

**Janusz Flaszka**

Politechnika Częstochowska, Częstochowa

## **STANY DYNAMICZNE W RZECZYWISTYM SAMOTOKOWYM UKŁADZIE ELEKTROMASZYNOWYM /SUE/ Z SILNIKIEM Sg 132 M-6B-S ZASILANYM Z ACS 600 LUB SIECI 3X380 V**

### **DYNAMIC STATES IN REAL ROLLER TABLE ARRANGEMENT ELECTROMECHANICAL /RTAE/ WITH ENGINE Sg 132 M -6B- S POWER SUPPLY FROM ACS 600 OR 3X380 V**

**Abstract:** Article introduces dynamic states in RTAE of type 2SM-HCS for choose burden of roller tables of transporting line. Analysis is accomplished with of system for power supply as well as from converter of frequency.

#### **1. Wstęp**

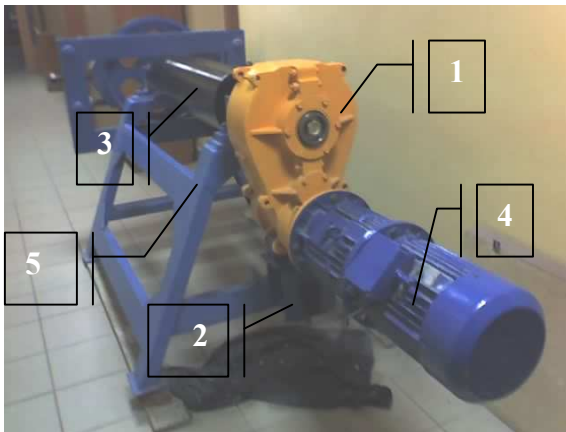
Od momentu, kiedy pojawiły się maszyny i urządzenia składające się na EUN-elektromaszynowe układy napędowe istnieją problemy przy doborze właściwego napędu. Nie zawsze pierwszy wybór jest wyborem trafnym. Dużą część czasu pochłania odpowiednie wyszukiwanie drogi doboru właściwego napędu oparte o zaawansowane techniki informatyczne, które to pozwalają dokonać symulacji badanego modelu odzwierciedlając go z bardzo dokładnym przybliżeniem.

#### **2. Podstawy dokonania wyboru rodzaju napędu i sposobów sterowania, a możliwości obniżenia energochłonności**

Jeżeli napęd projektowany ma pracować przy stałej prędkości, to za najbardziej istotne należy uważać zastosowanie silników asynchronicznych klatkowych bądź pierścieniowych lub synchronicznych o mocy ponad 100 kW. Przede wszystkim należy tutaj wymienić prostotę ich budowy, szczególnie silników asynchronicznych klatkowych, niewielki koszt, łatwą obsługę oraz możliwość bezpośredniego włączania do sieci energetycznych niskiego lub wysokiego napięcia. O wyborze między silnikami napędowymi decyduje rachunek ekonomiczny oparty na wartości kosztów zakładowych i eksploatacyjnych oraz rozruch, hamowanie bądź nawrót układu. Zwykle instalowane maszyny oraz urządzenia w zakładach przemysłowych napędzane silnikami elektrycznymi były dobierane z reguły na prognozowanie, maksymalne potrzeby tych zakładów. Były one dobierane bez możliwości ekonomicznej regu-

lacji wydajności tych maszyn. W maszynach przemysłowych potrzebne ze względów technologicznych zmiany wydajności uzyskiwane są zwykle przez dławienie zaworami bądź przez obiegi zwrotne. Silnik klatkowy, który napędza to urządzenie pracuje nadal przy tej samej prędkości obrotowej oraz pełnej mocy znamionowej, co wiąże się z dużymi stratami energii. Znaczne oszczędności energii są do wyzyskania poprzez regulację wydajności tych maszyn drogą zmiany prędkości obrotowej silników napędzających. Jednakże wiąże się to z dużymi kosztami inwestycyjnymi [1]. Modernizacja EUN w oparciu o silniki energooszczędne z możliwością precyzyjnego sterowania prócz efektów ekonomicznych daje możliwość korzyści środowiskowych. Mianowicie nowoczesne silniki mają znacznie niższy poziom hałasu – zwykle nie przekraczający 85 dB/A, podczas gdy poziom starych maszyn przekracza 100 dB/A. Ważne jest również zmniejszenie zużycia energii elektrycznej. Opracowanie poprawnego układu napędowego stanowi początek serii zadań, do czego niezbędna jest głęboka wiedza techniczna oraz know-how. W oparciu o dane techniczne potrzebnego napędu, jak moc czy moment obrotowy, inżynier ustala, który silnik, przekładnia czy regulator napędu nadaje się do tego celu. Ponadto należy ustalić, jakie dodatkowe wyposażenie (filtry, chopper hamujący, moduł komunikacji, etc.) będzie w tym przypadku istotne. Te elementy napędu muszą wzajemnie zostać dobrane w ten sposób, aby móc zaproponować użytkownikowi jak najlepszy system napędowy. Wykorzystanie

komponentów w oparciu o możliwość symulacji komputerowej tworzących napęd oraz ważne dane techniczne pozwalają określić, czy wybrane rozwiązanie jest optymalne, [2]. Dotychczas najprostsze wyliczenia wykonywano ręcznie. Powtarzalne procesy można było uprościć przy pomocy programów komputerowych. Z katalogów można było dobrać znajdujące się w sprzedaży produkty, a prawidłowość doboru sprawdzić dopiero w praktyce dzięki odpowiednim sprawozdaniom z użytkowania produktu. Ręczny dobór systemu napędowego na potrzeby użytkownika na ogół zajmuje bardzo dużo czasu, a w przypadku większych zadań - możliwe jest wystąpienie błędów.



Rys. 2.1. Wersja pionowa motoreduktora typu 2SM-HCS z indukcyjnym silnikiem samotokowym o zwiększonym momencie rozruchowym, gdzie: 1 – motoreduktor; 2 – gniazdo, 3 – rolka samotoku, 4 – silnik as., 5 – podpora, [3]

W oparciu o rzeczywisty układ z rys. 2.1 został opracowany model matematyczny uwzględniający niezbędną kinematykę, pozwalającą na otrzymanie przewidywanych przebiegów dynamicznych badanego układu, [3].

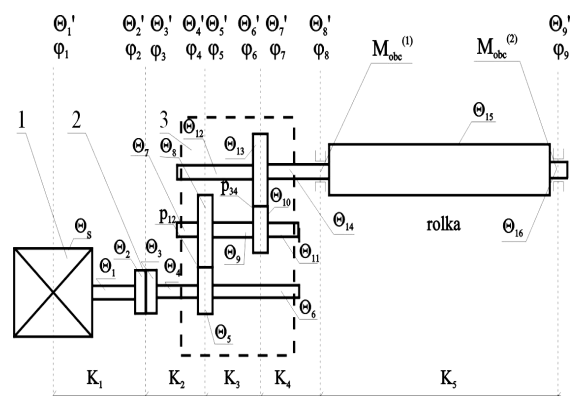
#### 4. Analiza matematyczna. Adaptacja modelu do równań wyjściowych

Sformułowanie równań indukcyjnego silnika samotokowego przeprowadzono w oparciu o definicję wektorów przestrzennych [4], [5], [6], natomiast model silnik-reduktor opracowano w oparciu o [7] schemat kinematyczny rzeczywistego układu silnik – reduktor przedstawia rys. 4.1. Adaptacja modeli matematycznych określonych odpowiednimi zależnościami [8] ma na celu uzyskanie układu równań do symulacji obliczeniowej, w których są pogrupowane wielkości i parametry umożliwiające realizację analizy obliczeniowej. Symulację obliczeniową

przeprowadzono dla układu zasilania sztywnego 3x380 V, 50 Hz, rys. 4.10, jak i zasilania z przemiennika częstotliwości ACS 600, rys. 4.11 i następujących danych konstrukcyjnych układu rolki:

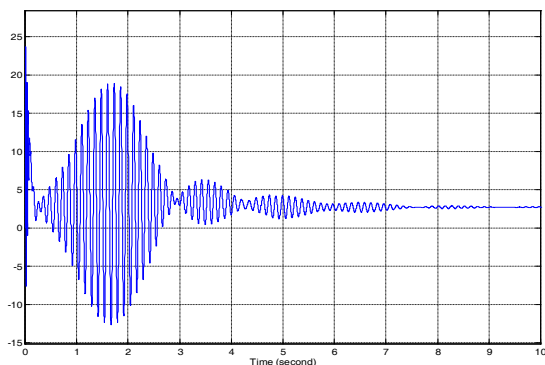
- długość rolki,  $l_r = 1500$  mm
- średnica rolki  $d_r = 260$  mm
- średnica wału rolki  $d_w = 120$  mm
- długość czopu wału rolki  $l_c = 250$  mm
- przełożenie całkowite  $p_r = 24$

Zakres obliczeń obejmował przypadki obliczeniowe dla układów statycznie wyznaczalnych, [8]. Dane do przypadków obliczeniowych wzięto z opracowań prac naukowo-badawczych realizowanych przez Zakład Maszyn i Napędów Elektrycznych Wydziału Elektrycznego w Politechnice Częstochowskiej z zakresu analizy pracy samotokowych linii transportowych [9], [10], [11].

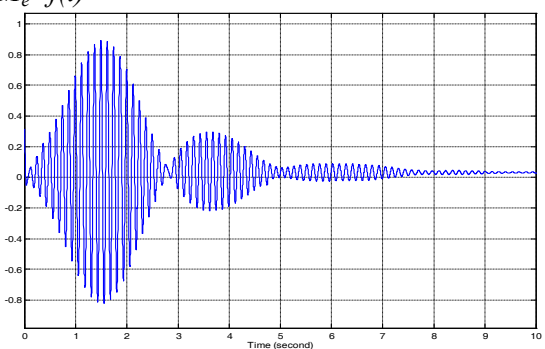


Rys. 4.1. Schemat kinematyczny rzeczywistego układu motoreduktorowego napędu rolki samotoku hutniczego, gdzie: 1 - indukcyjny silnik samotokowy, 2 - sprzęgło, 3 - reduktor zębaty, 4 - rolka transportowa [7].

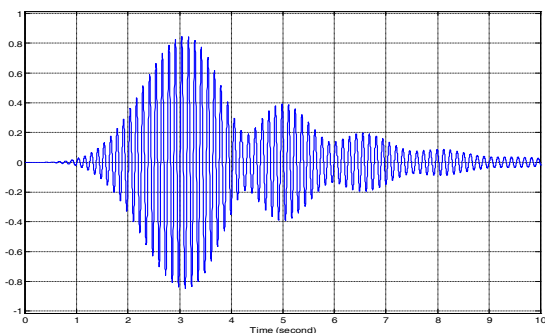
Na podstawie założonych danych dokonano symulacji komputerowej w MATLAB/SIMULINK i otrzymano odpowiednie charakterystyki odpowiednio dla zasilania z sieci, rys. 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 oraz z przemiennika częstotliwości ACS 600, rys. 4.6, 4.7, 4.8, 4.9.



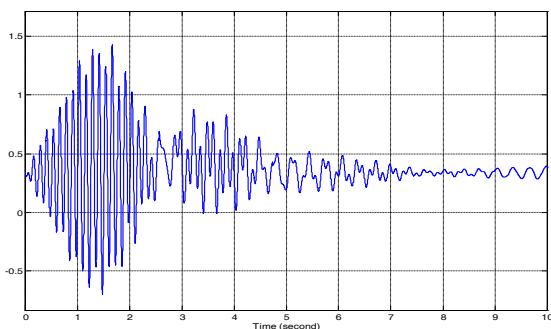
Rys.4.2. Przebieg momentu elektromagnetycznego w funkcji czasu dla zasilania z sieci,  $M_e=f(t)$



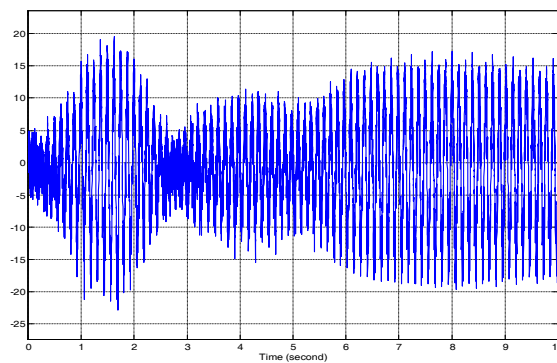
Rys.4.3. Przebieg momentu obciążenia w funkcji czasu dla zasilania z sieci,  $M_o=f(t)$



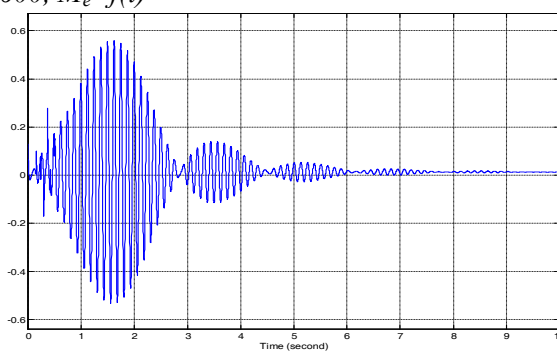
Rys.4.4. Przebieg prądu pod obciążeniem w funkcji czasu dla zasilania z sieci,  $I=f(t)$



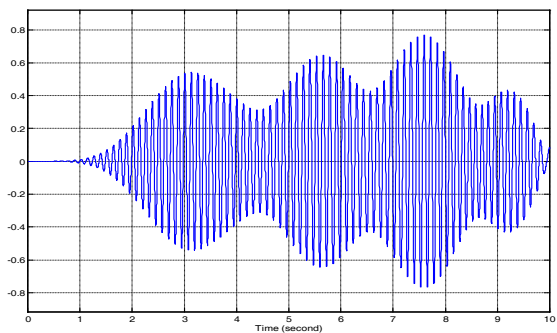
Rys.4.5. Przebieg reakcji obciążenia występującej na rolce w funkcji czasu dla zasilania z sieci,  $R_o=f(t)$



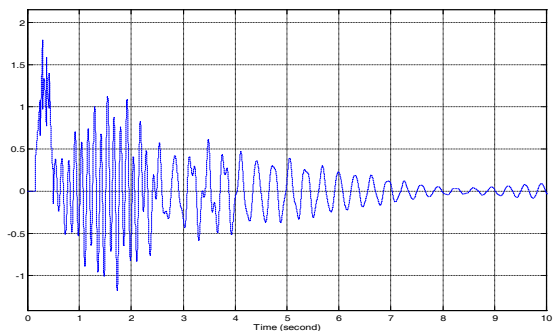
Rys.4.6. Przebieg momentu elektromagnetycznego w funkcji czasu dla zasilania z ACS 600,  $M_e=f(t)$



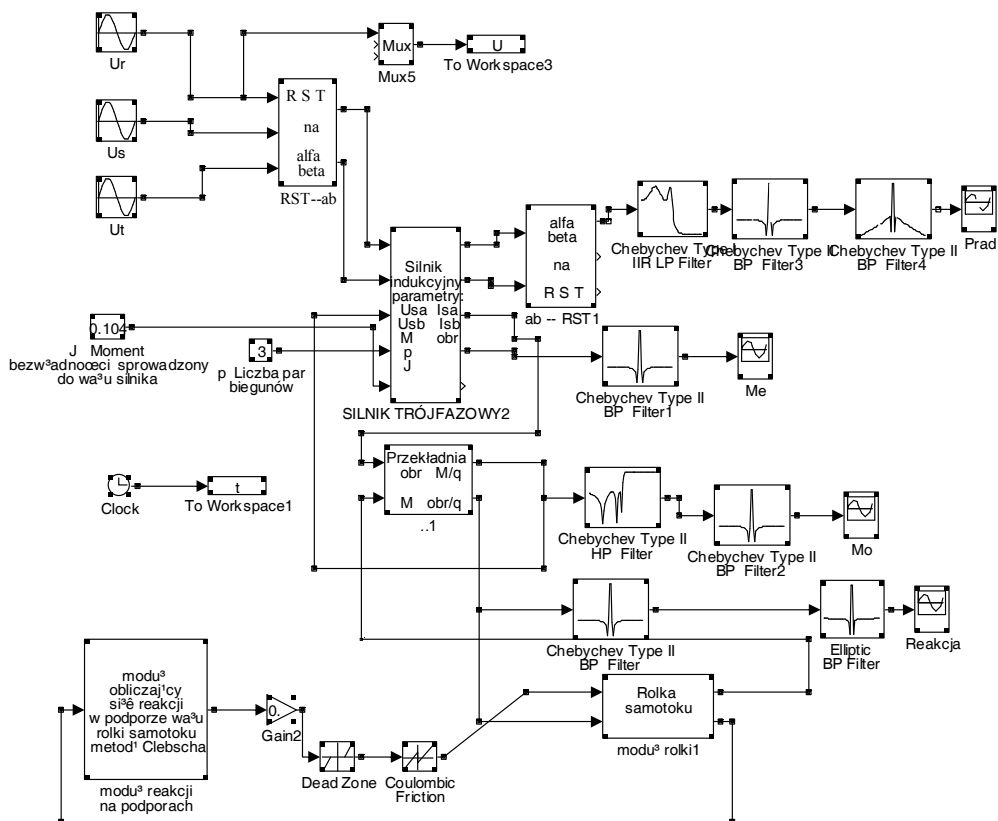
Rys.4.7. Przebieg momentu obciążenia w funkcji czasu dla zasilania z ACS 600,  $M_o=f(t)$



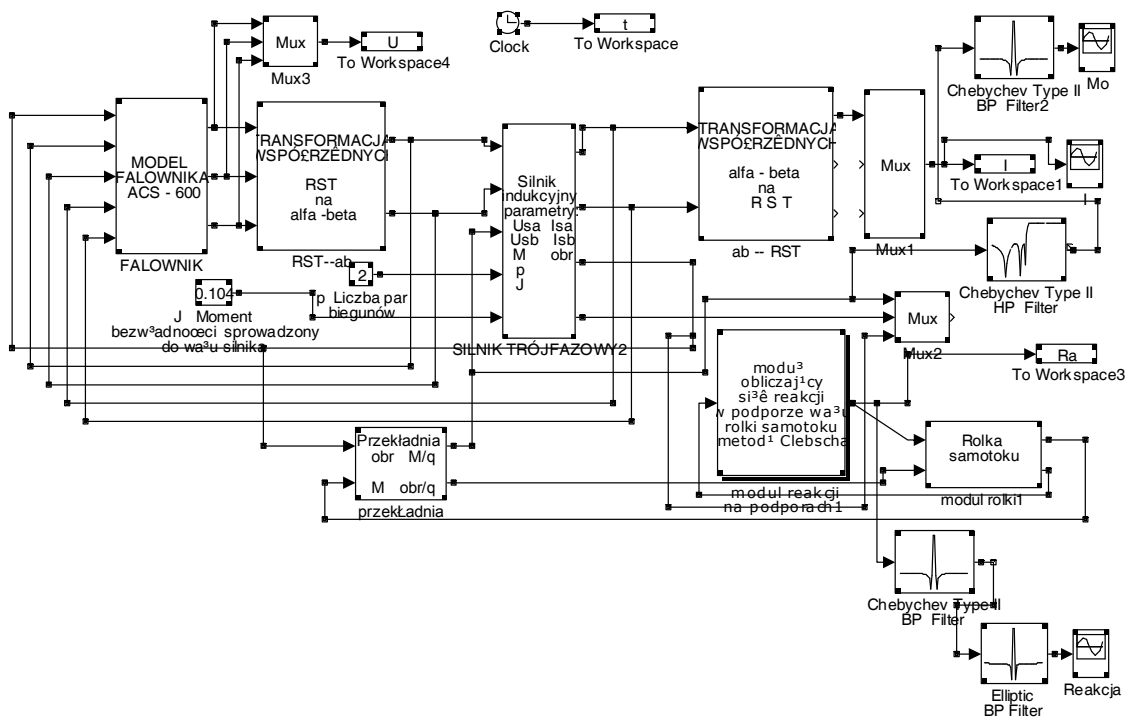
Rys.4.8. Przebieg prądu pod obciążeniem w funkcji czasu dla zasilania z ACS 600,  $I=f(t)$



Rys.4.9. Przebieg reakcji obciążenia występującej na rolce w funkcji czasu dla zasilania z ACS 600,  $R_o=f(t)$



Rys.4.10. Schemat symulacyjny rzeczywistego układu motoreduktorowego napędu rolki samotoku hutniczego zasilanego z sieci 3x380 [V], [8].



Rys.4.11. Schemat symulacyjny rzeczywistego układu motoreduktorowego napędu rolki samotoku hutniczego zasilanego z przemiennika częstotliwości ACS 600,[8]

## 5. Podsumowanie

Współczesna technika nadzoru procesów produkcyjnych jest na wysokim poziomie rozwoju, ta sytuacja wymusza procesy wsteczne ewoluujące do najnowszych zdobyczy naukowych. Każdy produkt finalny w dowolnej branży technicznej powinien cechować się wysoką jakością wykonania i powinien być pozbawiony, tzw. błędów „wieku dziecięcego”.

We współczesnych elektromaszynowych układach napędowych nie wystarczy odpowiednio dobrać silnik i przekładnię do wymaganego momentu obciążenia jak i wymaganej prędkości w cyklu technologicznym. Obecnie istnieje możliwość precyzyjnego zaprojektowania pojedynczego zespołu napędowego, jak i modułowego elektromaszynowego systemu napędowego od fazy początkowej. Kiedy to jest tworzona nowa linia produkcyjna, ale i w momencie wymiany – remontu starej linii produkcyjnej; można z bardzo dużą precyzją dokonać odpowiedniego doboru nowych układów napędowych opartych o najnowsze silniki energooszczędne serii SEE. Obecna wiedza inżynierska posiada znakomicie rozwinięte platformy wspomaganie projektowego, które pozwalają:

- zmniejszyć koszty produkcji;
- przeprowadzić diagnostykę w trybie on-line;
- dokonać w sposób ciągły bezingerencyjny korekty odpowiednich parametrów konstrukcyjnych i elektrycznych celem odpowiedniego doboru do zadanych parametrów sterowalnych na linii produkcyjnej wyposażonej w EUN;
- budować w trybie wirtualnym gotowe EUN;
- testować w pętli zamkniętej zadany produkt, celem wykrycia wad;
- selektywną zmianę poziomów projektowania z zapamiętaniem sekwencji poprzednich;
- na podstawie analizy pomiarowej układów wirtualnych proponować punkty pomiarowo – kontrolne celem zachowania wymaganej ciągłości procesu produkcyjnego.

Dzięki połączeniu wiedzy i doświadczenia inżynierskiego z algorytmami ewolucyjnymi na płaszczyźnie informatycznej są opracowane coraz to nowe programy wspomagające całościowy proces doboru odpowiedniego napędu do wymaganych zadań. Sądzę, że nowo powstające elektromaszynowe układy napędowe będą na tyle dopracowane i spełniające oczekiwania procesu przemysłowego na ile proces projektowy będzie ograniczony mocą oblicze-

niową jednostek komputerowych, a badania naukowe będą mogły być odwzorowywane w rzeczywistości. W oparciu o przeprowadzone obliczenia symulacyjne stanów dynamicznych samotokowego układu napędowego z motoreduktorami konstrukcji specjalnej przy uwzględnieniu rzeczywistych obciążeń można sformułować następujące wnioski końcowe:

przyjęty model matematyczny motoreduktorowego układu napędowego pozwala na przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych, przeprowadzone obliczenia symulacyjne stanów dynamicznych motoreduktorowego układu napędowego pozwalają na określenie charakterystyk obciążenia dla różnych układów linii samotokowych zależnych od modułu samotoku, uwzględniających wybrane przypadki obliczeniowe. Przedstawiona analiza symulacyjno-obliczeniowa nie wyczerpuje zagadnień związanych z wpływem stanów dynamicznych na pracę motoreduktorowych układów napędowych w warunkach rzeczywistych, niemniej pozwala na ich bardziej szczegółową analizę poprzez uwzględnienie przy projektowaniu, doboru lub analizie układu istniejącego wpływu drgań występujących w stanach dynamicznych, które w niektórych warunkach rzeczywistych są porównywalne czasowo ze stanami pracy ustalonej.

## 6. Literatura

- [1]. Bernatt J.: „Maszyny Elektryczne – zeszyty Problemowe”, Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn Elektrycznych Komel Katowice 2003
- [2]. Grabna E.: „Droga doboru właściwego napędu DRIVE SOLUTION DESINGER DSD”, praca magisterska Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, 2005r.
- [3]. Fłasza J.: *Rzeczywiste obciążenia samotokowego układu wraz z motoreduktorami*. II Krajowa Konferencja, Hutnicze Napędy Elektryczne, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny i Huta „Częstochowa”, Poraj k/Częstochowy, 8 - 9.12.'97.
- [4]. Kaźmierkowski M. P., Sulkowski W.: *Napęd z silnikiem klatkowym sterowanym metodą polową zorientowaną*. Przegląd Elektrotechniczny 1987, nr 6, s. 153-158.
- [5]. Kaźmierkowski M. P.: *Sterowanie polowo zorientowane czy regulacja bezpośrednia momentu silnika klatkowego*. Elektronizacja 1998, nr 2, s. 15-19.
- [6]. Kaźmierkowski M. P.: *Sterowanie wektorowe silników klatkowych zasilanych z falowników napięcia PWM*. Materiały Seminarium Naukowego Politechnika Warszawska, Warszawa 1998.

[7]. Lis M.: *Stany dynamiczne motoreduktorowego układu napędowego z silnikiem samotokowym*. Praca doktorska 2001.

[8]. Flaszka J.: *Stany dynamiczne samotokowego układu napędowego z motoreduktorami konstrukcji specjalnej przy uwzględnieniu rzeczywistych obciążeń*. Praca doktorska 2002.

[9]. Praca naukowo-badawcza nr rej. BZ-21-01/93/R, Projekt techniczny i wykonanie motoreduktorów układu napędowego samotoków linii COS Huty "CZĘSTOCHOWA", Opr. nr 01 - Projekt techniczny reduktora zębatego typ 2SM-325HCS-24/265 do napędu ciągu samotokowego COS/R22-R54 (opracowanie niepublikowane) Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroniki i Systemów Sterowania, Zakład Maszyn i Napędów Elektrycznych, Częstochowa, 1994.

[10]. Praca naukowo-badawcza nr rej. BZ-21-01/93/R, Projekt techniczny i wykonanie motoreduktorów układu napędowego samotoków linii COS Huty "CZĘSTOCHOWA", Opr. nr 02 - Projekt techniczny reduktora zębatego typ 2SM-325HCS-24/300 do napędu ciągu samotokowego COS/R1-R21, (opracowanie niepublikowane) Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroniki i Systemów Sterowania, Zakład Maszyn i Napędów Elektrycznych, Częstochowa, 1994.

[11]. Praca naukowo-badawcza nr rej. BZ-21-01/93/R, Projekt techniczny i wykonanie motoreduktorów układu napędowego samotoków linii COS Huty "CZĘSTOCHOWA", Opr. nr 03 - Projekt techniczny indukcyjnego silnika samotokowego typu Skg132-6B-S, 5.5 [kW], 1000 [obr/min] do napędu ciągu samotokowego COS/R22-R54, (opracowanie niepublikowane)

### **Autor**

Janusz FLASZA,  
Politechnika Częstochowska  
Wydział Elektryczny  
Al. Armii Krajowej 17,  
tel./fax.: (034) 3250 821  
e-mail: fje@el.pcz.czest.pl