

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Development of computational methods for improvement of solenoid valves used in automotive industry

autor: Robert Goraj

promotor: dr hab. inż. Łukasz Jankowski, prof. IPPT

Głównym tematem rozprawy jest poprawa funkcjonalności zaworu elektromagnetycznego. W pracy został zaproponowany analityczny model zaworu oraz odpowiednie narzędzia numeryczne pozwalające oszacować wartość poprzecznej siły magnetycznej działającej na rdzeń zaworu umieszczony niecentrycznie w tulei. Model uwzględnia siły hydrauliczne oraz ciepło indukowane w wyniku sterowania typu PWM. Opracowane modele i narzędzia wykorzystano w celu analizy i oceny pewnych modyfikacji zaworu. Modyfikacje te, o charakterze konstrukcyjnym i geometrycznym, zostały zaproponowane w celu poprawy funkcjonalności zaworu i zwiększenia jego wypadkowej siły osiowej. Większość opisanych wyników została opublikowana w czasopiśmie naukowych. Przedstawiona praca rozszerza wcześniej opublikowane wyniki o kilka nowych aspektów i dostarcza obliczeniowy dowód na potwierdzenie głównej tezy pracy.

W pierwszym rozdziale pracy został zaprezentowany przegląd literatury dotyczącej modelowania matematycznego zaworów elektromagnetycznych wykorzystywanych w aplikacjach przemysłowych. Po prezentacji następuje opis wkładu własnego w modelowanie zaworów i uzyskane wyniki obliczeniowe oraz przedstawienie powiązania tematycznego opublikowanych artykułów. W rozdziale drugim opisanych zostało kilka przykładowych aplikacji technicznych wykorzystujących zawory elektromagnetyczne oraz ich zasady działania.

Rozdział trzeci poświęcony jest wyprowadzeniu modelu matematycznego użytego w pracy. Uzyskany model w postaci układu równań wyrażonych w formie analitycznej uwzględnia siłę tarcia suchego oraz wiskotycznego jak również siłę elektromagnetyczną wprawiającą rdzeń zaworu w ruch.

Wyprowadzony model wykorzystany jest w rozdziale czwartym do uzyskania wyników obliczeniowych. Są nimi między innymi siły działające na rdzeń zaworu, grubości szczelin magnetycznych oraz gęstość strumienia magnetycznego. Rozdział zamyka opis potencjału optymalizacyjnego możliwego do uzyskania wskutek zmiany charakterystycznych wartości geometrycznych zaworu, jakimi są średnica rdzenia oraz grubość poprzecznej szczeliny magnetycznej.

Wpływ zaproponowanych modyfikacji geometrycznych zaworu na rozkład temperatury w rdzeniu jest opisany w rozdziale piątym. Analizie zostają poddane przypadki, w których temperatura rdzenia wzrasta na skutek ciepła indukcyjnego wynikającego z modulacji szerokości impulsów sterujących.

Rozdział szósty przedstawia wyprowadzenie i opis modelu numerycznego wykorzystywanego w pracy. Uzyskany układ równań różniczkowych zostaje zdyskretyzowany i rozwiązany Metodą Skończonych Różnic (Finite Difference Method). W rozdziale zawarty jest opis implementacji modelu, kryteria zbieżności błędów numerycznych jak również analiza niezależności siatki obliczeniowej oraz walidacja uzyskanych wyników.

Model numeryczny wykorzystany jest w rozdziale siódmym do optymalizacji geometrii przekroju poprzecznego rdzenia zaworu. Wzór modyfikacji geometrycznej został zaczerpnięty z rozwiązania patentowego autora. Wynikiem optymalizacji jest wzrost wypadkowej siły osiowej zaworu uzyskanej dzięki wprowadzeniu wąskich szczelin na powierzchni obwodowej rdzenia zaworu.

Rozdział ósmy poświęcony jest podsumowaniu i wnioskowi. Przedstawiony został również opis wkładu własnego w rozwój metod obliczeniowych i modelowanie zaworów elektromagnetycznych. Poza tym opisane zostały możliwości rozszerzenia rozpatrywanego zagadnienia.

30-04-2022

Robert Goraj