

Władysław Paszek, Jerzy Siwiński, Jerzy Zygmunt

Instytut Metrologii i Maszyn Elektrycznych

BIPROHUT - Gliwice

Instytut Elektryfikacji i Automatyzacji
Górnictwa

BEZREDUKTOROWY NAPĘD SAMOTOKÓW HUTNICZYCH

Streszczenie. Omówiono właściwości zespołu przekształcającego bezpośredniego przemiennika częstotliwości. Podano opis bezreduktorowego napędu samotoków składającego się z trójfazowego tyrystorowego bezpośredniego przemiennika częstotliwości i wolnobieżnych silników asynchronicznych zasilanych grupowo. Próby napędu potwierdziły jego przydatność do zastosowania w hutnictwie.

1. Wstęp

Szczególnym przypadkiem napędu prądu przemiennego jest napęd składający się z trójfazowego bezpośredniego przemiennika częstotliwości, jako źródła zasilającego oraz z jednego lub kilku zasilanych grupowo asynchronicznych silników zwartych.

Prace nad napędem: bezpośredni przemiennik częstotliwości - silnik asynchroniczny prowadzone w Politechnice Śląskiej w latach sześćdziesiątych doprowadziły do opracowania i budowy tyratronowego bezpośredniego przemiennika częstotliwości. Badania napędu potwierdziły jego przydatność i możliwość zastosowania w przemyśle [1], [2].

W wyniku rozwoju techniki półprzewodnikowej i pojawienia się tyrystorów, powstały przesłanki, aby napędy: bezpośredni przemiennik częstotliwości - silnik asynchroniczny, stosować również w hutnictwie. Analiza wykazała, że zastosowanie napędów tego typu dla samotoków hutniczych, przy bezpośrednim sprzęgnięciu silników z rolkami samotoku, daje duże korzyści techniczne i ekonomiczne. W związku z tym podjęto prace badawczo-konstrukcyjne, które miały na celu opracowanie oraz budowę bezreduktorowych napędów, przewidzianych dla ciężkich samotoków hutniczych.

W rezultacie ścisłego współdziałania Biura Projektów Przemysłu Hutni - czego "Biprohut" w Gliwicach, Instytutu Metrologii i Maszyn Elektrycznych Politechniki Śląskiej, Zakładów APENA w Bielsku-Białej, Zakładów KOMEL w Katowicach i Zakładów CELMA w Cieszynie, opracowano i wdrożono do produkcji bezpośrednio tyrystorowe przemienniki częstotliwości oraz wolnobieżne silniki samotokowe specjalnej konstrukcji. Pozwoliło to na zastosowanie bezreduktorowych napędów samotoków w jednej z krajowych hut.

Zarówno skala wdrożenia, jak i sposób rozwiązania napędów, nie mają dotychczas odpowiednika na kontynencie europejskim.

W referacie omówiono właściwości zespołu przekształcającego bezpośredniego przemiennika częstotliwości oraz podano opis napędu.

2. Właściwości zespołu przekształcającego bezpośredniego przemiennika częstotliwości

Bezpośredni przemiennik częstotliwości przetwarza wielofazowe napięcie sieciowe na jednofazowe napięcie o obniżonej częstotliwości.

Zespół przekształcający, jednofazowego bezpośredniego przemiennika częstotliwości, stanowi rewersyjny, wielofazowy prostownik sterowany, składający się z dwu grup prostowniczych. Przemienne napięcie wyjściowe zespołu powstaje w wyniku cyklicznych zmian kąta opóźnienia zapłonu zaworów, względem kąta opóźnienia $\alpha = \frac{\pi}{2}$ i w związku z tym zmieniającego się poziomu i polaryzacji napięcia wyjściowego.

Przy analizie pracy zespołu zakłada się ciągłość prądu obciążenia, pomija wpływ komutacji prądu na napięcie wyjściowe oraz pomija się spadek napięcia wywołany prądem obciążenia na rezystancji wewnętrznej przemiennika, w tym również spadek napięcia na zaworach. Ponadto zakłada się, że zespół jest zasilany ze sztywnej sieci o nieodkształconym napięciu sinusoidalnym.

Dla warunków wyidealizowanych, przy bardzo dużej częstotliwości napięcia zasilającego, w stosunku do częstotliwości napięcia przetworzonego, napięcie wyjściowe zespołu, jako tzw. napięcie wyidealizowane, można przedstawić za pomocą funkcji sinusoidalnej

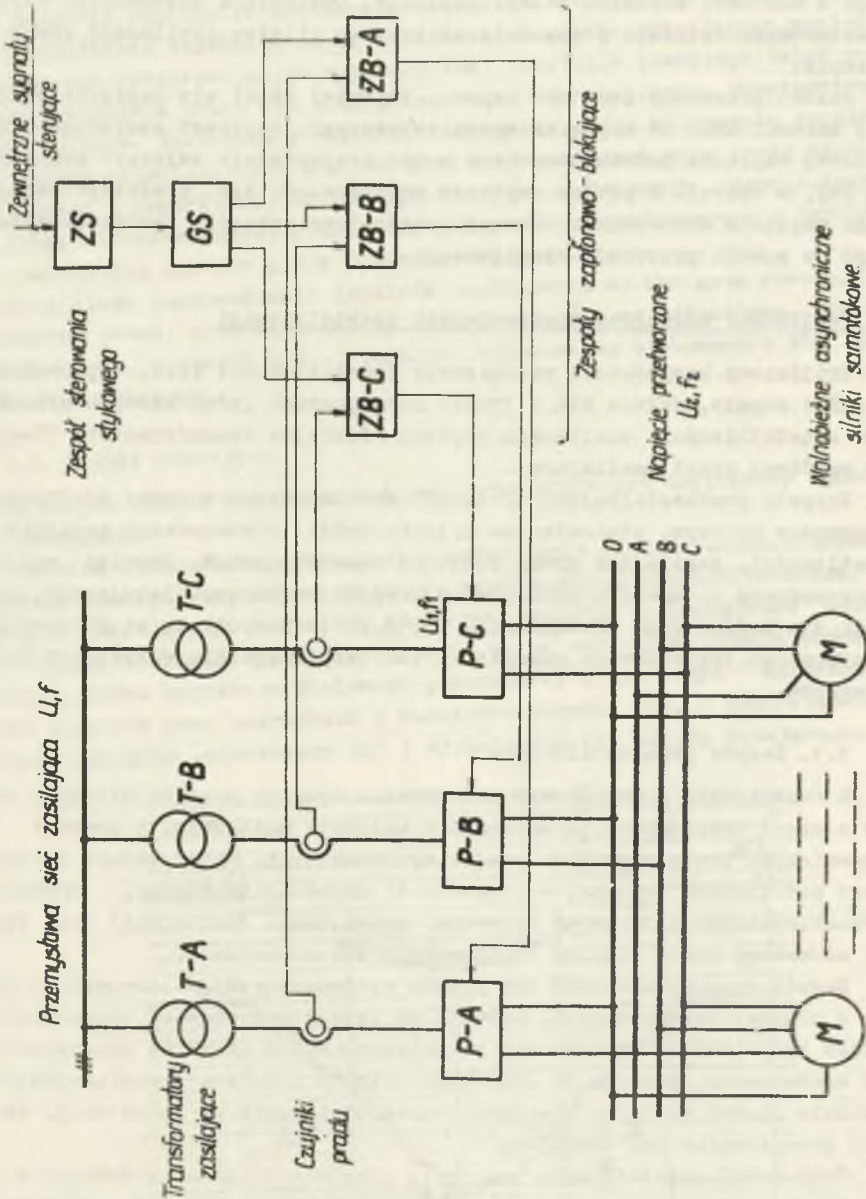
$$U_{t_{sr}} = U_{mw} \sin \omega_2 t,$$

gdzie U_{mw} - wymagana amplituda napięcia przetworzonego,
 ω_2 - częstotliwość kątowa napięcia przetworzonego

W rzeczywistych warunkach pracy zespołu, proces tworzenia napięcia wyjściowego ma charakter dyskretny, wynikający z dwustanowej pracy zaworów i ich udziału w przenoszeniu napięcia do odbiornika w pewnych tylko wycinkach czasu.

Napięcie wyjściowe składa się z następujących po sobie wycinków napięcia sieci zasilającej, zwanych pulsami napięcia. Przy zastosowaniu zespołu przekształcającego bez prądów wyrównawczych, napięcie na wyjściu zespołu powstaje w wyniku przemiennej pracy obu grup prostowniczych. Okresy pracy grup są oddzielone przerwą, w czasie której żadna z grup nie pracuje. W napięciu wyjściowym zespołu występuje krótka przerwa beznapięciowa.

W związku z możliwością pracy zespołu w zakresie prostowniczym i inwer-torowym, położenie strefy beznapięciowej zależy od przesunięcia prądu obciążenia względem napięcia przetworzonego.



Rys. 1. Schemat blokowy trójfazowego bezpośredniego przemiennika częstotliwości

Pracę zespołu można opisać za pomocą tzw. parametrów napięciowych. Wśród parametrów napięciowych na specjalną uwagę zasługuje dominująca harmoniczna napięcia podstawowego, przy czym napięciem podstawowym nazywa się napięcie powstające przez liniową aproksymację napięcia schodkowego utworzonego z wartości średnich pulsów napięcia. Dominująca harmoniczna napięcia podstawowego decyduje o momencie użytecznym silnika zasilanego przez prze-miennik.

Jakość przemiany jest tym lepsza, im mniej różni się napięcie dominującej harmonicznej od napięcia wyidealizowanego. Ponieważ dominującej harmonicznej napięcia podstawowego nie można bezpośrednio zmierzyć wyznacza się ją [6], w oparciu o pomiar napięcia skutecznego, tzw. średniego kwadratowego napięcia skutecznego. Średnie kwadratowe napięcie skuteczne można zmie-ryć za pomocą przyrządu ciepłikowego.

3. Trójfazowy bezpośredni prze-miennik częstotliwości

Trójfazowy bezpośredni prze-miennik częstotliwości (rys. 1), wchodzący w skład napędu, składa się z trzech identycznych jednofazowych prze-mienników częstotliwości, zasilanych poprzez oddzielne transformatory (T-A, B-C) ze wspólnej sieci zasilającej.

Zespoły przekształcające (P-A, B, C) są skojarzone w układ trójfazowy z przewodem zerowym, stanowiąc na wyjściu źródło o sterowanym napięciu i czę-stotliwości, zasilające grupy silników samotokowych M. Impulsy zapłonowe doprowadzone do zaworów pochodzą od zespołu zapłonowo-blokującego, oddziel-nego dla każdej fazy prze-miennika (ZB-A, B, C). Zespoły te są sterowane ze statycznego trójfazowego generatora (GS) wspólnego dla wszystkich faz prze-miennika.

3.1. Zespół przekształcający

W rozwiązaniu przemysłowym zastosowano zespoły przekształcające zasila-ne z sieci trójfazowej, z zaworami w układzie mostkowym, z grupami pro-stowniczymi pracującymi bez prądów wyrównawczych. Wybór układu mostkowego jest podyktowany lepszym, w stosunku do układu gwiazdowego, wyzyskaniem transformatorów i lepszymi warunkami pracy sieci zasilającej oraz lepszymi warunkami pracy silnika zasilanego przez prze-miennik.

Zespół przekształcający bez prądów wyrównawczych, w stosunku do zespó-łu z prądami wyrównawczymi, pozwala na lepsze wyzyskanie dopuszczalnego prądu tyrystorów w związku zaś z wyeliminowaniem dławików tłumiących prądy wyrównawcze, pozwala na obniżenie ciężaru i kosztu prze-miennika. Jedno-cześnie spadek napięcia wywołany prądem obciążenia na rezystancji wewnątrz-nej prze-miennika jest mniejszy.

Przy małej częstotliwości napięcia przetworzonego w porównaniu z czę-stotliwością napięcia zasilającego zespół, co ma miejsce w omawianym przy-padku, wpływ strefy beznapięciowej, na napięcie dominującej harmonicznej, jest nieznaczny [6].

3.2. Zespół zapłonowo-blokujący

Zespół zapłonowo-blokujący przetwarza ciągły napięciowy sygnał sterujący, pochodzący z generatora sterującego, na impulsy zapłonowe sterujące zaworami.

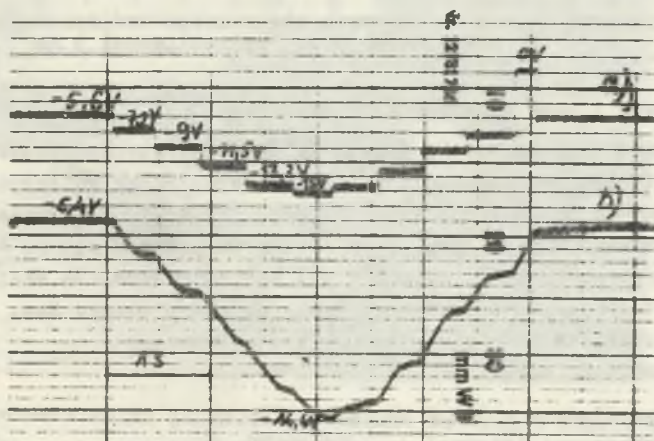
W układzie zapłonowym zastosowano sinusoidalne napięcie synchronizujące, co umożliwia uzyskanie na wyjściu zespołu przekształcającego, napięcia podstawowego odwzorowującego w pewnej skali napięcie sterujące. Układ zapłonowy umożliwia pracę obu grup prostowniczych w zakresie prostowniczym i inwertorowym. Zastosowany układ blokujący powoduje: blokowanie impulsów zapłonowych przewidzianych dla obu grup prostowniczych przy braku sygnału sterującego z generatora, blokowanie impulsów zapłonowych przewidzianych dla grupy nieprzewodzącej prądu przy jednoczesnym odblokowywaniu impulsów zapłonowych dla zaworów grupy przewodzącej prąd.

Rozdzielcze doprowadzanie impulsów zapłonowych do obu grup powoduje ich przemienną pracę, przy czym okresy pracy obu grup są oddzielone przerwą beznapięciową, w czasie której impulsy zapłonowe są blokowane w obu grupach prostowniczych.

3.3. Zespół sterujący

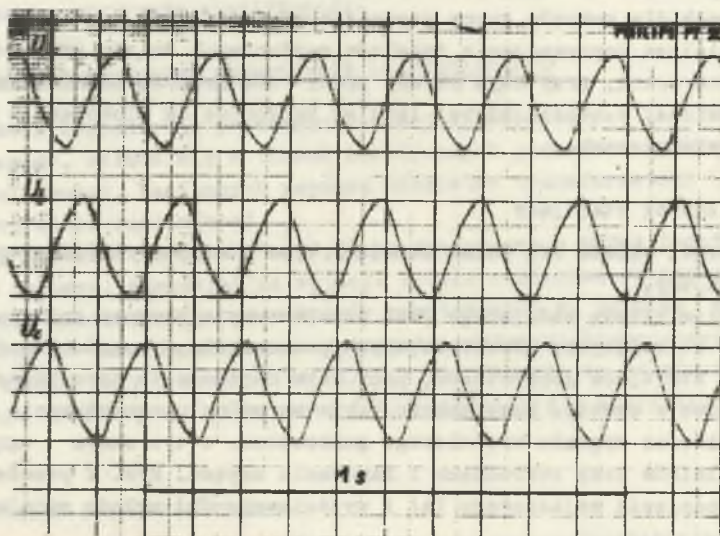
Na zespół składa się układ zadający oraz statyczny trójfazowy generator sterujący.

Zadaniem układu zadającego jest przetworzenie skokowo zmieniających się sygnałów sterujących, odpowiadających poszczególnym częstotliwościom, na napięcie sterujące generatorem, przy czym napięcie to początkowo zmienia się liniowo w czasie. Rozwiązanie takie ma na celu ograniczenie tempa zmian częstotliwości sygnału wyjściowego generatora, a tym samym ograniczenie prądu silników przy rozruchach i hamowaniu napędu. Rys. 2 przedstawia oscylogramy napięcia wejściowego (a) i napięcia wyjściowego (b) przy skokowych zmianach sygnału wejściowego.



Rys. 2. Oscylogramy napięcia wejściowego (a) i napięcia wyjściowego (b) przy skokowych zmianach sygnału wejściowego

Generator sterujący jest źródłem napięcia trójfazowego z sygnałem wyjściowym zbliżonym do napięcia sinusoidalnego, z napięciami fazowymi przesuniętymi o $2/3\pi$, o sterowanej amplitudzie i częstotliwości i kształcie napięcia wyjściowego, niezależnym od częstotliwości. Zmianę kolejności faz generatora, powodującą zmianę kierunku pracy napędu, uzyskuje się na drodze przełączenia faz na wyjściu generatora. Zakres zmian częstotliwości generatora $1,2 \div 6$ Hz. Odpowiednio do zmian częstotliwości zmienia się amplituda sygnału wyjściowego, przy czym dobrano ją w ten sposób, aby przy zasilaniu silnika napięciem o częstotliwości 1,2 Hz moment rozruchowy silnika wyniósł około 216 Nm (22 kGm) oraz przy częstotliwości 5 Hz moment był nie mniejszy niż 490 Nm (50 kGm). Rys. 3 przedstawia oscylogramy napięć wyjściowych generatora przy częstotliwości 5 Hz.



Rys. 3. Oscylogram napięć wyjściowych statycznego trójfazowego generatora sterującego przy częstotliwości 5 Hz

3.4. Budowa i dane techniczne przemiennika

Zastosowano szafową budowę przemiennika z tyrystorami wbudowanymi we wsuwki, w których umieszczono również obwody ochronne RC, bezpieczniki szybkie oraz transformator izolujący. Podzespoły sterujące przemiennika wykonano również jako wsuwki, przy czym obwody znajdujące się na wsuwce są połączone z całością układu poprzez wtyki wieloobwodowe. Do zasilania zespołów przekształcających zastosowano transformatory suche. Rys. 4 przedstawia szafy przemiennikowe w czasie ich instalowania.

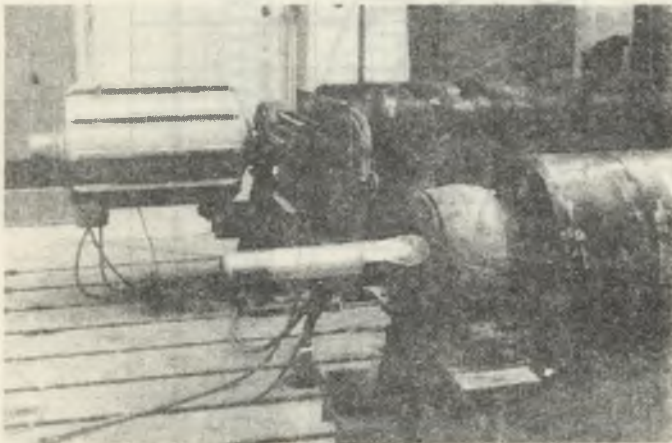
Dane techniczne przemiennika:

- Napięcie zasilające - 3 x 6 kV, 50 Hz
- Napięcie skuteczne (fazowe) dominującej harmonicznej do - 127 V

- Częstotliwość znamionowa - 5 Hz
- Wymagany zakres zmian częstotliwości - $1,2 \div 6$ Hz
- Fazowy skuteczny prąd wyjściowy - 450 lub 800 A.



Rys. 4. Szafy przemiennikowe w czasie instalowania



Rys. 5. Koniec wału rolki po zdjęciu silnika. Na drugim planie silnik samotokowy

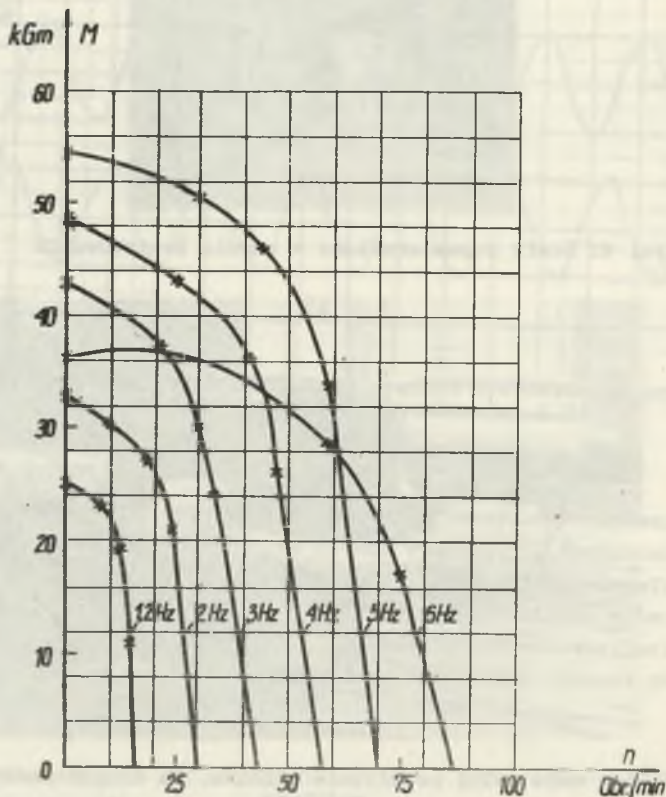
4. Silnik samotokowy .

Na rys. 5 przedstawiono silnik samotokowy specjalnej konstrukcji. Konstrukcja ta umożliwia bezpośrednie sprzęgnięcie silnika z rolką przez nałożenie silnika na koniec wału rolki. Stojan silnika jest unieruchomiony poprzez elastyczne połączenie z konstrukcją nośną samotoku.

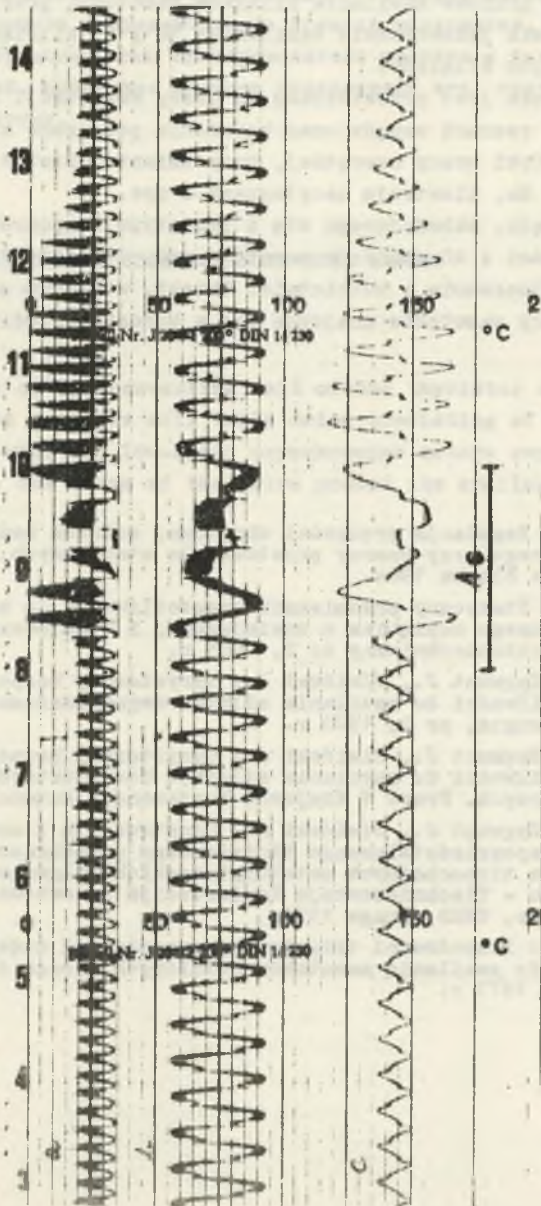
Dane techniczne silnika przedstawiają się następująco:

- Typ maszyny - SHe 250-8
- Napięcie fazowe (średnie kwadratowe napięcie skuteczne) - 127 V
- Częstotliwość znamionowa - 5 Hz
- Znamionowa synchroniczna prędkość obrotowa - 75 obr/min.
- Moment rozruchowy 50,9,81 Nm (50 kGm)
- Zakres zmian częstotliwości: $1,2 \pm 6$ Hz.

Silnik posiada budowę zamkniętą, pyłoszczelną, z chłodzeniem własnym naturalnym. Na rys. 6 przedstawiono zewnętrzne charakterystyki mechaniczne silnika.



Rys. 6. Zewnętrzne charakterystyki mechaniczne wolnobieżnego silnika samotokowego



Rys. 7. Oscylogramy blokującego impulsu prądowego (a), napięcia fazowego silnika (b) i prądu fazowego silnika samotokowego (c), przy pracy nawrotnej napędu 0,6 Hz

5. Bezreduktorowy napęd samotoku

Każda rolka samotoku jest napędzana indywidualnie silnikiem samotokowym. Przewiduje się grupowe zasilanie silników samotoku, przy czym z przetwornika 450 A będzie jednocześnie zasilanych 30 ÷ 40 silników zaś z przetwornika 800 A, 50 ÷ 60 silników.

Napęd samotoku jest przewidziany do pracy nawrotnej. Zastosowano częstotliwościowy rozruch napędu oraz hamowanie połączone z oddawaniem energii do sieci. Cykl pracy nawrotnej, przy zmianie częstotliwości w granicach $6 \div 0 \div 6$ Hz, ilustrują oscylogramy z rys. 7.

Badania napędu, składającego się z prototypu bezpośredniego przetwornika częstotliwości i 40 silników samotokowych, potwierdziły pełną jego przydatność do zastosowania w hutnictwie. Obiekt, w którym zastosowano bezreduktorowe napędy samotoków znajduje się w końcowym stadium budowy i rozruchu.

LITERATURA

1. Zygmunt J.: Regulacja prędkości obrotowej silnika bezkomutatorowego prądu zmiennego przy pomocy prostowników sterowanych, Praca doktorska, Politechnika Śląska 1964.
2. Zygmunt J.: Statyczny przetwornik częstotliwości do zasilania silnika asynchronicznego napięciem o zmniejszonej i regulowanej częstotliwości Przegląd Elektrotechniczny nr 8, 1965 r.
3. Paszek W., Zygmunt J., Siwiński J.: Tyristorowy bezpośredni przetwornik częstotliwości do zasilania silnika asynchronicznego, Gospodarka Paliwami i Energią, nr 2, 1970 r.
4. Paszek W., Zygmunt J., Siwiński J.: Tyristorowy bezpośredni przetwornik częstotliwości do zasilania silników bezreduktorowego napędu samotoków hutniczych. Prace V Krajowej Konferencji Automatyki, Gdańsk 1971r.
5. Paszek W., Zygmunt J., Siwiński J.: Konstrukcja i energetyczne właściwości nieposredstwiennego tiristorowego przetwornika częstoty dla pitania tichochoodnych metalurgicznych rolgangow, III Międzynarodowa Nauczno - Techniczna Konferencja po awtomatizirowannomu elektropriwodu, CSRS, Praga 1971.
6. Siwiński J.: Bezpośredni tyristorowy przetwornik częstotliwości w zastosowaniu do zasilania samotoków hutniczych, Praca doktorska, Politechnika Śląska 1971 r.

БЕЗРЕДУКТОРНЫЙ ПРИВОД МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РОЛЬГАГОВ

Р е з ю м е

Рассмотрены особенности непосредственного преобразователя частоты. Дано описание группового безредукторного привода рольгангов, состоящего из трехфазного непосредственного преобразователя частоты и тихоходных асинхронных двигателей. Испытания привода подтвердили его пригодность к применению в металлургии.

THE GEARLESS DRIVE OF THE METALLURGICAL ROLL TABLES

S u m m a r y

The properties of the converting unit of the thyristor cycloconverter are discussed. The gearless roll table drive consisting of three-phase thyristor cycloconverter and low-speed asynchronous motors supplied in groups is described. The tests of the drive proved its availability in metallurgy.