

Piotr SZYMCZAK¹
Sebastian WISZNIEWSKI¹

ANALIZA MOMENTU SILNIKA SYNCHRONICZNEGO Z MAGNESAMI TRWAŁYMI

W pracy przedstawiono wyniki badań elektromagnetycznego momentu obrotowego silnika synchronicznego małej mocy z magnesami trwałymi. Moment silnika zawierający sześć elementów można umownie wyrazić przez cztery składowe: elektromagnetyczny moment synchroniczny, moment reluktancyjny, hamujący moment elektromagnetyczny i reluktancyjny. W pracy przeanalizowano zależność momentu od parametrów samego silnika. Na podstawie wybranych badań symulacyjnych pokazano tylko znaczący wpływ oporności czynnej uzwojeń stojana na charakterystykę momentu i jego ww. składowe, a także na jego moment maksymalny.

1 WSTĘP

Silniki synchroniczne z magnesami trwałymi budowane są w szerokim zakresie mocy – od kilku watów do ponad 1MW. Przedmiotem badań jest optymalizacja konstrukcji i parametrów, analiza stanów pracy oraz obniżenie kosztów produkcji [1, 2]. Zagadnieniu analizy momentu małych silników o wzbudzeniu magnetoelektrycznym i wpływu oporności czynnej uzwojeń stojana r_s poświęca się mniej uwagi.

W pracy analizuje się składowe momentu elektromagnetycznego w zależności od parametrów maszyny. W końcowej części referatu przytoczono wnioski przydatne w pierwszym etapie projektowania takich maszyn lub napędów elektrycznych.

2 MOMENT WYPADKOWY M

Do analizy momentu wykorzystano równanie opisujące moment obrotowy [2]:

$$M = \frac{mU^2\varepsilon}{\omega_n(r_s^2 + x_d x_q)^2} \left[(x_d x_q^2 - r_s^2 x_q + 2r_s^2 x_d) \sin\theta_U + r_s (2x_q^2 + r_s^2 - x_d x_q) \cos\theta_U - \varepsilon r_s (r_s^2 + x_q^2) \right] + \frac{mU^2}{2\omega_n} \frac{x_d - x_q}{(r_s^2 + x_d x_q)^2} \left[(x_d x_q - r_s^2) \sin 2\theta_U + r_s (x_d + x_q) \cos 2\theta_U - r_s (x_d - x_q) \right] = M_e + M_{dq} \quad (1)$$

Analizę równania (1) przeprowadzono w oparciu o dwa kryteria: stopień wzbudzenia maszyny ε i różnicę reluktancji w osiach d i q. Moment wypadkowy jest sumą dwóch

¹ Zakład Maszyn i Napędów Elektrycznych Politechniki Szczecińskiej, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, tel.: (+4891) 449 4212, fax (+4891) 449 4317, e-mail: ie@ps.pl, wisz@ps.pl

składowych: momentu elektromagnetycznego M_e – zależnego od stopnia wzbudzenia ε i momentu reluktancyjnego, nazywanego także klejącym, M_{dq} – uwarunkowanego różnicą reluktancji (x_d-x_q) w osi podłużnej i poprzecznej.

Zatem wypadkowy moment obrotowy wynosi:

$$M = M_e + M_{dq} = M'_e + M'_{dq} - M_{eh} - M_{dqh} = M' - M_h \quad (2)$$

gdzie: $M' = M'_e + M'_{dq}$, $M_h = M_{eh} + M_{dqh}$.

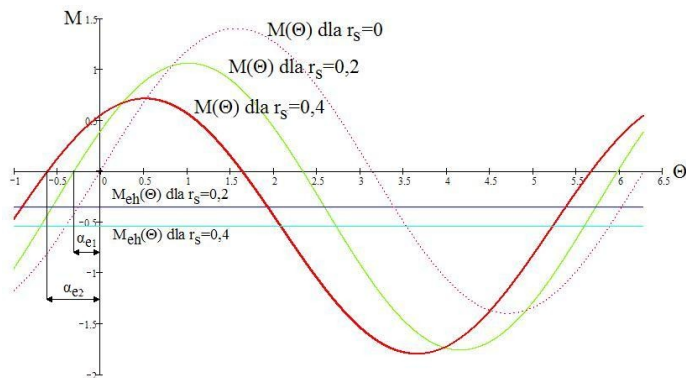
3 SKŁADOWE MOMENTU M_e i M_{dq}

Wzór na M_e formujemy z trzech składowych zależnych od ε i stanowi: $M'_e + M_{eh}$.

Badania symulacyjne prowadzimy w jednostkach względnych, przyjmując $M_b = mU^2 / \omega_n x_q$, $z_b = x_q$, $x_{dpu} = x_d / x_q$ i $r_{spu} = r_s / x_q$. Wówczas:

$$M_{epu} = \frac{M_e}{M_b} = \frac{x_d^3 \varepsilon}{(r_{spu}^2 + x_{dpu})^2} \left[(x_{dpu} - r_{spu}^2 + 2r_{spu}^2 x_{dpu}) \sin \theta_U + r_{spu} (2 + r_{spu}^2 - x_{dpu} x_{qu}) \cos \theta_U - \varepsilon r_{spu} (r_{spu}^2 + 1) \right] \quad (3)$$

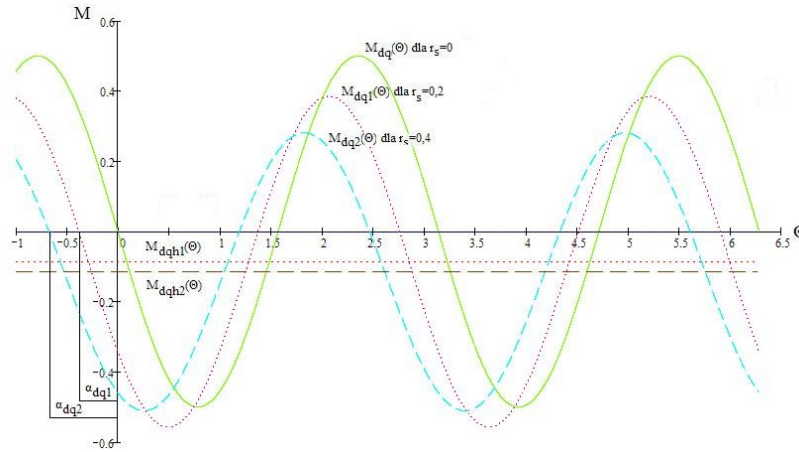
Na rys. 2 przedstawiono wybrane charakterystyki M_{epu} w funkcji kąta obciążenia θ_u dla różnych r_s . Można zauważyć, że sinusoida podstawowa (dla $r_s=0$) zostaje przesunięta w lewo o kąt α_e proporcjonalny do wartości r_s oraz w dół – o wartość momentu hamującego również zależnego od r_s .



Rys. 2. Charakterystyki M_e dla różnych oporności czynnych stojana.

Moment reluktancyjny M_{dq} w jednostkach względnych składa się z momentu M_{dq} zależnego od kąta θ_U i stałego momentu hamującego M_{dqh} i wynosi:

$$M_{dqp} = \frac{M_{dq}}{M_b} = \frac{x_q^3}{2} \frac{x_{dpu} - 1}{(r_{spu}^2 + x_{dpu})^2} \left[(x_{dpu} - r_{spu}^2) \sin 2\theta_U + r_{spu} (x_{dpu} + 1) \cos 2\theta_U \right] - \frac{x_q^3 r_{spu} (x_{dpu} - 1)^2}{2 (r_{spu}^2 + x_{dpu})^2} \quad (4)$$



Rys. 3. Charakterystyki M_{dq} silnika synchronicznego dla różnych r_s

Na rys. 3 widać, że sinusoida podstawowa (dla $r_s=0$) zostaje przesunięta w lewo o kąt α_{dq} i w dół – podobnie jak na rys. 2. Moment hamujący M_{dqh} obserwowalny jest tylko w mikrosilnikach, w których r_s jest znaczące; przy małych r_s jest on pomijalny.

4 MOMENT WYPADKOWY M

Moment wypadkowy możemy zapisać w innej formie:

$$M = A_e \sin(\theta_U + \alpha_e) + A_{dq} \sin 2(\theta_U + \alpha_{dq}) - M_h \quad (5)$$

gdzie:

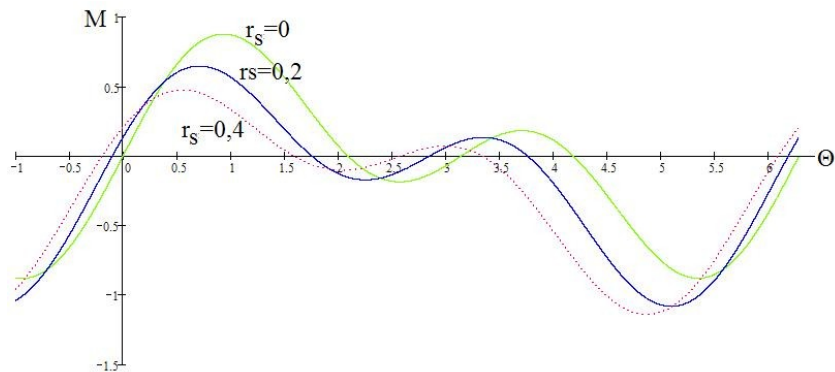
A_e, A_{dq} – amplitudy momentów zależne od parametrów maszyny i napięcia zasilania.

Badając wyrażenie na moment maksymalny silnika synchronicznego z magnesami trwałymi dla przypadku $x_d=x_q$ otrzymujemy przy $\varepsilon_{ss\max}$:

$$M_{ss\max} = \frac{mU^2}{4\omega_n r_s} \quad (6)$$

Analizując wyrażenie (6) widzimy, że podstawowym parametrem wpływającym na moment jest wartość oporności czynnej uzwojeń stojana silnika synchronicznego - r_s .

Moment wypadkowy M silnika synchronicznego przedstawiono na rys. 4.



Rys.4 Charakterystyki momentu wypadkowego M zależne od kąta Θ_U i r_s .

5 WNIOSKI

1. W maszynach synchronicznych z magnesami trwałymi małej mocy należy uwzględnić istotny wpływ parametru r_s na składowe momentu elektromagnetycznego i reluktancyjnego, co pokazano na rys. 2-4.

2. Wartość oporności r_s jest podstawowym parametrem określającym moment maksymalny silnika, zwiększenie r_s powoduje przesunięcie charakterystyk w lewo o kąt α_e dla M_e i α_{dq} dla M_{dq} oraz w dół – o wartość odpowiednich momentów hamujących.

6 LITERATURA

1. Gieras J.F., Wing M., Permanent magnet motor technology, Marcel Dekker Inc., New York, Basel, 2002
2. Juferov F.M.: Elektrieskije masziny avtomatycznych ustrojstw, Wyd. Wyższa Szkoła, Moskwa, 1988

ANALYSIS OF THE PM SYNCHRONOUS MOTOR TORQUE

In the paper the electromagnetic torque developed by a low-power PM synchronous motor is analyzed. It is possible to express the torque containing six elements by means of four components: electromagnetic synchronous torque, reluctance torque, electromagnetic and reluctance braking torques. Authors have analyzed to what extent the torque is dependent on motor parameters. The chosen simulation results show only the substantial effect the resistance of stator windings exerts on characteristics of the torque and its above-mentioned components, and the maximum torque as well.