

Bartosz Polnik
Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice

ROZWÓJ UKŁADÓW NAPĘDOWYCH GÓRNICZYCH LOKOMOTYW AKUMULATOROWYCH

THE DEVELOPMENT OF THE MINING BATTERY LOCOMOTIVE DRIVES

Streszczenie: Przewóz ludzi w podziemnych wyrobiskach górniczych oraz transport materiałów i urobku jest jednym z najważniejszych procesów wpływających na efektywność produkcji surowca. Jako środki transportu stosuje się m.in. lokomotywy spągowe oraz ciągniki podwieszane. Z uwagi na emisję szkodliwych substancji pochodzących z lokomotyw spalinowych dąży się do ich ograniczenia i zastąpienia napędami elektrycznymi. W najgłębszych pokładach kopalń, podczas drążenia wyrobisk chodnikowych praktycznie nie wykorzystuje się napędów spalinowych. Wydobycie urobku oraz transport materiałów realizowany jest za pomocą systemów transportowych zasilanych elektrycznie. Stosowane lokomotywy akumulatorowe dorównują mobilnością lokomotywie spalinowej, przewyższając je przy tym sprawnością i niższą emisją szkodliwych gazów. W referacie omówiono rozwój układów napędowych stosowanych w górniczych lokomotywach akumulatorowych od momentu powstania pierwszych rozwiązań aż po dzień dzisiejszy. Wskazano wady i zalety wprowadzanych kolejno napędów. Dokonano analizy porównawczej sprawności energetycznej wybranych układów napędowych w aspekcie zapewnienia wymaganego poziomu bezpieczeństwa wynikającego z ich stosowania. W podsumowaniu sformułowano wnioski końcowe oraz wskazano kierunki rozwoju napędów górniczych lokomotyw akumulatorowych z perspektywy nadchodzących lat.

Abstract: Transportation of people in underground mining and transport of ore and is one of the most important processes affecting the efficiency of the production of raw material. As a means of transport is used, among others, locomotives and tractors suspended. Due to the harmful emissions from diesel locomotives committed to their reduction and replacement of electric drives. In the deepest mines decks during drilling pits paving practically used combustion drives. Ore extraction and transportation of materials is carried out by means of electrically powered transport systems. Used locomotive battery par with mobility combustion locomotives, exceeding them by the efficiency and lower emission of harmful gases. The paper discusses the development of drive systems used in mining locomotives battery since the inception of the first solutions to this day. They pointed out the advantages and disadvantages introduced in turn drives. A comparative analysis of the energy efficiency of selected drive systems in terms of ensuring the required level of safety resulting from their use. In conclusion formulated conclusions and the directions of the development drive is-bugs mine battery locomotives from the perspective of the coming years.

Słowa kluczowe: *górnictwo, systemy transportowe, lokomotywa, napęd, silnik elektryczny*

Keywords: *mining, transportation systems, locomotive, drive, electric motor*

1. Wstęp

Transport kołowy w kopalniach węgla obsługuje prawie cały transport materiałów, ok. 40% urobku oraz codzienny przewóz załogi do i z miejsca pracy [4]. W kopalniach oprócz lokomotyw przewodowych zasilanych z elektrycznej sieci trakcyjnej, rozpowszechnione zostały lokomotywy akumulatorowe. Znalazły one zastosowanie przede wszystkim na drogach przewozowych o zagrożeniu wybuchu gazów lub pyłów. Pierwsze lokomotywy akumulatorowe pojawiły się w polskich kopalniach na początku XX wieku. Lokomotywa składała się z ciągnika i tendera, który zawierał baterię akumulatorów kwasowych. W 1994 roku w polskich kopalniach głębinowych pracowało ok. 650 lokomotyw akumulatorowych [8]. Dla po-

równania w roku 2001 w przewozie głównym brało udział ok. 150 tych maszyn [4]. Szacuje się, że na dzień dzisiejszy lokomotyw akumulatorowych pracujących w polskich kopalniach głębinowych jest poniżej 100 sztuk. Lokomotywy akumulatorowe budowane były w różnym wykonaniu, jako lokomotywy transportu głównego i pomocniczego. Zasięg trakcji akumulatorowej ograniczony jest pojemnością baterii akumulatorów [1]. W Polsce produkowane były dwa typy lokomotyw akumulatorowych: Lea (Lokomotywa elektryczna akumulatorowa) oraz Ldag (Lokomotywa dołowa akumulatorowa górnicza). Są to lokomotywy produkowane przed 1985 r., a z reguły w latach 60 – 70-tych [2]. Z zagranicznych rozwiązań loko-

motywu akumulatorowych pracujących w podziemiach polskich kopalń można wyróżnić słowackie lokomotywy typu AE, czeskie lokomotywy typu DLPA. Powyższe typy zagranicznych lokomotyw zostały wprowadzone na rynek polski z uwagi na zaprzestanie produkcji polskich rozwiązań. Lokomotywy akumulatorowe były i nadal są budowane jako jedno lub dwusilnikowe [1]. Do napędu pierwszych lokomotyw akumulatorowych stosowane były silniki elektryczne prądu stałego. W nowszych rozwiązaniach (zwłaszcza zagranicznych) rozpoczęto stosowanie silników prądu przemiennego. Podobnie zmieniały się układy sterowania stosowane w lokomotywach akumulatorowych. Od prostych układów nastawników rezystorowych, aż po przekształtniki energoelektroniczne. W niniejszym artykule omówiono rozwój układów napędowych górniczych lokomotyw akumulatorowych od pierwszych rozwiązań, aż po rozwiązania budowane obecnie. Przedstawiono wady i zalety różnych napędów oraz porównano sprawność energetyczną wybranych układów napędowych lokomotyw akumulatorowych. Wskazane zostały również kierunki dalszego rozwoju napędów górniczych lokomotyw akumulatorowych.

2. Silniki napędowe górniczych lokomotyw akumulatorowych

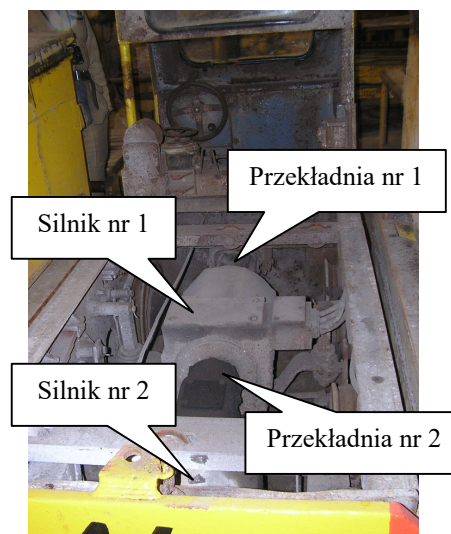
Spośród krajowych rozwiązań górniczych lokomotyw akumulatorowych wyróżnia się maszyny jedno lub dwukabinowe. W zależności od transportowanego ładunku, lokomotywy jednokabinowe potocznie nazywane „Karlikami” – rys. 1., służyły do prac manewrowych i transportowania niewielkich ładunków.



Rys. 1. Lokomotywa akumulatorowa typu Ldag-05 (Karlik) [11]

Napęd lokomotywy akumulatorowej Ldag-05 zbudowany jest z dwóch niezależnych silników elektrycznych typu LDs 05a, połączonych bez-

pośrednio z przekładniami po jednym zestawie na każdą z dwóch osi napędowych – rys. 2.



Rys. 2. Widok układu napędowego lokomotywy typu Ldag-05 [14]

Parametry techniczne silnika typu LDs 05a przedstawiono w tabeli 1.

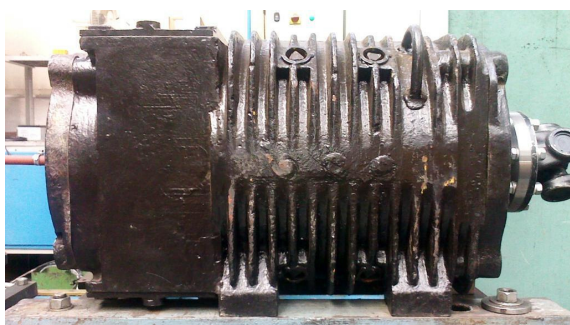
Tabela 1. Parametry techniczne silnika prądu stałego typu LDs 05a [14].

Moc [kW]	5,5
Rodzaj pracy [-]	S1 lub S2-60min.
Napięcie [V]	84
Prąd [A]	81,6 (S2), 40 (S1)
Obroty [obr/min]	1000 (S1), 700 (S2)
Sprawność [%]	80,3
Stopień wzbudzenia min/zn/max [%]	50 / 100 / -
Moment [Nm]	23 (S1), 75 (S2)
Masa [kg]	195

Dwukabinowe lokomotywy akumulatorowe typu Lea – rys. 3, wyposażone są w jednosilnikowy układ napędowy, składający się z silnika prądu stałego typu LDs 245 – rys. 4 lub w późniejszych wykonaniach typu LDs 327 – rys. 5, których konstrukcje mechaniczne (wał wirnika wyprowadzony z dwóch stron na zewnątrz kadłuba) umożliwiały połączenie bezpośrednio z dwiema przekładniami umieszczonymi na każdej z osi napędowych.



Rys. 3. Lokomotywa akumulatorowa typu Lea BM [11]



Rys. 4. Silnik prądu stałego typu LDs 245 [14]



Rys. 5. Silnik prądu stałego typu LDs 327 [13]

Parametry techniczne silnika typu LDs 245 oraz LDs 327 przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Parametry techniczne silnika prądu stałego typu LDs 245 oraz typu LDs 327 [13]

Dane / Silnik	LDs 245	LDs 327
Rodzaj pracy	S1/S2	S1/S2
Moc [kW]	15,2/38	19,2/40
Napięcie [V]	144	144
Prąd [A]	120/295	150/308
Moment [Nm]	50/224	110/341
Obroty [obr/min]	2910/1620	1660/1120
Sprawność [%]	88/89	89/90,5

Stosowanie szeregowych silników elektrycznych prądu stałego wynikało z braku alternatywy. Silniki te cechują się płynną regulacją prędkości obrotowej, co w sytuacji braku przekształtników energoelektronicznych było istotne. Najistotniejszą zaletą silników szeregowych jest ich duży moment rozruchowy. Do wad tych silników należy bardziej skomplikowana — w porównaniu z maszynami indukcyjnymi — budowa, większa masa, mniejsza niezawodność ruchowa oraz trudniejsza konserwacja. Ponadto zaprzestanie przez producenta (EMIT-Żychlin) produkowania ognioszczelnych silników prądu stałego, zmusiło użytkowników do coraz częstszych remontów tych maszyn, zaś konstruktorów do wyszukiwania nowoczesnych rozwiązań zastępujących starsze konstrukcje górniczych lokomotyw akumulatorowych. W podziemiach kopalń KGHM Polska Miedź zaczęły pracować lokomotywy akumulatorowe typu AE produkowane przez słowacką firmę PHS Strojarné. Lokomotywy typu AE – rys. 6, w swoim układzie napędowym posiadały w zależności od wersji jeden lub dwa silniki prądu przemiennego (asynchroniczne) połączone bezpośrednio z przekładniami umieszczonymi na każdej z osi napędowych. Niezależne sterowanie umożliwiło łatwiejsze wychodzenie z poślizgów, które występowały w trakcie pracy maszyny.



Rys. 6. Lokomotywa akumulatorowa typu AE 30 produkcji słowackiej [18]

W polskich kopalniach węgla kamiennego znane jest zastosowanie lokomotywy akumulatorowej typu DLPA produkcji Ferrit (Czechy). Górnicza lokomotywa akumulatorowa typu DLPA90F – rys. 7 została oddana do prób w podziemiach KWK Jankowice.

Lokomotywa ta jest bliźniaczym odzwierciedleniem słowackiej konstrukcji typu AE90. Za napęd odpowiadają dwa silniki asynchroniczne o mocy 45kW każdy, bezpośrednio sprzężone

z przekładniami umieszczonymi bezpośrednio na osiach jezdnych.



Rys. 7. Lokomotywa akumulatorowa typu DLPA90F produkcji czeskiej [17]

Napięcie zasilania tych lokomotyw ma wartość $U_{DC}=3 \times 230V$, co było zasadniczym problemem z punktu widzenia ich eksploatacji w polskich kopalniach (lokomotywy serii Lea zasilane były napięciem stałym o wartości 144V). Zastosowanie ich wiązało się z koniecznością modernizacji ładowni akumulatorów, a tym samym całkowitą eliminacją dotychczas stosowanych lokomotyw krajowych. Jedyną na dzień dzisiejszy odpowiedzią krajowych producentów na zagraniczne rozwiązania górniczych lokomotyw akumulatorowych jest lokomotywa typu ELA-44 produkcji firmy IZOL-PLAST – rys. 8.



Rys. 8. Lokomotywa akumulatorowa typu ELA-44 produkcji czeskiej [7]

Lokomotywa typu ELA-44 napędzana jest dwo-

oma trójfazowymi silnikami asynchronicznymi typu dSkg 180L4-EP-f - rys. 9. Parametry techniczne silnika typu dSkg 180L4-EP-f przedstawiono w tabeli 3.



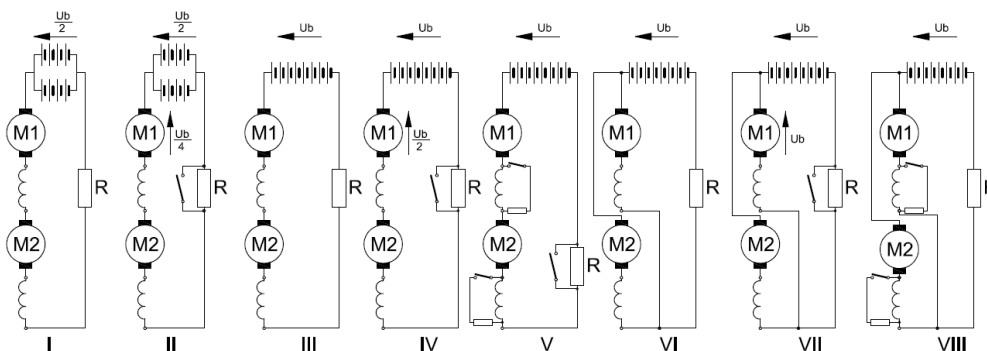
Rys. 9. Trójfazowy asynchroniczny silnik typu dSkg 180L4-EP-f [16]

Tabela 3. Parametry techniczne silnika prądu przemiennego typu dSkg 180L4-EP-f [14]

Moc [kW]	22
Rodzaj pracy [-]	S1
Napięcie [V]	105
Prąd [A]	151
Obroty [obr/min]	1467
Sprawność [%]	90
Moment [Nm]	143
Masa [kg]	222

3. Układy sterowania górniczych lokomotyw akumulatorowych

Bardzo ważnym zagadnieniem jest oszczędne gospodarowanie energią baterii akumulatorów. Z tego powodu układy rozruchu oraz regulacji prędkości obrotowej są tak zbudowane, aby ograniczać straty energii. Na rys. 10 pokazano układ połączeń silników i baterii akumulatorów, odpowiadający pozycjom nastawnika typu ONLD sterowania lokomotywy Ldag-05 [6].

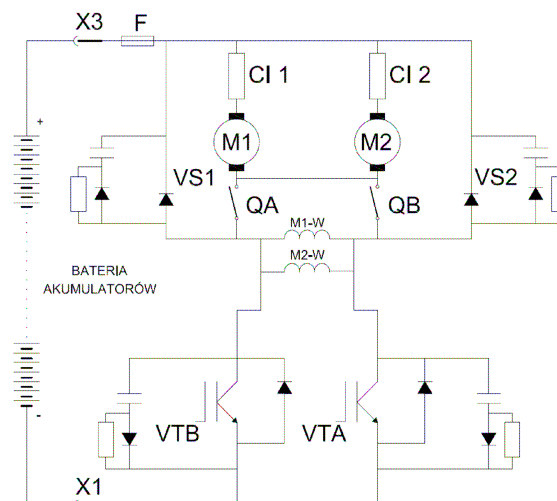


Rys. 10. Pierwotny układ sterowania lokomotywą akumulatorową [6]

Na pozycji *I* bateria akumulatorów podzielona jest na dwie części połączone równolegle, zaś silniki *M1* i *M2* połączone są szeregowo z opornicą dodatkową *R*. W pozycji *II* opornica jest zwierana stykami nastawnika. Z kolei w pozycji *III* następowało połączenie dwóch części baterii akumulatorów w szereg z jednoczesnym dołączeniem opornicy *R*. Na pozycji *IV* opornica *R* jest zwierana. W pozycji *V* prędkość jazdy lokomotywy zwiększa się przez bocznikowanie obwodu wzbudzenia silników. Na pozycji *VI*, *VII* i *VIII*, silniki *M1* i *M2* połączone są równolegle, przy czym na pozycji *VIII* następuje osłabienie pola magnetycznego silników co umożliwia zwiększenie prędkości jazdy lokomotywy [6]. Dzielenie baterii akumulatorów przy zastosowaniu jednego stopnia opornicy pozwalało na uzyskanie ośmiu stopni jazdy. Pięć pozycji rozruchu i jazdy (*II, IV, V, VII* i *VIII*) nie wymagało włączenia w obwód silników rezystancji dodatkowej. W tych pozycjach nastawnika, całkowita energia pobrana z baterii akumulatorów jest zamieniana na energię użyteczną w silnikach. W pozycjach *I, III* oraz *VI* z rezystancją dodatkową w obwodzie silników, część energii pobieranej z baterii akumulatorów jest rozpraszana w postaci ciepła w opornicy, a część jest zamieniana na pracę użyteczną [6]. Producentem powyższego układu sterowania typu ONLD lokomotywy akumulatorowej była firma APATOR z Torunia, która w 1988 roku w wyniku załamania się rynku zbytu na maszyny i urządzenia górnicze zaniechała jego produkowania [9]. Z początkiem lat 90-tych w Instytucie Technik Innowacyjnych EMAG rozpoczęto prace nad nową generacją wyposażenia energoelektronicznego przeznaczonego dla lokomotyw akumulatorowych serii Ldag oraz Lea. Nastawnik z nowym wyposażeniem został oznaczony jako ONLD/M.

Wprowadzenie nastawnika z wyposażeniem energoelektronicznym zapewni ograniczenie prądu silników na poziomie mocy godzinnej [2]. Uproszczony schemat zmodernizowanych obwodów elektrycznych lokomotywy akumulatorowej typu Ldag-05 pokazano na rys. 11.

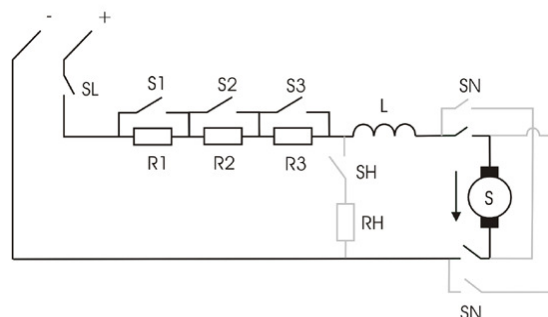
W rozwiązaniu układu elektrycznego zrezygnowano całkowicie z zespołu stykowego sterowanego wałkiem nastawnika. Wybór kierunku jazdy odbywa się w układzie dwóch styczników *QA* i *QB* oraz dwóch tranzystorów sterujących *VTA* i *VTB* odpowiadających za zmianę kierunku przepływu prądu w uzwojeniach wzbudzenia silników *M1* i *M2*.



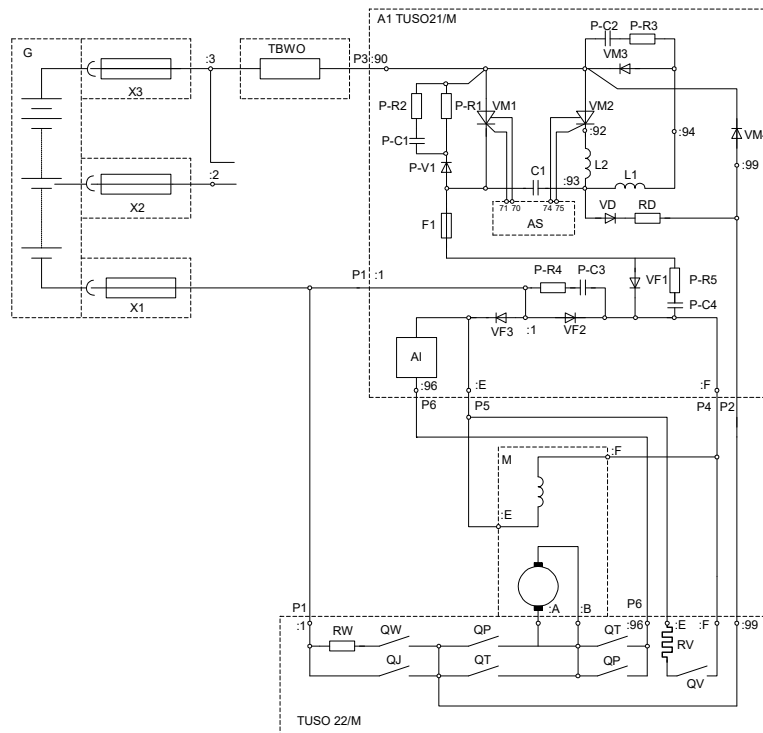
Rys. 11. Zmodernizowany schemat obwodów elektrycznych lokomotywy akumulatorowej typu Ldag-05 [2]

Tranzystory spełniają w tym układzie podwójną rolę jako łącznika w układzie zmiany kierunku przepływu prądu oraz elementu wykonawczego w układzie regulacji prądu. Rozwiązanie to zapewnia minimalną ilość podzespołów, dzięki czemu cały układ mógł zostać rozmieszczony w dotychczasowej obudowie nastawnika [2]. W lokomotywach akumulatorowych typu Lea BM-12 sterowanie prędkością lokomotywy odbywało się poprzez szeregowe dołączanie i odłączanie kolejnych rezystancji (*R1-R3*) – rys. 12 w obwód twornika silnika napędowego. Energia generowana w procesie hamowania elektrycznego była zamieniana na ciepło poprzez rezystancję hamującą (*RH*).

Rozwój energoelektronicznych układów sterowania, pozwolił w późniejszych latach zastosować do sterowania górniczą lokomotywą akumulatorową przekształtniki prądu stałego – rys. 13.



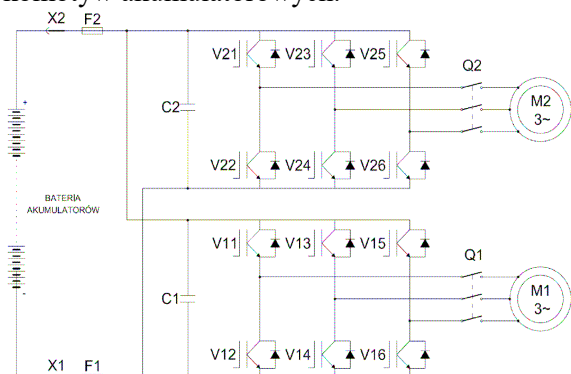
Rys. 12. Pierwotny układ sterowania lokomotywy akumulatorowej typu Lea BM-12 [12]



Rys. 13. Obwody główne układu TUSO/M lokomotywy Lea BM-12 [3]

Aparatura elektryczna układu TUSO/M jest zainstalowana w obudowach ognioszczelnych umieszczonych w dwóch kabinach lokomotywy typu Lea BM-12. Układ składa się z następujących podzespołów: łącznik prądu stałego, nawrotnik, sterownik elektroniczny, układ zadawania wartości prądu i kierunku jazdy lokomotywy. W układzie TUSO/M zastosowano jeden stopień osłabienia wzbudzenia silnika prądu stałego działający przy najwyższej wartości zadanej prądu jazdy załączany automatycznie dla określonej wartości prądu silnika [3]. Układ zasilania i regulacji prędkości obrotowej zbudowany jest z półprzewodników: tyrystorów i diod, czyli charakteryzuje się jednokierunkowym przepływem prądu. Zmiana kierunku obrotu jest realizowana nawrotnikiem (układem styczników). Hamowanie realizuje się diodą hamowania *VM4*. Aby hamowanie było efektywniejsze silnik do wzbudza się z baterii przez rezystor *Rw*. Układ TUSO/M stosowany był w lokomotywach typu Lea BM-12 aż do 2005 roku, kiedy to po wejściu Polski do Unii Europejskiej, w Polsce zaczęła obowiązywać dyrektywa ATEX, a tym samym nowe zasady dopuszczania urządzeń do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Modernizacja lokomotyw typu Lea BM-12 drogą wymiany wyposażenia elektrycznego, wymagała opracowania nowych obwodów ognio-

szczelnych dla tego wyposażenia, spełniających wymagania dyrektywy [10]. Wyposażenie w nowych obudowach oznaczono symbolem TURO. W obwodzie elektronicznym zmianie uległ łącznik tyrystorowy, który został zastąpiony układem tranzystorów. Wyposażenie typu TURO użytkowane jest w lokomotywach akumulatorowych do dnia dzisiejszego. Nowoczesne lokomotywy producentów zagranicznych typu AE oraz DLPA, a także krajowe rozwiązanie firmy IZOL-PLAST lokomotywa typu ELA-44 do napędu wykorzystują trójfazowe silniki asynchroniczne, sterowane za pośrednictwem falownika napięcia. Na rys. 14 pokazano przykładowy układ sterowania tych lokomotyw akumulatorowych.



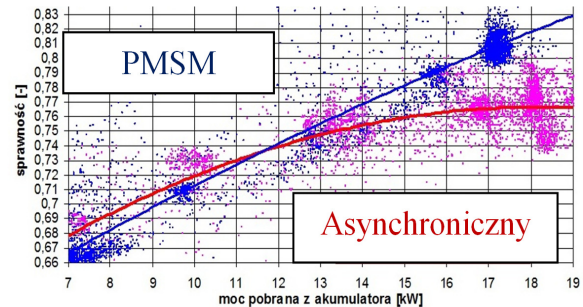
Rys. 14. Uproszczony schemat obwodu głównego lokomotyw akumulatorowych napędzanych silnikami asynchronicznymi [14]

Układ energoelektroniczny pokazany na rys. 14 składa się z dwóch falowników napięcia, niezależnie sterujących dwoma silnikami asynchronicznymi. Sterownik realizuje układ sterowania zamkniętego prędkości, momentu i strumienia silnika wykorzystując algorytm nieliniowego sterowania multiskalarnego. Wielkością zadawaną przez maszynistę lokomotyw jest prędkość obrotowa. Układ sterowania jest dwustrefowym układem regulacji prędkości. W zakresie częstotliwości do $f = 50$ [Hz] utrzymywany jest stały, znamionowy strumień wirnika. Powyżej częstotliwości znamionowej następuje odwzbudzenie silnika – strumień jest automatycznie zmniejszany.

4. Sprawność układu napędowego lokomotyw akumulatorowych

Pierwsze rozwiązania układów napędowych górniczych lokomotyw akumulatorowych posiadały sprawność rzędu $\eta = 75$ %. Nieduża sprawność układu wynikała z zastosowanego silnika prądu stałego, którego budowa uniemożliwiała uzyskiwanie wyższych sprawności, braku możliwości odzysku energii w trakcie hamowania elektrycznego oraz zastosowanej przekładni ślimakowej o niskiej sprawności mechanicznej. Wraz z rozwojem układów energoelektronicznych, zmiana systemu sterowania z nastawnika z dołączaną rezystancją na układ początkowo z łącznikiem tyrystorowym, a w dalszej kolejności z łącznikiem tranzystorowym przy jednoczesnym pozostawieniu silników prądu stałego umożliwiło podniesienie sprawności do wartości $\eta = 85$ %. Wzrost sprawności wynikał z możliwości odzysku energii w procesie hamowania elektrycznego. Ponadto w lokomotywach typu Lea BM-12 zaczęto stosować przekładnie kątowe, które w porównaniu z ślimakowymi były trwalsze i posiadały wyższą sprawność mechaniczną. W nowoczesnych lokomotywach akumulatorowych typu AE, DLPA czy też ELA pozostały w stosowaniu przekładnie kątowe, natomiast zmiana zarówno silników napędowych z prądu stałego na prądu przemienny, jak i układu sterowania z łącznika tyrystorowego (tranzystorowego) prądu stałego na przekształtnik energoelektroniczny, pozwoliło na podwyższenie sprawności całego układu napędowego do wartości $\eta = 90$ %. W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG prowadzone były prace projektowe, w wyniku których wykazano, że zastosowanie do napędu lokomotyw akumulatoro-

wej bezszczotkowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi (PMSM) dodatkowo zwiększy sprawność energetyczną układu napędowego w porównaniu z silnikami asynchronicznymi – rys. 15. Wyższa sprawność wynika z konstrukcji silnika PMSM, a także z możliwości odzysku energii w szerszym zakresie charakterystyki silnika PMSM (odzysk energii praktycznie, aż do zerowych wartości prędkości jazdy lokomotywy akumulatorowej).



Rys. 15. Porównanie sprawności w funkcji mocy pobranej z akumulatora dla napędu z silnikiem asynchronicznym oraz PMSM [5]

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono rozwój układów napędowych górniczych lokomotyw akumulatorowych. Jak wynika z przeprowadzonej analizy, układy napędowe tych maszyn rozwijały się dynamicznie, pomimo przestoju produkcji nowych rozwiązań lokomotyw akumulatorowych. Zmieniające się przepisy dotyczące bezpieczeństwa pracy w przestrzeniach potencjalnie zagrożonych wybuchem, wymuszały na producentach wprowadzanie częstych modyfikacji pierwotnych systemów sterowania tych maszyn. Obserwując rozwój lokomotyw akumulatorowych, zauważa się tendencje idące w kierunku efektywniejszego wykorzystania energii elektrycznej baterii akumulatorów. Pierwsze układy sterowania całą energią elektryczną, wygenerowaną w procesie hamowania elektrycznego oddawały w postaci ciepła na opornicy. W późniejszych latach, modyfikacja układu sterowania umożliwiła rekuperację energii do baterii akumulatorów. Nowsze rozwiązania cechowały się zmianą silnika napędowego, eliminując maszyny prądu stałego na rzecz silników asynchronicznych. Sterowanie w tych układach odbywa się poprzez zastosowanie przekształtnika energoelektronicznego. Najnowsza literatura przedmiotu pozwala sądzić, że również silniki asynchroniczne w niedalekiej przyszłości zostaną zastąpione przez bezszczot-

kowe synchroniczne silniki z magnesami trwałymi.

Pewnym jest, że rozwój w dziedzinie układów napędowych maszyn górniczych będzie nadal trwał, natomiast przemysł górniczy pomimo chwilowego przestoju, nadal jest atrakcyjny z punktu widzenia producentów maszyn i urządzeń górniczych, czym już jego historia niejednokrotnie przypominała.

6. Literatura

- [1]. Antoniak J.: "Urządzenia i systemy transport podziemnego w kopalniach", wydawnictwo „Śląsk” Katowice 1976, str. 451-454.
- [2]. Daniłow J., Hefczyc M.: "Tranzystorowy układ sterowania napędu lokomotywy akumulatorowej ognioszczelnej typu Ldag 05 i Ldag 05M", Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa nr 10/1998r., str.
- [3]. Daniłow J., Nowak R.: "Transport kołowy z zastosowaniem nowoczesnych układów zasilania i sterowania w lokomotywach dołowych", Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa nr 9-10/2000r. str. 62 – 72.
- [4]. Daniłow J., Gąsior T.: "Mikroprocesorowy układ sterowania napędem lokomotywy akumulatorowej z zespołem rejestracji parametrów ruchowych", Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa nr 9/2001r. str. 87 – 95.
- [5]. Deja P., Polnik B.: „Analiza efektywności pracy elektrycznych lokomotyw górniczych z zastosowaniem układów napędowych opartych na silnikach z magnesami trwałymi”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, nr 101/2014r., str. 123-127.
- [6]. Dudek W., Grzbiela C., Machowski A., Machowski J.: „Maszyny, urządzenia elektryczne i automatyka w górnictwie”, Śląskie wydawnictwo techniczne 1994, str. 428 – 431.
- [7]. Dzikowski A., Hefczyc M., Kozłowski A.: „Energoszczędne napędy maszyn górniczych z silnikami synchronicznymi z magnesami trwałymi zasilanymi z przemienników częstotliwości”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, nr 1/2013r., str. 23 - 31.
- [8]. Gierlotka S.: "Mechaniczne i elektryczne napędy kopalniane, lokomotywy i rozwój ich napędu", Energetyka nr 9/2009, str. 694 – 698.
- [9]. Hefczyc M., Nowak R.: "Nowoczesny układ sterowania napędem w ognioszczelnej lokomotywie akumulatorowej", Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa nr 9-10/1995, str. 77 – 84.
- [10]. Kozłowski A., Hefczyc M.: „Ognioszczelny nastawnik typu ONT-1 jako nowe wyposażenie lokomotyw akumulatorowych typu Ldag-05/Ldag-05/M”, V Szkoła mechanizacji i automatyzacji górnictwa, Ustroń 24-26 Marzec 2010, str. 164 – 172.
- [11]. Pieczora E., Suffner H.: „Rozwój lokomotyw do kopalnianych kolei podziemnych”, Maszyny Górnicze, nr 2/2013r., str. 45 – 54.
- [12]. Polnik B.: „Inteligentne zarządzanie procesem rekuperacji energii górniczej lokomotywy akumulatorowej” Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa, nr 12/2012r., str. 36-40.
- [13]. Polnik B.: „Jakość energii elektrycznej napędów górniczych lokomotyw akumulatorowych w aspekcie emisji gazu elektrolitycznego”, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, nr 106/2015r., str. 73-79.
- [14]. Polnik B.: „Wpływ rekuperacji energii na poprawę sprawności układu zasilająco-sterującego górniczej lokomotywy akumulatorowej”. Maszyny Górnicze, nr 2/2014r., str. 56 – 60.
- [15]. Projekt badawczo rozwojowy nr NR01000906 p.t. „Mechatroniczny układ napędowy do pojazdów szynowych przeznaczonych do pracy w atmosferze wybuchowej” – materiały niepublikowane.
- [16]. www.cantonigroup.com
- [17]. www.ferrit.cz
- [18]. www.phs-strojarnes.sk

Autor

mgr inż. Bartosz Polnik
tel.: 32-2374-407
e-mail: bpolnik@komag.eu
Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37
41-101 Gliwice