

Еквівалентування математичних моделей оптимального руху електромобіля

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Здійснено системний аналіз математичних моделей руху електромобіля з тяговим асинхронним електроприводом змінного струму, оптимального за критерієм мінімуму витрат заряду силової акумуляторної батареї, і доведено, що для використання цих моделей в системах підтримки прийняття рішень водієм під час руху в міських транспортних потоках необхідно в обчислювальних алгоритмах заміщати їх більш простими еквівалентними моделями

Ключові слова: математичні моделі руху, системний аналіз, еквівалентування, електромобіль, асинхронний електропривод, акумуляторна батарея, мінімізація

Abstract

A systematic analysis of the mathematical models of the movement of an electric vehicle with an AC traction asynchronous electric drive, optimal according to the criterion of the minimum consumption of the power battery charge, was carried out, and it was proved that for the use of these models in the decision support systems of the driver while driving in urban traffic flows, it is necessary to replace in the computational algorithms their simpler equivalent models

Key words: mathematical models of movement, system analysis, equivalence, electric car, asynchronous electric drive, battery, minimization

Актуальність дослідження

Використовуючи ідеологію системного аналізу [1], в роботах [2],[3],[4] отримані математичні моделі оптимального руху за критерієм мінімуму витрат заряду силової акумуляторної батареї для електромобіля з тяговим асинхронним електроприводом змінного струму, характерним для легкових електричних транспортних засобів. Але, як показало комп'ютерне моделювання, виконане авторами робіт [5],[6], ці математичні моделі ефективно працюють під час руху електромобіля на замських дорогах, але реалізувати керування електромобілем в темпі процесу в міському транспортному потоці з використанням цих моделей оптимального руху практично неможливо, оскільки реалізація оптимальних моделей вимагає застосування обчислювальних методів послідовних наближень, завершеність процесів обчислень за якими в бортовому комп'ютері електромобіля не вкладається у ті часові рамки, які відводяться водію транспортного засобу для здійснення тих маневрів в міському транспортному потоці, яких вимагає дорожня обстановка

А тому метою нашого дослідження є синтез моделей, еквівалентних математичним моделям оптимального руху легкових електромобілів, але придатних для швидких обчислень в темпі процесу руху в міському транспортному потоці.

Результати дослідження

Отже об'єктом нашого дослідження є математичні моделі оптимального руху електромобіля горизонтальним відрізком дороги, отримані в роботах [2],[3], що мають вигляд:

$$i_k(n) = i_k(n-1) - \frac{C_3}{n} \{ 2a\sqrt{(i_k(n-1))^2 + 1} (1 - 2\alpha i_k(n-1)) - \left(\frac{a^2 + b^2}{b} \right) \left(C_1^* e^{(f_1 \tau_k + 2f_2 v_k)(\tau_{k+1} - \tau_k)} - \frac{C_2^*}{f_1 + 2f_2 v_k} \right) \} \quad (1)$$

$$v_{k+1} \approx v_k + \frac{(a^2 + b^2)}{2ab} (\tau_{k+1} - \tau_k) \ln(i_k + \sqrt{i_k^2 + 1}) - (f_0 + f_1 v_k + f_2 v_k^2) (\tau_{k+1} - \tau_k), \quad (2)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots; \quad \tau_0 = 0, \quad v_0 = 0, \quad i_0 = i_n$$

а також математичні моделі оптимального руху електромобіля на схилах та на підйомах дороги, отримані в роботі [4], що мають вигляд:

під час руху на спуск -

$$v_{k+1} \approx v_k + \frac{(a^2 + b^2)}{2ab} (\tau_{k+1} - \tau_k) \ln(i_k + \sqrt{i_k^2 + 1}) - (-f_0^* \sin \beta_k + f_0 \cos \beta_k + f_1 v_k + f_2 v_k^2) (\tau_{k+1} - \tau_k),$$

$$k = 0, 1, 2, \dots; \quad \tau_0 = 0, \quad v_0 = v_{0s}, \quad i_0 = i_{0s}, \quad \beta_k \in \left[0, \beta_{\max} < \frac{\pi}{2} \right], \quad (3)$$

$$i_k(n) = i_k(n-1) - \frac{C_3}{n} \{ 2a\sqrt{(i_k(n-1))^2 + 1} (1 - 2\alpha i_k(n-1)) - \left(\frac{a^2 + b^2}{b} \right) \left(C_1^* e^{(f_1 \tau_k + 2f_2 v_k)(\tau_{k+1} - \tau_k)} - \frac{C_2^*}{f_1 + 2f_2 v_k} \right) \},$$

$$n = 1, 2, \dots, N \Rightarrow |i_{N-1} - i_N| \leq \varepsilon,$$

під час руху на підйом -

$$v_{k+1} \approx v_k + \frac{(a^2 + b^2)}{2ab} (\tau_{k+1} - \tau_k) \ln(i_k + \sqrt{i_k^2 + 1}) - (f_0^* \sin \beta_k + f_0 \cos \beta_k + f_1 v_k + f_2 v_k^2) (\tau_{k+1} - \tau_k),$$

$$k = 0, 1, 2, \dots; \quad \tau_0 = 0, \quad v_0 = v_{0p}, \quad i_0 = i_{0p}, \quad \beta_k \in \left[0, \beta_{\max} < \frac{\pi}{2} \right], \quad (4)$$

$$i_k(n) = i_k(n-1) - \frac{C_3}{n} \{ 2a\sqrt{(i_k(n-1))^2 + 1} (1 - 2\alpha i_k(n-1)) - \left(\frac{a^2 + b^2}{b} \right) \left(C_1^* e^{(f_1 \tau_k + 2f_2 v_k)(\tau_{k+1} - \tau_k)} - \frac{C_2^*}{f_1 + 2f_2 v_k} \right) \},$$

$$n = 1, 2, \dots, N \Rightarrow |i_{N-1} - i_N| \leq \varepsilon,$$

Ми не будемо зупинятись у цих тезах на поясненнях усіх складових в приведених математичних моделях, оскільки кожен, хто читатиме ці тези, може ознайомитись з ними в роботах [2],[3],[4], з яких вони почерпнуті.

Як бачимо, ці математичні моделі мають ітераційний характер, а тому навіть при використанні бортового комп'ютера з високою швидкістю під час руху в міському транспортному потоці обчислювальні процеси з їх використанням не будуть встигати за зміною дорожньої ситуації. Тож у цьому випадку замість запропонованих авторами робіт [2],[3],[4] і приведених нами вище моделей оптимального руху необхідно використовувати більш прості моделі, але які в околі робочих точок

траєкторії зберігатимуть основні характеристики моделей оптимального руху. Ми такі моделі будемо називати еквівалентними, а процес їх синтезу називатимемо еквівалентуванням.

Тож саме синтезу моделей, еквівалентних приведеним вище математичним моделям оптимального руху електромобіля з тяговим асинхронним електроприводом змінного струму, і буде присвячене це наше дослідження.

Висновки

Здійснено системний аналіз математичних моделей оптимального руху електромобіля з тяговим асинхронним електроприводом змінного струму, отриманих в роботах [2],[3],[4], під час його руху горизонтальним відрізком дороги, а також на спуск і на підйом. В результаті цього аналізу встановлено, що синтезовані авторами робіт [2],[3],[4] моделі оптимального руху ефективно працюють при визначені траєкторій автомобіля під час руху дорогами за межами населених пунктів з інтенсивним транспортним рухом і наявністю значної кількості регульованих перехресть. Запропоновано для оптимізації руху електромобіля в міському транспортному потоці використовувати не приведені вище моделі оптимального руху, а їх еквівалентні, але більш прості аналоги, використовуючи які бортовий комп'ютер електромобіля встигатиме здійснювати потрібні обчислення в темпі процесу руху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, *Методологія та організація наукових досліджень*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2015.
2. Б.І.Мокін, О.Б.Мокін, В.В.Горенюк. «До питання оптимізації руху електромобіля з асинхронним електроприводом». Вісник Вінницького політехнічного інституту, №3, С.32-38, 2019.
3. Б.І.Мокін, О.Б.Мокін, В.В.Горенюк. «Метод ідентифікації моделей оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом». Вісник Вінницького політехнічного інституту, №1, С.32-38, 2020
4. В. В. Горенюк, «Синтез та ідентифікація моделей оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом по схилах і підйомах дороги», Вісник ВПІ, вип. 2, с. 37–44, Квіт 2021. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2-37-44>
5. Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, і В. В. Горенюк, «Моделювання оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом горизонтальним відрізком дороги», Вісник ВПІ, вип. 5, с. 26–33, Лис 2020
6. В. В. Горенюк, «Моделювання оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом на схилах і підйомах дороги», Вісник ВПІ, вип. 5, с. 43–49, Жовт. 2021

Мокін Борис Іванович – академік НАПН України, д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційних технологій e-mail: borys.mokin@gmail.com

Пасєка Богдан Володимирович – аспірант кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, e-mail: bogdanpaseka2000@gmail.com

Borys Mokin — Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of System Analysis and Information Technologies e-mail: borys.mokin@gmail.com;

Bohdan Pasiaka — Post-Graduate Student of the Chair of System Analysis and Information Technologies, e-mail: bogdanpaseka2000@gmail.com