

Дембіцький В.М.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ СКЛАДОВИХ ККД ПІД ЧАС РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ

Розглянуто складники коефіцієнта корисної дії, які виникають під час рекуперативного гальмування. Проаналізовано їх вплив на гальмівні властивості транспортного засобу та його енергетичні показники. Подано залежності для врахування ККД під час вирішення різних завдань

Даний етап розвитку автомобільного транспорту відзначається різким поживленням розробок у напрямку створення та вдосконалення конструкції автомобілів з електричним приводом. Однією з особливостей таких автомобілів є можливість застосування рекуперативного гальмування і, таким чином, поповнення запасу енергії під час руху. Ця робота є продовженням серії досліджень систем рекуперативного гальмування [1 – 5].

Процес рекуперативного гальмування можна умовно розділити на дві підсистеми:

- механічну, коли кінетична енергія передається від коліс до електричного двигуна за допомогою механіки;
- електричну, коли генератор перетворює кінетичну енергію в електричну, яка акумулюється в накопичувачах енергії.

Таким чином загальний ККД процесу рекуперативного гальмування буде складатися з механічного η_m та електричного η_e коефіцієнтів корисної дії. В свою чергу електричний ККД буде складатися з наступних елементів: ККД електричного двигуна, який працює в режимі генератора $\eta_{e,2}$, втрати, під час передачі енергії до накопичувачів $\eta_{e,n}$ та, власне, ККД накопичувачів енергії $\eta_{e,n}$.

Якщо систему рекуперативного гальмування розглядати як елемент гальмівної системи, то сповільнення рекуперативного гальмування можна визначити за залежністю [5]:

$$j = \frac{1}{m_a \cdot \delta_{об}} \cdot \left(\frac{30 \cdot U \cdot u_{мре} \cdot I(n)}{\pi \cdot n \cdot r_k \cdot \eta_m} + k_w \cdot B \cdot H \cdot V^2 + m_a \cdot g \cdot \psi \right),$$

де m_a – маса транспортного засобу, кг; $\delta_{об}$ – коефіцієнт врахування обертових мас автомобіля; n – оберти електродвигуна, хв⁻¹; r_k – радіус кочення колеса; U – напруга, В; I – сила струму, А $u_{мре}$ – передатне число трансмісії електричного привода; k_w – коефіцієнт обтічності транспортного засобу; B – колія транспортного засобу, м; H – максимальна висота транспортного засобу, м; V – швидкість руху транспортного засобу, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с²; ψ – сумарний опір дороги.

Механічний ККД η_m , який виникатиме внаслідок тертя деталей буде позитивно впливати на процес гальмування та підвищуватиме його ефективність.

Якщо систему рекуперативного гальмування розглядати як елемент системи накопичення енергії, то кількість рекуперованої енергії A_r можна визначити за залежністю [2]:

$$A_r = \frac{1}{r_k \cdot \eta_m} \int_{t_n}^{t_k} \left(\frac{30 \cdot \eta_e \cdot u_{мре} \cdot I(n)}{\pi \cdot n} + B \cdot H \cdot k_w \cdot V^2 \cdot r_k \cdot \eta_m + \psi \cdot G_a \cdot r_k \cdot \eta_m \right) V dt,$$

де t_n – час початку рекуперативного гальмування, с; t_k – час закінчення гальмування, с;
 G_a – вага автомобіля.

Електричний ККД η_e в цьому випадку буде залежати від того яка саме кількість енергії визначається.

Для визначення кількості енергії виробленої електродвигуном: $\eta_e = \eta_{e.z}$.

Для визначення кількості енергії, яка надійшла в накопичувачі: $\eta_e = \eta_{e.z} \cdot \eta_{e.n} \cdot \eta_{e.n}$.

Для визначення кількості енергії, яка може бути використана електродвигуном в тяговому режимі: $\eta_e = \eta_{e.z}^2 \cdot \eta_{e.n}^2 \cdot \eta_{e.n}$.

Наведені вище залежності пояснюють досить низьку ефективність системи рекуперації енергії та дозволяють проводити більш точні розрахунки і моделювання руху автомобілів з електричним приводом. Досвід проведення випробувань транспортних засобів на електричній тязі показує, що максимальна ефективність системи рекуперативного гальмування може становити до 60 %, при цьому не враховуються втрати енергії при її наступному використанні.

Таким чином, підсумовуючи вищезазначене можна констатувати, що під час здійснення розрахунків та досліджень ефективності систем рекуперативного гальмування важливим є не лише врахування усіх складових, які мають вплив на коефіцієнт корисної дії, а й чіткий їх розподіл, а також визначення їх впливу на процес.

Список літературних джерел

1. Дембіцький В. М. Методика визначення енергетичних характеристик процесу електродинамічного гальмування під час дорожніх випробувань транспортних засобів, обладнаних електроприводом та системою рекуперації енергії / В. М. Дембіцький // Вісник НТУ. — К.: НТУ, 2014. — Вип. 30 (Частина I). — С. 95–102.
2. Дембіцький В. М. Математична модель процесу електродинамічного гальмування з рекуперацією енергії транспортного засобу, обладнаного електроприводом / В. М. Дембіцький, О. П. Сітовський та ін. // Наукові нотатки. – Вип. 45. – Луцьк: ЛНТУ, 2014. – С. 159–167.
3. Дембіцький В. М. Експериментальні дослідження процесу електродинамічного гальмування гібридного автомобіля / В. М. Дембіцький // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. – Серія: Автомобілебудування. — Харків: НТУ “ХПІ”, 2015. — Вип. 10 (1119). — С. 38–43.
4. Сітовський О. П. Електродинамічне гальмування гібридного транспортного засобу на дорогах з низьким коефіцієнтом зчеплення / О. П. Сітовський, В. М. Дембіцький // Автомобільний транспорт: сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины, ХНАДУ; [редкол.: Туренко А. Н. (гл. ред.) [и др.]. – Харьков, 2013. – Вип. 33. – С. 13–18/
5. Ситовский, О.Ф. Математическое моделирование процесса движения автомобиля с электрическим приводом / О.Ф. Ситовский, В.Н. Дембицкий, А.Н. Кашуба // Вестник БрГТУ. – 2015. – № 4(94): Машиностроение. – С. 55–57.

Дембіцький Валерій Миколайович – асистент кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький національний технічний університет.