

Streszczenie rozprawy doktorskiej
(doktorat wdrożeniowy)

Tytuł: Ograniczanie hałasu silników trakcyjnych

Autor:

mgr inż. Emil Król

Promotor:

dr hab. inż. Marcin Maciążek, prof. PŚ (Politechnika Śląska)

Opiekun pracy ze strony pracodawcy:

dr inż. Robert Rossa (Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny)

Celem rozprawy było opracowanie wytycznych projektowych dla trakcyjnych PMSM umożliwiających ograniczenie emitowanej mocy akustycznej generowanej przez obwód elektromagnetyczny bez pogarszania charakterystyk elektromechanicznych. Postawiono pytanie badawcze: Czy możliwy jest dobór parametrów konstrukcyjnych obwodu magnetycznego i uzwojenia twornika silnika synchronicznego z magnesami trwałymi, przeznaczonego do zastosowań w napędach trakcyjnych, który umożliwia osiągnięcie wymaganych charakterystyk elektromechanicznych napędu, przy jednoczesnym ograniczeniu mocy akustycznej generowanej przez silnik podczas jego pracy do poziomu nieuciążliwego dla otoczenia. Zweryfikowano praktycznie teorię, że dzięki świadomemu doborowi liczby żłobków i biegunów, geometrii żłobków, wymiarów gabarytowych, rozmieszczeniu magnesów, podniesieniu sztywności stojana/kadłuba oraz kontroli sposobu zasilania, można ograniczyć siły elektromagnetyczne odpowiedzialne za drgania i poziom hałasu, nie tracąc sprawności ani współczynnika mocy do masy silnika.

W części teoretycznej pracy przeprowadzono szczegółową analizę metod obliczeniowych stosowanych do badania zjawisk wibroakustycznych w trakcyjnych silnikach synchronicznych z magnesami trwałymi. Oceniono klasyczne metody analityczne, które pozwalają na szybkie wyznaczanie podstawowych częstotliwości sił elektromagnetycznych oraz identyfikację kształtów przestrzennych odpowiedzialnych za powstawanie drgań i podwyższony poziom hałasu. Przeanalizowano również metody hybrydowe, łączące zalety modeli obwodowych, obliczeń numerycznych 2D oraz uproszczonych analiz modalnych, umożliwiające bardziej precyzyjne prognozowanie oddziaływań elektromagnetycznych w szczelinie powietrznej. Uzupełnieniem tych metod obliczeń były wibroakustyczne obliczenia hybrydowe z wykorzystaniem MES 3D, które odwzorowują geometrię maszyny w sposób najbliższy rzeczywistości, uwzględniając kadłub, uzwojenia i układ chłodzenia, jednak ich

przygotowanie jest najbardziej pracochłonne, a same obliczenia wymagają dużych zasobów obliczeniowych i czasu. Na podstawie przeprowadzonej analizy Autor zaproponował wybór jako optymalnej metody obliczeniowej metodę hybrydową 2D.

W pracy opracowano rozszerzoną hybrydową metodę obliczeniową wykorzystującą obliczenia MES 2D, łączącą podejście analityczne z obliczeniami numerycznymi MES oraz badaniami laboratoryjnymi. Metoda ta umożliwia szybkie i wiarygodne oszacowanie właściwości wibroakustycznych silników trakcyjnych już na etapie projektowania, zanim powstaną kosztowne prototypy. Jej istotą jest wyznaczanie częstotliwości kształtów przestrzennych odpowiedzialnych za hałas oraz wprowadzenie korekt uwzględniających wpływ zasilania falownikowego i rzeczywistego kadłuba. Dzięki temu możliwe jest wskazanie częstotliwości rezonansowych i prognozowanie poziomu mocy akustycznej z dużą dokładnością, co pozwala optymalizować konstrukcję silnika jeszcze przed jego wykonaniem. W pracy przeprowadzono szereg badań laboratoryjnych wykonanych silników prototypowych i seryjnych, których celem była weryfikacja opracowanych modeli oraz wyników obliczeń elektromagnetycznych i wibroakustycznych. Przeprowadzone badania potwierdziły słuszność zaproponowanej metody oraz pozwoliły na dobór korekt poziomu mocy akustycznej wynikającej z wpływu zasilania falownikowego, wpływ nieuwzględnionego w modelu wibroakustycznym rzeczywistego kadłuba i uzwojonego pakietu stojana. Zaproponowano także praktyczny sposób wyznaczania współczynnika wpływu falownika na podstawie różnicy *SWL* między trybem silnikowym a generatorowym dla tego samego stanu cieplnego i prędkości.

Opracowana metodologia polega na zintegrowaniu w jednej, spójnej metodzie:

- a) doboru kombinacji liczby żłobków do liczby biegów oraz geometrii stojana i wirnika pod kątem redukcji wymuszeń elektromagnetycznych,
- b) analizy modalnej rzeczywistego kadłuba i uzwojonego pakietu stojana z identyfikacją ryzyka wystąpienia rezonansu,
- c) definiowaniu oraz stosowaniu współczynników korekcyjnych *SWL* wiążących obliczenia z pomiarami przy zastosowaniu zasilania falownikowego oraz zastosowaniu rzeczywistego kadłuba silnika.

Opracowane wytyczne i korekty dają się zastosować zarówno do prototypowania, jak i do optymalizacji produkcji seryjnej napędów trakcyjnych, co ma bezpośrednie znaczenie praktyczne dla krajowego rozwoju elektromobilności. Praca otwiera perspektywę dalszych badań nad źródłami poziomu mocy akustycznej w układach wielofalownikowych, wpływem technologii wykonania kadłuba na częstotliwość drgań własnych oraz nad ściślejszą integracją modeli elektromagnetycznych, termicznych i akustycznych w środowiskach CAE.