

Stanisław Potrawka, Romana Sikora-Iliw
AGH, Kraków

BADANIE SYMULACYJNE JEDNOFAZOWEJ PRZERWY W ZASILANIU ORAZ PONOWNEGO ZAŁĄCZENIA NAPIĘCIA ZASILANIA NA DYNAMIKĘ SILNIKA INDUKCYJNEGO

A SIMULATION RESEARCH OF THE INFLUENCE OF A ONE-PHASE SHORT INTERRUPTION AND A SUPPLY VOLTAGE RECOVERY ON THE DYNAMICS OF AN INDUCTION MOTOR

Abstract: The model for the simulation of the one-phase short interruption influence on the dynamic states of an induction motor is presented. The model was employed for simulation of the one-phase supply interruption (voltage and currents) and the voltage phase shift in the subsequent voltage recovery. The analysis of the electromotive force, currents, torque, speed provides information about the influence of the one-phase supply interruption and the field suppression rate on the dynamic performance of a motor after the supply recovery. The influence of the voltage phase shift on the motor operation has been analysed for various values of the moment of inertia and various interruption time. The simulation was carried out using the Matlab package. The results are presented in the figures and tables.

1. Wstęp

Krótkie przerwy w zasilaniu, zapady i załamania napięcia, jak również przesunięcia kąta włączenia napięcia zasilającego mają niekorzystny wpływ na pracę odbiorników m.in. układów napędowych i są uważane obecnie za jedno z najbardziej kłopotliwych zaburzeń elektromagnetycznych. Wielkość przesunięcia kąta włączenia napięcia $\Delta\varphi$ oraz czas trwania odłączenia silnika od sieci posiada wpływ na dynamikę układu napędowego.

Przedmiotem badań symulacyjnych była analiza wpływu jednofazowego ($U_2 = 0$, $I_2 = 0$) odłączenia i ponownego załączenia zasilania na siłę elektromotoryczną i stany dynamiczne silnika asynchronicznego.

2. Opis modelu

Model do analizy dynamiki badanego silnika indukcyjnego zbudowano w oparciu o równania opisujące przemiany elektromechaniczne silnika indukcyjnego zapisane zgodnie z zasadą najmniejszego działania Hamiltona i równaniami Eulera- Lagrange'a. Przy zasilaniu stojana (sinusoidalnym układem napięć trójfazowych) zapisano równania dynamiki silnika indukcyjnego według [4] i [10].

Dla jednofazowego odłączenia zasilania ($I_2 = 0$, $U_2 = 0$) do równań opisujących stojan wprowadzono modyfikację i zapisano:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} i_{0s} &= \frac{U_{0s}}{L_{\sigma s}} - \frac{1}{\sqrt{3}L_{\sigma s}} \Delta R_2 I_2 - \frac{R_s}{L_{\sigma s}} i_{0s} \\ \frac{d}{dt} \psi_{sa} &= U_{sa} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \Delta R_2 I_2 - R_s i_{sa} \\ \frac{d}{dt} \psi_{sb} &= U_{sb} - \frac{1}{2} \Delta R_2 I_2 - R_s i_{sb} \end{aligned}$$

gdzie:

$$\Delta R_2 \rightarrow \infty \text{ dla } t_{odl} \leq t \leq t_{zal}$$

3. Opis badań symulacyjnych

Badania symulacyjne zrealizowano przy wykorzystaniu pakietu Matlab.

Modelowanie przeprowadzono dla:

- różnych kątów włączenia $\Delta\varphi$ napięcia symetrycznego trójfazowego, po ponownym załączeniu zasilania
- różnych momentów bezwładności silnika
- różnych czasów trwania jednofazowej bezprądowej przerwy zasilania.

Wyniki symulacji otrzymano w formie wykresów, a wybrane wykresy zamieszczono w artykule.

Odpowiednie rysunki przedstawiają przebiegi dynamiczne dla **rozruchu, obciążenia i jednofazowego ($I_2 = 0$, $U_2 = 0$) odłączenia po 2 sekundach pracy:**

- bez obciążenia, a następnie po obciążeniu $M_{st} = M_N$, dla $t = 1,5$ s, przy $J = J_N$, po jednofazowym odłączeniu zasilania i odbudowie napięcia po czasie przerwy bezprądowej $\Delta t = 10$ ms ze zmianą kąta włączenia napięcia $\Delta\varphi = 180^\circ$ – rys. (1-7),

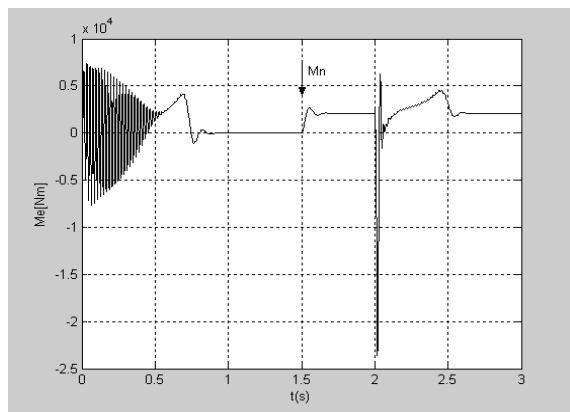
- bez obciążenia, a następnie po obciążeniu $M_{st} = M_N$, dla $t = 1,5$ s, przy $J = J_N$, po jednofazowym odłączeniu zasilania i odbudowie napięcia po czasie $\Delta t = 10$ ms bez zmiany kąta włączenia $\Delta\varphi = 0^\circ$ – rys. (8-10),

- bez obciążenia, a następnie po obciążeniu $M_{st} = M_N$ dla $t = 1,5$ s, przy $J = 2J_N$, po jednofazowym odłączeniu i odbudowie napięcia po $\Delta t = 10$ ms ze zmianą kąta włączenia $\Delta\varphi = 180^\circ$ – rys. (11-17),

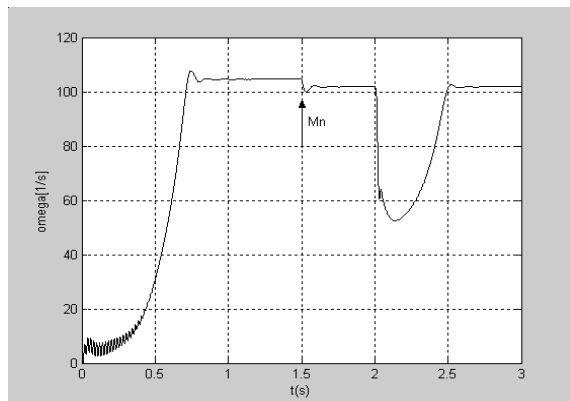
- bez obciążenia, a następnie po obciążeniu $M_{st} = M_N$ dla $t = 1,5$ s, przy $J = J_N$, po jednofazowym odłączeniu i odbudowie napięcia po $\Delta t = 20$ ms ze zmianą kąta włączenia $\Delta\varphi = 180^\circ$ – rys. (18-23).

4. Ilustracja wyników badań symulacyjnych

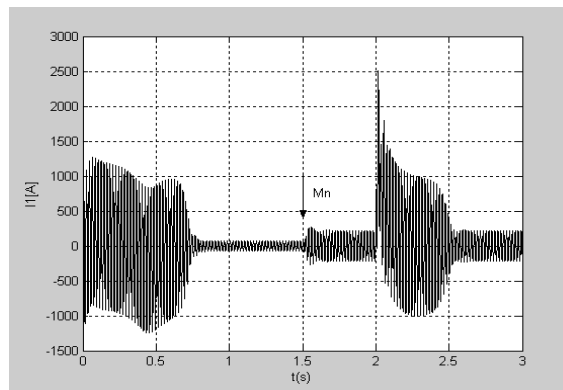
Dla rys. nr (1 – 10) założono $M_{st} = M_N$, $J = J_N$ i przerwę bezprądową $\Delta t = 10$ ms



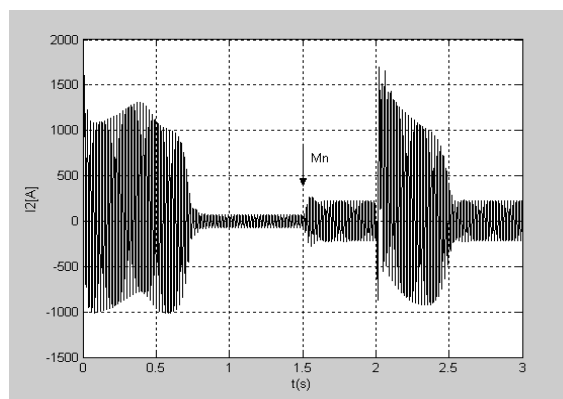
Rys. 1. $M_e(t)$, $\Delta\varphi = 180^\circ$



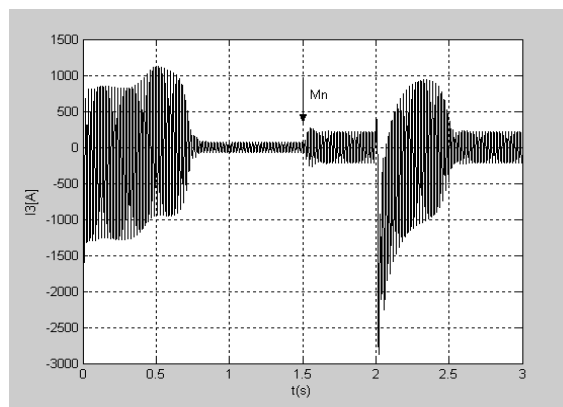
Rys. 2. $\omega(t)$, $\Delta\varphi = 180^\circ$



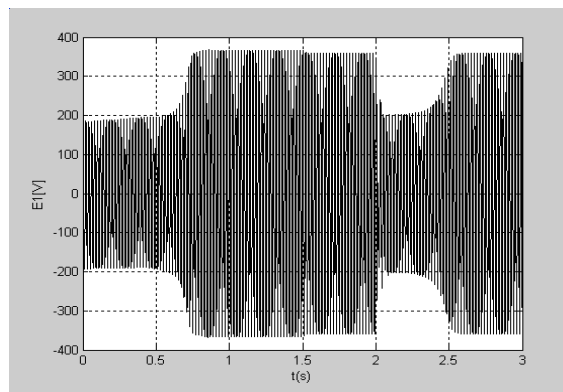
Rys. 3. $I_1(t)$, $\Delta\varphi = 180^\circ$



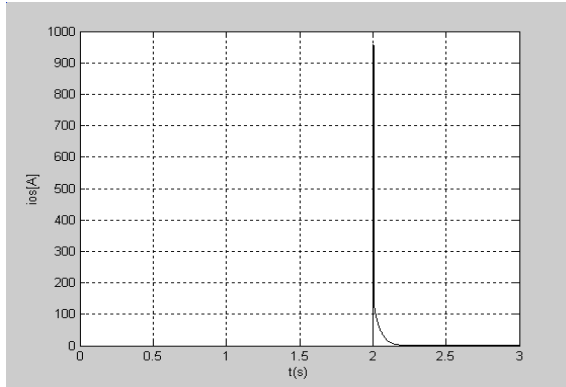
Rys. 4. $I_2(t)$, $\Delta\varphi = 180^\circ$



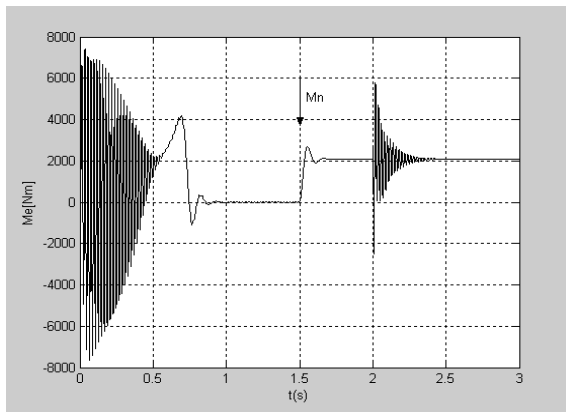
Rys. 5. $I_3(t)$, $\Delta\varphi = 180^\circ$



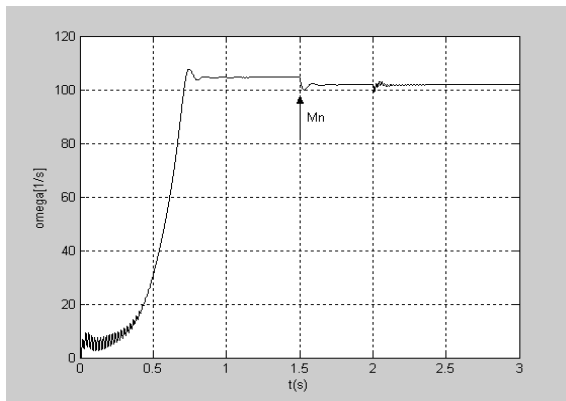
Rys. 6. $E_1(t)$, $\Delta\varphi = 180^\circ$



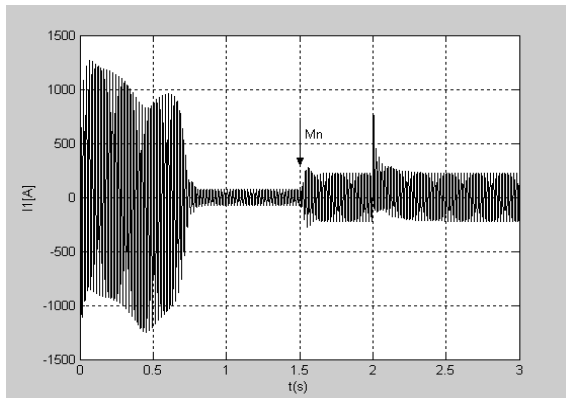
Rys. 7. $i_{os}(t)$, $\Delta\varphi = 180^\circ$



Rys. 8. $Me(t)$, $\Delta\varphi = 0^\circ$

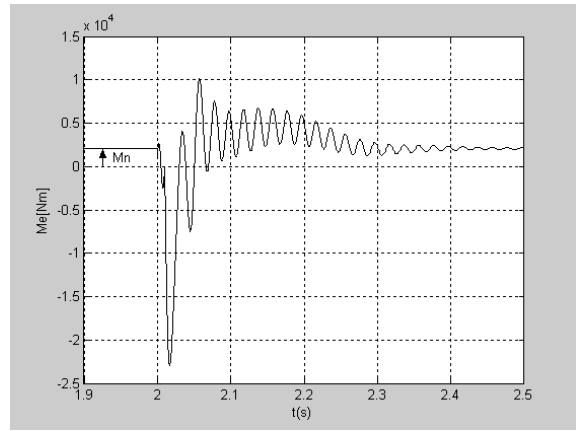


Rys. 9. $\omega(t)$, $\Delta\varphi = 0^\circ$

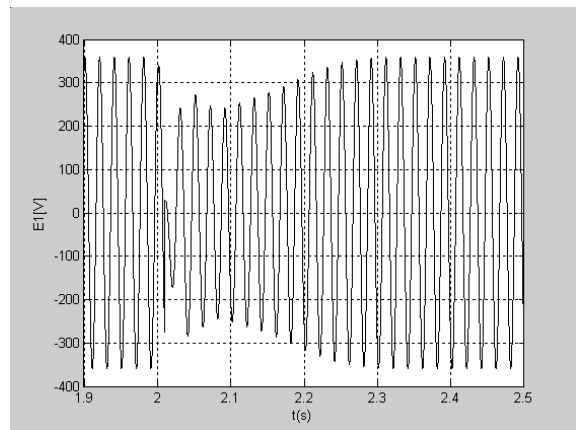


Rys. 10. $I_1(t)$, $\Delta\varphi = 0^\circ$

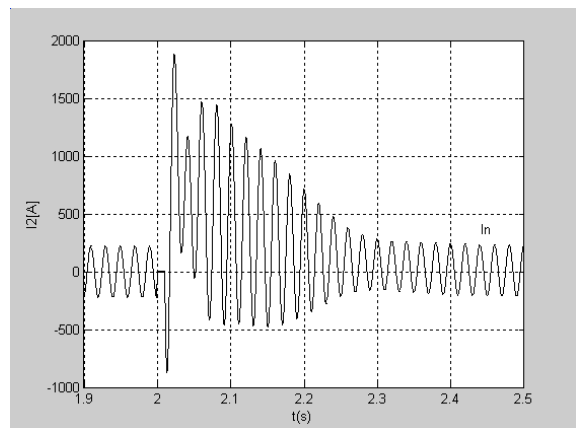
Dla rys. nr (11 – 17) założono $M_{st} = M_N$,
 $J = 2J_N$ i $\Delta t = 10\text{ms}$



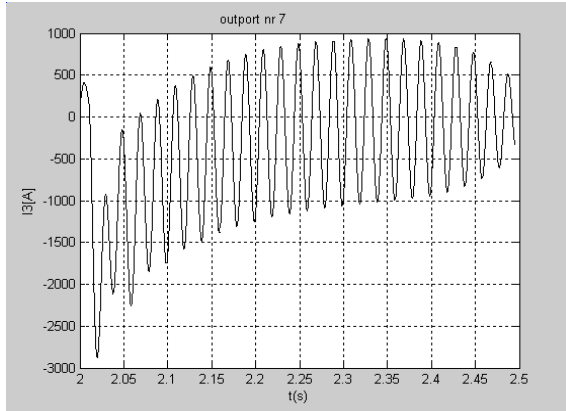
Rys. 11. $Me(t)$, dla $J = 2J_n$, $\Delta\varphi = 180^\circ$



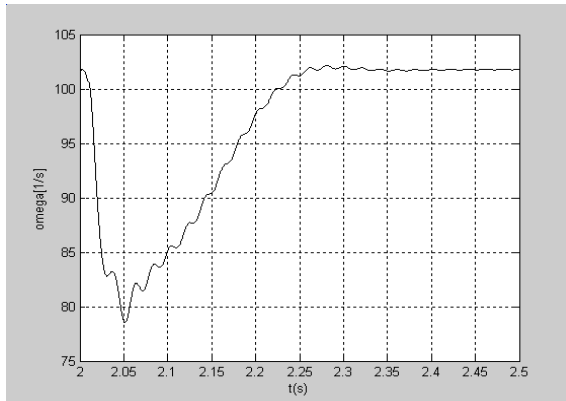
Rys. 12. $E_1(t)$, dla $J = 2J_n$, $\Delta\varphi = 180^\circ$



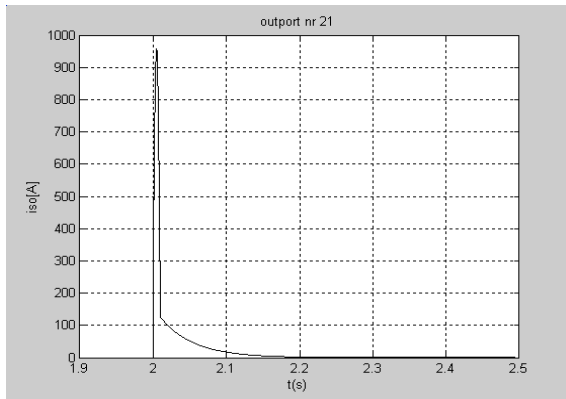
Rys. 13. $I_2(t)$, dla $J = 2J_n$, $\Delta\varphi = 180^\circ$



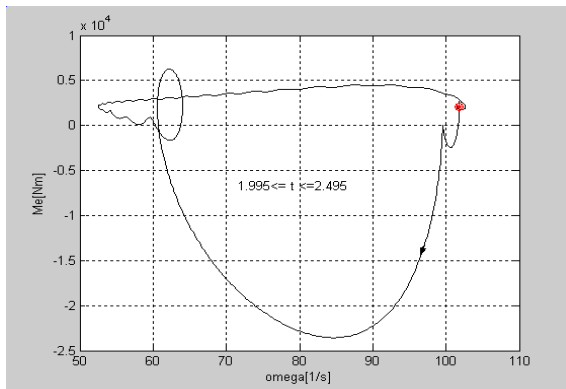
Rys. 14. $I_3(t)$, dla $J = 2J_n$, $\Delta\varphi = 180^\circ$



Rys. 15. $\omega(t)$, dla $J = 2J_n$, $\Delta\varphi = 180^\circ$

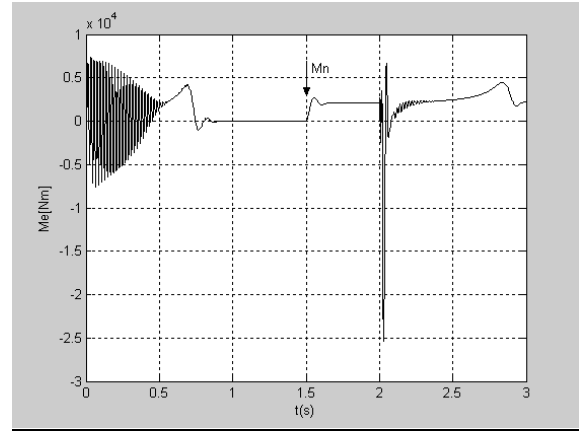


Rys. 16. $i_{os}(t)$, $J=2J_n$, $\Delta\varphi = 180^\circ$

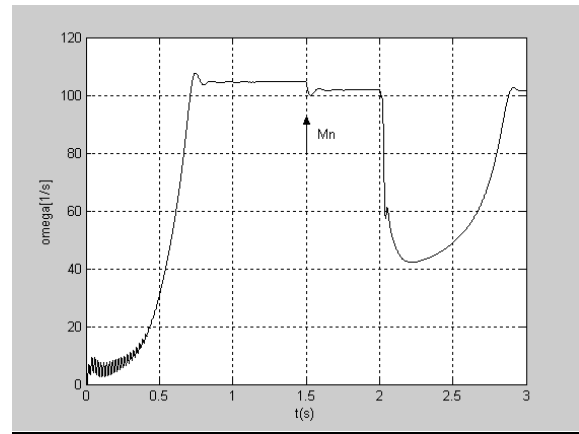


Rys. 17. $M_e(\omega)$, $J=2J_n$, $\Delta\varphi = 180^\circ$

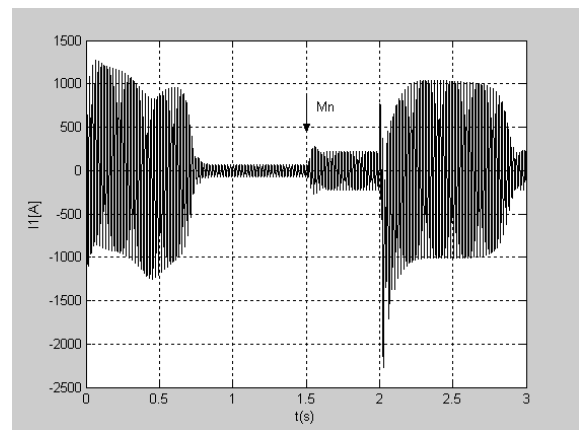
Dla rys. nr (18 – 23) założono $M_{st} = M_N$, $J = J_N$ i $\Delta t = 20$ ms



Rys. 18. $M_e(t)$, $\Delta\varphi = 180^\circ$



Rys. 19. $\omega(t)$, $\Delta\varphi = 180^\circ$



Rys. 20. $I_1(t)$, $\Delta\varphi = 180^\circ$

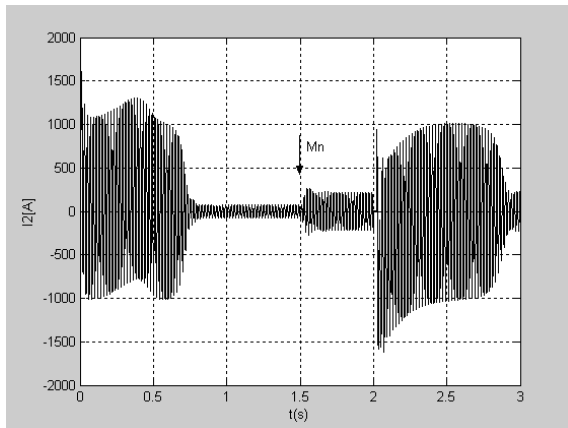
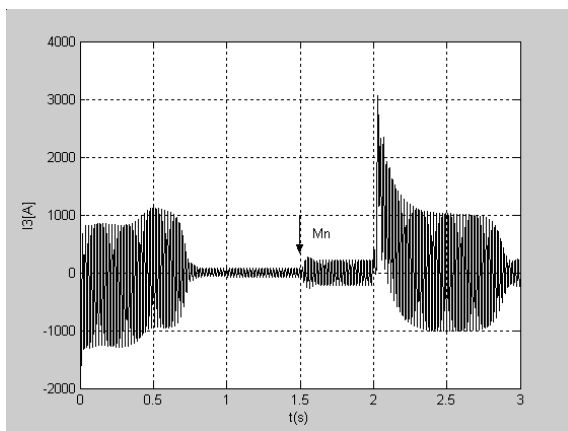
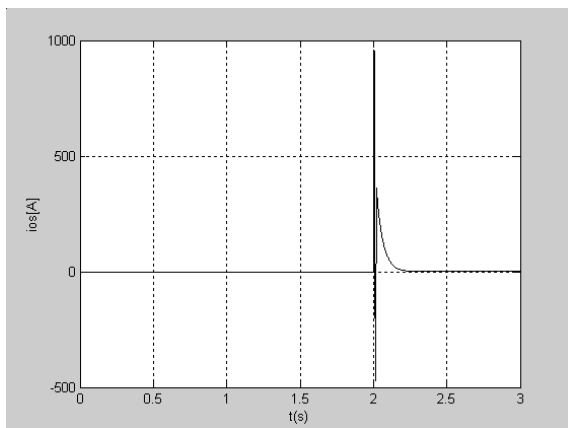
Rys. 21. $I_2(t)$, $\Delta\varphi = 180^\circ$ Rys. 22. $I_3(t)$, $\Delta\varphi = 180^\circ$ Rys. 23. $i_{os}(t)$, $\Delta\varphi = 180^\circ$

Tabela 1.
Zestawienie względnych wartości maksymalnych bez zmiany kąta $\Delta\varphi = 0^\circ$ po powrocie zasilania przy $M_{st} = M_N$, $J = J_N$ i $\Delta t = 10ms$

\underline{M}	$\underline{\omega}$	\underline{I}_1	\underline{I}_2	\underline{I}_3
2,775	0,995	2,0	1,45	1,39

Tabela 2.
Zestawienie względnych wartości maksymalnych po odbudowie zasilania dla zmiany kąta $\Delta\varphi = 180^\circ$, przy $M_{st} = M_N$ i $\Delta t = 10ms$

	$\Delta\varphi$	\underline{M}	$\underline{\omega}$	\underline{I}_1	\underline{I}_2	\underline{I}_3
J_N	180°	11,36	0,994	6,5	4,4	7,46
$2J_N$	180°	11,6	0,984	6,58	4,9	7,7

Tabela 3.
Zestawienie względnych wartości maksymalnych dla różnych czasów trwania jednofazowej przerwy bezprądowej $\Delta t [ms]$ dla $M_{st} = M_N$, $J = J_N$ i $\Delta\varphi = 180^\circ$

Δt	\underline{M}	$\underline{\omega}$	\underline{I}_1	\underline{I}_2	\underline{I}_3
10[ms]	11,36	0,994	6,5	4,4	7,46
20[ms]	12,24	0,994	5,89	4,2	7,93

Z porównania rysunków (8-10) ilustrujących przebiegi momentu, prądów i prędkości po zaburzeniu dla $J = J_N$, $\Delta t = 10 ms$ bez zmiany kąta włączenia $\Delta\varphi = 0^\circ$ z pozostałymi rysunkami, wynika, że przypadek ten charakteryzują najmniejsze udary prądu, momentu, najmniejsze obniżenie prędkości i najszybszy powrót do stanu ustalonego.

Przy kącie ponownego włączenia zasilania $\Delta\varphi = 180^\circ$ (rys. 1-7) występują większe udary prądu i momentu, znaczne obniżenie prędkości do $0,55 \omega_N$ i wydłużenie czasu powrotu do stanu ustalonego.

Po zwiększeniu momentu bezwładności $J = 2J_N$ (rys. 11-17) występuje wyższy uder momentu i prądu I_2 niż przy $J = J_N$, ale mniejszy spadek prędkości $0,78 \omega_N$. Rys.17 przedstawia trajektorie momentu względem ω , w okresie odłączenia i powrotu zasilania.

Przy dwukrotnym wydłużeniu przerwy w zasilaniu $\Delta t = 20 ms$ wszystkie przebiegi (rys.18-23) charakteryzuje dłuższy niż przy $\Delta t = 10 ms$ powrót do stanu ustalonego i duży spadek prędkości do $0,4 \omega_N$.

Rys. 6 i 12 ilustrują zanik i odbudowę SEM (pola) po zaburzeniu dla $\Delta\varphi = 180^\circ$ odpowiednio dla $J = J_N$ i $J = 2J_N$.

5. Wnioski

W tabelach zebrano względne wartości maksymalne przebiegów dynamicznych silnika asynchronicznego występujące po jednofazowej przerwie w zasilaniu, załączeniu fazy, od-

budowie napięcia ze zmianą kąta włączenia sieci zasilającej.

Analiza wyników prowadzi do wniosków, że dłuższa przerwa bezprądowa w jednej fazie wywołuje większe uderzenie momentu po powrocie zasilania. Wielkości te są większe niż przy symetrycznym odłączeniu [10].

Przy większym momencie bezwładności J następuje większe uderzenie prądu po powrocie zasilania.

Zwiększenie czasu trwania przerwy bezprądowej Δt wywołuje wzrost wielkości uderzenia momentu, skrócenie Δt powoduje wzrost uderzenia prądu, natomiast przesunięcie kąta włączenia napięcia $\Delta\varphi$ jest przyczyną wzrostu uderzeń momentu i prądu po odbudowie zasilania.

Przy niesymetrycznym (jednofazowym) odłączeniu występuje prąd zerowy $i_o(t) = \frac{1}{\sqrt{3}} i_{os}(t)$

o wartości osiągającej $1,5 I_N$.

Porównując odpowiednie wartości z wartościami otrzymanymi dla symetrycznego odłączenia [10], można wnioskować o wyższych uderzeniach prądów i momentu dla jednofazowego odłączenia niż dla przypadku odłączenia trójfazowego [10].

6. 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]. Potrawka S., Sikora-Iliew R.: *Wpływ przesunięcia fazy napięcia sieci na SEM i stany dynamiczne silnika asynchronicznego*. Zeszyty Problemowe-Maszyny Elektryczne. Nr 72/2005, Komel, Katowice 2005
- [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.

[10]. Potrawka S., Sikora-Iliew R.: *Analiza modelowa wpływu odłączenia i ponownego załączenia napięcia sieci na stany dynamiczne silnika asynchronicznego*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne, Nr 75/2006, Komel, Katowice 2006

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