

## СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ НАПРУГИ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

*Розглядаються методи побудови моделей для систем автоматичної стабілізації напруги на основі нечіткої логіки.*

*Рассматриваются методы построения моделей для систем автоматической стабилизации напряжения на основе нечеткой логики.*

### 1. ВСТУП

Застосування нечіткої логіки в управлінні збудженням синхронного генератора (СГ) дозволяє подолати ряд недоліків традиційних регуляторів збудження СГ. Застосування нечітких принципів управління збудженням синхронного генератора дозволяє: розширити область стійкості при паралельній роботі генераторів в режимі недозбудження без перенастроювання параметрів регулятора; підвищити демпфування електромеханічних коливань і зменшити час перехідного процесу в режимі великих обурень.

### 2. ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ СИНТЕЗУ САР НАПРУГИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

При значних змінах режимів роботи енергосистеми, особливо при виникненні аварійних ситуацій, лінійний регулятор не може задовільно функціонувати (без перебудови параметрів) при значних змінах режимів роботи енергосистеми. Одним з шляхів подолання вказаних труднощів є організація в системі ковзаючих режимів із застосуванням нечіткої логіки.

Регулятори збудження з використанням гібридної технології ANFIS мають можливість навчання за всіма можливими схемно-режимними умовами. Вони забезпечують поліпшення показників якості перехідних процесів у всьому різноманітті режимів роботи сучасних енергосистем

У відомих працях по регуляторах збудження СГ наголошується, що застосування нечітких принципів підвищують показники якості перехідних процесів в порівнянні з традиційними лінійними регуляторами.

---

<sup>1</sup> Українська академія друкарства

Аналіз режимів роботи САР напруги автономних синхронних генераторів показує, що такий вид об'єкту управління має наступні особливості:

- різноманіття режимів роботи і перехідних процесів;
- нестационарна і нелінійність об'єкту;
- дія збурення має випадковий характер;
- складність структурної схеми зв'язків елементів системи.

Перехідні режими виникають при великих відхиленнях параметрів режиму і різких змінах потужності, що віддається генераторами, найчастіше викликаються відключеннями потужних навантажень або навантажень трансформаторів, короткими замиканнями і т.д. Такі режими є типовими для роботи друкарських машин.

Проблема забезпечення стабільної роботи СГ в системі залишається актуальною, не дивлячись на створення і використання сильних регуляторів збудження. Для регулювання збудження СГ широко використовуються ПІД-регулятори (пропорційно-інтегрально-диференціальні). Ми знаємо деякі методи управління: ПІД-керування, управління з самонастройкою, ПІД-керування з самонастройкою, узагальнене прогнозує управління. Однією з перших систем управління були ПІ- і ПІД-регулятори. Вони довели свою ефективність в управлінні різноманітними процесами. Використання ПІ- і ПІД-регуляторів не вимагає знання точної моделі процесу, тому вони ефективні в управлінні промисловими процесами, математичні моделі яких достатньо складно визначити. ПІ- і ПІД-регулятори будуються на основі класичної теорії управління і прості для розуміння. Встановлення зв'язків між параметрами і управління діями системи можуть здійснюватися інженерами-практиками і операторами.

Проте, разом з вищезгаданими достоїнствами, ПІ- і ПІД-регулятори мають і недоліки. Так, якщо робоча точка процесу змінюється через збурення, параметри регулятора потрібно перенастроювати вручну, щоб отримати нову оптимальну настройку. Настройка повинна виконуватися досвідченим оператором. Для систем з взаємодіючими контурами ця процедура може бути складною і займати багато часу. Крім того, для процесів із змінними параметрами, часовими затримками, істотними нелінійностями і значними завадами використання ПІ- і ПІД-регуляторів може не забезпечити оптимальних характеристик. Виникає необхідність у використанні додаткових командних пристроїв, параметрів корегуючого ПІД-регулятора, в кожному режимі роботи.

Окрім цього, зміну напруги електричної мережі живлення в умовах невизначеності електричних режимів сучасного електротехнічного і електронного устаткування неможливо представити в математичній формі або достовірно спрогнозувати.

Тому актуальним є завдання синтезу і використання нечітких регуляторів (НР).

### 3. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ І СТРУКТУРА СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ ОБ'ЄКТОМ

Нечітка логіка є багатозначною логікою, що дозволяє визначити проміжні значення для таких загальноприйнятих оцінок, як так/ні, правда/неправда, чорне/біле і тому подібне. Нечітка логіка з'явилася в 1965 р. в роботах Лотфі А. Заде (Lotfi A. Zadeh), професора Каліфорнійського університету в Берклі [3,4].

Термін *fuzzy* (англ. нечіткий, розмитий, в українськомовній літературі «фаззі») став ключовим в сучасній автоматичній регуляції. Регулятори, побудовані на базі цієї концепції, у ряді випадків здатні забезпечити більш високі показники якості перехідних процесів в порівнянні з класичними регуляторами.

У теорії нечітких множин центральну роль грають поняття лінгвістичної змінної і функція приналежності (ФП) і  $\mu_T(x)$ . Значення будь-якої величини представляються не числами, а словами природної мови і є термами. Приналежність кожного точного значення до одного з термів лінгвістичної змінної визначається за допомогою ФП. Стандартні ФП (Z, П, Л, S-функція) легко застосовуються до вирішення більшості завдань. Проте, якщо належить вирішувати специфічну задачу, можна вибрати і більш відповідну форму ФП, при цьому можна досягти кращих результатів роботи системи, ніж при використанні функцій стандартного вигляду.

Перетворення значень вхідних змінних НР в лінгвістичні величини істинності є процедурою фазифікації. У нечіткому регуляторі на основі сформульованих правил типу ЯКЩО-ТО здійснюється формування логічного рішення.

Отримання керуючої дії на виході НР у вигляді нечіткої множини у формі результуючої ФП і процедуру генерування вихідної величини НР називають дефазифікацією.

Зазначимо наступні особливості нечіткого управління:

- правила нечіткого управління, будучи умовними висловами типу ЯКЩО-ТО, є логічними; використання правил здійснюється через механізм логічного виводу, що дозволяє не тільки використовувати для цілей управління повну інформацію на відміну від класичної теорії управління, але і змінювати режими управління залежно від умов, наприклад, часу і значень параметрів;

- правила нечіткого управління дозволяють реалізувати робастне управління, оскільки кожне правило діє в певній області інформаційного простору, використовуюваного при управлінні; для кожної

локальної області інформаційного простору можна створювати окремі правила управління; при цьому необхідність в цільових функціях і у вирішенні завдань оптимального управління відпадає;

- правила нечіткого управління дають можливість організувати управління у формі діалогу з оператором, оскільки правила управління записуються у вигляді виразів ЯКЦО-ТО.

Разом з достоїнствами, для нечітких регуляторів і систем управління на їх основі характерні наступні недоліки:

- вхідний набір нечітких правил формується людиною-експертом і може бути неповним або суперечливим;

- вигляд і параметри функцій приналежності, що описують вхідні і вихідні змінні, вибираються суб'єктивно і можуть не повністю описувати реальний об'єкт і його функціонування.

- відсутність стандартної методики конструювання нечітких систем; неможливість математичного аналізу нечітких систем існуючими методами;

- застосування нечіткого підходу в порівнянні з імовірнісним не приводить до підвищення точності обчислень.

Функціональна схема системи автоматичного управління на базі нечіткої логіки (системи управління з нечітким регулятором або системи фазі-керування) приведена на рис. 1.

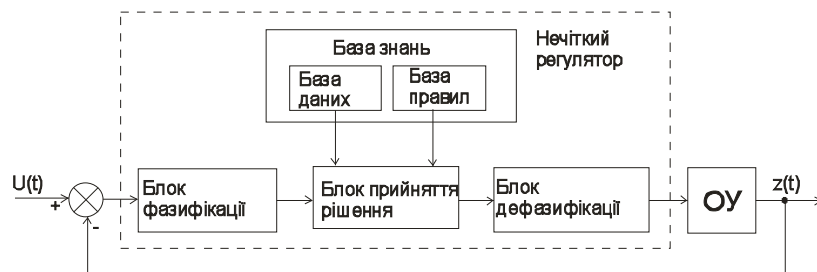


Рис. 1. Функціональна схема системи автоматичного управління на базі нечіткої логіки

Нечіткий регулятор складається з п'яти основних блоків:

- блоку фазифікації, що перетворює чисельні вхідні значення в ступені відповідності лінгвістичним змінним;

- бази правил, що містить набір нечітких правил типу «ЯК-ЩО-ТО»;

- бази даних, в якій визначені функції приналежності нечітких множин, використовуваних в нечітких правилах;

- блоку ухвалення рішення, що здійснює операції виводу на підставі наявних правил;
- блоку дефазифікації, що перетворює результати виводу в чисельні значення.

Часто база правил і база даних об'єднуються в загальний блок бази знань (рис. 1).

Процедура нечіткого виводу включає наступні операції:

- перетворення вхідних сигналів в значення приналежності лінгвістичних змінних (етап фазифікації);
- зіставлення значень приналежності різних вхідних змінних (оператор пив АБО твір) для отримання ваги кожного правила;
- визначення вихідних нечітких значень від кожного правила;
- перетворення значень приналежності вихідних змінних в єдиний чисельний сигнал.

Нечіткий регулятор практично реалізується на мікропроцесорі і працює в дискретному режимі, тому система автоматичного управління з нечітким регулятором містить пристрої сполучення мікропроцесора з об'єктом управління – аналого-цифровий перетворювач (АЦП) і цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП).

НР працює в дискретному режимі, тому на кожному кроці квантування він повинен виконати всі необхідні обчислення. НР обробляє всі вхідні змінні, тому на нього можна подавати додаткові змінні, що характеризують процеси в об'єкті управління, і тим самим забезпечувати ширшу дію на динаміку управління. Система з НР стійка відносно змін параметрів об'єкту управління, що пов'язане з нечіткою природою правил функціонування. НР є нелінійним і його особливістю є відсутність динаміки в НР. Відсутність «пам'яті» і словесний опис процесу управління, який характеризується лінгвістичними правилами, є головними особливостями НР.

У багатьох реальних технічних системах є нелінійні характеристики, складні для моделювання динамічні елементи і інші чинники, що утрудняють реалізацію стратегії управління. Як сучасна, так і класична теорія управління в значній мірі базувалися на ідеї лінеаризації систем.

Для практичного застосування даного підходу необхідна, перш за все, розробка достовірних математичних моделей. Проте математичне моделювання, що реалізується на основі припущення про лінійність системи, може не відображати її дійсних фізичних властивостей. Практично прийнятними можуть бути тільки моделі з низькою чутливістю до параметрів. Забезпечити це для нелінійних систем достатньо складно. Для того, щоб алгоритми управління могли застосовуватися на практиці, вони повинні бути достатньо простими для реалізації і розуміння, повинні володіти здатністю до навчання, гнучкістю та стійкіс-

ттю. Алгоритми, засновані на нечіткій логіці, володіють деякими з вказаних властивостей, завдяки чому вони набули в наш час достатньо широкого поширення.

#### 4. ОЦІНКА НЕДОЛІКІВ ПІД-РЕГУЛЯТОРА НАПРУГИ СГ

Перехідні процеси в автономній регульованій системі описуються системою лінеаризованих диференціальних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} (T_j p^2 + c_1) \Delta \delta + b_1 \Delta E = 0; \\ \left[ T_d \frac{x_{d\Sigma}}{x'_{d\Sigma}} p \frac{\partial E_q}{\partial \delta} - \sum_j W'_{\Pi j}(p) \frac{\partial \Pi_j}{\partial \delta} \right] \Delta \delta + \\ + \left[ T_d p + 1 - \sum_j W'_{\Pi j}(p) \frac{\partial \Pi_j}{\partial E_q} \right] \Delta E_q = 0; \\ T_{d0} \frac{\partial E_q}{\partial \delta} = T_{d0} \frac{\partial x'_{d\Sigma}}{\partial x_{d\Sigma}} = T_d, \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $T_{d0}$  — стала часу обмотки збудження синхронної машини, виражена в секундах;

$E_q$  — вимушена складова е.р.с. синхронної машини, обумовлена автоматичним регулятором збудження (АРЗ);

$W'_{\Pi j}(p)$  — загальна передавальна функція АРЗ, виписана в операторній формі;

$\Pi_j$  — параметр режиму, по якому проводиться регулювання.

Передавальна функція АРЗ:

$$W'_{\Pi j}(p) = \frac{1}{(1 + T_e p)(1 + T_p p)} W_{\Pi j}(p), \quad (2)$$

де  $T_e$  — стала часу збудника, С;

$T_p$  — стала часу регулятора (вимірювального елементу), С;

$W_{\Pi j}(p)$  — передавальна функція АРЗ.

Для АРЗ сильної дії (при нехтуванні сталими часу диференціюючих ланок):

$$W_{\Pi j}(p) = K_{0\Pi j} + K_{1\Pi j} p + K_{2\Pi j} p^2, \quad (3)$$

де  $K_{0Пj}, K_{1Пj}, K_{2Пj}$  – коефіцієнти посилення АРЗ.

Рівняння руху з урахуванням приросту моменту (потужності)  $\Delta P_T$  системи має вигляд:

$$\left(T_j p^2 + \frac{\partial P}{\partial \delta}\right) \Delta \delta = \Delta P_T - \frac{\partial P}{\partial E_q} \Delta E_q. \quad (4)$$

Після нескладних перетворень системи (1-4) отримуємо:

$$\Delta \delta = \frac{1}{T_j p^2 + \frac{\partial P}{\partial \delta}} \left( \Delta P_T - \frac{\partial P}{\partial E_q} \Delta E_q \right) = W_1(p) \left[ \Delta P_T + W_1(p) \Delta E_q \right], \quad (5)$$

де:

$$\Delta E_q = \frac{\Delta E_{qe} + T'_d \frac{x_{d\Sigma}}{x'_{d\Sigma}} \left( -\frac{\partial P}{\partial E_q} \Delta E_q \right) p \Delta \delta}{T'_d p + 1}. \quad (6)$$

Тоді структурна схема з АРЗ має вигляд (рис. 2).

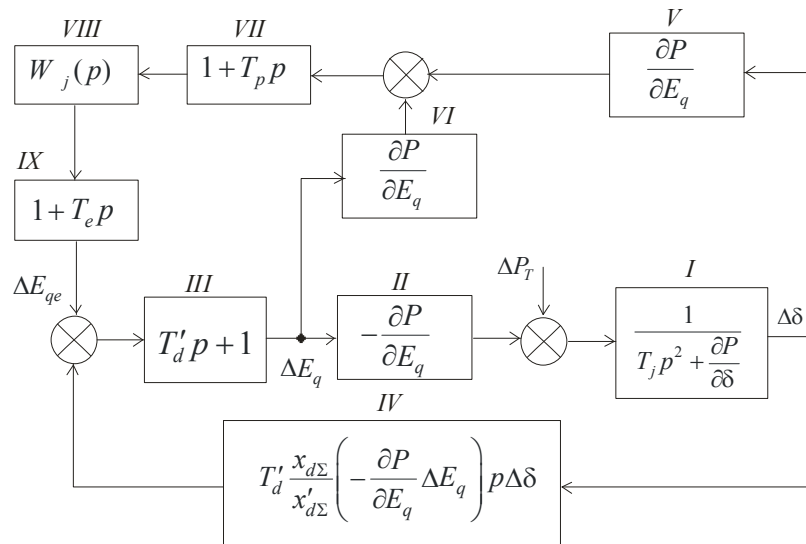


Рис. 2. Структурна схема АРЗ СГ

У структурну схему входять: I – коливна ланка, що відображає рух ротора; II – підсилювальна ланка з від’ємним коефіцієнтом підсилення; III – інерційна ланка (фізично відповідає проходженню сигналу через коло з активним і індуктивним опором обмотки збудження СГ); IV – внутрішній гнучкий від’ємний зворотний зв’язок, що фізично відображає зворотні реакції СГ, який має замкнутий контур на роторі; ланки V і VI формують приріст параметра режиму (напруга, струму та інші):

$$\Delta\Pi = \frac{\partial\Pi}{\partial\delta}\Delta\delta + \frac{\partial\Pi}{\partial E_q}\Delta E_q. \quad (7)$$

Інерційна ланка VII відображає вимірювальний елемент АРЗ; VIII – передавальна функція АРЗ; IX – інерційна ланка (силовий елемент-збуджувач).

## 5. ВИСНОВКИ

Таким чином, створена модель для реалізації системи автоматичної стабілізації напруги збудження автономного синхронного генератора на основі нечіткої логіки.

1. Чаки Ф. Современная теория управления: нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / Ф. Чаки. – М.: Мир, 1975. – 410 с. – (Пер. с англ.). 2. Ройзен С.С. Электрооборудование полиграфических машин / С.С. Ройзен, Э.С. Артыков. – М.: Из-во МГАП "Мир книги", 1994. – 368 с. 3. Круглов В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. Круглов, М. Даш, Р. Годунов. – Физматлит. 2001. – 224 с. 4. Бобко В.Д. О нечеткой динамической коррекции параметров ПИД-регулятора / В.Д. Бобко, Ю.Н. Золотухин, А.А. Нестеров. // Электронный ресурс, режим доступа: <http://www.iae.nsk.su/-trorimov/-seminars>. 5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л.Заде. – М.: Мир, 1976. – 167 с. 6. Гостев В.И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления / В.И. Гостев. – К.: "Радиоаматор", 2003. – 512 с.