

цифро-аналогову з реалізацією РН дробового порядку шляхом програмування сигнального процесора. Запропонований регулятор напруги дробового порядку забезпечив перехідний процес з перерегулюванням на рівні модульного оптимуму і, відповідно, вищу швидкодію при відпрацюванні збурення майже в чотири рази, порівняно з класичним ПІ-РН. Результати досліджень показали перспективність застосування запропонованого регулятора напруги дробового порядку в САК напруги автономних асинхронних генераторів.

1. Марущак Я.Ю., Копчак Б.Л. Вибір раціонального варіанту системи автоматичного регулювання напруги асинхронного генератора з самозбудженням // *Технічна електродинаміка. Технічний випуск. Проблеми сучасної електротехніки*. Ч. 5. – К., 2002. – С. 22–26. 2. Авсєвич А.В., Авсєвич В.В. Моделирование систем автоматического управления с дробным ПИД-регулятором // *Вестник СГТУ. Серия «Технические науки»*. – 2010. – № 1 (26). – С. 6–12. 3. Патент України 62286 А 7 H02P9/44. Генераторне джерело електроенергії / Ткачук В.І., Копчак Б.Л.; заявлено 25.02.2003. опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12. 4. Марущак Я.Ю. Синтез електромеханічних систем з послідовним та паралельним корегуванням. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2005. – 208 с.

УДК 28.29.63.15

Я.М. Матвійчук

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ІСТ

МАКРОМОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ

© Матвійчук Я.М., 2013

Описано макромодель перехідних процесів трифазного асинхронного двигуна за струмом живлення статора, частотою обертання ротора та навантаженням на валу. Експериментальні перехідні процеси відтворено макромоделлю першого порядку з відносною середньоквадратичною похибкою менше одного процента.

Ключові слова: математична макромодель, асинхронний двигун.

Macromodel of three-phase asynchronous motor transients for current power stator, rotor speed and load on the shaft is described. Experimental transients is reproduced of first order macromodel and relative mean square error less than one percent.

Key words: mathematical macromodel, asynchronous motor.

Давно відомі математичні моделі асинхронного двигуна (АД) різної складності, створені за описом динаміки двигуна алгебро-диференціальними рівняннями електромеханічних процесів. Макромодельний підхід (підхід «чорної скриньки») дає змогу створювати моделі, що значно простіші за традиційні та не поступаються точністю відтворення зовнішніх змінних, оминаючи складні внутрішні процеси у модельованому об'єкті.

Експериментальні перехідні характеристики трифазного двигуна А051-4А, $P_n=4.5$ кВт, напруга живлення 220 В, з'єднання обмоток статора зіркою, $\omega_n=150.8$ рад/с, люб'язно надав професор Львівської політехніки Я.С. Паранчук. За погодженням з проф. Я.С. Паранчуком, асинхронний двигун представлено «чорною скринькою», вхідний сигнал якої – струм навантаження S співвісного з двигуном генератора постійного струму (ГПС), що імітує механічне навантаження двигуна, а вихідні сигнали – це струм живлення однієї з фаз I та напруга співвісного тахогенератора, перерахована в частоту обертання ротора W . Відповідні графіки сигналів показані на рис. 1.

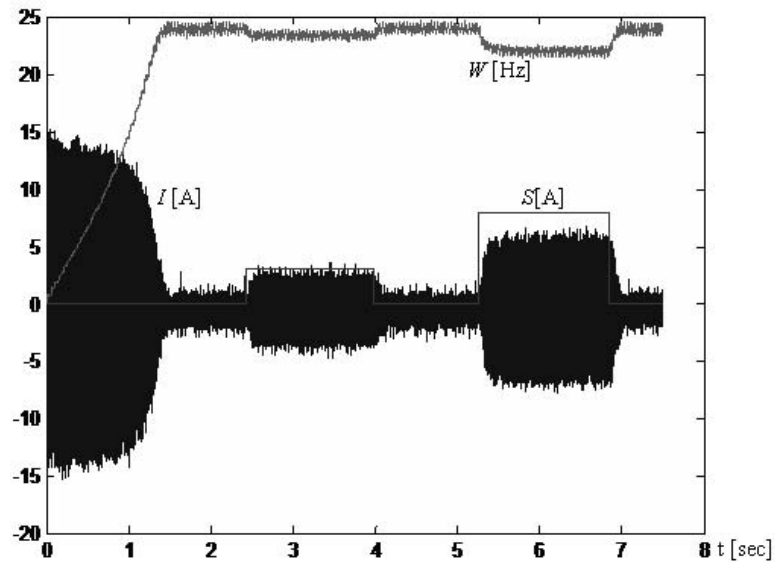


Рис. 1. Графіки перехідних процесів асинхронного двигуна А051-4А.
S – струм навантаження ГПС в амперах; *W* – частота обертання ротора в герцах;
I – струм живлення фази АД в амперах

Початкова частина графіків, від 0 до 1.4 с, відповідає процесу розкрутки двигуна після увімкнення напруги живлення. Далі двічі вмикається і вимикається навантаження, спочатку зі струмом 3 А, а потім – зі струмом 8 А.

Макромодель вирішено будувати відносно діючих значень струму *I_s* і усереднених за період 0.02 с. значень частоти обертання *W_s*. Графіки цих сигналів показані на рис. 2.

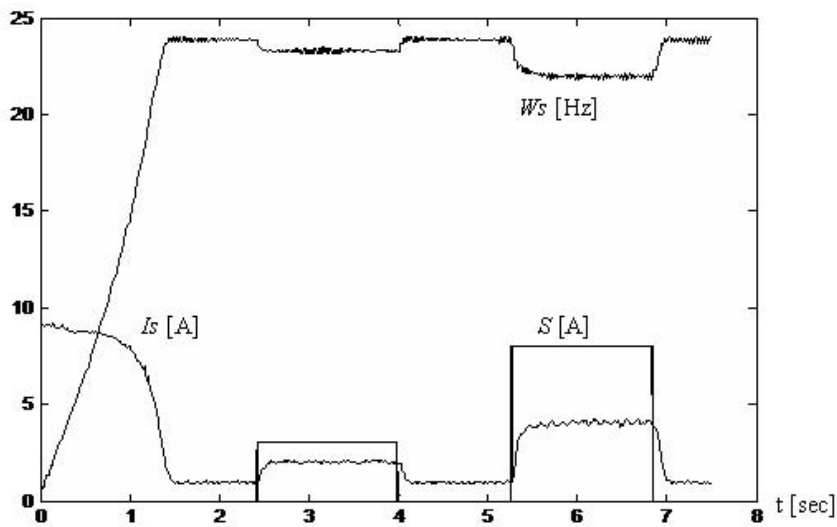


Рис. 2. Графіки діючого струму фази *I_s* і усередненої частоти обертання *W_s*

Графіки рис. 2 свідчать, що зареєстровану динаміку двигуна можна відтворити двома незалежними нелінійними системами першого порядку. Отже, рівняння макромоделі можуть мати вигляд двох диференціальних рівнянь відносно змінних стану *I_s* та *W_s*:

$$\begin{aligned} \frac{dI_s}{dt} = & K_{I1} + K_{I2} * S + K_{I3} * I_s + \\ & + K_{I4} * S^2 + K_{I5} * S * I_s + K_{I6} * I_s^2 + K_{I7} * I_s^3 + K_{I8} * I_s^4 + K_{I9} * I_s^5; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{dW_s}{dt} = & K_{W1} + K_{W2} * S + K_{W3} * W_s + \\ & + K_{W4} * S^2 + K_{W5} * S * W_s + K_{W6} * W_s^2 + K_{W7} * W_s^3 + K_{W8} * W_s^4 + K_{W9} * W_s^5; \end{aligned}$$

де перші три члени правих частин диференціальних рівнянь описують лінійні частини макромоделей, а решта відтворюють нелінійні ефекти.

Ідентифікація макромоделі (1) може бути поставлена традиційно [1], як задача мінімізації середньоквадратичних нев'язок рівнянь (1) в усі моменти часу t_i , де виміряні величини S , Is , Ws , dIs/dt та dWs/dt :

$$\begin{aligned} \min_{K_I} \sum_{i=1}^{357} (dIs(t_i) / dt - \sum_{j=1}^9 K_{Ij} * S(t_i)^m * Is(t_i)^n)^2; \\ \min_{K_W} \sum_{i=1}^{357} (dWs(t_i) / dt - \sum_{j=1}^9 K_{Wj} * S(t_i)^m * Ws(t_i)^n)^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Для розв'язання задач (2), крім $S(t_i)$, $Is(t_i)$, $Ws(t_i)$, треба мати ще й $dIs(t_i)/dt$ та $dWs(t_i)/dt$. Для цього на 357 значеннях $Is(t_i)$, $Ws(t_i)$ збудовані кубічні згладжуючі сплайни [2], аналітичним диференціюванням яких знайдено похідні $dIs(t_i)/dt$ та $dWs(t_i)/dt$. Графіки відповідних сплайнів та їх похідних показані на рис.3.

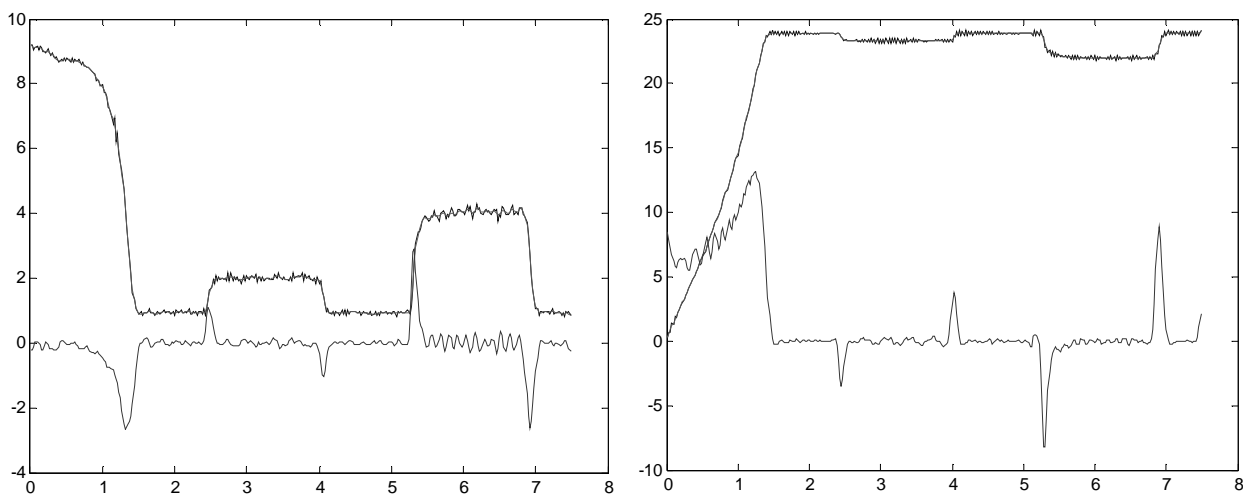


Рис. 3. Графіки $Is(t_i)$, $dIs(t_i)/dt*0.1$, $Ws(t_i)$, $dWs(t_i)/dt*0.5$, $i=1, \dots, 357$

Задачі (2) виявились настільки простими, що для їх успішного розв'язування не потрібна регуляризація [1,3]. Знайдені 18 коефіцієнтів (3) підставлено в диференціальні рівняння макромоделі (1).

$$\begin{aligned} K_I = (2.7481_{10+01} \quad 7.1305_{10+00} \quad -4.0626_{10+01} \quad -9.7633_{10-02} \quad -8.8211_{10-01} \\ 1.3729_{10+01} \quad -2.5201_{10+00} \quad 2.5552_{10-01} \quad -1.0401_{10-02}); \\ K_W = (1.8872_{10+01} \quad 8.7083_{10+00} \quad -6.3408_{10+00} \quad -5.4677_{10-02} \quad -4.9796_{10-01} \\ 1.8320_{10+00} \quad -2.1139_{10-01} \quad 1.0892_{10-02} \quad -2.0280_{10-04}). \end{aligned} \quad (3)$$

Розв'язки рівнянь (1) разом з експериментальними сигналами Is та Ws показано на рис.4. Середньоквадратичні відносні похибки відтворення менші 1 %.

Перевірено адекватну поведінку макромоделі на вхідних сигналах, відмінних від сигналів, для яких будувалась макромоделі. На рис. 5 показані порівняльні графіки розв'язків рівнянь макромоделі (1) при вхідних сигналах, помножених на 0.6, які подавались в такі ж часові інтервали, що й сигнали S 3 А та 8 А, на яких будувалась макромоделі. На цьому ж рисунку показані перехідні процеси макромоделі при вхідних сигналах, помножених на 1.3. Поведінка макромоделі якісно задовільна.

Побудована макромоделі асинхронного двигуна є гранично простою та задовільно відтворює експериментальні перехідні характеристики. Однак для макромоделей з іншими вхідними та вихідними сигналами треба всю процедуру ідентифікації повторювати заново.

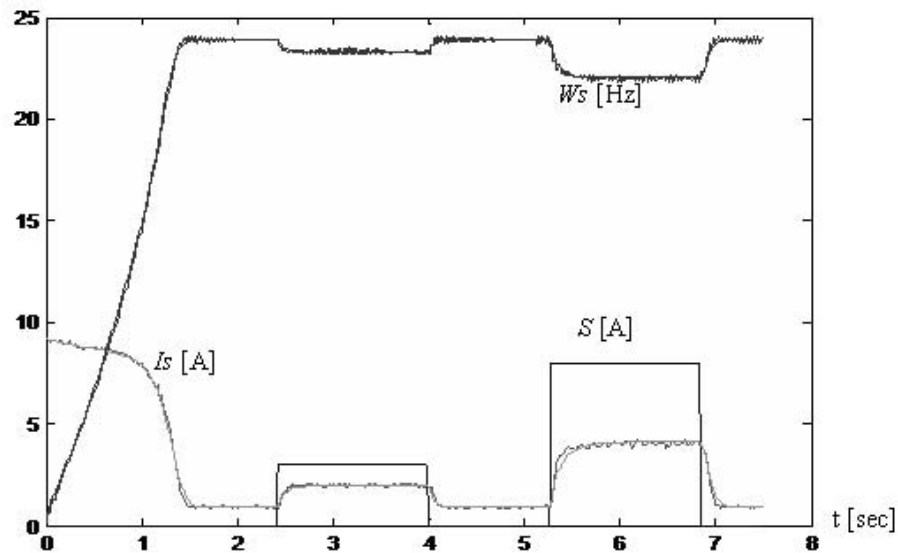


Рис. 4. Порівняльні графіки сигналів асинхронного двигуна і його макромоделі

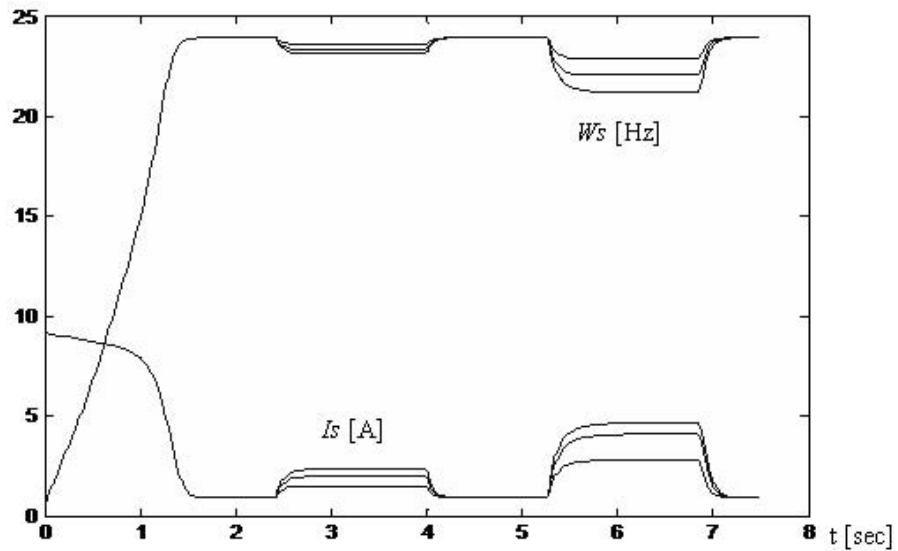


Рис. 5. Перехідні процеси макромоделі при входних сигналах з множниками 0.6 та 1.3, порівняні з перехідними процесами при входних сигналах 3 А та 8 А

Всі обчислення здійснювались в системі МАТЛАБ. Відповідну програму розрахунків можна отримати за адресою автора matv@ua.fm.

1. Матвійчук Я.М.. Математичне моделювання динамічних систем: теорія та практика / Наукове видання. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2000. –215 с. 2. К. де Бор. Практическое руководство по сплайнам / Пер. с англ. – М., 1985. 3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М., 1979.