

Кулагін Д.О., канд. техн. наук, доцент
Запорізький національний технічний університет (ЗНТУ)

ЗАКОН РОЗПОДІЛУ ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА У ЧАСІ ДЛЯ ЗАДАЧІ КОРЕГУВАННЯ ГРАФІКА РУХУ ПОЇЗДА

Ключові слова: графік руху, автоведення, тяговий асинхронний двигун, моторвагонний рухомий склад, керування, потокозчеплення, робота, потужність тяги.

Вступ та постановка проблеми. Рівень виконання графіка руху моторвагонних поїздів відображає ступінь реалізації технології перевізного процесу та якості роботи, забезпечує безпеку руху, оптимальне використання рухомого складу, збільшення провізної і пропускної спроможності доріг, поліпшення обслуговування пасажирів і має важливе економічне значення, адже графік руху поїздів є основним документом, що регламентує роботу всіх підрозділів залізничного транспорту з організації руху поїздів і визначає технологію експлуатаційної діяльності всієї мережі залізниць. У разі відхилення від графіка руху необхідно проводити корегування показників руху моторвагонного поїзда для входження до встановленого графіка руху [1-5]. Для підвищення ефективності керування тягою у випадку відхилення від графіка руху необхідно використовувати методи проектування та синтезу систем керування тяговою електропередачею, що дозволяють отримати високу динаміку руху при мінімальних енергетичних затратах, стійкість системи керування до збурень та варіації параметрів контурів тягової електропередачі в процесі роботи.

Керування безпосередньо параметрами роботи тягового асинхронного двигуна дозволяє мінімізувати витрати первинного енергоносія та забезпечити необхідний закон керування тяговим процесом. При цьому, в залежності від багатьох обставин, для встановлення оптимальних режимів ведення моторвагонних поїздів на похилих профілях залізничного шляху з метою досягнення кутових швидкостей обертання тягових двигунів вище за номінальну, при оптимізації енергетичних характеристик тягової електропередачі в залежності від навантаження на тягову передачу, та при оптимізації динамічних характеристик поїзда машиніст або система автоведення поїзда повинні переводити тягові двигуни у зону роботи зі зниженим значенням модуля вектора потокозчеплення ротора.

Літературний огляд. Задачі побудови керуючих систем для моторвагонного рухомого складу присвячено багато сучасних досліджень [6-11], що підтверджує актуальність даного дослідження. Виходячи з аналізу вказаних робіт можна зробити висновок, що для збільшення середньої швидкості руху моторвагонних поїздів і подолання відхилення від графіка руху, що визначає загальну продуктивність роботи, необхідно збільшувати динамічні показники руху поїзда. Однак великі прискорення та ривок

(швидкість наростання прискорення) можуть виявити несприятливий фізіологічний вплив на пасажирів і вантаж, привести до надмірного споживання потужності, тому ці параметри руху обмежені певними значеннями відповідно до технічного завдання. Таким чином вказана задача є багатокритеріальною [12, 13]. В задачах багатокритеріальної оптимізації при числі показників два та більше суттєво ускладнюється процедура алгоритмізації рішення [14-17], аналізу та відповідна послідовна інтерпретація отриманих результатів, тому серед відомих показників ефективності перевізного процесу, на основі якого будують керуючу систему, обирають головний, всі послідовні дії та параметри задачі підчиняючи відповідно його вимогам, а інші критерії відбору рішень, як правило, не співпадають з головним критерієм і мають назву локальних.

Мета статті – математична постановка закону розподілу потужності тягового асинхронного двигуна у часі для задачі корегування графіка руху моторвагонного поїзда.

Основний матеріал дослідження. Припустимо, що моторвагонний поїзд виїхав з початкової станції руху вчасно і прибув у точку маршрутного графіка руху з координатами (t_1, S_1) вчасно, проте через об'єктивні причини, описані вище, в точку з координатами (t_2, S_2) він не прибув, тобто має місце відхилення кривої графіка руху від числа t_2 . Нехай в точку з ординатою S_2 поїзд прибув в момент часу t_2^* , тобто відхилення за часом від графіка руху складає $\Delta t_2 = t_2 - t_2^*$.

Робота сили тяги, яку необхідно виконати для подолання відставання у графіку складає:

$$A_T^* = \int_{t_2}^{t_2^*} D \cdot ch\left(\frac{t-B}{D}\right) dt, \quad (1)$$

або інакше

$$A_T^* = D \cdot \int_{t_2}^{t_2^*} ch\left(\frac{t-B}{D}\right) dt, \quad (2)$$

де D - значення параметру, за якого виконуються умови проходження екстремалі та геометричного місця межових умов руху поїзда через точку з координатою (t_2^*, S_2^*) ;

B - константа інтегрування.

Можна переписати вираз (2) у наступному вигляді:

$$A_T^* = \frac{D}{2} \cdot \int_{t_2}^{t_2^*} \left(e^{\frac{t-B}{D}} + e^{-\frac{t-B}{D}} \right) dt = \frac{D}{2} \cdot \int_{t_2}^{t_2^*} e^{\frac{t-B}{D}} dt + \frac{D}{2} \cdot \int_{t_2}^{t_2^*} e^{-\frac{t-B}{D}} dt. \quad (3)$$

Тоді можна визначити що необхідна робота сили тяги, для подолання відставання від графіка руху складає:

$$A_T^* = \frac{D^2}{2} \cdot e^{\frac{t-B}{D}} \Big|_{t_2}^{t_2^*} - \frac{D^2}{2} \cdot e^{\frac{t-B}{D}} \Big|_{t_2}^{t_2^*}, \quad (4)$$

або повна необхідна робота складе:

$$A_T^* = \frac{D^2}{2} \cdot e^{\frac{B}{D}} \cdot \left(e^{\frac{t_2}{D}} - e^{\frac{t_2^*}{D}} \right) - \frac{D^2}{2} \cdot e^{\frac{B}{D}} \cdot \left(e^{\frac{t_2}{D}} - e^{\frac{t_2^*}{D}} \right). \quad (5)$$

Нехай на кожному етапі руху система автоведення здійснює відлік часу t_j^* , причому $t_j^* \in [0; (t_2^* - t_2)]$. Нехай в залежності від кроку ітераційного процесу будемо мати μ циклів ітерації для проходження всього відрізка часу $[0; (t_2^* - t_2)]$. На кожному кроці ітераційного процесу система автоведення повинна розрахувати потрібну роботу, що її потрібно виконати для даного кроку, причому в сукупності на інтервалі $[0; (t_2^* - t_2)]$ для μ циклів ітерації сумарна виконана робота повинна відповідати значенню, отриманому відповідно до виразу (5).

На кожному ітераційному циклі повинна виконуватись робота, що дорівнює:

$$A_j^* = \frac{t_j^*}{t_2^* - t_2} \cdot (A_T^* - A_{j-1}^*). \quad (6)$$

Тобто в загальному вигляді на кожному проміжку часу виконується миттєва робота, що є функцією часу, яка в сукупності за кількістю проміжків ітерації дає загальну повну роботу, яка відповідає значенню, отриманому відповідно до виразу (5):

$$A(t) = A_j^*. \quad (7)$$

Відомо, що механічну потужність тягового асинхронного двигуна можна розрахувати як [6, 9]

$$P_{мех.} = \frac{3}{2} \cdot \omega \cdot \psi_r \cdot i_r \cdot \sin \gamma, \quad (8)$$

де ψ_r, i_r - модуль узагальнених векторів роторного потокозчеплення та струму відповідно;

γ - кут між векторами узагальнених векторів роторного потокозчеплення та струму тягової асинхронної машини.

Тоді матимемо наступне співвідношення:

$$\frac{A_T^*}{t_2^* - t_2} = \frac{3}{2} \cdot \omega \cdot \psi_r \cdot i_r \cdot \sin\gamma, \quad (9)$$

звідки отримуємо наступне:

$$\psi_r(t) = \frac{2 \cdot A(t)}{3 \cdot \omega \cdot i_r \cdot (t_2^* - t_2) \cdot \sin\gamma}. \quad (10)$$

Наведений вираз (10) дозволяє реалізовувати закон раціонального керування модулем вектора потокозчеплення тягового асинхронного двигуна у часі (рис. 1), для забезпечення подолання відставання в графікові руху.

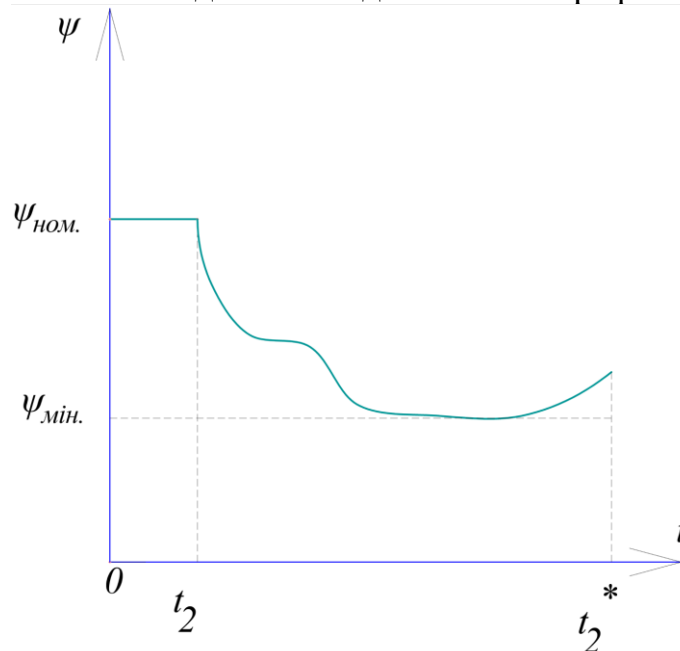


Рис. 1. Варіант розподілу кривої модуля вектора потокозчеплення тягового асинхронного двигуна у часі для даної задачі

Висновки.

1. В результаті дослідження проведена математична постановка закону розподілу потокозчеплення тягового асинхронного двигуна у часі для задачі корегування графіка руху моторвагонного поїзда.

2. Використання отриманого закону розподілу потокозчеплення тягового асинхронного двигуна у часі для вказаної задачі дає можливість, через пошук раціонального значення потрібної роботи, мінімізувати витрати палива при подоланні відставання від графіка руху.

3. На основі запропонованих математичних співвідношень можлива подальша побудова керуючої системи для задачі подолання відхилення від графіка руху.

Література.

1. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України, затверджена наказом Укрзалізниці від 05.04.2002 № 170-Ц.
2. Інструкція про порядок надання і використання вікон у графіку руху поїздів для ремонтних і будівельних робіт на залізницях України, затверджена наказом Укрзалізниці від 13.03.2000 № 96-Ц.
3. Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України, затверджена наказом Укрзалізниці від 15.12.2004 № 969-ЦЗ.
4. Інструкція з руху поїздів та маневрової роботи, затверджена наказом Міністерства транспорту України від 31.08.2005 № 507.
5. Інструкція з ведення графіка виконаного руху поїздів на залізницях і дирекціях залізничних перевезень, затверджена наказом Укрзалізниці від 17.12.2008 № 544-Ц.
6. Гетьман Г. К. Научные основы определения рационального мощностного ряда тяговых средств железнодорожного транспорта : монография [Текст] / Г. К. Гетьман. – Днепропетровский нац. ун-т ж.-д. трансп. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп., 2008. – 444 С.
7. Плохов Е. М. Моделирование электромеханической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом [Текст] / Плохов Е. М., Бахвалов Ю. А., Зарифьян А. А., Кашников В. П. – М. : Транспорт. – 2001. – 286 С.
8. Логвінова Н. О. Зменшення експлуатаційних витрат за допомогою енергооптимального руху поїздів [Текст] / Н. О. Логвінова, Д. О. Босий, О. М. Полях // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2012. – Вип. 42. – С. 110-113.
9. Гетьман Г. К. Теория электрической тяги : монография : в 2 т. [Текст] / Г. К. Гетьман – Д. : Изд-во Маковецкой, 2011. – Т. 2. – 363 С.
10. Петров Ю. П. Оптимальное управление движением транспортных средств. Библиотека по автоматике выпуск 373 [Текст] / Ю. П. Петров. – Л. : Энергия, 1969. – 96 С.
11. Носков В. И. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов [Текст] / Носков В. И., Дмитренко В. Д., Заполовский Н. И., Леонов С. Ю. – Х. : ХФИ «Транспорт Украины», 2003. – 248 С.
12. Босов А. А. Функции множества и их применение [Текст] / А. А. Босов. – Днепродзержинск : Изд. дом «Андрей», 2007. – 182 С.
13. Осипов С. И. Основы тяги поездов [Текст] / Осипов С. И., Осипов С. С. – М. : УМК МПС России, 2000. – 592 С.
14. Gelfand I. M. Calculus of Variations [Текст] / I. M. Gelfand, Izrail Moiseevitch Gelfand, S. V. Fomin. – Courier Dover Publications, 2000 – 232 P.
15. Cassel Kevin W. Variational Methods with Applications in Science and Engineering [Текст] / Cassel Kevin W. – Cambridge University Press, 2013. – 432 P.
16. Lebedev L. P. The Calculus of Variations and Functional Analysis with Optimal Control and Applications in Mechanics [Текст] / Lebedev L. P., Cloud M. J. – World Scientific, 2003. – 436 P.
17. Logan J. David. Applied Mathematics [Текст] / Logan J. David. – 3rd Ed. – Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, 2006. – 546 P.

Робота присвячена математичному описанню задачі визначення закону розподілу потокозчеплення тягового асинхронного двигуна у часі для випадку корегування графіка руху моторвагонного поїзда. Проведена математична постановка алгоритму керування тяговим асинхронним двигуном для раціонального подолання відхилення від графіка руху.

Работа посвящена математическому описанию задачи определения закона распределения потокосцепления тягового асинхронного двигателя во времени для случая корректировки графика движения моторвагонного поезда. Проведена математическая постановка алгоритма управления тяговим асинхронным двигателем для рационального преодоления отклонения от графика движения.

The work is devoted to the mathematical description of the problem definition of the distribution of the traction induction motor flux in time for the event timetable adjustment motor-wagon train. The mathematical formulation of the control algorithm traction induction motor for efficient overcome deviations from the timetable. As a result of using the law of distribution of traction induction motor flux over time for a given task enables, through a search of rational values should work to minimize fuel consumption while closing the timetable. Directly control the parameters of a power induction motor minimize consumption of primary energy and provide the necessary traction control law process. Thus, depending on many factors, to determine optimum modes of multiple units train on sloping profiles railways to achieve the angular velocity of rotation of the traction motors above par, while optimizing the energy characteristics of traction electric transmission depending on the load on the traction gear, and in the optimization dynamic characteristics of the train driver or a system of train-driving have traction engines to doing the work area with a low value of the module of the vector flux of the rotor.