

О. Б. Мокін, канд. техн. наук, доц.;

Б. І. Мокін, д-р техн. наук, проф.;

О. Д. Фолюшняк, студ.

МЕТОД ПАРАМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО СТРУМУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Розроблено метод параметричної ідентифікації моделі струму якоря приводного електродвигуна, отриманої в результаті розв'язання задачі оптимізації руху електромобіля по горизонтальному прямолінійному відрізку дороги за критерієм мінімуму витрат енергії акумуляторної батареї під час руху за будь-яким законом зміни швидкості руху електромобіля.

Вихідні передумови та постановка задачі

У роботі [1] поставлено і розв'язано задачу оптимізації руху електромобіля, динаміка якого у відносних одиницях описується рівнянням

$$\frac{dv}{d\tau} = i - f_0 - f_1 v - f_2 v^2, \quad (1)$$

по горизонтальному прямолінійному відрізку дороги за критерієм мінімуму відносних витрат енергії акумуляторної батареї

$$e = \int_0^{\tau_k} (1 - \alpha i) i d\tau, \quad (2)$$

під час руху за будь-яким законом зміни відносної швидкості руху електромобіля на виконання програми руху

$$s = \int_0^{\tau_k} v d\tau. \quad (3)$$

В рівняннях (1), (2), (3) v , s , i , τ , e — відповідно, відносна лінійна швидкість руху електромобіля, пройдений ним відносний шлях, відносний струм якоря його приводного електродвигуна, відносний час руху та відносні витрати енергії акумуляторної батареї, яка живить приводний електродвигун.

Процедуру переведення змінних у рівняннях (1), (2), (3) у відносні одиниці та формули, за якими визначаються усі інші параметри цих рівнянь, наведено у роботі [1], тож у цій роботі на їх визначенні зупинятись не будемо, а вважатимемо величинами відомими.

В результаті розв'язання задачі оптимізації руху електромобіля у роботі [1] синтезовано модель струму якоря приводного електродвигуна у вигляді

$$i = \frac{C_0 + f_1 + 2f_2 v}{2\alpha(f_1 + 2f_2 v)} - \frac{1}{f_1 + 2f_2 v} e^{(f_1 + 2f_2 v)(\tau - C_1)}, \quad (4)$$

в якій відомими є усі параметри, окрім C_0 та C_1 . Тож задача параметричної ідентифікації цієї моделі зводиться до розробки методу, за допомогою якого можна визначити числові значення цих двох невідомих параметрів.

Розв'язання задачі

Із того, що для ідентифікації математичної моделі (4) нам необхідно визначити два параметри C_0 та C_1 , впливає, що метод їх визначення повинен базуватись на розв'язанні системи двох рівнянь, в яких вони виступають невідомими. Тож синтез методу параметричної ідентифікації математичної моделі (4) фактично зводиться до побудови цих рівнянь та розробки алгоритму їх розв'язання.

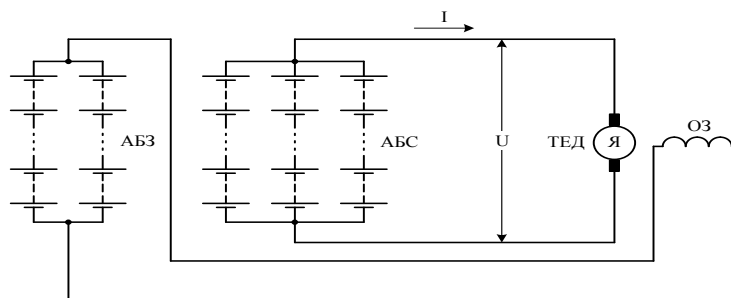


Рис. 1. Електрична схема основного силового контуру тягового електропривода електромобіля

Для зручності подальших викладок відтворимо рис. 1 з роботи [1].

Запишемо другий закон Кірхгофа для силового електричного контуру, зображеного на рис. 1.

Баланс напруг у силовому електричному контурі, зображеному на рис. 1, як відомо з курсу теорії електропривода [2], можна записати у вигляді

$$U_0 = Ir_{\text{АБС}} + Ir_{\text{Я}} + E_{\omega} + L_{\text{Я}} \frac{dI}{dt}, \quad (5)$$

де $r_{\text{Я}}$, $L_{\text{Я}}$ — відповідно, активний опір та індуктивність обмотки якоря тягового електродвигуна, а

$$E_{\omega} = k_{\omega}\omega \quad (6)$$

— електрорушійна сила обертання, яка наводиться в цій обмотці і яка є пропорційною кутовій швидкості обертання ω якоря.

Поділивши рівняння (5) на U_0 та виконавши низку допоміжних перетворень, матимемо його аналог у відносних одиницях

$$1 = \alpha i + \beta i + \gamma \frac{di}{d\tau} + \delta v, \quad (7)$$

де

$$\beta = \frac{r_{\text{Я}} I_{\text{Н}}}{U_0}; \quad \gamma = \frac{I_{\text{Н}} L_{\text{Я}}}{U_0 T_{\text{М}}}; \quad \delta = \frac{k_{\omega} V_{\text{Н}}}{U_0 R}, \quad (8)$$

а інші відносні параметри і змінні уже визначені в роботі [1].

Підставляючи вираз (4) у рівняння (7), отримаємо:

$$\begin{aligned} 1 = (\alpha + \beta) & \left(\frac{C_0 + f_1 + 2f_2 v}{2\alpha(f_1 + 2f_2 v)} - \frac{1}{f_1 + 2f_2 v} e^{(f_1 + 2f_2 v)(\tau - C_1)} \right) - \frac{4\alpha\gamma f_2 C_0 v'}{4\alpha^2 (f_1 + 2f_2 v)^2} + \\ & + \frac{\gamma e^{(f_1 + 2f_2 v)(\tau - C_1)}}{4\alpha^2 (f_1 + 2f_2 v)^2} \left(8\alpha^2 f_2 v' - 4\alpha^2 f_1^2 - 32\alpha^2 f_1 f_2 v - 8\alpha^2 f_1 f_2 v' \tau - 16\alpha^2 f_2^2 v v' \tau - \right. \\ & \left. - 16\alpha^2 f_2^2 v^2 + 8\alpha^2 f_1 f_2 C_1 v' + 16\alpha^2 f_2^2 C_1 v v' \right) + \delta v, \end{aligned} \quad (9)$$

а підставляючи початкові умови

$$\begin{cases} v(0) = 0; \\ v'(0) = v'_0 \end{cases} \quad (10)$$

у рівняння (9), матимемо:

$$1 = (\alpha + \beta) \left(\frac{C_0 + f_1}{2\alpha f_1} - \frac{1}{f_1} e^{-(f_1 C_1)} \right) - \frac{4\alpha\gamma f_2 C_0 v'_0}{4\alpha^2 (f_1)^2} + \frac{\gamma e^{-(f_1 C_1)}}{4\alpha^2 (f_1)^2} \left(8\alpha^2 f_2 v'_0 - 4\alpha^2 f_1^2 + 8\alpha^2 f_1 f_2 C_1 v'_0 \right) \quad (11)$$

або, переносячи усі члени рівняння (11) в один бік,

$$\varphi_1(C_0, C_1) = 0, \quad (12)$$

де символом φ_1 ми позначили різницю між лівою та правою частинами рівняння (11).

Рівняння (11) і буде одним з необхідних нам для побудови методу параметричної ідентифікації рівнянь.

Для побудови другого потрібного нам рівняння підставимо вираз (4) у співвідношення (1). В результаті цієї підстановки і перегрупування членів отримаємо:

$$v' + f_0 + f_1 v + f_2 v^2 = \frac{C_0 + f_1 + 2f_2 v}{2\alpha(f_1 + 2f_2 v)} - \frac{1}{f_1 + 2f_2 v} e^{(f_1 + 2f_2 v)(\tau - C_1)}. \quad (13)$$

А підставляючи в рівняння (13) початкові умови (10), матимемо:

$$v'_0 + f_0 = \frac{C_0 + f_1}{2\alpha f_1} - \frac{1}{f_1} e^{-f_1 C_1} \quad (14)$$

або (переносячи усі члени рівняння (14) в одну сторону)

$$\varphi_2(C_0, C_1) = 0, \quad (15)$$

де символом φ_2 ми позначили різницю між лівою і правою частинами рівняння (14).

Розв'язуючи систему нелінійних рівнянь (12), (15) одним із стандартних методів наближень, які містяться у будь-якій комп'ютерній програмній базі, отримаємо числові значення C_0^* , C_1^* параметрів C_0 , C_1 математичної моделі (4), визначенням яких і завершується алгоритм запропонованого методу параметричної ідентифікації моделі струму якоря приводного електродвигуна, отриманої в результаті розв'язання задачі оптимізації руху електромобіля по горизонтальному прямолінійному відрітку дороги за критерієм мінімуму витрат енергії акумуляторної батареї під час руху за будь-яким законом зміни швидкості руху електромобіля.

На завершення статті варто зробити три зауваження до алгоритму запропонованого методу параметричної ідентифікації. Перше з них полягає в тому, що з рівняння (14) можна легко виразити параметр C_0 через C_1 , тобто переписати це рівняння у вигляді

$$C_0 = \varphi_3(C_1), \quad (16)$$

а потім підставити вираз (16) у рівняння (11) і у такий спосіб перетворити запис цього рівняння з двома невідомими з форми (15) у форму нелінійного рівняння

$$\varphi_1(\varphi_3(C_1), C_1) = 0 \quad (17)$$

з одним невідомим, розв'язати яке відносно C_1 уже зовсім просто.

Друге зауваження стосується способу визначення другої початкової умови в системі (10), тобто стосується величини v'_0 , яку можна визначити з паспортних даних будь-якого автомобіля, у тому числі з електричною тягою, оскільки для кожного з них задається час, протягом якого автомобіль розганяється від нульової швидкості до швидкості 100 кілометрів за годину. А це і є оцінка початкової умови v'_0 . Наприклад, якщо електромобіль розганяється від нульової швидкості до швидкості $V_p = 100$ (км/год.), що еквівалентно 27,7 (м/с), за $T_p = 10$ (с), то в разі, якщо для цього електромобіля $V_H = 120$ (км/год.), що еквівалентно 33,3 (м/с), а механічна стала T_M дорівнює 2 секундам, матимемо:

$$v'_0 = \frac{V_p - V_0}{\frac{T_p}{T_M}} = \frac{27,7 - 0}{\frac{10}{2}} = 0,166. \quad (18)$$

А як третє зауваження вкажемо на те, що під час визначення параметрів C_0 , C_1 початкову умову v'_0 у рівняннях (11), (14) потрібно для режиму збільшення швидкості брати зі знаком плюс, а для режиму зменшення швидкості — зі знаком мінус.

Висновки

1. Запропоновано метод параметричної ідентифікації моделі струму якоря приводного електродвигуна, отриманої в результаті розв'язання задачі оптимізації руху електромобіля по горизонтальному прямолінійному відрізку дороги за критерієм мінімуму витрат енергії акумуляторної батареї під час руху за будь-яким законом зміни швидкості руху електромобіля. В основу методу покладені рівняння динаміки електромобіля та рівняння балансу напруг у силовому контурі якоря тягового електродвигуна.

2. Для практичної реалізації алгоритму запропонованого методу ідентифікації визначені положення, які його спрощують, та необхідні початкові умови.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін О. Б. Оптимізація руху електромобіля по горизонтальному прямолінійному відрізку дороги за критерієм мінімуму витрат енергії акумуляторної батареї / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін, О. Д. Фолюшняк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — № 2. — С. 96—100.
2. Андреев В. П. Основы электропривода / В. П. Андреев, Ю. А. Сабинин. — М.-Л. : Госэнергоиздат, 1963. — 772 с.

Рекомендована кафедрою відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів

Стаття надійшла до редакції 20.04.11

Рекомендована до друку 30.06.11

Мокін Олександр Борисович — завідувач кафедри, **Мокін Борис Іванович** — професор;

Кафедра відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів;

Фолюшняк Олена Дмитрівна — студентка Інституту електроенергетики та електромеханіки.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця