

## ANALIZA OBLICZENIOWA MODELU DYNAMICZNEGO SUM – SAMOTOKOWEGO UKŁADU NAPĘDOWEGO W OPARCIU O METODY NUMERYCZNE PAKIETU MATLAB/SIMULINK

### A COMPUTATIONAL ANALYSIS OF DYNAMIC SUM MODEL-ROLLER TABLE OF DRIVING SYSTEM BASED ON NUMERIC METHODS FROM MATLAB/SIMULINK PACKAGE

**Abstract:** This article presents adaptation of mathematical model in a view of real, asymmetrical load that occurs in roller table line. Present descriptions of load torque of electromechanical systems were equivalent to the usage of load torque as their indicators to nominal torque of driving engine. The analytical description of torque, based on my analysis of load, would allow the introduction of mathematical, real course model of the load substituting those of indicators. On the basis of conducted research of simulated dynamical states by means of MATLAB/SIMULINK program, I received courses of equivalent parameters having direct influence on the complete load in a system that occurs in a single table roller, in a set of rollers or in a driving system. This article shows only selected courses of electromechanical driving system because of very extensive mathematical and IT methods necessary to conduct an anticipatory analysis.

#### 1. Wstęp

Analiza stanów dynamicznych układów elektromechanicznych sprowadza się do rozwiązania następujących zagadnień:

- określenie schematu kinematycznego układu elektromechanicznego,
- sformułowanie modelu matematycznego części elektrycznej i części mechanicznej układu,
- identyfikacja parametrów układu elektromechanicznego po stronie elektrycznej i mechanicznej,
- określenie zewnętrznych obciążeń,
- wykonanie obliczeń symulacyjnych stanów dynamicznych zgodnie z przyjętym zakresem,
- weryfikacja pomiarowa wyników obliczeń symulacyjnych na modelu rzeczywistym (stanowisko badawcze, układ przemysłowy), [1].

Taki sposób analizy stanów dynamicznych jest stosowany do układów elektromechanicznych [2], [3], [4] zawierających elementy wyposażenia samotokowych hutniczych linii transportowych. Motoreduktorowe układy napędowe hutniczych linii transportowych z uwagi na specyficzne warunki pracy muszą spełniać specjalne wymogi. Do wymogów tych należą m. in.:

- silnik napędowy o zwiększonym momencie rozruchowym,
- reduktor zębaty o specjalnej konstrukcji,

- układ transportowy dostosowany do wymogów technologicznych pracy linii transportowej.

#### 2. Analiza czasowa

Analiza czasowa położenia elementu transportowanego na rolkach samotoku pozwala na określenie przebiegu momentu obciążeniowego w czasie, zależnego bezpośrednio od składowych siły reakcji w *i*-tej rolce, przy czym rozpatrywanie położenia płyta w osi prostopadłej do kierunku transportu umożliwia określenie symetrii sił reakcji w *i*-tej rolce.

W ogólnym przypadku określenie rzeczywistego momentu obciążenia *i*-tej rolki samotokowej linii transportowej sprowadza się do wyznaczenia zależności (2.1), [1]:

$$M_{oi}^{(A)}(t) = M(T_{wRi}), \quad M_{oi}^{(B)}(t) = M(T_{wRi}), \quad (2.1)$$

gdzie:  $M_{oi}^{(A)}(t)$  - moment obciążenia w lewym łożysku *i*-tej rolki,  $M_{oi}^{(B)}(t)$  - moment obciążenia w prawym łożysku *i*-tej rolki.

Analizując zależność (2.1) można określić warunek obciążenia *i*-tej rolki:

- obciążenie symetryczne

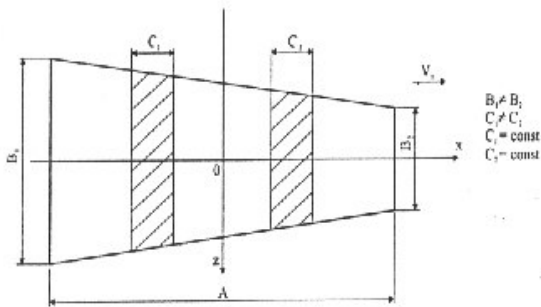
$$M_{oi}^{(A)}(t) = M_{oi}^{(B)}(t), \quad (2.2)$$

- obciążenie niesymetryczne

$$M_{oi}^{(A)}(t) \neq M_{oi}^{(B)}(t). \quad (2.3)$$



Analizując zagadnienie wpływu siły uderu na całkowity moment obciążenia w rolce  $i+1$  można przyjąć w uproszczeniu, że siła uderu  $G_u$  nie ma wpływu na całkowity moment obciążenia, a jedynie wpływa na mocowanie zespołu łożyskowego rolki z podporą. Analiza pracy stabilnej samotkowej linii transportowej sprowadza się do analizy położenia punktu  $R_{i+1}$  z rys. 2.1. Punkt  $R_{i+1}$  można traktować jako punkt umiejscowienia siły pochodzącej od ciężaru elementu transportowanego przy założeniu sprowadzenia płyta transportowanego do wielkości skupionej. W ogólnym przypadku sprowadzając element transportowy do płyta można go przedstawić jako bryłę o sześciu płaszczyznach. Przyjmując założenie jednowymiarowości w osi  $Ox$  element transportowy przyjęty do dalszej analizy przedstawiono na rys. 2.3

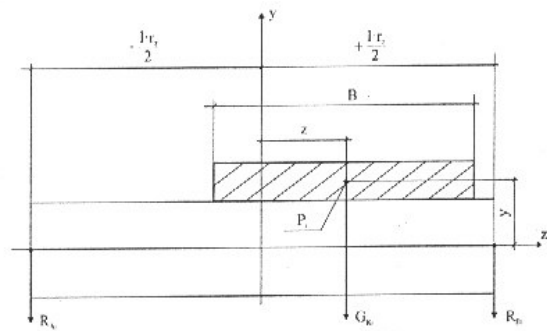


Rys. 2.3. Element transportowany z przyjętymi założeniami upraszczającymi, [1].

Do analizy obciążenia przyjęto następujące założenia:

- linia transportowa pracuje w obszarze pracy stabilnej (warunek zgodnie z zależnością 2.4),
- obciążenie linii jednorodne,
- element transportowany posiada kształt i wymiary zgodnie z rys. 2.3.

Dla tak przyjętych założeń można określić warunek symetrycznego i niesymetrycznego obciążenia rolki samotkowej linii transportowej pochodzącego od elementu transportowanego. Ilustrację graficzną określenia warunku symetrycznego i niesymetrycznego obciążenia rolki samotkowej linii transportowej przedstawiono na rys. 2.4.



Rys. 2.4. Ilustracja graficzna określenia warunku symetrycznego i niesymetrycznego obciążenia rolki samotkowej linii transportowej, [1].

Warunek symetrycznego obciążenia rolki samotkowej linii transportowej dla ustalonej chwili czasu określa zależność (2.5):

$$\begin{aligned} R_{Ai} &= R_{Bi}, \\ R_{Ai} &= R_{Bi} = 0,5 \cdot G_{Ri}, \\ z &= 0, \end{aligned} \quad (2.5)$$

Warunek niesymetrycznego obciążenia rolki samotkowej linii transportowej dla ustalonej chwili czasu określa zależność (2.6):

$$\begin{aligned} R_{Ai} &\neq R_{Bi}, \\ -0,5 \cdot l \cdot r_z &< z < +0,5 \cdot l \cdot r_z. \end{aligned} \quad (2.6)$$

### 3. Analiza symulacyjna. Zakres obliczeń

Symulację obliczeniową dla przypadków określonych jako statycznie wyznaczalne oraz statycznie niewyznaczalne przeprowadziłem w programie MATLAB/SIMULINK, [8] dla układu zasilania sztywnego 3x380[V], 50[Hz] oraz następujących danych konstrukcyjnych rolki samotoku:

- 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 uzyskałem z opracowań prac naukowo-badawczych realizowanych przez Zakład Maszyn i Napędów Elektrycznych z zakresu analizy pracy samotkowych linii transportowych [5], [6], [7].

Dla układów statycznie wyznaczalnych długość elementu transportowanego, uwzględniając przyjęte założenia przy wyznaczaniu sił w tych układach jest równa modułowi samotkowej linii transportowej zgodnie z zależnością (2.7):

$$A_i = m_i \quad (2.7)$$

gdzie:  $A_i$  - długość elementu transportowanego dla układu statycznie wyznaczalnego,  $m_i$  - moduł samotoku.

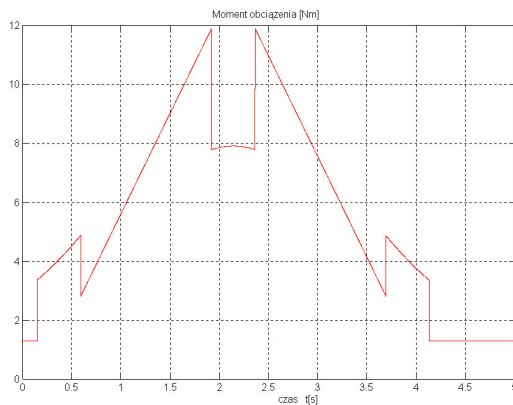
Dla układów statycznie niewyznaczalnych długość elementu transportowanego jest każdorazowo określana poprzez współczynnik  $a_i$  określający obejmowanie elementem transportowanym zakładanej ilości rolek samotokowej linii transportowej zgodnie z zależnością (2.8):

$$A_i' = a_i m_i \quad (2.8)$$

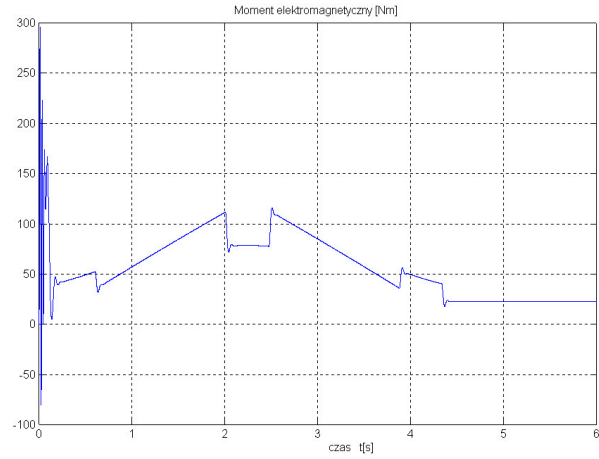
gdzie:  $A_i'$  - długość elementu transportowanego dla układu statycznie niewyznaczalnego,  $a_i$  - współczynnik.

W niniejszym artykule pragnęłam przybliżyć stany dynamiczne w (SUM) samotokowym układzie napędowym dlatego też wybrałem jeden z szeroko omawianych przypadków w [1]. Zasymulowany stan pracy to stan dynamiczny - rozruchu pod obciążeniem z obciążeniem rzeczywistym symetrycznym dla przypadku statycznie niewyznaczalnego P1/SN. Dla wybranego przypadku P1/SN przedstawiam uzyskane przebiegi czasowe  $M_e = M(t)$ , rys.3.2,  $I = I(t)$ , rys. 3.3,  $n = n(t)$ , rys. 3.4 następujących stanów dynamicznych wymuszonych odpowiednim momentem obciążenia  $M_{obc}^{P1/SN}$  z rys. 3.1. Przypadek P1/SN charakteryzuje się następującymi założonymi parametrami:

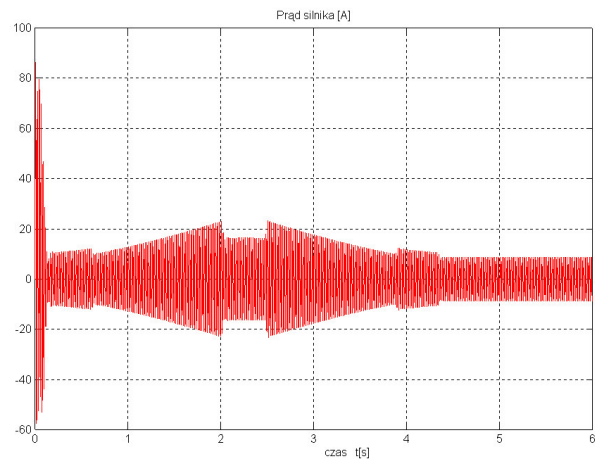
$$\begin{aligned} i &= 3 \\ m_1 &= m_4 = 0,25[m] \\ A &= 2,5[m] \\ m_2 &= m_3 = m \\ B &= 0,6 l_r \\ C &= 0,3 d_r \\ m &= 1[m] \end{aligned}$$



Rys. 3.1. Przebieg obciążenia  $M_{obc}^{P1/SN}$  dla przypadku P1/SN, [1].



Rys. 3.2. Przebieg czasowy momentu elektromagnetycznego silnika  $M_e = M(t)$  dla przypadku P1/SN, [1].

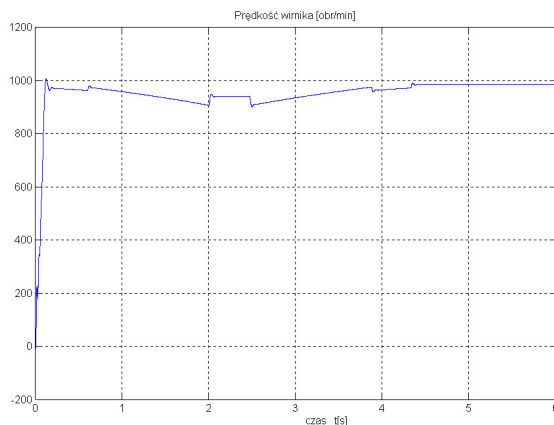


Rys. 3.3. Przebieg czasowy prądu stojana silnika  $I = I(t)$  dla przypadku P1/SN, [1].

#### 4. Podsumowanie

Analiza obciążeń samotoku daje podstawę do analitycznego określenia rzeczywistych momentów występujących w zespole rolki samotoku, jak również ma szczególne znaczenie dla techniki zabezpieczeń i obliczeń wytrzymałościowych oraz 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, doborze lub analizie układu istniejącego wpływu drgań występujących w stanach dyna-

micznych, które w niektórych warunkach rzeczywistych są porównywalne czasowo ze stanami pracy ustalonej.



Rys. 3.4. Przebieg czasowy prędkości obrotowej silnika  $n \neq n(t)$  dla przypadku PI/SN, [1].

## 5. Literatura

- [1]. Flasza J.: *Stany dynamiczne samotkowego układu napędowego z motoreduktorami konstrukcji specjalnej przy uwzględnieniu rzeczywistych obciążeń* - praca doktorska, Politechnika Częstochowska, 2002r.
- [2]. Kovacz K, P., Racz J.: *Transiente Vorgänge in Wechselstrommaschinen*. Ung. Akad. d. Wiss., Budapest 1959r.
- [3]. Leonhard W.: *Einführung in die Regelungstechnik*, Vieweg & Sohn Branschweig/Wiesbaden 1984r.
- [4]. Kosmol J. *Serwonapędy obrabiarek sterowanych numerycznie*. WNT 1998 ISBN 83-204-2281-7.
- [5]. Rusek A., Roman A., Gąsiorowski A., Lis M.: *Impedancja prętów wirnika silnika samotkowego typu SSP/7,5-1000 dla różnych materiałów pręta*, VIII Symposium Środowiskowe Zastosowanie Elektromagnetyzmu w Nowoczesnych Technikach i Technologiach, Węgierska Górka 17-20 maja 1998 r, s. 51-52.
- [6]. Praca naukowo-badawcza nr rej. BZ-21-01/93/R *Projekt techniczny i wykonanie motoreduktorów układu napędowego samotków linii COS Huty "CZĘSTOCHOWA" Opr. nr 01 - Projekt techniczny reduktora zębatego typ 2SM-325HCS-24/265 do napędu ciągu samotkowego COS/R22-R54* (opracowanie niepublikowane), Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroniki i Systemów Sterowania, Zakład Maszyn i Napędów Elektrycznych, Częstochowa, 1994.
- [7]. Praca naukowo-badawcza nr rej. BZ-21-01/93/R *Projekt techniczny i wykonanie motoreduktorów układu napędowego samotków linii COS Huty "CZĘSTOCHOWA" Opr. nr 02 - Projekt techniczny reduktora zębatego typ 2SM-325HCS-24/300 do napędu ciągu samotkowego COS/R1-R21* (opracowa-

nie niepublikowane), Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroniki i Systemów Sterowania, Zakład Maszyn i Napędów Elektrycznych, Częstochowa, 1994.

[8]. W. Tarnowski - *Komputerowy system symulacji SIMULINK z wprowadzeniem do MATLABA*; Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Inżynierskiej; Koszalin 1996.

## Autor

Janusz FLASZA  
Politechnika Częstochowska  
Wydział Elektryczny  
Al. Armii Krajowej 17,  
tel./fax.: (0...34) 3250 821  
e-mail: [fje@el.pcz.czest.pl](mailto:fje@el.pcz.czest.pl)