

dr hab. inż. Andrzej Augustynowicz, prof. nzw. PO
Katedra Pojazdów Drogowych i Rolniczych
Wydział Mechaniczny
Politechnika Opolska
45-271 Opole
ul. S. Mikołajczyka 5

Opole, 23.09.2016r

Działając na podstawie uchwały Rady Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej z 29 czerwca 2016r. o powołaniu recenzentów, po zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej autorstwa Pana mgr inż. Michała Sekreckiego, wykonano jej recenzję. Rozprawę zatytułowano:

„Comparative Analysis of Electromechanical Drives for Light Vehicle Application”

RECENZJA

Opiniowana praca została wykonana pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Antoniego Szumanowskiego z Politechniki Warszawskiej. Jej przedmiotem jest wykazanie celowości zastosowania w układzie napędowym pojazdu elektrycznego wielobiegowej przekładni. Przy realizacji pracy doktorskiej służył radą i doświadczeniem Pan Yuhua Chang, w charakterze promotora pomocniczego.

Praca liczy 151 stron. Składa się z wprowadzenia, sześciu rozdziałów głównych, wykazu literatury obejmującego 70 pozycji oraz załącznika obejmującego opis modeli matematycznych a w tym synchronicznej maszyny elektrycznej, pojazdu i akumulatora.

Zacytowana bibliografia zawiera 1 pozycję autorską Doktoranta oraz 42 źródła elektroniczne opublikowane w Internecie.

We wprowadzeniu autor pracy zaznajamia czytelnika z problematyką napędów elektrycznych współczesnych pojazdów samochodowych. Po przedstawieniu wstępnych uwag, związanych z analizą problemu formułuje tezę pracy:

Możliwe jest zredukowanie zużycia energii przez pojazd elektryczny poprzez zaimplementowanie w jego układzie napędowym odpowiednio sterowanej stopniowej przekładni automatycznej.

Tak sformułowana teza wiązała się z koniecznością realizacji poniższych zadań, które zawarto w rozdziale pierwszym:

- opracowanie modelu symulacyjnego kompletnego układu napędowego pojazdu elektrycznego, wyposażonego w wybranego rodzaju przekładnię w celu oceny jego sprawności oraz zachowania w trakcie zmian przełożenia,
- zaprojektowanie i zbudowanie stanowiska badawczego do testowania akumulatora,
- zweryfikowanie poprawności modelu matematycznego akumulatora przyjętego do badań symulacyjnych układu napędowego pojazdu elektrycznego,
- zaprojektowanie i zbudowanie stanowiska badawczego do alternatywnego testowania układu napędowego z przekładnią stałą oraz wielostopniową przekładnią automatyczną sterowaną silnikiem krokowym za pośrednictwem mechanizmu śrubowego,
- ustalenie wytycznych do sterowania zmianą biegów w stopniowej przekładni automatycznej,
- weryfikacja poprawności modelu symulacyjnego kompletnego układu napędowego pojazdu elektrycznego z przekładnią stałą oraz wielostopniową przekładnią automatyczną w oparciu o wyniki uzyskane z badań stanowiskowych,
- analiza porównawcza z badań symulacyjnych przedmiotowego układu napędowego dla różnych przekładni (jednostopniowej, wielostopniowej oraz CVT).

W rozdziałach trzecim, czwartym i piątym autor zgodnie z przyjętym planem realizacyjnym przedstawia przebieg badań symulacyjnych i stanowiskowych baterii oraz kompletnego układu napędowego pojazdu elektrycznego.

W rozdziale szóstym przedstawiono autorskie rozwiązanie techniczne w postaci sterowanej przekładni zębate-kulkowej (chronione prawem patentowym) jako alternatywę do zastosowanej w badaniach przekładni wielostopniowej wyposażonej w klasyczne synchronizatory.

W rozdziale szóstym przedstawiono również podsumowanie pracy i wnioski końcowe.

Charakterystyka podjętego tematu

Wzrastające wymagania dotyczące ograniczenia emisji substancji szkodliwych emitowanych do atmosfery przez pojazdy mechaniczne oraz ograniczone zasoby paliw, zmuszają konstruktorów do poszukiwania nowych konstrukcji układów napędowych w zakresie efektywniejszego wykorzystania energii. Obecnie największą popularnością cieszy się napęd hybrydowy. Dużym zainteresowaniem cieszą się również samochody

z elektrycznym układem napędowym. Prognozuje się, że pojazdy te będą przyszłością komunikacji drogowej. Sceptycy tego rozwiązania jednak rokują dalszy niski wzrost liczby pojazdów elektrycznych na drogach z uwagi na nikłą intensyfikację miejsc ładowania ich akumulatorów.

Podstawowymi zaletami napędu elektrycznego są: cichobieżność, brak spalin oraz łatwość zamontowania w pojeździe. Wadami zaś są: niekorzystny stosunek masy własnej do ładowności, mała pojemność elektryczna akumulatorów, ograniczony zasięg.

Układ sterowania układu napędowego pojazdu elektrycznego pełni istotną rolę bowiem spełnia funkcje trakcyjne i eksploatacyjne. Do najistotniejszych należą:

- dochodzenie do wymaganej prędkości jazdy z zadawalającą dynamiką,
- utrzymywania zadanej prędkości jazdy,
- hamowanie pojazdu z możliwością rekuperacji energii,
- racjonalne gospodarowanie energią elektryczną,
- sprawne ładowanie akumulatorów,
- nadzorowanie warunków współpracy napięciowo – prądowej pomiędzy akumulatorem a maszyną elektryczną.

Układy napędowe pojazdów elektrycznych mogą występować w różnych konfiguracjach. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest poprzeczne rozmieszczenie układu w strefie osi napędowej. Zastosowane przekładnie o stałym przełożeniu umożliwiają zredukowanie prędkości obrotowej silnika elektrycznego do żądanej prędkości obrotowej koła ogumionego pojazdu.

Typowymi rozwiązaniami silników elektrycznych stosowanych w pojazdach elektrycznych czy hybrydowych to: bezszczotkowy silnik prądu stałego BLDC oraz silniki prądu przemiennego w kilku odmianach. Argumentem przemawiającym za tym aby stosować silnik prądu stałego jest jego charakterystyka momentu obrotowego w kontekście dopasowania się do warunków trakcyjnych pojazdu. Wadą silnika prądu stałego jest to, że wysoką sprawność osiąga on w ograniczonym zakresie prędkości i momentu obrotowego.

Autor w uzasadnieniu podjęcia tematu rozprawy słusznie zauważa, że pojazd z napędem elektrycznym wyposażony w przekładnię o stałym przełożeniu, poruszający się w ruchu miejskim, charakteryzującym się w przeważającej części takimi fazami ruchu jak: ruszanie z miejsca, przyspieszanie oraz zwalnianie, obciąża silnik elektryczny najczęściej w obszarze jego najniższej sprawności. Proponując zastosowanie przekładni wielobiegowej w miejsce

przekładni o stałym przełożeniu i uzasadniając to odpowiednimi badaniami i analizą porównawczą w efekcie końcowym uzyskuje przekonujące argumenty utylitarne.

Ocena pracy i uwagi krytyczne

Jak wynika z przedstawionego wyżej opisu poszczególnych rozdziałów praca ma ciekawy i oryginalny charakter a jej wykonanie wymagało od Autora nie tylko posiadania wiadomości z zakresu energochłonności ruchu pojazdu o napędzie elektrycznym ale także dysponowania informacjami związanymi ze sterowaniem takiego napędu oraz współczesnymi technikami pomiarowymi.

Autor rozprawy zajmując się zagadnieniem układów napędowych pojazdów elektrycznych wpisuje się w nurt współczesnych prac badawczych nad zmniejszeniem zużycia paliw kopalnych oraz emisji gazów toksycznych. W szczególności przeprowadzone badania symulacyjne i stanowiskowe złożonych procesów sterowania autorskiego układu napędowego przyczyniły się do poszerzenia wiedzy i rozpoznania zjawisk towarzyszących sterowaniu napędem pojazdu elektrycznego.

Wybór badań, obiektu oraz zastosowanych procedur, między innymi symulacyjnych, oceniam jako trafny i logiczny. Uzyskane zależności mają charakter poznawczy i utylitarne. Autor rozprawy prezentując konkretne, autorskie rozwiązania techniczne, następnie weryfikując je, zrealizował postawione w rozprawie cele.

Stwierdzono, iż uzyskane przez Autora wyniki są nie tylko ciekawe z poznawczego punktu widzenia ale również prowadzą do wniosków o charakterze praktycznym. Praca pod względem redakcyjnym jest zadawalająca a terminologia poza kilkoma wyjątkami poprawna. Zauważone uchybienia przedstawiono w dalszej części recenzji.

Praca, jak zauważono wcześniej, ma charakter eksperymentalno – pomiarowy, a tego typu analizy zazwyczaj dają powód do merytorycznych dyskusji, pytań i uwag, z których wymieniono kilka:

1. Str.19; W ramach zakresu pracy zaplanowano wykonanie analizy porównawczej układu napędowego jednej z wersji uwzględniającej przekładnię CVT. W dalszej części pracy jednak nie stwierdzono jakiego modelu matematycznego użył autor do badań symulacyjnych. Czy model przekładni został pobrany z bazy Matlab/Simulink?
2. Str.27; Autor pracy nie przedstawił szczegółów wykonywanego testu baterii ogniów. Z treści zawartych w podrozdziale 2.3.2 trudno się zorientować:

- w jaki sposób były zdawane obciążenia,
- czy występowały zakłócenia i jakiego rzędu,
- w jaki sposób była utrzymywana temperatura z dokładnością do 1°C.

Dlaczego nie przedstawiono oryginalnego przebiegu napięcia obejmującego zakłócenia?

3. Str.32; Zdaniem recenzenta, zilustrowane na rys.2.18 przebiegi siły elektromotorycznej oraz rezystancji należałoby skomentować.
4. Str.37; Autor pracy komentując rysunek 2.24., na którym przedstawiono mapę sprawności przekładni utrzymuje, że została ona wykonana po uwzględnieniu odpowiednich, wymaganych i opisywanych w literaturze strat. Nie podaje jednak szczegółów jej wykonania przy założeniu, że było to wykonanie autorskie.
5. Str.43; Na rys.2.31 przedstawiono schemat stożkowego sprzęgła ciernego, nanosząc na nim wybrane wielkości. Jaka rolę przy obliczeniach (modelowaniu pracy sprzęgła) pełni wielkość oznaczona na rysunku jako „b”?
6. Str.50 i 51; Analiza schematów przedstawionych na rysunkach 3.1 „Wirtualne stanowisko badawcze” oraz 3.2 „model przekładni” w połączeniu z treściami zawartymi w podrozdziale 3.1 są w znaczącej części niezrozumiałe co do roli poszczególnych bloków stanowiska czy też modelu. Zdaniem recenzenta algorytm postępowania, podobny do przedstawionego w rozdziale czwartym, byłby właściwszy do wyjaśnienia przebiegu przeprowadzanych testów symulacyjnych.
7. Jak wyliczane były czasy przełączania biegów? W jakim stopniu wymiary, konstrukcja przekładni może mieć wpływ na czasy przełączania biegów?
8. Str.53; tabela 3.4; Jak wyjaśnić powód tak długich czasów przełączeń dla dwóch wymienionych poniżej przypadków w kontekście pozostałych czasów:
 1. 4,3617 dla 1→2, 20 Nm,
 2. 2,5250 dla 2→1, -20 Nm.
9. Str.84, rys.4.6; Mając na uwadze specyfikę pracy przekładni czy nie byłoby właściwsze zapisanie bloków warunkowych algorytmu w nast. sposób:
 1. $Speed \geq GearUP\ Speed$
 2. $Speed \leq GearDOWN\ Speed$
10. Str.112; tabela 5.1; Czy w obliczeniach energochłonności uwzględniano w całkowitej masie pojazdu masę przekładni?
11. Podrozdział 6.1; Czy przekładnia zębato-kulkowa była przez Doktoranta wykonana i zbadana, zwłaszcza czy został rozpoznany proces synchronizacji?

Zauważono również kilkanaście usterek redakcyjnych:

1. Tytuły rozdziałów 3,4,5 i podrozdziału 2.2 zawartych w spisie treści różnią się od zredagowanych w pracy.
2. W spisie oznaczeń jednostkę oporności oznaczono omyłkowo małą literą grecką ω zamiast dużą Ω .
3. Str.22; Czy w opisie równania 2.4 prawidłowo oznaczono znakiem „+” proces rozładowania a znakiem „-” ładowania ogniwa? Uwaga ta dotyczy również opisu do równania 33 na stronie 151.
4. Str.22; W równaniach 2.2 oraz 2.3 proponuję zamiast oznaczenia I użyć oznaczenie I_n , podobnie jak w pozycji literaturowej [64] z której zostały przedmiotowe równania skopiowane.
5. Str.63; Zawartość tabeli 3.18 dotyczy biegu IV a nie I.
6. Str.92; w opisie równania 4.1 brakuje jednostek.
7. Str.93; rys.4.21 – błędny numer kolejny, brak opisu jednej z osi rzędnych.
8. Str.96; rys.4.17; brak opisu osi.
9. Str.99; rys.4.20; brak opisu osi.
10. Str.115; rys.5.10; brak opisu osi rzędnych.
11. Str.140; równanie (3) ma błędną wartość stałą $2/3$. Jak wynika z literatury [65]. str.87, równanie (70), wartość ta ma wynosić $3/2$.
12. Str.141; równanie 7 ma błędną wartość stałą $3/2$. Prawidłowa wartość to $-3/2$.
13. Str.142; równanie 11 jest kopią równania 10. Najprawdopodobniej w tym miejscu powinno znajdować się równanie (44) zawarte na stronie 125 pozycji literaturowej [65].
14. Str.143; drugi blok równania 13 ma błędną wartość stałą $2/3$. Jak wynika z literatury [65], str.126, równanie (46), wartość ta ma wynosić $3/2$.
15. Str.146; w spisie oznaczeń do równania (15) nie uwzględniono współczynnika oporu toczenia dla małych prędkości f_0 oraz nie podano jego wartości, niezbędnej do dalszych obliczeń. Dla współczynnika dodatkowego oporu powietrza A nie podano wymiaru [s^2/m^2]. Oznaczenie przedmiotowego współczynnika mogłoby być oznaczone inaczej, ponieważ literą A oznaczono również powierzchnię czołową pojazdu (równanie (16) str.147)
16. Str.147; w spisie oznaczeń do równania (17,18,19) nie uwzględniono promienia dynamicznego ogumionego pojazdu r_d .

17. Str.147; w spisie oznaczeń do równań (17,18,19) nie uwzględniono przyspieszenia wzdłużnego pojazdu a_s .
18. Str.149; w pierwszej części równania (24), w mianowniku brakuje symbolu napięcia U, „ $Q_m U$ ”
19. Str.150 oraz 151; Czy rys. 7 i 8 oraz równania 30, 31,32 i 33 musiały być powielone zamiast zacytowane poprzez odwołanie się do treści zawartych na stronach: 22 oraz 23.
20. Str.134 i 138 – spis literatury bardzo chaotyczny i niejednolity w formie i układzie
 - [1] do [42] – źródła elektroniczne opublikowane w Internecie, zdaniem recenzenta powinny być wymienione w drugiej kolejności
 - [44] – brak roku wydania
 - [43] do [70] – niejednolity sposób przedstawiania imion/inicjałów autorów poszczególnych publikacji, brak konsekwencji w podawaniu stron.
 - [44] – brak nazwy wydawnictwa

Wniosek końcowy

W podsumowaniu stwierdzam, że temat rozprawy jest bardzo interesujący zarówno z poznawczego jak i praktycznego punktu widzenia. Stwierdzone a przedstawione wyżej pytania i wątpliwości nie umniejszają jej wartości naukowej.

Stwierdzam, że Pan mgr inż. Michał Sekrecki posiada umiejętność samodzielnego rozwiązywania złożonych problemów naukowych, a przedstawiona do oceny praca pt.: „Comparative Analysis of Electromechanical Drives for Light Vehicle Application” w pełni spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim zawarte w ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003r.

Stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn.

Opole 23.04.2018

