego prędkość jazdy pociągu w dalszym ciągu wzrasta, następuje włączenie hamulca lokomotywy, gdy  $V > VZ + 2$  km/godz. Odblokowanie tego hamulca ma miejsce wtedy, gdy prędkość spadnie poniżej wartości  $VZ + 2$  km/godz. Przewiduje się dodatkowo włączenie hamowania swareyjnego w przypadku, gdy prędkość wzrośnie ponad  $VZ + 10$  km/godz.



#### 4. ROZWIĄZANIE PULPITU MASZYNISTY

Zakłada się, że wszystkie przyciski na pulpicie będą zwrotnie podświetlane w celu sygnalizacji przyjęcia polecenia przez układ cyfrowy oraz dla określenia aktualnego stanu układu. Przyciski numeryczne proponuje się podzielić na trzy grupy: do zadawania setek, dziesiątek i jednostek prędkości wyrażonej w km/godz. Wszystkie przyciski będą stabilne i wzajemnie zależne w ramach grupy.

Oprócz przycisków numerycznych przewiduje się dwa przyciski funkcyjne niestabilne: AKCEPT - służący do wprowadzania do układu uprzednio wybranej prędkości zadanej, START - używany do ustawiania układu w stan początkowy przed rozpoczęciem pracy. Podświetlanie przycisków numerycznych ma na celu sygnalizację wartości prędkości zadanej, uprzednio wprowadzonej do układu. Przewiduje się, że przyciski będą podświetlane światłem ciągłym po osiągnięciu prędkości zadanej, a światłem pulsującym w okresie przyspieszenia lub hamowania. Przycisk START podświetlany jest światłem pulsującym dla zasygnalizowania braku możliwości osiągnięcia zadanej prędkości w danych warunkach trakcyjnych. Przycisk AKCEPT podświetlany jest jedynie w chwili przyciśnięcia dla kontroli poprawności działania układu.

#### 5. POWIĄZANIE UKŁADU STEROWANIA CYFROWEGO LOKOMOTYWY Z UKŁADEM HAMULCOWYM

Układ cyfrowy będzie mógł sterować procesem hamowania pociągu w sposób ograniczony, a mianowicie:

- będzie uruchamiał i luzował hamulec dodatkowy (niesamoczynny), oddziałujący jedynie na koła lokomotywy celem przyhamowania pociągu,
- będzie uruchamiał hamulec zespolony (samoczynny) celem zatrzymania awaryjnego pociągu (hamowanie awaryjne).

Natomiast maszynista będzie mógł posługiwać się hamulcem zespolonym sterując ręcznie w celu przyhamowania i luzowania pociągu oraz w przypadku konieczności zatrzymania pociągu na stacji, przed semaforem lub w dowolnym miejscu na szlaku.

W związku z powyższym proponuje się wyposażać lokomotywę w układ elektropneumatyczny bocznikujący zawór dodatkowy maszynisty (Oerlikon FD 1), a cewki zaworów elektropneumatycznych tego układu sterować sygnałami prądowymi z układu cyfrowego poprzez wzmacniacze i przekaźniki pomocnicze prądu stałego.

Powyższe rozwiązanie umożliwi uruchomienie i luzowanie hamulca dodatkowego przez układ cyfrowy.

## 6. PODSUMOWANIE

Niewątpliwe zalety cyfrowych systemów sterowania, jak np. modularność konstrukcji i elastyczność funkcjonalna są powodem coraz powszechniejszego ich stosowania w nowoczesnych lokomotywach. Za granicą znane są już rozwiązania sterowania cyfrowego lokomotyw elektrycznych, a w szczególności jednostek szybkiej kolei miejskiej. Rozwój krajowej produkcji szerokiej gamy scalonych układów cyfrowych oraz opanowanie podstawowych technologii produkcji urządzeń cyfrowych umożliwia obecnie budowanie w kraju cyfrowych układów sterowania lokomotyw. Biorąc jednocześnie pod uwagę stały wzrost cen paliw wydaje się celowe prowadzenie prac nad układami sterowania lokomotyw spalinyowych. Cyfrowy układ sterowania daje między innymi możliwość optymalizacji pracy silnika Diesla ze względu na zużycie paliwa.

## LITERATURA

- [1] DUDAK W.: Teoretyczne zagadnienia trakcji elektrycznej. Skrypt AGH, Kraków 1974.
- [2] CZERNIŁO S.: Tabor trakcji elektrycznej. WKiŁ, Warszawa 1974.
- [3] DULŚ J.: Zasilnie sterowana lokomotywa elektryczna dla baz przeładunkowych węgla i rudy. Problemy projektowe Hutnictwa i Przemysłu Maszynowego nr 3 (265) ss. 54-62 Gliwice - marzec 1977.
- [4] Intel 8080 Microcomputers System Manual. January 1975. Second Print (80-394 A).
- [5] COBURN A.: Wstęp do systemów operacyjnych. P.A.N., Warszawa 1976.

Przyjęta do redakcji 29.V.1981 r.

Recenzent: doc.dr hab.inż. Przemysław Pazdro

## КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЛИНЕЙНЫМИ ЛОКОМОТИВАМИ

### Резюме

В статье представлена концепция системы цифрового управления дизель-электрическим линейным локомотивом. Описаны вопросы пуска, стабилизации скорости хода в разных тяговых условиях, а также торможения.

Представленные концепции - результат работ проводимых Институтом основных проблем электротехники и энергоэлектроники Силезского политехнического института, связанных с управлением локомотивами типа SU-46.



AN IDEA OF A DIGITAL CONTROL SYSTEM OF THE DIESEL-ELECTRIC LOCOMOTIVES

S u m m a r y

The paper presents an idea of a digital control system of the diesel-electric locomotive.

Starting, velocity stabilisation and braking in different traction conditions are discussed. The ideas presented in the paper are the result of research carried out in the Silesian Polytechnic, concerning the SU46 locomotive type control.