

УДК 681.518.2

О.В. Шульга, Д.М. Нелюба, В.О. Сокіріна

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК У ЗАМКНЕНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ

Пропонується моделювання структури двигуна постійного струму для досягнення оптимальних характеристик системи автоматичного керування на його основі. Розглянуті математичні вирази дозволяють з великою точністю визначити траєкторію і швидкість руху за заданою програмою. Проведені експериментальні дослідження і отримані характеристики підтверджують теоретичні положення про закони оптимізації замкнених систем автоматичного керування рухом.

**Ключові слова:** модель, двигун постійного струму (ДПС), електропривод, якорь, полюс, складаючий підсилювач, координата, зворотний зв'язок, корекція, регулятор, операційний підсилювач.

### Вступ

Системи управління та навігації вимагають високої точності відпрацювання сигналів керування (СК) та широкого діапазону регулювання. Для забезпечення цих вимог необхідно при розробленні систем управління прогнозувати та визначити параметри та характеристики апаратів, приладів та пристроїв, які входять у систему.

Проблема правильного підбору елементів та складових частин СК, визначення необхідних коефіцієнтів підсилення, передавальних функцій і вихідних характеристик синтезованих СК вирішується за допомогою математичного моделювання [1 – 3].

Пристрої систем управління та навігації приводяться у рух в основному двигунами постійного струму (ДПС), які забезпечують високу точність регулювання швидкості та положення у широкому діапазоні. У статті приведений варіант моделювання структури САУ двигуном постійного струму та методика визначення основних параметрів.

### Викладення основного матеріалу

Моделювання електромеханічних систем управління рухом електроприводів ґрунтується на положеннях теорії автоматичного керування та законах математичного моделювання. Розглянемо принцип моделювання електричних машин, які є об'єктом дослідження у системах управління рухом складних технічних пристроїв. Взятими за основу закони теорії автоматичного керування та теорії електроприводу, були отримані математичні залежності (моделі) моменту двигунів та функції деяких змінних і постійних (конструкційних) параметрів. Для двигунів постійного струму (ДПС)

$$M = C_M \cdot I_{\text{я}} \cdot \Phi, \quad (1)$$

де  $C_M$  – механічна константа:  $C_M = N \cdot p / (2\pi \cdot a)$ ;  $N$  – число стрижнів обмотки якоря;  $p$  – число пар полю-

сів;  $a$  – число пар паралельних гілок між щітками колектора;  $I_{\text{я}}$  – струм якоря;  $\Phi$  – магнітний потік однієї пари полюсів. ЕРС обмотки якоря ДПС.

$$E = C_1 \cdot n \cdot \Phi_1, \quad (2)$$

де  $C_1$  – електрична постійна;  $C_1 = n \cdot P / (60 \cdot a)$ ;  $n$  – число обертів ротора за хвилину.

Згідно із законом механіки

$$J \frac{d\Omega}{dt} = M - M_c, \quad (3)$$

де  $J$  – приведений до вала двигуна момент інерції ротора та всіх рухомих від нього елементів (редуктор, навантаження);  $\Omega$  – кутова швидкість,  $\Omega = \pi \cdot n / 30$ ,  $M_c$  – сумарний момент опору обертання вала двигуна (тертя, навантаження).

Для аналізу динаміки електропривода в системах автоматичного керування швидкістю (сервоприводи) та положення (стежачі системи) використовують найпростішу модель, не беручи до уваги індуктивність якоря та нелінійність залежностей (1)–(3) через реакції якоря й ін.

Згідно з другим законом Кірхгофа, прикладена до якорного ланцюга керуюча напруга

$$U = I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} + E, \quad (4)$$

де  $R_{\text{я}}$  – активний опір обмотки якоря. Знайдемо з (4) струм якоря

$$I_{\text{я}} = (U - E) / R_{\text{я}}. \quad (5)$$

Вираз (5) з урахуванням формули (4) для  $E$  підставимо в (6):

$$M = C_M \cdot \frac{U - E}{R_{\text{я}}} \cdot \Phi = \frac{C_M \cdot \Phi}{R_{\text{я}}} (U - C_1 \cdot n \cdot \Phi). \quad (6)$$

Покажемо  $C_1$  через  $C_M$

$$C_1 = \frac{n \cdot P}{60 \cdot a}; \quad C_M = \frac{N \cdot p}{2\pi \cdot a},$$

тобто  $C_1 = C_M \cdot \pi / 30$ , а  $n$  через  $\Omega$ :

$$n = (30/\pi) \cdot \Omega, \quad (7)$$

тоді  $C_1 \cdot n \cdot \Phi = C_M \cdot \Omega \cdot \Phi$ . Підставимо цей вираз у (6):

$$M = \frac{C_M \cdot \Phi}{R_{я}} (U - C_M \cdot \Omega \cdot \Phi) \quad (8)$$

Позначимо

$$C' = C_M \cdot \Phi \text{ та } \frac{C_M \cdot \Phi}{R_{я}} = \frac{C'_M}{R_{я}} = C. \quad (9)$$

Підставляючи (8) з урахуванням (9) у рівняння (3), отримаємо:

$$J \frac{d\Omega}{dt} = \frac{C'_M \cdot U}{R_{я}} - \frac{C_M^2}{R_{я}} \Omega - M_c, \quad (10)$$

або 
$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_U - C^2 \Omega - M_c. \quad (11)$$

Із (10) одержимо структурну схему ДПС у змінних станах  $U, E, I_{я}, M, M_c, \Omega$ . З (11) – у передавальних функціях  $U \rightarrow \Omega, M_c \rightarrow \Omega$ , а у формі Коші

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{J} \left[ C'_M \frac{U - C'_M \cdot \Omega}{R_{я}} - M_c \right]. \quad (12)$$

Виходячи із проведених досліджень по побудові математичної моделі ДПС можливо легко розрахувати параметри і характеристики структурної схеми. Приклад розрахунку математичної моделі ДПС

Розрахуємо параметри структурної схеми ДПС. Для розрахунку було вибрано двигун типу 2ПН160М виконання IP22 з параметрами:

- Номінальна потужність  $P_n = 75$  кВт.
- Момент на валу двигуна  $M = 787$  Н.
- Номінальна напруга  $U_n = 220$  В.
- Номінальна частота обертання  $n = 1500$  об/хв.
- Приведений момент інерції на валу ротора  $J = 3,7$  кг·м<sup>2</sup>.
- Опір обмотки якоря  $R_{я} = 0,016$  Ом.
- Струм якорної обмотки  $I_{я} = 587$  А.

Кутова швидкість становить:

$$\Omega = \frac{1500 \cdot \pi}{30} = 157,1c^{-2}.$$

Значення механічної константи  $C'_M$ :

$$C'_M = \frac{M}{I_{я}} = \frac{787,4}{587} = 1,34.$$

## Висновки

У результаті використання законів математичного моделювання та положень теорії автоматичного керування та проведення досліджень двигуна постійного струму у замкненій системі управління можливо зробити наступні висновки:

1. Отримані математичні залежності дозволяють проводити аналіз роботи ДПС у замкненій структурі САУ.

2. Визначено, що для аналізу динаміки електропривода в системах автоматичного керування швидкістю та положення використовують модель, не беручи до уваги індуктивність якоря та нелінійність залежностей (1) – (3) через реакції якоря.

3. На основі проведених досліджень побудована структурна схема моделі ДПС.

4. За допомогою кінцевих математичних виразів, отриманих у роботі можливо здійснювати розрахунок параметрів структурної схеми ДПС.

## Список літератури

1. Зимин Е.Н. Автоматическое управление электроприводами / Е.Н. Зимин, В.И. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1979. – 318 с.
2. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи: Навчальний посібник / М.В. Галай. – Полтава: ПНТУ, 2002. – 315 с.
3. Шульга О.В. Автоматизоване керування електроприводами; Навчальний посібник / О.В. Шульга. – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – 298 с.

Надійшла до редколегії 23.01.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК В ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

А.В. Шульга, Д.Н. Нелюба, В.А. Сокирина

*Предлагается моделирование структуры двигателя постоянного тока для достижения оптимальных характеристик системы автоматического управления на его основе. Рассмотренные математические выражения позволяют с большой точностью определять траекторию и скорость движения по заданной программе. Проведенные экспериментальные исследования и полученные характеристики подтверждают теоретические положения о законах оптимизации замкнутых систем автоматического управления движением.*

**Ключевые слова:** модель, двигатель постоянного тока (ДПТ), электропривод, якорь, полюс, складывающий усилитель, координата, обратная связь, коррекция, регулятор, операционный усилитель.

## DC MOTOR AGENCIES MODELING AND INVESTIGATION OF ITS PERFORMANCE IN CLOSED-LOOP CONTROL SYSTEM OF MOBILE VEHICLE

O.V. Shulga, D.N. Neliuba, V.F. Sokirina

*It is proposed to simulate the structure of DC motor to achieve the optimum performance of automatic control system based on it. The considered mathematical expressions allow a high degree of accuracy to determine the path and speed for a given program. The experimental study and the resulting characteristics confirm the optimization laws theoretical position of automatic traffic control closed systems.*

**Keywords:** model, DC motor, electric drive, anchor pole, folding amplifier, coordinate, feedback, correction, regulator, operational amplifier.