

Zygmunt SZYMAŃSKI, Brunon MAREK
Politechnika Śląska, Gliwice

ENERGOOSZCZĘDNE UKŁADY NAPĘDOWE TRANSPORTOWYCH MASZYN GÓRNICZYCH Z INTELIGENTNYMI UKŁADAMI STEROWANIA

Streszczenie. W referacie przedstawiono przegląd układów sterowania górniczych maszyn transportowych: trakcję elektryczną szynową, przenośnik taśmowy, transport kołowy, analizę celowości ich modernizacji przy wykorzystaniu energooszczędnych układów napędowych oraz przykłady zastosowania techniki mikroprocesorowej i sterowania cyfrowego w obwodach sterowania. W pracy zamieszczono przykładowe algorytmy sterowania, zapewniające spełnienie wymagań energooszczędności napędu lokomotywy elektrycznej oraz pojazdu kołowego oraz możliwości diagnostyki układów sterowania. Na przykładzie przenośnika taśmowego oraz lokomotywy elektrycznej przedstawiono mikroprocesorowe układy sterowania, zapewniające częściową automatyzację procesów sterowania.

ENERGY-SPARING DRIVE SYSTEM OF TRANSPORTATION MINING MACHINES WITH INTELIGENT CONTROL SYSTEM

Summary. The paper present a review of control system a mining transportation machines: electrical rail traction, belt conveyer and a wheel traction, and also an analysis of possibilities their modernization with application of energy-saving drive system and microprocessor-based technique and digital control systems. The paper presents an examples of the control algorithms which guaranted a realisation of energy-saving conditions in the drives of: electrical mine locomotive, wheel car and also a possibilities of diagnostic the control systems. In the base of the belt conveyer and electrical mine locomotive the paper present a microprocessor-based control system which guaranted a partial automatization of the control system.

1. Wstęp

Eksploatacja maszyn i urządzeń elektrycznych stosowanych w podziemiach kopalń węgla kamiennego wymaga spełnienia warunków: energooszczędności, niezawodności oraz bezpieczeństwa pracy. W napędach górniczych maszyn transportowych wyraźną poprawę wskaźników energetycznych i ekonomicznych uzyskuje się przez: zastosowanie nowych rozwiązań

silników napędowych (silniki indukcyjne energooszczędne lub silniki kompaktowe), zastosowanie nowoczesnych zasilaczy przekształtnikowych sterowanych układami mikroprocesorowymi, sterowanie optymalne pracą górniczej maszyny transportowej. Wprowadzenie do obwodów siłowych maszyn górniczych zasilaczy tranzystorowych złożonych z tranzystorów IGBT zapewnią budowę prostszych układów sterowania, umożliwi zastosowanie różnych sposobów sterowania, zapewnia płynną regulację prędkości obrotowej silników napędowych oraz zmianę rodzaju pracy maszyny. Wprowadzenie nowych konstrukcji silników napędowych do układu napędowego maszyn transportowych zapewni realizację określonych zadań technologicznych i przewozowych przy ograniczonym zużyciu energii elektrycznej oraz zwiększy niezawodność pracy maszyn (lokomotywa, przenośnik taśmowy). W pracy przedstawiono analizę celowości wprowadzania napędów energooszczędnych do układów maszyn transportowych, wybrane algorytmy i kryteria sterowania energooszczędnego oraz przykłady zastosowania techniki mikroprocesorowej w obwodach sterowania maszyn transportowych. W referacie opisano również przykładowy układ automatyzacji napędu przenośnika taśmowego przy wykorzystaniu inteligentnych sterowników programowalnych.

2. Silniki zintegrowane w napędach górniczych maszyn transportowych

Trójfazowe silniki indukcyjne stosowane w układach napędowych maszyn górniczych transportowych: przenośniki taśmowe, przenośniki zgrzeblowe, lokomotywy elektryczne powinny spełniać wymagania budowy ognioszczelnej (cecha dopuszczeniowa ExdI), przy wysokim stopniu ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym i przenikaniem obcych ciał - IP54 [1,2]. Silniki te powinny spełniać specyficzne wymagania eksploatacyjne: duży moment rozruchowy, specjalny kształt charakterystyki mechanicznej, odporność na długie i częste rozruchy, klasa izolacji uzwojeń: co najmniej F lub H, głęboka regulacja prędkości obrotowej ($0-1,1n_N$). Wymusza to zastosowanie specjalnej konstrukcji obwodu elektromagnetycznego silnika, wyposażonego w dodatkowe kanały wentylacyjne oraz specjalnej konstrukcji wirnika (pręty mosiężne lub miedziane, przy pierścieniach zwierających wykonanych z brązu) [1, 9, 10]. Cykle technologiczne pracy niektórych maszyn transportowych: przenośniki taśmowe narzucają pracę silników napędowych przy niekorzystnych wartościach sprawności energetycznej oraz współczynnika mocy ($\cos\varphi \approx 0,2 - 0,3$). Pewne korzyści można uzyskać stosując specjalne zasilacze przekształtnikowe: układy rozruszników tyrystorowych lub łagodnego rozruchu, albo układy silników wielobiegowych. Rozwiązaniem racjonalnym wydaje się możliwość wprowadzenia zintegrowanych, energooszczędnych silników indukcyjnych do układów napędowych niektórych maszyn górniczych.

W skład zintegrowanego silnika indukcyjnego wchodzi: energooszczędny silnik indukcyjny, zasilacz przekształtnikowy oraz sterownik mikroprocesorowy. W skład spawanej konstrukcji silnika wchodzi: pakiet blach stojana, zespół tarcz łożyskowych, wentylator, skrzynka zaciskowa z ognioszczelnymi przepustami kablowymi oraz z iskrobezpiecznymi interfejsami

komunikacyjnymi, układ przetworników pomiarowych, moduł zasilacza przekształtnikowego oraz wirnik klatkowy. W skład modułu zasilającego wchodzi układy sterowników trójfazowych zbudowanych z tyrystorów lub z tranzystorów IGBT. Dla napędów jednokierunkowych stosuje się moduł złożony z trzech triaków (układ dwóch tyrystorów lub tranzystorów IGBT połączonych przeciwrównolegle), natomiast w układach dwukierunkowych stosuje się moduły złożone z pięciu triaków [3, 4, 9].

Układ sterownika mikroprocesorowego zapewnia: załączanie i wyłączenie silnika, programowo sterowany rozruch, hamowanie przed zatrzymaniem, wybór kierunku wirowania, kontrolę i nadzór nad wybranymi parametrami eksploatacyjnymi silnika. W obwodzie sterowania silnika mogą być zastosowane przetworniki indukcyjne prędkości obrotowej oraz czujniki temperatury - pozystory i rezystory termometryczne typu Pt100. Czujniki temperatury są umieszczone na połączeniach czołowych uzwojeń oraz na dwóch tarczach łożyskowych. Moduły zasilacza i sterownika są umieszczone w skrzynce zaciskowej. Jako ochronę przeciwporażeniową stosuje się w silniku zintegrowany system przewodów ochronnych z możliwością kontroli ciągłości przewodu ochronnego dla przewodów oponowych zasilających silnik. W komorze modułów zasilających powinny być umieszczone tyrystory lub tranzystory IGBT połączone przeciwrównolegle, zespół układów separujących i sterujących: separatory transoptorowe lub transformatorowe, układ ochrony przepięciowej, blok trzech przekładników prądowych oraz dławików sieciowych.

W skład sterownika wchodzi: mikroprocesor, zasilacz elektroniczny, wyświetlacz ciekłokrystaliczny, blok interfejsów RS 469 lub LWL 20MA oraz układ sprzęgów wieloprzewodowych do transmisji zewnętrznej i połączenie do iskrobezpiecznego zasilacza zewnętrznego. W celu ograniczenia wpływu zakłóceń generowanych przez obwody siłowe na pracę obwodów sterowania można zastosować w skrzynce sterującej połączenia światłowodowe [3, 4].

Zmodernizowany układ zasilania maszyny górniczej (lokomotywa elektryczna, przenośnik taśmowy) powinien zawierać: zintegrowany moduł napędowy (energoozczędny silnik indukcyjny oraz inteligentny moduł mocy złożony z 6 tranzystorów IGBT), sterowany optymalnie z nadrzędnego mikrokomputera jednoukładowego. Sterownik mikroprocesorowy będzie umożliwiał sterowanie bezpośrednie silnika indukcyjnego (DTC, DSC lub NFO) oraz sterowanie adaptacyjne pracą maszyny górniczej, zapewniające optymalny czas pracy przy ograniczonym zużyciu energii. Zastosowanie zintegrowanych układów napędowych w napędach maszyn górniczych (silnik indukcyjny i zasilacz przekształtnikowy we wspólnej obudowie) uprości konstrukcję układu napędowego maszyn górniczych, uprości budowę układów zabezpieczeń: zwarciovych, ochrony przeciwporażeniowej oraz kontroli stanu izolacji, stwarzając równocześnie możliwości archiwizacji zaistniałych zaburzeń oraz bieżącej kontroli parametrów eksploatacyjnych - maszyny, układu zasilania oraz urządzeń zabezpieczających. Proponowane rozwiązanie zapewni poprawę warunków oddawania ciepła wydzielanego na elementach półprzewodnikowych zasilacza (tranzystory IGBT) przez wentylację wymuszoną użytecznym strumieniem powietrza z kanałów wentylacyjnych zintegrowanego silnika napędowego oraz przez zwiększenie powierzchni oddawania ciepła.

Wymiernym efektem ekonomicznym jest ograniczenie o około 30% zużycia energii elektrycznej pobieranej przez silniki napędowe transportowych, kopalnianych lokomotyw elektrycznych oraz przENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH, co przy równoczesnym zwiększeniu niezawodności pracy układów napędowych zapewni pełną amortyzację kosztów modernizacji w czasie około 18 miesięcy [8, 9].

3. Tranzystorowe falowniki napięcia do zasilania lokomotyw elektrycznych przewodowych

Klasyczne układy zasilania lokomotyw kopalnianych są budowane jako zespół rezystorów rozruchowych włączanych szeregowo do obwodu silnika lub są budowane w postaci tyrystorowych łączników prądu stałego. Układy tyrystorowe wymagają stosowania dodatkowych obwodów komutujących (dławik i bateria kondensatorów), zapewniających prawidłową pracę układu łącznika. Nowoczesne zasilacze przekształtnikowe budowane z tranzystorów bipolarnych z izolowaną bramką IGBT nie wymagają stosowania dodatkowych obwodów wyłączających. W zależności od typu silnika napędowego (silnik indukcyjny lub silnik prądu stałego z magnesami trwałymi) stosowane są: tranzystorowe przekształtniki napięcia, łączniki DC albo komutatory elektroniczne DC [1, 3, 8, 9].

Zastosowanie przekształtników napięcia w układach zasilania lokomotyw powoduje generowanie wyższych harmonicznYch w prądzie i w napięciu zasilania silnika trakcyjnego, co jest przyczyną wzrostu strat mocy w silniku trakcyjnym. Zawartość wyższych harmonicznYch można ograniczyć stosując: specjalne filtry pasmowe [3, 8, 9] lub złożone algorytmy sterowania układów falowników napięcia z modulacją PWM [3, 5, 7] albo wykorzystując układ trójfazowego łącznika prądu zmiennego [9]. W rozwiązaniach praktycznych najczęściej stosowany jest układ tranzystorowego falownika napięcia z modulacją PWM ze sterownikiem mikroprocesorowym lub sterownik typu DTC. Lokomotywy kopalniane są napędzane jednym lub dwoma silnikami trakcyjnymi o mocy zainstalowanej $P_c \leq 100\text{kW}$ i zasilane z trZAKCJI PRZEWODOWEJ o napięciu znamionowym 250V DC lub z baterii akumulatorów trakcyjnych. Rozwój technologii produkcji układów energoelektronicznYch [1, 3, 8] umożliwi obecnie budowę tranzystorowych zasilaczy o parametrach $U_D = 2000\text{V}$ oraz $I_F = 400\text{A}$.

W nowoczesnych napędach z silnikami szeregowymi DC stosowane są zasilacze tranzystorowe złożone z dwóch tranzystorów IGBT pracujących w układzie choppera DC. W układach napędowych lokomotyw z silnikami indukcyjnymi jako źródło zasilania wykorzystuje się układy falowników napięcia zbudowanych z tranzystorów IGBT [8, 9, 10]. W skład obwodu siłowego falownika wchodzi układ 6 tranzystorów IGBT zbocznikowanych diodami zwrotnymi w układzie mostkowym oraz przetworniki pomiarowe: napięcia, prądu i prędkości obrotowej. W skład sterownika wchodzi: mikrokomputer nadrzędny, mikrokontroler oraz sterownik bramkowy. Sterownik bramkowy przetwarza sygnały mikrokontrolera sterujące obwodami bramkowymi na odpowiednie poziomy napięć. Analogowe sygnały napięcia i prądu

du stałego układu zasilającego po porównaniu w komparatorach z sygnałami zadanymi informują przez port wejściowy mikrokontrolera o stanie pracy falownika (zwarcie, przeciążenie prądowe, za niskie lub zbyt wysokie napięcie zasilania). W zależności od wartości tych sygnałów następuje blokada impulsów sterujących lub zmiana algorytmu pracy sterownika.

Na rys.1 przedstawiono schemat falownika napięcia zbudowany z układu IPM oraz sterowany przez mikrokontroler 16-bitowy do sterowania bezpośredniego indukcyjnym silnikiem trakcyjnym. Struktura IPM zawiera zintegrowane w jednym module układy tranzystorowe IGBT z diodami zwrotnymi, separowane przetwornice napięcia do zasilania driverów, drivery tranzystorów głównych, układy zabezpieczeń oraz układy hamowania impulsowego. Układy IPM obejmują: jedno wspólne napięcie zasilania (15V DC), logikę sterowania dopasowaną do transoptorów o podwyższonej częstotliwości przetwarzania, wewnętrzne układy zabezpieczeń przeciążeniowych, zwarciovych, termicznych i podnapięciowych, graniczną częstotliwość impulsowania - 20kHz oraz wspólną logikę sterowania. Układ falownika przedstawiony na rys.1 zapewnia: możliwość uzyskiwania przebiegów napięć i prądów zbliżonych do sinusoidy w szerokim zakresie zmian częstotliwości, realizację złożonych algorytmów sterowania silników (sterowanie wektorowe oraz bezpośrednie), detekcję stanów awaryjnych oraz pomiary sygnałów analogowych - napięcie, prąd, prędkość obrotowa i liniowa, a także realizację sprzężeń od położenia, kierunku jazdy, prędkości i przyspieszenia.

4. Algorytmy sterowania górniczych maszyn transportowych

Przy doborze i projektowaniu indukcyjnych silników trakcyjnych w wersji energooszczędnej do napędu pojazdów kołowych i szynowych muszą być zastosowane metody optymalizacji wielokryterialnej [1, 9, 10]. W zależności od układu napędowego pojazdu kołowego funkcja celu silnika trakcyjnego musi uwzględniać zarówno zagadnienia energooszczędności, jak i koszty użytkowania i produkcji silnika. Muszą więc być spełnione następujące warunki:

$$\max \eta_n \{ x \in X(y), y \in Y, C_m(x,y) \leq 1,3 C_m^0 \} \quad (1)$$

$$\min \{ C_m, C_0 \} \text{ dla } x \in Y(y_1), \quad (2)$$

gdzie:

$C_m = m_{Cu} c_{Cu} + m_{Al} c_{Al} + m_{Fe} c_{Fe} + m_{iz} c_{iz}$ - koszt użytkowania materiałów czynnych,

$C_m^* = m_{Cu} c_{Cu} + m_{Al} c_{Al} + m_{Fe} c_{Fe} + m_{iz} c_{iz} + m_{mag} c_{mag}$ - koszt użytkowania materiałów czynnych silnika z magnesami trwałymi,

C_0 - koszt użytkowania silnika,

C_m^0 - koszt użytkowania silnika wykonanego z określonych materiałów,

η_n - sprawność znamionowa silnika,

x, y - współrzędne wektorów będących zmiennymi optymalizacyjnymi,

X, Y - zbiory wielkości dopuszczalnych,

Algorytm sterowania powinien obejmować rozwiązanie warunku (1, 2), które musi być zrealizowane przy narzuceniu zbioru funkcji ograniczających. W skład zbioru funkcji ograni-

czających wchodzi między innymi: względny moment rozruchowy, względny prąd rozruchowy, względny moment krytyczny, względny prąd biegu jałowego, poślizg znamionowy, wzrost temperatury uzwojeń stojana, współczynnik wypełnienia żłobka, gęstość prądu stojana i wirnika, średnice zewnętrzne blach stojana i wirnika, koszt użytkowania silnika. Ruch pojazdu kołowego odbywa się po trasach o określonej konfiguracji i strukturze. Podstawowym wskaźnikiem jakości pracy układu (dla pojazdu szynowego) jest zapewnienie optymalnej zdolności przewozowej, realizowanej przez utrzymanie zadanego rozkładu jazdy.

Podstawowym wskaźnikiem jakości pracy pojazdu kołowego jest przejazd określonego odcinka trasy w optymalnym czasie przy minimalnym zużyciu energii elektrycznej. Ze względu na zdolności przewozowe celowe jest, aby przejazd był zrealizowany w optymalnym czasie przy ograniczonym zużyciu energii elektrycznej. Wiąże się to z minimalizacją wskaźnika jakości zdefiniowanego jako:

$$J_1 = \int_0^{t_j} \left\{ q_E \left[(1 - k_H) F_P(t) + (1 + k_H) |F_P(t)| \right] v_P(t) + q_R F_P^2(t) \right\} dt, \quad (3)$$

gdzie:

t_j - zadany czas przejazdu danego odcinka trasy,

k_H - stosunek kosztów pracy potrzebnej do jazdy do sumy kosztów jazdy i hamowania,

q_E, q_R - współczynniki wagowe określające udział kosztów poboru energii i strat mocy w bilansie energetycznym układu.

Parametry jazdy określa się rozwiązując równania ruchu pojazdu dla zadawanych wartości czasu i drogi przejazdu określonych odcinków trasy [1, 9, 10]. Wielkości te są obciążone błędami wynikającymi z różnic między obliczonymi a rzeczywistymi wartościami: oporów trakcji, sił pociągowych oraz mocy mechanicznej pojazdu. Wielkości błędów można ograniczyć określając wrażliwość przyjętego wskaźnika na zmiany poszczególnych parametrów. W układach praktycznych powinno się stosować sterowanie suboptymalne - adaptacyjne lub naddążne, sprowadzające się do minimalizacji wskaźnika jakości zdefiniowanego jako:

$$J_n = f_1 \varepsilon_1^2(t) + f_v \varepsilon_v^2(t) + \int_0^{t_j} \left[q_1 \varepsilon_1^2(t) + q_v \varepsilon_v^2(t) + q_R F_P^2(t) \right] dt, \quad (4)$$

gdzie:

$\varepsilon_1(t) = l_z(t) - l_R(t)$ - różnica między zadaną a rzeczywistą zmianą drogi,

$\varepsilon_v(t) = v_z(t) - v_R(t)$ - różnica między zadaną a rzeczywistą prędkością jazdy pojazdu,

$f_1, f_v, q_1, q_v, q_R, q_v$ - współczynniki wagowe poszczególnych parametrów jazdy.

W stanach awaryjnych, kiedy dąży się do likwidacji powstałych zaburzeń ruchu pojazdów szynowych (opóźnień) w możliwie krótkim czasie, wskaźnik optymalizacji przyjmuje postać:

$$J_{aw} = \sum_{k=1}^N \left\{ \int_0^t \left[{}_N F_P(t) + |{}_N F_P(t)| \right] v_{P_k}(t) dt + q_T \sum_{k=1}^N t_j(k) \right\}, \quad (5)$$

gdzie: q_T - współczynnik wagowy funkcji czasu, wyznaczenie analitycznych aproksymacji jednostkowego zużycia energii w funkcji czasu przejazdu danego odcinka trasy oraz obliczenie

awaryjnych czasów przejazdów z warunku równości zużycia energii w poszczególnych odcinkach trasy, przy spełnieniu dodatkowych warunków uwzględniających narzucone priorytety [1, 9]. Układ sterowania pojazdu powinien zapewniać bieżącą kontrolę podstawowych parametrów zasilania: napięcie zasilania, prąd silnika, stopień rozładowania baterii akumulatorów oraz parametrów eksploatacyjnych pojazdu: prędkość jazdy, prędkość obrotowa silnika trakcyjnego, droga przejazdu, temperatura uzwojeń silnika oraz sygnalizację stanów pracy awaryjnej układu zasilania, hamowania i przeniesienia napędu. Obsługa pojazdu jest informowana o stanach awaryjnych świeceniem się diod elektroluminescencyjnych oraz komunikatem na wyświetlaczu alfanumerycznym. W zależności od stopnia uszkodzenia pojazdu ograniczana jest prędkość jazdy lub w skrajnych przypadkach następuje wyłączenie zasilania. Szczegółowy algorytm diagnostyki i kontroli parametrów eksploatacyjnych pojazdu kołowego jest przedstawiony w [9, 10].

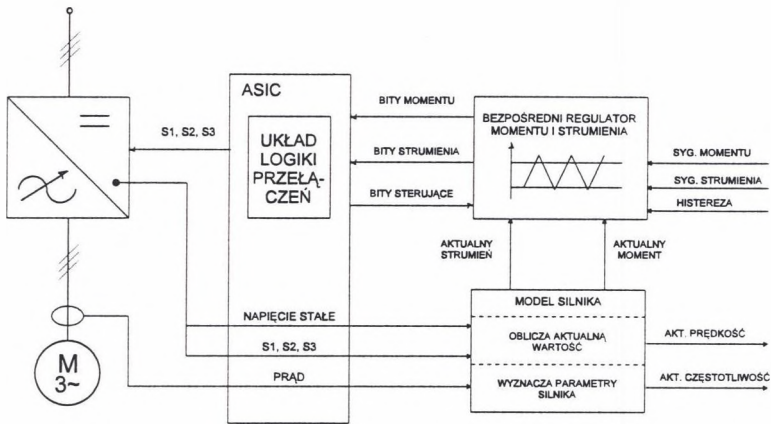
5. Diagnostyka układu napędowego lokomotywy kopalnianej

Niezawodność pracy lokomotyw elektrycznych napędzanych silnikami indukcyjnymi zależy w znacznym stopniu od prawidłowej oceny stanu technicznego obwodów: elektrycznych, elektromechanicznych oraz mechanicznych. Ocenę tę można zrealizować w sposób globalny - wykorzystując centralne stanowisko diagnostyczne lub w ograniczonym zakresie - wykorzystując elementy diagnostyczne zainstalowane w lokomotywie. Diagnostykę globalną powinno się przeprowadzać w sposób okresowy, np. w terminach wynikających z eksploatacji a uzgodnionych między użytkownikiem i wytwórcą lub po wypadku spowodowanym stanem technicznym lokomotywy albo względami eksploatacyjnymi.

Ocena lokalna powinna być realizowana przed każdym uruchomieniem lokomotywy. W ramach diagnostyki lokalnej sprawdza się stan techniczny silnika trakcyjnego, układu zasilania, obwodów sterowania i zabezpieczeń oraz ocenia się skuteczność pracy układu hamulcowego. W celu uzyskania możliwie pełnej automatyzacji badań diagnostycznych lokomotywy muszą być wprowadzone odpowiednie zmiany w wyposażeniu i w budowie lokomotywy: wydzielenie obwodów pomiarowych z obwodów siłowych, sterowniczych oraz zabezpieczeń, wyprowadzenie obwodów kontrolno-pomiarowych do złącza wielowtykowego umieszczonego w kabinie maszynisty, separacja optoelektroniczna obwodów pomiarowych, zastosowanie interfejsu RS485C do komunikacji z komputerem zewnętrznym, zastosowanie magistrali przesyłowej umożliwiającej transmisję danych i spełniającej wymagania karty UIC556 [5, 6].

Centralne stanowisko diagnostyczne sterowane z mikrokomputera powinno być wyposażone w urządzenia umożliwiające realizację badań technicznych, tzn.: pantografu, zestawów kołowych (np. ASDEK [5]), układu hamulcowego oraz układu pneumatycznego. Wszystkie wyniki pomiarów będą przechowywane w pamięci mikrokomputera. Specjalny program symulacyjny oraz odpowiednie przetworniki pomiarowe umożliwiają realizację pomiarów w sposób automatyczny lub ręczny. Wyniki obliczeń będą prezentowane w sposób tabelaryczny

i graficzny na ekranie monitora oraz wydrukowane w postaci protokołu badań diagnostycznych.



Rys.1. Schemat blokowy bezpośredniego sterowania momentem
Fig.1. Block scheme of the direct of control of the moment

Ocenę stanu technicznego indukcyjnego silnika trakcyjnego można przeprowadzić przy wykorzystaniu: wyników analizy harmonicznych prądu stojana przy zasilaniu trójfazowym i dwufazowym [2, 5, 6], analizy sygnału napięciowego indukowanego w dodatkowym uzwojeniu umieszczonym w żłobkach stojana [5, 6] lub stosując metody wibromechaniczne [2]. Metody te dają zadowalające wyniki, ich zastosowanie wymaga jednak złożonych układów pomiarowych, dlatego są stosowane w centralnym stanowisku diagnostycznym. Dla bieżącej kontroli stanu technicznego silnika trakcyjnego można ograniczyć zakres pomiarów do: pomiaru rezystancji uzwojeń stojana, rezystancji izolacji stojana, kontroli klatki wirnika oraz łożysk silnika [2, 5]. Do kontroli stanu technicznego klatki wirnika można wykorzystać układ pomiarowy opracowany w Katedrze Maszyn Elektrycznych AGH Kraków [6].

Ocenę stanu technicznego układu zasilania (tranzystorowy falownik napięcia) przeprowadza się sprawdzając: elementy wykonawcze, zabezpieczenia zwarciovie oraz realizując programy testujące umieszczone w pamięci sterownika mikroprocesorowego (nastawy zabezpieczeń przeciążeniowych, zwarciovych, kontrola ciągłości napięć zasilających oraz obwodów sprzężeń zwrotnych). Badania stanu technicznego pantografu oraz układu jezdnego powinny być przeprowadzone na torze próbnym przy wykorzystaniu specjalnych urządzeń do pomiaru: siły docisku ślizgacza do przewodu jezdnego, stopnia nagrzania łożysk zestawów kołowych, obręczy kół i kontrola płaskich miejsc na obręczach kół [5].

Do realizacji badań diagnostycznych lokomotywy wykorzystano sterownik mikroprocesorowy Simadyn D, zbudowany na bazie procesora MIPS R3000. Sterownik ten może realizować różne funkcje: diagnostyczne, sterujące, komunikacyjne i dokumentacyjne. Jest on wykorzystywany w napędach prądu stałego i prądu zmiennego o regulowanej prędkości obrotowej. Sterownik Simadyn D może współpracować z analogowymi i cyfrowymi urządzeniami pomiarowymi. Język programowania sterownika Simadyn D - Simovis umożliwia automa-

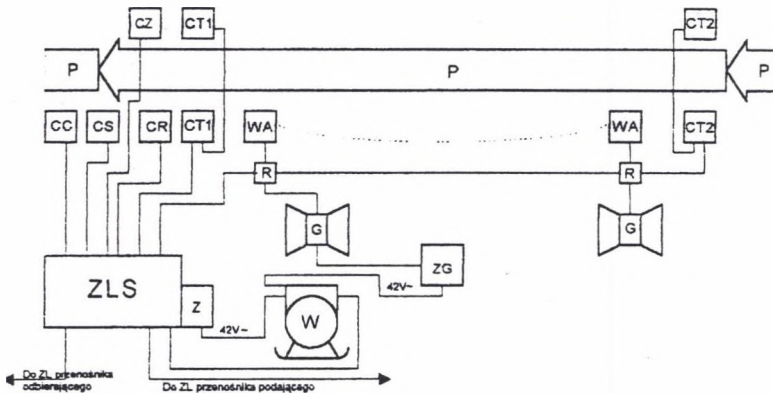
tyczne przesyłanie sygnałów z przetworników pomiarowych do odpowiednich modułów wejść i wyjść sterownika, wykonywanie złożonych algorytmów funkcyjnych, przechowywanie i obróbkę matematyczną wyników pomiarów, wizualizację graficzną realizowanych operacji - na ekranie monitora lub w postaci komentarza na wyświetlaczu panelu operacyjnego oraz wydruk wyników obliczeń [11, 12]. Panel operacyjny może być umieszczony w sposób trwały w kabinie maszynisty lub instalowany tylko na czas pomiarów. Zawiera on zestaw przycisków kontrolnych oraz wyświetlacz ciekłokrystaliczny. Panel kontrolny umożliwia przeprowadzenie kontroli nastaw zabezpieczeń zwarciovych i przeciążeniowych modułów wykonawczych oraz ocenę stanu technicznego silnika trakcyjnego, zasilacza tranzystorowego obwodu siłowego oraz obwodu sterowania [7].

Bieżąca kontrola stanu technicznego lokomotywy jest zrealizowana na diodach elektroluminescencyjnych typu LED; czerwona - sygnalizuje stan awaryjny, żółta - przeciążenie oraz zielona - stan normalny. Sterowanie lokomotywy odbywa się w sposób lokalny - z pulpitu sterowniczego lub w sposób automatyczny - przez program operacyjny umieszczony w mikrokontrolerze. Jako środek komunikacji systemu z operatorem zastosowano zespół kluczy logicznych (przyciski i czujniki oraz przetworniki typu GAL), diody elektroluminescencyjne LED oraz panel operacyjny sterownika Simadyn D. Po załączeniu napięć zasilających i sterujących sterownik realizuje sekwencje startowe. Następuje kontrola poszczególnych elementów układu - napędowego, zasilającego oraz sterowania. Sterownik sekwencyjnie sprawdza przyciski oraz odczytuje wartości na wejściach przetworników analogowych i cyfrowej układu. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości lub przekroczenia wartości granicznych jest sygnalizowany stan awaryjny, blokowane są obwody siłowe, a na wyświetlaczu LCM panelu operatorskiego pojawia się odpowiedni komunikat. W przypadku pozytywnej diagnostyki następuje uruchomienie lokomotywy. W czasie normalnej pracy układu napędowego lokomotywy kontroluje się temperaturę uzwojenia stojana silnika trakcyjnego, temperaturę łożysk silnika oraz zestawu kołowego oraz temperaturę obudowy układów tranzystorów IGBT lub Inteligentnych Modułów Mocy. Wyniki kontrolne oraz wyniki pomiarów wynikające z realizowanych cykli pracy są przechowywane w pamięci sterownika. Badania kontrolne przeprowadzono na modelu laboratoryjnym lokomotywy złożonym z silnika indukcyjnego o mocy 5 kW, zasilanym z tranzystorowego falownika napięcia ze sterownikiem mikroprocesorowym Simadyn D, Simatic S5 115U oraz mikrokontrolerem jednoukładowym 16-bitowym.

6. Układy sterowania systemem kopalnianych przenośników taśmowych

W każdej kopalni znajduje się duża liczba przenośników taśmowych, które przenoszą urobek ze ścian wydobywczych do zbiorników zasobniczych, znajdujących się na stacjach załadowniczych lub wyładowniczych. W polskim górnictwie stosuje się szereg rozwiązań umożliwiających automatyzację pracy napędu wielosilnikowego przenośników taśmowych, uwzględniających rozruch oraz właściwą kolejność załączania poszczególnych silników.

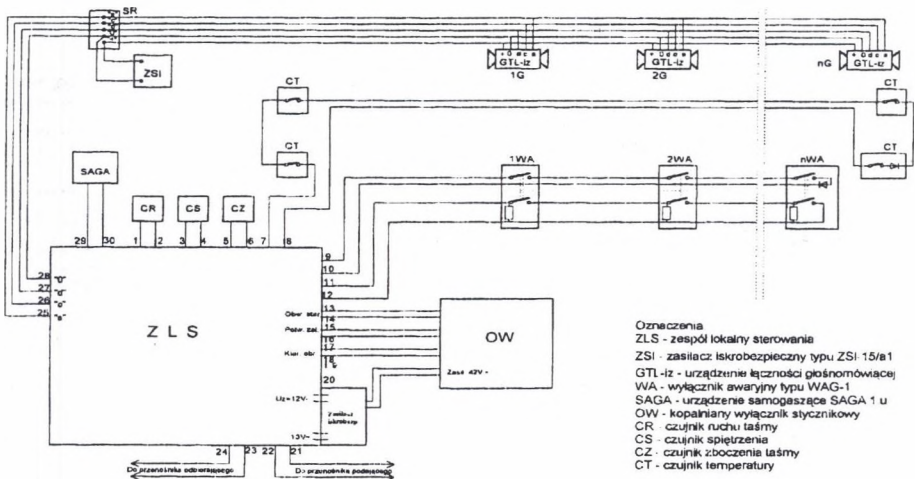
Układy te w znacznym stopniu były realizowane na bazie układów przekaźnikowych (PUMA2, USPP, PL-10-Rk, APT lub AP4) albo przez układ SAT-36, opracowany przez Centrum EMAG [1, 8, 9]. Układ automatyzacji przenośników górniczych SAT-36 umożliwia sterowanie z centralnego punktu i kontrolę pracy ciągów prostych i rozgałęzionych, zawierających do 36 przenośników (maksymalnie 6 tras po 6 przenośników). W blokach elektronicznych zastosowano standardowe moduły EUROCARD oraz elementy cyfrowe CMOS umożliwiające budowę przeciwwybuchową iskrobezpieczną ($Ex_{i,b}I$) [1]. W skład układu SAT36 wchodzi: zespół centralny (AT-ZC), zespół lokalny (AT-ZL), zasilacz iskrobezpieczny (ZSI-12) oraz czujniki: prędkości, spiętrzenia, temperatury. Zespoły AT-ZC oraz AT-ZL zawierają sterowniki mikroprocesorowe (mikrokomputer jednoukładowy 80C837) wykorzystywane do sterowania i do transmisji szeregowej dwukierunkowej jedną parą żył, o zasięgu 6 km z impedancją dopasowania 160 Ω . Na pokrywie zespołu AT-ZC znajduje się ekran graficzny wyświetlania konfiguracji ciągów odstawy i stanów awaryjnych (wyłączenie napędu, numer zablokowanego wyłącznika awaryjnego) oraz klawiatura membranowa uprawnień, programatora i sterowania. Na pokrywie zespołów lokalnych AT-ZL umieszczono: wyświetlacz alfanumeryczny LCD i diody LED, przyciski ZAŁ-WYŁ i STOP. W artykule podjęto próbę opracowania układu sterowania systemu przenośników taśmowych realizujących odstawę urobku od przodku wydobywczego do zbiornika zasobniczego na podszybiu stacji załadowniczej na bazie nowoczesnych sterowników programowalnych.



Rys. 2. Schemat blokowy sterowania przenośnika taśmowego
Fig.2. Block scheme of the control of the belt conveyor

Na rys. 2 przedstawiono uproszczony schemat ideowy układu sterowania pojedynczego przenośnika taśmowego z układem GTL-iz, a na rys. 3 schemat rozmieszczenia czujników na przenośniku. Węgiel może być transportowany do zbiornika zasobniczego pięcioma trasami z poszczególnych ścian wydobywczych. W skład każdej trasy wchodzi układ trzech lub czterech przenośników składowych. Długość trasy wynosi około 4 km. Poszczególne przenośniki są napędzane dwoma lub więcej silnikami. Sterowanie jest realizowane przy wykorzystaniu sterowników programowalnych: lokalnych umieszczanych obok układu zasilania i sterowania przenośnika oraz centralnych, które mogą współpracować maksymalnie z 32 kontrolerami lokalnymi [9, 10].

W pracy przyjęto dwa typy sterowników programowalnych: - **8SD3571 - OA** jako sterownik lokalny, - **8SD3571 - OB** jako sterownik centralny. Kontroler lokalny zawiera tylko moduły funkcyjne, natomiast kontroler centralny składa się z: procesora centralnego, modułów logicznych, modułu wyświetlacza i transmisji danych oraz z interfejsów szeregowych umożliwiających komunikację z komputerem znajdującym się na powierzchni kopalni. Wymiana informacji między kontrolerem centralnym a kontrolerami lokalnymi odbywa się czteroprzewodowo. Transmisja danych jest realizowana cyklicznie w sposób synchroniczny. Każda informacja zawiera adres sterownika, informacje sterujące oraz komendy **On** lub **Off**. Odległość pomiędzy sterownikami może wynosić około 3 km. Znamionowa szybkość transmisji wynosi 1200 baudów. Poszczególne sterowniki są umieszczone w obudowach iskrobezpiecznych. Obsługa ma do dyspozycji uproszczoną klawiaturę oraz wyświetlacz alfanumeryczny.



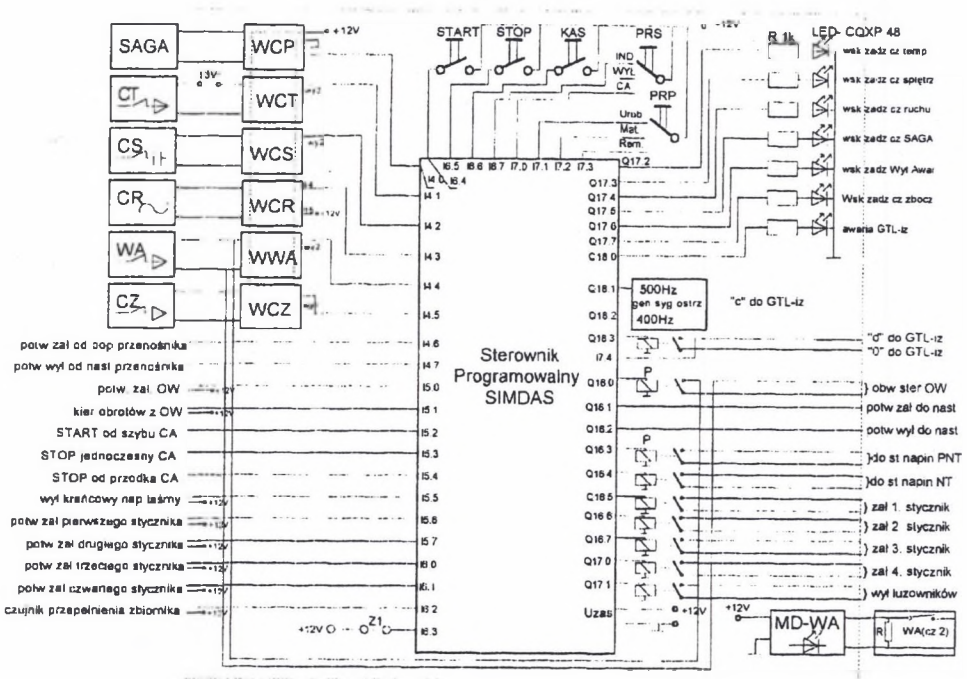
Rys.3. Schemat rozmieszczenia czujników w przenośniku taśmowym

Fig.3. Scheme of the locate of the sensors in belt conveyor

Kontroler lokalny umożliwia sterowanie i monitorowanie pracy przenośnika. Sterownik lokalny zapewnia: uruchamianie i wyłączenie przenośnika, likwidację poślizgu taśmy, wyłączenie układu w stanach awaryjnych, załączanie i wyłączenie silnika oraz zabezpieczenie przed przeciążeniem i zwarcie silnika. Kontroler centralny pełni funkcje nadrzędną w stosunku do kontrolerów lokalnych. Kontroler centralny steruje pracą całych ciągów przenośników oraz monitoruje pracę poszczególnych linii transportowych. Na rys.4 przedstawiono schemat połączeń sterownika mikroprocesorowego z elementami współpracującymi. W ramach prac prowadzonych przez autora opracowano programy sterujące dla poszczególnych linii przenośników taśmowych oraz częściowo programy sterujące całym systemem z uwzględnieniem kolejności załączania poszczególnych przenośników. W ramach dalszych prac będą opracowane programy umożliwiające pełną automatyzację pracy systemu przenośników oraz ich diagnostykę zrealizowaną na bazie inteligentnych iskrobezpiecznych sterowników programowalnych. Badania symulacyjne potwierdziły celowość stosowania sterowników programowalnych w układach automatyzacji przenośników taśmowych.

7. Zakończenie

Układy sterowania zbudowane na sterownikach mikroprocesorowych zwiększą znacznie pewność i niezawodność pracy układów sterowania, umożliwiając równocześnie realizację sterowania cyfrowego. Zastosowanie sterowników programowalnych w układach sterowania przenośników taśmowych lub zgrzeblowych zapewni większą pewność pracy tych urządzeń, możliwość diagnozowania i monitorowania pracy systemu przenośników oraz możliwość płynnej zmiany prędkości ruchu taśmy przy braku urobku na poszczególnych ciągach przenośników, aby uzyskać ograniczenie poboru mocy czynnej pobieranej ze źródła zasilania. Proponowane rozwiązania układów sterowania maszyn górniczych mogą spowodować ograniczenie poboru mocy oraz zwiększyć niezawodność pracy maszyn górniczych.



Rys.4. Schemat połączeń sterownika mikroprocesorowego z elementami współpracującymi

Fig.4. Scheme of the connection of the microprocessor driver with the cooperate elements

LITERATURA

1. Antoniuk J.: Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach. „Śląsk” Katowice 1990
2. Hickiewicz J., Szymaniec S., Wach P.: Vibration phenomena in induction machines. Proceedings. of ICEM'84, Lausanne 1994

3. Kaźmierkowski M.P.: Porównanie metody sterowania połowo zorientowanego z metodą bezpośredniej regulacji momentu silnika klatkowego. Przegląd Elektrotechniczny nr 4, 1998
4. Malinowski M., Sobczak D., Kaźmierkowski M.P.: Prosta metoda sterowania wektorowego (NFO) silników klatkowych zasilanych z falowników napięcia. Przegląd Elektrotechniczny nr 7-8, 1999
5. Marciniak J.: Problemy diagnozowalności elektrycznego zespołu napędowego EN57. Międzynarodowa Konferencja Naukowa: Badania modelowe i symulacyjne w trakcji elektrycznej. Warszawa, listopad 1993
6. Rams W., Rusek J., Wierzchowski M.: Kontrola symetrii klatki w silnikach indukcyjnych przy zasilaniu dwufazowym. BOBRME - KOMEL Zeszyty Problemowe nr 50, 1995
7. Rawicki S.: Diagnostics of three-phase induction motors driving traction vehicle. II Międzynarodowa Konferencja: Nowoczesne systemy zasilania i napędu w Trakcji Elektrycznej. Warszawa, październik, 1995
8. Szczucki F.: Rozwój układów automatyzacji przenośników w podziemiach kopalń. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 11, 1995
9. Szymański Z.: Zastosowanie sterowników mikroprocesorowych Simatic S5 w układach sterowania maszyn górniczych i trakcji dołowej. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 6-7 1996
10. Szymański Z.: Mikroprocesorowe układy sterowania dołowych lokomotyw elektrycznych napędzanych silnikiem indukcyjnym lub silnikiem z magnesami trwałymi. VI Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej SEMTRAK'94 Zakopane, październik 1994
11. Szymański Z.: Mikroprocesorowy układ sterowania kopalnianej lokomotywy elektrycznej napędzanej silnikiem indukcyjnym. Materiały Konferencyjne XXX SME Kazimierz Dolny, czerwiec 1994
12. Simadyn D. The Digital Control System for Drive and Power Engineering. Siemens Aktiengesellschaft 1994

Recenzent: Doc.dr inż. Franciszek Szczucki

Abstract

The paper present a review of control system a mining transportation machines: electrical rail traction, belt conveyer and a wheel traction, and also an analysis of possibilities their modernization with application of energy-saving drive system and microprocessor-based technique and digital control systems. Induction compact motor composed with: energy-saving induction traction motor and transistor voltage converter (three or five transistor triacs) and microcomputer control system. are presented in the paper. The paper presents an examples of the control algorithms which guaranted a realisation of energy-saving conditions in the drives of: electrical mine locomotive, wheel car and also a possibilities of diagnostic the control systems. Some diagnostics algorithms realised for global and local diagnostics control systems are presented in the paper In the base of the belt conveyer and electrical mine locomotive the paper present a microprocessor-based control system which guaranted a partial automatization of the control system. Applications of inteligent industrial controlllers type: Dimadun D and Simatic S5 and S7 in automation of belt conveyers control systems are presented in the paper.