

## Висновки

Результати дослідження систем генерування електроенергії СГ свідчать, що використання систем збудження з ФК в системах генерування електроенергії СГ з самозбудженням дає змогу підвищити стійкість системи в аварійних режимах роботи, зокрема в режимі трифазного короткого замикання, збільшуючи форсування збудження у разі просідання напруги на виході генератора та перешкоджає випаданню генератора з синхронізму навіть у разі тривалих коротких замиканні на виході СГ. Це визначає переваги використання систем збудження СГ з ФК у системах з самозбудженням порівняно з системами, що не містять контуру компаундування.

1. Куцик А.С. Застосування методу середньокрокових напруг для математичного моделювання електромеханічних систем з синхронною машиною / А.С. Куцик, М.Б. Семенюк // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – №. 671: Електромеханічні та електроенергетичні системи. – 2010. – С. 45–51. 2. Плахтина О.Г. Числовий однокроковий метод аналізу електричних кіл і його застосування в задачах електромеханіки / О.Г. Плахтина // Вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут». – 2008. – № 30. – С. 223–225. 3. Плахтына Е.Г. Математическое моделирование электромашинновентильных систем / Е.Г. Плахтына – Л.: Вища шк., 1986. – 161 с. 4. Системы возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов: ГОСТ 21558-2000 – [Действующий от 2003-07-1]. – Межгосударственный стандарт, 2003. – 24 с. 5. Юрганов А.А. Регулирование синхронных генераторов / А.А. Юрганов, В.А. Кожевников. – СПб.: Наука, 1996. – 138 с.

УДК 621.313.3

В.С. Маляр, І.Р. Гавдьо

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра ЕМА

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ НА ТРИВАЛІСТЬ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В АСИНХРОННОМУ ДВИГУНІ З ЕКРАНОВАНИМИ ПОЛЮСАМИ

О Маляр В.С., Гавдьо І.Р., 2011

**Розглянуто вплив параметрів на тривалість перехідних процесів в асинхронному двигуні з екранованими полюсами у разі вмикання на навантаження вентиляторного типу на підставі використання математичної моделі двигуна, в якій магнітопровід подано розгалуженою заступною схемою.**

**Ключові слова:** асинхронний двигун, екрановий полюс, параметри, перехідні процеси.

**The influence of parameters of shaded-pole induction motor on time of transient processes has been considered. The motor magnetic circuit is presented by the ramified equivalent circuit.**

**Key words:** induction motor, shded-pole, parameters, transient processes.

### Вступ

Асинхронні двигуни з екранованими полюсами (АДЕП) завдяки своїй надійності та простоті конструкції широко застосовують у приводах приладів мікроклімату, особистої гігієни та в системах автоматики, телемеханіки, обчислювальної техніки, для яких основними є вимоги низької собівартості і надійності. Під час проектування двигуна необхідно перевіряти його робочі властивості в усталених та перехідних режимах роботи, а достовірні результати розрахунку, які дають змогу відмовитись від натурних експериментів, можна отримати лише на підставі використання математичних моделей високого рівня адекватності. Складність теоретичного дослідження та розрахунку процесів в АДЕП зумовлена необхідністю врахування несиметрії

обмоток статора і магнітопроводу та реального насичення ділянок магнітної системи, яке змінюється в широких межах залежно від режиму роботи.

Важливими вимогами, що ставляться до АДЕП, які працюють у системах автоматики та багатьох інших електроприводах, є чутливість та швидкодія, які визначаються параметрами двигуна. Тому проектувати їх треба з урахуванням умов роботи в електроприводах, для яких вони призначені. Щоб уникнути багаторазових експериментальних досліджень, необхідно використовувати математичну модель високого рівня адекватності, яка дає змогу виконувати всебічні дослідження АДЕП з метою перевірки їх робочих властивостей з урахуванням системи електроприводу на етапі проектування.

**Суть проблеми.** Швидкодія визначається інтервалом часу від моменту подачі електричного сигналу на обмотку живлення двигуна до досягнення ротором номінальної частоти обертання і залежить від низки чинників [1]:

- а) усталеної частоти обертання ротора  $\omega_{уст.}$ ;
- б) закону зміни під час пуску електромагнітного моменту;
- в) моменту інерції обертових частин  $J$  та моменту навантаження;
- г) швидкості перебігу електромагнітних перехідних процесів.

Основною величиною, яка характеризує швидкодію двигуна під час його розгону, є електромеханічна стала часу  $T_{мех.}$ , яка залежить від перебігу механічних та електромагнітних перехідних процесів. Швидкість перебігу електромагнітних процесів залежить від параметрів обмоток та магнітної системи двигуна і зазвичай є значно більшою від швидкості перебігу механічних процесів, яка зумовлена величиною моменту інерції обертових частин та моменту навантаження [2]. Здебільшого електромагнітною сталою часу нехтують і за сталу часу приймають сталу часу механічних процесів, називаючи її електромеханічною сталою часу  $T_{мех.}$ . На практиці ця величина визначається з рівняння руху ротора при неробочому ході та за допущенням лінійності механічної характеристики за формулою [3]

$$T_{мех.} = J \cdot \omega_0 / M_{пуск.}, \quad (1)$$

де  $\omega_0$  – частота обертання ротора при неробочому ході;  $M_{пуск.}$  – пусковий момент.

Електромеханічна стала часу, визначена за (1), дорівнює часу розгону ротора від  $\omega = 0$  до  $\omega = 0,633 \cdot \omega_0$ . Однак швидкість перебігу електромагнітних процесів в АДЕП є сумірною з швидкістю перебігу механічних процесів. В [4] показано, що під час пуску АДЕП з вентиляторним навантаженням електромагнітні перехідні процеси тривають (0,5 – 0,6) с, а механічні – (0,7 – 0,8) с. Формула (1) отримана, нехтуючи електромагнітною сталою часу, не містить параметрів обмоток, і не може застосовуватися для аналізу впливу параметрів на тривалість перехідних процесів в АДЕП.

### **Аналіз останніх досягнень та публікацій**

Нині для дослідження АДЕП застосовуються методи теорії електромагнітного поля, які дають змогу вивиконати окремі оптимізаційні завдання. В [5] для оптимізації пускового моменту АДЕП за рахунок зміни геометрії стрижня ротора та величини повітряного проміжку використаний метод скінченних елементів. За допомогою рівнянь Максвелла для АДЕП зі складеною конструкцією статора в [6] розраховане поле при різних розмірах “містка” насичення, та проаналізовано вплив геометрії магнітного шунта на пускові властивості АДЕП.

Розрахунок магнітного поля та характеристик АДЕП за допомогою методів теорії електромагнітного поля є доволі трудомістким, а більшість практичних завдань аналізу процесів і характеристик в АДЕП з достатньою для практики точністю доцільно виконувати на основі теорії електричних та магнітних кіл [7–9].

### **Мета статті**

Метою статті є дослідження впливу електричних та геометричних параметрів на тривалість перебігу перехідних процесів в асинхронному двигуні з екранованими полюсами.

### Виклад основного матеріалу

Запропонована в [7] математична модель магнітного стану АДЕП, побудована на основі розгалуженої заступної схеми магнітопроводу, дає змогу з високою точністю враховувати насичення різних ділянок магнітопроводу АДЕП і для заданих миттєвих значень струмів обмоток розрахувати значення магнітних потоків (індукцій) в усіх ділянках магнітного кола, потокозчеплення та диференційні індуктивності обмоток.

Електромеханічний перехідний процес в АДЕП в осях  $d, q$  описується системою диференціальних рівнянь, яка складається з рівнянь електричної рівноваги та рівняння руху ротора

$$\frac{d\dot{\Psi}}{dt} + \Omega \dot{\Psi} + r \dot{i} = \dot{u};$$

$$d\omega_2/dt = (2p^2/J)(\Psi_{\delta d} i_q - \Psi_{\delta q} i_d) - (p/J) M_B(t),$$
(2)

де  $\dot{i} = (i_d, i_q, i_f, i_k)_*$ ;  $\dot{\Psi} = (\Psi_d, \Psi_q, \Psi_f, \Psi_k)_*$  – струми та повні потокозчеплення контурів ротора по осях  $d, q$ , котушки обмотки збудження та короткозамкнутого (КЗ) витка (нижній індекс \* означає операцію транспонування);  $\dot{u} = (0, 0, U_{fm} \sin \omega t, 0)_*$  – вектор прикладених напруг, в якому  $U_{fm}, \omega$  – амплітуда та кутова частота напруги обмотки збудження;

$$\Omega = \begin{bmatrix} & -\omega_2 & & \\ \omega_2 & & & \\ & & & \\ & & & \end{bmatrix}; \quad r = \begin{bmatrix} r_d & & & \\ & r_q & & \\ & & r_f & \\ & & & r_k \end{bmatrix}$$

– квадратні матриці, в яких  $\Omega_2$  – кутова частота обертання ротора, а  $r_d, r_q, r_f, r_k$  – активні опори відповідних електричних контурів;  $\Psi_{\delta d}, \Psi_{\delta q}$  – робочі потокозчеплення контурів ротора по осях  $d, q$ ;  $J$  – момент інерції ротора разом з виконавчим механізмом;  $p$  – кількість пар полюсів;  $M_B(t)$  – момент навантаження на валу.

Під час розрахунку перехідних процесів на кожному кроці інтегрування системи диференціальних рівнянь (2) величини потокозчеплень та диференційні індуктивності обчислюються шляхом розв’язування нелінійної системи скінченних рівнянь, яка описує розгалужену заступну схему магнітопроводу за заданих значень струму, ітераційним методом Ньютона.

На основі розробленої математичної моделі розраховано перехідні процеси пуску АДЕП при вентиляторному навантаженні з різними значеннями його параметрів: активного опору  $R_k$  КЗ витка, кута  $\alpha_k$  екранування КЗ витка, товщини магнітного шунта  $\Delta_{шн}$ , активного опору обмотки ротора  $R_r$ . Як приклад, на рис. 1–4 наведені результати математичних експериментів, в яких змінні параметри АДЕП подані у відносних одиницях стосовно їхніх номінальних значень –  $R_{кн} = 0,251 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$ ;  $\alpha_{кн} = 38,5^\circ$ ;  $\Delta_{шн} = 1,2 \text{ мм}$ ;  $R_{rn} = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$ . Активний опір обмотки ротора змінювався за рахунок відповідного збільшення (зменшення) перетину паза ротора; при цьому змінювалася висота ярма ротора за умови постійної ширини зубця ротора.

Як видно з наведених залежностей, на тривалість перехідного процесу значно впливають активний опір КЗ витка та товщина магнітного шунта, а кут екранування КЗ витка та активний опір обмотки ротора – впливають неістотно.

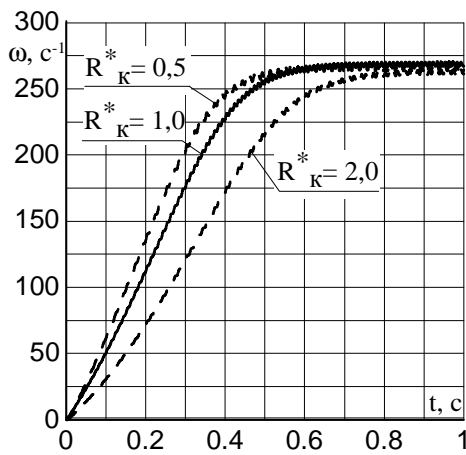


Рис. 1. Вплив активного опору КЗ витка на тривалість перехідного процесу вмикання АДЕП за навантаження вентиляторного типу

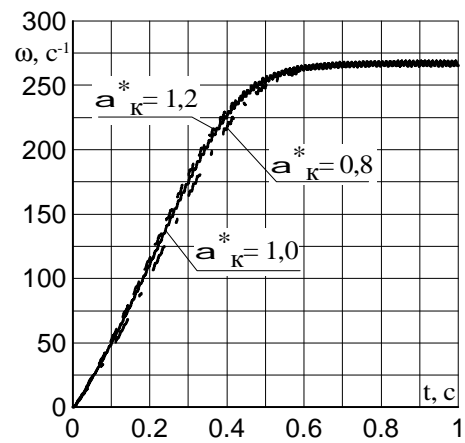


Рис. 2. Вплив кута екранування КЗ витка на тривалість перехідного процесу вмикання АДЕП за навантаження вентиляторного типу

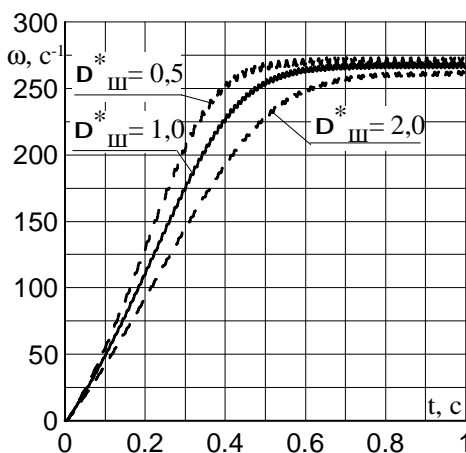


Рис. 3. Вплив товщини магнітного шунта на тривалість перехідного процесу вмикання АДЕП у разі навантаження вентиляторного типу

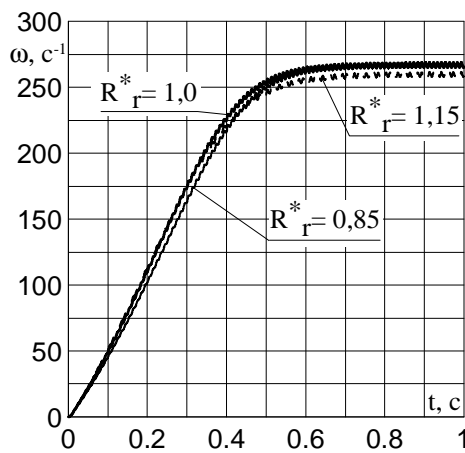


Рис. 4. Вплив активного опору обмотки ротора на тривалість перехідного процесу вмикання АДЕП у разі навантаження вентиляторного типу

### Висновки

Математична модель АДЕП, розроблена на підставі зображення магнітопроводу розгалуженою заступною схемою з високим рівнем деталізації, дає змогу досліджувати вплив параметрів АДЕП на тривалість перехідних процесів у ньому. Проведені дослідження показали значний вплив активного опору КЗ витка та товщини магнітного шунта на тривалість перехідного процесу вмикання АДЕП у разі навантаження вентиляторного типу.

1. Кацман М.М., Юферов Ф.М. *Электрические машины автоматических систем*. – М.: Высш. шк., 1979. – 261 с. 2. Сипайлов Г.А. Кононенко Е.В., Хорьков К.А. *Электрические машины (специальный курс)*. – М.: Высш. шк., 1987. 287 с. 3. Юферов Ф.М. *Электрические машины автоматических устройств*. – М.: Высш. шк., 1976. – 416 с. 4. Гавдьо І.Р., Гладкий В.М., Маляр В.С. Вплив геометрії магнітного шунта на перехідні процеси в асинхронному двигуні з екранованими полюсами // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 2008. – № 615. – С. 29–33. 5. Lhou D., Rajanathan C. B., Sapeluk A. T., Ozveren Q. S. Finite – element – aided design optimization of a shaded – pole induction motor for maximum starting torque // *IEEE Trans. Magn.* – 2000. – 36, № 5, p. 1. – P. 3551–3554. 6. Anuszczyk J., Blaszczyk P. *Obliczenia bocznika magnetycznego silnika indukcyjnego z faza zwarta* // *Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne* № 69. – Katowice, 2004. – S. 41–44. 7. Гавдьо І.Р. *Електромагнітні процеси в асинхронних двигунах з екранованими полюсами: Автореф. дис. ... канд.*

техн. наук: 05.09.01. – Львів, 2005. – 17 с. 8. Маляр В.С., Гавдьо І.Р., Гречин Д.П. Параметрична чутливість асинхронного двигуна з екранованими полюсами // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка. – 2010. – № 671: Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 57–61. 9. Маляр В.С., Глухівський Л.Й., Гречин Д.П., Гавдьо І.Р. Усталені режими і статичні характеристики асинхронних двигунів з екранованими полюсами // Вестник НТУ “ХПИ” “Проблеми автоматизированного электропривода. Теория и практика”. – 2008. – Вып. 30. – С. 449–452.

УДК 62-83-52

А.В. Маляр, А.С. Андреїшин

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра ЕАП

## ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕРСТАТА-ГОЙДАЛКИ

© Маляр А.В., Андреїшин А.С., 2011

**Розглянуто питання використання нейромережі для побудови системи керування електроприводом верстата-гойдалки. Показано, що за допомогою сформованої нейромережі можна розпізнавати динамограму свердловини у разі неповного або зашумленого наборів вхідних даних від датчиків.**

**Ключові слова:** штангова глибино помпова установка, нейронна мережа, система керування електроприводом.

**The issue of using neural networks for building up a control system for the electric drive of the rod oil-pumping unit is considered. It is shown that the formed neural network makes it possible to identify the oil well dynamometer card for incomplete or noisy set of input data from the sensors.**

**Key words:** extraction oil, neural networks, electric control system.

### Вступ

Сучасний підхід до автоматизації процесів нафтовидобутку зумовлює жорсткі вимоги до програмно-апаратних комплексів контролю та управління штанговими глибинними помпами (ШГП). Це спричинено виснаженням ресурсів нафтових пластів, високою вартістю електроенергії, прагненням нафтових компаній знизити витрати на ремонт і експлуатацію свердловин та зменшити кількість обслуговувального персоналу.

### Суть проблеми

Впродовж багатьох років на нафтових родовищах для контролю роботи свердловин використовували технічні засоби, які давали змогу лише періодично вимірювати технологічні параметри операторами за допомогою переносних комплектів обладнання. Підвищення ефективності та надійності роботи устаткування родовища потребує встановлення сучасних мікропроцесорних контролерів, які роблять можливим безперервний автоматичний контроль [1, 6]. Стосовно свердловин, що експлуатуються штанговими глибинними помпами, це означає вимірювання та розрахунок таких технологічних параметрів, як динамограма, динамічний рівень, ватметрограма, тиск на гирлі свердловини, добова продуктивність свердловини тощо. Використання сучасних інтелектуальних контролерів забезпечує виконання таких завдань, як автоматизація роботи верстата-гойдалки, оптимізація режимів роботи обладнання, оперативне виявлення аварійних ситуацій та невідповідності режимів експлуатації обладнання, оперативна передача інформації про стан об'єкта на пульт оператора по системі телемеханіки.