

Jerzy Mikulski, Jakub Młyńczak

Zastosowanie sterowników przemysłowych w diagnostyce napędów zwrótnicowych

Obecnie w Polsce zachodzi potrzeba zmian metod diagnostyki napędów zwrótnicowych. Zmiana koncepcji diagnostycznej znajduje uzasadnienie w tym, iż obecne metody diagnostyczne opierają się na zasadach diagnostyki zapobiegawczej. Są więc nieekonomiczne i czasochłonne, ponieważ pomiary są wykonywane z częstotliwością nakazaną przepisami kolejowymi, które narzucają dla rozjazdów w torach głównych okres między pomiarami sił nastawczych co 2 miesiące (a w rozjazdach w torach bocznych co 6 miesięcy). Tak więc wszelkie usterki przeważnie wykrywa się i diagnozuje po fakcie ich wystąpienia. W przypadku rozjazdów długich, sterowanych kilkoma napędami zwrótnicowymi zachodzi również potrzeba sprawdzania stanu rozjazdu, zwłaszcza oporów przestawiania rozjazdu. Obecnie problematyka diagnozowania napędów zwrótnicowych w długich rozjazdach jest na etapie prac koncepcyjnych prowadzonych przez Polskie Koleje Państwowe, Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa i producentów napędów zwrótnicowych.

W artykule przedstawiono koncepcję techniczną wykorzystania pomiaru prądu nastawczego jako podstawowej informacji o stanie rozjazdu kolejowego (opór przestawiania), a także napędu zwrótnicowego (siła nastawcza, stan infrastruktury kablowej). Zaproponowana koncepcja opiera się o sterownik programowalny PLC wraz z modułami analogowymi do pomiaru prądów i napięć oraz modułami wejść cyfrowych na potrzeby identyfikacji numeru przestawianego napędu. Koncepcja urządzenia powstała z myślą o przekaźnikowych urządzeniach sterowania ruchem kolejowym, w których napędy zwrótnicowe przeważnie zasilane są ze wspólnych zacisków prądowych.

Diagnozowanie stanu układu sterująco-nastawczego napędu zwrótnicowego

W tabelicy 1 przedstawiono stan poszczególnych przekaźników (określany na podstawie ich zestyków) odpowiedzialnych za pracę napędu zwrótnicowego. Tabelicę tę stworzono dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym typu E (Ericsson), bardzo rozpowszechnionych na PKP. Sporządzenie tego typu układu zależności stanów, w których może znajdować się napęd zwrótnicowy w poszczególnych typach urządzeń sterowania, jest stosunkowo proste i przeważnie będzie wymagał jednorazowego wykonania modelu.

W przypadku urządzeń E nie sprawdza się stanu przekaźników nastawczych, gdyż ich stan jest sprawdzany

w obwodzie kontrolnym. Poza tym przekaźniki nastawcze są przekaźnikami remanentnymi i wszelkie usterki możliwe są do wykrycia tylko przy próbie przestawienia zwrótnicy.

W przypadku innych urządzeń sterowania ruchem kolejowym zachodzi potrzeba tworzenia tablic stanów odpowiadających danemu typowi urządzeń. Przykładowo, w urządzeniach hybrydowych należy sprawdzać stan przekaźników oraz sygnałów wysyłanych przez sterownik sterujący grupą centralną, a także sekwencje zadziałania poszczególnych przekaźników.

Model urządzenia diagnostycznego do pomiaru wartości prądów nastawczych

Schemat blokowy urządzenia diagnostycznego do pomiaru prądów przedstawiono na rysunku 1. Wadą takiego rozwiązania jest potrzeba stosowania przekładników prądowych i napięciowych, których zadaniem jest obniżenie wartości mierzonych parametrów do standardowo przyjętych wartości pomiarowych prądu i napięcia. Niemniej rozwiązanie takie charakteryzuje się:

- stosunkowo niskim kosztem,
- łatwością w komunikacji ze stanowiskiem diagnostycznym (komputer PC),
- ciągłością pomiarów,
- wstępnym obliczaniem żądanych charakterystyk,
- zdolnością do samotestowania swoich modułów.

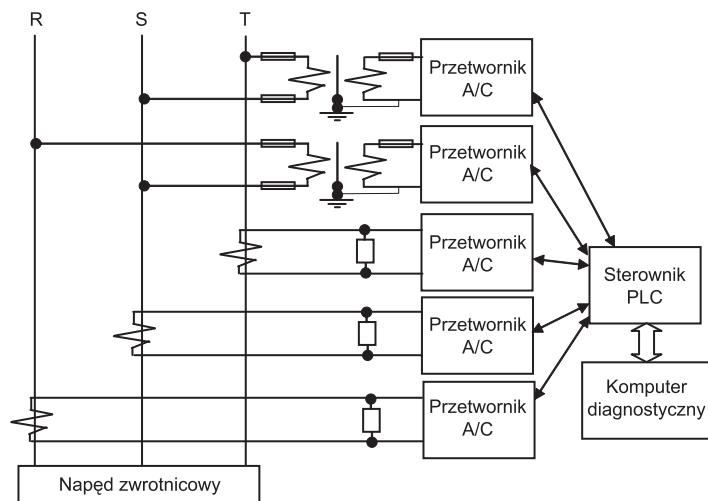
Tablica 1

Wartość stanów sygnałów charakteryzujących napęd zwrótnicowy

Lp		Kn+	Kn-	Kr	Kd	UM	U	Jz	Or
1	Przełożona w „+”	1	0	-	-	1	1	1	-
2	Przełożona w „-”	0	1	-	-	1	1	1	-
3	Zajęta w „+”	1	0	-	-	1	1	0	-
4	Zajęta w „-”	0	1	-	-	1	1	0	-
5	Przekładana w „+”	-	-	-	-	-	-	1	1
6	Przekładana w „-”	-	-	-	-	-	-	1	1
7	Rozpruta w „+”	-	-	1	-	-	-	0	-
8	Rozpruta w „-”	-	-	1	-	-	-	0	-
9	Doziemiona w „+”	-	-	-	1	-	-	-	-
10	Doziemiona w „-”	-	-	-	1	-	-	-	-
11	Utwierdzona w „+”	1	0	-	-	1	0	-	-
12	Utwierdzona w „-”	0	1	-	-	1	0	-	-
13	Utwierdzona manewrowo w „+”	1	0	-	-	0	1	-	-
14	Utwierdzona manewrowo w „-”	0	1	-	-	0	1	-	-
15	Utwierdzona i zajęta w „+”	1	0	-	-	-	0	0	-
16	Utwierdzona i zajęta w „-”	0	1	-	-	-	0	0	-
17	Utwierdzona manewrowo i zajęta w „+”	1	0	-	-	0	-	0	-
18	Utwierdzona manewrowo i zajęta w „-”	0	1	-	-	0	-	0	-

1 - przekaźnik wzbudzony; 0 - przekaźnik odwzbudzony; -- stan przekaźnika ignorowany; Kn+, Kn- - przekaźniki kontrolne; Kr, Kd - kontrola rozprucia i kontrola doziemienia; UM, U - utwierdzenie manewrowe i pociągowe; JZ - zajętość; Or - ochronny

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 1. Schemat blokowy urządzenia diagnostycznego *Źr. Opracowanie własne*

Istotnym problemem jest to, że wartość pomiarowa prądu uzyskiwana z przekładnika to prąd rzędu 5 A, natomiast maksymalny prąd przetwornika to 20 mA, dlatego proponowane rozwiązanie polega na włączeniu w obwód przekładnika prądowego rezystora o określonych parametrach i pomiarze spadku napięcia na tym rezystorze. Znając podstawowe parametry przekładników oraz rezystora już w sterowniku można obliczyć rzeczywistą wartość prądu nastawczego. Pomiar wartości napięcia nastawczego można przeprowadzić w dwóch miejscach (np. pomiędzy fazą R i S oraz fazą S i T), natomiast prąd należy mierzyć dla każdej fazy oddzielnie, w celu wykrywania nieprawidłowości w układzie zasilania i trasach kablowych. Ponieważ w stosowanych na sieci PKP urządzeniach sterowania ruchem kolejowym wszystkie napędy zwrótnicowe są zasilane ze wspólnych zacisków, na potrzeby stacji wystarczy tylko jeden układ pomiarowy. Ponadto można przyjąć, iż w urządzeniach hybrydowych oraz z pulpitem komputerowym w danej chwili czasowej jest przestawiany tylko jeden rozjazd.

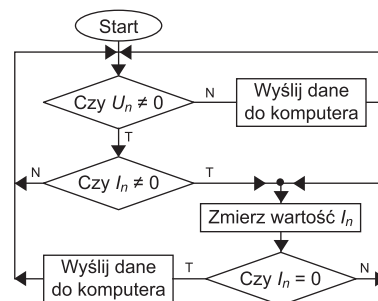
Jako rzeczywisty układ pomiarowy zaproponowano sterownik PLC firmy Bernecker & Rainer (B&R) serii 2003 wraz z przetwornikami analogowo-cyfrowymi (A/C). Jako jednostkę centralną zaproponowano moduł CP470, modułem pośredniczącym między jednostką centralną a wejściami analogowymi będzie moduł

AF101. Jako wejścia analogowe zaproponowano moduły AI354. Wygląd poszczególnych elementów przedstawiono na rysunku 2.

Dodatkowo, zachodzi potrzeba zastosowania modułów wejść cyfrowych, których zadaniem będzie zbieranie informacji o stanie poszczególnych przekaźników sterujących. Liczba i typ tych modułów dobierany będzie w zależności od wielkości diagnozowanego obiektu.

Zaproponowane rozwiązanie charakteryzuje się niskim poborem mocy oraz modułową budową. Zaletą modułowej budowy jest łatwa wymiana uszkodzonych elementów. Układ zasilany jest napięciem stałym 24 V. Wejścia analogowe mogą mierzyć napięcie do 10 V.

Podstawowy cykl pracy sterownika, polegający na pomiarze prądu nastawczego, pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat blokowy cyklu pracy sterownika diagnostycznego

Źr. Opracowanie własne

Zadanie sterownika diagnostycznego polega na pomiarze napięcia i prądu nastawczego. W pierwszej kolejności sterownik sprawdza obecność napięcia nastawczego, w przypadku zaniku napięcia sterownik informuje o tym zdarzeniu komputer diagnostyczny. Gdy występuje napięcie nastawcze U_n , sterownik przechodzi do dalszego cyklu swojej pracy – sprawdza czy płynie prąd nastawczy I_n . Gdy płynie prąd I_n , sterownik mierzy jego wartość, gdy prąd przestanie płynąć – sterownik wysyła do komputera diagnostycznego informację o wartości prądów nastawczych. Po wystąpieniu tej informacji sterownik powraca do początku cyklu (sprawdza napięcie nastawcze).

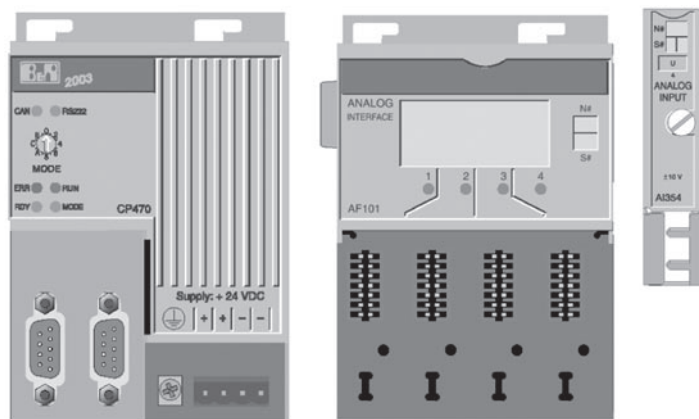
Drugą, ważną funkcją sterownika PLC jest sprawdzanie stanu poszczególnych przekaźników sterujących. W przypadku systemu z komputerem diagnostycznym sterownik przekazuje do komputera diagnostycznego informacje o stanie przekaźników i parametrach napięcia i prądu, natomiast gdy stanowisko diagnostyczne składa się tylko ze sterownika – sprawdza poprawność informacji z zestyków i rejestruje wszelkie nieprawidłowości.

Stanowisko diagnostyczne

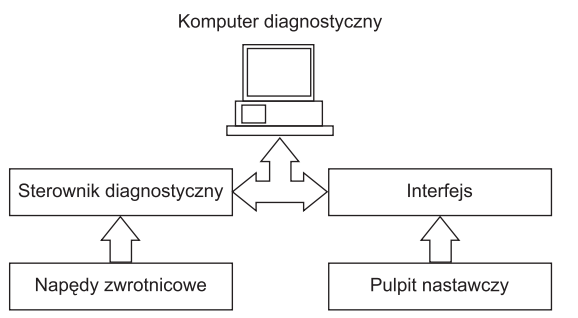
Stanowisko diagnostyczne dla napędu zwrótnicowego powinno charakteryzować się modułową i uniwersalną budową, ponadto powinno mieć możliwość rozbudowy o stację diagnostyczne dla innych urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Zaproponowane stanowisko diagnostyczne składa się z:

- komputera diagnostycznego,
- sterownika diagnostycznego,
- interfejsu łączącego stanowisko (stację) z pulpitem nastawczym.

Schemat blokowy stacji diagnostycznej przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 2. Elementy składowe urządzenia diagnostycznego; od lewej: moduł jednostki centralnej CP470, moduł wejść analogowych AF101, wejście analogowe AI354



Rys. 4. Schemat blokowy stanowiska diagnostycznego

Źr. Opracowanie własne

Należy zauważyć, że w przyjętym schemacie urządzenia diagnostyczne nie wysyłają żadnych sygnałów do napędów zwrótnicowych ani innych urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Jako sterownik diagnostyczny zaproponowano rozwiązanie oparte na sterowniku B&R serii 2003 (omówionym powyżej). Sterownik ten może być połączony z komputerem diagnostycznym za pomocą łącza RS232, magistrali CAN lub innej. W przypadku komputerowych pulpitu nastawczego rola interfejsu sprowadza się do ewentualnej zmiany sposobu transmisji danych z pulpitu do komputera diagnostycznego. Większe znaczenie będzie miał interfejs przy stosowaniu kostkowego pulpitu nastawczego. W tym wypadku rola interfejsu polegać będzie na identyfikacji numeru przestawianej zwrotnicy. Rolę interfejsu również powinien pełnić sterownik B&R serii 2003, gdyż takie rozwiązanie ułatwi sposób komunikacji pomiędzy sterownikami a komputerem. Komputerem diagnostycznym powinien być komputer klasy PC.

Program pracy stanowiska diagnostycznego

Zasadniczy algorytm pracy komputera diagnostycznego polega na:

- 1) sprawdzaniu stanu urządzeń według tablicy stanów (tabl. 1),
- 2) porównaniu, po przestawieniu napędu, wartości prądów nastawczych (każdej fazy) oraz czasu przestawiania napędu,
- 3) gdy wartości prądu i czasu przestawiania są w normie – przejściu do dalszych procedur,
- 4) określeniu ogólnej liczby przestawień,
- 5) określeniu liczby przestawień w położenie „plus”,
- 6) określeniu liczby przestawień w położenie „minus”,
- 7) określeniu liczby jazd z ostrza zwrotnicy,
- 8) określeniu liczby jazd na ostrze zwrotnicy,
- 9) określeniu liczby jazd manewrowych przez zwrotnicę,
- 10) określeniu liczby jazd pociągowych przez zwrotnicę,
- 11) zapisaniu warunków atmosferycznych (opady, temperatura),
- 12) informowaniu personelu o terminie badań i przeglądów (na podstawie liczby przestawień – z wyprzedzeniem).

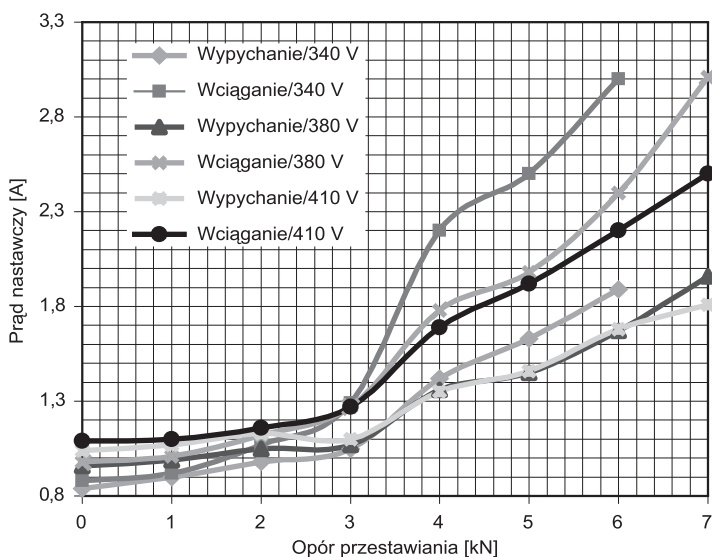
Algorytm diagnostyczny pracy komputera polega na:

- 1) w przypadku stwierdzenia nieprawidłowości – na podaniu przypuszczalnego źródła usterki (w komputerze znajdują się informacje o stanie większości przekładników oraz o tym, czy jest włączone zasilanie oraz czy płynie prąd nastawczy),
- 2) gdy wartości prądu i czasu przestawiania nie są w normie – poinformowaniu personelu obsługi o tym fakcie,
- 3) tworzeniu charakterystyki usterkowości napędu, polegającej na przypisaniu każdej usterece dokładnych parametrów zgodnych z pkt. 4 ÷ 11 algorytmu zasadniczego.

Pomiary charakterystyk prądowych dla wybranych napędów stosowanych na PKP

Napęd typu EEA-4 jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych na sieci PKP napędów zwrótnicowych. Badania przeprowadzone na napędzie tego typu pozwoliły na przedstawienie koncepcji, że wartość oporu przestawiania, a także siły nastawczej znajduje swoje odzwierciedlenie w wielkości prądu nastawczego.

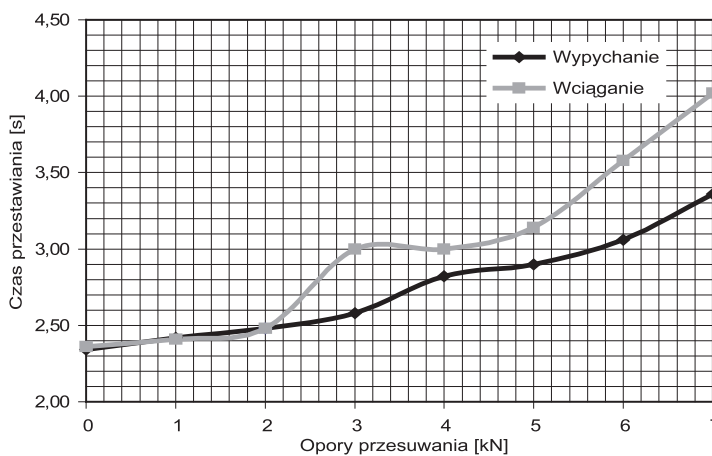
Na rysunku 5 przedstawiono wykres zależności prądu nastawczego napędu EEA-4 w funkcji oporów przestawiania rozjazdu. Pomiary wykonano przy oporach przestawiania w zakresie 0 ÷ 7 kN, przy napięciu zasilania 340, 380, 410 V. Przyjęto rezystancję kabla zasilającego równą 0 Ω. Z wykresu tego wynika, że w przyjętym zakresie obciążeń, przy ustalonym napięciu, wartość prądu nastawczego zmienia się w przedziale 0,84 ÷ 3,01 A.



Rys. 5. Wykres wartości prądu nastawczego w funkcji oporów przestawiania przy rezystancji kabla zasilającego 0 Ω

Źr. Opracowanie własne

Na rysunku 6 przedstawiono wykres zależności czasu przestawiania napędu zwrótnicowego EEA-4 w funkcji oporów przestawiania rozjazdu. Badanie to przeprowadzono przy napięciu zasilania 380 V i rezystancji kabla zasilającego równej 0 Ω.



Rys. 6. Wykres zależności czasu przestawiania napędu zwrótnicowego w funkcji oporów przestawiania przy rezystancji kabla zasilającego 0 Ω

Źr. Opracowanie własne

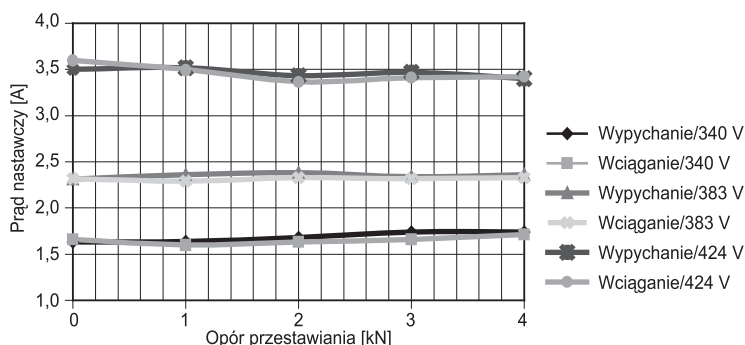
Z podanych charakterystyk oraz pozostałych wyników badań można wyciągnąć następujące wnioski, użyteczne do potrzeb diagnostyki:

- ponieważ wartość prądu nastawczego jest wartością zależną od oporów przestawiania rozjazdu, można przyjąć (po badaniach na większej populacji napędów), iż wartości prądu nastawczego odpowiadają (z pewnym przybliżeniem) oporowi przestawiania rozjazdu;
- ponieważ czas przestawiania napędu zwrotnicy w najbardziej niekorzystnych warunkach, przy których przestawienie było jeszcze możliwe (rezystancja kabla zasilającego 50 Ω , opór przestawiania 7 kN) wynosił 4,02 s, należy czas przestawiania równy 4,5 s uznać za maksymalny (dla danego typu napędu). Przekroczenie tej wartości należy traktować jako usterkę;
- przy założeniu, że wartość prądu nastawczego zależy tylko od wartości napięcia zasilania i rezystancji kabla zasilającego można określać rezystancję kabla zasilającego i stan uzwojeń silnika, a także stan połączeń w puszkach kablowych oraz w przełącznikowni.

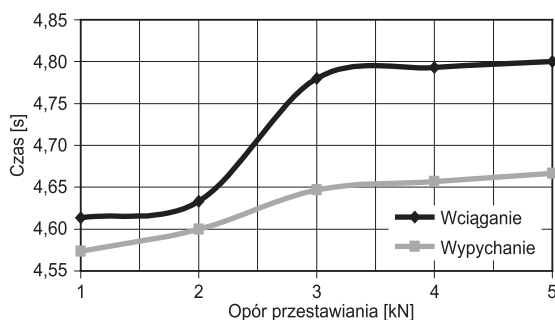
Ponieważ w przeprowadzonej analizie wartość rezystancji uzwojeń silnika potraktowano jako stałą można przyjąć, iż wartość prądu nastawczego w zależności od napięcia zasilania powinna zawierać się w przedziale 1,0 ÷ 3,1 A.

W przypadku zabudowy urządzenia diagnostycznego należałoby stworzyć charakterystykę wyjściową danego napędu zwrotnicowego (niezależnie od typu napędu zwrotnicowego) w zależności od warunków miejscowych (chodzi głównie o wstępne określenie rezystancji kabla zasilającego oraz stan połączeń na trasie kablowej).

Na rysunku 7 przedstawiono wykres zależności prądu nastawczego napędu EEA-5 w funkcji oporów przestawiania rozjazdu. Pomiaru wykonano przy oporach przestawiania w zakresie



Rys. 7. Wykres zależności prądu nastawczego w funkcji oporów przestawiania rozjazdu
Źr. Opracowanie własne



Rys. 8. Wykres zależności czasu przestawiania napędu zwrotnicowego w funkcji oporów przestawiania rozjazdu przy rezystancji kabli zasilających 0 Ω
Źr. Opracowanie własne

0 ÷ 4 kN, przy napięciu zasilania 340, 383, 424 V. Przyjęto rezystancję kabla zasilającego równą 0 Ω . Z wykresu tego wynika, że w przyjętym zakresie obciążeń i przy ustalonym napięciu, wartość prądu nastawczego jest stała i średnio wynosi: 1,6 A przy 340 V, 2,3 A przy 383 V, 3,5 A przy 424 V.

Na rysunku 8 przedstawiono wykresy zależności czasu przestawiania napędu zwrotnicowego EEA-5 w funkcji oporów przestawiania rozjazdu. Badanie to przeprowadzono przy napięciu zasilania 383 V i rezystancji kabla zasilającego równej 0 Ω .

Z podanych wyników badań i charakterystyk można wyciągnąć następujące wnioski, użyteczne do potrzeb diagnostyki:

- ponieważ wartość prądu nastawczego jest wartością niezależną od oporów przestawiania rozjazdu można przyjąć, że gdy wartość prądu nastawczego mieści się w przedziale 1,6 ÷ 3,5 A (przy napięciu zasilania z przedziału 340 ÷ 424 V), to napęd jest sprawny;
- ponieważ czas przestawiania napędu w najbardziej niekorzystnych warunkach przy których przestawienie było jeszcze możliwe (rezystancja kabla zasilającego 50 Ω , opór przestawiania 4 kN) wynosił 4,92 s, należy czas przestawiania równy 5 s uznać za maksymalny. Przekroczenie tej wartości należy traktować jako usterkę;
- przy założeniu, że wartość prądu nastawczego zależy tylko od wartości napięcia zasilania i rezystancji kabla zasilającego, można określać rezystancję kabla zasilającego i stan uzwojeń silnika, a także połączeń w puszkach kablowych oraz w przełącznikowni. Ponieważ w przeprowadzonej analizie wartość rezystancji uzwojeń silnika potraktowano jako stałą można przyjąć, iż wartość prądu nastawczego w zależności od napięcia zasilania powinna zawierać się w przedziale 1,2 ÷ 3,5 A.

W przypadku rzeczywistych pomiarów należy „obcinać” podczas pomiarów wartość prądu rozruchowego, ponieważ wartość tego prądu sięga ok. 8 A i wprowadzałaby program diagnostyczny w błąd.

Podsumowanie

Wykonanie stanowiska diagnostycznego pracy napędu zwrotnicowego powinno znacznie usprawnić proces eksploatacji i diagnostyki napędu zwrotnicowego, przy stosunkowo niewielkich kosztach budowy takiego stanowiska. Poza tym, jeżeli takie stanowisko istniałoby przy urządzeniach hybrydowych lub z pulpitem komputerowym, to mogłoby przechowywać wszystkie komunikaty diagnostyczne z rejestratora zdarzeń przez okres dłuższy niż 3 dni. Wtedy można byłoby stworzyć nakładkę na plik zawierający dane z rejestratora, umożliwiającą odczytywanie danych przy pomocy arkusza kalkulacyjnego (np. EXCEL), stosując filtrowanie danych. Istotne jest stworzenie bazy danych o usterkach, zwłaszcza dla napędów typu EEA-4, gdyż wymagają one złożonego procesu obsługi.

Autorzy

dr inż. Jerzy Mikulski
e-mail: jmik@polsl.katowice.pl

mgr inż. Jakub Młyńczak
e-mail: jmly@polsl.katowice.pl

Zespół Automatyki w Transporcie
Politechnika Śląska
40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8