ОСОБЛИВОСТІ ЗАДАЧІ РАЦІОНАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ МОДУЛЕМ ВЕКТОРА ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА

З метою встановлення оптимальних режимів ведення дизель-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 дизель-поїзда машиніст або система автоведення поїзда повинні переводити тягові двигуни у зону роботи зі зниженим значенням модуля вектора потокозчеплення ротора [1–2]. Закон раціонального керування величиною модуля вектора потокозчеплення тягового асинхронного двигуна при русі моторвагонного рухомого складу на похилих профілях залізничного шляху повинен у загальному випадку забезпечити:

1. Оптимальні показники руху дизель-поїзда при виконанні обмежень, що покладаються на дані величини з боку графіка руху. При цьому необхідно враховувати, що в процесі оперативного управління залізничною лінією визначені графіком руху часи руху перегоном можуть змінюватися в певних межах, а також можуть вводитись нові та відмінятися старі обмеження за швидкостями.

2. Найкращі показники роботи елементів тягової електропередачі при виконанні обмежень, що залежать від параметрів елементів тягової електропередачі та відповідних виконавчих механізмів механічної частини дизель-поїзда.

Дана категорія задач вирішується методами варіаційного числення, що дає можливість отримати перехідні процеси з нормованими показниками у математичній формі, зручній для використання в побудові систем автоведення рухомого складу [3].

Мета роботи – математична постановка задачі раціонального керування модулем вектора потокозчеплення тягового асинхронного двигуна дизель-поїзда.

У загальному випадку задачу знаходження закону раціонального керування можна сформулювати як задачу знаходження екстремуму (найбільшого або найменшого значення) функції $f(x)$ n- мірного векторного аргументу x при врахуванні певних обмежень [4]. Дану задачу можна описати наступною сукупністю виразів [4]:

$$\min f(x), \tag{1}$$

де має місце приналежність

$$x \in X. \tag{2}$$

В (2) X – деяка підмножина n- мірного евклідова простору E_n. Тобто X – допустима множина задачі (1), (2), а точки, що належать X – допустимі точки задачі (1), (2).

В якості керуючих змінних розглядаємо електромагнітні змінні x, якщо тривалістю електромагнітних перехідних процесів можна знехтувати в порівнянні з електромеханічними.

У випадку, коли тривалістю електромагнітних перехідних процесів або їх частини не можна нехтувати в порівнянні з електромеханічними процесами, необхідно врахувати відповідне диференціальне рівняння даних змінних:

$$\frac{dx_i}{dt} = f(x, \Omega, t, u), \tag{3}$$

де мають місце обмеження:

$$\begin{cases} i \in [1, l]; \\ l \le n. \end{cases} \tag{4}$$

У (3) в якості вектора керувань u виступають відповідні електромагнітним перехідним процесам або їх частинам, якими не можна нехтувати в порівнянні з електромеханічними процесами, а також їхнім диференціальним рівнянням характеристичні коефіцієнти, в якості яких можна використовувати значення напруг.

До локальних обмежень, які виступають вихідними при постановці задачі (1), (2), що виникають з боку тягового асинхронного двигуна, можна віднести:

- обмеження за нагріванням, яке визначається граничною припустимою температурою кривою елементів тягової машини;
- обмеження за максимальним значенням модуля напруги живлення;
- обмеження потужності, що споживається, які пов'язані з граничною характеристикою дизель-генератора;
- обмеження за умовою механічної міцності ротора тягової асинхронної машини.

Відповідно до задачі (1), (2) будемо вважати $\hat{x}$ точкою безумовного локального екстремуму задачі, а в точці $\hat{x}^j$ буде досягнуто екстремум функції

$$f(\hat{x}^1, \hat{x}^2, ..., \hat{x}^{j-1}, \hat{x}^j, \hat{x}^{j+1}, ... \hat{x}^n) \tag{5}$$

однієї змінної x^j, яку можна отримати з функції $f(x)$, якщо зафіксувати всі змінні, окрім змінної x^j, прийнявши умову

$$x^i = \hat{x}^i, \tag{6}$$

причому $i \neq j$.

Відповідно до [4] можна зазначити, що для того, щоб у точці $\hat{x}$ функція $f(x)$ мала безумовний локальний екстремум, необхідно, щоб всі її частинні похідні перетворювались в точці в нуль:

$$\left.\frac{\partial f}{\partial x^j}\right|_{x=\hat{x}} = 0, \ i \in [1, n]. \tag{7}$$

Умову (7) покажемо в наступній формі:

$$\text{grad}[f(\hat{x})] = 0. \tag{8}$$

Відповідно до [4] для того, щоб функція $f(x)$, яка двічі неперервно диференційована, містила в стаціонарній точці $\hat{x}$ безумовний локальний екстремум, необхідно щоб матриця її похідних другого порядку була невід'ємно (для мінімуму) або недодатньо (для максимуму) визначеною і достатньо, щоб вона була додатньо (від'ємно) визначеною.

Варіаційна задача на умовний екстремум для забезпечення коректності рішення потребує вирішення ізопериметричної задачі [5] з додатковими функціоналами [6]. Для спрощення рішення задачі пошуку закону раціонального керування величиною модуля вектора потокозчеплення тягового асинхронного двигуна скористаємося алгоритмом [6], за яким поставлену задачу будемо вирішувати поетапно: спочатку знаходити рішення задачі на умовний екстремум у вигляді зв'язку з якимись параметрами роботи тягової електропередачі дизель-поїзда або параметрами її елементів, а потому, використовуючи отримане співвідношення і в залежності від обраного функціоналу ϕ, визначати закон зміни одного з параметрів в умові оптимальності.

Визначимо вимоги до побудови певного обраного функціоналу ϕ, яким будемо задавати умову зміни певного параметра тягової електропередачі або її елемента, відносно якої будемо вирішувати задачу мінімізації чи максимізації.

Обмежимо граничні значення параметра функціоналу ϕ ділянкою $[a;b]$.

Множина всіх кусково-гладких вектор-функцій на вказаному інтервалі $[a;b]$ є функціональним простором [5], причому кожна кусково-гладка вектор-функція є елементом або точкою цього простору.

Тоді відповідно до термінології функціонального аналізу [5] можна записати узагальнений вигляд функціоналу функції $f(x)$:

$$\phi = \int_a^b f(x)dx. \tag{9}$$

Можна зробити узагальнюючий висновок про мету побудови вказаного функціоналу (9) як математичного виразу ізоперемитричної задачі, відповідно до якої знаходиться мінімально можлива або максимально можлива миттєва площа під графіком функції $f(x)$ на вказаному інтервалі $[a;b]$, що можна проілюструвати рис. 1.

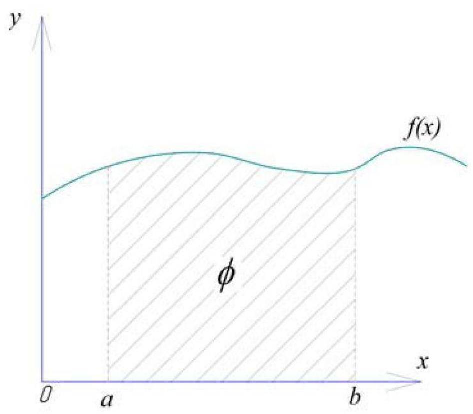

Рис. 1. Графічна інтерпретація фізичного змісту функціоналу виду (9)

Перевірку знаковизначеності матриць похідних другого порядку виконаємо на основі критерію Сильвестра [4, 5], відповідно до якого необхідною і достатньою умовою додатної визначеності квадратичної форми (x, Ax), де $A = \left[a_{ij}\right]$ – симетрична квадратна матриця розмірності n, є виконання системи n нерівностей (10):

$$\begin{cases} a_{11} > 0; \\ \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} > 0; \\ \ldots; \\ \begin{vmatrix} a_{11} & \ldots & a_{1n} \\ \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n1} & \ldots & a_{nn} \end{vmatrix} > 0. \end{cases} \tag{10}$$

Необхідною і достатньою умовою від’ємної визначеності квадратичної форми (x, Ax), є виконання системи n нерівностей (11):

$$\begin{cases} (-1)^n \cdot a_{11} > 0; \\ (-1)^n \cdot \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} > 0; \\ \ldots; \\ (-1)^n \cdot \begin{vmatrix} a_{11} & \ldots & a_{1n} \\ \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n1} & \ldots & a_{nn} \end{vmatrix} > 0. \end{cases} \tag{11}$$

Висновки

Проведено математичну постановку задачі раціонального керування модулем вектора потокозчеплення тягового асинхронного двигуна дизель-поїзда, відповідно до якої визначено умови пов’язаної ізопериметричної задачі з додатковими функціоналами. Описані етапи вирішення поставленої задачі, згідно з якими спочатку необхідно знаходити рішення задачі на умовний екстремум у вигляді зв’язку з якимись параметрами роботи тягової електропередачі дизель-поїзда або параметрами її елементів, а потому, використовуючи отримане співвідношення і в залежності від обраного функціоналу, визначати закон зміни одного з параметрів в умові оптимальності. Вирішення вказаної задачі дозволяє отримати технологію раціонального керування модулем вектора потокозчеплення тягового асинхронного двигуна, яка дозволить збільшити коефіцієнт корисної дії тягової електропередачі дизель-поїзда.

Список літератури

1. Цукало П. В. Экономия электроэнергии на электроподвижном составе / П. В. Цукало. – М. : Транспорт, 1983. – 174 с.
2. Вождение поездов / [Р. Г. Черепашенец, В. А. Бирюков, В. Т. Понкрашов, А. Н. Судаловский] ; под ред. Р. Г. Черепашенца. – М. : Транспорт, 1994. – 304 с.
3. Петров Ю. П. Оптимальное управление движением транспортных средств. Библиотека по автоматике выпуск 373 / Ю. П. Петров. – Л. : Энергия, 1969. – 96 с.
4. Моисеев Н. Н. Методы оптимизации : учебное пособие для вузов по специальности «Прикл. математика» / Н. Н. Моисеев, Ю. П. Иванилов, Е. М. Столярова. – М. : Наука, 1978. – 351 с.
5. Ахиезер Н. И. Лекции по вариационному исчислению / Ахиезер Н. И. – М. : ГИТТЛ, 1955. – 248 с.
6. Гаврилов П. Д. Выбор управления асинхронными электродвигателями / П. Д. Гаврилов, Е. К. Ещин // Изв. вузов. Электромеханика. – 1975. – № 1. – С. 50–55.

Одержано 27.12.2013

© Канд. техн. наук Д. О. Кулагін

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

Kulagin D. Features of the problem of rational management module vector flux-linkages asynchronous traction motor diesel-trains