

ВСТУП

Вантажні автомобілі безперечно є основним інструментом у сфері сухопутних вантажоперевезень. Сучасна автомобільна техніка може експлуатуватися при суворих кліматичних і дорожніх умовах [1] для вчасної доставки вантажів як до порівняно недалеких пунктів призначення, так і до найвіддаленіших куточків світу.

В теперішньому світі зростає необхідність у транспортних засобах з низьким рівнем викидів у навколишнє середовище. Автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння є значним джерелом забруднення повітря через викиди парникових газів, монооксиду вуглецю та інших токсинів. Маючи набагато менший вплив на навколишнє середовище, електромобілі є рішенням проблеми. Важливою проблемою є створення транспортного засобу з низьким рівнем забруднення природи. Крім цього, за попередні роки були удосконалені енергоефективність та керованість електричних наземних транспортних засобів за рахунок використання сучасних технологій та розробок.

Найефективніше використання електромобілів забезпечується в міському циклі руху [2], оскільки часті режими розгону і гальмування, можливість рекуперації енергії, а також високі динамічні показники роблять електромобілі значно ефективнішими за звичайні автомобілі.

На сьогодні транспорт з електричною тягою має вагоме розповсюдження, а проблемою номер один для розвитку електромобілів є запас енергії. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом розширення ємності акумулятора, а також скороченням рівня використовуваної електричної енергії. У цьому зв'язку важливим є впровадження енергоощадного керування тяговим електродвигуном, яке дозволяє мінімізувати втрати потужності у ньому, і, відповідно, поліпшити показники енергоефективності електричного транспортного засобу.

Актуальність теми. Ґрунтуючись на результатах огляду джерел інформації як вітчизняного, так і зарубіжного походження, можна зробити висновок, що тема оптимізації втрат потужності в асинхронних двигунах

викликає значний інтерес у дослідників. Але остаточного вирішення теоретичних та прикладних аспектів цієї задачі ще не отримано. Зокрема в одному із найбільш перспективних напрямків побудови систем мінімізації втрат із використанням методу аналітичної оптимізації, є потреба підвищення точності визначення оптимального магнітного потоку двигуна, що безпосередньо впливає на точність оптимізації втрат потужності. Ще одне питання, яке чекає свого задовільного вирішення, є забезпечення оптимізації втрат як у першій (нижче номінального значення), так і в другій (вище номінального значення) зонах швидкостей двигуна. Особливістю роботи асинхронного двигуна у другій зоні є ослаблення поля у зворотно-пропорційній залежності до швидкості ротора.

Таким чином вказані питання є актуальними і потребують розв'язання.

Мета роботи. Розроблення та дослідження системи автоматичного керування (САК) тяговим асинхронним двигуном (АД) електровантажівки з поліпшеними енергетичними характеристиками завдяки використанню контуру аналітичної оптимізації втрат в першій та другій зонах швидкості ротора двигуна.

Завдання роботи є наступними.

1. Виконання аналітичного огляду систем автоматичного керування тяговими електричними двигунами вантажних електромобілів.
2. Одержання математичного опису асинхронного двигуна з живленням від інвертора напруги та моделі руху автомобіля.
3. Розроблення функціональних схем САК АД електровантажівки з традиційним та енергоощадним векторним керуванням, а також синтез регуляторів змінних стану об'єкта керування.
4. Побудова моделі САК АД електровантажівки зі звичайним і енергоощадним векторним керуванням та вивчення її статичних і динамічних характеристик в типових режимах роботи вантажного електромобіля.

Об'єктом дослідження дисертації є процеси регулювання швидкості та мінімізації сумарних втрат потужності в тягових асинхронних двигунах у всіх режимах роботи за швидкостей ротора менших ніж номінальне значення і більших ніж номінальне значення.

Предметом дослідження є система енергоощадного керування асинхронним двигуном електровантажівки з контуром аналітичної оптимізації втрат потужності з функціонуванням у широкому діапазоні швидкостей ротора.

Методи досліджень. У даній дисертації використані наступні методи з теорії електроприводу, теорії автоматичного керування, теорії оптимізації, імітаційного та математичного моделювання.

Наукова новизна роботи є наступною.

1. Зроблено певний внесок у прикладну теорію оптимального керування електромеханічними об'єктами на основі двигунів змінного струму завдяки використанню у системі векторного керування АД контура аналітичної оптимізації втрат, що функціонує у широкому діапазоні швидкостей двигуна.
2. Одержані нові результати досліджень процесів регулювання швидкості та аналітичної оптимізації втрат потужності в АД за переміщення електровантажівки як у місті, так і за його межами.

Практична цінність матеріалів роботи є наступною.

1. За рахунок застосованого у роботі енергоощадного керування асинхронним двигуном досягається зменшення розряду акумулятора приблизно на 3% та 5% при переміщенні відповідно повністю завантаженої та повністю розвантаженої електровантажівки за околицями міста, а при русі повністю завантаженої та повністю розвантаженої електровантажівки по місту розряд акумулятора зменшується відповідно на 11% та 18%.
2. Імітаційно-математична модель САК АД, складена під час роботи над дисертацією, може пригодитися у навчальному процесі кафедри

автоматизації автоматизація електромеханічних систем та електроприводу.

Особистий внесок здобувача. Результати, які наведені у даній роботі, отримані у співавторстві з науковим керівником.

Основні результати дослідження. На основі системи традиційного векторного керування АД шляхом введення контуру аналітичної оптимізації втрат потужності побудована енергоощадна САК АД електровантажівки. Одержано математичний опис АД із живленням від інвертора напруги з широтно-імпульсною модуляцією та модель динаміки автомобіля. Виконано синтез контурів регулювання моментної та потокової компонент вектора струму АД, а також регулятора моменту двигуна. Для визначення оптимального потягозчеплення ротора застосовано математичний вираз, отриманий аналітично шляхом мінімізації електричних та магнітних втрат в АД. Підсистема мінімізації втрат призначена для функціонування на швидкостях нижчих та вищих за номінальну. Складено розширену імітаційно-математичну модель енергоощадної САК АД засобами програмного середовища MATLAB/SIMULINK. Проведено дослідження моделі системи із звичайним та енергоощадним керуванням АД при переміщенні електровантажівки як у міській, так і в міжміській зонах. Отримані результати продемонстрували перспективу отримання суттєвого ефекту при застосуванні розробленої у дисертації системи.

Апробація результатів. Результати досліджень доповідались на XIV Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених, аспірантів і студентів “Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики” грудень 2020 р., Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Публікації. Біляк В.В., Грабовецький О.В., Приймак Б.І. Поточний стан та перспективи розвитку вантажних електромобілів [Електронний ресурс] // Міжнар. н.-т. журн. “Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики”. – 2020. 4 с. У друці [8].