

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

СПЕЦІАЛЬНІ ПИТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО ОПИСУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ АВТОМОБІЛІВ

Вступ. Вивчення допоміжного бортового електроустаткування автомобілів традиційно обмежене ознайомленням з конструкцією електричних двигунів та моторедукторів, методиками їх технічної діагностики, з електричними схемами керування та статичними характеристиками електроприводів. Динамічним характеристикам цих систем зазвичай не приділяється належної уваги, хоч саме перехідні процеси електроприводів дають найбільш повне уявлення про особливості їх функціонування. Часові діаграми основних координат стану дозволяють оцінити роботу електромеханічних систем як у режимах, наближених до номінального, так і в нештатних ситуаціях, включаючи невдалі спроби пуску, надмірні навантаження, тощо. Отже, ознайомлення зі спеціальними питаннями математичного опису та моделювання динаміки допоміжних електроприводів є досить актуальними для бакалаврів технічних напрямів підготовки.

Постановка задачі. У той час, як у галузі моделювання загальнопромислових електромеханічних систем існують масштабні напрацювання [1], особливості дослідження динаміки електроприводів автомобільного електроустаткування залишаються поза увагою через порівняно вузьку сферу його застосування. Мета даної роботи полягає у розробці такої методики моделювання допоміжних електроприводів бортових систем, яка спирається на базову математичну і природничу підготовку бакалавра. Передбачається можливість побудови моделі для устаткування серійного автомобіля з використанням загальнодоступних довідникових даних.

Результати роботи. В конструкції допоміжного електроустаткування широко застосовуються електродвигуни з незалежним збудженням, як електромагнітним, так і від постійних магнітів. Система диференціальних рівнянь такого двигуна має вигляд

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} &= \frac{c_M i - M_C}{J} \\ \frac{di}{dt} &= \frac{u - Ri - c_e \omega}{L} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де i , u – струм та напруга якірного кола, R , L – опір та індуктивність якоря, ω – кутова швидкість обертання валу, c_e – коефіцієнт ЕРС, c_M – коефіцієнт моменту, J – сумарний момент інерції електромеханічної системи, M_C – статичний момент опору.

Для дослідження загальноприйнятої лінеаризованої моделі електричної машини такого типу [1] необхідно попередньо визначити її параметри. Певну проблему на етапі підготовки моделі створює відсутність серед довідникових даних [2], табл.7.1-7.5 автомобільного електроустаткування прямої інформації щодо цих параметрів. Ґрунтуючись на відомостях з теорії електропривода [3], можна опосередковано визначити їх з прийнятною точністю з використанням наведеної у довідниках інформації щодо конструкції та характеристик машин. Вважатимемо, що в режимі номінальної потужності втрати машини зі збудженням від постійних магнітів розподіляються порівну між втратами в міді ΔP_M і постійними втратами ΔP_{II} :

$$\Delta P_M = \Delta P_{II} = \frac{1}{2}(U_H I_H - P_H), \quad (2)$$

де U_H , I_H , P_H – номінальні напруга, струм та потужність електродвигуна, які наводяться у довіднику.

Для машин з електромагнітним збудженням вважатимемо

$$\Delta P_M = \Delta P_{II} = \frac{1}{4}(U_H I_H - P_H), \quad (3)$$

віднісши решту втрат до кола збудження.

Тоді опір якоря можна розрахувати за формулою

$$R = \frac{\Delta P_M}{I_H^2}. \quad (4)$$

Номінальну швидкість двигуна визначмо на основі довідникових даних щодо номінальної частоти обертання

$$\omega_H = \frac{2\pi n_H}{60}. \quad (5)$$

За отриманими даними можна знайти коефіцієнт ЕРС

$$c_e = \frac{U_H - R I_H}{\omega_H}. \quad (6)$$

Значення цього коефіцієнта повинно збігатись зі значенням коефіцієнта електромагнітного моменту $c_e = c_M$, але для уникнення невідповідності параметрів, що визначаються за розподілом втрат, необхідно визначити c_M окремо. Вважаючи, що в режимі номінальної потужності електромагнітний момент врівноважує номінальний момент на валу в сумі з моментом холостого ходу, визначеним за постійними втратами як

$$M_0 = \frac{\Delta P_{II}}{\omega_H}, \quad (7)$$

отримаємо коефіцієнт моменту

$$c_M = \frac{M_H + M_0}{I_H}, \quad (8)$$

де M_H – номінальний момент навантаження згідно з довідником.

Зауважимо, що наведені в довіднику моменти, які мають розмірність кілограм-сил на сантиметр, слід привести до системи СІ за допомогою формули

$$M_H[\text{н}\cdot\text{м}] = M_H[\text{кг}\cdot\text{с}\cdot\text{см}] \frac{9,8}{100}. \quad (9)$$

Індуктивність якорного кола визначається за формулою

$$L = \frac{U_H}{\beta p n_H I_H}, \quad (10)$$

де коефіцієнт $\beta = 0,2$ для некомпенсованих машин, p – число пар полюсів.

Отримані дані дозволяють розрахувати сталу часу якорного кола

$$T = \frac{L}{R}. \quad (11)$$

Більшу невизначеність містить задача розрахунку сумарного моменту інерції електромеханічних систем допоміжного устаткування автомобілів, оскільки серед довідникових даних відсутні відомості про моменти інерції як двигунів, так і виконавчих органів таких електроприводів. Доступною є лише інформація, що стосується геометричних розмірів якоря двигуна: діаметра $D_{\text{я}}$ та довжини $l_{\text{я}}$. Отже, для визначення моменту інерції якоря можна розглядати його як циліндр з відповідними геометричними розмірами зі сталі, що має густину $\rho_{\text{с}} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Маса такого циліндра дорівнює

$$m_{\text{я}} = \rho_{\text{с}} \frac{\pi}{4} l_{\text{я}} D_{\text{я}}^2. \quad (12)$$

Тоді момент інерції якоря наближено визначимо як

$$J_{\text{я}} \approx \frac{m_{\text{я}}}{2} \frac{D_{\text{я}}^2}{4}, \quad (13)$$

а сумарний момент інерції електромеханічної системи для вентиляторів та склоочисників прийматимемо в діапазоні

$$J = (2 \div 3) J_{\text{я}}. \quad (14)$$

Статичний момент опору у найпростіших моделях традиційно вважається постійним, але виконавчі органи електроприводів допоміжного обладнання мають особливості будови кінематичних кіл, які можна відобразити певним функціональним зв'язком між моментом опору механізму та координатами стану електродвигуна. Розглянемо модель електропривода вентиляторів, які застосовуються в системах обігрівання салону та охолодження двигуна внутрішнього згоряння. Вентиляторна механічна характеристика реалізується квадратичною залежністю [1, 3] моменту опору механізму від швидкості

$$M_{\text{м}} = k_{\text{в}} \omega^2. \quad (15)$$

Оскільки довідникові дані щодо коефіцієнта $k_{\text{в}}$ відсутні, слід розраховувати його з міркувань забезпечення номінального режиму електродвигуна. Для моделі, яка окремо враховує момент холостого ходу, цей коефіцієнт визначимо за формулою

$$k_{\text{в}} = \frac{M_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}^2}. \quad (16)$$

Оскільки для вентилятора характерна постійна спільна дія обох складових моменту опору, можна для спрощення моделі віднести момент холостого ходу до вентиляторної характеристики (15), вважаючи $M_{\text{с}} = M_{\text{м}}$ і розрахувавши коефіцієнт $k_{\text{в}}$ як

$$k_{\text{в}} = \frac{M_{\text{н}} + M_0}{\omega_{\text{н}}^2}. \quad (17)$$

Схему математичної моделі двигуна незалежного збудження з вентиляторною характеристикою моменту (15), складену відповідно до системи диференціальних рівнянь (1), представлено на рис.1. Застосувавши наведену методику розрахунку параметрів моделі до довідникових даних [2] електродвигуна МЭ7-Б, отримаємо графіки перехідних процесів, представлені на рис.2. Порівняння значень струму і швидкості, досягнутих в усталеному режимі, з номінальними даними двигуна свідчить про достовірність створеної математичної моделі електропривода.

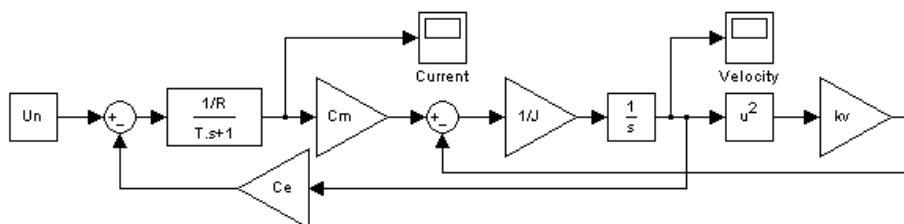
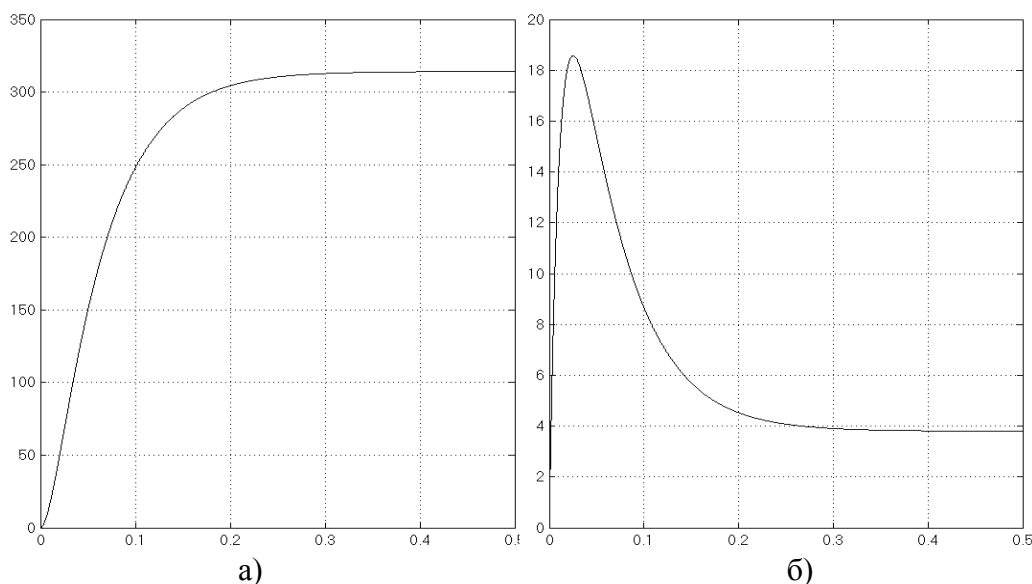


Рисунок 1 – Схема моделі електропривода вентилятора



а) – діаграма швидкості; б) – діаграма струму

Рисунок 2 – Перехідні процеси режиму пуску електропривода вентилятора

Висновки. Часові діаграми швидкості та струму дозволяють проаналізувати як усталені режими роботи електроприводів допоміжного електроустаткування, традиційно досліджувані за допомогою статичних характеристик, так і характер протікання у часі порівняно швидкоплинних змін стану електромеханічної системи у динамічних режимах. Так, стають доступними для аналізу пусковий струм та тривалість його споживання, темп розгону та час досягнення номінальної швидкості. Отже, запропонована методика розрахунку параметрів на підставі неповних довідникових даних дозволяє будувати математичні моделі електроприводів допоміжного електроустаткування, дослідження яких поглиблюють рівень фахових знань здобувачів вищої освіти за рахунок формування образного уявлення про динаміку специфічних для автомобілів електромеханічних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Моделирование электромеханических систем: підруч. / [Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й. та ін.]. – Кременчук, 2001. – 376с.
2. Электрооборудование автомобилей: справочник / [Акимов А.В., Акимов О.А., Акимов С.В. и др.]; под ред. Ю.П.Чижкова. – М.: Транспорт, 1993. – 223с.
3. Теория электропривода: учебник для вузов / Ключев В.И. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560с.

Надійшла до редколегії 09.01.2018.