



RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Adama Stachury
pt. **” Modelowanie dynamiki napędu hybrydowego”**

1. Zakres pracy

Praca licząca 137 stron składa się z dziewięciu rozdziałów i obszernego spisu literatury. We wstępie autor przedstawia historię pojazdów hybrydowych, charakterystykę napędów, stosowane rozwiązania oraz podaje przegląd literatury. Autor podaje również opis hybrydowego stanowiska badawczego dla wózka widłowego składającego się z podukładu równoległego i szeregowego, zespołu kondensatorów i baterii. Głównym zadaniem tego układu jest przetwarzanie i sterowanie przepływem energii w hybrydowym układzie napędowym maszyny.

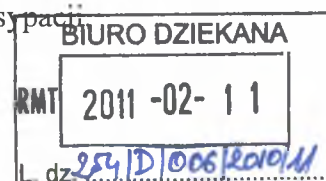
Na stronie 42 sformułowany został cel i zakres pracy oraz koncepcja napędu e4WD dla samochodu Fiat Panda – umożliwiającego pracę w trzech trybach pracy: spalinowym, elektrycznym oraz mieszanym.

Zakres pracy przewiduje 6 zadań obejmujących budowę i analizę programu symulującego pracę układu hybrydowego, ustalenie standardowych cykli jazdy w ruchu miejskim, dobór parametrów sterowania, wykonanie demonstratora oraz weryfikację programu symulacyjnego napędu hybrydowego.

2. Obliczenia dynamiki pojazdu i model dynamiczny symulacyjny

W rozdziale 4 i 5 pracy (str. 54 – 109) zaprezentowane zostały starannie ułożone i uzasadnione obliczenia dynamiki pojazdu dla przypadku napędu spalinowego. Przedstawiono bilans energetyczny konwencjonalnego pojazdu oraz przewidywaną charakterystykę dynamiczną. Obliczenia wykonano w programie Matlab, dobrano przełożenia skrzyni biegów i przeanalizowano opory ruchu. Na podstawie wykresów oporów ruchu wyznaczono maksymalną prędkość pojazdu w trybie elektrycznym na ok. 65 km/h. Do obliczeń przyjęto założenia upraszczające, które nie budzą zastrzeżeń. Masa pojazdu w wersji hybrydowej wzrosła z 935 kg do 1213 kg, co pogorszyło dynamikę pojazdu o ok. 23% w trybie jazdy spalinowej. Dobrano równoległy napęd hybrydowy na tylnim moście z silnikiem elektrycznym Lemco o mocy 15 kW. Napęd elektryczny został wyposażony w akumulatory Trojan, których szczególną zaletą jest długa żywotność i odporność na częste i głębokie rozładowania. Dzięki kompaktowej zabudowie silnika elektrycznego wraz z zestawem 6 akumulatorów, możliwe było zachowanie tylnego rzędu siedzeń dla pasażerów. Ograniczona do minimum została przestrzeń bagażnika pojazdu.

W p. 4.4 przedstawiono model numeryczny zawieszenia pojazdu, wyprowadzono równania różniczkowe ruchu, zależności na energię kinetyczną, potencjalną i energię dysypacji



Po otrzymaniu końcowych równań ruchu dla uproszczonego modelu zawieszenia, otrzymane macierze tłumienia, sztywności i sił zewnętrznych układu – zapisano w programie MATLAB i poddano szeregu symulacjom. Następnym krokiem było zamodelowanie silnika elektrycznego i wykonanie odpowiednich obliczeń pozwalających na modelowanie odpowiednich trybów pracy.

Rozdział 5 (str. 80 – 109) zawiera opis programu komputerowego do badań symulacyjnych. Model silnika spalinowego został opracowany w programie Matlab/Simulink i pozwala na obliczenia zużycia paliwa w stanach ustalonych oraz symulację zużycia paliwa podczas zadanych cykli jazdy takich jak ECE, NEDC lub EUDC. Algorytm obliczeniowy pozwala wyznaczyć zużycie paliwa na podstawie wyliczonej mocy wymaganej do pokonania oporów ruchu, wynikających z zadanego cyklu jazdy. Całość programu jak i parametry pracy zostały szczegółowo dobrane i uzasadnione i tym samym świadczą o wnikliwości i kompetencjach jego autora. Parametry programu zostały następnie zweryfikowane z danymi Centrum Rozwoju Fiata, wykazując poprawność wprowadzonych danych i przyjętych założeń.

3. Standardowe cykle jazdy (str. 92 – 102)

Są to programy symulacyjne dla jazdy miejskiej ECE – 196 sekund, EUDC – 400 sekund i NEDC 180 sekund. W celu zwiększenia dokładności i powtarzalności wyników pomiary wykonano na stanowisku laboratoryjnym, symulującym opory ruchu i zmienne prędkości jazdy. Opracowano 6 tras w aglomeracji śląskiej badając całkowite zużycie paliwa.

Celem przeprowadzonych symulacji była weryfikacja poprawności działania algorytmu obliczeniowego w porównaniu z wynikami oprogramowania CRF Powertrain. Dla wszystkich 6 tras obliczono zużycie paliwa wykazując obniżkę rzędu 6,5 – 17%. Najniższe zużycie paliwa uzyskano dla przypadków jazdy miejskiej.

4. Obliczenia symulacyjne dla napędu elektrycznego

Podano model dynamiczny napędu tylnej osi pojazdu, ustalono masę i pojemność zestawu akumulatorów oraz podjęto próbę doboru mocy silnika elektrycznego. Wybrany silnik o mocy 15 kW ma dobre właściwości trakcyjne i pozwala na płynną jazdę w ruchu miejskim z prędkością poniżej 65 km/h. Wadą tego rozwiązania jest stosunkowo duża masa całego układu napędu tylnej osi.

5. Algorytm sterujący

Algorytm decydujący o przepływie mocy został opracowany w programie Matlab/Simulink przy użyciu narzędzia Stateflow. Na podstawie danych wejściowych wprowadzonych do systemu, obliczane jest zapotrzebowanie energetyczne, tworzony jest bilans mocy obu silników oraz wysyłane są sygnały wymuszające do obu silników. W cyklu pracy można wyróżnić trzy podstawowe tryby: jazda w trybie elektrycznym – przy niskich prędkościach, wspomaganie silnikiem elektrycznym - przy przyspieszaniu oraz rekuperacja energii przy hamowaniu. W rozdziale tym omówiono przyjęte rozwiązania dla: jazdy w trybie spalinowym, trybie mieszanym oraz ładowania akumulatorów i hamowania regeneracyjnego.

Rozwiązanie algorytmu sterującego stanowi istotny twórczy wkład pracy doktoranta.

6. Demonstrator technologiczny (str. 110 – 123)

Budowa demonstratora przy tak szczupłych środkach na realizację projektu była możliwa dzięki bezpłatnemu użyczeniu samochodu Fiat Panda 4WD. Praca została wykonana z pełnym powodzeniem i w założonym terminie. Wykonano model wirtualny w technice CAD, który posłużył do integracji podzespołów oraz wykonania nowego okablowania układu instalacji elektrycznej – trakcyjnej 48V/72V/96V i pokładowej 12V. Powstał układ sterowania silnika spalinowego z zastosowaniem mikroprocesowego sterownika wykorzystującego technologię MOSFET. Do zarządzania pracą systemu napędowego wybrano programator, który służy ręcznego bądź automatycznego zarządzania pracą układu.

Koncepcja hybrydowego napędu pojazdu polega na zainstalowaniu na tylnej osi opisanego uprzednio zestawu elektrycznego z bateriami, silnikiem elektrycznym i zmienionym tylnym mechanizmem różnicowym, który jest napędzany silnikiem elektrycznym o mocy 15 kW, zamontowanym na podwoziu samochodu. W efekcie został zbudowany pojazd demonstrator technologii, który pozwolił na zrealizowanie koncepcji pracy doktorskiej.

Badania trakcyjne wykonane po uruchomieniu pojazdu potwierdziły osiągnięcie planowanych założeń konstrukcyjnych. Uzyskano oszczędności zużycia paliwa w granicach 4,0%. Wyniki przeprowadzonych analiz, jak twierdzi autor, wskazują, że oszczędności paliwa mogą sięgać nawet 16%.

7. Uwagi ogólne

Tematyka pojazdów hybrydowych nie jest nowa i jak wykazał doktorant wiele potężnych finansowo ośrodków badawczych stara się opracować coraz to doskonalsze rozwiązania. Wiodącą marką w tej dziedzinie jest koncern Toyota, który z powodzeniem opracował układy hybrydowe w pojazdach: Toyota Prius, Toyota Camry oraz w kilku modelach marki Lexus.

Wyższe koszty budowy takich pojazdów oraz ograniczona żywotność baterii sprawiają, że skuteczną, jak dotychczas alternatywną są rozwiązania Blueefficiency np. firm Mercedes Benz lub Volkswagen, z zastosowaniem odpowiednich wersji silników wysokoprężnych, rozwiązań obniżających opory ruchu i redukcją masy ogólnej pojazdu. Autor pracy zna te problemy i opisuje je we wstępnej części pracy. Można więc stwierdzić, że kierunki rozwoju napędów energooszczędnych, w tym, hybrydowych są sprawą otwartą i dlatego poszukiwanie nowych rozwiązań jak na przykład prezentowana praca ma sens i przyczynia się do rozwoju postępu technicznego. Doktorant wybrał do badań małolitrażowy samochód Fiat Panda z silnikiem wysokoprężnym o bardzo dobrych parametrach użytkowych. Ocenic trzeba ten fakt – jako utrudnienie zadania badawczego i dlatego, wykazanie, mimo tego oszczędności w zużyciu paliwa dobrze świadczy o wyborze koncepcji merytorycznym przygotowaniu doktoranta. Problemem technicznym w projektowaniu napędu hybrydowego pojazdu jest dobór algorytmu sterowania rozdziałem mocy. Jest to zagadnienie wielokryterialne obejmujące takie problemy jak: poziom naładowania baterii, rodzaj cyklu jazdy (miejski, terenowy, mieszany), styl jazdy kierowcy, warunki drogowe (zakręty, pochylenia, drogi), i dodatkowe obciążenia jak liczba pasażerów czy przewożony ładunek. Algorytm sterowania rozdziałem mocy powinien uwzględniać te czynniki i zapewnić racjonalne zużycie paliwa. Praca zawiera próbę opracowania takiego algorytmu lecz

zdaniem recenzenta jest to początek drogi, wymagający prawdopodobnie wielu korekt i większej liczby badań zarówno trakcyjnych, jak i stanowiskowych. Mimo to zaproponowany algorytm jest oryginalnym dorobkiem technicznym autora i świadczy o dojrzałości naukowej w stawianiu i rozwiązywaniu zadań badawczych. Doktorant dysponował bardzo niskim budżetem na realizację projektu. Dlatego wysoko trzeba ocenić, że zostały wykonane wartościowe badania jak model wirtualny samochodu, obliczenia dynamiki napędu, opory ruchu, model zawieszenia pojazdu. Dobrano także z odpowiednim uzasadnieniem napęd elektryczny i obliczenia części elektrycznej. Wykonano demonstrator technologiczny samochodu Fiat Panda w wersji e4WD i poddano próbom trakcyjnym. Teza pracy została udowodniona.

8. Uwagi szczegółowe

Przekazano doktorantowi w trybie roboczym i zostały one uwzględnione.

9. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska pt. "Modelowanie dynamiki napędu hybrydowego" przedłożona przez mgr inż. Adama Stachurę – reprezentuje wystarczający poziom naukowy i techniczny, aby dopuścić ją do publicznej obrony. Autor wykazał umiejętność posługiwania się złożonymi metodami badawczymi oraz samodzielność w rozwiązywaniu zadań naukowych. Tym samym uważam, że przedłożona rozprawa doktorska z nadmiarem spełnienia warunki §6 ust.1 o stopniach i trybie naukowym z dnia 14 marca 2003 r. i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Adama Stachurę – do publicznej obrony pracy doktorskiej na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej.

