

mgr inż. Paweł Strączyński
Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki
Politechnika Świętokrzyska
pstraczynski@tu.kielce.pl

Kielce, dn. 23.08.2024r.

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt.

„Analiza wpływu wybranych zmian obwodu magnetycznego na parametry silnika komutatorowego z magnesami trwałymi”

W pracy przedstawiono problematykę wpływu zmian obwodu magnetycznego na parametry silnika komutatorowego z magnesami trwałymi.

Szczególnie duże znaczenie podczas projektowania maszyn elektrycznych o wzbudzeniu magnetoelektrycznym ma takie kształtowanie obwodu magnetycznego, aby zredukować wartość momentu zaczepowego. Jest to negatywne zjawisko powstałe w skutek współdziałania pola magnetycznego pochodzącego od magnesów trwałych i stojana o zmiennej reluktancji. Moment zaczepowy powoduje dodatkowe wibracje i hałas. Pulsacja momentu elektromagnetycznego (na którą wpływ ma powstawanie momentu zaczepowego od magnesów) ma wpływ na dokładność pozycjonowania i płynność działania napędów wykorzystujących maszyny o wzbudzeniu magnetoelektrycznym – jest bowiem ona zależna wszelkiego rodzaju drgań wywołanych zarówno na drodze mechanicznej jak i elektromagnetycznej całego układu napędowego.

Jak wskazuje przeprowadzona analiza literaturowa badania wpływu parametrów konstrukcyjnych maszyn z magnesami na ich właściwości z uwzględnieniem minimalizacji momentu zaczepowego są w ostatnich latach tematem wielu prac. Warto zauważyć, że uwagę badaczy przyciągają głównie maszyny bezszczotkowe zarówno te prądu stałego jak i przemiennego. Silniki komutatorowe w badaniach metod minimalizacji momentu zaczepowego były dotąd w dużej mierze pomijane. Powodem takiego stanu rzeczy zdaniem autor jest to, że większości maszyn komutatorowych wykorzystuje w obwodzie wzbudzenia tanie magnesy ferrytowe. Magnesy te mają niewielką gęstość energii – nieprzekraczającą 40 kJ/m^3 . Skutkuje to niskim poziomem indukcji w szczelinie przez co wartość momentu zaczepowego jest niewielka. Ze względu na cenę stosowanie wysokoenergetycznych magnesów z domieszką metali ziem rzadkich (o gęstości energii nawet do 400 kJ/m^3) nie jest powszechne. Szczególną barierą stanowi kształt magnesów – magnesy ferrytowe są formowane w procesie produkcji na kształt wycinka pierścienia. Uzyskanie magnesów spiekanych (np. neodymowych) w takim kształcie powoduje że koszty rosną kilkukrotnie – magnes taki musi zostać wycięty z większego prostopadłościennego bloku.

Rozwiązaniem pośrednim może być zastosowanie w obwodzie wzbudzenia odpowiednio rozmieszczonych magnesów neodymowych prostopadłościennych. Zdaniem autora powinno to pozytywnie wpłynąć na parametry maszyny m.in. zwiększyć moment elektromagnetyczny oraz pozwolić na redukcję gabarytów maszyny. Potencjalną wadą tego rozwiązania może być zwiększenie poziomu tętnień momentu związanego z momentem zaczepowym. Celem niniejszej pracy jest zatem analiza możliwości i korzyści wynikających z zastąpienia magnesów ferrytowych w maszynie komutatorowej o klasycznej budowie magnesami neodymowymi

Strączyński

prostopadłościnnymi oraz ocena wpływu wybranych zmian obwodu magnetycznego na parametry tej maszyny.

W celu realizacji założonego celu w pracy dokonano analizy aktualnego stanu wiedzy w zakresie: metod minimalizacji momentu zaczepowego w maszynach o wzbudzeniu magnetoelektrycznym, możliwości wykorzystania metod polowych i polowo-obwodowych do obliczeń pola elektromagnetycznego w badanych maszynach oraz metod i przyrządów do wyznaczania momentu zaczepowego w maszynach elektrycznych. W oparciu o powyższą analizę określono plan badań symulacyjnych oraz laboratoryjnych. Badania praktyczne możliwe były dzięki opracowaniu stanowisk badawczych w tym szczególnie zautomatyzowanego stanowiska pomiarowego do wyznaczania momentu zaczepowego.

W ramach pracy opracowano szereg modeli polowych i polowo-obwodowych zarówno maszyny o budowie klasycznej (wzbudzanej magnesami ferrytowymi w kształcie wycinków pierścieni) jak i nowej maszyny o wzbudzeniu od magnesów neodymowych, prostopadłościnnymi. Ponadto dla maszyny o budowie klasycznej przeprowadzono analizę porównawczą modeli w różnych programach MES oraz dla modeli o różnej złożoności obliczeniowej. Dla nowej maszyny o wzbudzeniu od magnesów prostopadłościnnymi przeprowadzono analizę wpływu wybranych parametrów obwodu magnetycznego silnika na jego właściwości elektromechaniczne. W przeprowadzonych badaniach skupiono się na takich parametrach obwodu magnetycznego jak: stosunek liczby żłobków do liczby par biegunów (całkowity i niecałkowity), grubość szczeliny powietrznej, rozmieszczenie magnesów (budowa nabiegunników). Przeprowadzone badania symulacyjne zweryfikowano pomiarowo na zbudowanych prototypach maszyn.

W oparciu o przeprowadzone badania symulacyjne stwierdzono, że badane modyfikacje maszyny mają istotny wpływ na jej parametry - w szczególności moment zaczepowy. W ramach przeprowadzonych badań udało się dowiedzieć, że jest możliwe dobranie takich parametrów obwodu magnetycznego maszyny, aby zastąpienie klasycznych magnesów ferrytowych w kształcie wycinków pierścieni magnesami neodymowymi prostopadłościnnymi pozwoliło na zmniejszenie gabarytów maszyny przy jednoczesnym zwiększeniu momentu elektromagnetycznego bez zwiększenia poziomu tętnień tego momentu. Badania pokazały, że aby spełnić przyjęte założenia w jednych kryteriach konieczne jest pójście na kompromis i pogorszenie właściwości na innym polu. Dla badanych maszyn przy znamionowym obciążeniu pogorszeniu uległa sprawność maszyny - w zależności od parametrów obwodu magnetycznego od kilku do kilkunastu procent. W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzić można, że zastąpienie magnesów ferrytowych prostopadłościnnymi magnesami z domieszką metali ziem rzadkich jest ciekawą alternatywą, wartą pogłębionej analizy. W ocenie autora kierunkiem dalszych badań może być opracowanie dokładniejszych modeli - trójwymiarowych, ukierunkowanych na analizę strat mocy. Warto w opracowywanych w przyszłości modelach uwzględnić wpływ połączeń czołowych, prądów wirowych czy wpływu temperatury na właściwości zastosowanych materiałów.

Paweł Strzemiński