

# РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ДВИГУНА НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Марченко А.А., к.т.н., доцент, Марченков Д.А., магістрант  
НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації енергосистем

**Вступ.** Процес виробництва і передачі електроенергії є динамічним і постійно піддається випадковим впливам, тому без автоматичного керування його функціонування неможливо. Такі його особливості, як рівність у кожний момент часу потужності, що генерується, і необхідного навантаження яке випадково змінюється, висока швидкоплинність електромагнітних і електромеханічних перехідних процесів, обумовили розвиток технічних засобів автоматичного керування ще в початковий період становлення електроенергетики [1].

Для успішного застосування на практиці алгоритмів керування вони повинні бути досить простими для реалізації та розуміння. За останніми даними, на 84% японських підприємств все ще використовуються звичайні PID контролери. Крім того, вони повинні мати здатність до навчання, гнучкість, стійкість, нелінійність. Алгоритми, засновані на нечіткій логіці, володіють деякими із зазначених властивостей, завдяки чому вони отримали в даний час досить широке поширення [2].

Для багатьох виробничих процесів складно забезпечити точне управління. Вони зазвичай є багатовимірними, нелінійними і змінюються в часі. Управління на основі нечіткої логіки може успішно застосовуватись для таких складних процесів. Крім того, нечіткі контролери можуть працювати з не повністю визначеними системами тому, що для них (на відміну від традиційних адаптивних контролерів) не вимагається строга математична модель об'єкта управління. Іншою перевагою нечітких контролерів є те, що вони можуть бути легко реалізовані на цифрових або аналогових НВІС (надвелика інтегральна схема).

**Мета роботи.** Метою даної статті є дослідження впливу нечіткого регулювання на підтримання частоти обертання агрегатів на прикладі регулювання швидкості обертання двигуна.

**Матеріали і результати досліджень.** Нечітке управління розробляється за лінгвістичним правилам, що тісно пов'язано з технологією заснованої на знаннях.

Побудова систем інтелектуального управління за цією технологією передбачає виконання таких етапів:

- 1) визначення входів і виходів створюваної системи управління;
- 2) завдання для кожної з вхідних і вихідних змінних функції приналежності;
- 3) розробка бази нечітких правил;
- 4) вибір і реалізація алгоритму нечіткого логічного висновку;
- 5) аналіз процесу управління створеної системи [3].

Загальний логічний вивід здійснюється за схемою, представленою на рис. 1.

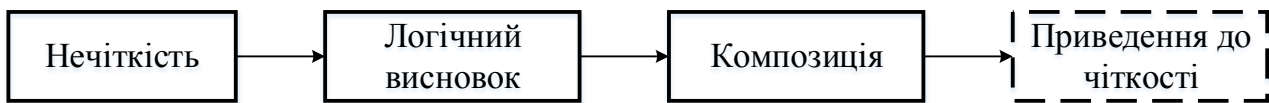


Рисунок 1 – Загальна схема логічного висновку

В даній схемі:

*Нечіткість (введення нечіткості, фазифікація)*

Функції приналежності, визначені на вхідних змінних, застосовуються до їх фактичних значень для визначення ступеня істинності кожної передумови кожного правила.

*Логічний висновок*

Обчислення значення істинності для передумов кожного правила застосовується до виводів кожного правила. Це призводить до однієї нечіткої підмножини, яка буде призначена кожній змінній виводу для кожного правила.

*Композиція*

Нечіткі підмножини, призначені для кожної змінної виводу (у всіх правилах) об'єднуються разом, щоб сформувану одну нечітку підмножину для кожної змінної виводу.

*Приведення до чіткості (дефазифікація)*

Це додатковий етап, який корисно використовувати, коли необхідно перетворити нечіткий набір висновків у чітке число.

Загальний вигляд системи інтелектуального управління об'єктом на основі нечіткої логіки наведено на рис. 2.

Під базою знань прийнято розуміти сукупність знань про предметну область, використовуваних для побудови систем інтелектуального управління об'єктами. Використовуваний в різного роду експертних системах механізм нечітких висновків має у своїй основі базу знань, що формується фахівцями предметної області у вигляді сукупності нечітких предикатних правил [4].

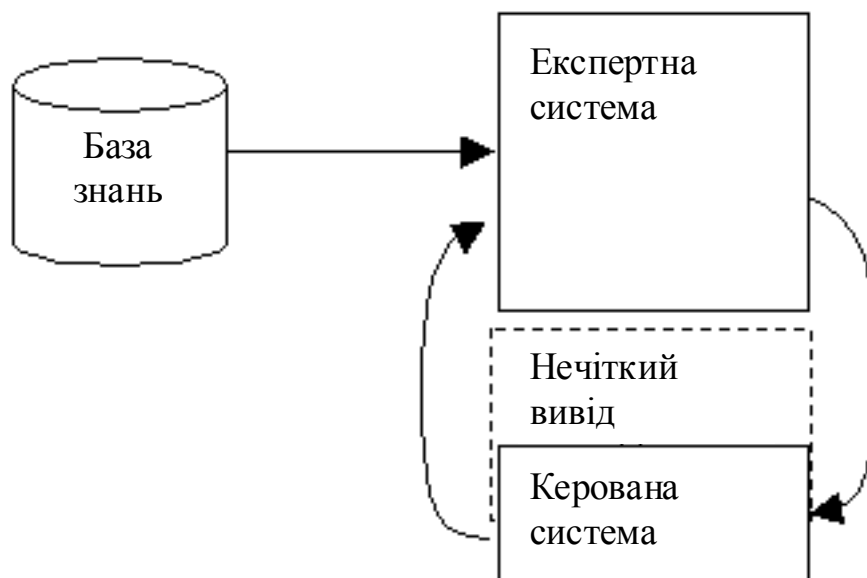


Рисунок 2 – Загальна схема керування об’єктом на основі нечіткої логіки

Існує декілька алгоритмів нечіткого висновку. Розглянемо самий використовуваний з них: алгоритм Мамдані.

### Алгоритм Мамдані

Припустимо, що базу знань утворюють два нечітких правила:

П1: якщо  $x \in A1$  і  $y \in B1$ , то  $z \in C1$ ,

П2: якщо  $x \in A2$  і  $y \in B2$ , то  $z \in C2$ ,

де  $x$  і  $y$  - імена вхідних змінних,  $z$  - ім'я змінної виводу,  $A1, A2, B1, B2, C1, C2$  - деякі задані функції приналежності, при цьому точне знання  $z_0$  необхідно визначити на підставі наведеної інформації та чітких знань  $x_0, y_0$ .



Рисунок 3 – Діаграма процесу нечіткого виводу

### Формування бази правил

База правил - це безліч правил, де кожному підзаключенню зіставлений певний ваговий коефіцієнт.

### Фазифікація вхідних змінних

Цей етап часто називають приведенням до нечіткості. На вхід надходять сформована база правил і масив вхідних даних  $A = \{a_1, \dots, a_m\}$ . У цьому масиві містяться значення всіх вхідних змінних. Метою цього етапу є отримання значень істинності для всіх підумови з бази правил.

## Агрегування підумов

Умова правила може бути складною, тобто включати підумови, пов'язані між собою за допомогою логічної операції «AND». Метою цього етапу є визначення ступеня істинності умов для кожного правила системи нечіткого виводу. Простіше кажучи, для кожної умови знаходимо мінімальне значення істинності всіх його підумови.

### *Активізація підзаключень*

На цьому етапі відбувається перехід від умов до підзаключень. Для кожного підзаключення знаходиться ступінь істинності.

### *Акумуляції заключень*

Метою цього етапу є отримання нечіткої множини (або їх об'єднання) для кожної з вихідних змінних.

Наприклад, у якості параметрів системи нечіткої логіки можна використовувати множину  $T = \{\text{«слабке»}, \text{«середнє»}, \text{«сильне»}\}$  рис. 4. Тоді, система буде визначати необхідність регулювання при виникненні збурення в системі.

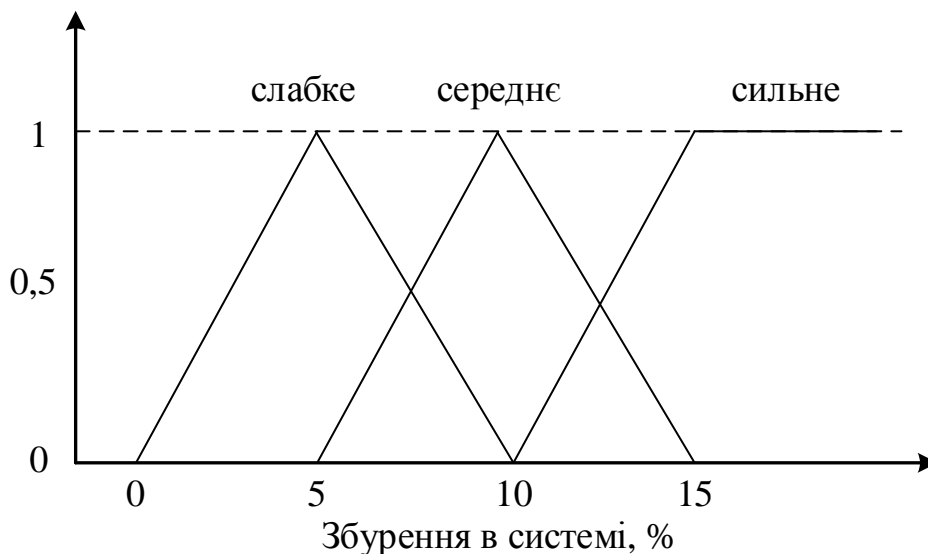


Рисунок 4 – Функція приналежності системи нечіткого висновку

Як видно з рис. 4, при виникненні збурення більше 15% збурення точно вважається сильним і систему регулювання необхідно задіяти на повну потужність.

Для аналізу режиму роботи алгоритму будемо використовувати систему, зображену на рис. 5, побудовану в середовищі Simulink.

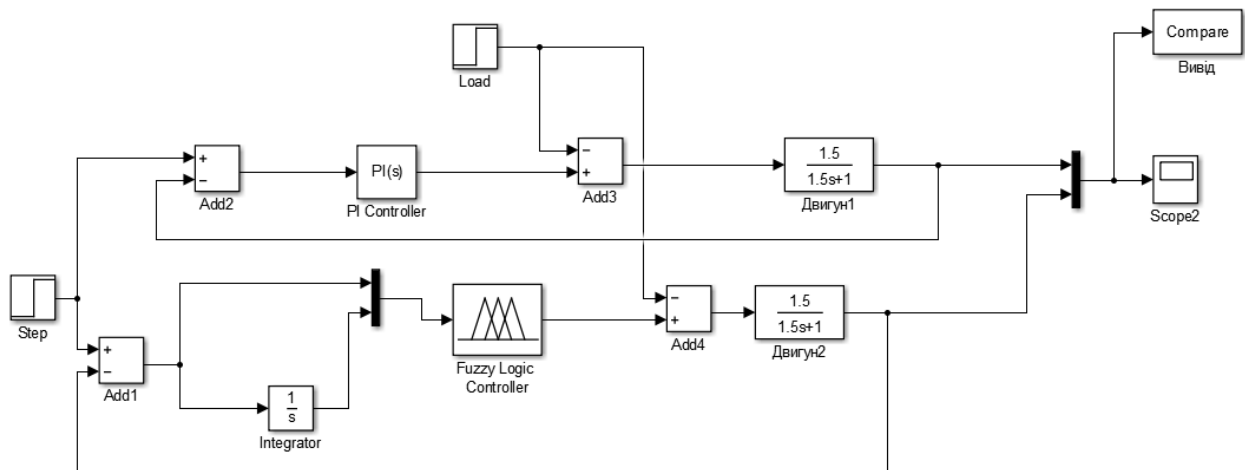


Рисунок 5 – Структурна схема об’єкту регулювання швидкістю обертання двигуна

Лінгвістичні правила для нечіткого логічного висновку:

1. Якщо  $x_1 = N$  и  $x_2 = N$ , то  $Out = NM$ .
2. Якщо  $x_1 = N$  и  $x_2 = Z$ , то  $Out = PS$ .
3. Якщо  $x_1 = N$  и  $x_2 = P$ , то  $Out = NS$ .
4. Якщо  $x_1 = Z$  и  $x_2 = N$ , то  $Out = NM$ .
5. Якщо  $x_1 = Z$  и  $x_2 = Z$ , то  $Out = NF$ .
6. Якщо  $x_1 = Z$  и  $x_2 = P$ , то  $Out = ZE$ .
7. Якщо  $x_1 = P$  и  $x_2 = N$ , то  $Out = ZE$ .
8. Якщо  $x_1 = P$  и  $x_2 = Z$ , то  $Out = PM$ .
9. Якщо  $x_1 = P$  и  $x_2 = P$ , то  $Out = PF$ .

де  $x_1$  та  $x_2$  – пропорційний та інтегральний входи нечіткого регулятора відповідно;

$N, Z, P$  – відповідно від’ємна, нульова та додатна зміна вхідних величин;

$NF, NM, NS, ZE, PS, PM, PF$  – відповідно від’ємна швидка, середня, слабка, нульова та додатні слабка, середня, швидка зміна вихідної величини.

Графік перехідного процесу в даній системі зображений на рис. 6. На даному рисунку зображений перехідний процес, який починається на 1 секунді, потім на 5 секунді в системі виникає збурення.

На рис. 6:

- Синя лінія відповідає перехідному процесу з використанням ПІ регулятора
- Зелена лінія – перехідний процес з використанням регулятора на основі нечіткої логіки

Як видно з отриманих результатів, при обробці збурення по каналу нечіткий регулятор має значно кращі показники швидкодії у порівнянні зі звичайним ПІ регулятором.

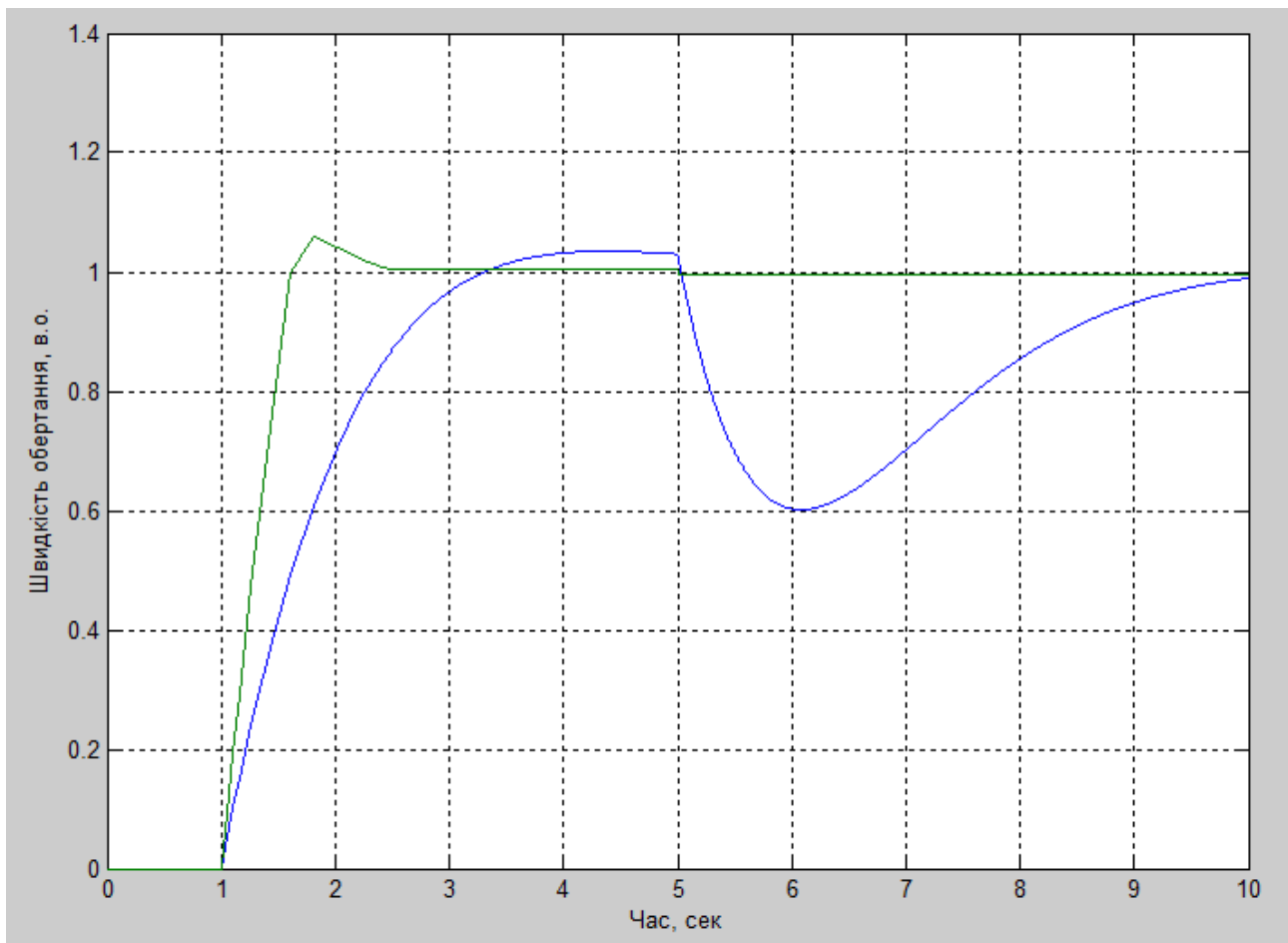


Рисунок 6 – Зміна швидкості обертання двигуна

**Висновки.** Алгоритм примітний тим, що він працює за принципом «чорного ящика». На вхід надходять кількісні значення, на виході вони ж. На проміжних етапах використовується апарат нечіткої логіки і теорія нечітких множин. У цьому і полягає елегантність використання нечітких систем. Можна маніпулювати звичними числовими даними, але при цьому використовувати гнучкі можливості, які надають системи нечіткого виводу. Нечітка логіка на основі нечітких правил отримала визнання в системах управління і прогнозування. І кількість успішних застосувань даних алгоритмів в теперішній час обчислюється тисячами.

#### Перелік посилань

1. Яндутьський О. С. Автоматичне регулювання в електричних системах: Підручник / О. С. Яндутьський, І. П. Заболотний, В. П. Кобазев. – Д: Вид-во «Ноулідж» (донецьке відділення), 2010. – 189 с. – ISBN: 978-617-579-084-7.
2. Р.А. Алиев. Управление производством при нечёткой исходной информации/ Р.А. Алиев.– М.: Энергоатомиздат, 1991, 64 с.
3. Круглов В.В. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. / Круглов В.В.– М.: Физматлит, 2002.
4. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. / Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л.– М.: Горячая линия - Телеком, 2006, 452 с.