

Двадненко Володимир Якович, д.т.н., професор кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, dvadnenkovladimir@gmail.com

Дзюбенко Олександр Андрійович, к.т.н., доцент кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, dzyubenko.alan@gmail.com

Пушкар Олег Борисович, аспірант, каф. автомобільної електроніки, oleg.pushkar83@gmail.com

АСИНХРОННИЙ ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН В ГІБРИДНОМУ АВТОМОБІЛІ

Сучасні вимоги на викиди CO₂ постійно посилюються, тому завдання зниження викидів CO₂ для виробників автомобілів є актуальним, оскільки, більшість придбаних транспортних засобів, як і раніше оснащені двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ). В значній мірі допомагає вирішити цю задачу електромобіль [1]. Але електромобіль поки залишається недостатньо конкурентоспроможним в порівнянні з транспортними засобами з ДВЗ, обумовлено це високою вартістю електромобіля, малим пробігом після зарядки і тривалим часом зарядки.

У гібридному автомобілі ці проблеми не мають істотного значення, тому що в ньому є два джерела енергії для руху: двигун внутрішнього згоряння і електричний двигун. Однак, з огляду на більш складну конструкцію, гібридні автомобілі мають порівняно високу вартість. Але існують і більш прості гібридні автомобілі, які не мають можливості рухатися від електроприводу. Це мікрогібридні автомобілі (автомобілі з системою старт-стоп) і м'які гібридні автомобілі (48 В гібриди) [2]. Незважаючи на те, що деякі м'які гібридні автомобілі мають можливість руху на електроприводі [2], це рух непридатний для нормального міського трафіку, через малу потужність електроприводу, його використовують для повільного переміщення у дворах, приміщеннях і в заторах.

Експлуатація транспортного засобу з тяговим електродвигуном в міських умовах характеризується чергуванням режимів розгону, гальмування і руху з усталеною швидкістю, подолання підйомів і спусків, короткочасних стоянок (затори, світлофори, перехрестя). Це призводить до «випадкового» характеру навантаження на тяговий електродвигун. У цих умовах електродвигун працює практично при безперервній зміні керуючого впливу, і повинен бути забезпечений системою автоматичного управління (САУ), яка взаємодіє з акумуляторною батареєю, перетворювачами частоти та напруги, а також з електричною машиною. САУ дозволяє економити електроенергію, виключити роботу електродвигуна з перевантаженнями і зменшити негативний вплив перехідних процесів і наявних нелінійних характеристик, обумовлених наявністю феромагнітного матеріалу в електродвигуні.

Крім того, можливість рекуперативного гальмування за допомогою

електричної машини дозволяє повернути деяку частину енергії гальмування в тяговий акумулятор і істотно зменшити, як нагрів, так і знос гальмівних колодок, гальмівних дисків або гальмівних барабанів. Режим рекуперації також потребує відповідних САУ.

В роботі м'якого гібрида алгоритм роботи гібридного автомобіля змінений таким чином, що початок руху відбувається на ДВЗ, а потім рівномірний рух в місті може проводитися на електроприводі [3]. Таке рішення дозволяє помітно підвищити ефективність накопиченої електричної енергії від службового електричного рекуперативного гальмування. У гібридному автомобілі, коли водій гальмує, електрична машина повинна створювати негативний (гальмівний) крутний момент. У всіх гібридних автомобілях при гальмуванні автомобіля електрична машина знаходиться в режимі генератора. Кінетична енергія рухомого транспортного засобу розкручує ротор генератора, долаючи його негативний крутний момент, і виробляє електричну енергію. Оскільки енергетична ємність ТАБ в гібридному автомобілі невелика, дуже важливо при русі автомобіля регулярно витратити енергію ТАБ на корисну роботу в міському трафіку, що і відбувається при рівномірному русі або при русі з малими прискореннями на помірній швидкості (до 50-60 км/год). Це дозволяє регулярно звільняти ємність ТАБ для забезпечення можливості прийняти електричну енергію чергового рекуперативного гальмування. Таким чином вдається істотно підвищити ефективність рекуперації.

Що стосується звичайних гібридних електромобілів електричний режим можливий тільки до швидкості автомобіля 10-40 км/год через обмежену енергію і потужність ТАБ. У разі підключаються до електромережі гібридних автомобілів (PHEV) ТАБ має більш високу ємність і потужність, при цьому режим електромобіля можливий до швидкості 90-100 км/год, але такі автомобілі мають більш високу вартість.

Метою роботи є обґрунтування доцільності вибору тягового асинхронного електродвигуна для м'якого гібридного автомобіля з описаним вище алгоритмом роботи гібридної силової установки, а також розгляд вибору принципу роботи САУ для асинхронного електродвигуна.

Асинхронний електродвигун найбільш простий по конструкції і найбільш технологічний у виробництві, має порівняно низьку вартість, високу надійність і тривалий термін служби при мінімальних експлуатаційних витратах. Існуючі методи управління асинхронним двигуном діляться на дві групи: управління при роботі з постійною частотою і управління зі зміною частоти.

Управління при роботі з постійною частотою найбільш простий і дешевий, в минулі роки таке управління було домінуючим, але воно має великі проблеми з пуском, а також регулюванням кутової частоти обертання і крутного моменту, низьким ККД, поганим коефіцієнтом потужності і т.д. Ці недоліки обмежували сферу застосування таких електродвигунів. Для вирішення цих проблем останнім часом широко застосовують електронне широтно-імпульсне управління змінною напругою і частотою в ланцюзі статора асинхронного електродвигуна. Таке управління передбачає живлення

асинхронного електродвигуна змінною напругою від електронного перетворювача постійної напруги в змінну (інвертора) з програмним завданням необхідних залежно від навантаження і режиму роботи електродвигуна значеннями частоти і напруги. Таке управління наближає характеристики асинхронного електродвигуна до характеристик двигуна постійного струму. Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором при роботі від статичного перетворювача частоти-напруги поєднує переваги найбільш простої тягової електричної машини змінного струму з хорошими пусковими і регулювальними властивостями двигуна постійного струму. Для цього він повинен бути спроектований з дотриманням всіх вимог, що пред'являються до тягових електричних машин: забезпеченням захисту від впливу навколишнього середовища, з сучасними підшипниками, що не вимагають заміни або додавання мастила. Асинхронний двигун дозволяє практично повністю виключити технічне обслуговування протягом призначеного безпечного ресурсу автомобіля. ККД нових серій тягових двигунів підвищують в порівнянні з двигунами, що випускалися раніше, за рахунок збільшення витрати міді і сталі в тому ж обсязі, зменшенням повітряного зазору в системі ротор-статор, підвищенням коефіцієнта заповнення пазів якоря міддю.

Порівнюючи асинхронний електродвигун з іншими типами двигунів слід зазначити, що малопотужний асинхронний двигун добре працює на високих обертах в тяговому режимі, добре може гальмувати в режимі рекуперації і має мінімальний опір обертанню в знеструмленому стані, що дозволяє йому ефективно працювати в м'якому гібридному автомобілі при рівномірному русі в міських умовах.

З огляду на викладене, можна зробити висновок, що гібридний автомобіль з відносно малопотужним асинхронним електродвигуном і малою ТАБ можна зробити економічно вигідним і, при цьому, отримати автомобіль здатний реалізувати всі переваги гібридного автомобіля в міському циклі їзди.

Література

1. Ning D., Prasad K., Lie T. The electric vehicle: a review. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. Vol. 9 (1), 2017. С. 49–66.
2. A. Taoudi, M. S. Haque, C. Luo, A. Strzelec, and R. F. Follett, 'Design and Optimization of a Mild Hybrid Electric Vehicle with Energy-Efficient Longitudinal Control', *SAE International Journal of Electrified Vehicles*, vol. 10, no. 14-10-01–0005, 2021.
3. Двадненко В.Я., Пушкарь О.Б. Улучшение экономических и экологических характеристик микрогибридного автомобиля. / *Автомобильный транспорт: сб. науч. тр.* – 2019.– Вып. 45. – С.12–22