

Математичне моделювання електромеханічних систем з автономним електроживленням

Г.Й. Боднар
кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
grigorijbodnar@gmail.com

Т.В. Гембара
кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
taras.gembara@gmail.com

О.В. Шаповалов
кафедра електротехніки, промислової автоматики та зв'язку
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
o1972@ukr.net

Mathematical modeling of electromechanical systems with independent power supplies

G.J. Bodnar
Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of vital activity safety
Lviv, Ukraine
grigorijbodnar@gmail.com

T.V. Hembara
Department of Electrical Engineering, Industrial Automation and Communications
Lviv State University of vital activity safety
Lviv, Ukraine
taras.gembara@gmail.com

O.V. Shapovalov
Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of vital activity safety
Lviv, Ukraine
o1972@ukr.net

Анотація – Досліджено електропривід водяного насоса підвищувача тиску води системи внутрішнього протипожежного водопроводу, який живиться від резервного джерела з акумуляторними батареями і автономними інверторами напруги. Розроблена математична модель електроприводу та наведені результати моделювання електромагнітних та електромеханічних процесів в двигуні під час пуску і роботи насоса.

Abstract – Researched electric drive of water pump to increase water pressure of internal fire water supply, which is powered by redundant power with batteries and autonomous voltage inverter. The mathematical model of electric drive and presents the results of simulations of electromagnetic and

electromechanical processes in the engine during start-up and operation of the pump.

Ключові слова — автономне електроживлення, електропривід, математична модель, електромагнітні та електромеханічні процеси, акумуляторні батареї, водяний насос.

Keywords — autonomous power supply, electric drive, mathematical model, electromagnetic and electromechanical processes, rechargeable battery, water pump.

I. ВСТУП

Використання автономних джерел електроживлення в системах протипожежного захисту дає змогу підвищити їх

ефективність і надійність та забезпечити високий рівень протипожежного захисту об'єктів.

На рис.1 наведена блок-схема електроприводу насоса [1], де АБ1, АБ2, АБ3 – акумуляторні батареї, блок тиристорів (VS1, VS2, VS3); АІН1, АІН2 - трифазні автономні інвертори напруги; ТТ – трифазні трансформатори; АД – привідний асинхронний двигун; Н – насос; система керування. У схемі здійснюється перетворення напруги постійного струму АБ у трифазну змінну. Коефіцієнт гармонік напруги живлення АД становить 12%. У схемі передбачено ступінчасте керування процесом пуску АД за законом частотного регулювання.

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_2}{f_2} = \frac{U_3}{f_3} = const, \quad (1)$$

де U, f - відповідно напруга і частота живлення АД.

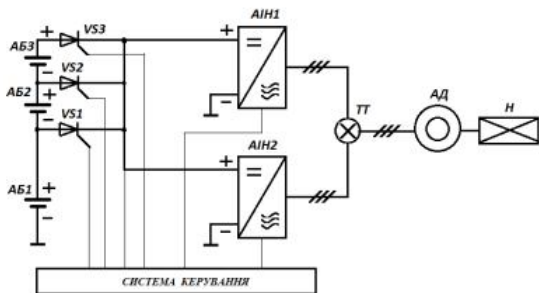


Рис. 1. Блок-схема електроприводу

II. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ

Для даної схеми на основі теорії математичного моделювання електромашинно-вентильних систем [2] розроблено математичну модель, яка дає змогу проводити дослідження електромагнітних і електромеханічних процесів в АД при пуску і роботі насоса. Ця модель формувалась з математичних моделей окремих елементів, серед яких: АБ, VS1, VS2, VS3, АІН1, АІН2, ТТ, АД, Н, система керування. Усі перелічені елементи представлені багатополіусниками, процеси в яких описуються замкненою системою рівнянь (диференціальних, алгебричних, логічних). Кожний елемент представлено зовнішнім векторним рівнянням виду

$$p\vec{i}_e + \vec{G}_e \cdot \vec{\varphi}_e + \vec{C}_e = 0, \quad (2)$$

де $\vec{i}_e = (i_1, \dots, i_n)_t$; $\vec{\varphi}_e = (\varphi_1, \dots, \varphi_n)_t$ - вектори струмів зовнішніх віток та потенціалів зовнішніх полюсів багатополіусника; \vec{G}_e, \vec{C}_e - відповідно матриця $(n \times n)$ і вектор розмірності n , які визначаються параметрами структурного елемента; n - кількість полюсів електричного багатополіусника.

Крім векторного рівняння виду (2) електричний багатополіусник описується ще й внутрішніми рівняннями, які використовуються для розрахунку змінних, що не відносяться до струмів зовнішніх віток.

Спосіб з'єднання між собою зовнішніх віток багатополіусників математично описується матрицями з'єднань \vec{P}_j , які складаються для кожного елемента за таким принципом: кількість рядків матриці рівна кількості незалежних вузлів схеми (точок з'єднання між собою зовнішніх віток багатополіусників, причому, кількість незалежних вузлів для гальванічно-зв'язаної схеми на одиницю менша від загальної кількості вузлів), а кількість стовпців рівна кількості зовнішніх віток елемента. Елементами матриці є 0 і 1. Якщо i -та зовнішня вітка структурного елемента входить в j -ий незалежний вузол схеми то на перетині i -го стовпчика та j -го рядка записується 1, всі інші елементи матриці рівні 0.

Співвідношення між потенціалами зовнішніх полюсів багатополіусників та потенціалами незалежних вузлів схеми описується рівнянням [2]:

$$\vec{\varphi}_e = \vec{P}_j^T \varphi_c, \quad (3)$$

де $\vec{\varphi}_c$ - вектор потенціалів незалежних вузлів схеми.

Потенціали незалежних вузлів схеми можуть бути визначені з векторного рівняння виду:

$$\vec{G}_c \cdot \vec{\varphi}_c + \vec{C}_c = 0, \quad (4)$$

де коефіцієнти визначаються на основі коефіцієнтів зовнішнього вузлового векторного рівняння виду (1) кожного структурного елемента та матриць з'єднань елемента за формулами:

$$\vec{G}_c = \sum_{j=1}^m \vec{P}_j \cdot \vec{G}_{ej} \cdot \vec{P}_j^T; \quad \vec{C}_c = \sum_{j=1}^m \vec{P}_j \cdot \vec{C}_{ej} \quad (5)$$

де m - кількість елементів, що входять до складу ЕМВС.

Рівняння (1), (2), (3), (4) разом з внутрішніми рівняннями електричних багатополіусників формують математичну модель схеми електроприводу.

Під час математичного моделювання на кожному кроці чисельного інтегрування розраховують вектор інтегральних змінних \vec{y} , елементами якого є всі змінні, які описують структурні елементи схеми, і інтегруються, тобто $\vec{y} = \vec{y}(t)$. Похідні інтегральних змінних входять до складу вектора інтегрування $p\vec{y}$, який формується з векторів інтегрування структурних елементів схеми, похідних змінних, що не входять у вектори інтегрування структурних елементів. У вектори інтегрування структурних елементів $p\vec{y}_e$ входять вектор похідних струмів зовнішніх віток $p\vec{i}_e$, який визначається з рівняння (1) та похідні змінних внутрішніх рівнянь багатополіусника.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Програмно математична модель реалізована з використанням мови програмування FORTRAN. Загальні підпрограми є типовими і призначені для виконання математичних операцій над матрицями; чисельного інтегрування систем диференціальних рівнянь методом Рунге-Кутта 2-го порядку; розв'язування систем алгебраїчних рівнянь методом Гаусса; визначення моментів природного закривання вентилів (діодів та тиристорів). Результати моделювання у вигляді часових залежностей наведені на рис. 2. Вони підтверджують теоретичні твердження щодо ступінчастого частотного пуску АД згідно (1) і можливість ефективного використання АБ з АІН у схемах електроживлення АД приводу водяного насоса.

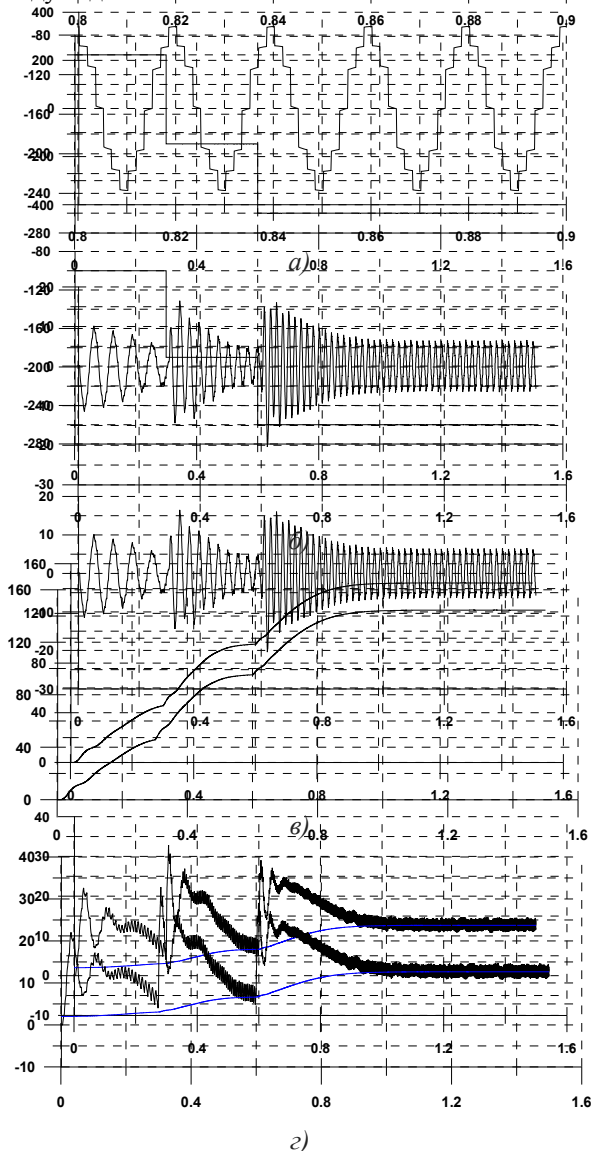


Рис. 2. Часові залежності при ступінчастому частотному пуску АД від автономного джерела з АБ: а) квазисинусоїдальна форма кривої напруги живлення АД; б) струм статора при пуску АД; в) кутова швидкість обертання ротора АД; г) електромагнітний момент і момент навантаження АД.

Перевірка адекватності математичної моделі здійснена на експериментальній установці, виготовленій за схемою, наведеною на рис.1. Результати досліджень форми кривої напруги живлення АД і залежності струму від часу при пуску показані на рис. 3.

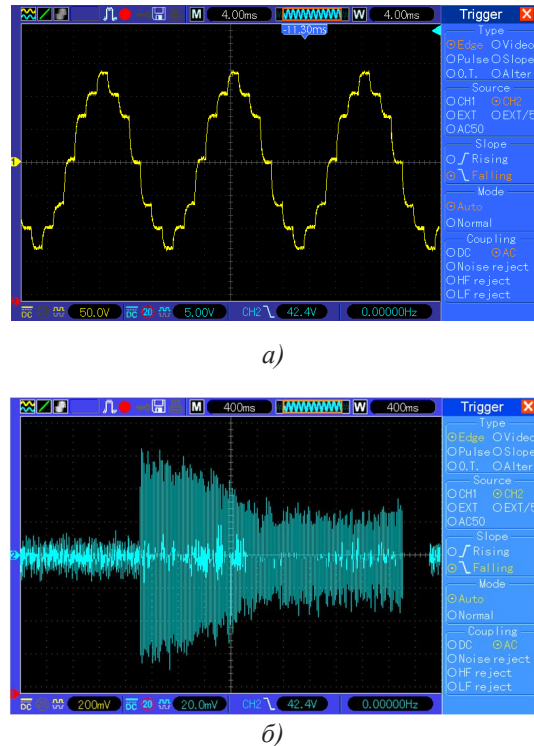


Рис. 3. Результати експериментів: а) квазисинусоїдальна форма кривої напруги живлення АД; б) струм статора АД при пуску

ВИСНОВКИ

Порівнюючи результати досліджень можна стверджувати, що розбіжність між розрахунковими (рис.2) і експериментальними даними (рис.3) не перевищує 6% (форма і характер зміни струму та напруги), що підтверджує достатній рівень адекватності математичної моделі. Тому її можна пропонувати до використання при проектуванні автономних джерел з АБ і АІН для живлення АД приводу насоса.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Пат. 105287 Україна, МПК (2014.01) A62C 37/00, A62C 37/46 (2006.01), F04D 25/06 (2006.01), H02P 25/00 Електропривід насоса підвищувача тиску води / Боднар Г.Й., Шаповалов О.В.; заявник і власник Львівський державний університет безпеки життєдіяльності. – а201211659; заявл. 09.10.2012; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8.
- [2] Плахтына Е.Г. Математическое моделирование электромашинно-вентильных систем / Е.Г. Плахтына. – Львов: Изд-во «Вища школа», 1986. – 164с.