

Trakcyjno-akumulatorowy układ zasilania napędu dla górniczej lokomotywy spągowej

Przemysław Deja

1. Wstęp

W polskich kopalniach węgla kamiennego stosowanych jest wiele środków technicznych do transportu materiałów oraz przewozu ludzi. Ze względu na źródło zasilania energią dzieli się je na spalinowe oraz elektryczne. Te drugie, z uwagi na sposób dostarczania energii elektrycznej, dzieli się na: akumulatorowe, przewodowe oraz zasilane z trakcji elektrycznej. Koszty eksploatacji maszyn górniczych zasilanych energią elektryczną są wysokie. Stąd uzasadnione jest wdrażanie rozwiązań umożliwiających zasilanie maszyn zarówno z elektrycznej trakcji przewodowej, jak i z baterii akumulatorów. Podwójny układ napędu maszyny akumulatorowej może zmniejszyć ograniczenia maszyny zasilanej tylko z trakcji (przewidzianej do stosowania wyłącznie w pomieszczeniach niemietanowych lub ze stopniem „a” niebezpieczeństwa wybuchu metanu.

Prowadzone dotychczas prace nad trakcyjno-akumulatorowym układem napędu skutkowały wykonaniem prototypu lokomotywy, która z uwagi na duże gabaryty nie znalazła zainteresowania wśród użytkowników. Rozwój technologii wytwarzania baterii ogniw pozwala obecnie na opracowanie układu napędu elektrycznego zoptymalizowanego pod kątem gabarytów oraz wyposażenia elektrycznego.

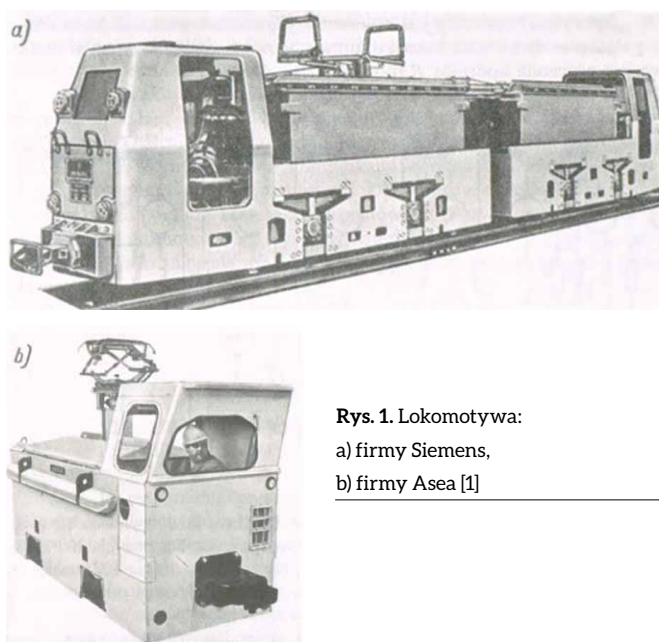
W niniejszym artykule przedstawiono wyniki prac zrealizowanych w Instytucie KOMAG, dotyczących układu napędu elektrycznej lokomotywy spągowej przewidzianej do pracy w podziemnych zakładach górniczych, w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego [2, 3].

2. Rozwiązania elektrycznych lokomotyw górniczych z trakcyjno-akumulatorowym układem zasilania napędu

W polskich kopalniach jedyną eksploatowaną lokomotywą dołową z trakcyjno-akumulatorowym układem zasilania napędu była lokomotywa typu Lda-20, która w latach 1966–1969 została wykonana przez firmę Konstal z Chorzowa w ilości 40 sztuk.

W światowym górnictwie znalazły zastosowania lokomotywy firm Siemens (rys. 1 a) oraz Asea (rys. 1 b). Stosowano w nich silniki szeregowo prądu stałego, zaś układ baterii akumulatorów zbudowano w oparciu o klasyczne ogniwa kwasowo-ołowiowe, które umieszczono w osłonie ognioszczelnej. Sterowanie prędkością jazdy odbywało się za pośrednictwem przekształtników tyrystorowych.

Producentem lokomotywy z trakcyjno-akumulatorowym układem zasilania jest również firma Clayton (Wielka Brytania),



Rys. 1. Lokomotywa:
a) firmy Siemens,
b) firmy Asea [1]



Rys. 2. Lokomotywa górnicza firmy Clayton [8]

której lokomotywy (rys. 2) mogą być zasilane z przewodu napowietrznej linii trakcyjnej lub z tzw. zelektryfikowanej trzeciej szyny.

Firma oferuje lokomotywy trakcyjno-akumulatorowe o masach od 4 do 40 ton, z silnikami asynchronicznymi.

3. Model trakcyjno-akumulatorowego układu zasilania napędu lokomotywy górniczej

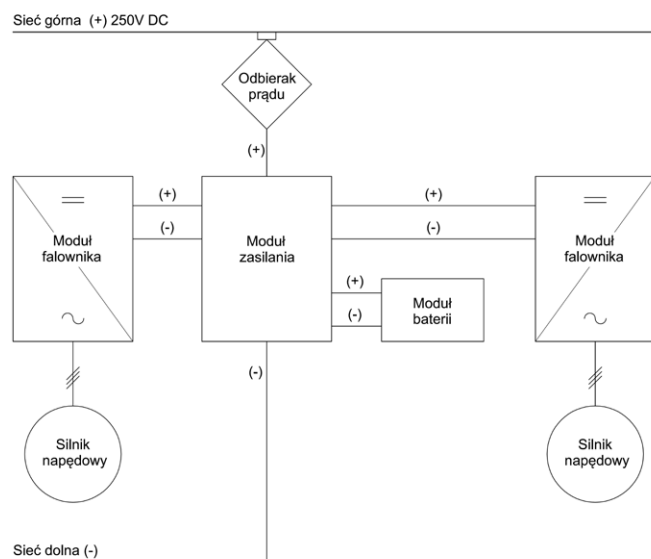
W Instytucie KOMAG prowadzone są prace nad opracowaniem trakcyjno-akumulatorowego układu zasilania napędu lokomotywy spągowej przewidzianej do pracy w podziemnych zakładach górniczych, w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Idea rozwiązania opiera się na połączeniu rozwiązań zastosowanych w lokomotywie typu Ld-31EM [6], zasilanej z przewodu trakcyjnego, i lokomotywy akumulatorowej typu Lea budowy przeciwwybuchowej. Nowością rozwiązania jest wykorzystanie energii elektrycznej indukowanej w trakcie hamowania lokomotywy do ładowania baterii ogniów.

Na rys. 3 przedstawiono elektryczny schemat blokowy układu zasilania napędu, w którym zastosowano nowoczesne moduły falownika współpracujące z wysoko sprawnymi, bezszczotkowymi silnikami elektrycznymi z magnesami trwałymi. Jako źródło zasilania, poza elektryczną siecią trakcyjną dostarczaną przez odbierak prądu oraz moduł zasilania, zastosowano moduł baterii, składający się z ogniów litowych [7].

Rozwiązanie jest zgodne z wymaganiami dla urządzeń stosowanych w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, wynikającymi z Dyrektywy Europejskiej [4] oraz norm zharmonizowanych. Układ napędu eliminuje ograniczenia lokomotywy akumulatorowej (czas pracy wynikający z pojemności baterii) oraz ograniczenia lokomotywy zasilanej z trakcji (praca wyłącznie w pomieszczeniach niemietanowych lub ze stopniem „a” niebezpieczeństwa wybuchu metanu).

Układ elektryczny spełnia wymagania:

- posiada obudowę zapewniającą stopień ochrony przed dostępem osób do części niebezpiecznych, przed wnikaniem obcych ciał stałych oraz przed szkodliwymi skutkami wnikającej wody, nie niższy niż IP54;
- zapewnia ochronę przed dotykiem bezpośrednim, poprzez umieszczenie aparatury elektrycznej w odpowiednich obudowach;



Rys. 3. Elektryczny schemat blokowy podwójnego układu zasilania napędu [2]

Tabela 1. Dane wejściowe modelu symulacyjnego układu napędowego [3]

Napięcie znamionowe zasilania	250 V DC
Maksymalna prędkość jazdy	5 m/s
Maksymalna siła pociągowa	30 kN
Moc silników napędowych	2 x 40 kW
Przekładnia	12,1
Średnica kół	730 mm
Masa lokomotywy	12,5 t
Pojemność akumulatorów	100 Ah
Obciążenie lokomotywy (wozy typu Granby)	20 szt
Nachylenie trasy	0,4%

- zapewnia ochronę przed dotykiem pośrednim, poprzez zastosowanie zabezpieczeń przed skutkami zwarć, przeciążeń, posiada obwody sterowania i sygnałowe;
- przewidziany jest do pracy w temperaturze otoczenia od -20°C do 40°C , przy wilgotności względnej do 95%;
- zapewnia rezystancję izolacji nie mniejszą niż 10 M Ω ;
- posiada właściwe odstępy izolacyjne powierzchniowe i w powietrzu.

4. Model układu zasilania

Model układu zasilania wykonano w środowisku Matlab-Simulink, w oparciu o schemat blokowy przedstawiony na rys. 3, celem potwierdzenia poprawności działania układu oraz przyjętych danych wejściowych. Do budowy modelu przyjęto dane wejściowe podane w tabeli 1.

Przyjęto, że model układu zasilany będzie z kopalnianej trakcji elektrycznej o napięciu znamionowym 250 V DC. W układzie napędowym zastosowano dwa bezszczotkowe silniki z magnesami trwałymi o mocy 40 kW, zasilane z osobnych przekształtników energoelektronicznych.

Model silnika elektrycznego zbudowano w oparciu o blok Simulinka. Sygnałem wejściowym był moment obciążenia wynikający z oporów ruchu jadącej lokomotywy. Moc wyjściowa silnika zwiększono dwukrotnie, symulując w ten sposób dwa silniki, przewidziane do budowy napędu.

Do budowy modelu baterii akumulatorów wykorzystano blok Simulinka. Sygnałem wejściowym dla baterii była moc chwilowa układu napędowego, a sygnałem wyjściowym wartość napięcia i prądu baterii oraz informacja o poziomie jej naładowania.

Model falownika zbudowano na podstawie struktury układu sterowania wektorowego połowo zorientowanego, ze sterowaniem bezpośrednim DFOC (ang. *Direct Field Oriented Control*).

Model poddano badaniom, podczas których symulowano:

- przejazd lokomotywy zasilanej z akumulatora z pustymi wozami, po wzniosie;
- przejazd lokomotywy zasilanej z akumulatora z pełnymi wozami, po upadzie;
- przełączenie zasilania z trakcji na baterię akumulatorów;
- przejazd lokomotywy zasilanej z trakcji przewodowej z pustymi wozami, po wzniosie;

- przejazd lokomotywy zasilanej z trakcji przewodowej z pełnymi wozami, po upadzie;
- rozładowywanie baterii.

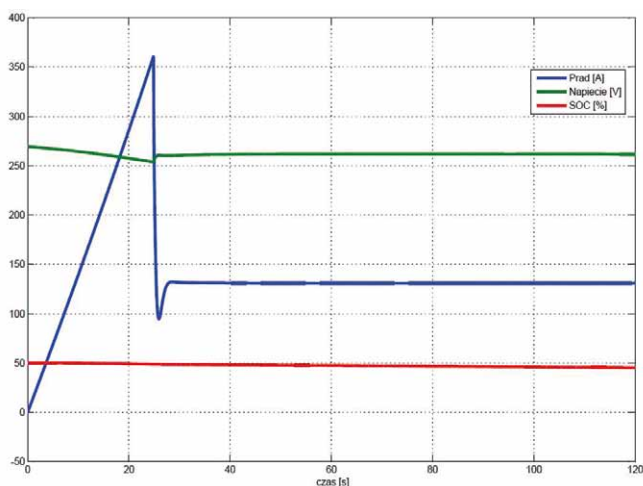
W czasie badań rejestrowano wartości: prądu, napięcia i stan naładowania baterii akumulatorów oraz prąd, moment i prędkość obrotową pojedynczego silnika napędowego.

Na rys. 4 do 8 przedstawiono przykładowe, wybrane przebiegi uzyskane podczas badań.

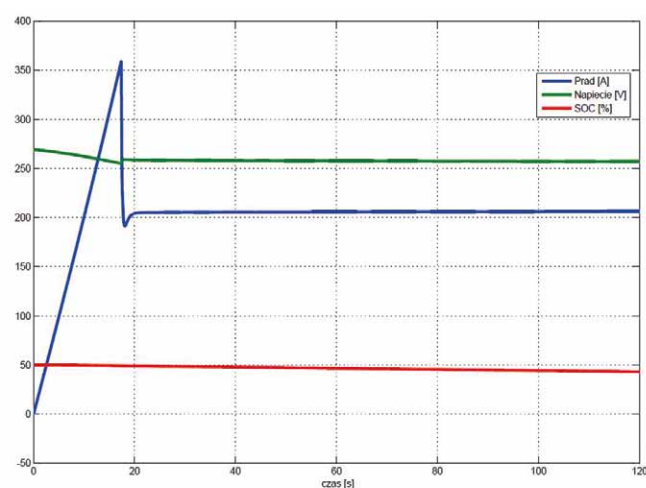
Maksymalny prąd silnika ograniczono poprzez nastawy falownika do wartości 360 A (prąd znamionowy silnika). Wartość skuteczna prądu podczas rozruchu wynosiła 360 A. Stwierdzono, że regulator typu PI, sterujący ograniczeniem prądowym silnika, został zamodelowany prawidłowo. Zgodnie z dokumentacją dla prądu znamionowego 360 A moment silnika wynosi

560 Nm [5]. Tę wartość momentu uzyskano podczas rozruchu, co potwierdziło poprawność działania modelu układu zasilania. Również model układu przełączania zasilania lokomotywy z trakcji na baterię akumulatorów działał prawidłowo.

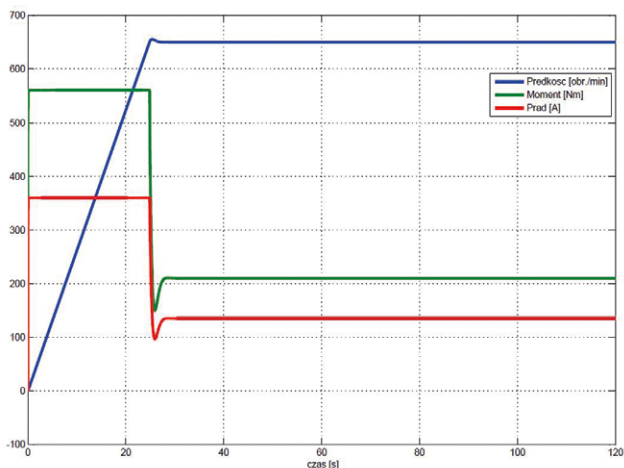
Wyniki badań układu napędowego wykazały, że silnik napędowy lokomotywy z pełnymi wozami rozpędza się do prędkości znamionowej w czasie 25 sekund (rys. 5), natomiast z pustymi w czasie 18 sekund (rys. 7). Prąd lokomotywy z pełnymi wozami wynosi 130 A (rys. 4), natomiast z pustymi 205 A (rys. 6). Różnica ta wynikała z nachylenia, po jakim poruszała się lokomotywa. Czas jazdy lokomotywy zasilanej z baterii akumulatorów wynosił maksymalnie 40 min, dla transportu z wozami pełnymi po upadzie 0,4%, i 25 minut z wozami pustymi po nachyleniu 0,4% (rys. 8).



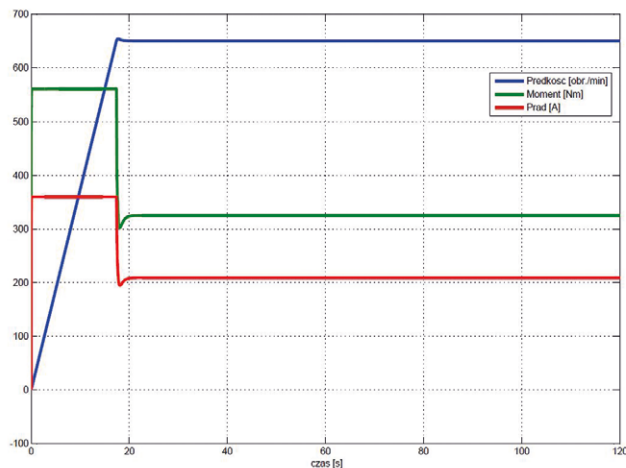
Rys. 4. Przebiegi prądu, napięcia oraz stopnia rozładowania akumulatora dla jazdy lokomotywy z pełnymi wozami po upadzie 0,4%, zasilanej z akumulatora [3]



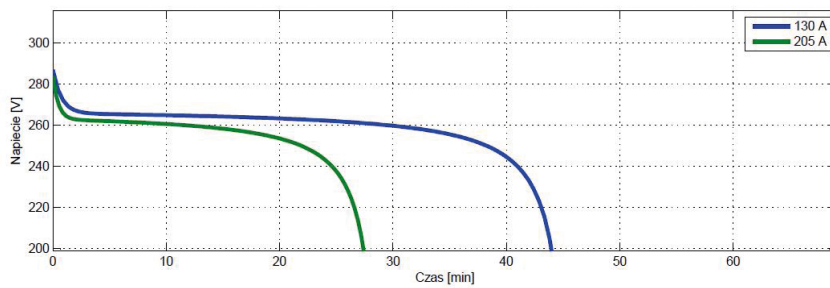
Rys. 6. Przebiegi prądu, napięcia oraz stopnia rozładowania akumulatora dla jazdy lokomotywy z pustymi wozami po wzniosie 0,4%, zasilanej z akumulatora [3]



Rys. 5. Przebiegi prądu, momentu oraz prędkości obrotowej silnika dla jazdy lokomotywy z pełnymi wozami po upadzie 0,4%, zasilanej z akumulatora [3]



Rys. 7. Przebiegi prądu, momentu oraz prędkości obrotowej silnika dla jazdy lokomotywy z pustymi wozami po wzniosie 0,4%, zasilanej z akumulatora [3]



Rys. 8. Przebiegi spadku napięcia baterii akumulatorów [3]

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki pracy realizowanej w Instytucie KOMAG, dotyczącej trakcyjno-akumulatorowego układu zasilania napędu elektrycznego lokomotywy spągowej, przewidzianej do pracy w podziemnych zakładach górniczych, w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem metanu i/ lub pyłu węglowego.


Opracowany model układu zasilania napędu elektrycznego pozytywnie zwerifikowano, przeprowadzając badania mające na celu sprawdzenie poprawności działania oraz przyjętych danych wejściowych. Przedstawione wyniki badań modelu układu zasilania napędu elektrycznego, wyposażonego w silniki z magnesami trwałymi wraz ze składem wozów kopalnianych, uwzględniają zamodelowaną trasę jazdy w warunkach rzeczywistych. Badania przeprowadzono w programie Matlab-Simulink. Uzyskane wyniki badań potwierdziły poprawność działania układu zasilania oraz przyjętych danych wejściowych. Rezultaty dotychczasowych prac stanowią podstawę do dalszych prac związanych z doбором podzespołów wyposażenia elektrycznego napędu.

Literatura

- [1] DUDEK W., GRZBIELA C., MACHOWSKI A., MACHOWSKI J.: *Maszyny, urządzenia elektryczne* [w:] *Automatyka w górnictwie*. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.
- [2] BUDZYŃSKI Z., DEJA P., KONSEK R., POLNIK B.: *Innowacyjny hybrydowy*

układ napędu elektrycznego – Koncepcja innowacyjnego hybrydowego napędu elektrycznego. Praca statutowa ITG KOMAG 2016 (niepublikowana).

- [3] DEJA P., KONSEK R., KURPIEL W., POLNIK B.: *Innowacyjny hybrydowy układ napędu elektrycznego – Badania symulacyjne*. Praca statutowa ITG KOMAG 2016 (niepublikowana).
- [4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/34/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej.
- [5] Dokumentacja techniczno-ruchowa (instrukcja obsługi). Silnik trójfazowy synchroniczny z magnesami trwałymi typu PMP 250L-w.
- [6] Karta katalogowa: Dołowa lokomotywa elektryczna Ld-31EM.
- [7] Karta katalogowa ogniwi litowo-żelazowo-fosforanowych SP-LFP 100AHA.
- [8] Strona internetowa: www.clayton.com

 Przemysław Deja

Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice

reklama

reklama