

Zdzisław KONOPKA

Instytut Podstawowych Problemów
Elektrotechniki i Energoelektroniki
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

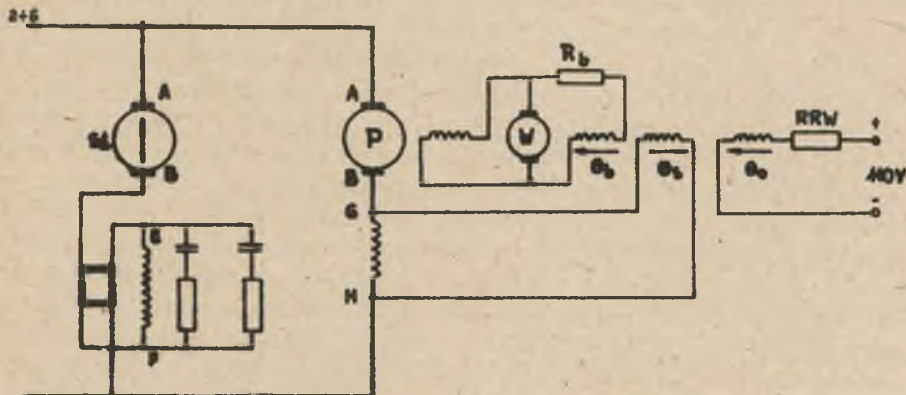
AUTOMATYCZNA REGULACJA PRĘDKOŚCI JAZDY
SPALINOWO-ELEKTRYCZNEJ LOKOMOTYWY MANEWRWEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję układu automatycznej regulacji prędkości jazdy lokomotywy manewrowej, spalinowo-elektrycznej. Sprecyzowano zadania oraz wymagania dla układu.

1. Wstęp

Wśród wielu zagadnień dotyczących modernizacji układów sterowania taborem trakcji ważne miejsce zajmuje problematyka związana z automatyzacją procesu sterowania pracą górnek rozrządowych stacji towarowych PKP bądź dużych zakładów przemysłowych.

W Zespole Trakcji Elektrycznej Instytutu Podstawowych Problemów Elektrotechniki i Energoelektroniki Politechniki Śląskiej opracowano projekt układu zdalnego sterowania pracą lokomotywy manewrowej, spalinowo-elektrycznej, którego realizacja i badania przewidziane są na lata 1979-80. Układ będzie realizowany w oparciu o seryjną lokomotywę spalinowo-elektryczną typu SM-31, której uproszczony schemat głównego obwodu elektrycznego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1

Rozkazy dotyczące sposobu jazdy, przekazywane są do lokomotywy drogą radiową i realizowane w zamkniętym układzie regulacji prędkości jazdy lokomotywy.

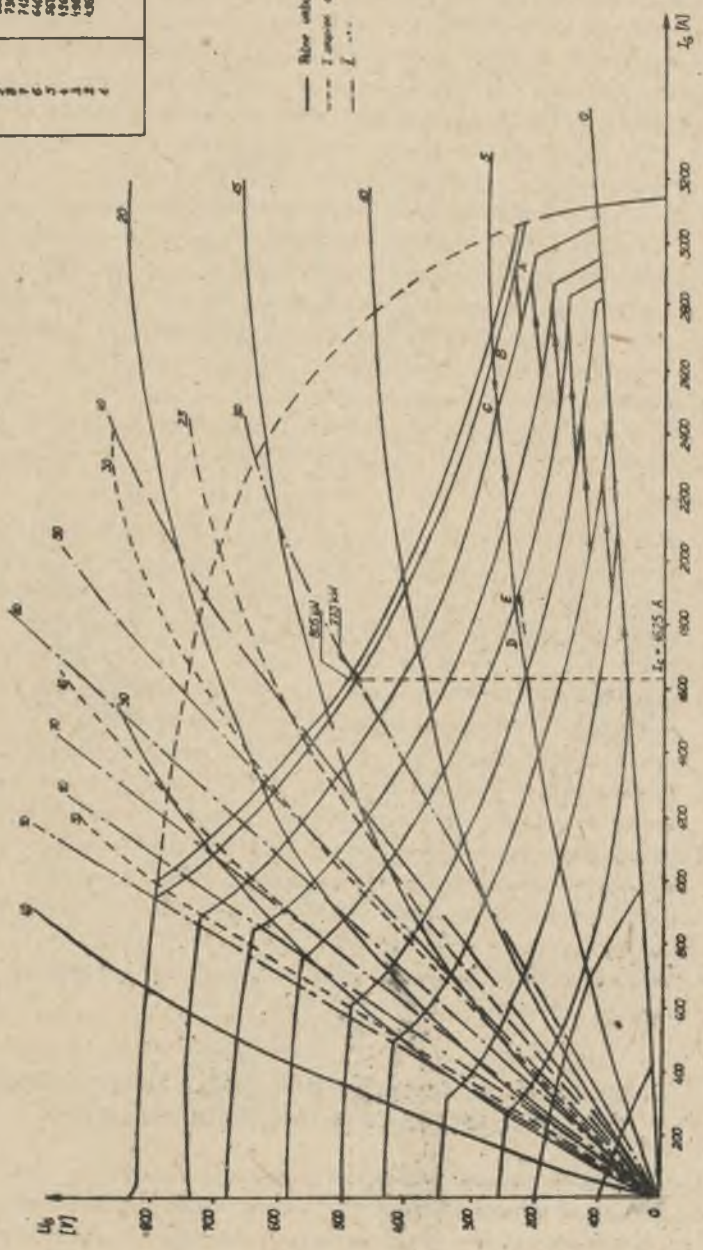
Omówieniu warunków pracy układu regulacji prędkości lokomotywy spalinowo-elektrycznej oraz struktury tego układu poświęcony jest niniejszy artykuł.

2. Zadania i warunki pracy układu regulacji prędkości lokomotywy

Zadaniem układu regulacji prędkości jazdy lokomotywy manewrowej jest samoczynne doprowadzenie pojazdu do zadanej prędkości w określonych warunkach pracy oraz stabilizacja tej prędkości w różnych warunkach trakcyjnych. Ideę pracy takiego układu przeanalizujemy w oparciu o charakterystyki przedstawione na rys. 2.

Załóżmy, że zadana prędkość, którą układ ma stabilizować, wynosi 5 km/h i że rozruch pojazdu, przeprowadzony poprzez wzrost stopni mocy, z zachowaniem ograniczeń dotyczących określonej wartości przyśpieszenia, został zakończony w punkcie A, odpowiadającym maksymalnej mocy pociągowej lokomotywy. Przykładowy przebieg rozruchu naniesiono na rys. 2. Dalszy przyrost prędkości pojazdu będzie odbywał się przy maksymalnej mocy silnika spalinowego i prędkość zadana układ osiągnie w punkcie B. Jeśli opory trakcji będą mniejsze od siły rozwijanej przez lokomotywę w punkcie pracy B, lub jeśli - w przypadku gdy są równe - będą malały, np.: na skutek zmiany profilu trasy, bądź zmniejszania ciężaru doczepnego (praca na górze rozrządowej), wówczas różnica ta, będąca siłą przyspieszającą, będzie usiłowała zwiększyć prędkość pojazdu powyżej wartości zadanej. Zadaniem regulatora prędkości będzie płynne zmniejszenie mocy przekładni elektrycznej (siły pociągowej lokomotywy) poprzez ingerencję w obwód wzbudzenia obcego wzbudnicy prądniczy głównej, przy zachowaniu niezmięnionej pozycji nastawnika jazdy. Ta ingerencja spowoduje przesuwanie się punktu pracy przekładni elektrycznej wzdłuż krzywej odpowiadającej prędkości zadanej np. 5 km/h). Po osiągnięciu punktu pracy C, w którym moc rozwijana przez lokomotywę jest o jeden stopień niższa, nastąpi zmiana położenia nastawnika jazdy o jedną pozycję w dół i proces stabilizacji prędkości będzie odbywał się przy nowym stopniu mocy przekładni, a punkt pracy będzie przesuwiał się w kierunku zaznaczonym strzałką (rys. 2). Jeśli opory trakcji przy zadanej prędkości będą odpowiadały sile rozwijanej przez lokomotywę, np. w punkcie D, wówczas nastawnik jazdy będzie znajdował się w pozycji ósmej (dla lokomotywy SM31). Moc rozwijana przez silnik spalinowy lokomotywy nie będzie jednak wynosić 537 kW, lecz będzie mniejsza i zawarta w przedziale pomiędzy 431 i 537 kW. Jeśli, począwszy od ustalonego punktu pracy przekładni elektrycznej D, opory trakcji będą wzrastać, wówczas regulator prędkości, ingerując w obwód wzbudzenia wzbudnicy prądniczy głównej, spowoduje płynny wzrost mocy przekładni, a po osiągnięciu punktu pracy E - wzrost stopnia mocy przekładni elektrycznej.

Prędkość maksymalna [min ⁻¹]	Moc silnik [kW]
680	883
528	765
384	647
240	529
192	411
144	293
96	175
48	87



Rys. 2

Prześledźmy następnie, jak powinna przebiegać praca układu regulacji prędkości lokomotywy przy zmianie wartości prędkości zadanej.

Jeśli prędkość zadana będzie większa od aktualnie rozwijanej przez lokomotywę, wówczas układ regulacji musi zapewnić wzrost tej prędkości poprzez zwiększenie mocy przekładni przy zachowaniu tych wartości mocy na poszczególnych stopniach, jakie narzuca regulator Woodworde'a. Po osiągnięciu prędkości zadanej stabilizacja jej odbywa się zgodnie z wcześniej opisaną procedurą. Podczas trwania stanu nieustalonego pracy przekładni, wywołanego powyższym zaburzeniem, musi być kontrolowana wartość przyspieszenia. W przypadku, gdy aktualne przyspieszenie jest większe od granicznego, należy zmniejszyć szybkość wzrostu stopni mocy.

Jeśli zaburzenie będzie wywołane zmniejszeniem wartości prędkości zadanej, wówczas układ regulacji prędkości powinien zapewnić osiągnięcie nowego punktu pracy lokomotywy poprzez jej pracę z wybiegu, o ile różnica pomiędzy prędkościąadaną i rzeczywistą nie przekracza wartości dopuszczalnej. W przeciwnym wypadku musi nastąpić włączenie układu hamowania. Podczas pracy z wybiegu, jak również podczas hamowania, przekładnia elektryczna powinna pracować na biegu jałowym.

Na podstawie powyższych rozważań wymagania stawiane układowi regulacji prędkości jazdy lokomotywy spalinowo-elektrycznej można sprecyzować następująco:

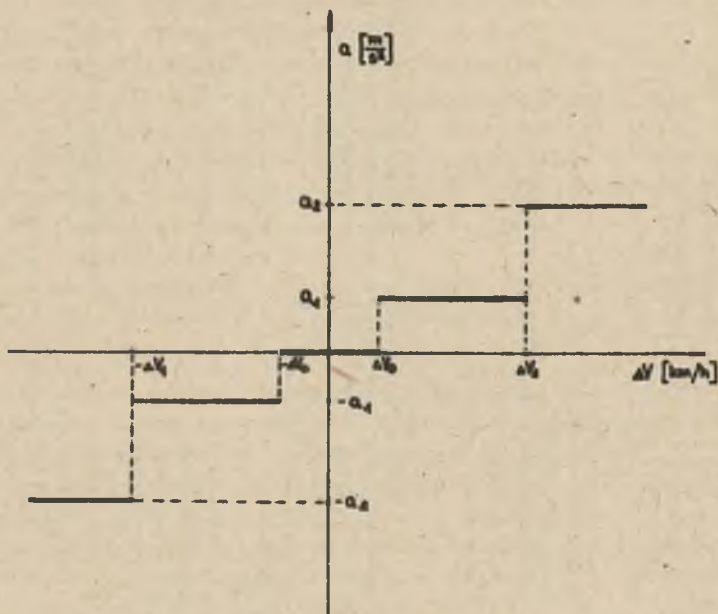
1. Układ powinien zapewnić stabilizację dowolnej prędkości zadanej, o ile opory trakcji będą mniejsze od siły pociągowej lokomotywy przy tej prędkości i przy maksymalnej mocy przekładni elektrycznej.
2. Układ powinien ograniczać przyspieszenie do zadanej (nastawionej) wartości.
3. Stabilizacja prędkości powinna odbywać się poprzez zmianę stopni mocy przekładni, poprzez płynną zmianę mocy przekładni w przedziale pomiędzy dwoma sąsiednimi stopniami mocy oraz poprzez włączanie układu hamowania.
4. Płynna zmiana mocy przekładni elektrycznej powinna być realizowana poprzez regulację prądu wzbudzenia obcego wzbudnicy prądniczy głównej.
5. Układ powinien zapewnić pracę silnika spalinowego na biegu jałowym w przypadku hamowania lokomotywy bądź jazdy z wybiegu.
6. Układ powinien zapewnić zmianę stopni mocy w zależności od aktualnych potrzeb trakcyjnych tak, aby spełnić wymagania nr 3.
7. Układ powinien zapewnić zmniejszenie siły pociągowej lokomotywy w momencie wystąpienia poślizgu kół.

3. Koncepcja układu regulacji prędkości jazdy lokomotywy spalinowo-elektrycznej i opis struktury układu

Realizację układu regulacji prędkości oparto na technice cyfrowej. Jego strukturę przedstawia rys. 3. Podstawowym elementem układu jest regulator prędkości, który na podstawie informacji o aktualnej różnicy pomiędzy

prędkościąadaną i rzeczywistą działa w kierunku minimalizacji tej różnicy. Omawiany układ jest układem regulacji statycznej. Oddziaływanie regulatora prędkości na obiekt regulacji jest dwukierunkowe. Regulator RN1 steruje zmianą stopnia mocy przekładni oraz uruchamia układ hamowania, natomiast regulator RN2 dokonuje płynnej zmiany prądu wzbudzenia wzbudnicy prądniczy głównej, a tym samym zmienia w sposób ciągły moc przekładni elektrycznej.

Charakterystykę statyczną regulatora prędkości RN1 przedstawia rys. 4.



Rys. 4

Jeśli różnica prędkości pomiędzy wartościąadaną i rzeczywistą lokomotywy $\Delta V = V_z - V_1$, będąca wielkością wejściową regulatora prędkości, jest większa od zera i większa od ΔV_0 (przyjęta strefa nieczułości regulatora), wówczas regulator spowoduje sekwencyjne zwiększenie stopnia mocy przekładni, przy prądzie wzbudzenia obcego wzbudnicy, określonym wyłącznie przez regulator Woodwarda'a. Wzrost stopnia mocy będzie odbywał się do momentu osiągnięcia przez lokomotywę prędkości adanej (z uwzględnieniem strefy nieczułości regulatora) bądź też do momentu osiągnięcia pełnej mocy przekładni, która dopiero umożliwi uzyskanie prędkości adanej.

Rozruch pojazdu bądź przejście od jednej wartości prędkości adanej do drugiej odbywa się z ograniczonym przyśpieszeniem. Układ pomiaru przyśpieszenia lokomotywy sprawdza aktualną wartość przyśpieszenia i w przypadku, gdy jest ono większe od wartości adanej, blokuje dalszy wzrost stopnia mocy przekładni.

Przyjęto dwuwartościową gradację zadanej wartości przyśpieszenia, uzależnioną od wielkości sygnału wejściowego regulatora, co graficznie przedstawia rys. 4. Zgodnie z tym rysunkiem można zapisać:

$$a_r = \begin{cases} a_2 & \text{dla } \Delta V \geq \Delta V_1 \\ a_1 & \text{dla } \Delta V_0 \leq \Delta V < \Delta V_1 \\ 0 & \text{dla } \Delta V < \Delta V_0 \end{cases}$$

Jeśli prędkość lokomotywy będzie większa od wartości zadanej, a więc różnica prędkości będzie ujemna i większa od przyjętej strefy nieczułości regulatora $-\Delta V_0$, wówczas nastąpi włączenie układu hamowania pociągu z opóźnieniem wynoszącym odpowiednio:

$$a_h = \begin{cases} -a_2 & \text{dla } \Delta V \leq -\Delta V_1 \\ -a_1 & \text{dla } -\Delta V_1 < \Delta V \leq -\Delta V_0 \\ 0 & \text{dla } -\Delta V_0 < \Delta V \end{cases}$$

Decyzje regulatora prędkości wykonywane są przez układ sterowania zmianą stopni mocy przekładni elektrycznej i hamowaniem. Jest to układ przekładnikowo-stycznikowy, który zastępuje nastawnik jazdy w rozwiązaniu klasycznym.

Stabilizację prędkości jazdy lokomotywy pomiędzy dwoma sąsiednimi stopniami mocy przekładni zapewnia regulator prędkości RN2, którego sygnał wyjściowy powoduje zmianę wartości prądu wzbudzenia obcego wzbudnicy, prędnicy głównej.

Charakterystykę statyczną regulatora opisuje zależność

$$S = \begin{cases} S_{mx} & \text{dla } \Delta V \geq \Delta V_0 \\ k \cdot \Delta V & \text{dla } 0 < \Delta V < \Delta V_0 \\ 0 & \text{dla } \Delta V < 0 \end{cases}$$

przy czym S - jest to sygnał wyjściowy regulatora, sterujący pracą impulsatora tranzystorowego włączanego w obwód wzbudzenia obcego wzbudnicy.

Jeżeli $S = S_{mx}$, wówczas impulsator tranzystorowy jest w pełni wysteroowany, a prąd wzbudzenia obcego wzbudnicy określony jest poprzez nastawy regulatora Woodwarda'a, dopasowującego moc przekładni elektrycznej do zadanej mocy silnika Diesla.

Liniowa zmiana sygnału S w przedziale $0 < \Delta V < \Delta V_0$ powoduje liniową zmianę współczynnika wypełnienia impulsatora tranzystorowego, co z kolei wpływa na zmianę wartości prądu wzbudzenia wzbudnicy, a zatem na zmianę mocy przekładni (przy niezmiennych nastawach regulatora Woodwarda'a).

Jeśli lokomotywa osiągnie prędkość $V_1 = V_z - \Delta V_0$ (np. w punkcie B rys. 2) i będzie wykazywać tendencje do dalszego wzrostu prędkości ($\Delta V <$

$< \Delta V_0$ i maleje), wówczas przy tym samym stopniu mocy, przy którym lokomotywa osiągnęła prędkość $V_z - \Delta V_0$, nastąpi zmniejszenie się sygnału wyjściowego regulatora RN2, a zatem malenie współczynnika wypełnienia impulsatora tranzystorowego w obwodzie wzbudzenia wzbudnicy i w konsekwencji malenie mocy przekładni (punkt pracy B przesuwają się w kierunku punktu C na rys. 2). Zmniejszanie mocy będzie odbywać się do momentu osiągnięcia stanu ustalonego przy zadanej prędkości, tzn. do momentu, gdy siła pociągowa lokomotywy zrówna się z oporami trakcji.

Jeśli malejąca moc przekładni elektrycznej w trakcie stabilizacji prędkości zmniejszy się poniżej wartości określonej $k-1$ pozycją nastawnika jazdy (np. punkt C, rys. 2), wówczas nastąpi obniżenie stopnia mocy do wartości odpowiadającej tej pozycji nastawnika. Zadanie to realizuje układ porównania mocy rzeczywistej przekładni z mocą odpowiadającą $k-1$ położeniu nastawnika jazdy (k - aktualnie położenie nastawnika jazdy).

Zatem, jeśli $P_G < P_{k-1}$, blok porównania mocy zmienia stopień mocy ad wartości P_k do wartości P_{k-1} .

4. Zakończenie

Przedstawiona koncepcja układu regulacji jest punktem wyjścia do dalszych badań, które prowadzone są dwutorowo, a mianowicie: w oparciu o model matematyczny układu oraz w oparciu o realizowany w laboratorium model fizyczny. Badania te umożliwiają sformułowanie wniosków dotyczących własności omawianego układu.

LITERATURA

- [1] Podoski J.: Zasady trakcji elektrycznej. WKŁ, Warszawa 1967.
- [2] Podoski J.: Teoretyczne zagadnienia trakcji elektrycznej. Trakcja miejska i kolejowa. Praca zbiorowa. PWN, Warszawa 1975.
- [3] Dokumentacja techniczno-ruchowa lokomotywy spalinowo-elektrycznej o mocy 1200 kW serii SM31. CDKPTK - Poznań.
- [4] Zdalne sterowanie lokomotyw w komputerowych systemach kierowania pracą stacji i sterowania ruchem pociągów. Cz. 1. Koncepcja i projekt wstępny systemu sterowania lokomotywą manewrową. praca nr NB-106/RE-3/78 IPPEiE Pol. Śl. Praca nie publikowana.
- [5] Czucha J., Pazdro P., Żyborcki J.: Elektroniczny system sterowania lokomotywy spalinowo-elektrycznej. Materiały na konferencję TRAKO 78. Warszawa 13-14 listopada 1978 r.

Przyjęto do druku w czerwcu 1979 r.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛИРОВКА СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ
МАНЕВРОВОГО ДИЗЕЛЬ-ЛОКОМОТИВА

Р е з ю м е

В статье представлена концепция решения системы автоматической регулировки скорости движения маневрового дизель-локомотива. Сформулированы требования, представляемые к системе регулировки.

THE SPEED CONTROL OF AN ELECTRO-DIESEL LOCOMOTIVE

S u m m a r y

An idea of a speed control system for an electro-diesel locomotive is presented as well as the requirements for such a system are specified.