УДК 621.3.018.782.3

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ ВРЕМЕНИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА ПО ЕГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПУСКОВОЙ ДИАГРАММЕ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

♦♦♦♦♦

A COMPUTATIONAL COMPLEX FOR DETERMINING THE TIME CONSTANTS OF A DC ELECTRIC DRIVE BASED ON ITS EXPERIMENTAL ANGULAR VELOCITY START UP DIAGRAM

Нестеров Сергей Владимирович
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный технологический университет
nesterov@kubstu.ru

Плотников Михаил Игоревич
студент,
Кубанский государственный технологический университет
mashkov175009@mail.ru

Аннотация. Описаны возможности вычислительного комплекса, предназначенного для определения электромеханической и электромагнитной постоянных времени электропривода постоянного тока. Их значения рассчитываются по диаграмме угловой скорости, полученной экспериментально при пуске электропривода в ходе ее аппроксимации методом наименьших квадратов. В качестве регрессионных моделей используются уравнения, вид которых определяется соотношением названных постоянных времени, соответствующим динамическим свойствам идентифицируемого электропривода. Решение рассматриваемой задачи реализуется с использованием вычислительных средств системы компьютерной математики Mathcad.

Ключевые слова: электропривод постоянного тока, электромагнитная и электромеханическая постоянные времени, идентификация, диаграмма угловой скорости, метод наименьших квадратов.

Nesterov Sergej Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Thermal Power Engineering
and Thermal Engineering,
Kuban State University of Technology
nesterov@kubstu.ru

Plotnikov Mikhail Igorevich
Student,
Kuban State University of Technology
mashkov175009@mail.ru

Annotation. The capabilities of the computational complex designed to determine the electromechanical and electromagnetic time constants of a DC electric drive are described. Their values are calculated based on the angular velocity diagram obtained experimentally during the start up of the electric drive, during its approximation using the least squares method. Equations are used as regression models; the form of these equations is determined by the ratio of the aforementioned time constants, i.e., by the dynamic properties of the identified electric drive. The solution to the problem under consideration is implemented using the computational tools of the Mathcad computer mathematics system.

Keywords: DC electric drive, electromagnetic and electromechanical time constants, identification, angular velocity diagram, least squares method.

Данный вычислительный комплекс предназначен для определения электромагнитной и электромеханической постоянных времени электропривода (ЭП) с двигателями постоянного тока независимого возбуждения, который при неизменном магнитном потоке двигателя, отсутствии нагрузки и жестких механических связях традиционно описывают дифференциальным уравнением [1]:

$$T_{\text{м}} T_{\text{я}} \frac{d^2\omega(t)}{dt^2} + T_{\text{м}} \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) = \frac{U(t)}{c}, \qquad (1)$$

где $T_{\text{м}}$; $T_{\text{я}}$ – соответственно электромеханическая и электромагнитная постоянные времени ЭП; ω – угловая скорость ЭП; U – напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя; c – коэффициент ЭДС электродвигателя при номинальном значении магнитного потока.

В этом случае ЭП имеет передаточную функцию вида:

$$\frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{1}{c} \cdot \frac{1}{T_{\text{м}} T_{\text{я}} s^2 + T_{\text{м}} s + 1}. \tag{2}$$

Динамические свойства рассматриваемого ЭП зависят от соотношения его электромеханической и электромагнитной постоянных времени и могут быть оценены по корням характеристического уравнения:

$$T_{\text{м}} T_{\text{я}} s^2 + T_{\text{м}} s + 1 = 0. \tag{3}$$

Уравнение (3) может иметь:

– два отрицательных действительных неравных корня при $T_{\text{м}} > 4T_{\text{я}}$;

– два отрицательных действительных равных корня при $T_{\text{м}} = 4T_{\text{я}}$;

– комплексные сопряженные корни при $T_{\text{м}} < 4T_{\text{я}}$ с отрицательной действительной частью (вариант мнимых корней не рассматривается).

В каждом из этих трех случаев передаточная функция ЭП (2) может быть представлена в эквивалентом виде:

$$W_1(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}; \tag{4}$$

$$W_2(s) = \frac{k}{(T_3 s + 1)^2}; \tag{5}$$

$$W_3(s) = \frac{k}{T_4^2 s^2 + 2\xi T_4 s + 1}, \tag{6}$$

где k; ξ – коэффициенты соответственно передачи и затухания ЭП; $T_1 \div T_4$ – постоянные времени ЭП.

Параметры динамических моделей ЭП (4)-(6) связаны с его электромеханической и электромагнитной постоянными времени соотношениями:

$$T_{1,2} = 0{,}5\left[T_{\text{м}} \pm \sqrt{T_{\text{м}}(T_{\text{м}} - 4T_{\text{я}})}\right]; \tag{7}$$

$$T_3 = 0{,}5T_{\text{м}} = 2T_{\text{я}}; \tag{8}$$

$$T_4 = \sqrt{T_{\text{м}} T_{\text{я}}}; \qquad \xi = 0{,}5\sqrt{T_{\text{м}} T_{\text{я}}^{-1}}. \tag{9}$$

При этом экспериментальные разгонные характеристики ЭП могут быть аппроксимированы соответствующими передаточным функциям (4) (6) выражениями [2]:

$$\omega(t) = \frac{U}{c}\left[1 - \frac{1}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{T_{\text{м}}}{T_{\text{м}} - 4T_{\text{я}}}}\right) e^{-\frac{1}{2T_{\text{я}}}\left(1 - \sqrt{\frac{T_{\text{м}} - 4T_{\text{я}}}{T_{\text{м}}}}\right)t} - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{T_{\text{м}}}{T_{\text{м}} - 4T_{\text{я}}}}\right) e^{-\frac{1}{2T_{\text{я}}}\left(1 + \sqrt{\frac{T_{\text{м}} - 4T_{\text{я}}}{T_{\text{м}}}}\right)t}\right]; \tag{10}$$

$$\omega(t) = \frac{U}{c}\left[1 - \left(1 + \frac{1}{2T_{\text{я}}}t\right)e^{-\frac{2}{T_{\text{м}}}t}\right]; \quad (11)$$

$$\omega(t) = \frac{U}{c}\left\{1 - e^{-\frac{1}{2T_{\text{я}}}t} \cdot \left[\sqrt{\frac{T_{\text{м}}}{4T_{\text{я}} - T_{\text{м}}}}\sin\left(\frac{1}{2T_{\text{я}}} \cdot \sqrt{\frac{4T_{\text{я}} - T_{\text{м}}}{T_{\text{м}}}} \cdot t\right) + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \cos\left(\frac{1}{2T_{\text{я}}} \cdot \sqrt{\frac{4T_{\text{я}} - T_{\text{м}}}{T_{\text{м}}}} \cdot t\right)\right]\right\}. \quad (12)$$

Выражения (10)-(12) являются решениями уравнения (1) при $U(0) = U$, $\omega(0) = 0$ и сформулированных ранее условиях в виде передаточных функций (4)-(6), которым в каждом из рассматриваемых случаев должны удовлетворять постоянные времени ЭП $T_{\text{м}}$ и $T_{\text{я}}$.

Зависимости (10)-(12) используются в качестве уравнений регрессии, которыми аппроксимируются экспериментальные диаграммы изменения угловой скорости ЭП во времени $\omega(t)$ при его пуске без нагрузки.

Выбор соответствующего выражения зависит от динамических свойств идентифицируемого ЭП – характера изменения во времени его угловой скорости при пуске без нагрузки. Значения неизвестных коэффициентов аппроксимирующих выражений (10)-(12) – постоянных времени ЭП $T_{\text{м}}$ и $T_{\text{я}}$ рассчитываются методом наименьших квадратов по координатами точек (t_i, ω_i) экспериментальной кривой разгона ЭП $\omega(t)$, что обеспечивает описание ими этой кривой с минимальной среднеквадратичной погрешностью при известных значениях переменных *U* и *c*.

Реализуемая вычислительным комплексом процедура параметрической идентификации ЭП осуществляется средствами системы компьютерной математики Mathcad.

Литература

1. Ключев В.И. Теория электропривода. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
2. Нестеров С.В. Параметрическая идентификация электроприводов технологических установок предприятий пищевой промышленности / С.В. Нестеров, А.В. Нестеров // Пищевые инновации и биотехнологии: Материалы Международной научной конференции. – Кемерово : КемТИПП, 2015. – С. 185–186.

References

1. Klyuchev V.I. Theory of Electric Drive. – M. : Energoatomizdat, 1985. – 560 p.
2. Nesterov S.V. Parametric identification of electric drives of technological installations at food industry enterprises / S.V. Nesterov, A.V. Nesterov // Food Innovations and Biotechnology: Proceedings of the International Scientific Conference. – Kemerovo : KemTIPP, 2015. – P. 185–186.