

УДК 656.25:156.25

БУРЯК С.Ю., аспірант (ДІТ);
МАЛОВІЧКО В.В., к.т.н. (ДІТ);
РИБАЛКА Р.В., к.т.н. (ДІТ).

Використання простору станів для створення моделі стрілочного двигуна постійного струму

Вступ

З кожним роком до залізничного транспорту висуваються все більш високі вимоги з безпеки руху, надійності функціонування та експлуатації існуючих засобів забезпечення руху поїздів. В зв'язку з тим, що існуючі засоби інтервального регулювання на перегоні та системи станційної автоматики експлуатуються вже досить давно, спостерігається збільшення кількості відмов та пов'язаних з цим затримок потягів за рахунок старіння елементної бази систем автоматики. Також необхідно враховувати, що системи станційної автоматики, які зараз експлуатуються, розроблялись досить давно, і функції контролю апаратури на посту електричної централізації (ЕЦ) та контролю стану колійних пристроїв реалізовані в недостатній мірі. Тому розробка систем діагностування та контролю пристроїв залізничної автоматики є важливою та актуальною задачею. На початковому етапі створення системи контролю стрілочних переводів, для перевірки правильності її функціонування, доцільно відтворити майбутню систему в математичній моделі та перевірити її роботу в різних режимах. З урахуванням цього, створення моделей тих пристроїв залізничної автоматики, які потребують додаткового контролю [1] є невирішеною задачею. Особливого значення вона набуває при створенні систем контролю та діагностування колійних пристроїв станційної автоматики, на які припадає більшість відмов ЕЦ.

Мета роботи

Одним з колійних пристроїв ЕЦ, який потребує додаткового контролю є стрілочний перевід. При розробці системи контролю та діагностування стрілок [1], з використанням в якості параметру контролю часової залежності струму, який протікає через стрілочний двигун під час переводу стрілки, необхідне теоретичне обґрунтування діагностичних ознак, що суб'єктивно визначені з експериментальних даних [2]. В зв'язку з цим, метою даної роботи є удосконалення математичної моделі стрілочного двигуна послідовного збудження з представленням її в найбільш зручній формі для моделювання різних режимів роботи стрілочного двигуна.

Аналіз проблеми та розробка методу

Для забезпечення надійної роботи систем регулювання руху поїздів нормативними документами передбачено проведення періодичного технічного обслуговування, що включає контроль основних параметрів апаратури та її регулювання як безпосередньо під час експлуатації, так і в ремонтно-технологічній дільниці дистанції сигналізації та зв'язку. Недоліками існуючої технології обслуговування стрілочних переводів є: значні затрати часу та ручної праці; неможливість проведення безперервного контролю і своєчасного виявлення можливих дефектів та пошкоджень; відсутність можливості виявлення деяких прихованих дефектів електромеханічної системи стрілочних

електроприводів, оскільки контроль базується, головним чином, на вимірюванні робочого струму і струму роботи стрілки на фрикцію; необхідність проведення додаткового обстеження в ремонтно-технологічній дільниці для визначення характеру і локалізації дефекту; суб'єктивність отриманих результатів та їх недостатня точність, пов'язана з візуальною реєстрацією. Розробка систем автоматичного контролю та діагностування стрілочних переводів по кривій часової залежності струму ведеться [1, 2], але поки що широкого впровадження такі системи діагностування на залізничному транспорті не набули. Щоб описати роботу приводу, потрібно створити математичну модель яка враховує особливості роботи системи діагностування [2] та контролю стрілочних переводів.

Для дослідження статичних і динамічних режимів роботи стрілочних переводів, на яких встановлено електроприводи з двигунами постійного струму, пропонується представити математичну модель у формі системи диференціальних рівнянь. Опис об'єкта у вигляді системи диференціальних рівнянь є загальним в сенсі можливості одержання рівнянь для статичних режимів, шляхом прирівнювання похідних функцій до нуля. При розробці математичної моделі для стрілочного двигуна необхідно враховувати специфіку його роботи та необхідність отримувати залежності всіх складових моделі відносно струму переводу стрілки.

Результати

Користуючись відомими залежностями [3] між електричними та механічними характеристиками для стрілочних двигунів постійного струму з послідовним збудженням, двигун можна описати наступною системою диференціальних і алгебраїчних рівнянь в абсолютних одиницях:

$$\begin{cases} U = E + R_{\Sigma} \cdot i + L_{\Sigma} \frac{di}{dt}; \\ J \frac{dW}{dt} = M - M_{op}; \\ M = c_M \cdot \Phi \cdot i; \\ E = c_e \cdot \Phi \cdot n. \end{cases} \quad (1)$$

де U – напруга на обмотках двигуна; E – противо-ЕРС в якорі; R_{Σ} – активний опір усіх обмоток двигуна, а також перехідного опору щіток; i – струм в обмотках двигуна; L_{Σ} – індуктивність усіх обмоток двигуна; $\frac{di}{dt}$ – швидкість зміни струму в електричному колі; J – сумарний момент інерції якоря і навантаження; $\frac{dW}{dt}$ – швидкість зміни кутової швидкості обертання вала; M – електромагнітний момент двигуна; M_{op} – момент опору руху; c_M – машинна стала для моменту; Φ – магнітний потік; c_e – машинна стала для ЕРС; n – частота обертання вала двигуна.

Значення c_M можна знайти з наступного виразу [4]:

$$c_M = \frac{p \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

де p – кількість пар полюсів; N – кількість активних провідників якоря; a – кількість пар паралельних гілок простої петльової обмотки.

Для створення математичної моделі стрілочного двигуна, найбільш зручною формою запису є модель в системі простору станів [5]. Модель в змінних стану має вид диференціальних рівнянь, але записується в спеціальній формі – як система рівнянь першого порядку. Суть моделі в змінних стану полягає в тому, що вона зберігає відношення між входом і виходом системи, але в той же час дозволяє перейти від одного диференціального рівняння n -го порядку до системи n диференціальних рівнянь першого порядку. Перевагою такого представлення є відображення внутрішніх змінних математич-

ної моделі, до множини яких входить електричний струм переводу стрілки – основний параметр діагностування. Крім цього, модель в змінних стану для стрілочного двигуна постійного струму дозволяє легко вирішувати завдання аналізу й синтезу за допомогою комп'ютера, тоді як використання для тих же цілей, наприклад, передатної функції [3] може виявитися безуспішним через труднощі обчислювального характеру.

З точки зору майбутньої моделі, входними впливами є напруга на обмотках двигуна U та момент опору руху M_{op} , який складається з приведенного моменту опору руху до вала двигуна T_L , моментів в'язкого $B_m \cdot W$ та сухого T_f тертя. Вихідні змінні: електромагнітний момент двигуна M , швидкість обертання вала двигуна W . Змінні стану: струм в обмотках двигуна i , швидкість обертання вала двигуна W .

Тому, вираз для моменту опору руху можна записати у вигляді:

$$M_{op} = T_L + B_m \cdot W + T_f$$

Загальні механічні втрати для двигунів звичайного виконання обраховують наступним чином [Ошибка! Источник ссылки не найден.]:

$$P_{мех} = (0,5 \div 2\%) \cdot P_n$$

Зважаючи на невеликі розміри двигуна, що проектується, використовується найменше значення механічних втрат, тобто для 0,5% від номінальної потужності P_n .

З іншого боку дані втрати також розраховуються за наступною формулою [Ошибка! Источник ссылки не найден.]:

$$P_{мех} = T_f \cdot W_n + B_m \cdot W_n^2, \quad (2)$$

де T_f – момент сухого тертя; B_m – коефіцієнт в'язкого тертя; W_n – номінальна кутова швидкість обертання вала.

Якщо вважати втрати на тертя і вентиляційні втрати приблизно рівними, то, маючи визначене з формули (2) значення

механічних витрат $P_{мех}$, обчислюються T_f та B_m за наступними формулами [Ошибка! Источник ссылки не найден.]:

$$T_f = \frac{P_{мех}}{2 \cdot W_n}; \quad B_m = \frac{P_{мех}}{2 \cdot W_n^2}.$$

Перепишемо четверте рівняння системи (1) для явно вираженої кутової швидкості обертання вала, оскільки вона є водночас і змінною стану і вихідним параметром:

$$E = \frac{c_e \cdot \Phi \cdot 30}{\pi} \cdot W.$$

Перетворимо перше та друге диференціальні рівняння системи (1) до явної форми Коши і виконаємо підстановку. Система рівнянь прийме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = \frac{1}{L_\Sigma} \cdot \left(-R_\Sigma \cdot i - \frac{c_e \cdot \Phi \cdot 30}{\pi} \cdot W + U \right); \\ \frac{dW}{dt} = \frac{1}{J} \cdot (c_M \cdot \Phi \cdot i - T_L - B_m \cdot W - T_f); \\ M = c_M \cdot \Phi \cdot i; \\ W = W. \end{cases} \quad (3)$$

Останнє рівняння є відображенням того факту, що змінна стану є одночасно і вихідним параметром.

Введемо наступні позначення:

- вхідні змінні: $u_0 = U$, $u_1 = T_L$;
- вихідні змінні: $y_0 = M$, $y_1 = W$;
- змінні стану: $x_0 = i$, $x_1 = W$.

Отже, матриця вхідних змінних, матриця вихідних змінних, та матриця змінних стану приймуть вид, відповідно:

$$u = \begin{bmatrix} u_0 \\ u_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U \\ T_L \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M \\ W \end{bmatrix},$$

$$x = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i \\ W \end{bmatrix}.$$

А система рівнянь (3) запишеться у вигляді:

$$\begin{cases} \frac{dx_0}{dt} = -\frac{R_\Sigma}{L_\Sigma} \cdot x_0 - \frac{c_e \cdot \Phi \cdot 30}{\pi \cdot L} \cdot x_1 + \\ + \frac{1}{L_\Sigma} \cdot u_0 + 0 \cdot u_1; \\ \frac{dx_1}{dt} = \frac{c_M \cdot \Phi}{J} \cdot x_0 - \frac{B_m}{J} \cdot x_1 + 0 \cdot u_0 - \\ - \frac{1}{J} \cdot u_1 - \frac{T_f}{J}; \\ y_0 = c_M \cdot \Phi \cdot x_0 + 0 \cdot x_1 + 0 \cdot u_0 + 0 \cdot u_1; \\ y_1 = 0 \cdot x_0 + x_1 + 0 \cdot u_0 + 0 \cdot u_1. \end{cases} \quad (4)$$

Перепишемо систему рівнянь (4) в матричній формі:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = A \cdot x + B \cdot u; \\ y = C \cdot x + D \cdot u. \end{cases}$$

Де матриці коефіцієнтів мають вигляд:

$$\begin{aligned} A &= \begin{bmatrix} -\frac{R_\Sigma}{L_\Sigma} & -\frac{c_e \cdot \Phi \cdot 30}{\pi \cdot L_\Sigma} \\ \frac{c_M \cdot \Phi}{J} & -\frac{B_m}{J} \end{bmatrix}, \\ B &= \begin{bmatrix} \frac{1}{L_\Sigma} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix}, \\ C &= \begin{bmatrix} c_M \cdot \Phi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (5)$$

Висновки

Відповідно до поставленої мети, було удосконалено математичну модель стрілочного двигуна постійного струму з послідовним збудженням. На основі проведених розрахунків запропоновано представити математичну модель в просторі станів (4), так як це дозволяє визначати стан стрілочного переводу в різних режимах роботи, завдяки зміні відповідних складових матриці коефіцієнтів (5). Крім цього струм переводу стрілки є внутрішньою змінною системи, що дозволяє контролювати стан стрілки за допомогою запропонованої системи діагностування [2].

Література

1. Маловічко В. В. Визначення діагностичних ознак для автоматизованого контролю технічного стану стрілочних електродвигунів [Текст] / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк, В. Я. Кізяков // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Вип. 16. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, –2007.
2. Маловічко В. В. Автоматизований контроль технічного стану стрілочних електродвигунів постійного струму по кривим споживання струму [Текст] / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: Вид-во Української державної академії залізничного транспорту, –2007. –Вип. 5, 6. – С. 18-21.
3. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. –М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, –2008. –288 с.
4. Безрученко В. Н. Электрические машины [Текст] / В. Н. Безрученко, А. С. Хотян. –2-е изд., перераб. и доп. –К.: Вища шк. Головное изд-во, –1987. – 215 с.
5. Филлипс Ч., Системы управления с обратной связью. [Текст] / Ч. Филлипс, Р. Харбор. –М.: Лаборатория Базовых Знаний, –2001 –616 с.
6. Захарченко Д. Д. Тяговые электрические машины. Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов. –М.: Транспорт. –1991. – 343 с.

Анотації:

Ключові слова: стрілочний привід, математична модель, діагностичні ознаки, простір станів, диференціальні рівняння, струм переводу стрілки.

В роботі приведені способи представлення математичних моделей стрілочного двигуна постійного струму з послідовним збудженням, які дають змогу проаналізувати роботу двигуна в різних режимах з метою правильного вибору діагностичних ознак для системи контролю стрілочних переводів.

В работе приведены способы представления математических моделей стрелочного двигателя

постоянного тока с последовательным возбуждением, которые дают возможность проанализировать работу двигателя в различных режимах с целью правильного выбора диагностических признаков для системы контроля стрелочных переводов.

Ways of series excitation direct-current motor switch mathematical model representations, which allows motor operation analysis at various modes, with purpose of diagnostic criterion proper selection for switch monitoring system, are offered.