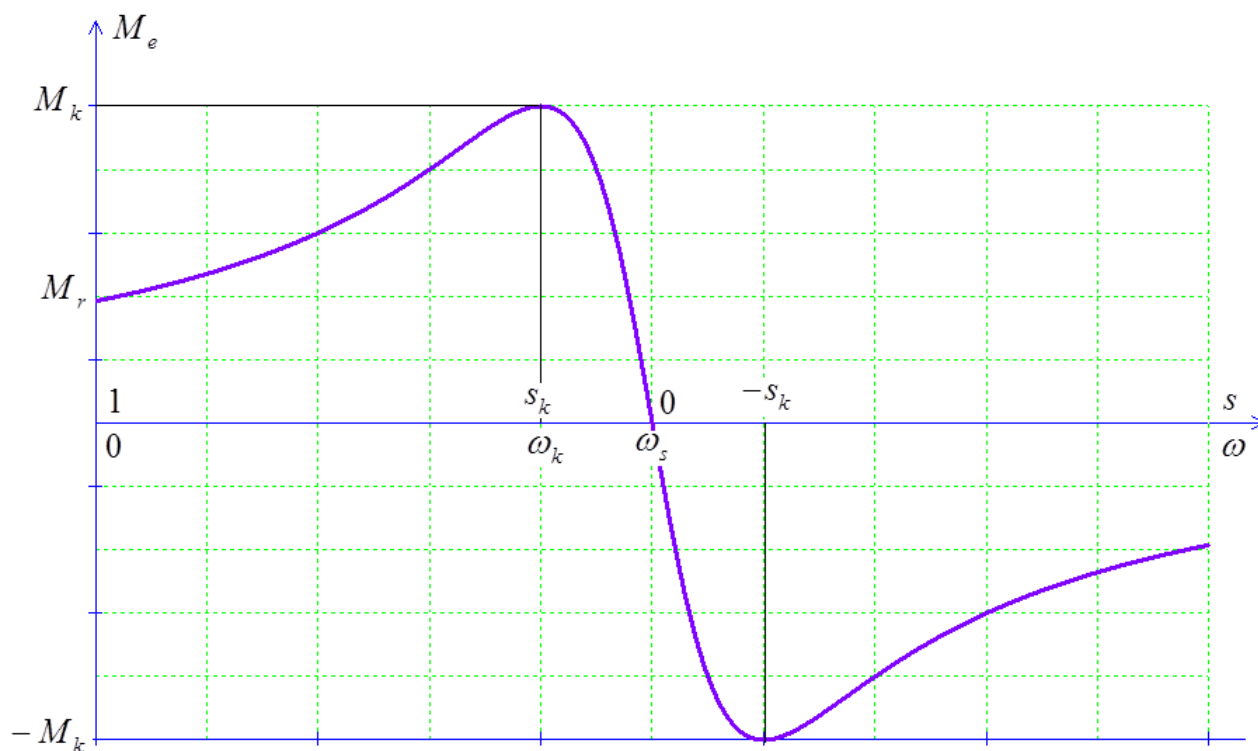


## CHARAKTERYSTYKI MASZINY INDUKCYJNEJ

Na podstawie uproszczonego wzoru Klossa możemy narysować kształt charakterystyki mechanicznej (Rys. 1). Charakterystyczne dla tego przebiegu są następujące wielkości:

- moment krytyczny dla pracy silnikowej  $M_k$ ,
- moment krytyczny dla pracy prądnicowej -  $M_k$ ,
- moment rozruchowy  $M_r$  (moment dla prędkości równej zero,  $s=1$ ),
- prędkość synchroniczna  $\omega_s$  ( $s=0$ ),
- poślizg krytyczny  $s_k$  (oraz prędkość krytyczna  $\omega_k$ ) dla pracy silnikowej
- poślizg krytyczny  $-s_k$  dla pracy generatorowej



Rys. 1 Charakterystyka mechaniczna maszyny indukcyjnej

Kształt charakterystyki jest zależny od wielkości parametrów zasilania (częstotliwość, napięcie stojana) oraz od wartości rezystancji w obwodzie wirnika  $R_2'$ . W celu przewidywania zmian kształtu oraz wyznaczenia prędkości obrotowej w różnych warunkach pracy, warto znać podstawowe wzory i proporcje dotyczące opisanych wyżej punktów charakterystycznych:

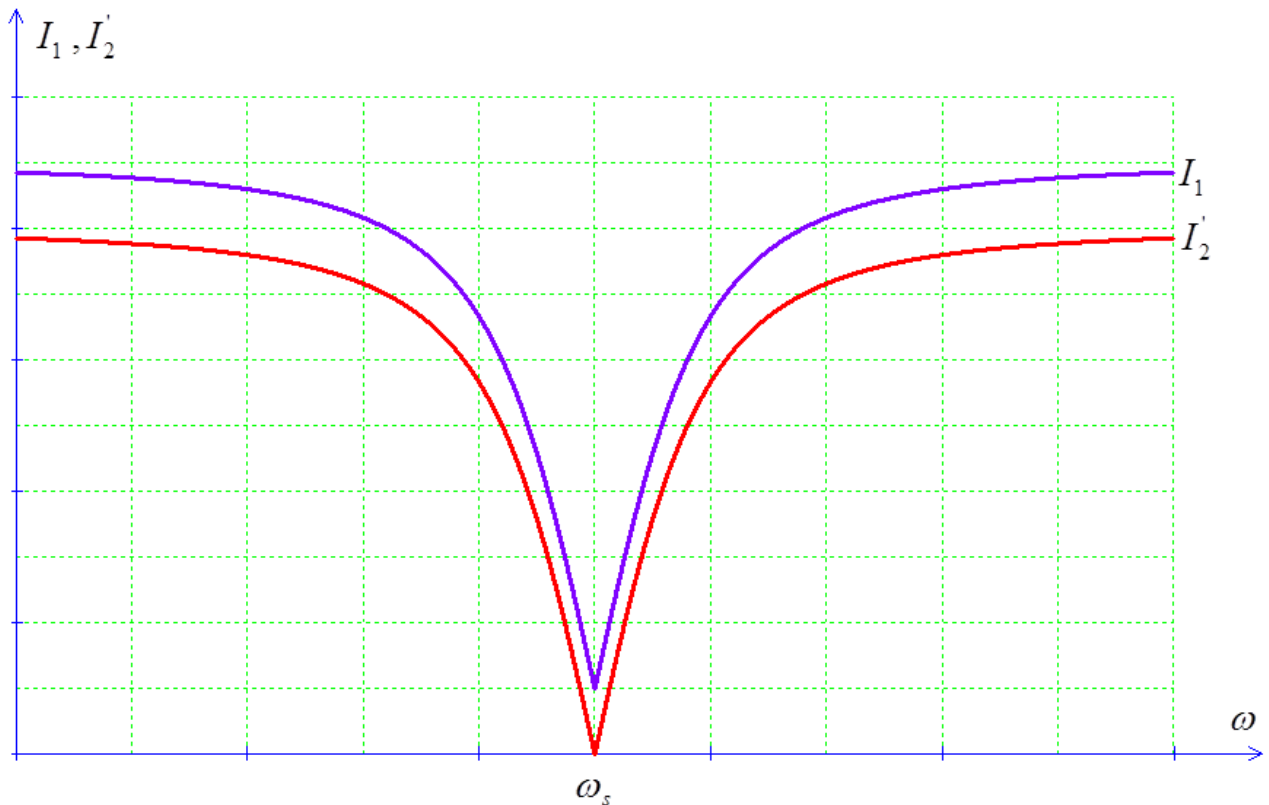
$$s_k = c_1 \frac{R_r'}{f} \quad (1)$$

$$M_k = c_2 \frac{U_1^2}{f^2} \quad (2)$$

$$\omega = \omega_s (1 - s) \quad (3)$$

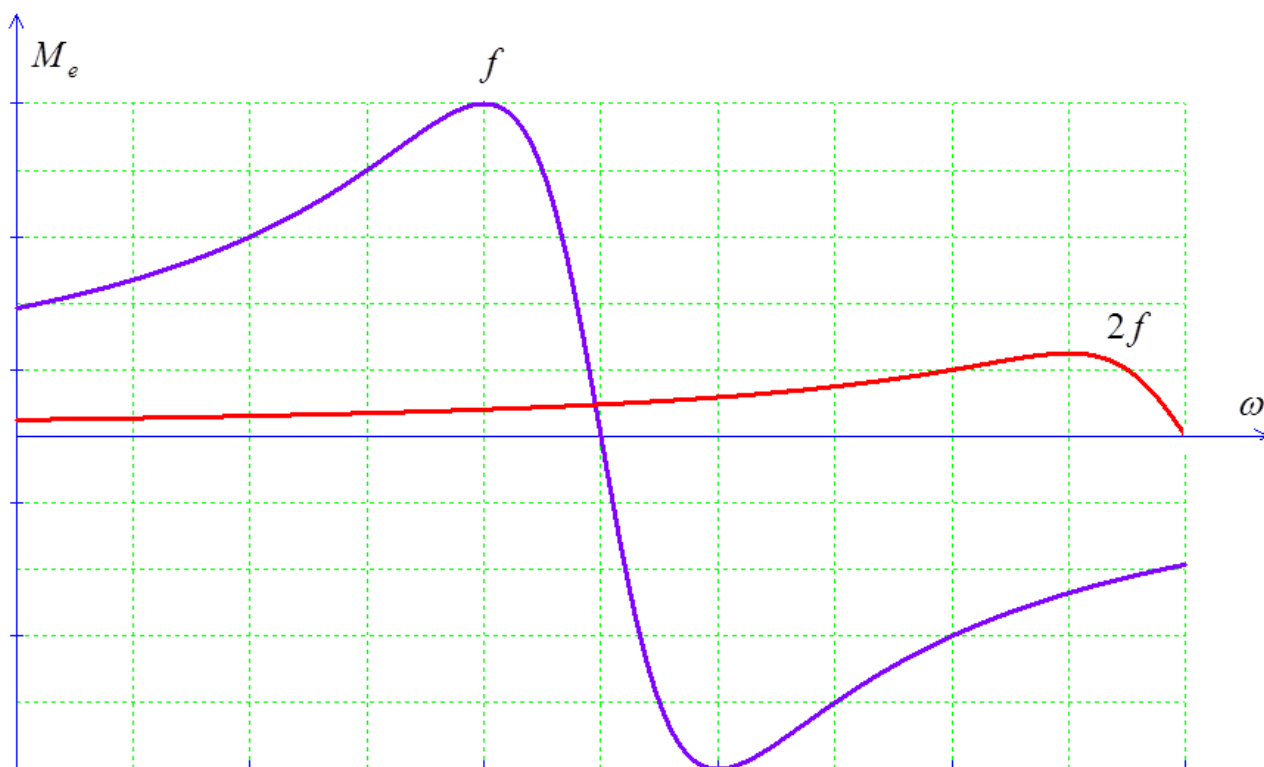
$$\omega_s = \frac{2\pi f}{p} = \frac{\omega_1}{p} \quad (4)$$

Wartość skuteczna prądu wirnika jest równa zero jedynie przy prędkości synchronicznej i wraz ze wzrostem modułu poślizgu rośnie. Wartość minimalna prądu stojana występuje gdy poślizg jest równy zero, jest to prąd idealnego biegu jałowego (Rys. 2).

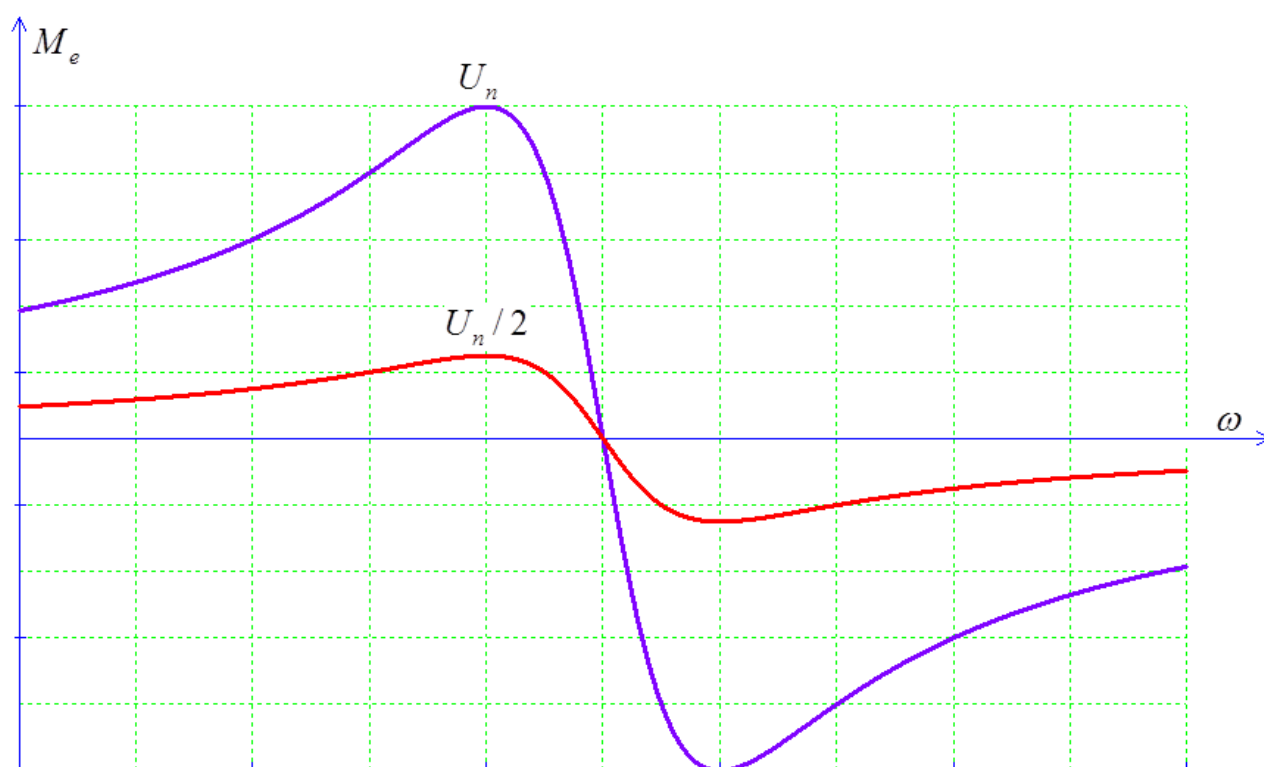


Rys. 2 Wartość skuteczna prądu stojana  $I_1$  i wirnika  $I_2'$  w zależności od prędkości kątowej.

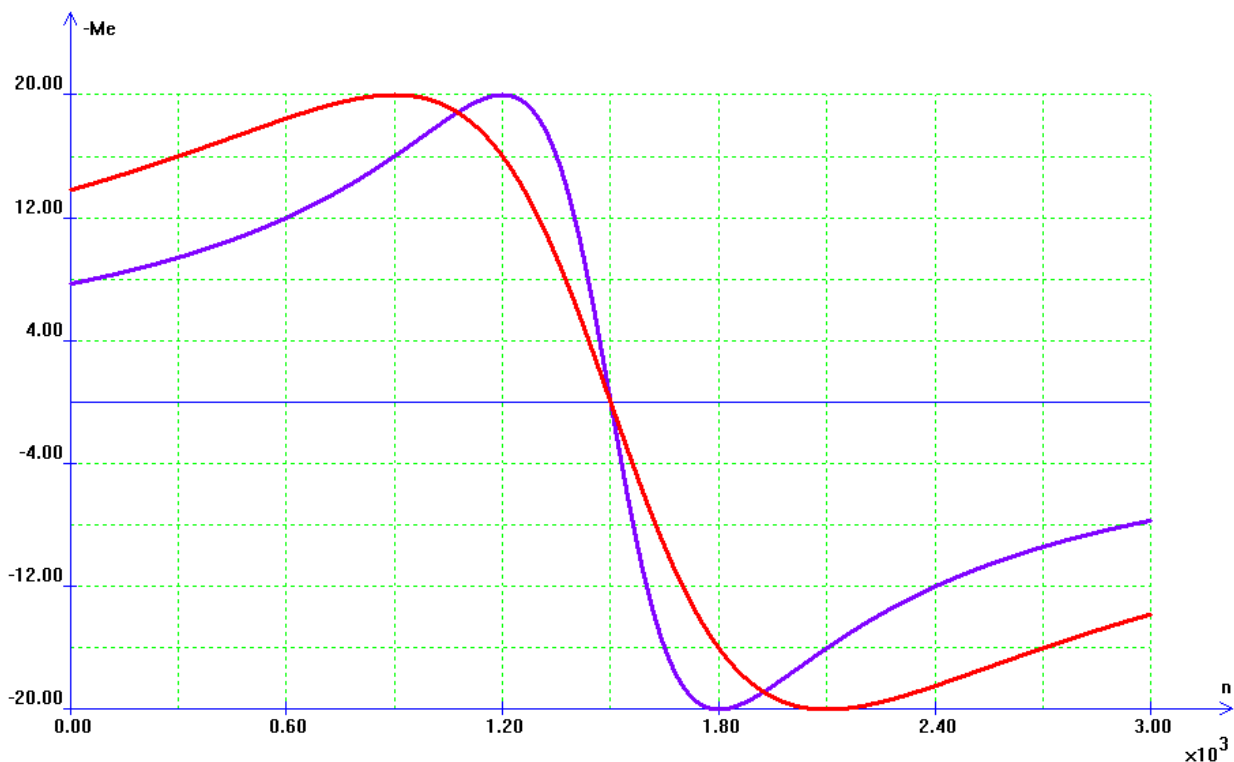
Na podstawie ww. zależności w prosty sposób możemy przewidywać zmianę kształtu charakterystyki mechanicznej, dzięki czemu możemy przewidywać jak zmieni się prędkość przy danej wartości momentu obciążenia i zmianie parametrów zasilania. Jeśli np. jeśli dwukrotnie zwiększymy częstotliwość napięcia zasilającego to moment krytyczny zmaleje 4-krotnie, prędkość synchroniczna wzrośnie 2-ktornie (Rys. 3).



Rys. 3 Wpływ wzrostu częstotliwości napięcia zasilającego na kształt charakterystyki mechanicznej.



Rys. 4 Wpływ zmiany napięcia zasilającego na kształt charakterystyki mechanicznej.



Rys. 5 Wpływ zmiany rezystancji w obwodzie wirnika na kształt charakterystyki mechanicznej.

Dwukrotne zmniejszenie napięcia zasilającego spowoduje 4-krotne zmniejszenie momentu krytycznego (Rys. 4). Dwukrotne zwiększenie rezystancji w obwodzie wirnika spowoduje jedynie zwiększenie nachylenia charakterystyki mechanicznej (2-krotne zwiększenie poślizgu krytycznego) (Rys. 5).

Dokładniejszej analizie wymaga analiza zmniejszenia częstotliwości lub zwiększenia napięcia zasilającego. W obu przypadkach takie zmiany mogą prowadzić do zniszczenia maszyny. Przy biegu jałowym maszyny indukcyjnej wartość napięcia indukowanego na skutek wirowania pola magnetycznego jest w przybliżeniu równa napięciu zasilającemu. Zależność na wartość napięcia indukowanego, przy sinusoidalnej zmienności strumienia magnetycznego w czasie można dla maszyn indukcyjnych wyrazić wzorem:

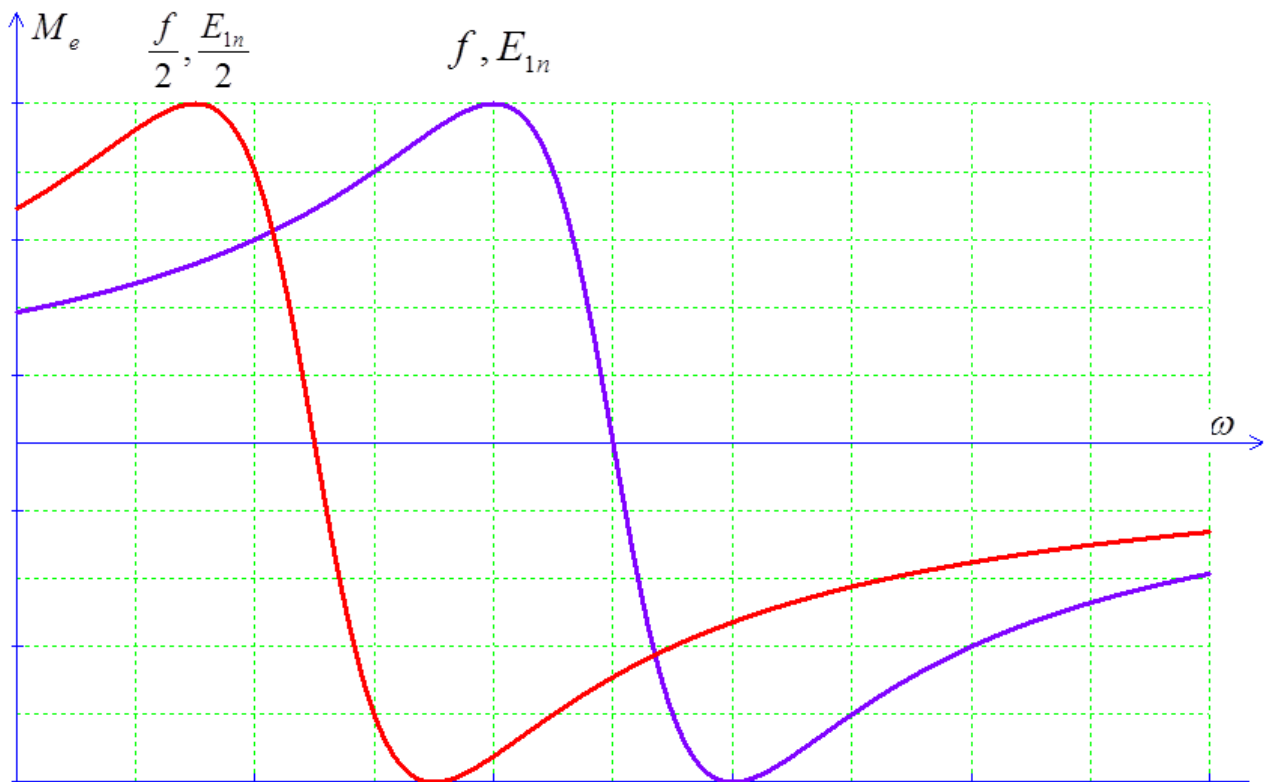
$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f z_1 \phi k_u \quad (5)$$

Współczynnik  $k_u$ , nazywany współczynnikiem uzwojenia, ma wartość mniejszą od jedności i jest wynikiem rozłożenia uzwojenia na obwodzie maszyny. Wartość maksymalna strumienia magnetycznego jest zatem wymuszona wartością napięcia zasilającego:

$$\phi \approx \frac{U_1}{4.44 f z_1 k_u} \quad (6)$$

Zmniejszenie częstotliwości, przy zachowaniu tej samej wartości napięcia spowoduje wzrost strumienia magnetycznego. Strumień magnetyczny jest wytworzony przez prąd płynący w uzwojeniach, stąd wartość prądu musi także wzrastać. Strumień znamionowy ma wartość bliską „kolana” krzywej magnesowania, więc próba jego zwiększenia będzie skutkowałą znacznym wzrostem prądu magnesującego. Stan taki może spowodować, iż wartość prądu magnesującego wzrośnie powyżej prądu znamionowego i uszkodzi uzwojenie stojana. Przy zmniejszaniu częstotliwości należy zatem zmieniać także napięcie zasilające, aby zachować stałą wartość maksymalną strumienia magnetycznego:

$$\frac{E_1}{f} = \text{const} \quad (7)$$



Rys. 6 Wpływ zmian częstotliwości i napięcia (przy zachowaniu stałego strumienia) na kształt charakterystyki mechanicznej.

Utrzymanie stałej wartości strumienia wymaga estymacji napięcia indukowanego od strumienia głównego (lub estymacji strumienia). Często stosuje się uproszoną wersję tego warunku, zachowując proporcje pomiędzy napięciem a częstotliwością:

$$\frac{U_1}{f} = \text{const} \quad (8)$$

### **Spis literatury:**

- [1] Chapman Stephen J.: Electrical Machinery Fundamentals. McGraw Hill, New York 2005
- [2] Fitzgerald A. E., Kingsley Ch., Unmans S. D.: Electric Machinery. McGraw Hill Higher Education 2003
- [3] Fleszar J., Śliwińska D., Zadania z maszyn elektrycznych, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2003
- [4] Hebenstreit J., Gientkowski Z., Maszyny elektryczne w zadaniach, Wydawnictwo Akademii Rolniczo-Technicznej, Bydgoszcz 2003
- [5] Mitew E., Maszyny Elektryczne, T1, T2, Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom 2005
- [6] Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk, Scott D. Sudhoff: Analysis of Electric Machinery and Drive Systems. John Wiley & Sons Inc. IEEE Press Piscataway, New York 2002
- [7] Plamitzer A.: Maszyny elektryczne. WNT, Warszawa 1982
- [8] Przyborowski W., Kamiński G.: Maszyny elektryczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
- [9] Rene Le Doeuff, Mohamed El Hodi Zaim: Rotating Electrical Machines. John Wiley & Sons Inc., Hoboken 2010
- [10] Sen P. G., Principles of electric machines and Power electronics, John Wiley & Sons, Ontario 1997
- [11] Wildi Theodore: Electrical Machines, Drives and Power Systems. Pearson Education, New Jersey 2006