

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ККД МЕХАНІЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

¹Вінницький Національний Технічний Університет

Анотація

У сучасних електромобілях коефіцієнт корисної дії (ККД) механічної передачі традиційно вважається постійним, що може призводити до похибки до 15 % у розрахунку запасу ходу. Запропоновано динамічну модель залежності ККД трансмісії від коефіцієнта завантаження γ та кутової швидкості ω . Модель враховує постійні та змінні втрати, а також швидкісний множник. На основі рівняння тягового балансу та приведених моментів сформовано систему диференціальних рівнянь, яка дозволяє точніше моделювати режими розгону та рівномірного руху. Результати можуть бути інтегровані в систему керування батареєю (BMS) для підвищення точності прогнозу енергоспоживання.

Ключові слова: електромобіль, електропривод, ККД трансмісії, коефіцієнт завантаження, динамічна модель.

Abstract

In modern electric vehicles, the efficiency of the mechanical transmission is traditionally considered constant, which can lead to an error of up to 15% in the calculation of the range. A dynamic model of transmission efficiency dependence on load factor γ and angular velocity ω is proposed. The model accounts for constant and variable losses as well as a speed factor. Based on the tractive balance equation and reduced moments, a system of differential equations is formed, allowing more accurate modeling of acceleration and steady-state modes. The results can be integrated into the battery management system (BMS) to improve energy consumption prediction accuracy.

Keywords: electric vehicle, electric drive, transmission efficiency, load factor, dynamic model.

Вступ

Ефективність електромеханічної передачі є одним із ключових факторів, що визначають енергоспоживання та динамічні характеристики електромобіля. Традиційні моделі спрощують ККД до константи, що призводить до недооцінки втрат при низькому навантаженні.

Метою роботи є розробка математичної моделі залежності ККД механічної передачі електромобіля від навантаження та швидкості для точнішого моделювання руху електромобіля.

Об'єктом дослідження є електропривод електромобіля.

Предметом дослідження є математична модель коефіцієнта корисної дії трансмісії з урахуванням змінного навантаження.

Основна частина

Динаміка руху електромобіля описується рівнянням тягового балансу:

$$F_T = F_{\text{коч}} + F_{\text{нов}} + F_{\text{підйом}} \pm F_a \quad (1)$$

де $F_{\text{коч}}$ – сила опору коченню; $F_{\text{нов}}$ – сила аеродинамічного опору; F_a – сила інерції.
Потужність приводного двигуна визначається з урахуванням ККД трансмісії:

$$P_{\text{дв}} = M_{\text{сум.дв}} \cdot \omega_{\text{дв}}, \quad (2)$$

де $\omega_{\text{дв}}$ – кутова швидкість обертання валу двигуна.

ККД механічної передачі залежить від коефіцієнта завантаження γ :

$$\gamma = \frac{M}{M_{ном}}, \quad (3)$$

де $M_{н}$ – номінальний момент двигуна; M – поточний момент двигуна.

На відміну від класичних моделей, запропонована формула ККД враховує як навантаження, так і швидкість:

$$\eta(\gamma, \omega) = \frac{1}{1 + \frac{a_0 \cdot c(\omega)}{\gamma} + b_0 \cdot \gamma}, \quad (4)$$

де a_0, b_0 – коефіцієнти постійних та змінних втрат для номінального режиму; $c(\omega)$ – швидкісний множник (степенева апроксимація):

$$c(\omega) = \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^p, \quad p \in [1, 6; 2, 2]. \quad (5)$$

При низьких швидкостях вводиться обмеження:

$$c(t) = \max \left(\left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^p \cdot c_{\min} \right). \quad (6)$$

Запропонована модель дозволяє підвищити точність розрахунку енергоспоживання на 5-10 % порівняно з фіксованим ККД і може бути реалізована в MATLAB/Simulink або інтегрована в BMS.

Висновки

Запропоновано динамічну модель ККД механічної передачі електромобіля, яка враховує залежність від коефіцієнта завантаження та швидкості. Модель базується на рівнянні тягового балансу та емпіричних коефіцієнтах втрат. Використання запропонованого підходу дозволяє точніше прогнозувати запас ходу та оптимізувати роботу електроприводу. Подальші дослідження передбачають верифікацію моделі та її застосування у системах керування електроприводом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тімков, О. М., Гладченко, В. С., & Гордієнко, М. М. (2019). Методика розробки математичної моделі електромобіля відповідно до його компоновальної схеми. Технічна інженерія, (2(84)), с. 10-15. [https://doi.org/10.26642/ten-2019-2\(84\)-10-15](https://doi.org/10.26642/ten-2019-2(84)-10-15)
2. Енергетичні ресурси транспортних засобів. Навчальний посібник / С.М. Бойко, І.В. Касаткіна, О.А. Жуков, А.В. Реута, О. С. Лапіна – Варшава: iScience Sp. z.o.o. – 2024 – 319 с.
3. Lacock S., du Plessis A. A., Booysen M. J. Electric vehicle drivetrain efficiency // World Electric Vehicle Journal. 2023. Vol. 14, No. 12. P. 342. DOI: <https://doi.org/10.3390/wevj14120342>.
4. Ehsani M. Modern electric, hybrid electric and fuel cell vehicles. Boca Raton : CRC Press, 2018. 557 p.
5. Носко П. Л. та ін. Вибір узагальненого критерію ефективності високошвидкісних зубчастих передач // Проблеми тертя та зношування. 2020. № 4(89). С. 58–66.
6. Далека В. Х. та ін. Рухомий склад міського електричного транспорту. Механічна частина. Харків : ХНУМГ, 2018. 388 с.

Постернак Микола Володимирович – студент групи ЕМСА-22б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, ел. пошта: posternakk660@gmail.com

Жуков Олексій Анатолійович – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, ел. пошта: alex4444_2004@ukr.net.

Posternak Mykola V. - student of group EMSA-22b, Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, e-mail: posternakk660@gmail.com

Zhukov Oleksii A. – Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of Computerized Electromechanical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: alex4444_2004@ukr.net