

ВІДГУК

рецензента – професора кафедри
електромехатроніки та комп'ютеризованих електромеханічних систем,
Національного університету "Львівська політехніка",
д.т.н., професора Копчака Богдана Любомировича

на дисертацію

Боровця Тараса Васильовича

**«Синтез та аналіз інтелектуальних спостерігачів координат вектору
стану системи керування рухом колеса електромобіля»,**
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(галузь знань 14 «Електрична інженерія»)

Актуальність теми дисертації.

В останнє десятиліття спостерігається стрімке збільшення виробництва та застосування різноманітних електромобілів. Особливо цей процес пришвидшується в момент чергового зростання цін на нафту. Перехід від двигунів внутрішнього згоряння чи дизельних двигунів до електричного приводу відкриває нові можливості з точки зору керування ними. Цей перехід дозволяє значно покращити економність, безпеку руху, зручність управління, прохідність та енергоефективність.

Однією з технічних проблем динаміки коліс автомобіля є встановлення та контроль зв'язку між кінематичними та силовими характеристиками шини, пов'язаними з ковзанням шини, а отже, з втратами потужності в зоні зчеплення «шина-дорога» та оцінкою рухливості колеса. Електронізація сучасних транспортних засобів може підвищити їх ефективність у складних і важких умовах руху транспортного засобу на дорозі або пересічній місцевості, реалізуючи гнучкі рішення щодо керування в масштабі мілісекунд. Таким чином, підвищення мобільності вимагає нових підходів до розгляду та аналізу процесу ковзання шини.

В свою чергу нові алгоритми керування електроприводом призводять до кращої адаптації до різних умов на дорозі, що покращує характеристики електромобіля і дозволяє користувачу почуватися більш впевнено на дорозі. Одними з дуже бажаних та цінних для споживача характеристик автомобіля є його позашляхові властивості. Характеристики керованих електричних приводів можуть суттєво покращити позашляхові можливості, але виникає проблема застосування великої кількості давачів, які в свою чергу будуть ускладнювати конструкцію вузлів електромобіля, можуть знаходитися в несприятливих умовах роботи або їх взагалі складно фізично реалізувати та застосувати. В цьому випадку, для вирішення цієї проблеми доцільно застосувати спостерігачі за станом динамічної системи електромобіля. В контексті покращення позашляхових властивостей електромобіля потрібні спостерігачі для моніторингу стану динамічних характеристик руху, поверхні руху, стану шин

та гальм. Таким чином спостерігачі повинні надати інформацію про дорожнє покриття системі керування, що в свою чергу забезпечить оптимальну адаптацію до різних умов дорожнього покриття. Очевидно, що на основі інформації зі спостерігачів буде також покращена мобільність та енергоефективність електромобіля. Таким чином, дослідження, здійснені в дисертаційній роботі стосовно алгоритмів спостереження за змінними станами динамічної системи електромобіля, дають змогу краще адаптуватися до різних умов руху та є актуальними.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-практичного завдання – вдосконаленню алгоритмів спостереження змінних стану динамічної системи електромобіля, що забезпечить підвищення мобільності, енергоефективності та покращить безпеку руху.

Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри.

Тема дисертаційної роботи Боровця Т.В. відповідає науковому напрямку «Розробка систем керування міським електротранспортом, систем програмного керування транспортними засобами та електрообладнання і автоматики автотранспортних засобів» кафедри електромехатроніки та комп'ютеризованих електромеханічних систем.

Дисертаційна робота проводилась у рамках гранту NATO SPS MYP G5176 «Agile Tire Mobility for Severe Terrain Environments».

Наукова новизна основних результатів дисертації полягає в розробленні нових методів розгляду та аналізу процесу ковзання шини для підвищення маневреності електромобіля.

1. Набула подальшого розвитку класична теорія синтезу спостерігачів шляхом застосування теорій нечітких множин. Це дало змогу забезпечити можливість їх застосування в нелінійних системах електромобіля без істотного підвищення обчислювальної складності системи.
2. Вперше для підвищення швидкодії спостерігача на основі фільтра частинок застосований нечіткий алгоритм зміни кількості частинок та параметрів функції їх розподілу. Це дало змогу зменшити обчислювальну складність і реалізувати систему в реальному режимі часу.
3. Набула подальшого розвитку теорія швидкої динаміки шин (agile tire dynamics) при застосуванні різних типів спостерігачів в системі «електропривод-колесо» електромобіля. Це дало змогу закласти основу для радикального підвищення мобільності транспортного засобу на місцевості шляхом контролю ковзання шин у його перехідних фазах, щоб запобігти знерухомленню транспортного засобу.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації і їх достовірність та новизна.

Наведені в дисертації результати базуються на кваліфікованому підході до постановки завдань досліджень, логічно правильному обґрунтуванню прийнятих допущень під час вибору математичних моделей і коректному використанні математичного апарату. Крім того, достовірність підтверджується результатами комп'ютерного моделювання і практичною реалізацією чотирьохколісної мобільної платформи із індивідуальним електроприводом коліс.

Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати.

Наукові результати, отримані автором, можуть бути використані при розробці та побудові новітніх алгоритмів контролю динамічної системи електроприводу колеса електромобіля в різних режимах експлуатації.

Результати дисертаційної роботи Боровця Т.В. впроваджені в навчальний процес в курс дисципліни «Системи керування рухом повних і гібридних електромобілів та міського електротранспорту» в освітній програмі «Системи енергетики сталого розвитку» для студентів першого рівня вищої освіти за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості їх безпосереднього застосування для вдосконалення системи керування динамічної системи електроприводу колеса електромобіля в різних режимах експлуатації.

1. Створені спостерігачі забезпечують обчислення значень невимірювальних координат стану динамічної системи електроприводу колеса електромобіля в режимі реального часу, що дає змогу формувати закон керування за повним вектором стану системи і уникати небажаних режимів, які призводять до втрати мобільності і зменшення безпеки руху.

2. Застосування теорії нечітких множин в алгоритмі фільтру частинок дає змогу збільшити швидкодію на 56.5% у порівнянні з класичним алгоритмом, що забезпечує реалізацію системи в режимі реального часу.

3. Застосування теорії нечітких множин для реалізації нечіткого спостерігача Люенбергера дає змогу підвищити точність спостереження у нелінійних системах «електропривод-колесо» на 10.3% у порівнянні із класичним спостерігачем, забезпечує високу швидкодію системи та вимагає меншої обчислювальної складності у порівнянні із фільтром частинок.

4. Створено експериментальний взірець та проаналізовано можливість практичної ідентифікації поверхні руху на основі вимірювальних величин.

Запропоновані в роботі підходи та методи дають змогу суттєво покращити ідентифікацію координат стану в електромеханічних системах електромобілів, що дозволяє покращити техніко-економічні показники функціонування таких

систем, зокрема підвищити їх ефективність у складних і важких умовах руху транспортного засобу на дорозі або пересічній місцевості, і як результат, підвищити безпеку руху.

Результати дисертаційної роботи використовуються для проектування систем керування електроприводом мобільних роботів ТзОВ "СофтСерв Технології".

Зауваження по дисертації.

1. У вступі необхідно більше акцентувати увагу на електромобілі.
2. В об'єкті досліджень і далі по тексту пропоную замінити «динаміка системи руху колеса електромобіля» на «динаміка системи приводу колеса електромобіля».
3. В підрозділі 2.1.1 розглянута модель електроприводу колеса електромобіля на основі двигуна постійного струму з незмінним потоком, а на стор. 112 мова вже іде про експериментальний стенд з безколекторним двигуном постійного струму.
4. В розділі 2 необхідно описати, яким чином були отримані результати, наведені на рис. 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 і далі по тексту.
5. В роботі варто би було проаналізувати вплив профілю протектора шини.
6. На стор. 64 мова іде про «зашумлені» сигнали датчиків швидкості колеса. Наскільки коректно застосовувати такий термін?
7. Яким чином отримані результати на рис. 2.20 і далі по тексту в 2 розділі? У висновках 2.4 сказано про проведені дослідження із використанням комп'ютерної моделі, а реалізація самої моделі не показана.
8. На стор. 93 сказано про модель системи керування рухом модуля приводу електромобіля, але реалізація моделі не продемонстрована.
9. Наявні незначні граматичні помилки та одруки.

Слід відзначити, що вказані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Висновок

Дисертація Боровця Тараса Васильовича на тему "Синтез та аналіз інтелектуальних спостерігачів координат вектору стану системи керування рухом колеса електромобіля" є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне наукове завдання – вдосконалено алгоритми спостереження змінних стану динамічної системи електромобіля для покращення безпеки руху, підвищення мобільності та енергоефективності, а також здатність адаптуватися до різних умов руху, що має важливе значення для галузі знань 14 "Електрична інженерія". Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. "Про затвердження вимог до оформлення дисертації" (зі змінами, внесеними згідно з Наказом МОН України № 759 від 31.05.2019р.), "Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня

доктора філософії", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 (зі змінами внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21.03.2022 р.), а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка".

Офіційний рецензент

Доктор технічних наук, професор,

Професор кафедри електромехатроніки

та комп'ютеризованих електромеханічних систем

Національного університету

«Львівська політехніка»

Богдан КОПЧАК

Підпис д.т.н., професора Копчака Б.Л. засвідчую

Вчений секретар

Національного університету

«Львівська політехніка»

к.т.н., доцент



Роман БРИЛИНСЬКИЙ