

Elektroniczny układ regulacji przekładni elektrycznej zmodernizowanej lokomotywy spalinowej SM42

Artykuł przedstawia zasadę działania i opis elektronicznego regulatora przekładni elektrycznej, zastosowanego w zmodernizowanej lokomotywie SM42, wyposażonej w silnik firmy MTU typu 8V 396 TC14 i prądnicę synchroniczną typu LSG-850-90 firmy ABB Dolmel Drives.

Przeznaczenie

Zadaniem elektronicznego regulatora przekładni elektrycznej lokomotywy spalinowej jest takie powiązanie ze sobą zmiennych parametrów zespołu silnika spalinowego, prądnicy synchronicznej i prostownika trakcyjnego, aby możliwe było

pełne wykorzystanie mocy znamionowej silnika spalinowego w szerokim zakresie prędkości jazdy lokomotywy, bez obawy jego przeciążenia, przy zapewnieniu dużej płynności jazdy, optymalnego zużycia paliwa i minimalnej emisji gazów wydechowych.

Te i inne funkcje związane z regulacją, sterowaniem i kontrolą różnorodnych parametrów zespołu silnik-prądnica-prostownik, spełnia elektroniczny regulator złożony z regulatora silnika i regulatora prądnicy, w którym można wyróżnić odrębny blok funkcjonalny jakim jest regulator prądnicy pomocniczej.

Regulator silnika i regulator prądnicy wykonane są jako dwa oddzielne urządzenia.

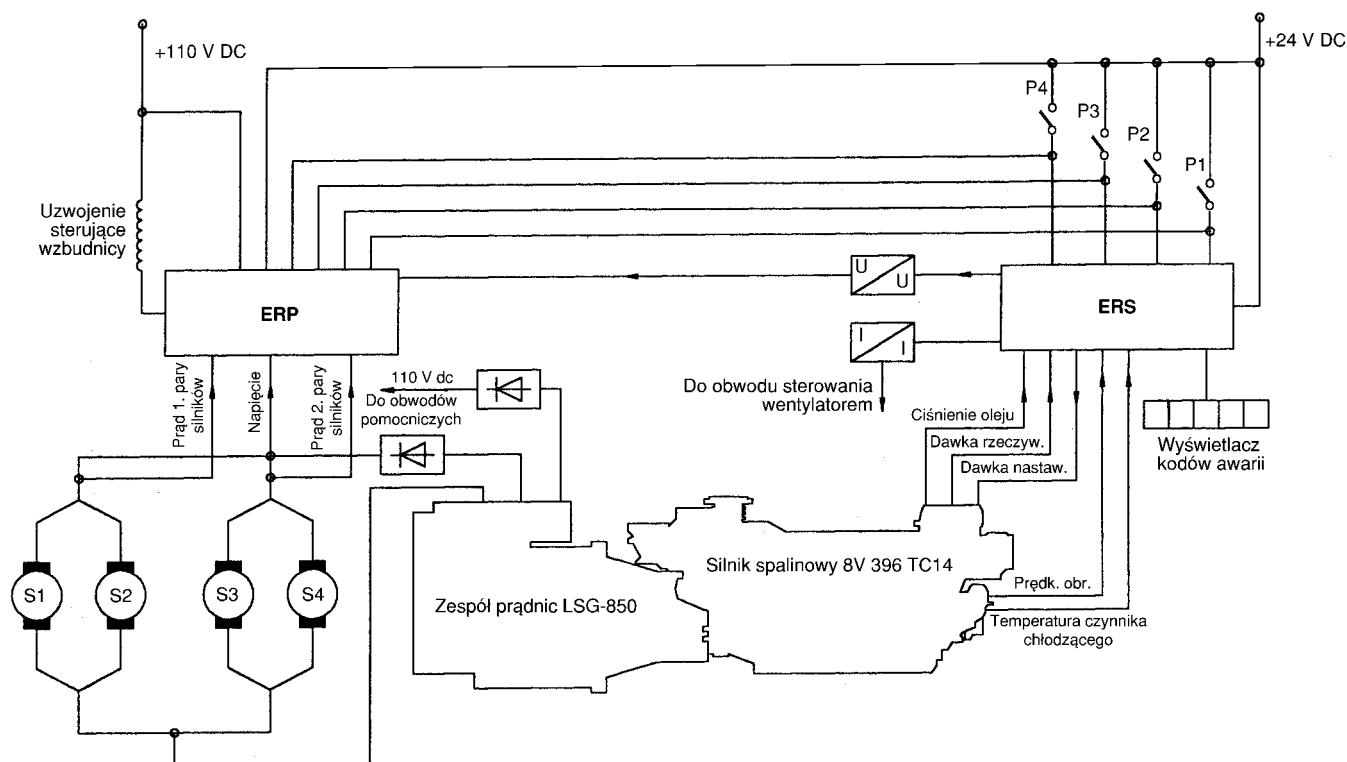
Uproszczony schemat blokowy układu regulacji przekładni przedstawiono na rysunku 1.

Elektroniczny regulator silnika, określany dalej jako ERS, spełnia przede wszystkim dwie zasadnicze funkcje:

- 1) utrzymuje zadaną prędkość obrotową silnika na stałym poziomie przy zmieniającym się obciążeniu silnika,
- 2) realizuje zmianę prędkości obrotowej silnika zgodnie z poleceniem obsługi lokomotywy.

Inne ważniejsze funkcje regulatora silnika, to:

- realizacja określonego diagramu mocy, czyli zależność mocy mechanicznej oddawanej przez silnik w zależności od jego prędkości obrotowej,
- zapewnienie określonego zwiększonego dawkowania paliwa przy starcie silnika spalinowego w celu zapewnienia prawidłowego przebiegu rozruchu,
- uniemożliwienie załączenia napędu hydrostatycznego wentylatora podczas rozruchu i zatrzymywania silnika spalinowego,



Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy układu regulacji przekładni

- uniemożliwienie ponownego startu silnika spalinowego po jego awaryjnym wyłączeniu, bez rozpoznania i usunięcia przyczyny jego wyłączenia,
- zapewnienie optymalnego przebiegu prędkości obrotowej silnika w stanach przejściowych oraz optymalnych wartości zużycia paliwa i emisji gazów wydechowych,
- ochrona silnika przed przeciążeniem.

Dodatkowo ERS realizuje funkcje związane z uruchomieniem klapy szybkiej, gdy prędkość obrotowa silnika przekroczy wartość dopuszczalną, oraz wyłączeniem połowy cylindrów silnika, gdy zadane są obroty obiegu jałowego silnika.

Elektroniczny regulator prądnicy, określane dalej jako ERP, współpracujący z ERS przeznaczony jest do sterowania pracą prądnicy głównej i prądnicy pomocniczej.

ERP spełnia między innymi następujące funkcje:

- kształtuje charakterystyki zewnętrzne prądnicy głównej i pomocniczej,
- ogranicza maksymalne wartości mocy, prądu i napięcia na poszczególnych pozycjach jazdy.
- generuje sygnał do włączenia i wyłączenia osłabiania pola silników trakcyjnych,
- kontroluje prądy w obydwu grupach silników trakcyjnych, generując sygnał do obniżenia wzbudzenia prądnicy w przypadku wystąpienia poślizgu.

Sygnałem wyjściowym regulatora silnika jest sygnał ustalający dawkę paliwa kierowaną do silnika spalinowego dla poszczególnej zadanej prędkości obrotowej oraz sygnał proporcjonalny do aktualnego obciążenia silnika spalinowego, który jest jednocześnie sygnałem wejściowym dla ERP.

Sygnał ustalający rzeczywistą dawkę paliwa kierowaną do silnika podlega pewnym ograniczeniom, chroniącym silnik przed przeciążeniem.

Do ważniejszych ograniczeń należą:

- ograniczenie wynikające z aktualnie zadanej prędkości obrotowej,
- ograniczenie wynikające z aktualnie występującej temperatury: czynnika chłodzącego, powietrza zasysanego, paliwa, gazów wydechowych i oleju silnikowego.

Moc znamionowa silnika, a tym samym odpowiadająca jej dawka paliwa, może być przez producenta silnika ograniczona (obniżona) w stosunku do wartości określonej zgodnie z kartą UIC przy temperaturze zasysanego powietrza +25°C i ciśnieniu odpowiadającym wysokości nad poziomem morza 100 m. Jest to stosowane w przypadku, gdy warunki eksploatacji trwale niekorzystnie odbiegają od podanych, a także w przypadku znacznego zanieczyszczenia powietrza, np. zapylenia. Ograniczenie dawki paliwa przy znamionowej prędkości obrotowej stosuje się także dla dodatkowego ograniczenia emisji gazów.

Zasada działania

ERS stanowią szeregowo połączone dwa regulatory proporcjonalno-całkująco-różniczkujące PID, z których pierwszy jest regulatorem obrotów, a drugi regulatorem dawkowania.

Sygnałem wejściowym regulatora obrotów jest binarny sygnał zadanej prędkości obrotowej. Sygnałem sprzężenia zwrotnego jest sygnał proporcjonalny do rzeczywistej prędkości

obrotowej silnika pochodzący z czujnika obrotów silnika. Sygnałem wejściowym regulatora dawkowania jest sygnał wyjściowy regulatora obrotów oraz sygnał proporcjonalny do rzeczywistego wysunięcia listwy pompy wtryskowej. Sygnałem wyjściowym regulatora dawkowania jest sygnał ustalający wysunięcie listwy pompy wtryskowej silnika.

Jak pokazano na rysunku 1, poprzez styki P1, P2, P3 i P4 obydwa regulatory otrzymują informację z obwodów sterowania lokomotywy o zadanym sygnale do startu silnika spalinowego oraz zadanej prędkości obrotowej silnika. Z regulatora silnika są przesyłane informacje do różnych elementów wykonawczych na silniku, między innymi przesyłany jest sygnał do elementu wykonawczego pompy wtryskowej w celu wymuszenia określonego dawkowania paliwa. Jednocześnie z punktów pomiarowych na silniku są przekazywane do regulatora różnorodne informacje, będące odpowiedzią na poszczególne wymuszenia, między innymi sygnały proporcjonalne do rzeczywistego dawkowania i rzeczywistej prędkości obrotowej silnika spalinowego, ciśnienia oleju w silniku, temperatury czynnika chłodzącego itd.

Z regulatorem silnika poprzez przetwornik U/U jest przekazywany do regulatora prądnicy analogowy sygnał proporcjonalny do aktualnego obciążenia silnika spalinowego, interpretowany jako sygnał o wartości:

- 5 V – silnik obciążony optymalnie (moc mechaniczna oddawana zgodna z wartością mocy wynikającą z diagramu mocy),
- <5 V – silnik przeciążony,
- >5 V – silnik niedociążony.

Sygnałem wyjściowym regulatora prądnicy głównej jest prąd zasilający uzwojenie sterujące wzbudnicy. Jeżeli silnik spalinowy jest niedociążony, wówczas regulator prądnicy głównej powinien tak pośrednio zwiększyć wzbudzenie prądnicy głównej, aby nastąpiło obciążenie silnika spalinowego mocą mechaniczną zgodnie z zaprogramowanym diagramem mocy. To zwiększenie wzbudzenia może nastąpić tylko wtedy, gdy nie działają inne ograniczenia wynikające z maksymalnego napięcia wyjściowego prądnicy głównej czy maksymalnej temperatury czynnika chłodzącego.

Jeżeli silnik spalinowy jest przeciążony, wówczas regulator prądnicy głównej musi zmniejszyć wzbudzenie tak, aby obciążenie silnika spalinowego było zgodne z zaprogramowanym diagramem mocy.

Jedną z ważniejszych spraw wymagającą sprawdzenia już podczas pierwszego startu silnika jest sprawdzenie prawidłowości działania regulatora silnika, w aspekcie jego powiązania z układem chłodzenia lokomotywy.

Na zmodernizowanej lokomotywie wentylator układu chłodzenia jest napędzany silnikiem hydrostatycznym o płynnie regulowanej prędkości obrotowej.

Podczas rozruchu, jak i podczas wybiegu silnika ERS poprzez przetwornik I/I powinien zadawać taką wartość prądu sterującego zaworu elektromagnetycznego silnika hydrostatycznego, aby zapewnić rozruch i wybieg silnika spalinowego, bez obciążenia go w tym czasie przez układ hydrostatyczny, w myśl zasady:

jeżeli $I_{steruj\acute{a}ce} = I_{max}$ to $V_{wentyl} = 0$
 jeżeli $I_{steruj\acute{a}ce} = 0$ to $V_{wentyl} = V_{max}$

Poza okresem rozruchu i wybiegu, działanie regulatora powinno być takie, aby przez wymuszenie odpowiednich obrotów wentylatora utrzymać temperaturę czynnika chłodzącego w określonych zadanych granicach.

Granice te, w układzie współrzędnych temperatura – moc silnika, wyznaczają dwie proste łamane o programowalnym przebiegu, które ustalają chwilę uruchomienia i wyłączenia napędu hydrostatycznego wentylatora.

Na rysunku 2 przedstawiono zarejestrowane przebiegi prędkości obrotowej silnika, prądu sterującego zaworem elektromagnetycznym, wysunięcia listwy pompy wtryskowej i napięcia zasilania 24 V podczas rozruchu, jak i wybiegu silnika.

Przebiegi te potwierdzają prawidłowe dawkowanie paliwa, prawidłowy przebieg prądu sterującego zaworem elektromagnetycznym i dopuszczalny spadek napięcia zasilania 24 V podczas rozruchu silnika.

Oprogramowanie ERS umożliwia również ciągłą analizę aktualnego obciążenia silnika spalinowego, jego prędkości obrotowej, dawkowania, temperatury czynnika chłodzącego, ciśnienia oleju itd.

Współpraca ERS ze standardowym komputerem osobistym wymaga użycia dodatkowego konwertera standardu RS422 na standard RS232, bowiem w ERS system transmisji danych opiera się o standard RS422, zapewniający pełne bezpieczeństwo transmisji danych i odporność na zakłócenia.

Oprogramowanie ERS zawiera również wiele funkcji samokontrolnych, poprzez cykliczny test pamięci RAM, EPROM, EEPROM, czujników, przetworników analogowo-cyfrowych, układów wejścia – wyjścia itd.

W stanach awaryjnych ERS wyświetla kod zaistniałych awarii, sygnalizując jednocześnie czas ich powstania, tzn. czy dana awaria występuje aktualnie, czy wystąpiła w ostatniej godzinie, czy między pierwszą a czwartą godziną, czy też między czwartą a dwunastą godziną pracy silnika, licząc czas od momentu powstania awarii.

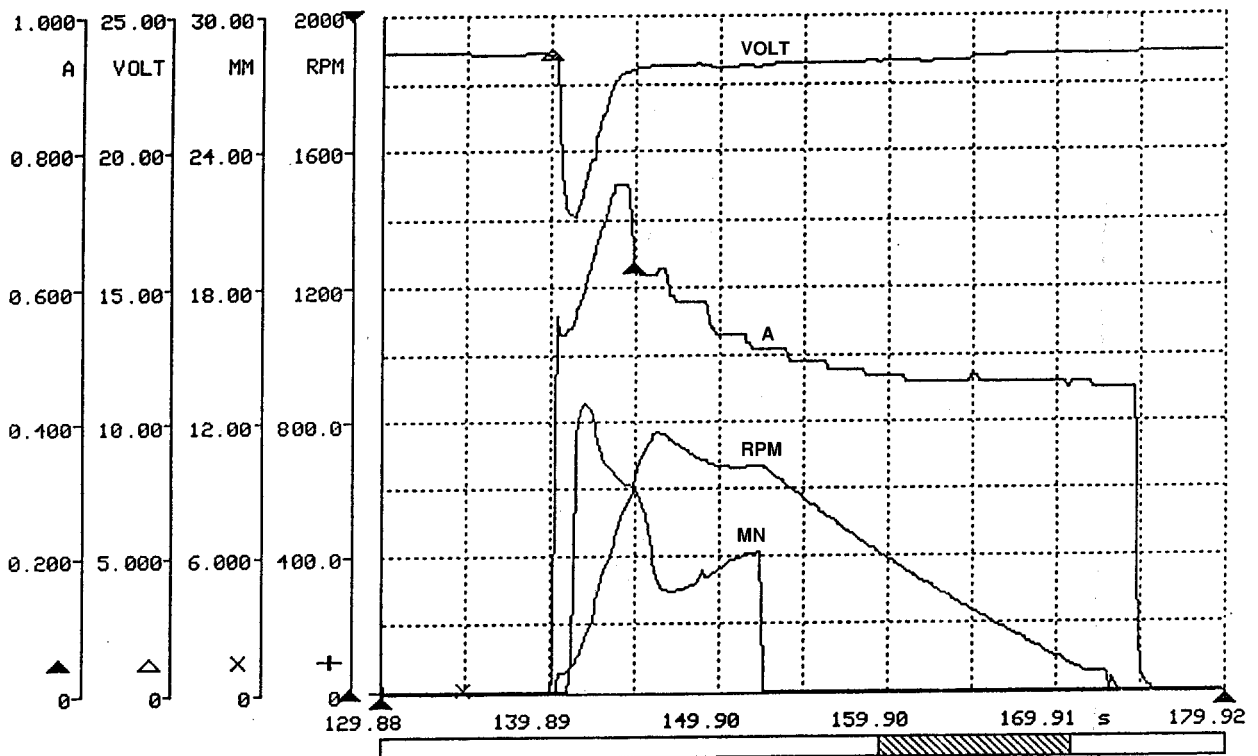
Niektóre z ważniejszych kodów awarii informują o:

- awarii czujnika obrotów,
- awarii układu ustalającego wysunięcie listwy pompy wtryskowej,
- awarii układu kontroli temperatury czynnika chłodzącego,
- awaryjnym wyłączeniu silnika poprzez zadziałanie klapy szybkiej,

Bildname: ***STANDARD***

#1: SM12_394 MAIN

16:07:35 07.04.99



I	MstNr	S	MstName	I	MstNr	S	MstName
-f	118.00	1	ENGINE SPEED	eng_val1			
×	121.00	1	FUEL RACK POSITION	eng_val1			
△	186.00	1	POWER SUPPLY	plt_val1			
^	351.00	1	CURRENT FAN 1	plt_val1			

Rys. 2. Wydruk przebiegów: VOLT - chwilowa wartość źródła napięcia 24 V, A - chwilowa wartość prądu pobieranego przez uzwojenie zaworu sterującego, RPM - zmiana prędkości obrotowej silnika, MN - wysunięcie listwy pompy wtryskowej

– awaryjnym wyłączeniu silnika w wyniku obniżenia ciśnienia oleju silnikowego poniżej ciśnienia dopuszczalnego, i inne.

Budowa

Wszystkie elementy regulatora silnika [2] umieszczono w aluminiowej obudowie o wymiarach 483×310×132. Regulator jest zbudowany w oparciu o mikroprocesor 68HC000.

Na przedniej ścianie obudowy regulatora znajdują się cztery hermetyczne gniazda przyłączeniowe, poprzez które podawane jest napięcie zasilania oraz sygnały wejściowe i wyjściowe regulatora. Komunikacja z regulatorem, jak i możliwość zmian parametrów regulatora, następuje poprzez wykorzystanie urządzenia do dialogu i łącze RS422. Obok regulatora znajduje się odrębny panel wyświetlacza wyświetlający kody awarii. Regulator wymaga napięcia zasilania 24 V i może pracować w zakresie temperatur -20°C do $+70^{\circ}\text{C}$, a jego masa wynosi 9 kg.

Wszystkie elementy regulatora prądnicy [1] umieszczone są w aluminiowej obudowie o wymiarach 490×470×170 mm. Regulator jest zbudowany w oparciu o dwa mikrokomputery jednokładowe 80C535. Na przedniej płycie obudowy znajdują się dwa wyświetlacze LCD oraz klawiatura. Wyświetlacze wraz z klawiaturą umożliwiają parametryzowanie regulatora oraz zmianę aktualnie wyświetlanych wielkości. Parametryzacja umożliwia dostosowanie parametrów statycznych i dynamicznych regulatora do indywidual-

nych wymagań użytkownika. Istnieje także możliwość parametryzowania regulatora za pomocą komputera PC poprzez łącze szeregowo RS232. W tylnej części obudowy znajdują się cztery hermetyczne gniazda, poprzez które podawane są napięcia zasilania oraz sygnały wejściowe i wyjściowe regulatora. Regulator wymaga dwóch napięć zasilania 110 V i 24 V, z których – uwzględniając prąd wzbudzenia maszyn elektrycznych – pobiera moc odpowiednio 1400 W i 10 W. Regulator może pracować w zakresie temperatur od -25°C do $+40^{\circ}\text{C}$, a jego masa wynosi ok. 15 kg.

Obydwa regulatory zostały umieszczone obok siebie w specjalnej wnęcie w kabinie maszynisty.

Pierwsze próby lokomotywy na stanowisku diagnostycznym, jak i pierwsze jazdy z pociągiem wykazały potrzebę zmian w wykonaniu i oprogramowaniu regulatora prądnicy. Po tych zmianach i modyfikacjach lokomotywa została przekazana do eksploatacji próbnej w połowie września 1999 r. i do tej pory obydwie regulatory pracują prawidłowo. □

Literatura

- [1] *Cyfrowy układ regulacji CRW-02 – opis techniczny*. ABB Dörmel Drives Ltd.
- [2] *Motormanagementsystem ECS396 mit ETB4E*. Część 1. MTU – Friedrichshafen.

Autor

*mgr inż. Bolesław Stokowy – dyrektor Zakładu Napraw Taboru
Przedsiębiorstwo Transportu Kolejowego
i Gospodarki Kamieniem S.A. w Rybniku*

NAVIGATOR

Politechnika Wroclawska

oraz

Polskie Towarzystwo Logistyczne Oddział Dolnośląski we Wrocławiu

organizują dwa międzynarodowe sympozja naukowo-techniczne, które odbędą się we Wrocławiu:

23 maja 2001 r. – Logistyka w transporcie szynowym

24 maja 2001 r. – Technika kolejowa w systemach logistycznych

Celem sympozjów jest prezentacja najnowszych rozwiązań organizacyjnych i technicznych w zakresie logistyki w transporcie kolejowym i kombinowanym. Obserwacja doświadczeń innych firm w zakresie nowych technik transportu jest niezbędna. Z tego też względu sięgnęliśmy do doświadczeń firm niemieckich, których przedstawiciele – pod przewodnictwem prof. Otmara Krettka z RWTH Aachen (Niemcy) – przygotowali szereg niezwykle interesujących referatów.

Do udziału w obu sympozjach zapraszamy serdecznie wszystkich chętnych, zwłaszcza pracowników kolei i firm stanowiących jej zaplecze, spedytorów korzystających z usług PKP lub z jej infrastruktury oraz przedstawicieli firm consultingowych.

Informacje o sympozjach (w tym szczegółowe programy zawierające streszczenia referatów) oraz o serii wydawniczej **NAVIGATOR** zamieszczono na stronie internetowej <http://navigator.pwr.wroc.pl>

Informacje na temat udziału w sympozjach można uzyskać pod adresem:

dr hab. inż. Jacek GRAJNERT – prof. Politechniki Wrocławskiej

dr inż. Stanisław KWAŚNIEWSKI

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej

50-371 Wrocław, ul. Łukasiewicza 7/9

tel./fax (0-71) 34 77 926, e-mail: grajnert@pojazdy.ikem.pwr.wroc.pl

Patronat prasowy *TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO*