

УДК 681.5.023+681.5.015+62-83:629.433

О. Б. Мокін, асп.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОГО СТАТИЧНОГО МОМЕНТУ НАВАНТАЖЕННЯ ТА ЕКВІВАЛЕНТНОГО МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ МАХОВИХ МАС ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТРАМВАЯ, ПРИВЕДЕНОГО ДО УМОВНОЇ ОСІ

За допомогою розроблених в попередніх роботах методик, розраховано еквівалентний статичний момент навантаження та еквівалентний момент інерції махових мас електропривода трамвая КТ4SU, приведених до умовної осі, яка обертається з кутовою швидкістю обертання валів електродвигунів ТЕ022.

1. Постановка задачі та вихідні передумови

Як вже зазначалося в роботі [1], для розв'язання задачі аналізу перехідних процесів в електроприводі трамвая або задачі його оптимізації необхідно використовувати математичну модель динаміки електропривода, яка має вигляд [2]:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{Д}} - M_{\text{СТ}}, \quad (1)$$

де J – момент інерції махових мас електропривода, приведених до вала електродвигуна, який обертається з кутовою швидкістю ω , $M_{\text{СТ}}$ – статичний момент навантаження на цей вал, а $M_{\text{Д}}$ – обертальний момент електродвигуна, який, в свою чергу, можна представити у вигляді

$$M_{\text{Д}} = k\Phi I_{\text{Я}}, \quad (2)$$

де $I_{\text{Я}}$ – струм якоря електродвигуна, а Φ – його робочий магнітний потік у зазорі між ротором та статором.

Зрозуміло, що модель (1) є придатною для використання лише в тому випадку, коли параметри J і $M_{\text{СТ}}$ в ній чисельно визначені.

В роботі [1] було запропоновано дві взаємопов'язані методики, перша з яких була присвячена експериментальному визначенню еквівалентного статичного моменту навантаження електропривода трамвая, а друга – експериментальному визначенню еквівалентного моменту інерції махових мас електропривода трамвая, приведених до умовної осі, яка обертається з кутовою швидкістю обертання валів електродвигунів. Взаємопов'язаними ці методики є тому що для визначення еквівалентного моменту інерції необхідно використати значення еквівалентного статичного моменту, обчислене за першою методикою.

Для перевірки згаданих вище методик в трамвайному депо міста Вінниці було проведено експеримент, під час якого заміряно всі параметри, які згідно методик роботи [1] необхідні знати для визначення еквівалентного статичного моменту навантаження електропривода трамвая та еквівалентного моменту інерції махових мас електропривода трамвая, приведених до умовної осі, яка обертається з кутовою швидкістю обертання валів електродвигунів.

В якості експериментального трамвая було використано трамвай чеського виробництва КТ4SU, на якому встановлено чотири електричних двигуни постійного струму з послідовним збудженням ТЕ022, котрі попарно підключені під напругу контактної мережі.

Розрахунку статичного моменту навантаження та еквівалентного моменту інерції електроприводу трамвая вказаного типу, з використанням згаданих вище методик, і присвячена дана робота.

2. Розрахунок еквівалентного статичного моменту навантаження електропривода трамвая КТ4SU

В роботі [1] показано, що еквівалентний статичний момент навантаження трамвая в цілому, приведений до цієї ж умовної осі, яка обертається під дією одразу усіх чотирьох електродвигунів, створюючих сумарний обертальний момент $M_{Д1} + M_{Д2} + M_{Д3} + M_{Д4}$, можна знайти за формулою

$$M_{СТ}^T = 4(a_2^* I_{СТ}^3 + b_2^* I_{СТ}^2), \quad (3)$$

в якій

$$\begin{cases} a_2^* = -a_2 k \frac{\Phi_{НОМ}}{I_{НОМ}^2}; \\ b_2^* = b_2 k \frac{\Phi_{НОМ}}{I_{НОМ}}; \\ k = \frac{pN}{2\pi a}; \\ \Phi_{НОМ} = \frac{U_{НОМ} - I_{НОМ} R_{\Sigma}}{n_{НОМ} C_E \cdot 0,937}; \\ C_E = \frac{pN}{60a}, \end{cases} \quad (4)$$

де $I_{СТ}$ — струм якоря, з яким проводиться експеримент для знаходження статичного моменту (перша методика роботи [1]); a_2 , b_2 — коефіцієнти параболічної частини (саме на цій частині знаходилась робоча точка під час проведення експерименту) математичної моделі кривої намагнічування електричного двигуна постійного струму з послідовним збудженням, яка запропонована в роботі [3],

$$\phi(i) = \begin{cases} -a_2 i^2 + b_2 i, & i \in [0, i_{сп}); \\ a_1 + b_1 i, & i \in [i_{сп}, \infty), \end{cases} \quad (5)$$

k — коефіцієнт виразу (2); $\Phi_{НОМ}$, $I_{НОМ}$, $U_{НОМ}$, $n_{НОМ}$ — номінальні значення відповідно магнітного потоку, струму якоря, напруги якоря та швидкості обертання вала електричного двигуна електропривода трамвая; R_{Σ} — сумарний опір якірної обмотки електродвигуна; C_E — коефіцієнт, який зв'язує ЕРС електродвигуна з магнітним потоком та швидкістю обертання вала ротора; 0,937 — відносне значення магнітного потоку при номінальному струмі якоря [4]; p — число пар полюсів двигуна; N — число активних провідників обмотки якоря; a — число пар паралельних гілок обмотки якоря.

З паспортних даних електричного двигуна ТЕ022 відомо

$$U_{НОМ} = 300 \text{ В}, \quad I_{НОМ} = 150 \text{ А}, \quad n_{НОМ} = 1720 \frac{\text{об}}{\text{хв}}, \quad R_{\Sigma} = 0,081 \text{ Ом}, \quad p = 2, \quad N = 145, \quad a = 1. \quad (6)$$

З роботи [4] відомо

$$\begin{cases} a_2 = 0,733; \\ b_2 = 1,7. \end{cases} \quad (7)$$

З експерименту ми визначили, що

$$I_{СТ} = 83,33 \text{ А}. \quad (8)$$

Отже, підставляючи значення (6) та (7) у систему (4), будемо мати:

$$\begin{cases} C_E = 4,833; \\ \Phi_{\text{ном}} = 0,037 \text{ Вб}; \\ k = 46,155; \\ a_2^* = -5,558 \cdot 10^{-5}; \\ b_2^* = 0,019. \end{cases} \quad (9)$$

А підставляючи, в свою чергу, значення (8) та (9) у вираз (3), отримаємо:

$$M_{\text{СТ}}^T = 102,099 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (10)$$

3. Розрахунок еквівалентного моменту інерції махових мас електропривода трамвая КТ4SU, приведених до умовної осі, яка обертається з кутовою швидкістю обертання валів електродвигунів

Знов звернемось до роботи [1]. Згідно з нею еквівалентний момент інерції J^T махових мас електропривода трамвая, приведених до умовної осі, яка обертається з кутовою швидкістю ω обертання валів електродвигунів, що входять до складу цього електропривода, можна знайти за формулою

$$J^T = \frac{t_k - t_{\text{п}}}{\omega_k - \omega_{\text{п}}} \left[4 \left(a_2^* I_{\text{Яп}}^3 + b_2^* I_{\text{Яп}}^2 \right) - M_{\text{СТ}}^T \right]. \quad (11)$$

З експерименту ми визначили:

$$t_{\text{п}} = 5 \text{ с}, \quad t_k = 15 \text{ с}, \quad \omega_{\text{п}} = 58,413 \text{ с}^{-1}, \quad \omega_k = 175,238 \text{ с}^{-1}, \quad I_{\text{Яп}} = 125 \text{ А}, \quad I_{\text{Як}} = 83,33 \text{ А}. \quad (12)$$

Отже, підставляючи значення (10) та (12) у вираз (11), будемо мати

$$J^T = 31,314 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2. \quad (13)$$

3. Висновки

1. За методиками роботи [1] розраховано еквівалентний статичний момент навантаження $M_{\text{СТ}}^T = 102,099 \text{ Н} \cdot \text{м}$ та еквівалентний момент інерції махових мас електропривода трамвая КТ4SU $J^T = 31,314 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$, приведених до умовної осі, яка обертається з кутовою швидкістю обертання валів електродвигунів ТЕ022.

2. Слід зауважити, що запропоновані методики враховують як особливості трамвая, що пов'язані із одночасним його рухом у часі і просторі, так і те, що електродвигуни його електропривода підключені до контактної мережі попарно і мають послідовне збудження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін Б. І., Мокін О. Б. Експериментальна ідентифікація математичної моделі динаміки електропривода трамвая // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2004. — № 3. — С. 46–49.
2. Чиликин М. Г., Соколов М. М., Терехов В. М., Шинянский А. В. Основы автоматизированного электропривода: Учебн. пособие для вузов. — М.: Энергия, 1974. — 568 с.
3. Мокін Б. І., Мокін О. Б. Математична модель кривої намагнічування електричного двигуна постійного струму з послідовним збудженням для задач оптимізації // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2004. — № 1. — С. 45–47.
4. Мокін О. Б. Порівняльний аналіз математичних моделей кривої намагнічування ЕДПЗ // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2005. — № 2. — С. 52–58.

Рекомендована кафедрою моделювання та моніторингу складних систем

Надійшла до редакції 10.11.05
Рекомендована до друку 22.11.05

Мокін Олександр Борисович – аспірант.

Кафедра моделювання та моніторингу складних систем, Вінницький національний технічний університет