

Stanisław Potrawka, Romana Sikora-Iliw  
AGH Kraków

## WPLYW PRZESUNIĘCIA FAZY NAPIĘCIA SIECI NA SEM I STANY DYNAMICZNE SILNIKA ASYNCHRONICZNEGO

### INFLUENCE OF THE VOLTAGE PHASE SHIFT ON THE EMF AND DYNAMIC STATES OF INDUCTION MOTOR

**Abstract:** The paper presents a model for simulating the influence of a voltage phase shift on the emf and dynamic states an induction motor. The model was employed to simulation investigation of both the balanced and unbalanced voltage dip and the voltage phase shift in the subsequent voltage recovery and the voltage phase shift without voltage dip. The observation of the emf provides information about the influence of the field suppression rate on the dynamic performance of a motor after the voltage recovery. The influence of the voltage phase shift on the motor operation was analysed for various values of the moment of inertia and the motors loads. The equations describing the electromechanical conversion in an induction motor are based on the Hamilton's principle of least action and Euler-Lagrange equations. Equations of the induction motor dynamics are written for the sinusoidal, three-phase stator supply voltage, in the stator-fixed coordinates for the space vectors components (a,b) of voltages  $U$ , currents  $i$  and the electromotive force  $E$ . The simulation was carried out using the Matlab package.

#### 1. Wstęp

Zapady i załamania napięcia oraz krótkie przerw w zasilaniu, jak również przesunięcia fazy napięcia zasilającego są traktowane obecnie jako jedne z najbardziej kłopotliwych zaburzeń elektromagnetycznych z uwagi na niekorzystny wpływ na pracę odbiorników m.in. układów napędowych. Na pracę odbiorników posiada wpływ przede wszystkim wielkość przesunięcia oraz amplituda i czas trwania zapadu. W artykule autorzy opisują badania symulacyjne modelu silnika asynchronicznego z występującym przesunięciem fazy po zapadzie i odbudowie napięcia, oraz po przesunięciu fazy napięcia zasilającego występującym w stanie ustalonym.

#### 2. Opis modelu

Model silnika asynchronicznego stworzono w oparciu o energetyczną funkcję stanu Lagrange'a, przy uwzględnieniu energii potencjalnej i koenergii kinetycznej układu elektromechanicznego. Równania opisujące przemiany elektromechaniczne silnika asynchronicznego zapisano w oparciu o zasadę najmniejszego działania Hamiltona i równania Eulera-Lagrange'a. Przy zasilaniu stojana (sinusoidalnym układem napięć trójfazowych) zapisano równania dynamiki silnika asynchronicznego w układzie współrzędnych nieruchomych w płaszczynie stojana.

$$\begin{aligned}
 U_{0s} &= R_s i_{0s} + L_{\sigma s} \frac{d}{dt} i_{0s} \\
 U'_{0w} &= R'_r i'_{0w} + L'_{\sigma w} \frac{d}{dt} i'_{0w} \\
 \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Psi_{sa} \\ \Psi_{sb} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} U_{sa} \\ U_{sb} \end{bmatrix} - R_s \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \end{bmatrix} \\
 \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Psi_{wa} \\ \Psi_{wb} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} U_{wa} \\ U_{wb} \end{bmatrix} + \omega \begin{bmatrix} -\Psi_{wb} \\ \Psi_{wa} \end{bmatrix} - R'_w \begin{bmatrix} i_{wa} \\ i_{wb} \end{bmatrix} \\
 \frac{d}{dt} J \frac{\omega}{\rho} &= M_e \pm M_{st} \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$M_e = \frac{2\rho L_\mu}{\Delta} (\Psi_{sb} \Psi_{wa} - \Psi_{sa} \Psi_{wb}), \quad \Delta = L_s L'_r - L_\mu^2$$

$$\begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{wa} \\ i_{wb} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} L'_r & 0 & -L_\mu & 0 \\ 0 & L'_r & 0 & -L_\mu \\ -L_\mu & 0 & L_s & 0 \\ 0 & -L_\mu & 0 & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Psi_{sa} \\ \Psi_{sb} \\ \Psi_{wa} \\ \Psi_{wb} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} E_{sa} \\ E_{sb} \end{bmatrix} = \left( \frac{\Delta - L_{\sigma s} L'_r}{\Delta} \right) \left( \begin{bmatrix} U_{sa} \\ U_{sb} \end{bmatrix} - R_s \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \end{bmatrix} \right) - \frac{L_{\sigma s} L_\mu}{\Delta} \left( \omega \begin{bmatrix} \Psi_{wb} \\ -\Psi_{wa} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_{wa} \\ i_{wb} \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} I_{1n} \\ I_{2n} \\ I_{3n} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{6}} \begin{bmatrix} i_{0s} + 2i_{sa} \\ i_{0s} - i_{sa} + \sqrt{3}i_{sb} \\ i_{0s} - i_{sa} - \sqrt{3}i_{sb} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} E_{1n} \\ E_{2n} \\ E_{3n} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{6}} \begin{bmatrix} 2E_{sa} \\ E_{sa} + \sqrt{3}E_{sb} \\ E_{sa} - \sqrt{3}E_{sb} \end{bmatrix}$$

### 3. Opis badań modelowych i wnioski

Według równań (1) do (2) stworzono model i przeprowadzono badania symulacyjne przy wykorzystaniu pakietu Matlab.

Badania symulacyjne przeprowadzono dla :

- różnych kątów przesunięcia fazy przy zapadzie napięcia symetrycznym trójfazowym i niesymetrycznym jednofazowym
- różnych momentów bezwładności silnika.

W badaniach przyjęto czas trwania zapadu  $\Delta t = 10\text{ms}$ , a zmianę fazy po czasie  $2,01\text{s}$ .

Badano również wpływ występującego w stanie ustalonym przesunięcia fazy napięcia, na dynamikę silnika.

Wyniki symulacji otrzymano w formie wykresów. Wybrane wykresy zamieszczono w artykule.

Odpowiednie rysunki przedstawiają przebiegi dynamiczne dla rozruchu:

- z obciążeniem  $M_{st} = 0,3M_N$ , przy  $J=J_N$  oraz po zmianie fazy w sieci zasilającej o  $45^\circ$  - rys.1-3

- bez obciążenia, a następnie po obciążeniu  $M_{st} = 0,3M_N$ , po  $t = 1\text{s}$ , przy  $J=J_N$ , po symetrycznym zapadzie i odbudowie napięcia ze zmianą fazy o  $45^\circ$  - rys.4-5

- z obciążeniem  $M_{st} = 0,3M_N$ , przy  $J=J_N$ , po symetrycznym zapadzie i odbudowie napięcia ze zmianą fazy o  $(-45^\circ)$  - rys. 6-7, oraz ze zmianą fazy o  $(-30^\circ)$  - rys.8-9

- bez obciążenia, a następnie po obciążeniu  $M_{st} = M_N$  po  $t = 1\text{s}$ , przy  $J=J_N$  po symetrycznym zapadzie i odbudowie napięcia ze zmianą fazy o  $30^\circ$  - rys. 10-11

- bez obciążenia, a następnie po obciążeniu  $M_{st} = M_N$ , po  $t = 1\text{s}$ , przy  $J=0,5J_N$  po symetrycznym zapadzie i odbudowie napięcia ze zmianą fazy o  $30^\circ$  - rys.12-14 oraz

ze zmianą fazy o  $(-30^\circ)$  - rys.15-16

- bez obciążenia, a następnie po obciążeniu  $M_{st} = M_N$  po  $t = 1\text{s}$ , przy  $J=J_N$ , po zapadzie w

jednej fazie i odbudowie napięcia ze zmianą fazy o  $(-30^\circ)$  - rys.17-18.

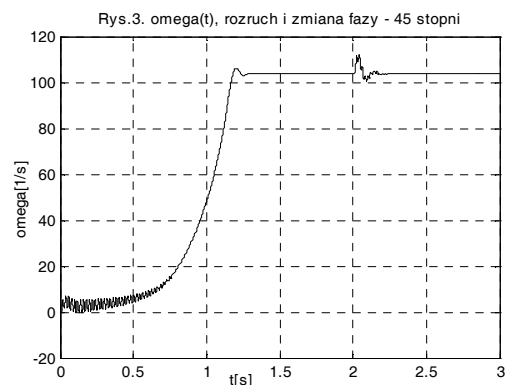
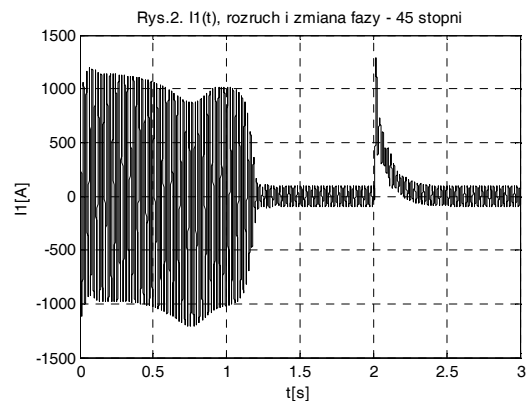
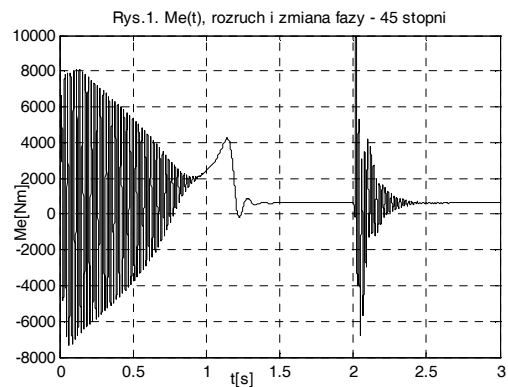
W tabelach zebrano względne wartości maksymalne przebiegów dynamicznych silnika asynchronicznego występujące po odbudowie i zmianie fazy napięcia sieci zasilającej.

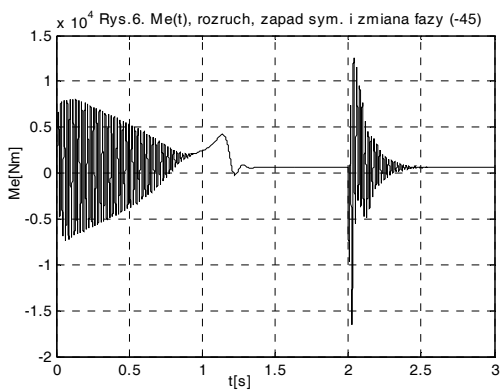
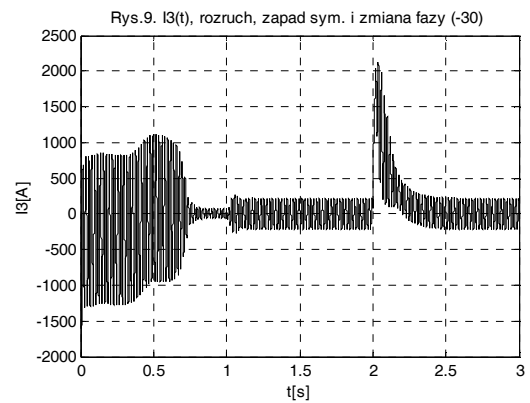
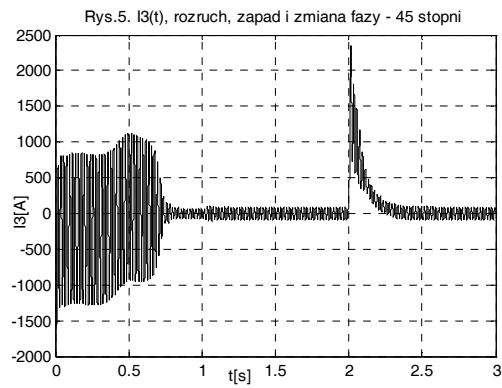
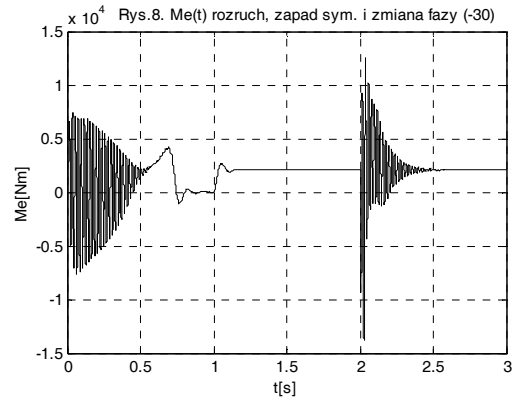
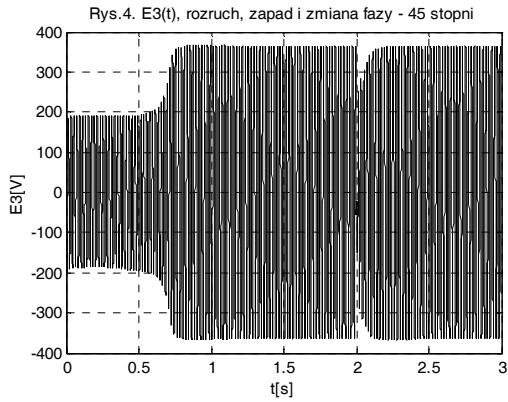
Szczegółowa analiza wyników prowadzi do wniosków, że zmiana fazy napięcia odbudowanego po zapadzie wywołuje większe uderzenie prądu ( $6I_N$ ) niż zmiana po przełączeniu bez zapadu.

Ujemna zmiana fazy wywołuje większe uderzenia momentu ( $8M_N$ ) po odbudowie napięcia po zapadzie symetrycznym przy  $J=J_N$ .

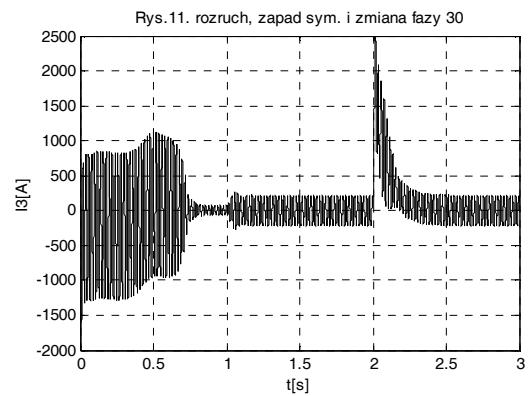
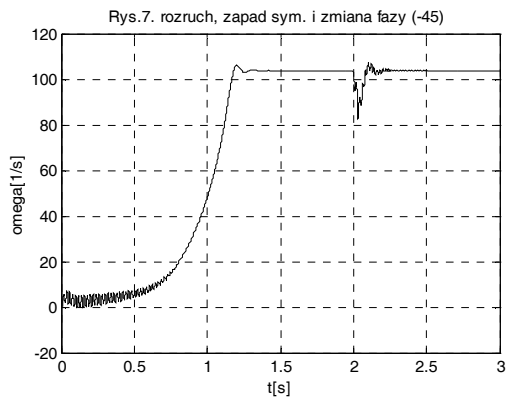
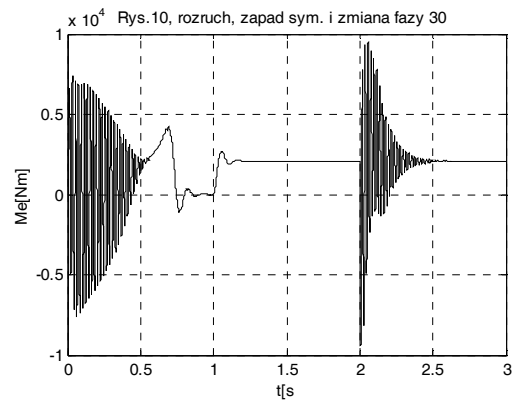
### 4. Wyniki badań symulacyjnych

Dla rys. nr 1 – 9 założono  $M_{st} = 0,3 M_N$  i  $J = J_N$

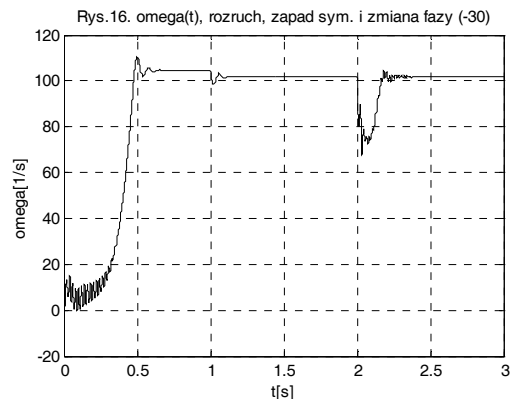
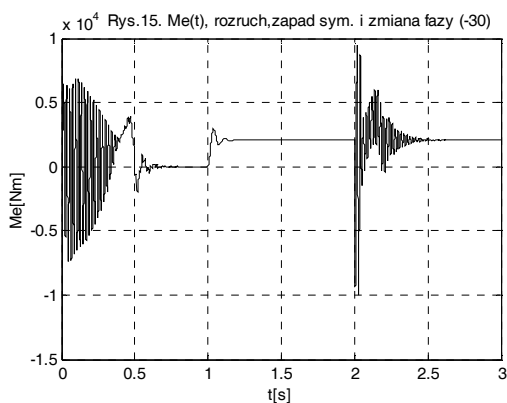
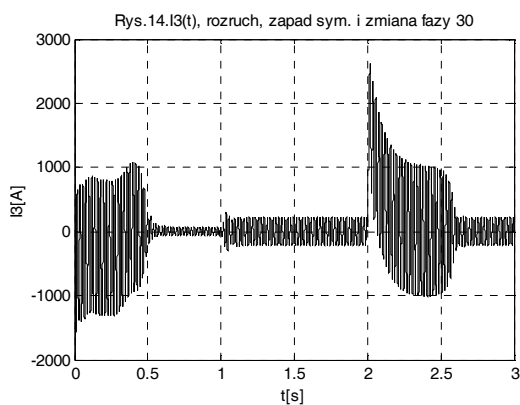
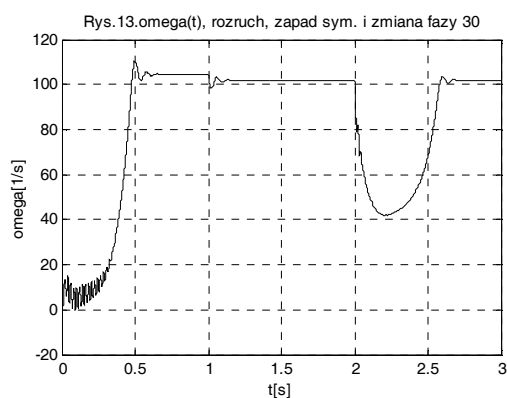
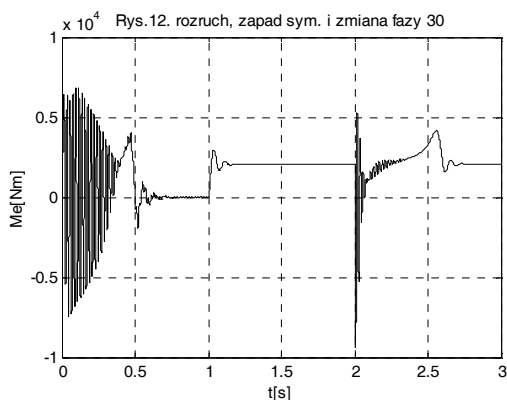




Dla rys. nr 10–11 założono  $M_{st} = M_N$  i  $J = J_N$ .



Dla rys. nr 12 – 16 założono  $M_{st} = M_N$  i  $J = 0,5J_N$ .



Dla rys. nr 17 – 18 założono  $M_{st} = 0,3 M_N$  i  $J = J_N$ .

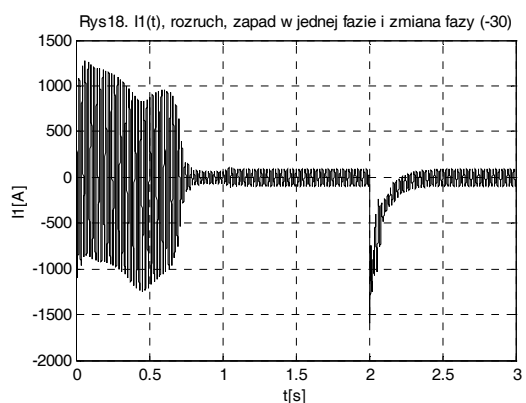
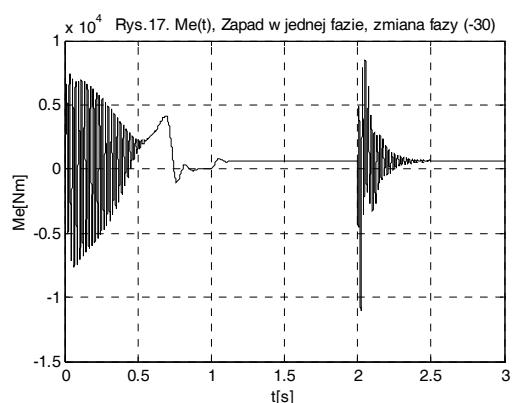


Tabela 1

Zestawienie względnych wartości maksymalnych dla zmiany fazy  $\Delta\varphi = 45^\circ$  bez zapadu i z zapadem symetrycznym przy  $M_{st} = 0,3 M_N$  i  $J = J_N$

	$\underline{M}$	$\underline{\omega}$	$\underline{I}_1$	$\underline{I}_2$	$\underline{I}_3$
Bez zapadu	4,795	1,08	3,356	2,74	2,069
Zapad sym.	4,98	1,023	3,03	5,75	6,096

Tabela 2  
Zestawienie względnych wartości maksymalnych dla układu z symetrycznym i niesymetrycznym zapadem dla zmiany fazy  $\Delta\varphi = 30^\circ$  i  $\Delta\varphi = -30^\circ$  przy  $M_{st} = 0,3 M_N$  i  $J = J_N$

	$\Delta\varphi$	$\underline{M}$	$\underline{\omega}$	$\underline{I}_1$	$\underline{I}_2$	$\underline{I}_3$
Zapad symetryczny	$30^\circ$	5,29	1,023	3,03	5,19	6,13
	$-30^\circ$	7,958	1,032	3,756	2,91	5,1
Zapad niesymetryczny	$30^\circ$	2,34	1,053	4,155	2,22	1,59
	$-30^\circ$	5,31	1,033	4,156	1,86	1,59

Tabela 3  
Zestawienie względnych wartości maksymalnych dla układu z symetrycznym zapadem dla różnych zmian fazy  $\Delta\varphi$ , momentów obciążenia  $M_{st}$ , oraz dwóch momentów bezwładności silnika  $J = J_N$  i  $J = 0,5 J_N$

J	Mst	$\Delta\varphi$	$\underline{M}$	$\underline{\omega}$	$\underline{I}_1$	$\underline{I}_2$	$\underline{I}_3$
$J_N$	$0,3 M_N$	$45^\circ$	4,98	1,023	3,03	5,75	6,096
		$-45^\circ$	7,998	1,032	4,067	2,574	4,85
		$30^\circ$	5,29	1,023	3,03	5,19	6,13
		$-30^\circ$	7,958	1,032	3,756	2,91	5,1
	$M_N$	$30^\circ$	4,575	0,982	2,97	5,54	6,49
		$-30^\circ$	6,65	0,984	4,143	3,34	5,53
		$30^\circ$	4,52	0,982	3,25	5,89	6,83
		$-30^\circ$	4,84	0,984	4,99	4,03	6,3

## 5. Literatura

- [1]. Hanzelka Z.: *Sposoby zwiększania odporności regulowanych napędów na załamania napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu*. International Workshops „Power Electronics Devices Compability”, Europejski Uniwersytet Viadrina, 1999, p.47-67
- [2]. Puchała A.: *Dynamika maszyn i układów elektromechanicznych*. Wyd. PWN, Warszawa, 1977
- [3]. Sikora R.: *Analiza stanów przejściowych silnika asynchronicznego pierścieniowego*. Zeszyty Naukowe AGH, Nr 289 z.43, Kraków, 1971, p.45-85
- [4]. Kaźmierkowski M.: *Porównanie metody sterowania Polowo-Zorientowanego z metodą bezpośredniej regulacji silnika klatkowego*. Przegląd Elektrotechniczny, Vol.4, Warszawa, 1998, p.85-87.
- [5]. Kaźmierkowski M., Tunia H.: *Automatic Control of Converter – fed Drives*, Wa-wa, Elsevier 1994

- [6]. Boldea I., Nasar S.A.: *Electric Drive*, CRC Press 1999
- [7]. R.H.Cannon jr.-*DYNAMICS OF PHYSICAL SYSTEMS*, Mc Graw Hill, Inc. 1967.
- [8]. P.C. Krause- *ANALYSIS of ELECTRIC MACHINERY*, Mc Graw-Hill Book Comp. NY, 1986 .
- [9]. J.Meisel - *PRINCIPLES of ELECTRO-MECHANICAL ENERGY CONVERSION*, Mc Graw-Hill, Inc. 1966.

## Autorzy

Dr inż. Stanisław Potrawka

Mgr inż. Romana Sikora-Iliew

Wydz. Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki

Katedra Automatyki Napędu i Urządzeń

Przemysłowych

Tel/fax (48)(12)6332284

AGH Kraków

30-059 Kraków

Al. Mickiewicza 30