

Janusz Flaszka

Politechnika Częstochowska, Częstochowa

## SAMOTOKOWY UKŁAD NAPĘDOWY Z MOTOREDUKTOREM TYPU 2SM – HCS I INDUKCYJNYM SILNIKIEM O ZWIĘKSZONYM MOMENCIE ROZRUCHOWYM – WYBRANE ZAGADNIENIA ANALIZY ANTYCYPACYJNEJ

### THE ROLLER TABLE WITH MOTOREDUCTER TYPE 2 SM – HCS AND INDUCTIVE ENGINE ABOUT BOOSTED START-UP MOMENT – CHOSEN QUESTIONS ANTICIPARE ANALYSIS

**Abstract:** Analysis of moments of burden of single roller table has performance of setting dependence in arrangement: motor - reducer - roller table. Dependence this have onto real detailed cycles for size of parameter A and m in roller table driving arrangement. Cycles of loads showing courses change of strengths of reaction in prop of rampart rolls and arrangement of forwarding element on rolls of forwarding line. Analysis of loads roller table gives basis to analytic delimitation of real moments of burdens, how special meaning has also for technique of protections and staminas calculations.

#### 1. Siła reakcji w podporze *i*-tego zespołu łożyska – wybrane zagadnienia

Analiza opracowań i publikacji z zakresu motoreduktorowych układów napędowych samotokowych hutniczych linii transportowych wykazała, że nie ma opracowań poświęconych analizie stanów, jakie zachodzą w motoreduktorowych układach napędowych. Zaproponowany model, zawiera rzeczywisty przebieg czasowy momentu lub momentów obciążenia z jednoczesną ich analizą. Momenty obciążenia motoreduktorowego układu napędowego samotokowej linii transportowej powstają w zespołach łożyskowych. Liczba momentów obciążenia rzeczywistego układu linii transportowej zależy od podwojonej ilości rolek, jakie obejmuje transportowany element.

Siła reakcji w podporze *i*-tego zespołu łożyskowego jest zależna od sił składowych w tej podporze i można ją ogólnie określić zależnością (1):

$$R_i = R(\mu_R, G_1, G_2, G_3), \quad (1)$$

gdzie:

$G_1$  - siła pochodząca od masy wału rolki,

$G_2$  - siła pochodząca od masy rolki,

$G_3$  - siła pochodząca od masy płata,

$\mu_R$  - współczynnik tarcia tocznego.

Siła tarcia czopu wału rolki *i*-tego zespołu łożyskowego jest zależna od sił reakcji w podporach i współczynnika tarcia mieszanego i można ją określić zależnością (2):

$$T_{wRi} = T(\mu_m, R_{Ai}, R_{Bi}), \quad (2)$$

gdzie:

$R_{Ai}$  - siła reakcji w podporze lewej *i*-tego wału,

$R_{Bi}$  - siła reakcji w podporze prawej *i*-tego wału,

$\mu_m$  - współczynnik tarcia mieszanego.

Siły składowe występujące w zależności (1) są proste do określenia dla wielkości  $G_1$ ,  $G_2$ , natomiast składowa  $G_3$  zależy od długości elementu transportowanego, rozstawu rolek samotokowych (modułu samotoku) i położenia elementu transportowanego w stosunku do rolek samotoku.

Dla dowolnego układu transportowego z *i*-tą liczbą rolek określenie składowej  $G_3$  jest:

- statycznie wyznaczalne dla  $i = 2$ ,
- statycznie niewyznaczalne dla  $i > 2$ .

#### 2. Momenty obciążenia *i*-tej rolki w samotokowym układzie napędowym

Rodzaje obciążeń samotokowych zostały opracowane w oparciu o prace naukowe – badawcze realizowane w przemyśle hutniczym przez Zakład Maszyn i Napędów Elektrycznych Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej [1], [3], [4], [5].

Uwzględniając rodzaje układów napędowych oraz momenty obciążenia [6] będące składowymi obciążeniami układu napędowego, opracowano klasyfikację obciążeń samotokowych linii

transportowych z uwzględnieniem następujących zagadnień:

- zależności długości elementu transportowanego od modułu samotoku,
- położenia elementu transportowanego w osi prostopadłej do kierunku transportu,
- jednorodności przekroju elementu transportowanego w osi prostopadłej do osi rolki układu transportowanego,
- jednorodności szerokości elementu transportowanego.

Interpretację symetrycznego lub niesymetrycznego obciążenia przyjęto w stosunku do reakcji w podporach rolki samotkowej linii transportowej zgodnie z zależnościami (3) i (4).

Warunek symetrycznego obciążenia rolki samotkowej linii transportowej dla ustalonej chwili czasu określa zależność (3):

$$\begin{aligned} R_{Ai} &= R_{Bi}, \\ R_{Ai} &= R_{Bi} = 0,5 \cdot G_{Ri}, \\ z &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Warunek niesymetrycznego obciążenia rolki samotkowej linii transportowej dla ustalonej chwili czasu określa zależność (4):

$$\begin{aligned} R_{Ai} &\neq R_{Bi}, \\ 0,5 \cdot l \cdot r_z < z < +0,5 \cdot l \cdot r_z. \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie  $l$   $r_z$  - umowna rozpiętość występowania sił reakcji w podporach tej rolki.

Moment obciążenia pojedynczej rolki posiada następujące składowe:

- moment tarcia w czopie wału rolki pochodzący od ciężaru wału rolki

$$M_1 = M(\mu_m, d_w, l_c, l_r) \quad (5)$$

gdzie:

- $\mu_m$  - współczynnik tarcia mieszane,
- $d_w$  - średnica czopa wału,
- $l_c$  - długość czopa wału,
- $l_r$  - długość robocza wału,
- moment tarcia w czopie wału rolki pochodzący od ciężaru rolki

$$M_2 = M(\mu_m, d_r, d_w, l_r) \quad (6)$$

gdzie:

- $d_r$  - średnica zewnętrzna rolki,
- moment tarcia w czopie wału rolki pochodzący od ciężaru elementu transportowanego

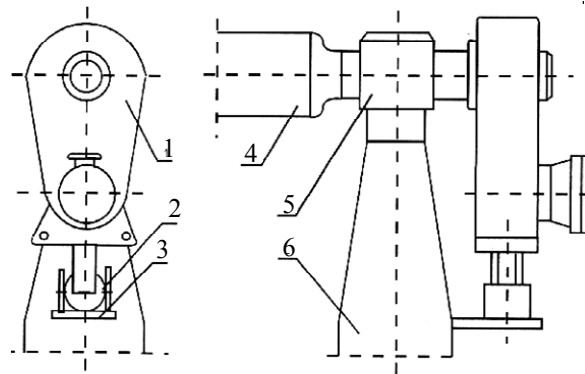
$$M_3 = M\left(\mu_m, \frac{A}{m}, B, C\right) \quad (7)$$

gdzie:

- $A$  - długość elementu transportowego,
- $m$  - moduł samotoku,
- $B$  - szerokość elementu transportowego (dla elementu symetrycznego),
- moment pochodzący od siły tarcia tocznego

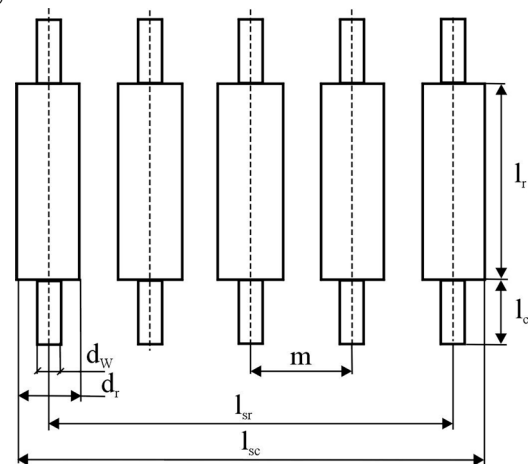
$$M_4 = M\left(\mu_R, \frac{A}{m}, B, C\right) \quad (8)$$

gdzie  $\mu_R$  - współczynnik tarcia tocznego. Przyjęcie tak sformułowanych zagadnień oraz opracowanie modelu matematycznego zawierającego rzeczywisty moment obciążenia, pozwoliło na dokonanie analizy obliczeniowej obejmującej symulację stanów dynamicznych z obciążeniem rzeczywistym w układzie przedstawionym na rysunku 1.



Rys. 1. Wersja pionowa motoreduktora typu 2SM – HCS z indukcyjnym silnikiem samotkowym o zwiększonym momencie rozruchowym, gdzie: 1 – motoreduktor, 2 – rolka oporowa, 3 – gniazdo, 4 – rolka samotoku, 5 – łożysko rolki samotoku, 6 – podpora. [3], [4]

Podstawowe wielkości konstrukcyjne samotkowej linii transportowej przedstawione są na rysunku 2.



Rys. 2. Podstawowe wielkości konstrukcyjne samotkowej linii transportowej. [6], [7], [8]

Wielkości konstrukcyjne przedstawione na rysunku 2 oznaczają odpowiednio:

- $m$  - moduł samotoku,
- $d_r$  - średnica zewnętrzna rolki,
- $d_w$  - średnica czopa wału rolki,
- $l_{sr}$  - długość robocza samotoku,
- $l_{sc}$  - długość całkowita samotoku,
- $k$  - ilość rolek samotoku,
- $l_c$  - długość czopa wału rolki,
- $l_r$  - długość robocza rolki.

Długość roboczą samotokowej linii transportowej określa zależność (9):

$$l_{sr} = m \cdot k \quad (9)$$

Konstrukcyjną długość całkowitą samotokowej linii transportowej określa zależność (10):

$$l_{sc} = m \cdot k + d_r \quad (10)$$

### 3. Analiza symulacyjna

Symulację obliczeniową dla przypadku określonego jako obciążenie rzeczywiste symetryczne [6], przeprowadzono dla układu zasilania sztywnego 3 x 380 V, 50 Hz i następujących danych konstrukcyjnych układu napędowego przedstawionego schematem kinematycznym na rysunku 3:

- 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 -  $p_r = 24$

Dane do przypadków obliczeniowych wzięto z opracowań prac naukowo – badawczych realizowanych przez Zakład Maszyn i Napędów Elektrycznych z zakresu analizy pracy samotokowych linii transportowych [1], [3], [4], [5], [6].

Wielkość elementu transportowanego ( $A$  – długość,  $B$  – szerokość,  $C$  – wysokość) odnoszono wskaźnikowo do wielkości konstrukcyjnych rolki samotokowej ( $l_r$  – długość rolki,  $d_r$  – średnica rolki).

W niniejszym artykule przedstawione zostały dwa, z kilku przypadków opracowanych w Zakładzie Maszyn i Napędów Elektrycznych Politechniki Częstochowskiej:

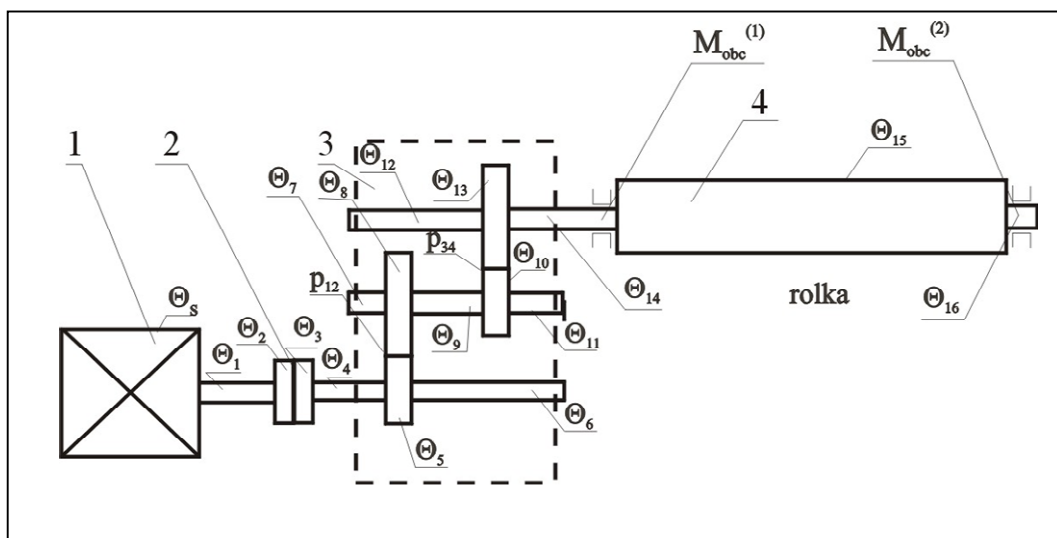
- Przypadek P1/SN

$$\begin{aligned} i &= 3 & m_1 &= m_4 = 0,25 m \\ A &= 2,5 m & m_2 &= m_3 = m \\ B &= 0,6 l_r \\ C &= 0,3 d_r & m &= 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

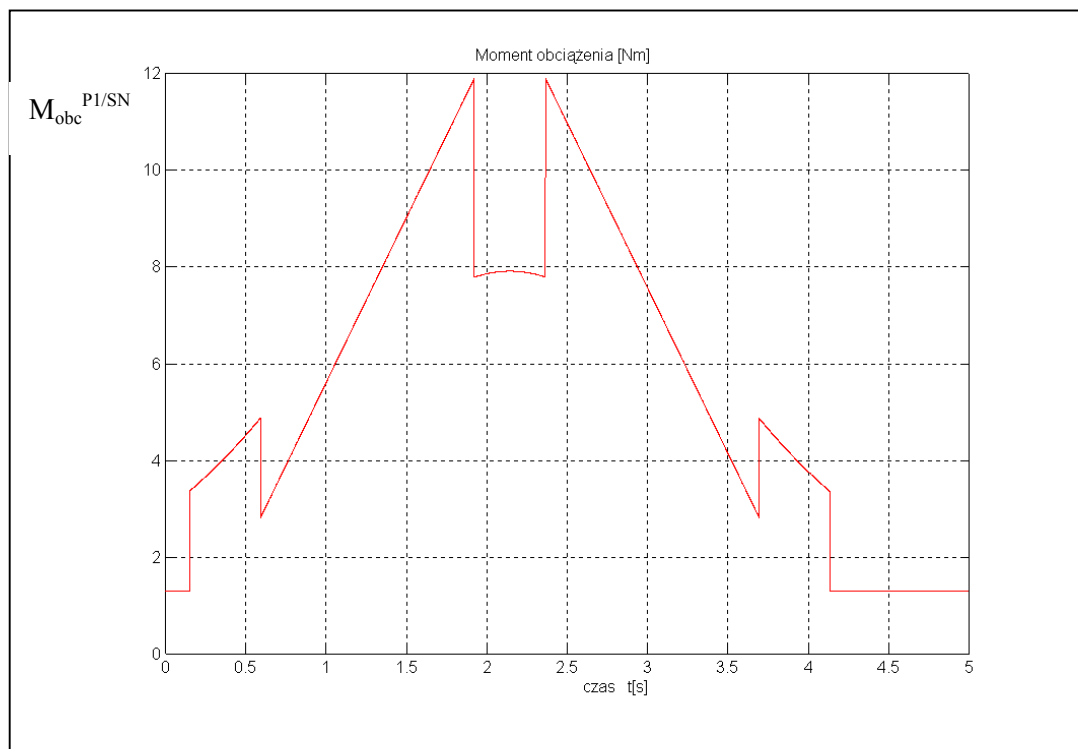
Obliczenia symulacyjne zostały przeprowadzone dla schematu kinematycznego przedstawionego na rysunku 3. Zamieszczono tylko wybrane przebiegi otrzymane z przeprowadzonej symulacji.

Wykres momentu obciążenia dla przypadku P1/SN przedstawiono na rysunku 4.

Przypadek P1/SN obrazuje rzeczywiste obciążenie samotokowej linii transportowej prostokątnym słabem obejmującym średnio trzy rolki linii transportowej umiejscowione symetrycznie.



Rys. 3. Schemat kinematyczny rzeczywistego układu motoreduktorowego napędu rolki samotoku hutniczego, oznaczenia: 1 - indukcyjny silnik samotokowy, 2 - sprzęgło, 3 - reduktor zębaty, 4 - rolka transportowa [10]

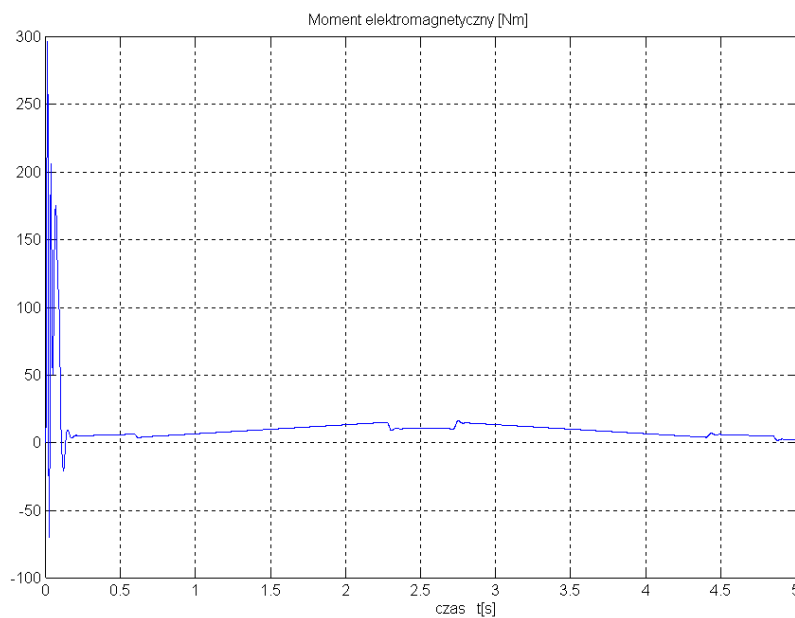


Rys. 4. Przebieg obciążenia dla przypadku P1/SN [6]

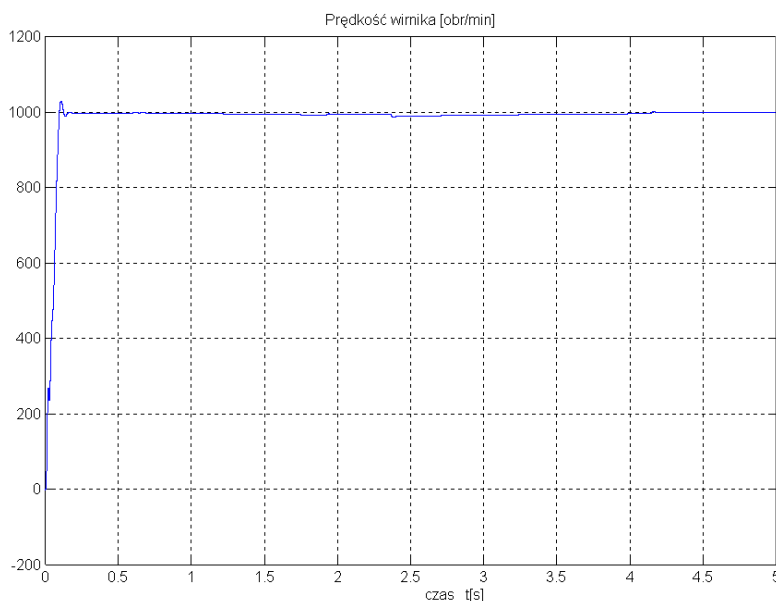
- Przypadek P1/SW

Przebiegi czasowe stanów dynamicznych  $M_e = M(t)$ ,  $I = I(t)$ ,  $n = n(t)$  rozruchu pod obciąże-

niem dla przypadku P1/SW przedstawiono odpowiednio na rysunkach 5, 6.



Rys. 5. Przebieg czasowy momentu elektromagnetycznego silnika  $M_e = M(t)$  dla przypadku P1/SW, [6]



Rys. 6. Przebieg czasowy prędkości obrotowej silnika  $n = n(t)$  dla przypadku P1/SW, [6]

#### 4. Wnioski

W oparciu o przeprowadzone obliczenia symulacyjne stanów dynamicznych samotokowego układu napędowego z motoreduktorami konstrukcji specjalnej przy uwzględnieniu rzeczywistych obciążeń można sformułować następujące wnioski końcowe:

- przeprowadzone obliczenia symulacyjne stanów dynamicznych motoreduktorowego układu napędowego pozwalają na określenie charakterystyk obciążenia  $M_{obc}^{(P1)}$  dla różnych układów linii samotokowych zależnych od modułu samotoku, uwzględniających przypadki obliczeniowe, np.: P1/SN, P1/SW.;
- dotychczasowe określanie momentów obciążenia układów elektromaszynowych sprawdzane było do przyjmowania momentów obciążenia wskaźnikowo w stosunku do momentu znamionowego silnika układu napędowego.

Analityczne określenie momentu w oparciu o dokonaną w pracy analizę obciążeń pozwoli na wprowadzenie do modelu matematycznego rzeczywistego przebiegu obciążenia zastępując wskaźnikowe określanie obciążenia. Analityczne określenie momentu obciążenia ma również szczególne znaczenie dla techniki zabezpieczeń i obliczeń wytrzymałościowych, a na jej podstawie można dokonać określeń dla przemysłowego układu napędowego parametrów granicznych, niezbędnych przy wykonywaniu prac

projektowych z uwzględnieniem stanów dynamicznych.

Przedstawiona analiza 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.

#### 5. Literatura

- [1] Rusek A., Roman A., Gąsiorowski A., Lis M.: *Impedancja prętów wirnika silnika samotokowego typu SSP/7,5-1000 dla różnych materiałów pręta*, VIII Sympozjum Środowiskowe Zastosowanie Elektromagnetyzmu w Nowoczesnych Technikach i Technologiach, Węgierska Górka 17-20 maja 1998 ss. 51-52
- [2] Siuta W.: *Mechanika teoretyczna*. ISBN 83-02-00728-5
- [3] 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
- [4] 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 tech-*

*niczny 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

[5] Praca naukowo-badawcza nr rej. BZ-21-9/90/S. *Opracowanie koncepcji modernizacji zespołu napędowego linii samotkowej wykańczalni gorącej i zimnej* Opr. nr 02 - *Projekt techniczny reduktora zębatego typ 2SM-325-HC* (wersja pionowa); (opracowanie niepublikowane) Politechnika Częstochowska, Instytut Elektrotechniki Przemysłowej, Zakład Maszyn i Napędów Elektrycznych, Częstochowa, 1991

[6] Flasza J.: *Stany dynamiczne samotkowego układu napędowego z motoreduktorami konstrukcji specjalnej przy uwzględnieniu rzeczywistych obciążeń*. Praca doktorska, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, X.2002, praca wykonana w ramach projektu badawczego finansowanego przez KBN umową nr 1304/T10/99/16

[7] Rusek A., Roman A., Lis M.: *Wybrane zagadnienia technologii wykonania prototypowych indukcyjnych silników samotkowych o zwiększonym momencie rozruchowym typu SSP/5.5-1000,*

*SSP/7.5-1000*. I Ogólnopolska Konferencja Naukowa Postępy w Elektrotechnice Stosowanej, Zakopane, 1997, ss. 43-50

[6] Rusek A., Roman A., Lis M., Flasza J.: *Rezystancja i reaktancja prądów wirnika indukcyjnego silnika samotkowego*. Seminarium Naukowo-Techniczne Elektrotechnika Hutnicza, Częstochowa 1994, ss. 28-40

[9] Rusek A., Roman A., Lis M., Flasza J.: *Symulacja komputerowa pracy silnika indukcyjnego typu SSP zasilanego z falownika napięcia sterowanego w oparciu o metodę DTC*, II Krajowa Konferencja Hutnicze Napędy Elektryczne, Częstochowa-Poraj 8 - 9.12.1997, ss. 80 - 85

[10] Kosmol J.: *Serwonapędy obrabiarek sterowanych numerycznie*. WNT 1998. ISBN 83-204-2281-7

### **Autor**

Dr inż. Janusz Flasza,

e-mail: [fje@el.pcz.czest.pl](mailto:fje@el.pcz.czest.pl)

Politechnika Częstochowska,

Wydział Elektryczny,

Instytut Elektrotechniki Przemysłowej,

42-200 Częstochowa, ul. Dąbrowskiego 69

tel./fax.: 034 3250821