

Kazimierz Jagiela, Marek Gała, Janusz Rak, Marian Kępiński
Politechnika Częstochowska, Częstochowa

ZINTEGROWANY NAPĘD DUŻEJ MOCY SAMOTOKÓW WYSADOWYCH Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU MULTIFEX

INTEGRATED HIGH POWER ELECTRIC DRIVE OF DISCHARGE ROLLING TABLE WITH THE MULTIFEX SYSTEM

Streszczenie: W artykule opisano układ napędowy sekcji samotoków hutniczych złożonych z sześciu silników prądu stałego o sumarycznym prądzie 2220 A, które zasilane są z jednego nawrotnego przekształtnika tyrystorowego firmy ABB. Autonomiczne obwody wzbudzeń tych silników zasilane są z niezależnych przekształtników tyrystorowych tworząc tzw. system MULTIFEX komunikujący się z nadrzędnym przekształtnikiem dużej mocy. Przedstawiono schematy komunikacji DSL kart wzbudzeń FEX silników z wykorzystaniem karty SDSC przekształtnika DCS-800-S02 oraz układu sterowania logicznego z zastosowaniem sterownika PLC. Parametryzację przekształtnika tyrystorowego ACS-800 oraz układów wzbudzeń DCF 803 przeprowadzono w oparciu o program narzędziowy DriveWindow. Opisano i zilustrowano najważniejsze przebiegi napięć, prądów, estymowanej wartości prędkości silnika w czasie biegu jałowego oraz podczas transportu blachy wysadzanej z hutniczego pieca przepychowego. W końcowej części artykułu przedstawiono podsumowanie i wnioski końcowe.

Abstract: The paper describes a drive system of a section of a metallurgical rolling table consisting of six dc motors, 2220 amperes of total current, fed from a single ABB reversible thyristor converter. Autonomous excitation circuits of the motors are fed from independent thyristor converters working in the so called MULTIFEX system linked with a supervisory high power converter. There are presented schemes of the DSL communication realized by FEX excitation cards of the motors using the SDSC card of the DCS-800-S02 converter and logic control system based on a PLC controller. The parameterization of the ACS-800 converter and the DCF 803 excitation systems was conducted using the DriveWindow software tool. Significant waveforms of voltages, currents and the estimated motor velocity are described and presented for the idle run as well as during transporting sheets discharged from a pusher furnace. The summary and conclusions are presented at the end of the paper.

Słowa kluczowe: układy napędowe, samotoki hutnicze, system MULTIFEX, DriveWindow

Keywords: drive systems, metallurgical rolling tables, MULTIFEX system, DriveWindow

1. Wstęp

W polskim przemyśle hutniczym bardzo często w ramach prac modernizacyjnych wykorzystuje się nadal eksploatowane silniki prądu stałego, przystosowując je do nowoczesnych układów przekształtnikowych, w których realizowane są zaawansowane sposoby sterowania, takie jak MASTER-FOLLOWER [1,4] czy MULTIFEX [3,5,6]. Takie decyzje dotyczą z zasady układów napędowych o stosunkowo dużych jednostkowych mocach silników elektrycznych ze względu na minimalizację kosztów remontu zespołu napędowego i systemu instalacji zasilania energoelektronicznego. Niejednokrotnie zamiast układu napędowego prądu stałego na napęd asynchroniczny z przemiennikiem częstotliwości wymaga modyfikacji mechaniczno-budowlanych związanych z posadowieniem inne-

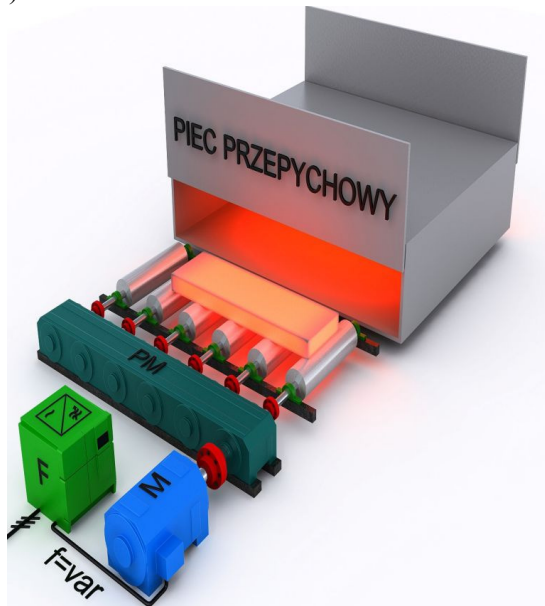
go silnika i jego sprzęgnięciem mechanicznym z zespołem roboczym. Przedmiotem opisywanej modernizacji jest rejon samotoków wysadowych obejmujących piec przepychowy. Rozróżnia się wiele typów i rozwiązań konstrukcyjnych węzła zespołu elektromechanicznego: rolki, mechanizm przenoszenia momentu, silnik lub grupa silników i energoelektroniczny układ zasilania. W samotokowych sekcjach wysadowych najczęściej stosuje się dwa rodzaje napędów:

- 1) wielowyjściowe reduktorowe napędy asynchroniczne o regulowanej prędkości kątowej [2];
- 2) niezależne napędy dla każdej rolki z silnikami prądu stałego lub przemiennego.

Fragmety pojedynczej sekcji samotoków wysadowych dla napędu AC reduktorowego wie-

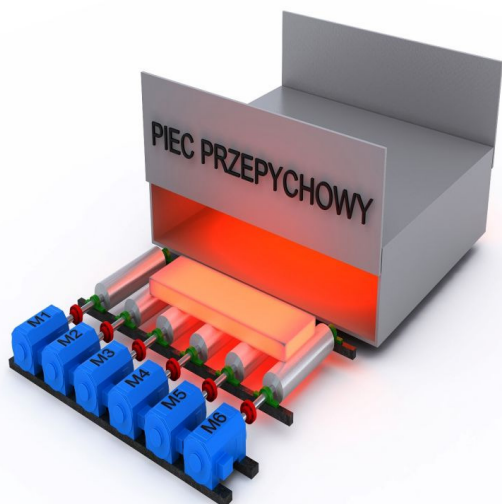
lowyjściowego przedstawiono na rys. 1, natomiast na rys. 2 przedstawiono niezależne napędy DC dla poszczególnych rolek.

a)



Rys. 1. Napęd samotoku wysadowego z reduktorem wielowyjściowym [2]

b)



Rys. 2. Napęd samotoku wysadowego z niezależnym silnikiem dla każdej rolki

Przedmiotem artykułu jest zastosowanie rewersyjnego przekształtnika tyrystorowego typu DCS 800-S02 produkcji ABB, który zasila obwody tworników kilku lub kilkudziesięciu silników obcowzbudnych prądu stałego. Opisywany układ jest oryginalnym rozwiązaniem technicznym firmy ABB [5], które dedykowane

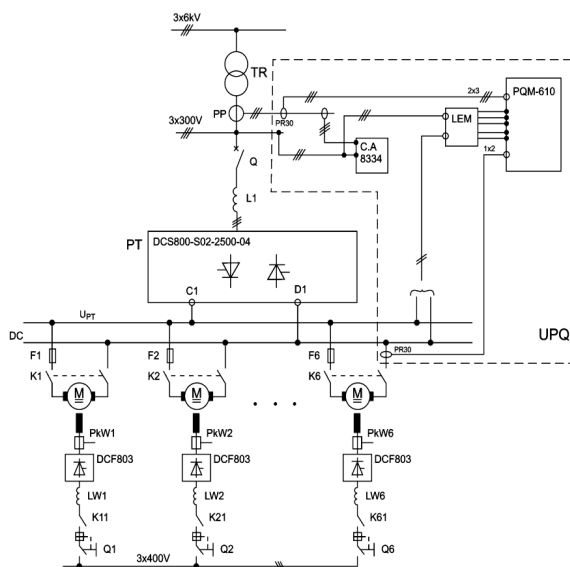
jest do napędów samotokowych. Sterowanie i kontrola w wielosilnikowym systemie MULTIFEX oparta jest na bazie sterownika PLC tworząc kompleksowy system automatyzacji procesu nagrzewania i transportu słabów w linii walcowniczej blach grubych.

2. Struktury zasilania i sterowania samotoków wysadowych w trybie MULTIFEX

Układ napędowy sekcji samotoków wysadowych linii transportowej składa się z sześciu silników prądu stałego, które poprzez krótkie łączniki są bezpośrednio połączone z rolkami transportowymi (rys. 2).

Energoelektroniczny układ zasilania grupy silników DC o regulacji w obwodzie silnoprądowym tworników i regulacji w obwodach wzbudzeń przedstawiono na rys. 3.

Wybór takiej struktury zasilania i sterowania podyktowany został koniecznością pozostawienia silników prądu stałego z zapewnieniem równomiernych zmian prędkości obrotowych poszczególnych silników z jednoczesnym uwzględnieniem parametrów geometrycznych rolek samotoku.



Rys. 3. Schemat układu zasilania z zaznaczeniem systemu i punktów pomiarowych

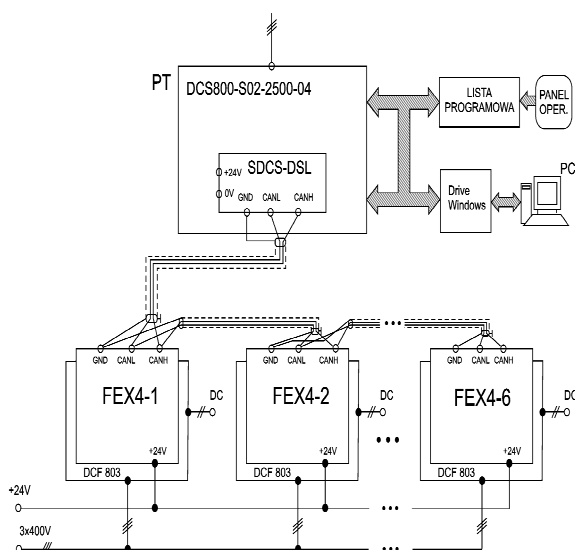
Parametry napędu samotoku wysadowego z silnikami obcowzbudnymi prądu stałego przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1
Zasadnicze parametry napędów samotoków wysadowych

Parametry silników i przekształtnika
Typ silnika: PXOm-74b/01; ilość silników: 6
$P = 75/150 \text{ kW}$; $U = 220/440 \text{ V}$; $I = 370 \text{ A}$; $n = 525/1040 \text{ obr/min}$; $I_F = 5 \text{ A}$; $T = 1365 \text{ Nm}$;
Zakres regulacji prędkości obrotowej i liniowej $n_{\min} = 80 \text{ obr/min} \rightarrow n_{\max} = 140 \text{ obr/min}$ $v_{\min} = 3,35 \text{ m/s} \rightarrow v_{\max} = 5,86 \text{ m/s}$
Typ przekształtnika: DCS800-S02-2500-04
$U_{\text{zas}} = 3 \times (230 \dots 415) \text{ V AC}$ $I_{\text{DC}} = 2500 \text{ A}$; $P_{\text{DC}} = 1038 \text{ kW}$

Celem nadrzędnym systemu sterowania jest zapewnienie eliminacji zjawiska skoszenia transportowanych słabów poprzez minimalizację nierównomierności prędkości liniowych poszczególnych rolek.

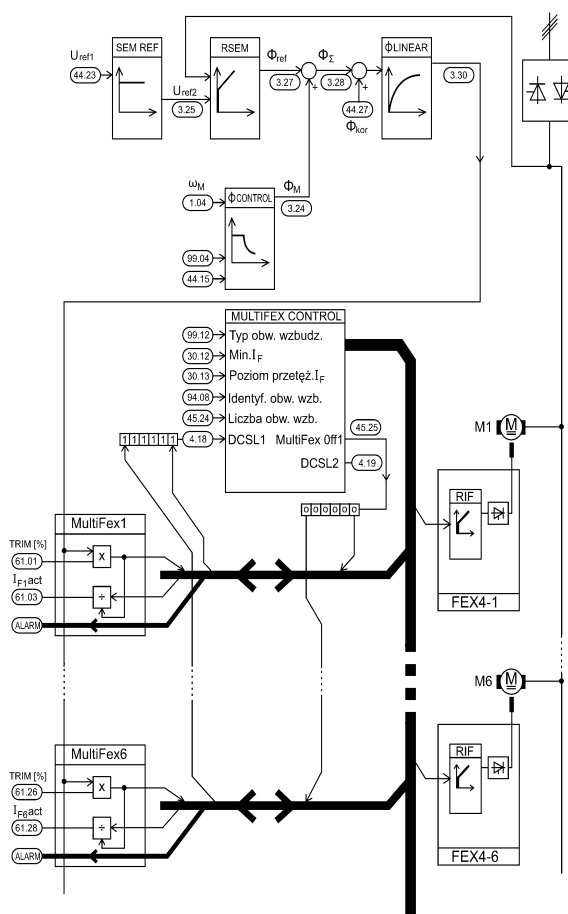
W tym celu zastosowano układ napędowy złożony z jednego rewersyjnego przekształtnika tyrystorowego, do którego podłączonych zostało w sieci MULTIFEX sześć tworników silników DC. Obwody wzbudzeń tych silników zasilane są przez niezależne mostki tyrystoro-diodowe typu 3T-3D o sterowaniu komunikacyjnym łączem szeregowym DSL łączonym z płytą SDCS-DSL przekształtnika PT (DCS800) – rys. 4.



Rys. 4. Schemat komunikacji układów wzbudzeń DCF803 z przekształtnikiem DCS800

Schemat struktury sterowania zespołem MULTIFEX w zakresie obwodów wzbudzeń (rys. 5) oparty jest o mikrosterowniki H8 dla sterowania synchronizacją prądu oraz obsługi parametrów błędów, a także do komunikacji szeregowej opartej na standardzie CAN. Oprogramowanie przechowywane jest w pamięci typu Flash-PROM i obejmuje ono:

- sterowanie prądem obwodów wzbudzeń wraz z parametrami regulatora RIF (rys. 4) typu PI;
- obsługę błędów i resetowanie;
- synchronizację i funkcję PLL;
- konfigurację kanałów do pomiaru prądów.



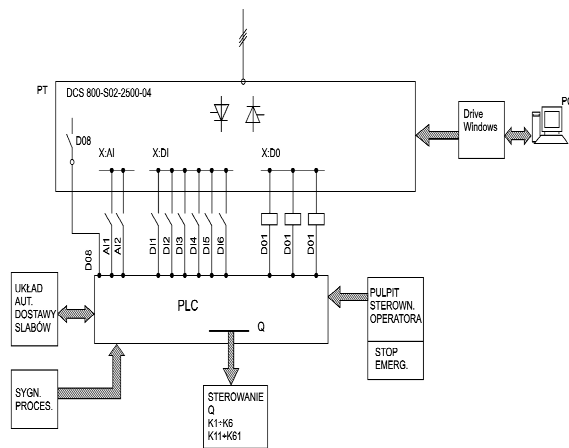
Rys. 5. Struktura sterowania MULTIFEX

Poprzez zastosowanie układu linearyzacji Φ LINEAR uzyskuje się wartość zadaną prądu wzbudzenia, która w poszczególnych układach MultiFex korygowana jest przez sygnał TRIM [%] w celu ustalenia żądanej prędkości silników z zadanym minimalnym błędem. Poprzez statyczną korektę sygnałem TRIM [%] ustawianym dla poszczególnych wzbudzeń uzyskuje się minimalizację wskaźnika nierów-

nomierności prędkości liniowych, wynikających z odchyłek geometrycznych rolek samotoku oraz różnic w wartościach rezystancji obwodów tworników i wzbudzeń będących efektem przewijania podczas remontu maszyn elektrycznych.

3. Etap uruchamiania i wyniki pomiarów

Prezentowany wielosilnikowy układ napędowy sekcji samotoków wysadowych jest częścią linii przeznaczonej do walcowania blach grubych. Jego zadaniem jest transport słabów z jednoczesną adaptacją warunków i parametrów technologicznych ciągu walcowniczego. Układ ten może pracować opcjonalnie: według reguł sterowania manualnego realizowanego przez operatora lub w cyklu automatycznym przy uwzględnieniu pozostałych urządzeń wysadowych linii walcowania blach o sekwencjach planowanych on-line.



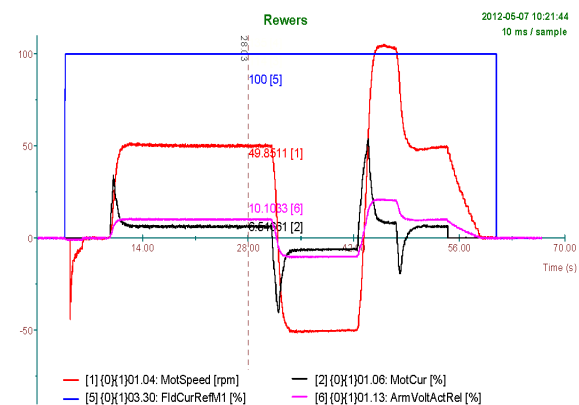
Rys. 6. Schemat sterowania zewnętrznego przekształtnika DCS800

Uwzględniając wzajemne korelacje, napęd samotoków wysadowych sterowany jest hierarchicznie. Pierwszy poziom to sterownik PLC (rys. 6), do którego podłączona jest szyna BUS z układu automatycznej dostawy słabów, działająca w cyklu sterowania sekwencyjnego ruchem napędów w kierunku od pieców przepychowych do wstępnej klatki walcowniczej. Sterownik PLC (rys. 6) uzyskuje cały szereg informacji (sygnałów) o bieżącym przebiegu poszczególnych etapów procesu technologicznego. Nadrzędną, drugą warstwę sterowania stanowią sygnały pochodzące z pulpitu operatora wraz z sygnałem stopu bezpieczeństwa, jako podstawowego zabezpieczenia ludzi

i urządzeń w przypadkach zagrożenia awaryjnego.

Na etapie uruchamiania układu napędowego samotoków wysadowych należy dokładnie sparametryzować rewersyjny przekształtnik tyrystorowy PT (DCS800) wraz z przyporządkowanymi wzbudzeniami DCF803 (FEX4). Przy uruchamianiu pomocny był program DriveWindow [1] (rys. 4, rys. 6), który jest wielofunkcyjną aplikacją służącą do uruchamiania, parametryzacji, monitorowania wielkości analogowych i cyfrowych oraz sterowania napędów z silnikami prądu stałego i przemiennego, zasilanymi z przemienników serii DCS i ACS, wyposażonych w łącze światłowodowe.

Program ten kontrolował jednocześnie pracę przekształtnika DCS800 oraz sześć układów wzbudzeń DCF803, pobierając z nich wartości aktualne sygnałów i przedstawiając je, w celu porównania we wspólnym oknie lub na wykresie. W trakcie monitorowania sygnałów można je edytować oraz zmieniać ich parametry. Aplikacja diagnozuje również stany pracy napędu, sygnalizując i rejestrując błędy i stany awaryjne oraz archiwizuje ich historię. Wszystkie monitorowane dane i parametry mogą być zapisane w formie plików, a następnie analizowane i edytowane w trybie „off-line”. Pliki parametrów napędu, pochodzące z archiwizacji lub edycji w trybie „off-line” mogą być ładowane do pamięci przekształtnika, co efektywnie minimalizuje, czas uruchamiania czy usuwania awarii napędu.

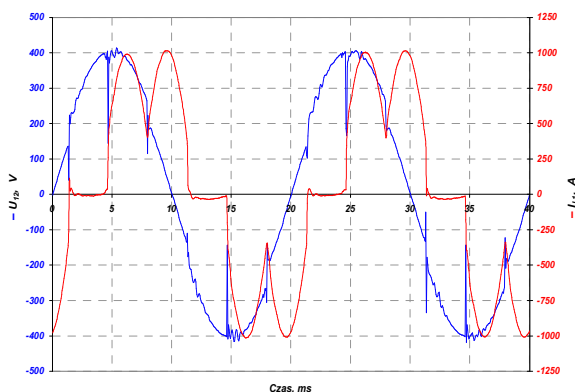


Rys. 7. Przebiegi zmian wielkości elektromechanicznych napędu samotoku wysadowego

Przykładem wykorzystania programu narzędziowego DriveWindow są przebiegi zmian napięcia, sumarycznego prądu tworników, estymowanej prędkości obrotowej silnika oraz

prądu wzbudzenia jednego silnika (pozostałe silniki mają identyczne wartości) zarejestrowane w czasie rozruchu, zmiany kierunku wirowania oraz szybkiej zmiany wartości prędkości obrotowej dokonanej przez układ automatyki zewnętrznej, a następnie zatrzymania napędu. Wykresy przebiegów dla wymienionych stanów pracy przedstawiono na rysunku 7.

Dodatkowym narzędziem w procesie uruchomieniowym jest komputerowy zestaw pomiarowy PQM-610, w skład którego wchodzi przetworniki napięciowe i prądowe LEM, cęgi pomiarowe LEM typu PR-30 (rys. 3) wraz z oprogramowaniem narzędziowym DASyLab. Parametry metrologiczne zestawu pomiarowego PQM-610 zapewniają uzyskanie dokładności do 0,1% w odniesieniu do wartości wskaźników zawartości wyższych harmonicznych THD napięć i prądów. Uzupełnieniem zestawu PQM-610 jest analizator jakości energii typu CA8334 podłączony do napięcia 3 x 300 V i obwodu wtórnego przekładnika prądowego PP 4000A/5A (rys. 3). Oba układy pomiarowe dedykowane są do analizy wpływu pracy samotoku na wewnętrzną sieć niskiego i średniego napięcia w kontekście generacji wyższych harmonicznych prądu. Na rys. 8 zaprezentowano przebiegi napięcia międzyfazowego zasilającego przekształtnik oraz prądu fazowego pobieranego przez napęd zespołu sekcji rolek samotoku wysadowego.

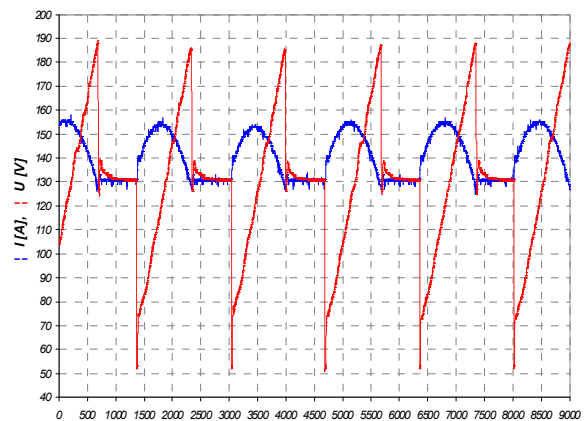


Rys. 8. Oscylogram napięcia i prądu zasilania przekształtnika DCS800

W trakcie prowadzenia prac rozruchowo-uruchomieniowych wykonano szereg pomiarów, a wśród nich taki, który ilustruje pracę poszczególnych tyrystorów mostka 2 x 6T. Pomiar ten dotyczy przedstawienia napięcia (przebieg czerwony) i prądu (przebieg niebieski) pobieranego

przez sześć tworników silników obcowzbudnych – rys. 9.

Zaprezentowany na rys. 9 oscylogram przedstawia głębokie obniżenie prędkości obrotowej silników do wartości 31 obr/min, co odpowiada napięciu na szynach DC przekształtnika 13 V. Pomiar napięcia i prądu obciążenia został zrealizowany dla stanu biegu jałowego silników, bez transportowanych słabów.



Rys. 9. Przebiegi napięcia i prądu wyjściowego przekształtnika DCS800 dla stanu jałowego [3]

4. Podsumowanie

Opisany układ napędowy został wdrożony w zmodernizowanej linii walcowniczej [3] i spełnia wszystkie wymagania technologiczne związane z procesem walcowania blach grubych.

Na fotografii (rys. 10) przedstawiono wnętrze części szafy wyposażonej w sześć obwodów FEX4 do zasilania wzbudzeń silników napędowych rolek samotoku.

Na podstawie przeprowadzonych badań wdrożeniowych można stwierdzić, że istnieje możliwość zasilania grupy silników obcowzbudnych prądu stałego z jednego rewersyjnego przekształtnika tyrystorowego wyposażonego w kilka niezależnych sterowników prądów wzbudzeń. Sterowniki te poprzez łącze DSL komunikują się z przekształtnikiem i dają możliwość korekcji poszczególnych prądów wzbudzenia, co zapewnia bardzo dobrą synchronizację prędkości zespołu silników samotoku wysadowego.



Rys. 10. Widok wnętrza szafy z obwodami FEX4

Układ charakteryzuje się dobrymi parametrami dynamicznymi. Zmiana kierunku transportu słabów (rys. 7) dla prawie 50% nastawy prędkości obrotowej następuje w czasie 1 sekundy, a dynamiczny impuls prądu w czasie rewersu osiąga pięciokrotną wartość prądu ustalonego. Oprogramowanie DriveWindow stanowi nowoczesne narzędzie wspomagające aplikacje oraz ułatwiające realizację zadań związanych z procesem rozruchowym układów napędowych typu DCS i ACS.

5. Literatura

- [1]. Gała M., Rak J., Kępiński M., Jagieła K.: *Zastosowanie oprogramowania Drive Window w procesie diagnozowania stanów pracy układów napędowych AC i DC*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne Nr 82/2009, BOBRME Katowice, V-2009, s. 33-38 (ISSN 0239-3646).
- [2]. Jagieła K.: *Model układu napędowego hutniczego samotoku wysadowego*. Przegląd Elektrotechniczny R.LXXIX Nr 6/2003 s. 448-452.
- [3]. Jagieła K.: *Projekt remontu zasilania i sterowania napędów samotoków S215 i S216 z wykorzystaniem przekształtników DCS800 Dokumentacja projektowa powykonawcza*. Raport Nr T3/43/184/11/ZUPW. Częstochowa 05.2012 (oprac. niepublikowane ZUPW K. Jagieła).
- [4]. Jagieła K., Gała M.: *Napęd przemiennikowy śrub nastawczych walców klatki pionowej z wykorzysta-*

niem sterowania MASTER – FOLLOWER. Materiały IX Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Nowe Technologie i Osiągnięcia w Metalurgii i Inżynierii Materiałowej”, Komitet Metalurgii PAN, Wydział Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2008, Tom 1, s. 146-149, (ISBN 978-83-7193-334-9, ISSN 1234-9895).

[5]. Multifex motor control for roller tables DCS800 Drives (20 to 5200A) ABB Automation Products. Germany, 05-2008.

[6]. Podręcznik programowania. Napędy DCS 800 (20 do 5200 A) ABB.