

ВСТУП

У сучасних електромобілях знаходять застосування тягові приводи з векторно-керованими асинхронними двигунами (АД). В цих приводах АД повинен забезпечувати діапазон швидкостей від 0,01 до 2-х номінальних значень, мати перевантажувальну здатність до 200 %, відпрацьовувати східчасті зміни завдання та навантаження за 0,1-0,3 с. Важливою особливістю роботи тягових двигунів електротранспорту є розширений діапазон робочих температур, оскільки нижня температури двигуна на відкритому повітрі взимку може сягати $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ чи $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На сьогодні одним із перспективних методів керування АД є так зване бездавачеве керування, де давач швидкості або положення валу двигуна відсутній, а в алгоритмі векторного керування замість сигналу швидкості використовується її оцінка, яка отримується за допомогою оцінювача (спостерігача). Перевагами бездавачевого керування АД є простіша механічна частина, менша кількість проводів, можливість застосування двигуна в агресивному середовищі, вища надійність та нижча вартість системи автоматичного керування (САК) АД.

Відомо декілька підходів до побудови спостерігачів швидкості АД. Зокрема використовують структуру адаптивної системи з еталонною моделлю (АСЕМ), фільтр Калмана, штучні нейронні мережі тощо. Бездавачеві системи зі спостерігачами на основі АСЕМ є простішими в практичній реалізації у порівнянні з іншими класами систем і набули найбільшого поширення. В літературних джерелах показано переваги використання струмової моделі кола статора АД у спостерігачі швидкості зі структурою АСЕМ, оскільки в цьому разі бездавачеве керування швидкістю АД є більш стабільним.

Актуальність роботи. Такі важливі характеристики електромобілів як надійність, живучість, ремонтпридатність, вартість тощо значною мірою залежать від властивостей тягових електромеханічних систем. На сьогодні ефективним способом поліпшення надійності САК АД являється їх побудова без використання давача швидкості двигуна. Недоліками відомих систем бездавачевого векторного керування АД є погіршення якості роботи в зоні низьких швидкостей ротора, можливість втрати стійкості системи на нульовій швидкості, значна чутливість до варіацій параметрів двигуна, у першу чергу до змін термозалежного опору обмотки статора.

Тому важливою та актуальною є тематика побудови систем бездавачевого векторного керування асинхронними двигунами, характеристики яких задовольнятимуть технологічні вимоги до тягового приводу електромобілів.

Мета роботи - побудова та дослідження високоякісної системи бездавачевого керування тяговим АД безпілотного електромобіля за рахунок використання удосконаленого адаптивного спостерігача швидкості та оцінювача опорів двигуна.

Для досягнення мети треба вирішити наступні завдання.

- 1) Зробити аналітичний огляд сучасних електромобілів у частині побудови їх електромеханічних тягових систем.
- 2) Проаналізувати існуючі способи оцінювання швидкості і на основі найбільш перспективного з них синтезувати спостерігач швидкості та потокозчеплення АД електромобіля.
- 3) Дослідити властивості бездавачевої САК АД електромобіля за координатних та параметричних збурень та поліпшити характеристики системи.

- 4) Побудувати комплексну модель бездавачевої САК АД безпілотного електромобіля.
- 5) Дослідити показники якості запропонованої системи при русі електромобіля за діаграмою міського циклу та за межами міста у зоні високих швидкостей.

Об'єктом дослідження магістерської дисертації є процеси керування та оцінювання координат в бездавачевих векторно-керованих асинхронних двигунах електромобілів.

Предметом дослідження є бездавачева система векторного керування асинхронним двигуном електромобіля з адаптивним спостерігачем швидкості та потокозчеплення ротора двигуна.

Методи досліджень. У роботі використані методи теорії електричних машин та електроприводу, теорії автоматичного керування, математичного та імітаційного моделювання.

Наукова новизна полягає у тому, що:

1. Дістала подальший розвиток теорія систем бездавачевого векторного керування АД за рахунок застосування у механізмі адаптації спостерігача швидкості, побудованого за структурою АСЕМ з використанням струмової моделі кола статора двигуна, замість традиційного ПІ-алгоритму модернізованого ПІД-алгоритму, що дозволило поліпшити динамічні та енергетичні властивості системи при компенсуванні змін навантаження двигуна.
2. Запропоновано новий оцінювач опорів двигуна, що використовує сигнал давача температури обмотки статора і реалізований на основі алгебричних залежностей активних опорів від їх температури, а тому є простішим та надійнішим ніж відомі спостерігачі та оцінювачі, що являють собою динамічні адаптивні системи.

3. Отримано оригінальні результати досліджень процесів керування та оцінювання в бездавачевій САК АД електромобіля при русі за діаграмою швидкості міського циклу та при русі в зоні високих швидкостей за межами міста.

Практична цінність матеріалів роботи:

1. Завдяки модернізації алгоритму механізму адаптування спостерігача швидкості в бездавачевій САК АД при змінах навантаження двигуна динамічне відхилення швидкості, час компенсування збурення та втрати енергії зменшилися відповідно на 15,4%, 31% і 8,3%.
2. Застосування запропонованого оцінювача опорів двигуна вимагає набагато менших затрат обчислювального ресурсу контролера у порівнянні з відомими аналогами, якими є адаптивні оцінювачі та спостерігачі.
3. Розроблене при написанні магістерської дисертації алгоритмічне та програмне забезпечення може знайти застосування у науково-дослідних роботах щодо побудови бездавачевих тягових АД електротранспортних засобів.
4. Побудовані при виконанні дисертації моделі можуть бути корисними для впровадження в навчальний процес кафедри АЕМС-ЕП.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, що висвітлені у роботі, отримані у співавторстві з науковим керівником.

Основні результати дослідження. Для побудови системи бездавачевого керування асинхронного привода електромобіля було взято за основу класичну систему векторного керування АД, розвинуту за рахунок спостерігача швидкості та потокозчеплення зі структурою адаптивної системи з еталонною моделлю, де використовувалась струмова модель кола статора двигуна. Здійснено

параметричний синтез спостерігача швидкості та цифрових регуляторів компонент вектора струму статора, швидкості та потокозчеплення ротора векторно-керованого АД. Проведено дослідження динамічних, статичних та робастних властивостей бездавачевої САК АД в умовах роботи тягового привода електромобіля. Модернізовано алгоритм механізму адаптування спостерігача швидкості, що поліпшило показники якості системи. Для компенсування негативного впливу термозалежних опорів статора і ротора АД на властивості системи запропоновано схему оцінювача опорів двигуна, яка простіша і надійніша ніж відомі аналоги. Побудовано математичну модель бездавачевої САК АД електромобіля у середовищі Matlab/Simulink. Виконано комплексні дослідження руху електромобіля в межах та за межами міста, які засвідчили високі показники якості функціонування запропонованої системи бездавачевого керування тяговим АД.

Апробація результатів. Результати досліджень доповідались на XI Міжнар. н.-т. конф. молодих уч., асп. і студ. “Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики” (грудень 2017 р., Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

Публікації. За темою дисертації опубліковано 2 статті [73, 74].