

Jerzy Antoniak
Florian Krasucki
Franciszek Szczucki
Zygmunt Szymański

ROZWÓJ PODZIEMNEJ TRAKCJI SZYNOWEJ W KOPALNIACH ZAGŁĘBIA GÓRNOŚLĄSKIEGO

Streszczenie. W pracy przedstawiono zarys rozwoju podziemnej trakcji szynowej w kopalniach węgla kamiennego. Podano wybrane wskaźniki i właściwości różnych rodzajów trakcji dołowej, zwracając szczególną uwagę na trakcję elektryczną przewodową. Omówiono urządzenia do zasilania trakcji elektrycznej i energoelektronicznego sterowania lokomotyw kopalnianych, a także energooszczędne silniki napędowe lokomotyw elektrycznych. Przedstawiono również mikroprocesorowe układy sterowania lokomotyw. Pracę kończą wnioski.

DEVELOPMENT OF UNDERGROUND RAILWAY TRACTION IN COAL MINES IN UPPER - SILESIA

Summary. The paper present a synopsis of development of underground traction coal-mines railway. Selected indexes and features of various kinds of underground traction have been presented. Particular attention has been paid to wire electric traction. The paper presents traction supply devices and pover electronic of mine locomotive control, and energy - saving drive motors for electric locomotives. Microprocessor - based control systems for locomotive have been also presented. The paper is finished with conclusions.

1. WSTĘP

Transport w podziemiach kopalń, podobnie jak w innych gałęziach przemysłu, należy do jednych z ważniejszych ogniw procesu produkcyjnego, od którego zależy nie tylko wielkość wydobycia, ale również wskaźniki techniczno-ekonomiczne zakładów górnictw.

W polskich kopalniach węgla kamiennego transport poziomy w większości przypadków odbywa się przy wykorzystaniu dwóch rodzajów środków transportowych, a mianowicie:

- ze ścian wydobywczych do stacji załadowniczych urobek jest transportowany za pomocą przenośników taśmowych,
- od stacji załadowniczych do szybów za pomocą transportu kołowego.

Transport przemośnikowy jest stosowany na drogach odstawy o łącznej długości ponad 2000 km, przy wykorzystaniu około 9000 szt. przemośników taśmowych, przy czym większość przemośników pracuje w układach zautomatyzowanych.

Roczne zadania przewozowe kolei w podziemnym transporcie, jakkolwiek nie są ściśle ujmowane w statystykach, to są oceniane przez wielu autorów na około 240 mln ton ładunków, co w przeliczeniu na 1 km długości drogi daje wielkość przewozową rzędu 96.000 t/km/rok, która w stosunku do wielkości przewozowej na PKP jest około 5.5 - krotnie wyższa.

Ponadto transportem kołowym każdej doby przewożonych jest około 90.000 górników do i ze stanowisk pracy. Stąd niezmiernie ważne jest, aby środki techniczne służące do transportu w podziemiach kopalń, a więc urządzenia do zasilania trakcji, układy napędowe i systemy sterowania lokomotyw charakteryzowały się dużą niezawodnością pracy i wysoką sprawnością energetyczną.

Wymagania techniczno-ruchowe i ekonomiczne oraz kryteria bezpieczeństwa w specyficznych warunkach pracy w podziemiach kopalń decydowały o rozwoju i zakresie stosowania różnych rodzajów trakcji (lokomotyw): elektrycznej, spalinowej i powietrznej (pneumatycznej).

2. WYBRANE WSKAŹNIKI I WŁAŚCIWOŚCI STOSOWANYCH RODZAJÓW TRAKCJI DOŁOWEJ

Jednym ze wskaźników charakteryzujących skład pociągów jest względna praca chodnikowa ($A_{ch.w.}$), obliczona dla jednego cyklu przy przewozie węgla następująco:

$$A_{ch.w.} = 2 \cdot \frac{G_1}{n_w \cdot u} + 2 \cdot \frac{w}{u} + 1 \cdot \frac{bt.km}{nt.km} \quad (1)$$

gdzie: G_1 - masa całkowita lokomotywy, t

u - ładowność wozów, t

n_w - liczba wozów,

w - masa wozu, t .

Wartości pracy chodnikowej nie zależy praktycznie od rodzaju trakcji ze względu na nieznaczny wpływ masy lokomotywy w stosunku do decydującego wpływu masy wozów w składzie pociągu. Obliczone wartości tego wskaźnika mieszczą się zwykle w przedziałach [1,2]:

a) dla transportu głównego - 2,43 do 3,1 $\frac{bt.km}{nt.km}$ dla wozów $\leq 1100 t$ oraz 2,3 do 2,96 $\frac{bt.km}{nt.km}$

dla wozów $> 1100 t$,

b) dla transportu oddziałowego - odpowiednio 2,39 do 3,8 oraz 2,41 do 2,87 $\frac{bt.km}{nt.km}$.

Z przeprowadzonej analizy danych ankietowych wynika, że wykorzystanie dobowe lokomotyw czynnych jest stosunkowo małe. Wartości orientacyjne przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1
Przeciętna uzyskiwana i maksymalna możliwa zdolność przewozowa lokomotyw przy pracy dwuzmianowej

| Rodzaj lokomotyw i zakres mocy | Faktyczna zdolność przewozowa | | Możliwa zdolność przewozowa |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| | $\frac{nt.km}{kW}$ | $\frac{bt.km}{kW}$ | $\frac{bt.km}{kW}$ |
| przewodowe, (34-46) kW | 19,4 | 50 | 120 |
| akumulatorowe, (2,2-39) kW | 21,2 | 60 | 110 |
| spalinowe, (18-30) kW | 14,5 | 40 | 85 |
| powietrze, (15-33) kW | 15,0 | 40 | 100 |

Średnie wartości jednostkowego zużycia energii na jednostkę pracy chodnikowej brutto (bt.km) były następujące: 0,118 kWh - lokomotywy przewodowe, 0,145 - lokomotywy akumulatorowe, 0,039 kg - lokomotywy spalinowe, 2,1 m³ - lokomotywy powietrze.

Wyniki analiz porównawczych wykazały, że wykorzystanie mocy lokomotyw elektrycznych jest największe, natomiast lokomotyw spalinowych najmniejsze. Przydatność poszczególnych rodzajów lokomotyw dla transportu dołowego zależy w dużej mierze od ich właściwości techniczno-ruchowych w danych warunkach środowiska górniczego.

Porównując właściwości techniczno-ruchowe lokomotyw należy uwzględnić następujące czynniki:

- stopień bezpieczeństwa,
- niezależność ruchu,
- przydatność do zmiennych warunków pracy,
- niezawodność i prostota budowy.

Jako najważniejsze, w warunkach górnich, właściwości (zalety i wady) różnych rodzajów lokomotyw należy wymienić:

a) przewodowe

- stała gotowość do pracy i nieograniczony czas pracy,
- zdolność dostosowania się do zmiennych warunków obciążenia w czasie rozruchu, pracy i hamowania,
- małe zużycie energii,
- prosta budowa, duże moce i ciężary adhezyjne,
- ograniczony zakres stosowania (pomieszczenia a),
- duże zagrożenie rażeniowe i pożarowe z uwagi na obecność gołego przewodu jezdnego,
- zwiększenie kosztu budowy chodników i ograniczony zasięg jazdy,
- zagrożenie od prądów błędnych;

b) akumulatorowe

- możliwość stosowania również w pomieszczeniach niebezpiecznych pod względem wybuchowym,
- niezależne źródło zasilania,

- małe zużycie energii,
- dogodna charakterystyka ruchowa,
- zasięg i moc lokomotywy ograniczone pojemnością baterii,
- konieczność budowy kosztownych ładowni akumulatorów,
- mała żywotność baterii i zależność zdolności przewozowej od stopnia naładowania baterii;

c) spalinowe

- niezależność od źródła zasilania i nieograniczony praktycznie zasięg,
- możliwość budowy lokomotyw o dużej mocy,
- brak kosztownych urządzeń zasilających i pomocniczych,
- zdolność do ekonomicznej pracy w szerokim zakresie zmian nachylenia trasy, obciążenia i prędkości jazdy,
- pogarszanie składu powietrza kopalnianego na skutek zużywania tlenu, zatruwania atmosfery spalinami i podgrzewanie powietrza,
- możliwość spowodowania pożaru i wybuchu metanu w przypadku uszkodzenia przewodu ssawnego i wydechowego,
- konieczność gromadzenia materiałów palnych (paliwa) na dole,
- złożoność budowy i trudna konserwacja,
- duży koszt energii;

d) powietrzne

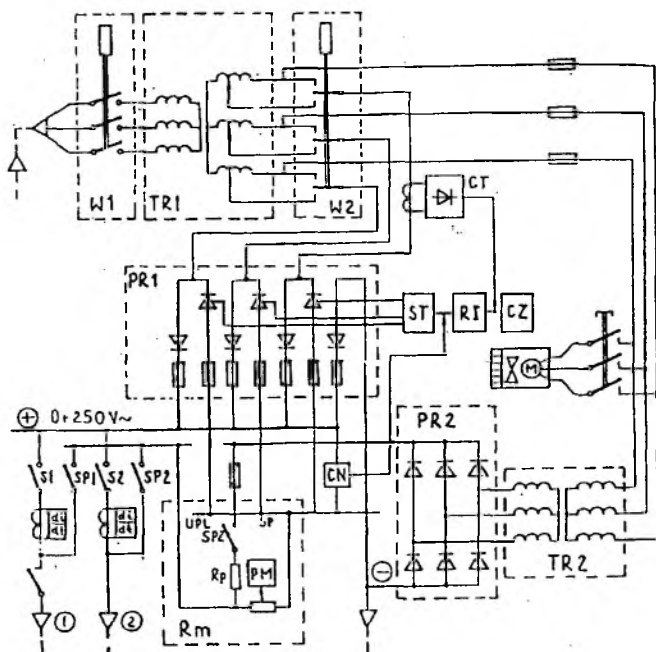
- możliwość stosowania w pomieszczeniach *c* bez żadnych ograniczeń,
- poprawa składu atmosfery kopalnianej i ochładzanie powietrza,
- duża przecięzalność i dogodność manewrowania,
- stosunkowo prosta budowa i konserwacja,
- zasięg i moc lokomotywy ograniczona pojemnością butli i konieczność wielokrotnego napełniania butli w ciągu zmiany,
- mała sprawność energetyczna,
- konieczność instalowania i utrzymania w ruchu kosztownych urządzeń zasilających.

Wszystkie rodzaje lokomotyw posiadają zalety i wady ruchowe, których ocenę należy przeprowadzić dla określonych warunków pracy. Dla pomieszczeń gazowych mogą być rozpatrywane tylko lokomotywy powietrzne oraz akumulatorowe i spalinowe w wykonaniu ognioszczelnym. Dla właściwej oceny tych lokomotyw, oprócz właściwości techniczno-ruchowych, konieczne jest uwzględnienie kosztów ich stosowania.

Przeprowadzona analiza wykazała, że najtańsze w eksploatacji, uwzględniając rzeczywistą zdolność przewozową, są lokomotywy przewodowe tak pod względem kosztów ruchu, jak i kosztów eksploatacyjnych. Lokomotywy te stwarzają jednak duże zagrożenie rażeniowe oraz nie mogą być stosowane w pomieszczeniach niebezpiecznych pod względem wybuchowym.

Inne właściwości techniczno-ruchowe lokomotyw przewodowych są zadowalające. Z pozostałych trzech rodzajów lokomotyw, mogących w wykonaniu ognioszczelnym pracować w kopalniach metanowych, zdecydowanie najdroższe pod względem kosztów ruchu i inwestycyjnych są lokomotywy powietrzne. Za to stopień bezpieczeństwa ich stosowania jest najwyższy. Lokomotywy spalinowe mają koszty eksploatacyjne w przybliżeniu takie same jak lokomotywy akumulatorowe, natomiast koszty inwestycyjne są znacznie mniejsze. Mimo ogólnych dobrych właściwości techniczno-ruchowych lokomotywy spalinowe nie znalazły szerszego zastosowania z uwagi na pogarszanie warunków bezpieczeństwa i higieny pracy.

3. TRAKCJA ELEKTRYCZNA PRZEWODOWA



Rys. 1. Schemat ideowy stacji tyrystorowej typu APST

Fig. 1. Schematic diagram of thyristor traction substation type APST

W1 - rozłącznik 6 kV, TR1 - transformator prostownikowy, CT - czujnik prądu, PR1 - zestaw prostowniczy, ST - sterownik, RI - regulator prądu, CZ - człon zadający, M - wentylator, S1, S2 - wyłączniki szybkie prądu stałego, SP1, SP2, SP - styczniki próby linii di/dt różniczkujące zabezpieczenie, UPL, SPZ - układ próby linii i samoczynnego ponownego załączania wyłączników S1 i S2, Rp - rezystor próby linii, PM - przekaźnik pomiarowy, CN - czujnik napięcia, TR2 - transformator prostownika pomocniczego

Stosowanie lokomotyw przewodowych w polskich kopalniach ma już wieloletnie tradycje, bowiem w 1883 r. uruchomiono pierwszą lokomotywę prądu stałego w Kopalni Szombierki. Po roku 1912 było już ponad 200 lokomotyw przewodowych o mocy $15 \div 22$ kW, a po II wojnie światowej (w latach 60-tych) 74 % stosowanych w polskich kopalniach węgla kamiennego to lokomotywy przewodowe. Podobnie jest obecnie.

Transport kolejowy jest stosowany na drogach przewodowych o łącznej długości ponad 2500 km przy wykorzystaniu głównie lokomotyw elektrycznych przewodowych, których jest w eksploatacji około 2600 szt. i lokomotyw elektrycznych akumulatorowych, których jest w eksploatacji około 650 szt., przy czym te ostatnie są stosowane przede wszystkim na drogach przewodowych o zagrożeniu wybuchu gazów lub pyłów [3].

Trakcje elektryczne w polskich kopalniach węgla kamiennego ze względu na małą wysokość zawieszenia przewodu trakcyjnego (2 m) są zasilane napięciem wyprostowanym o wartości do 250 V z zautomatyzowanych przewodzących stacji prostownikowych typu APSP i APST o parametrach technicznych zestawionych w tabeli 2.

Stacje te, których w eksploatacji jest ponad 1500 szt., mimo stałej modyfikacji i modernizacji poszczególnych podzespołów, posiadają jednolity układ elektryczny przedstawiony na rys. 1.

Stacje są wyposażone w sprawdzone eksploatacyjnie układy automatyki i próby linii oraz zabezpieczenia nadprądowe i stromościowe zasilaczy trakcyjnych, które wraz z układami do zdalnego sterowania i kontroli pracy stacji umożliwiają w każdych warunkach eksploatacyjnych zapewnienie prawidłowego i ekonomicznego zasilania i zabezpieczenia sieci trakcyjnej w podziemiach kopalń.

Wyposażenie stacji APST w sterowane prostowniki umożliwia użytkownikom wykonywanie bieżącej i okresowej kontroli nastaw wyzwalaczy nadprądowych w wyłącznikach szybkich bez potrzeby stosowania dodatkowych źródeł prądu stałego o regulowanej wartości prądu, wykonywania prac spawalniczych na drogach przewozowych, przy wykorzystaniu jako źródła zasilania sieci trakcyjnej oraz realizację ekonomicznego i wysoko wydajnego procesu ładowania i rozładowywania wozów podczas przejazdu pociągów przez stacje załadowcze i rozładowcze.

Tabela 2

Parametry techniczne urządzeń do zasilania trakcji elektrycznej

| Typ stacji | Moc | Napięcie zasilania | Napięcie wyprostowane | Znamionowy prąd wyprostowany | Masa |
|------------------|-----|--------------------|-----------------------|------------------------------|------|
| | kW | V | V | A | kg |
| APSP-100/6-250 | 100 | 6000 | 250 | 400 | 1300 |
| APSP-250/6-250 | 250 | 6000 | 250 | 1000 | 1600 |
| APST-100/6-0÷250 | 100 | 6000 | 0÷250 | 500 | 1300 |
| APST-250/6-0÷250 | 250 | 6000 | 0÷250 | 1000 | 1600 |

4. ENERGOELEKTRONICZNE ZASILANIE I REGULACJA PRĘDKOŚCI LOKOMOTYW ELEKTRYCZNYCH

Konfiguracja i stan techniczny dróg przewozowych w podziemiach kopalń powodują, że w eksploatacji występuje konieczność prowadzenia częstych rozruchów, zmian prędkości i hamowania lokomotyw, co przy stosowaniu rezystorowych układów sterowania prowadzi do znacznych strat energetycznych, wynoszących 15 ÷ 35 % energii elektrycznej zużywanej na pracę użyteczną lokomotyw, szybkiego zużywania aparatury łączeniowej oraz częstych uszkodzeń silników trakcyjnych i przekładni mechanicznych w układach napędowych lokomotyw, powodowanych przeciążeniami i dużymi momentami dynamicznymi. Częste rozruchy powodują

także szybkie zużywanie się zestawów kołowych [1].

Ponadto rezystorowe układy sterowania lokomotyw praktycznie uniemożliwiają łączenie kilku lokomotyw w jednym składzie pociągu oraz prowadzenie ich przez jednego maszynistę, bądź zdalnie za pomocą sygnałów przesyłanych z nadajników (anten pętlowych) rozmieszczonych wzdłuż trasy przejazdu pociągów.

Energoelektroniczne układy sterowania lokomotyw dołowych (tyrystorowe i tranzystorowe) umożliwiają bezstopniową i praktycznie bezstratną zmianę napięcia na silnikach trakcyjnych zgodnie z relacją (1) i prędkości zgodnie z relacją (2).

$$U_s = \frac{1}{T} \cdot U_d \cdot \int_0^{t_1} dt = U_d \cdot \frac{t_1}{T} \quad (2)$$

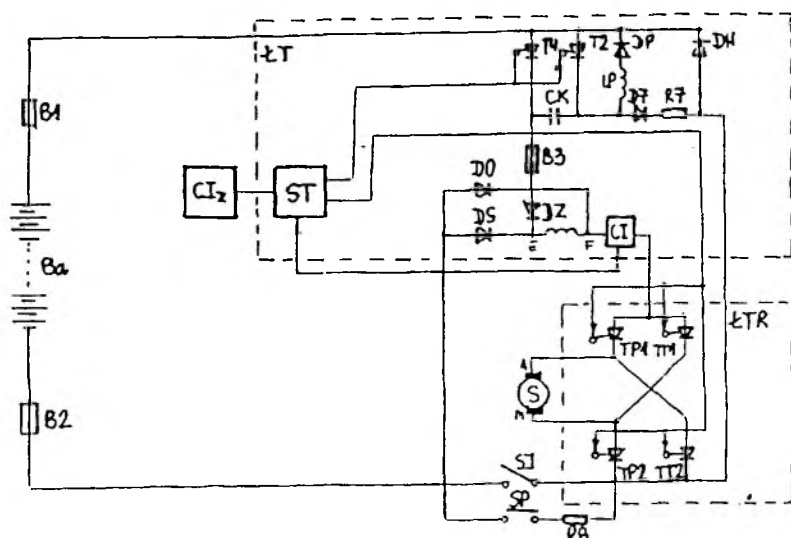
$$n = \frac{U_d \cdot \frac{t_1}{T} - I_s \cdot R_s}{k_e \cdot \varphi(I_s)} \quad (3)$$

- gdzie: U_d - napięcie baterii lub sieci trakcyjnej,
 t_1 - czas zamknięcia (przewodzenia łącznika),
 T - okres pulsacji,
 I_s - prąd silnika(ów),
 $\varphi(I_s)$ - strumień silnika(ów),
 k_e - stała konstrukcyjna silnika,
 R_s - rezystancja silnika(ów),

Na rys. 2 przedstawiono uproszczony układ energoelektronicznego sterowania lokomotywy akumulatorowej o masie 12 ton i mocy napędu 40 kW, który zawiera dwa podstawowe podzespoły:

- łącznik tyrystorowy ŁT do pulsowego zasilania silnika,
- łącznik tyrystorowy rewersyjny ŁTR do zmiany kierunku jazdy lokomotywy, przy czym rolę łącznika rewersyjnego mogą spełniać styczniki lub łączniki mechanizmowe.

Parametrem regulowanym dla lokomotywy zarówno dla jazdy, jak i hamowania elektrycznego jest prąd silnika, który maszynista zadaje za pomocą zadajnika Clz, przy czym wielkość prądu w obwodzie silnika jest kontrolowana halotronowym czujnikiem prądu CI i przez regulator dwupołożeniowy w sterowniku ST, utrzymywana na zadanej wartości.



Rys.2. Schemat ideowy lokomotywy elektrycznej akumulatorowej o masie 12 ton, 40 kW
 Fig.2. Schematic diagram of battery locomotive with parameters: weight-12 ton, power 40kW

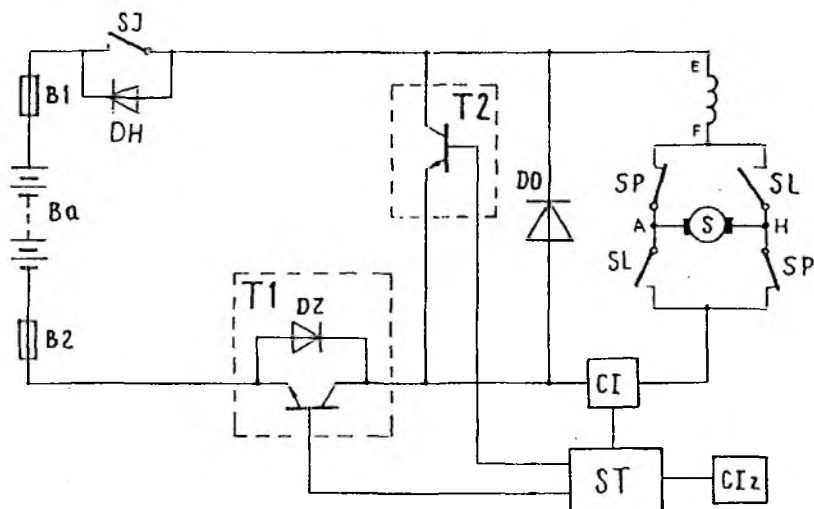
ŁT - tyrystorowy łącznik okresowy prądu stałego, ŁTR - tyrystorowy łącznik rewersyjny, CI₂ - człon zadawania prądu, ST - elektroniczny sterownik, CI - czujnik prądu, SI - stycznik jazdy, SP - stycznik wzbudzenia silnika w początkowym okresie pracy generatorowej

Na rys.3 przedstawiono uproszczony układ energoelektronicznego sterowania lokomotywy o masie 5 ton i mocy silników 11 kW, który zawiera:

- łącznik tranzystorowy T1, pracujący podczas jazdy lokomotywy,
- łącznik tranzystorowy T2, wykorzystywany w okresie hamowania elektrycznego lokomotywy.

Parametrem regulowanym podobnie, jak w lokomotywie o masie 12 ton, zarówno dla jazdy jak i hamowania elektrycznego, jest prąd silników.

Na rys.4 przedstawiono uproszczony układ sterowania lokomotywy przewodowej o masie 18 ton i mocy godzinowej silników 90 kW, który pod względem funkcjonalnym i zasady pracy jest zbliżony do układów dla lokomotyw akumulatorowych. Różnica w stosunku do lokomotyw akumulatorowych polega na tym, że układ lokomotywy przewodowej jest wyposażony dodatkowo w filtr sieciowy, składający się z indukcyjności LF i pojemności CF, którego zadaniem jest zmniejszenie pulsacji w sieci trakcyjnej i zapewnienie poprawnej komutacji w łączniku tyrystorowym ŁT przy przejazdach lokomotywy przez izolowane odcinki trakcji oraz przy "odskokach" pantografu.



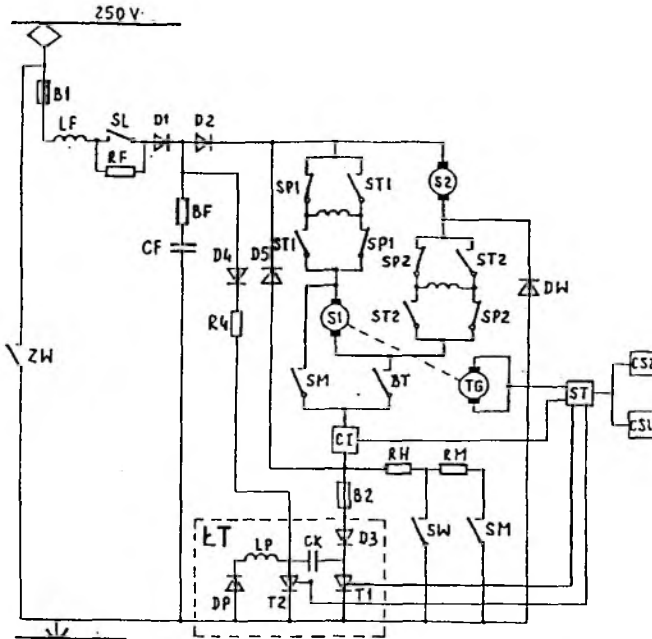
Rys.3. Schemat ideowy lokomotywy elektrycznej akumulatorowej o masie 5 ton, 11 kW
 Fig.3. Schematic diagram of battery locomotive with parameters: weight-5 ton, power - 11 kW

T1 - łącznik okresowy prądu stałego do jazdy lokomotywy, T2 - łącznik okresowy prądu stałego do hamowania elektrycznego lokomotywy, CI - czujnik prądu, SI łącznik jazdy, CIz - człon zadawania prądu, SP, SL - łącznik do rewersji prądu w obwodzie twornika, ST - elektroniczny sterownik.

Lokomotywa jest wyposażona w dwa silniki trakcyjne, pracujące równolegle bez osłabienia wzbudzenia, z tym że połączenie ich jest tak zrealizowane, że podczas hamowania elektrycznego lokomotywy (otwarty stycznik SL, SI oraz zamknięty stycznik hamowania SH) silniki pracują jako generatory szeregowo ze skrzyżowanymi uzwojeniami wzbudzenia, co zapewnia równomierne obciążanie się obydwu silników.

Również program sterowania lokomotywy jest odmienny niż w przypadku lokomotyw akumulatorowych, gdyż przy jeździe parametrem regulowanym jest prędkość obrotowa silników z ograniczeniem prądowym (stała częstotliwość pulsacji ze zmiennym współczynnikiem wypełnienia), natomiast przy hamowaniu elektrycznym lokomotywy parametrem regulowanym jest prąd hamowania podobnie jak w lokomotywach akumulatorowych.

Lokomotywa przewodowa została wyposażona zarówno w człon sterowania lokalnego CSL, jak i w człon sterowania zdalnego CSZ, pozwalający na zdalne prowadzenie jazdy lokomotywy za pomocą sygnałów przesyłanych anteną, ułożoną wzdłuż sieci trakcyjnej oraz w obwody do sterowania dwóch lokomotyw rozmieszczonych w dowolnym układzie pociągu przy wykorzystaniu jednej pary przewodów sterowniczych, przy czym pulsy prądowe obydwu lokomotyw są przesunięte względem siebie o 180° el, co wydatnie ogranicza pulsacje prądu w sieci trakcyjnej. W przypadkach awaryjnych łącznika tyrystorowego LT istnieje możliwość jazdy lokomotywą ze stałą wartością prądu na obwodzie manewrowym, po zamknięciu stycznika manewrowego SM.

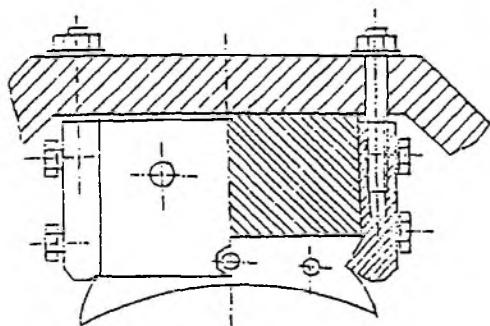


Rys.4. Schemat ideowy lokomotywy elektrycznej przewodowej o masie 18 ton, 90 kW
 Fig. 4. Schematic diagram of electric wire locomotive with parameters: weight - 18 ton, power - 90 kW

LT - tyrystorowy łącznik okresowy prądu stałego, CI - czujnik prądu, ST - sterownik, CSL - człon sterowania lokalnego, CSZ - człon sterowania zdalnego.

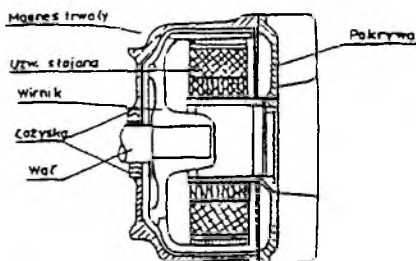
5. ENERGOOSZCZĘDNE SILNIKI NAPĘDOWE KOPALNIANYCH LOKOMOTYW ELEKTRYCZNYCH

Modernizacja urządzeń kolei podziemnej polskiego górnictwa, duża energochłonność i awaryjność zmuszają konstruktorów i użytkowników do wprowadzania nowych rozwiązań układów napędowych, w tym również zastosowania silników z magnesami trwałymi oraz silników indukcyjnych jako silników trakcyjnych. Układy te zapewniają: szeroki zakres zmian prędkości obrotowej, duży moment rozruchowy, odporność na zwarcia i przeciążenia oraz odporność na drgania i wibracje. Konstrukcja silnika trakcyjnego z magnesami trwałymi zależy od: sposobu i parametrów źródła zasilania, typu zastosowanego magnesu trwałego oraz od wysokości nakładów inwestycyjnych [4]. W silnikach z magnesami trwałymi w obwodzie stojana stosuje się magnesy trwałe stopowe lub ferrytowe. Magnesy trwałe wykonuje się w postaci pierścieni, prostokątów lub segmentów, magnesuje się w sposób promieniowy i umieszcza w obwodzie stojana stycznie lub promieniowo. Powoduje to powstanie znacznych strumieni rozproszenia (do 30 % w magnesach stopowych, 10 % - magnesy ferrytowe). Wymaga to zastosowania specjalnych koncentratorów strumienia magnetycznego [4].



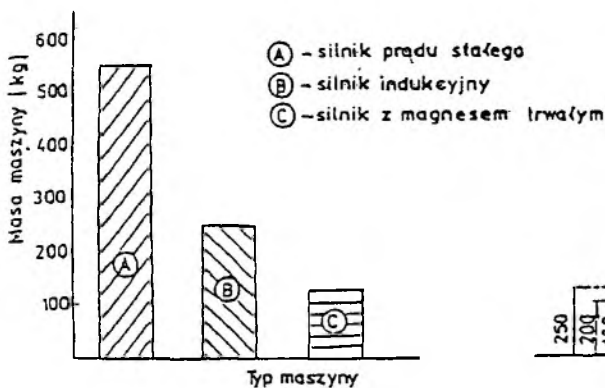
Rys.5. Biegun główny silnika trakcyjnego z magnesami trwałymi

Fig.5. Main magnetic pole of permanent magnet traction motor



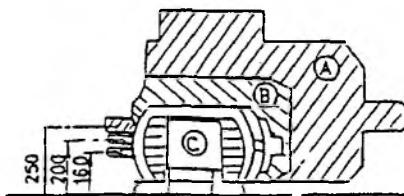
Rys.6. Silnik prądu stałego z magnesami trwałymi w wirniku mocy 150 kW

Fig.6. DC motor with permanent magnet in the rotor power - 90 kW



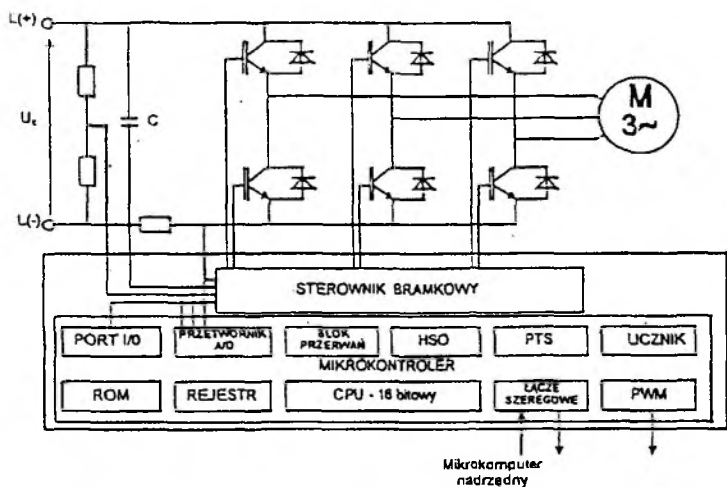
Rys. 7. Porównanie masy i objętości różnych typów silników elektrycznych na przykładzie silnika o mocy 30 kW

Fig. 7. Comparison of weight and volume of different types electric motors for the examples of the motor power 30 kW



Magnesy trwałe w silnikach trakcyjnych są narażone na duże przyrosty temperatury. Dlatego, w celu częściowego skompensowania tych zmian, stosuje się układy termokompensatorów magnetycznych. Na rys. 5 przedstawiono biegun główny silnika trakcyjnego mocy $P_n=50$ kW z magnesem trwałym stopowym typu Alnika. Biegun ten składa się z układu magnesów anizotropowych oraz z pakietowanego, blachowanego nabiegunnika. Poszczególne elementy są w specjalnej objętnie i są sklejone specjalnym klejem o dobrych parametrach magnetycznych. Dodatkowo biegun główny jest przykręcony do jarzma zestawem śrub stalowych, co zabezpiecza

Konfiguracja oraz stan techniczny dróg przewozowych w podziemiach kopalń wymaga przeprowadzenia częstych rozruchów, zmian prędkości jazdy oraz hamowań elektrycznych i mechanicznych. Układy zasilania lokomotyw powinny zapewniać: płynną zmianę prędkości jazdy, bezłukową zmianę kierunku jazdy oraz zmianę rodzaju pracy. Wymagania te spełniają układy przekształtnikowe ze sterownikami mikroprocesorowymi. Na rys. 8 przedstawiono schemat układu napędowego lokomotywy ze sterownikiem mikroprocesorowym, przy zasilaniu z tranzystorowego choppera DC. Układ ten umożliwia realizację sterowania ręcznego i półautomatycznego. Sygnały wyjściowe PWM po separacji i wzmacnieniu są podawane na bramki odpowiednio sprzężonych par tranzystorów: V1 + V4, V2 - V3. Na wyświetlaczu LCD przewiduje się cyfrową prezentację parametrów lokomotywy: prąd, napięcie, prędkość jazdy, przebiegą drogę oraz czas. Na rys. 9 przedstawiono schemat lokomotywy napędzanej przez silnik indukcyjny, zasilanej przez falownik tranzystorowy. W skład sterownika μP wchodzi: mikrokomputer nadrzędny, mikrokontroler oraz sterownik bramkowy. Sterownik bramkowy przetwarza sygnały mikrokontrolera sterujące obwodami bramkowymi na odpowiednie poziomy napięcia. Sygnały analogowe: napięcie i prąd układu zasilania informują przez port wejściowy mikrokontrolera o stanie pracy falownika.



Rys. 9. Układ zasilania silnika trakcyjnego, indukcyjnego z falownika napięcia
Fig. 9. Supply system of induction, traction motor supplied with voltage inverter

W stanach awaryjnych następuje blokada impulsów sterujących lub zmiana algorytmu pracy sterownika. Impulsy sterujące są generowane przez blok PWM lub przez port wyjściowy HSO mikrokontrolera. [5,6]

Wprowadzenie mikroprocesorowych, hierarchicznych układów sterowania zapewnia realizację złożonych algorytmów sterowania oraz uwzględnienie zmian czynników zewnętrznych, np.: napięcia w przewodzie jezdny, w algorytmach sterowania.

7. ZAKOŃCZENIE

Przedstawione w pracy nowe kierunki w budowie urządzeń do zasilania trakcji elektrycznej i energoelektronicznego sterowania lokomotyw, a także w budowie energooszczędnych silników napędowych i w mikroprocesorowych układach sterowania lokomotyw pozwolą na unowocześnienie transportu kołowego w kopalniach. Proponowana restrukturyzacja techniczna kolei spowoduje dalsze zwiększenie jej zdolności przewozowej, obniżenie kosztów eksploatacji poprzez zmniejszenie stanu zatrudnienia w przewozie i wydatne obniżenie energii elektrycznej oraz podniesienie trwałości i niezawodności trakcji elektrycznej.

Literatura

- [1] Antoniak J.: Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1990.
- [2] Krasucki F., Liberus Z.: Porównanie techniczno-ruchowe lokomotyw stosowanych w podziemiach kopalń. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 12, Gliwice 1964.
- [3] Szczucki F.: Nowoczesne rozwiązania w podziemnej trakcji elektrycznej, Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowej "Badania modelowe i symulacyjne w trakcji elektrycznej", tom II, Warszawa, 18-20.11.1993.
- [4] Szymański Z.: Silniki trakcyjne z magnesami trwałymi do napędu elektrycznych lokomotyw dołowych. Materiały Konferencji "Nowoczesne układy napędowe maszyn górniczych. Ustroń, październik 1993.
- [5] Szymański Z.: Energooszczędne silniki napędowe kopalnianych lokomotyw elektrycznych. Materiały VI Symposium PPEiE, Ustroń, marzec 1995.
- [6] Mikroprocesorowe układy sterowania dołowych lokomotyw elektrycznych napędzanych silnikiem indukcyjnym lub silnikiem z magnesami trwałymi. VI Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej SEMTRAK'94, Zakopane, październik 1994.

Recenzent: doc. dr inż. Zbigniew Ginalski

Wpłynęło do redakcji: 10.07.1995 r.

Abstract

The paper present a synopsis of development of underground traction coal-mines railway. Selected indexes and features of various kinds of underground traction have been presented. Particular attention has been paid to wire electric traction. The paper presents traction supply

devices and power electronic of mine locomotive control, and energy - saving drive motors for electric locomotives. Microprocessor - based control systems for locomotive have been also presented. Raise of railway traction productivity and improve of reliability and work safety can be received by introduction of modern energy - saving drive motors for electric locomotive and microprocessor control systems. Some problems concerned new way for development railway traction in coal mines have been presented in this paper.