

ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

Харківський національний університет радіоелектроніки

каф. ЕОМ

Система керування технологічним процесом з використанням елементів
нечіткої логіки

Ст. Групи КІУКІ-21-2
Сидоров Д.О.

Керівник
ас. Романюк О.С.

2025

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

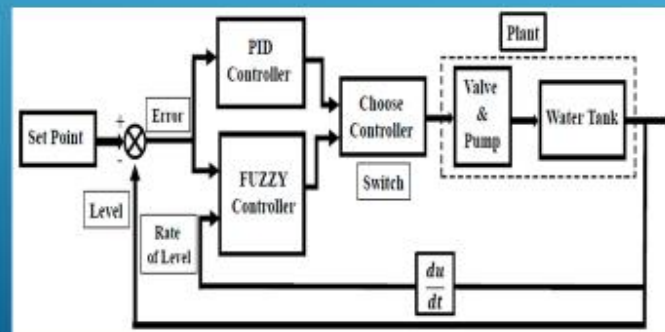
- ▶ **Мета кваліфікаційної роботи** розробити систему керування технологічним процесом з використанням елементів нечіткої логіки

Задачі:

- ▶ Розглянути систему керування та можливість використання елементів нечіткої логіки
- ▶ Розробити модель обраної системи в середовищі Matlab
- ▶ Провести тестування побудованої моделі та проаналізувати отримані результати

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

- ▶ Станція контролю рівня призначена для систем керування в процесах, що використовуються для практичного навчання вимірюванню та керуванню різними промисловими операціями. Вона складається з наступних основних компонентів, як показано на рисунку



3

ПРОЄКТУВАННЯ КОНТРОЛЕРА НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Нечіткі діапазони першої вхідної змінної нечіткого контролера

Мовне вираження	Діапазон похибки рівня рідини
(NN) Високонегативний	[-1 -1 -0,8 -0,4]
(N) Негативний	[-0,8 -0,4 0]
(S) Малий	[-0,2 0 0,2]
(P) Позитивний	[0 0,4 0,8]
(NP) Високопозитивний	[0,4 0,8 1 1]

Нечіткі діапазони другої вхідної змінної нечіткого контролера

Мовне вираження	Діапазон коефіцієнта помилок
(N) Негативний	[-0,1 -0,1 -0,08 0]
(S) Малий	[-0,08 0 0,08]
(P) Позитивний	[0 0,08 0,1 0,1]

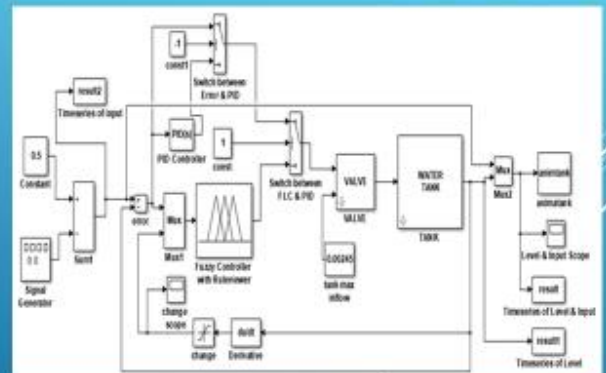
Нечіткі діапазони вихідної змінної нечіткого контролера

Мовне вираження	Діапазон вихідних змінних
(CF) Крупний план	[-1 -1 -0,84 -0,36]
(CL) Закрити-мінімум	[-0,84 -0,36 0]
(Північна Кароліна) Без змін	[-0,3653 -0,005291 0,3547]
(OL) Відкрити-Низький	[0 0,36 0,84]
(OF) Відкритий-Швидкий	[0,12 0,84 1 1]

4

КОНСТРУКЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ В MATLAB

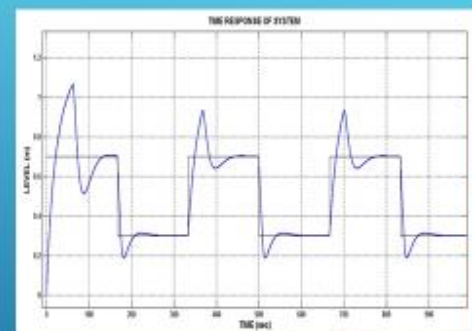
- ▶ Для представлення нечіткого логічного контролера в середовищі Simulink було використано блок «Нечіткий контролер з переглядачем правил». Цей блок має два входи: перший – це похибка рівня рідини (error), а другий – швидкість зміни рівня рідини (rate of level). Він має один вихід, яким є відкриття регулюючого клапана, і служить входом для регулюючого клапана.
- ▶ Для інтеграції системи, розробленої за допомогою інструменту «Редактор FIS», з блоком «Нечіткий контролер з переглядачем правил», розроблена система зберігається та експортується в робочу область, потім відкривається та викликається у вікні властивостей блоку.
- ▶ На рисунку показано остаточну побудову розробленої моделі після встановлення параметрів ПІД-регулятора, отриманих за допомогою методу налаштування Циглера-Ніколса.



5

КРИВА ВІДГУКУ СИСТЕМИ ДЛЯ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА (FLC) ТА ПІД-КОНТРОЛЕРА, ПРОТЕСТОВАНИХ ЗА ОДНАКОВИХ УМОВ

- ▶ Модель, була ретельно протестована з використанням як нечіткого логічного контролера (FLC), так і ПІД-контролера для оцінки продуктивності за ідентичних умов.
- ▶ Параметри ПІД-контролера були визначені за допомогою методу налаштування Циглера-Ніколса, зі значеннями, встановленими на рівні $K_p=0.48$, $K_i=0.021$ та $K_d=4.408$.
- ▶ Під час тестування використовувалися два опорні рівні, перший на рівні 0,7 та другий на рівні 0,3, що чергувалися з постійною частотою 0,003 Гц, відповідно до технічних характеристик досліджуваної системи. Ці характеристики детально описані в таблиці

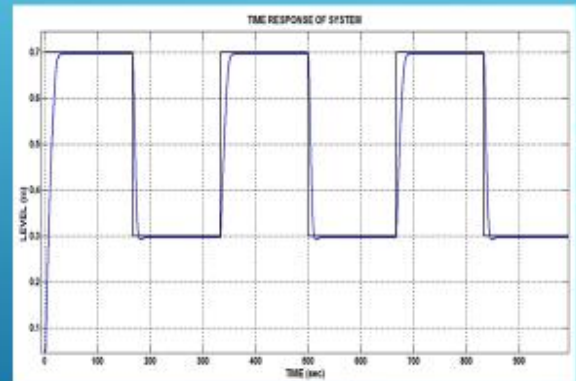


Висота резервуара (H)	Максимальна витрата насоса	Площа основи резервуара (A)	Площа зливного отвору (a)
0,92 м	0,00245 м³/с	0,0324 м²	0,0005 м²

6

КРИВА РЕАКЦІЇ СИСТЕМИ, ЩО ПОКАЗУЄ ПРОДУКТИВНІСТЬ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА

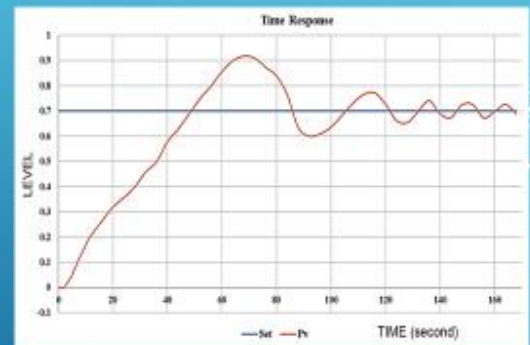
- ▶ На рисунку зображено криву відгуку системи під керуванням ПІД-регулятора, що підкреслює її роботу під час переходів між опорними рівнями. Частоту 0,003Гц було обрано, щоб забезпечити достатньо часу для реагування системи на зміни та стабілізації керуваної дії протягом кожного циклу випробувань.
- ▶ Результати показали, що ПІД-регулятор забезпечував адекватне керування, але демонстрував помітні обмеження, особливо під час швидких коливань або при роботі з нелінійною динамікою.
- ▶ На ці характеристики продуктивності впливає метод налаштування Циглера-Ніколса, який, хоча й широко використовується, не завжди може давати оптимальні параметри для високодинамічних систем. Спостережувані перевищення та недовиснення відображають притаманні ПІД-регулюванню проблеми для таких застосувань.



7

ВІДПОВІДЬ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛОКАЛЬНОГО КОНТРОЛЕРА ПЛАТФОРМИ

- ▶ Контролер нечіткої логіки був протестований за допомогою набору інструментів MATLAB Fuzzy Logic Toolkit з використанням інструменту перегляду правил для аналізу поведінки системи в режимі реального часу.
- ▶ На рисунку зображено реакцію контролера нечіткої логіки під час тестування, демонструючи значення похибки, коефіцієнт зміни похибки та відкриття клапана за двох критичних умов: початковий стан та стаціонарний стан, коли було досягнуто опорного значення. Контролер нечіткої логіки продемонстрував чудову адаптивність до змін у системі, динамічно регулюючи дії керування на основі показників продуктивності, а не фіксованих заданих значень.
- ▶ Ми запустили систему з опорним рівнем 0,7 м, що відповідає значенню, використаному в тестуванні програмного забезпечення. Контролювали реакцію системи за допомогою як локального контролера, так і розробленої експериментальної моделі з тими ж константами, що й у тестах програмного забезпечення.
- ▶ Також змінювали відкриття впускного клапана, щоб спостерігати, як реалізована модель реагує на зміни рівня, одночасно контролюючи струмі рівня, передавача та струмі вихідного модуля.



8

ВИХІДНІ ПАРАМЕТРИ КОНТРОЛЕРА ЛОКАЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ ТА РОЗРОБЛЕНОГО МОДЕЛЬНОГО КОНТРОЛЕРА

Результати, отримані в результаті порівняльного тестування нечіткого логічного контролера (FLC) та ПД-контролера, підкреслюють значний прогрес у продуктивності систем керування, підкреслюючи перевагу FLC для досліджуваного процесу регулювання рівня рідини.

Використання методу Циглера-Ніколса для налаштування ПД-контролера забезпечило стандартизовану основу для порівняння, забезпечивши достовірність спостережуваних відмінностей у реакції системи.

Ця методологія, широко визнана в техніці керування, була застосована для визначення параметрів ПД ($K_p=0,48$, $K_i=0,021$ та $K_d=4,408$), що використовуються в цьому дослідженні, забезпечуючи справедливу та структуровану оцінку обох стратегій керування.

Стан	Розроблена модель		Foxboro	
	% відкриття клапана	Рівень у басейні, %	% відкриття клапана	Рівень у басейні, %
При досягненні бажаного значення (0,7 м)	76,25%	83,75%	76,25%	83,75%
При досягненні нового бажаного значення (0,5 м)	57,6%	71,25%	57,6%	71,25%
Коли відкривається зливний клапан	20,62%	100%	20,62%	100%
При досягненні бажаного значення після відкриття зливного клапана	56,87%	84,37%	56,87%	84,37%

9

ВИСНОВКИ

- ▶ В рамках кваліфікаційної роботи було розроблено систему керування технологічним процесом з використанням елементів нечіткої логіки

Також були вирішені наступні задачі:

- ▶ Розглянуто систему керування та можливість використання елементів нечіткої логіки
- ▶ Розроблено модель обраної системи в середовищі Matlab
- ▶ Проведено тестування побудованої моделі та проаналізовано отримані результати

10