

ІНЖЕНЕРІЯ, ЕНЕРГЕТИКА ТА БУДІВНИЦТВО

УДК 62-83

Дослідження електропривода постійного струму з еквівалентними параметрами

О. Ф. Соколовський, к.т.н., доцент,
Житомирський агротехнічний коледж

У роботі розглянуто сучасні методи дослідження електроприводів змінного та постійного струму. На основі даних асинхронного електродвигуна отримано параметри електропривода постійного струму. Використання закономірностей, притаманних електромеханічним перетворювачам змінного і постійного струму, забезпечило можливість проведення досліджень еквівалентних електроприводів.

Ключові слова: *структурна схема системи автоматичного керування, електромеханічний перетворювач, перехідні процеси.*

The article deals with modern research methods of alternating and direct current electric drives. On the basis of asynchronous electric motor data the parameters of a direct current electric drive are received. Using the patterns common to electromechanical converters of alternating and direct current provides the possibility of equivalent electric drives researches.

Key words: *structural scheme of the automatic control system, electromechanical converter, transitional processes.*

Постановка проблеми.

Сучасний етап економічного розвитку суспільства вимагає впровадження систем керування виробничими механізмами, які повинні забезпечувати необхідні технологічні параметри, надійність та енергоефективність. Дослідження за допомогою спеціалізованих прикладних програм дозволить провести попередній аналіз роботи електроприводів під час їх експлуатації в реальних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проектування сучасних систем електропривода пов'язане з низкою вимог, що підпорядковуються особливостям технологічного процесу. Реалізація відповідних задач неможлива без використання структурних схем об'єкта дослідження та проведення комп'ютерного моделювання. Дослідження комп'ютерних моделей дозволяє встановити основні фактори, що визначають властивості об'єкта дослідження, зокрема реакцію системи на зміну її параметрів і початкових умов [1,2]. Під час досліджень важливо провести порівняння еквівалентних систем різного типу для визначення взаємозв'язку їх параметрів та подальшого вибору оптимального варіанту. Для визначення динамічних властивостей таких систем широко застосовується програмне середовище Simulink пакету Matlab [3,4]. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візу-

ального програмування, коли користувач за допомогою бібліотеки стандартних блоків створює на екрані комп'ютера модель пристрою чи системи, а потім здійснює її дослідження. На відміну від класичних способів моделювання, в даному випадку не потрібно досконально знати мови програмування й числові методи математики, а достатньо мати навички роботи на комп'ютері та знання з предметної області досліджень. Програма Simulink є досить самостійним інструментом, але при цьому має можливість доступу до багатьох функцій MATLAB. Наприклад, в Simulink вбудовано LTI-Viewer пакет для розробки систем керування. Є також додаткові бібліотечні блоки для різних областей застосування, зокрема SimPowerSystems для імітаційного моделювання електромеханічних та електротехнічних пристроїв і систем, Nonlinear Control Design Blockset для налаштування параметрів динамічних об'єктів і т. д. Стандартні блоки бібліотек, що входять до пакету Simulink, дозволяють отримати графіки швидкості ротора, електромагнітного моменту двигуна та інших параметрів з урахуванням сигналу завдання на вході системи.

Постановка завдання.

Під час досліджень автоматизованих електроприводів недостатня увага приділена розробці методів, які дозволяють встановити динамічні властивості еквівалентної системи з урахуванням спільних закономірностей, притаманних електромеханічним перетворювачам змінного і постійного струму. Метою роботи є розробка методики визначення еквівалентних параметрів електропривода постійного струму на основі паспортних даних асинхронних двигунів та перевірка можливості моделювання отриманої системи. Об'єктом дослідження є процес керування електромеханічним перетворювачем. Дослідження побудовано на базі математичного моделювання, положень теорії автоматичного керування та закономірностей, притаманних електромеханічним перетворювачам.

Результати досліджень.

Для дослідження перехідних процесів електропривода з асинхронними двигунами традиційно використовують математичну модель системи автоматичного керування на основі структурної схеми [3,4], зображеної на рисунку 1. Структурна схема асинхронного електродвигуна побудована на основі аперіодичної ланки першого порядку.

Електромагнітна інерція враховується через електромагнітну сталу часу, механічна – через момент інерції, приведений до вала двигуна. Частотний перетворювач у даному випадку розглядається як безінерційна ланка з одиничним коефіцієнтом передачі.

Для опису асинхронного двигуна застосовують також двофазову модель в системі координат статора [3,4], зображену на рисунку 2.

Аналогічним чином виконується моделювання перехідних процесів електропривода постійного струму незалежного збудження [3,5].

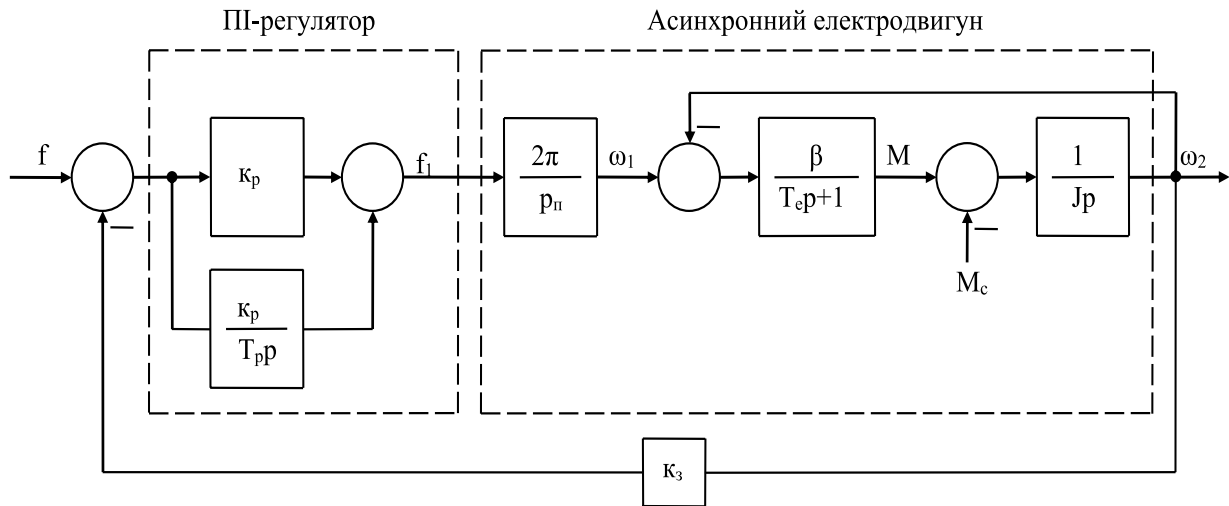


Рис. 1. Структурна схема системи автоматичного керування асинхронним електроприводом

Схема передбачає стабілізацію частоти обертання у разі зміни навантаження на валу двигуна. Нарисунку 1: f – вхідна частота; f_1 – частота струму в обмотці статора; k_p – коефіцієнт передачі регулятора; T_p – стала часу регулятора; p_i – число пар полюсів; T_e – електромагнітна стала часу двигуна; p – оператор Лапласа; β – коефіцієнт жорсткості механічної характеристики; M – електромагнітний момент двигуна; M_c – момент навантаження на валу двигуна; ω_1 – частота обертання магнітного поля статора; ω_2 – швидкість ротора; J – сумарний момент інерції; k_φ – коефіцієнт зворотного зв'язку за частотою обертання.

Параметри структурної схеми визначаються за формулами:

$$\begin{aligned}\alpha &= R_2' / L_2, \\ \sigma &= (L_1 L_2 - L_{12}^2) / L_2, \\ R_1 &= R_1' R_H, \\ R_2' &= R_2'' R_H, \\ R_H &= U_{\phi H} / I_{1H}, \\ X_1 &= X_1' R_H, \\ X_2' &= X_2'' R_H, \\ X_{12} &= X_{12}' R_H,\end{aligned}$$

де R_1' , R_2' , X_1' , X_2' , X_{12}' – параметри обмоток двигуна у відносних одиницях; X_1 , X_2 , X_{12} – індуктивні опори статора, ротора та взаємний індуктивний опір статора і ротора; $U_{\phi H}$ – номінальне значення фазної напруги; I_{1H} – номінальний фазний струм двигуна.

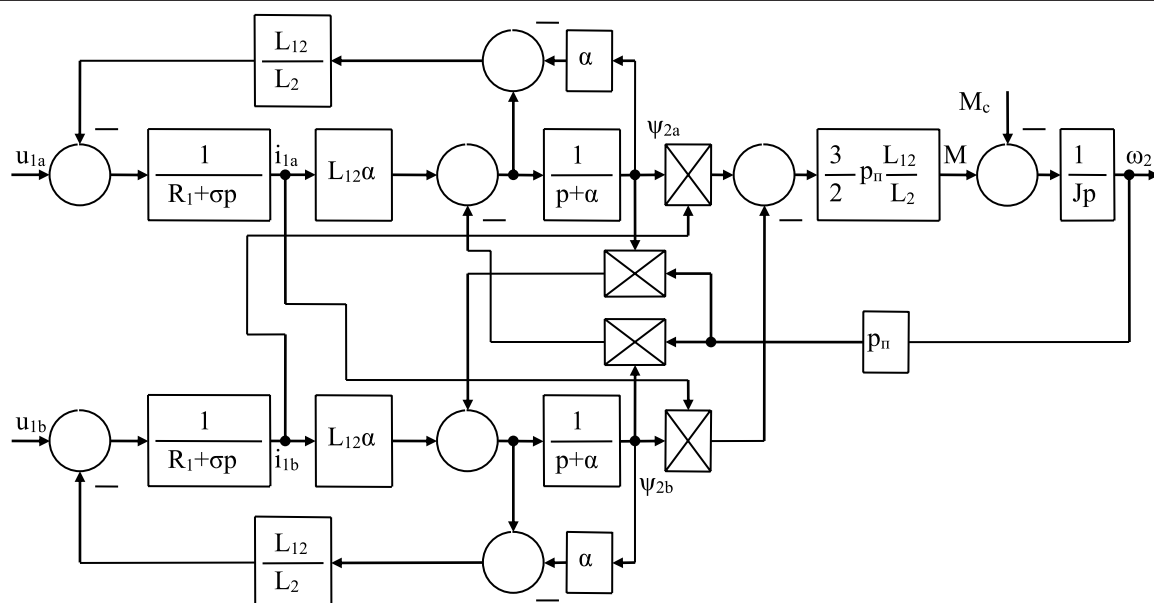


Рис. 2. Двофазова модель асинхронного двигуна

На рисунку 2 позначено: i_{1a} , i_{1b} – проекції вектора струму статора на осі $a-b$ системи координат статора; u_{1a} , u_{1b} – проекції вектора напруги статора на осі $a-b$; ψ_{2a} , ψ_{2b} – проекції вектора потокозчеплення ротора на осі $a-b$; R_1 – активний опір фази обмотки статора; R_2 – активний опір фази ротора, приведений до статора; L_2 – індуктивність ротора, приведена до статора; L_{12} – взаємна індуктивність обмоток статора і ротора; L_1 – індуктивність статора.

Структурну схему двигуна постійного струму представлено на рисунку 3.

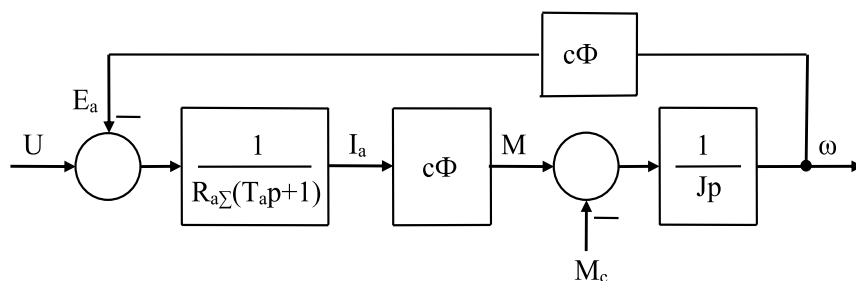


Рис. 3. Структурна схема двигуна постійного струму

Структурну схему побудовано на основі рівняння [3]:

$$U = E_a + I_a R_{a\Sigma} + L_a \frac{dI_a}{dt},$$

де U – напруга джерела живлення; E_a – ЕРС обмотки якоря; I_a – струм обмотки якоря; $R_{a\Sigma}$ – опір кола якоря; L_a – індуктивність обмотки якоря.

У структурній схемі також враховані вирази:

$$E_a = c\Phi\omega; M = c\Phi I_a,$$

де c – конструкційний коефіцієнт; Φ – магнітний потік обмотки збудження; ω – частота обертання якоря.

Як видно з рисунків 1, 3, схеми мають аналогічну структуру, що дозволяє отримати еквівалентні дані електромеханічного перетворювача постійного струму на основі параметрів асинхронного електродвигуна. Для цього припустимо, що номінальні значення напруги джерела живлення та $U_{\text{ном}}$ частоти обертання якоря $\omega_{\text{ном}}$ однакові за абсолютними значеннями з орієнтуванням на синхронну швидкість двигуна змінного струму:

$$U_{\text{ном}} = k_3 \cdot \omega_{\text{ном}} = k_3 \cdot \omega_1.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за частотою обертання:

$$k_3 = 1.$$

Опір кола якоря відповідно до структурної схеми системи автоматичного керування асинхронним електроприводом:

$$R_{a\Sigma} = \frac{1}{\beta}.$$

Добуток $c\Phi$ визначимо із рівняння напруг двигуна для усталеного режиму:

$$c\Phi = \frac{U_{\text{ном}} - I_{a\text{ном}} R_{a\Sigma}}{\omega_{\text{ном}}},$$

де $I_{a\text{ном}}$ – номінальний струм якоря, який приймемо рівним номінальному струму статора асинхронного двигуна.

Стала часу кола якоря:

$$T_a = T_e.$$

Ланку $2\pi/p_n$ замінюємо аналогічним елементом з одиничним коефіцієнтом передачі.

Параметри асинхронного двигуна АИР90L2У3 та двигуна постійного струму з еквівалентними даними наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Параметри електричних двигунів

Дані асинхронного двигуна		Дані двигуна постійного струму	
P _{2ном} , Вт	3000	P _{2ном} , Вт	3000
ω_1 , рад/с	314	$\omega_{\text{ном}}$, рад/с	314
k _m	2,2	U _{ном} , В	314
M _{ном} , Н·м	10,06	M _{ном} , Н·м	9,6
J, кг·м ²	0,0035	J, кг·м ²	0,0035
s _n	0,05	E _a , В	304,95
ω_2 , рад/с	298,3	cΦ, В·с	0,97
skp	0,21	L _a , Гн	0,023
β, Н·м·с	0,68	R _{aΣ} , Ом	1,476
T _e , с	0,015	T _a , с	0,015

Структурна схема системи автоматичного керування електроприводом постійного струму в середовищі Simulink представлена на рисунку 4.

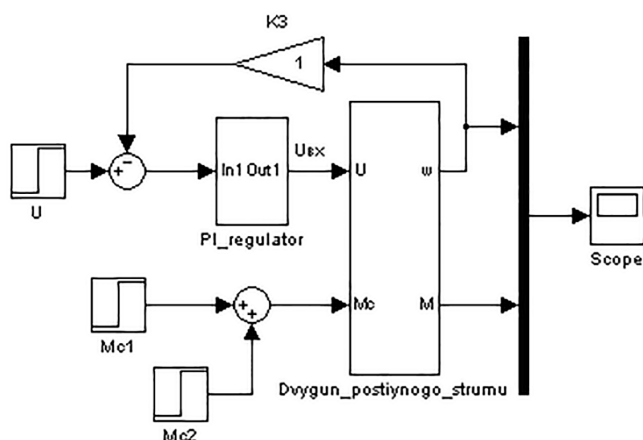


Рис. 4. Структурна схема системи автоматичного керування електроприводом постійного струму

Графіки перехідних процесів електропривода постійного струму зображені на рисунку 5. Під час дослідження враховано, що пуск двигуна здійснюється без моменту опору на валу, навантаження зростає на третій секунді до значення $0,5M_{ном}$, на сьомій секунді збільшується до величини $1,2M_{ном}$. Час пуску не перевищує $0,25$ с, характер перехідного процесу коливальний, максимальний момент під час розгону приблизно в $12,5$ разів перевищує номінальний, перерегулювання за швидкістю складає $4,8\%$. Графіки ідентичні динамічним характеристикам асинхронного електропривода з двигуном *АІР90L2У3* потужністю 3 кВт.

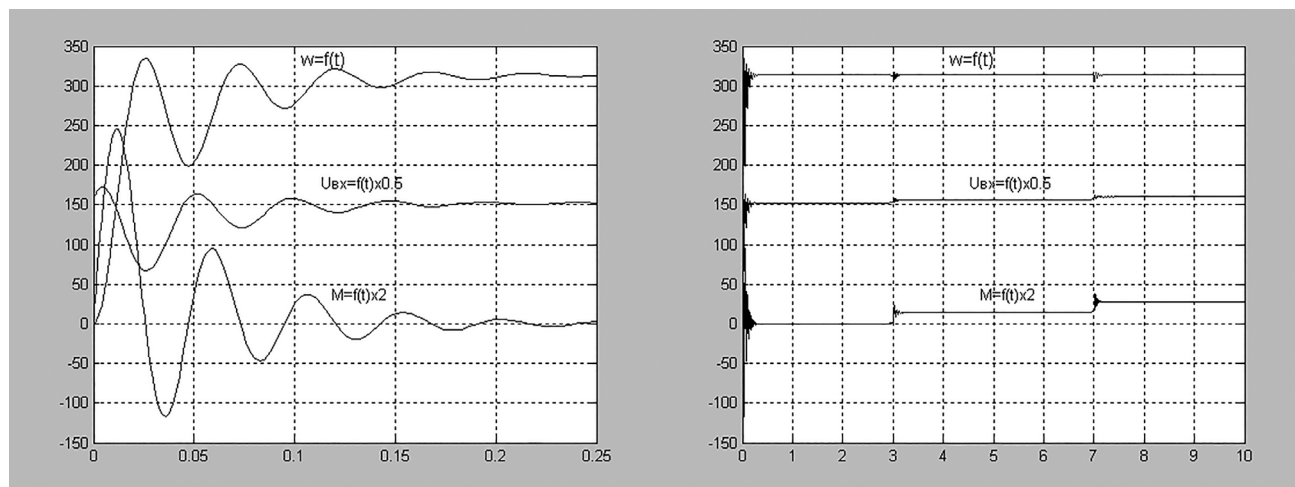


Рис. 5. Графіки перехідних процесів

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Проведені дослідження підтверджують закономірності, притаманні електро-механічним перетворювачам змінного і постійного струму в статичних та динаміч-

них режимах. Застосоване припущення щодо величини вхідної напруги спрощує процедуру ідентифікації еквівалентних даних. На основі отриманих результатів можна проводити дослідження електроприводів постійного струму зі змінним магнітним потоком, що розширює можливості моделювання. У цьому випадку напругу на обмотку якоря подають після вмикання в роботу системи збудження та досягнення магнітним потоком розрахункового значення. Запропонована методика дозволить отримувати універсальні параметри електродвигунів та проводити аналіз їх взаємовпливу в приводах різних типів.

Подальші дослідження рекомендується спрямувати на встановлення спільних закономірностей між електромеханічними перетворювачами постійного струму, які виготовляються серійно, та еквівалентними електродвигунами, отриманими в результаті розглянутих перетворень.

Бібліографія

1. Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І. Електропривод: підручник. Київ: Ліра-К, 2009. – 504 с.
2. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для вузов. Москва: Издательский центр «Академия», 2007. – 576 с.
3. Попович М. Г., Лозинський О. Ю., Клепиков В. Б. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч. посібник. Київ: Либідь, 2005. – 680 с.
4. Островерхов М. Я., Пижов В. М. Моделирование электромеханических систем в Simulink: навч. посібник для студ. вищ. навч. закладів. Київ: ВД «Стилос», 2008. – 528 с.
5. Соколовський О. Ф., Рибачук О. І. Розробка та дослідження електропривода типового технологічного обладнання: навч. посібник. Житомир: ЖВІ НАУ, 2012. – 100 с.