

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни

**«СПЕЦІАЛЬНІ ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ»**

для аспірантів спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
усіх форм навчання

2024

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни
«Спеціальні задачі моделювання складних електромеханічних систем»
для аспірантів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка усіх форм навчання. / Укл.: О.С. Назарова -
Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 50 с.

Укладач: О.С. Назарова, к.т.н., доцент

Рецензент: Д.С. Яримбаш, д.т.н., професор

Відповідальний за випуск: О.С. Назарова, к.т.н., доцент

Затверджено
на засіданні кафедри
Електропривода і автоматизації
промислових установок
протокол № 07 від 27.03. 2024 р.

Рекомендовано
до видання НМК ЕТФ
протокол № 09 від 23.05.2024 р.

ЗМІСТ

Передмова	4
1 Лабораторна робота №1 Дослідження двомасової електромеханічної системи з різними видами нелінійних елементів	5
2 Лабораторна робота №2 Дослідження замкненої системи автоматичного керування об'єктом з елементом чистого запізнювання	10
3 Лабораторна робота №3 Розробка та дослідження мехатронної системи на базі плати Micro:bit.....	13
4 Лабораторна робота №4 Дослідження електропневматичної мехатронної системи у середовищі моделювання FluidSIM.....	17
5 Лабораторна робота №5 Розробка та дослідження системи прийняття рішення на базі нечіткої логіки.....	29
6 Індивідуальне завдання.....	39
Перелік посилань.....	40
Додаток А Перелік умовних позначень в електропневматичних схемах	44
Додаток Б Зразок оформлення титульної сторінки	50

ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки містять опис п'яти лабораторних робіт та одного індивідуального завдання з дисципліни «Спеціальні задачі моделювання складних електромеханічних систем» у відповідності до навчальних планів аспірантів.

Лабораторні роботи сприяють розширенню та закріпленню теоретичних знань і практичних знань та навичок, розвивають навички ведення самостійної творчої роботи та професійні якості.

У додатку подано перелік умовних позначень елементів в електропневматичних схемах, що використовуються в лабораторних роботах.

Для аспірантів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка усіх форм навчання.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Дослідження двомасової електромеханічної системи з різними видами нелінійних елементів

Мета: навчитись розробляти та досліджувати двомасові електромеханічні системи з різними видами нелінійних елементів засобами Matlab/Simulink.

Короткі теоретичні відомості.

Електромеханічна система сучасних промислових машин та агрегатів (прокатні стани, безперервно-технологічні агрегати текстильної і хімічної промисловості, конвеєри, скіпи, ліфти та багато інших механізмів) характеризується досить складною структурою механічної та електричної частин. Механічна частина являє собою багатомасову механічну систему з жорсткими та пружними передачами.

В реальний електромеханічних системах уявлення про жорсткий зв'язок вала двигуна з механізмом є припущення, яке в ряді випадків виявляється недоцільним. Практично любий зв'язок двигуна з виконавчим органом не є абсолютно жорсткою, і можливість припущення явищем пружності часто пов'язане з тим, що особиста частота пружних коливань системи двигун – виконавчий механізм (Д – ВМ) виявляється значно більшою частот, істотних для автоматичної системи керування електроприводом. Тому підвищення швидкодії автоматичної системи, обумовлене використанням перетворювачів на базі сучасних напівпровідникових елементів та високоякісних мікропроцесорних систем регулювання, часто не удається реалізувати із-за впливу пружності.

На рисунку 1.1 позначено $E_{\text{п}}$, $R_{\text{п}}$, $L_{\text{п}}$ – ЕРС, внутрішній опір та індуктивність перетворювача, який живить якорь двигуна (B , Ом, Гн); $U_{\text{п}}$, $U_{\text{дв}}$ – напруга живлення перетворювача і двигуна (B); $E_{\text{дв}}$, $R_{\text{дв}}$, $L_{\text{дв}}$ – ЕРС, активний опір та індуктивність якорного кола двигуна (B , Ом, Гн); $I_{\text{е}}$ – струм якорного кола (A); $U_{\text{з}}$, $I_{\text{з}}$, $R_{\text{з}}$, $L_{\text{з}}$ – напруга, струм, активний опір та індуктивність кола збудження двигуна (B , A , Ом, Гн); J_1 , J_2 – приведені моменти інерції першої (двигун) й другої (механізм) мас ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$); ω_1 , ω_2 – відповідно швидкості обох мас (с^{-1}); $M_{\text{дв}}$ – електромагнітний момент двигуна ($\text{Н}\cdot\text{м}$); $M_{\text{с}}$ – статичний момент

опору з боку виконавчого механізму (Н·м); C_{12} – коефіцієнт жорсткості (Н·м/рад); $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ – кутова деформація пружного зв'язку, або різниця кутових переміщень першої і другої маси, відповідно φ_1, φ_2 (рад).

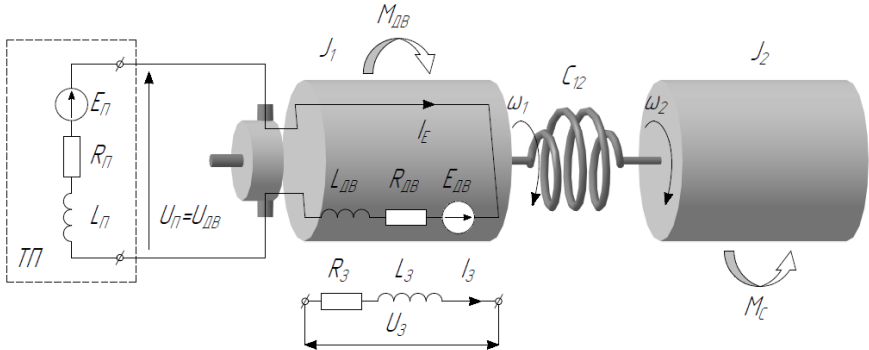


Рисунок 1.1 – Двомасова модель електропривода з двигуном постійного струму незалежного збудження.

При математичному описі електромеханічної системи складемо диференційні рівняння для окремих вузлів схеми.

Рівняння якірного кола ДПС НЗ

$$E_{П} = E_{ДВ} + I_E R_E + L_E \frac{dI_E}{dt}; \quad (1.1)$$

або

$$E_{П} - E_{ДВ} = I_E R_E (T_E p + 1); \quad (1.2)$$

Зробимо припущення, будемо вважати, що в ДПС НЗ магнітний потік незмінний і дорівнює номінальному, тому ЕРС знайдемо за формулою

$$E_{ДВ} = C_E \cdot \omega_1, \quad (1.3)$$

де C_E – конструктивний коефіцієнт двигуна, В·с.

Розрахунки електромагнітного моменту двигуна ведемо за формулою

$$M_{ДВ} = C_M \cdot I_E, \quad (1.4)$$

де C_M – механічна стала двигуна, Н·м/А.

Таблиця 1.1 - Основні параметри двомасової електромеханічної системи

Величина	Формула	Значення
1. Номінальний струм якоря, A	$I_n = \frac{P_n}{U_n \cdot \eta_n}$	
2. Номінальна швидкість: $\omega_{ном}$, рад/с	$\omega_n = \pi \frac{n_n}{30}$	
3. Номінальний момент: $M_{ном}$, Н·м	$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}$	
4. Еквівалентний опір якірного кола: R_E , Ом (умовно прийmemo $R_{\Pi} = R_J$)	$R_E = (R_J + R_{ДОД}) + R_{\Pi}$	
5. Еквівалентна індуктивність якірного кола: L_E , Гн (умовно прийmemo $L_{\Pi} = L_J$)	$L_E = L_{\Pi} + L_J$	
6. Конструктивний коефіцієнт двигуна: C_e , В·с	$C_e = \frac{U_n - I_n \cdot R_J}{\omega_n}$	
7. Механічна постійна: C_m , Н·м/А	$C_m = \frac{M_n}{I_n}$	
8. Еквівалентна електромагнітна стала часу якірного кола: T_E , с	$T_E = L_E / R_E$	
9. Приведений момент інерції першої маси: J_1 , кг·м ²	$J_1 = J_{ДВ}$	
10. Приведений момент інерції другої маси: J_2 , кг·м ²	$J_2 = 1.5 J_{ДВ}$	

Завдання.

1. Розрахувати основні параметри двомасової електромеханічної системи.

2. Розробити комп'ютерну модель двомасової електромеханічної системи у середовищі Matlab / Simulink.

3. Провести експерименти при різних значеннях коефіцієнта пружності C_{12} (більше та менше заданого, зробити висновок про те, які зміни спостерігаються).

4. Провести експерименти при збільшенні і зменшенні моменту інерції другої маси J_2 (зробити висновки);

5. У блоці нелінійного елемента, вибраного здобувачем освіти, задати 5 різних значень параметра цього елемента, при кожному значенні проаналізувати показники якості системи (на вибір - перерегулювання, амплітуду, час регулювання, коливальність тощо).

Після цього побудувати графік залежності діапазону варіювання параметру нелінійного елемента від показника якості (за вибором здобувача освіти). Зробити висновок.

Зміст звіту з лабораторної роботи.

Звіт з лабораторної роботи повинен містити титульний лист, тему, мету лабораторної роботи, початкові дані згідно свого варіанту. розрахунки основних параметрів двомасової електромеханічної системи (табл. 1.1), комп'ютерну модель, результати моделювання, графіки отриманих залежностей та висновки.

Контрольні запитання.

1. Порівняти властивості одномасової та двомасової ЕМС.

2. Навести приклади двомасових ЕМС, пояснити свій вибір.

3. Навести приклади нелінійних елементів, пояснити чому вони вважаються нелінійними.

4. Навести математичний опис та графічно пояснити принцип дії нелінійного елемента (на вибір викладача).

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Дослідження системи автоматичного керування ДПС НЗ з використанням елементів чистого запізнювання

Мета: дослідити вплив елементів чистого запізнювання на показники якості системи автоматичного керування двигуном постійного струму незалежного збудження.

Короткі теоретичні відомості.

Елементи чистого запізнювання - динамічні ланки, у яких вихідний сигнал у точності відтворює вхідний, але затримує його появу на деякий час τ . Прикладом може послужити конвеєрна установка (рис.2.1).

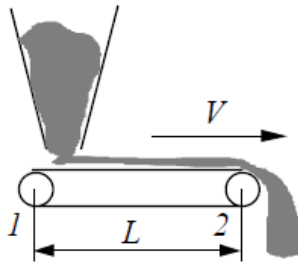


Рисунок 2.1 - Конвеєрна установка

При транспортуванні порода, що зсипається в точку 1, через час

$$\tau = \frac{L}{V} \quad (2.1)$$

переміщається в точку 2.

Передатна функція такої ланки:

$$W(p) = e^{-p\tau}. \quad (2.2)$$

Рівняння ланки в часовій області:

$$g(t) = f(t - \tau), \quad (2.3)$$

де τ - інтервал запізнювання, с.

Трансцендентна передаточна функція ланки запізнювання робить структурну схему об'єкта нелінійною, утруднює її аналіз і синтез керуючих впливів. Існують різноманітні методи щодо моделювання часового запізнювання.

Завдання.

Зробити короткий конспект теоретичного матеріалу лабораторної роботи.

Ознайомитись із блоками Transport Delay, Variable Transport Delay, Variable Time Delay бібліотеки Continuous Simulink. Зробити опис властивостей цих блоків.

Згідно індивідуального завдання скласти комп'ютерні моделі (рис. 2.2) з використанням розглянутих блоків, дослідити особливості їх використання, варіюючи параметри блоків.

За основу взяти вихідні дані та методику розрахунку двоконтурної підпорядкованої системи автоматичного керування, регулятори якої налагоджені на модульний оптимум [8].

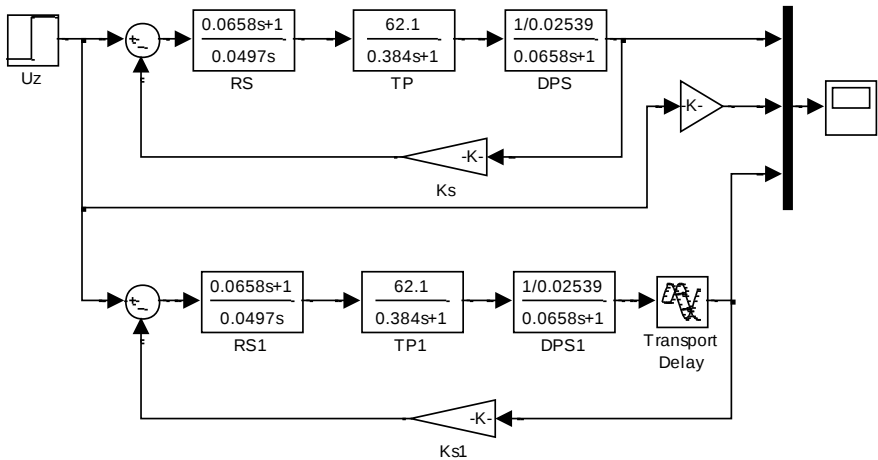


Рисунок 2.2 – Комп'ютерна модель одноконтурної САК струмом ДПС з НЗ з урахуванням блоку чистого запізнювання

Провести експерименти з різними значеннями транспортного запізнення, дослідити як впливає транспортне запізнення та показники якості системи автоматичного керування. Побудувати залежності $A=f(\tau)$, $\sigma=f(\tau)$, $t_r=f(\tau)$, зробити висновки.

Зміст звіту з лабораторної роботи.

Зміст з лабораторної роботи повинен містити титульний лист, тему, мету лабораторної роботи, короткі теоретичні відомості про блоки Transport Delay, Variable Transport Delay, Variable Time Delay бібліотеки Continuous Simulink, початкові дані та розрахунок регуляторів системи автоматичного керування, комп'ютерні моделі, результати моделювання, графіки залежностей $A=f(\tau)$, $\sigma=f(\tau)$, $t_r=f(\tau)$, висновки.

Контрольні запитання.

1. Поясніть принцип дії замкнених підпорядкованих систем керування.
2. Поясніть вплив елемента чистого запізнення на систему автоматичного керування підпорядкованого типу.
3. Яким чином варіювання параметрів елемента чистого запізнення впливає на показники якості системи автоматичного керування?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Розробка та дослідження мехатронної системи на базі плати Micro:bit

Мета: навчитись розробляти програмну та апаратну складову мехатронних систем на основі плати Micro:bit, використовуючи візуальне середовище програмування Make Code.

Короткі теоретичні відомості.

Micro:bit - це потужний мініатюрний комп'ютер, повністю програмований, розроблений компанією BBC. Він має розмір всього пів кредитної картки і призначений для навчання програмуванню.

Micro: bit працює на базі високопродуктивного 32-бітного мікроконтролера Nordic nRF51822 ARM Cortex M0, має 256 КБ флеш-пам'яті і 16 КБ оперативної пам'яті. Вона оснащена вбудованим Bluetooth, акселерометром з компасом, роз'ємом для підключення батарейного живлення, двома користувацькими кнопками і світлодіодною матрицею на звороті плати. Для початку роботи не потрібен комп'ютер - досить смартфона з встановленим додатком. Кожен елемент повністю програмується за допомогою простого у використанні програмного забезпечення на спеціальному веб-сайті, доступ до якого можна отримати з ПК, планшета або мобільного телефону.

Датчики, інтегровані в Micro:bit: акселерометр - показує положення плати в просторі, працює крокоміром і реагує на струшування; магнітометр - використовується як компас, детектор металу і прихованої проводки або виступає в ролі датчика Холла; температура в приміщенні визначається вбудованим в процесор термометром. Особливістю Micro:bit є матриця з 25 червоних світлодіодів, зібрана на звороті плати. На неї виводяться букви, біжучі рядки або проста піксельна анімація. Дев'ять з них використовуються в якості сенсора рівня освітленості. Для керування мікро-комп'ютером передбачено три кнопки. Одна використовується для перезавантаження плати, дві інші - програмовані, їх призначення залежить від створеної програми. Для початкових кроків програмування пропонується візуальне середовище програмування Make Code (<https://makecode.microbit.org/>), схоже зі Scratch, з

можливістю переходу в код на мовах JavaScript та MicroPython. Доречі, інтерфейс Make Code може відображатися українською, англійською та деякими іншими мовами, що полегшує користування ним. Ще однією гарною особливістю середовища Make Code є наявність емулятора плати, який у реальному часі відображає дії, які містяться у програмі, у ньому візуалізовано підключення зовнішніх пристроїв, роботу з пінами, можлива імітація зміни рівня освітлення, положення плати у просторі, струшування і багато іншого. До плати можна під'єднати додаткові модулі з робочою напругою 3.3 В, з яких можна зібрати велику кількість корисних пристроїв від світлофора до невеликої системи «Розумний будинок».



Рисунок 3.1 – Набір 37 in 1 Starter Kit for BBC micro:bit

Ознайомтеся з першими кроками при роботі у середовищі програмування Make Code, використовуючи індикацію, керування кнопками, датчиками, які знаходяться на платі (рис. 3.2, 3.3) і датчиками, які підключаються за допомогою плати розширення підключень.

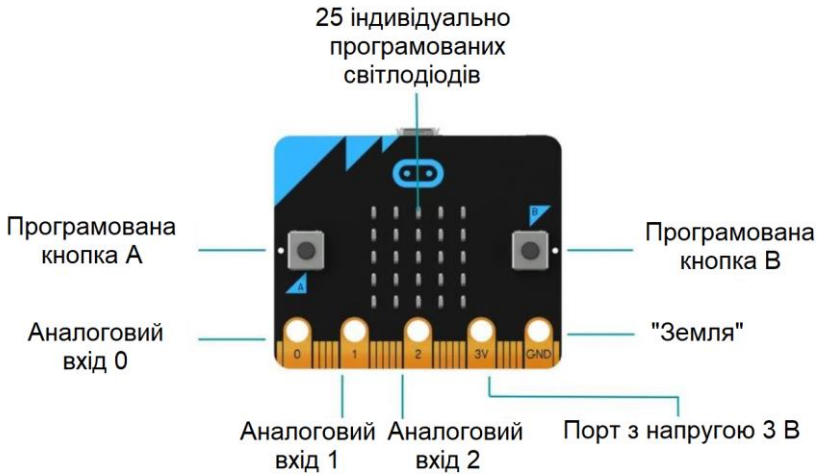


Рисунок 3.2 - Передня сторона плати micro:bit

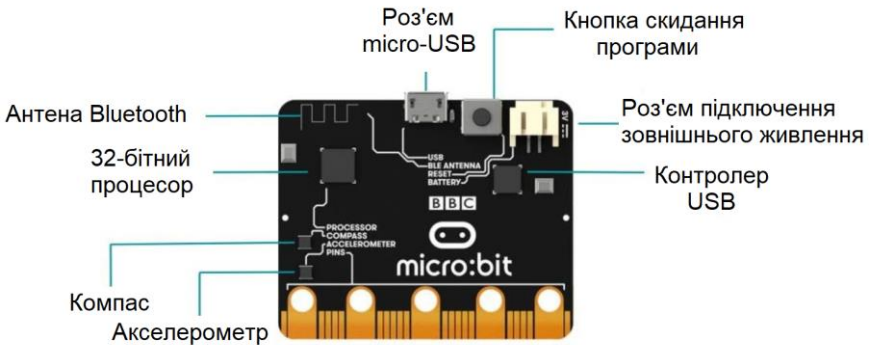


Рисунок 3.3 - Зворотній бік плати micro:bit

Завдання.

Використовуючи елементи набору (рис. 3.1) розробити та дослідити модель мехатронної системи, яка буде імітувати певну мехатронну систему або систему автоматики.

Написати програму у середовищі Make Code, після чого перевірити працездатність програми на реальному обладнанні набору.

Зміст звіту з лабораторної роботи.

Зміст з лабораторної роботи повинен містити титульний лист, тему, мету лабораторної роботи, короткі теоретичні відомості про мікрокомп'ютер Micro:bit, словесний опис ідеї розробки мехатронної системи або системи автоматики, детальний опис елементів, які використані для неї, алгоритм роботи мехатронної системи або системи автоматики, скрін екрану з проектом програми у середовищі Make Code, фото фізичної моделі мехатронної системи або системи автоматики виконаної на базі Micro:bit, висновок.

Контрольні запитання.

1. Назвіть основні технічні характеристики мікрокомп'ютера Micro:bit.
2. Назвіть функціональні можливості візуального середовища програмування Make Code.
3. Які датчики встановлені на платі Micro:bit? Наведіть приклади мехатронних систем або систем автоматики, які можуть бути створені з використанням таких датчиків.
4. Назвіть, які на Вашу думку, потенціальні можливості для комп'ютерного і фізичного моделювання мехатронних систем або систем автоматики має Набор 37 in 1 Starter Kit for BBC micro:bit.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Дослідження електропневматичної мехатронної системи у середовищі моделювання FluidSIM

Мета: ознайомитись із програмним забезпеченням FluidSIM, навчитись складати електропневматичні мехатронні системи на основі двох циліндрів та дослідити їх працездатність.

Короткі теоретичні відомості.

Програмне середовище FluidSIM має досить простий та інтуїтивний інтерфейс. Після відкриття програми у лівому верхньому куті, на панелі Меню є стандартні значки: Створити новий файл (альтернативний варіант, комбінація клавіш Ctrl+N) або Відкрити вже існуючий . У нашому випадку, створюємо новий аркуш для майбутньої схеми (рис. 4.1)

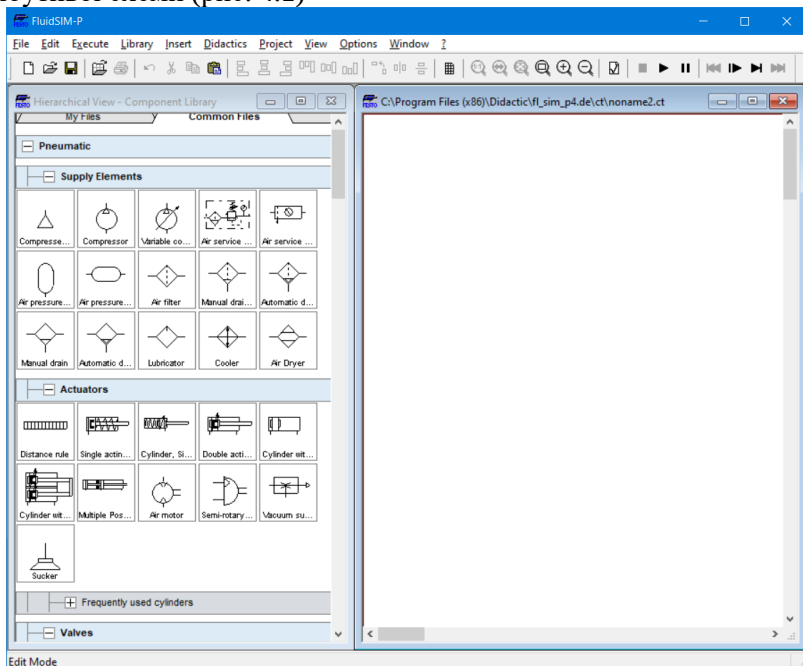


Рисунок 4.1 – Робоче вікно програми FluidSIM

Ліворуч від створеного аркуша розташована таблиця умовних позначень пневматичних та електричних елементів схем принципів, що поділено на певні розділи за функціональними ознаками (рис. 4.2).

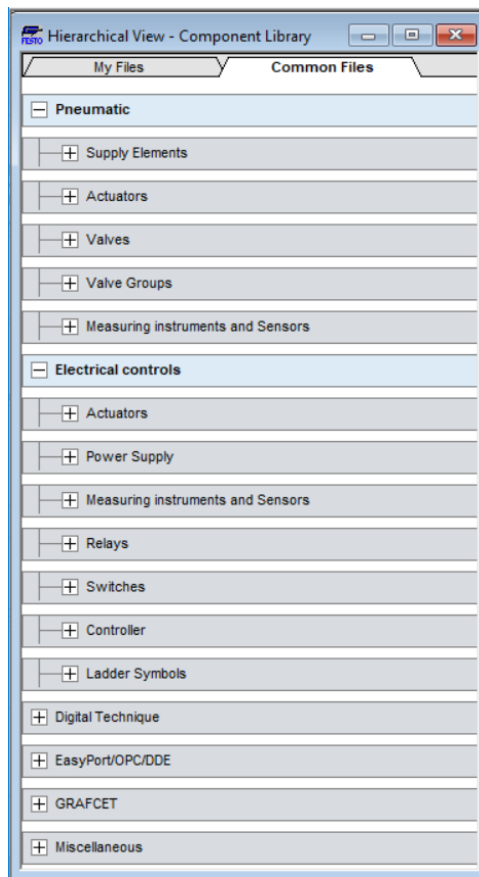


Рисунок 4.2 – Перелік основних розділів умовних позначень

Розташування кожного елемента відбувається шляхом перетягування за допомогою миші з таблиці до аркуша схеми або за допомогою комбінацій Копіювати / Вставити.

Більш детальну інформацію, щодо елемента, можливо отримати натиснувши праву кнопку миші (ПКМ) по відповідному елементу та обравши розділ «Component Description» (рис. 4.3).

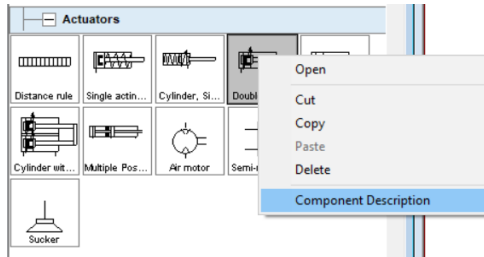


Рисунок 4.3 – Приклад контекстного меню при натисканні ПКМ на елемент умовного позначення в таблиці

Для налаштування певного елемента після розташування (рис. 4.4) на схемі, необхідно натиснути на ньому ПМК та обрати розділ «Properties...».

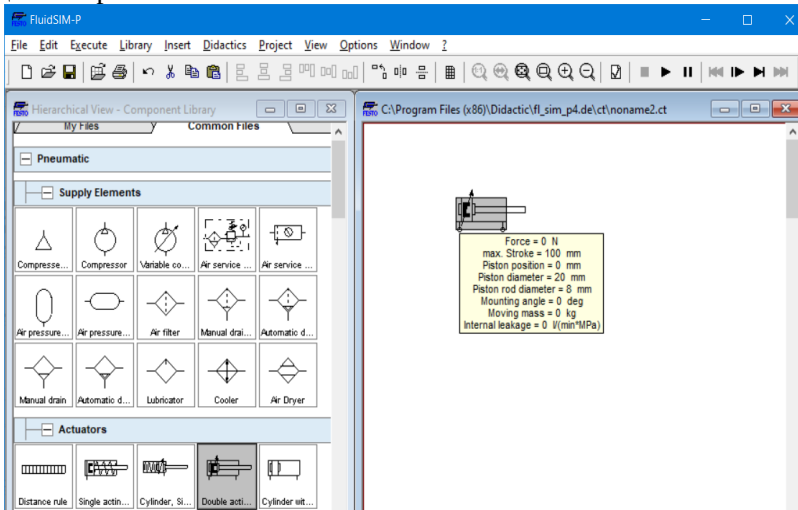


Рисунок 4.4 – Результат розташування пневмоциліндра на аркуші схеми (при наведенні курсора на елемент – відображаються його основні характеристики)

Результат відкриття вікна «Properties...» показано на рисунку 4.5. У першій вкладці можливо змінювати Опис/Принцип дії/Тип демпфування/Схему розташування на аркуші та найважливіше задавати позначення у полі «Label». Вкладки «Parameters», «External load» та «Force profile» у даній лабораторній не розглядаються. Зробимо акцент на останній вкладці «Actuating Labels». Саме на ній задаються назви датчиків положення штоку циліндрів та діапазони їх

дії/встановлення. На рисунку 4.6 показано приклад встановлення двох датчиків крайніх положень при умові, що шток циліндра висувається на 100 мм.

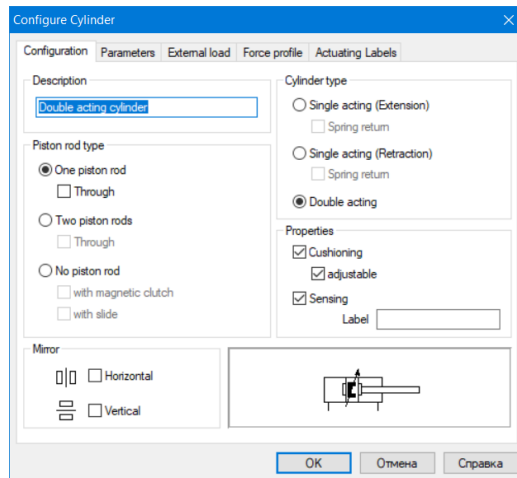


Рисунок 4.5 – Вікно властивостей умовного позначення пневмоциліндра

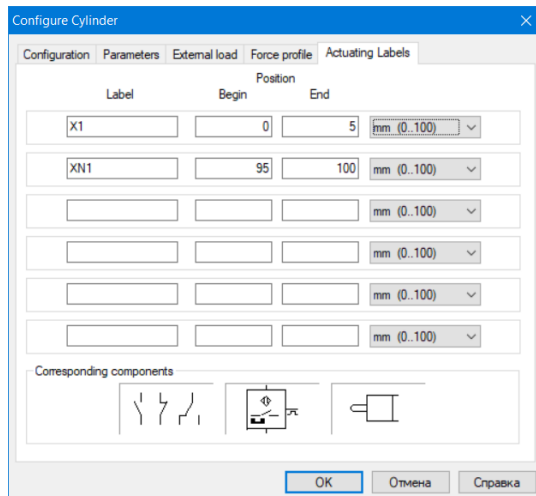


Рисунок 4.6 – Приклад встановлення датчиків на пневмоциліндрі

Далі розглянемо варіант вкладки «Properties...» для розподільника (рисунок 4.7). Аналогічно можливо змінити тип розподільника, обрати його нормальну позицію та кількість каналів,

тип сигналу керування (Ручний / Механічний / Пневматичний / Електричний), орієнтацію розташування на схемі та задати витрати повітря при експлуатації.

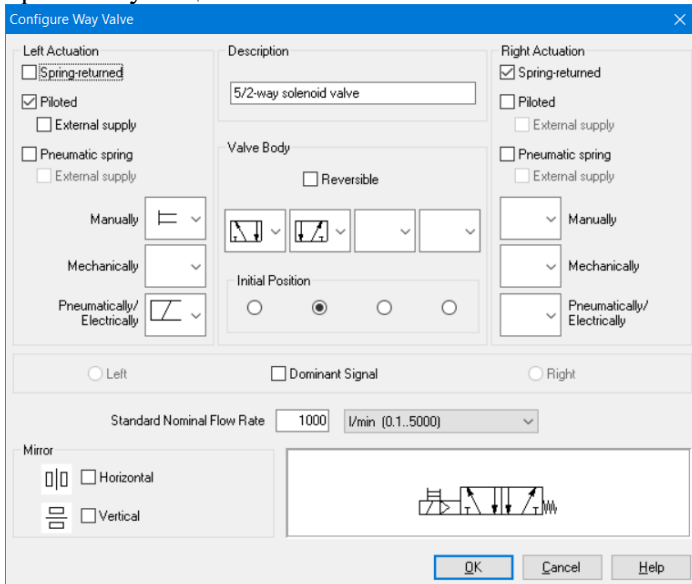


Рисунок 4.7 – Вікно властивостей умовного позначення розподільника

Для позначення котушки розподільника необхідно по кружечку на певній котушці натиснути двічі лівою кнопкою миші (ЛКМ). Після цього відкриється діалогове вікно для написання відповідного позначення (рис. 4.8).

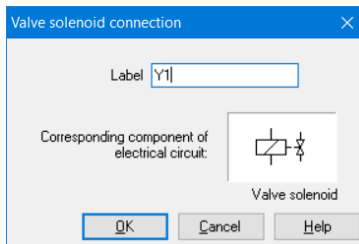


Рисунок 4.8 – Приклад позначення котушки розподільника

З наступним кроком відбувається з'єднання елементів шляхом перетаскування одного кружечка певного виходу елемента з іншим. Результат пневматичної частини схеми представлено на рисунку 4.9.

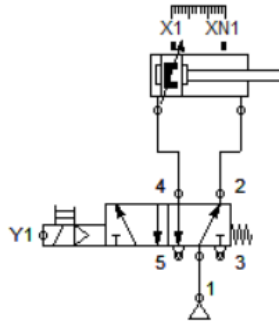


Рисунок 4.9 – Приклад пневматичної частини схеми

Аналогічним шляхом малюється електрична частина схеми, де з різних розділів обираються певні елементи живлення та споживачі, відбувається їх підпис та з'єднання в єдину схему. Результат таких дій представлено на рисунку 4.10.

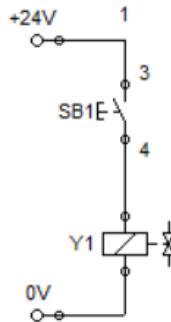


Рисунок 4.10 – Приклад електричної частини схеми

Наступним етапом є перевірка відповідності роботи схеми завданню. Для цього необхідно перейти в режим симуляції, натиснувши значок Старту симуляції  (або клавішу F9) на панелі інструментів. Якщо помилки будуть відсутні та схема коректна, канал, у який подається повітря, підсвітиться темно-синім кольором (рис. 4.11, а). При натисканні на кнопку «SB1» ЛКМ електричний

ланцюг стане червоного кольору (рис. 4.11, б), це означає, що струм через контакт кнопки подається на котушку розподільника. Останній, в свою чергу змінює свою позицію та подає повітря в інший канал, в результаті чого шток циліндра висувається. При відпусканні кнопки «SB1» всі елементи схеми повертаються у початкове положення.

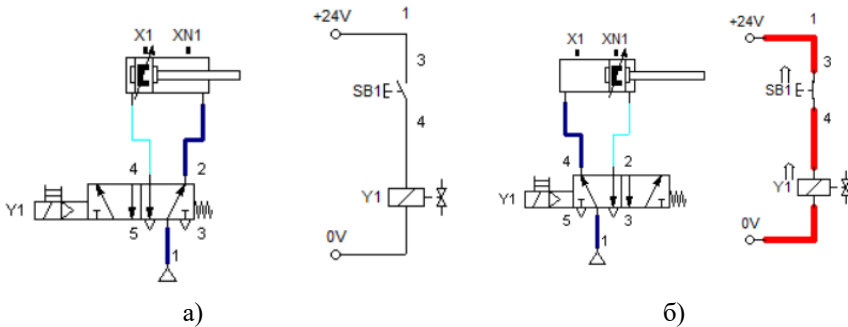


Рисунок 4.11 – Приклад роботи режиму симуляції

Раніше було розглянуто основні принципи побудови схем. Вони мали досить просту структуру та не потребували ніякої систематизації. Розглянемо основні принципи розташування груп елементів для більш швидкої та легкої взаємодії. Отже, електрична частина схеми складається з наступних елементів: котушок реле та котушок розподільників; контакти реле (н.р. та н.з.); контакти датчиків кінцевих положень штоків пневмоциліндрів; кнопки/ перемикачі. Одним з основних правил побудови майбутніх схем буде те, що сигнали від датчиків та кнопок ідуть на реле (а не безпосередньо на котушки розподільників, як було показано у попередніх лабораторних роботах), а останні, в свою чергу, передають через свої контакти сигнали керування. Першим умовним блоком схеми будуть всі сигнали від кнопок (рис. 4.12, а), другим – сигнали від датчиків кінцевих положень (рис. 4.12, б), третім – елементи пам'яті (рис. 4.12, в), четвертим (якщо є) - часові реле та лічильники (рис. 4.12, г), п'ятим останнім – елементи керування/котушки розподільників (рис. 4.12, д). На рисунку 4.12 показані основні типи умовних позначень, що використовуються в процесі проведення лабораторних робіт та додаткових завдань. Реле часу та лічильники у даній лабораторній роботі не розглядатимуться.

В даній лабораторній роботі розглянуто три основних варіанти схем роботи двох циліндрів. Для цих схем прийняті наступні параметри: обидва циліндри двосторонньої дії та на них встановлено датчики кінцевих положень (шток втягнуто XN1/XN2, шток висунуто X1/X2); розподільники бістабільні з електрокеруванням 5/2; старт циклу починається при натисканні кнопки з нормально відкритим контактом без фіксації.

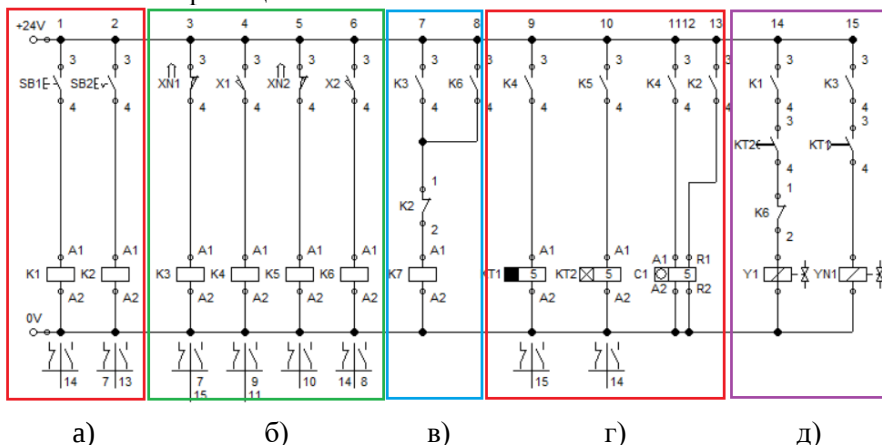


Рисунок 4.12 – Приклад порядку розташування елементів релейної схеми електричної принципової

Діаграми роботи кожного з варіантів схем з двома циліндрами представлено на рисунку 4.13. Для варіанту «А» режим роботи наступний: при натисканні кнопки «Старт» перший циліндр починає висуватися, при досягненні крайнього положення (спрацював датчик X1) починає рух другий циліндр. Коли другий циліндр досягне свого крайнього положення (спрацював датчик X2), перший циліндр починає повертатися у вихідне положення. Сигнал від датчика XN1 дає дозвіл на початок руху другого циліндра у вихідне положення. Спрацювання датчика XN2 сигналізує про завершення циклу. Повторне натискання кнопки «Старт» повторює описаний процес. Схема електропневматична принципова варіанту «А» представлено на рисунку 4.14.

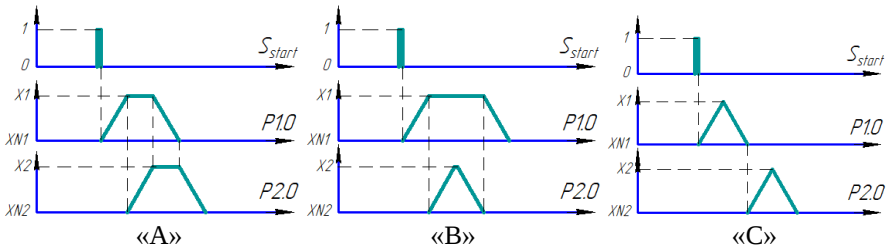


Рисунок 4.13 – Варіанти послідовності роботи двох циліндрів

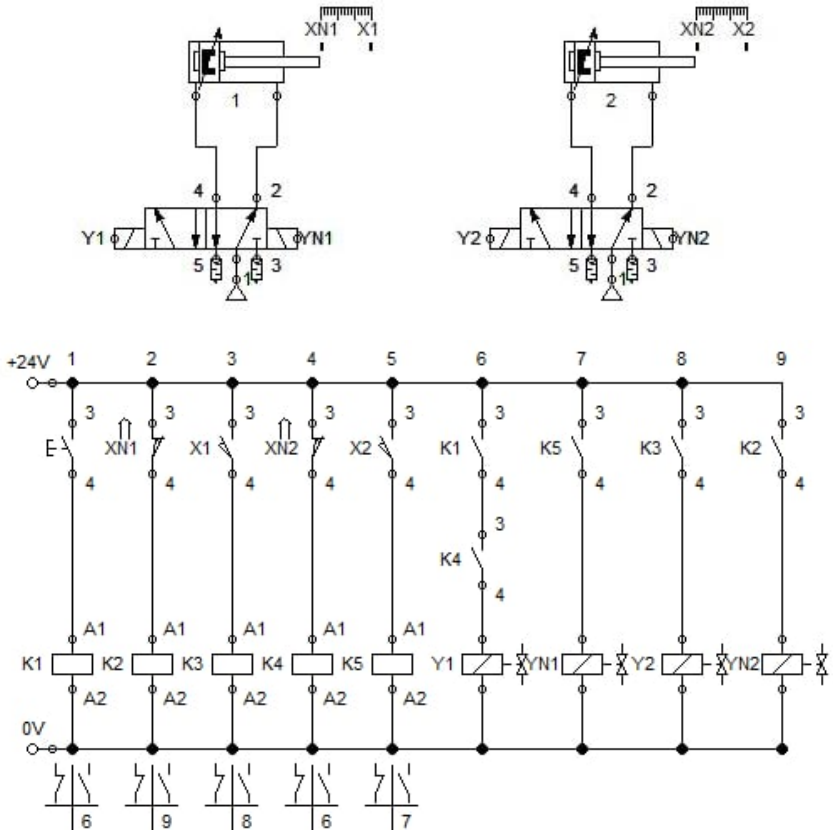


Рисунок 4.14 – Схема принципова варіанту «А»

Для варіанту «В» режим роботи наступний: при натисканні кнопки «Старт» перший циліндр починає висуватися, при досягненні крайнього положення (спрацював датчик X1) починає рух другий

циліндр. Коли другий циліндр досягне свого крайнього положення (спрацював датчик X2), він одразу починає повертатися у початкове положення. Сигнал від датчика XN2 дає дозвіл на початок руху першого циліндра у початкове положення. Спрацювання датчика XN1 сигналізує про завершення циклу. Повторне натискання кнопки «Старт» повторює описаний процес. Схема електропневматична принципова варіанту «В» представлено на рисунку 4.15.

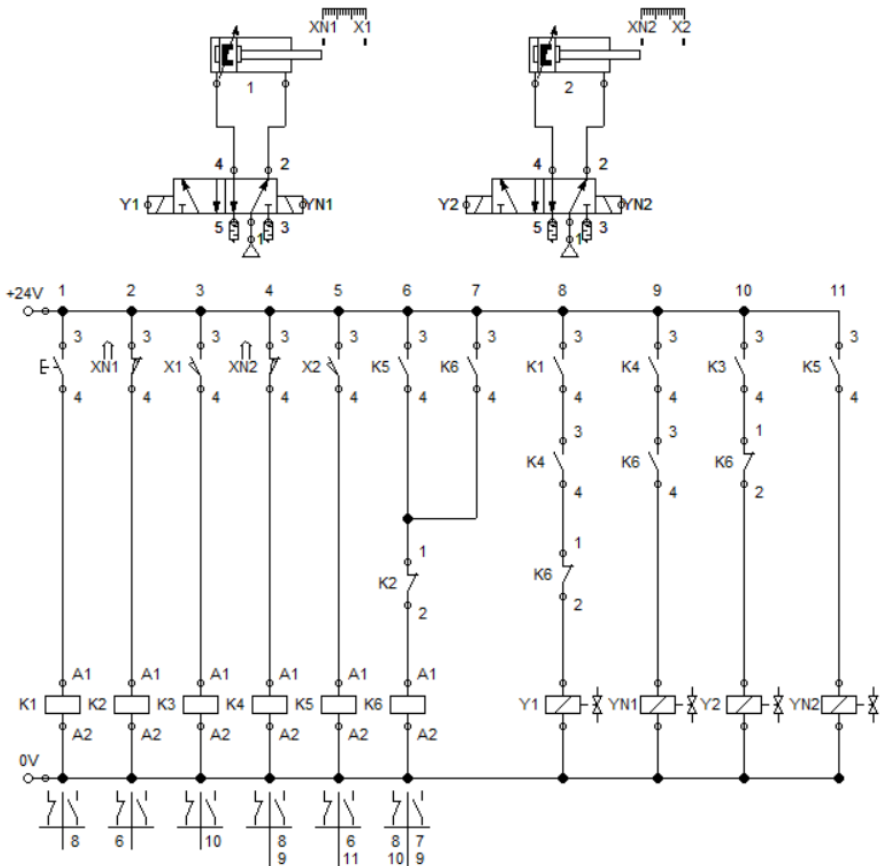


Рисунок 4.15 – Схема принципова варіанту «В»

Для варіанту «С» режим роботи наступний: при натисканні кнопки «Старт» перший циліндр починає висуватися, при досягненні

крайнього положення (спрацював датчик X1) він одразу повертається у вихідне положення. Сигнал від датчика XN1 дає дозвіл на початок руху другого циліндра. При досягненні датчик X2 шток другого циліндра одразу повертається у вихідне положення. Спрацювання датчика XN2 сигналізує про завершення циклу. Повторне натискання кнопки «Старт» повторює описаний процес. Схема електропневматична принципова варіанту «С» представлено на рисунку 4.16.

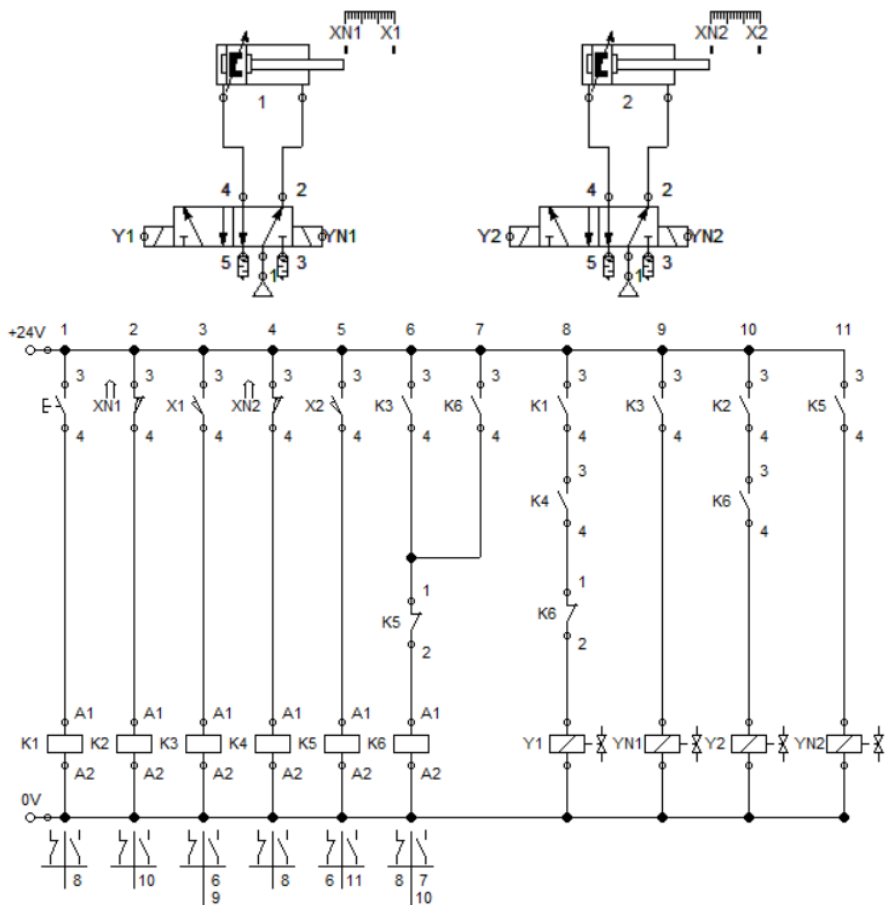


Рисунок 4.16 – Схема принципова варіанту «С»

Завдання.

Вивчити основні правила побудови схем та логіку їх роботи. Відтворити у середовищі FluidSIM всі три варіанти схем керування двома циліндрами, що розглянуто у лабораторній роботі, перевірити відповідність роботи часовим діаграмам принципових схем у режимі симуляції.

Зміст звіту з лабораторної роботи.

Звіт з лабораторної роботи повинен містити титульний лист, тему, мету лабораторної роботи, три варіанти схем керування та висновки.

Контрольні запитання.

1. Перелічити основні розділи налаштування пневмоциліндрів.
2. Перелічити основні пункти налаштування розподільників?
3. На які основні розділи поділяють пневматичні елементи у таблиці умовних позначень середовища FluidSIM?
4. На які основні розділи поділяють електричні елементи у таблиці умовних позначень середовища FluidSIM?
5. Намалювати електричну схему з індикацією: додати паралельно котушкам лампочки, змінити колір останніх.
6. Назвати основний порядок розташування блоків схеми електричної принципової.
7. Намалювати часові діаграми роботи двох циліндрів.
8. Що необхідно замінити у схемі, щоб цикл йшов безкінечно довго, до моменту примусової зупинки?
9. Чому на схемах контакти XN1/XN2 мають додаткові стрілки у початковому стані?
10. Пояснити режим роботи схеми варіанту «А».
11. Пояснити режим роботи схеми варіанту «В».
12. Пояснити режим роботи схеми варіанту «С».

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

Розробка та дослідження системи прийняття рішення на базі нечіткої логіки

Мета: навчитись використовувати засади нечіткої логіки для розробки та дослідження системи прийняття рішення щодо працездатності електромеханічної системи технологічного процесу або її частини на вибір здобувача освіти.

Короткі теоретичні відомості.

Контролери нечіткої логіки - найважливіше практичне застосування теорії нечітких множин. Їхнє функціонування відрізняється від роботи звичайних контролерів. Для створення алгоритму управління фазі-контролера замість розв'язання диференціальних рівнянь використовуються знання експертів та логічні правила обробки вхідних сигналів, представлених нечіткими множинами. Знання експертів можуть бути виражені природним чином за допомогою лінгвістичних змінних, якими описуються нечіткі множини.

Процес фазифікації заснований на створенні та ідентифікації нечітких множин в інтервалах варіювання вхідних та вихідних змінних фазі-контролера. Для цього діапазони зміни вхідних та вихідних змінних розбиваються на кілька піддіапазонів, які представляють нечіткі множини: в області нуля; в області малих позитивних та негативних змін; в області середніх позитивних та негативних змін (при необхідності); в області великих позитивних та негативних змін.

Механізм логічного виводу складається з чотирьох етапів: введення нечіткості (фазифікація), нечіткий вивід, композиція та приведення до чіткості та дефазифікація (рис. 5.1). Алгоритми нечіткого виводу відрізняються головним чином за видом правил, логічних операцій та різноманітністю методу фазифікації. Найвідомішими є моделі: Мадмані, Сугено, Ларенса та Цукамото.

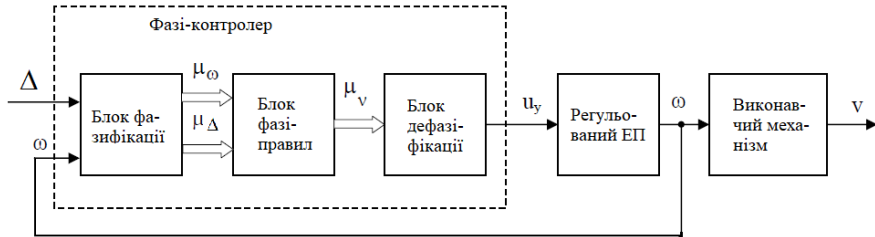


Рисунок 5.1 – Структура системи керування з фазі-контролером

Завданням створення алгоритму роботи фазі-контролера за фазі-правилами є перетворення якісного експертного знання в закон регулювання, який може бути реалізований технічно.

Вхідними даними для цього процесу є фазі-правила та ступені належності, за якими встановлюється певний логічний вислів. На основі результатів фазифікації та фазі-правил у блоці фаззи-правил відбувається формування вихідної фазі-множини.

В електроприводі існує безліч областей, де нечітка логіка може дати набагато кращі результати, порівняно з традиційними методами. Це регулятори, методи діагностики несправностей, SCADA, ПЛК, автоматизація, та безліч інших.

Система з нечітким регулятором дає кращі результати в динамічних задачах. Динамічний провал після вимкнення навантаження менший, ніж в системі з класичним регулятором. Час відновлення швидкості після вимкнення навантаження в нечіткій системі майже в два рази менший в порівнянні з класичними регуляторами. При ступінчастому або лінійному керуванні перехідні процеси з нечітким регулятором показують себе не гірше, а в деяких випадках набагато краще стандартної системи.

Fuzzy Logic Toolbox – це пакет розширення MATLAB, що містить інструменти проектування систем нечіткої логіки. Пакет дозволяє створювати експертні системи на основі нечіткої логіки, проводити кластеризацію нечіткими алгоритмами, а також проектувати нечіткі нейромережі. Пакет включає графічний інтерфейс для інтерактивного покрокового проектування нечітких систем, функції командного рядка для розробки програм, а також спеціальні блоки для побудови систем нечіткої логіки Simulink. Усі функції пакета написані відкритою мовою MATLAB, що дозволяє

контролювати виконання алгоритмів, змінювати вихідний код, а також створювати власні функції та процедури.

До функцій FIS-редактора відноситься створення, збереження, завантаження і виведення у друк систем нечіткого логічного виведення, а також для редагування наступних властивостей: тип системи; назви системи; кількість вхідних і вихідних змінних; назви вхідних і вихідних змінних; параметри нечіткого логічного виведення [31]. Виклик FIS-редактора відбувається за допомогою команди `fuzzy` у командному рядку Матлабу. У результаті з'являється інтерактивне графічне вікно (рис. 5.2). У нижній частині вікна знаходяться кнопки `Help` і `Close`, які відкривають вікно довідки і закривають редактор, відповідно.

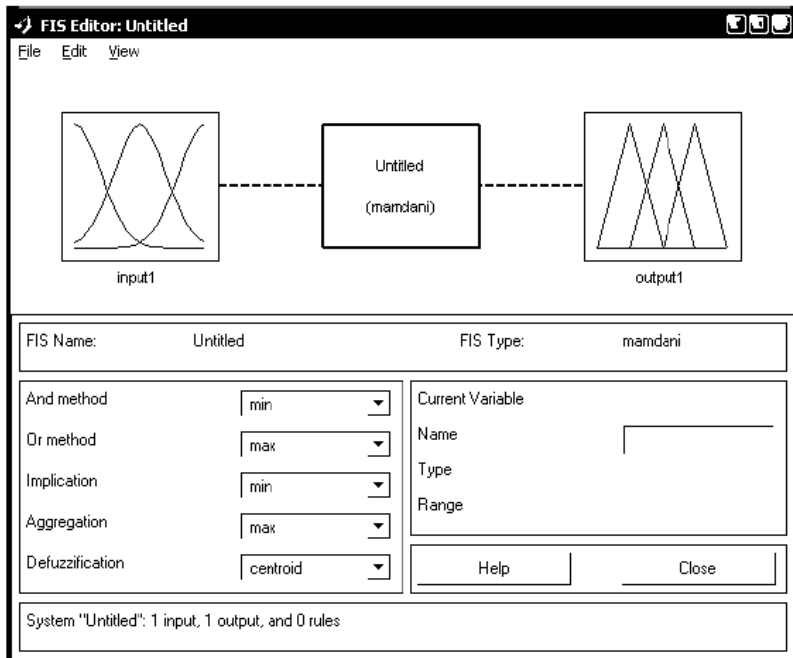


Рисунок 5.2 – FIS-редактор

FIS-редактор містить вісім меню: `File`, `Edit`, `View`, і п'ять меню для вибору параметрів нечіткого логічного виведення – `And Method`, `Or Method`, `Implication`, `Aggregation` і `Defuzzification`.

При створенні нової системи з'являються дві альтернативи: Mamdani і Sugeno, що визначають тип цієї системи. За допомогою команди Import є можливість завантажити вже створену систему нечіткого логічного виведення. або з робочої області (From Workspace...), або з диску (From disk).

При виборі команди Export аналогічно попередньому випадку з'являються дві альтернативи To Workspace... і To disk, що дозволяють скопіювати систему нечіткого логічного виведення в робочу область MatLab і на диск, відповідно

У меню «Edit» однією із функцій є додавання змінної «Add Variable...» При виборі цієї команди з'являються дві альтернативи Input і Output, що дозволяють додати вхідну і вихідну змінну, відповідно.

Команда Membership Function... відкриває редактор функцій приналежностей. Ця команда може бути також виконана натисканням Ctrl+2.

Команда Rules... відкриває редактор бази знань. Ця команда може бути також виконана натисканням Ctrl+3.

Меню And Method - це меню дозволяє установити наступні реалізації логічної операції "І": min – мінімум; prod – множення. Користувач також має можливість установити власну реалізацію операції "І". Для цього необхідно вибрати команду Custom...і в графічному вікні, що з'явилося, надрукувати ім'я функції, що реалізує цю операцію [31].

Меню Or Method - це меню дозволяє установити наступні реалізації логічної операції "АБО": max – множення; probor - імовірнісне "АБО". Користувач також має можливість установити власну реалізацію операції "АБО".

Меню Implication - це меню дозволяє установити наступні реалізації імплікації: min – мінімум; prod – множення.

Меню Aggregation - це меню дозволяє установити наступні реалізації операції об'єднання функцій приналежності вихідної змінної: max – максимум; sum – сума; probor - імовірнісне "АБО".

Меню Defuzzification - це меню дозволяє вибрати метод дефазифікації. Для систем типу Мамдані запрограмовані наступні методи: centroid – центр ваги; bisector –медіана; lom – найбільший з максимумів; som – найменший з максимумів; mom – середнє з максимумів.

Редактор функцій приналежності «Membership Function Editor» (рис. 5.3) дозволяє створити інформацію про терми-множини вхідних і вихідних змінних: кількість термів; їх назви; тип і параметри функцій приналежності.

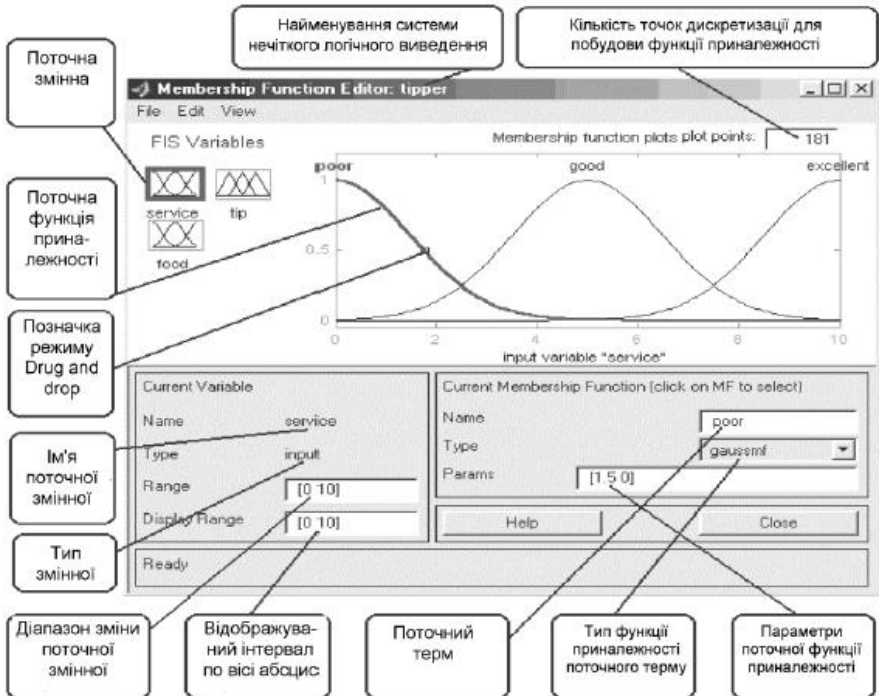


Рисунок 5.3 – Редактор функцій приналежності

Відкрити редактор функцій приналежності можна подвійним клацанням лівою кнопкою миші по полю вхідної або вихідної змінної [31]. Membership Function Editor містить чотири меню - File, Edit, View, Type і чотири вікна введення інформації – Range, Display Range, Name і Params. Ці чотири вікна призначені для завдання діапазону зміни поточної змінної, діапазону виведення функцій приналежності, назви поточного лінгвістичного терму і параметрів його функції приналежності, відповідно [31].

Принцип роботи у вікнах редакторів аналогічний, містить схожий функціонал опцій, доступ до зміни параметрів може відбуватися декількома шляхами: використовуючи комбінації клавіш клавіатури, подвійним клацанням миші, з використанням технології «схопив і тягни» з використанням миші, а також і меню, вибравши відповідний рядок, загалом, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Редактор бази знань «Rule Editor призначений для формування і модифікації нечітких правил. Загальний вид редактора бази знань із указівкою функціонального призначення основних полів графічного вікна приведений на рис. 5.4.

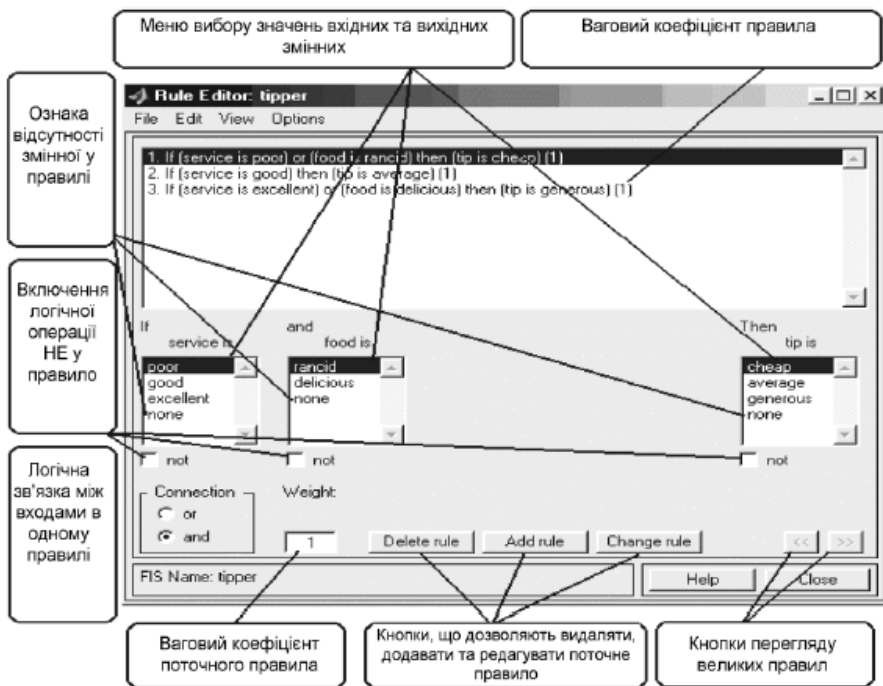


Рисунок 5.4 – Загальний вид вікна редактора бази знань «Rule Editor»

Редактор функцій приналежності містить чотири системних меню File, Edit, View, Options, меню вибору термів вхідних і вихідних змінних, поля установки логічних операцій ТА, АБО, НЕ і ваг правил, а також кнопки редагування і перегляду правил [31].

Правила формуються шляхом натискання на відповідні змінні та поєднання їх шляхом вибору логічної функції. При виборі команди

Format з'явиться список можливих форматів правил бази знань: Verbose – лінгвістичний; Symbolic – логічний; Indexed – індексований.

Візуалізація нечіткого логічного виведення здійснюється за допомогою GUI-модуля «Rule Viewer». Цей модуль дозволяє проілюструвати хід логічного виведення за кожним правилом, одержання результуючої нечіткої множини і виконання процедури дефазифікації.

Загальний вид вікна «Rule Viewer» для системи логічного виведення із указівкою функціонального призначення основних полів графічного вікна приведений на рис. 5.5. Кожне правило бази знань представляється у виді послідовності горизонтально розташованих прямокутників. При цьому перші два прямокутники відображають функції приналежностей термів посилки правила (Якщо-частина правила), а останній третій прямокутник відповідає функції приналежності терму-наслідку вихідної змінної (То-частина правила).

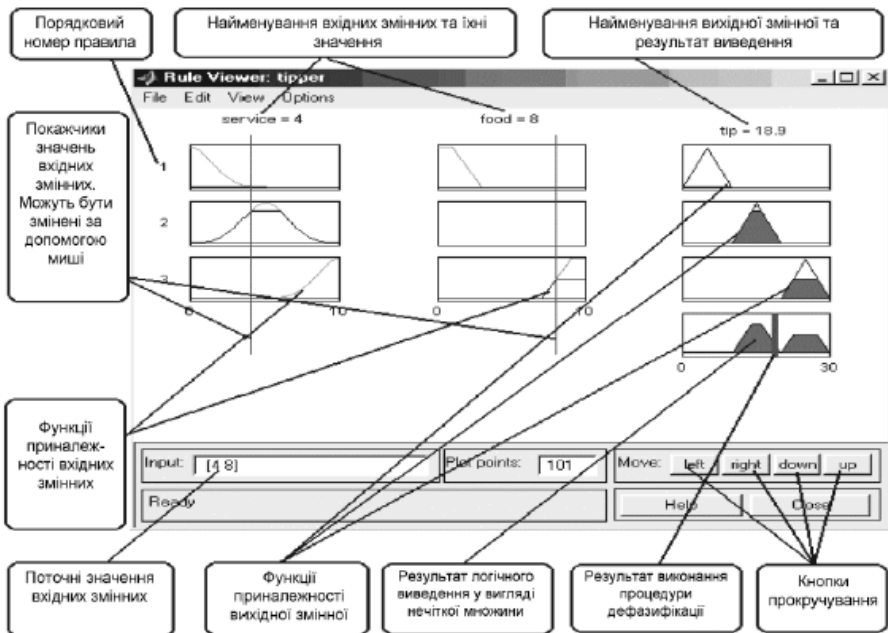


Рисунок 5.5 – Загальний вигляд вікна «Rule Viewer»

Принцип роботи у вікнах редакторів аналогічний, містить схожий функціонал опцій, доступ до зміни параметрів може відбуватися декількома шляхами: використовуючи комбінації клавіш клавіатури, подвійним клацанням миші, з використанням технології «схопив і тягни» з використанням миші, а також і меню, вибравши відповідний рядок, загалом, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Завдання.

Задача має відображати частину технологічного процесу певної електромеханічної системи на вибір здобувача освіти.

Задати функцію приналежності нечітких множин, сформулювати логічні правила і скласти таблицю фаззі-правил для задачі, у якій за допомогою двох нечітких вхідних змінних формується значення однієї нечіткої вихідної змінної.

Навести вікно *fis*-редактора Matlab (рис. 5.6), функції приналежності вхідних і вихідних змінних, базу знань в RuleEditor (рис. 5.7), вікно бази знань в RuleEditor (рис. 5.8), вікно візуалізації нечіткого логічного виводу в RuleViewer (рис. 5.9).

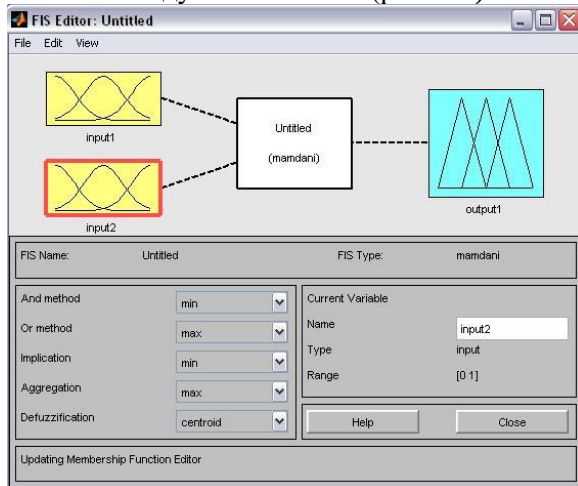


Рисунок 5.6 - Вікно *fis*-редактора Matlab

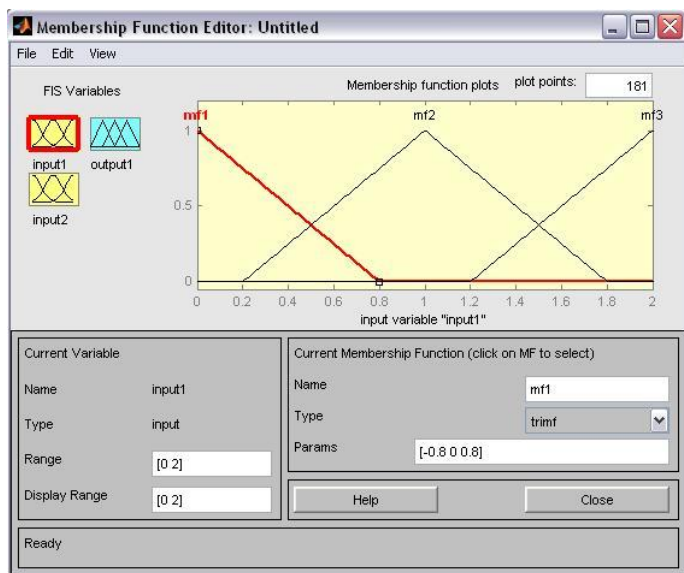


Рисунок 5.7 – Вікно функцій приналежності вхідних і вихідних змінних

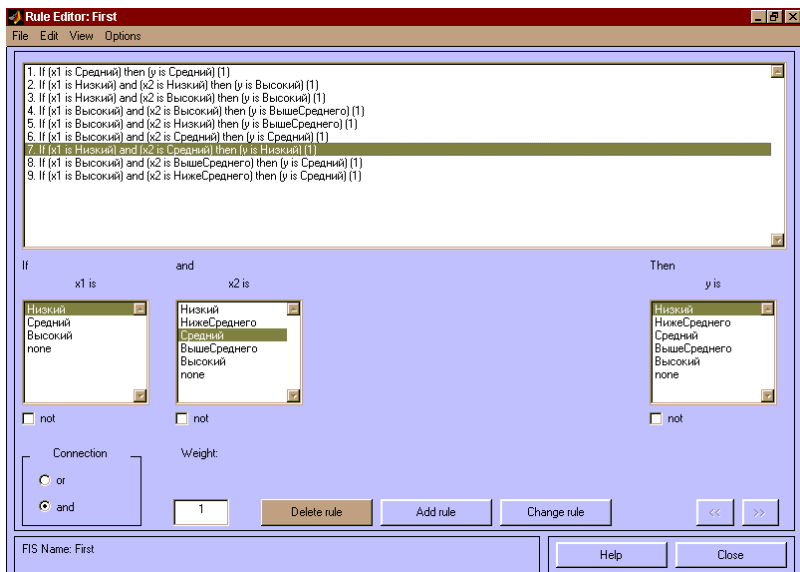


Рисунок 5.8 – Вікно бази знань в RuleEditor

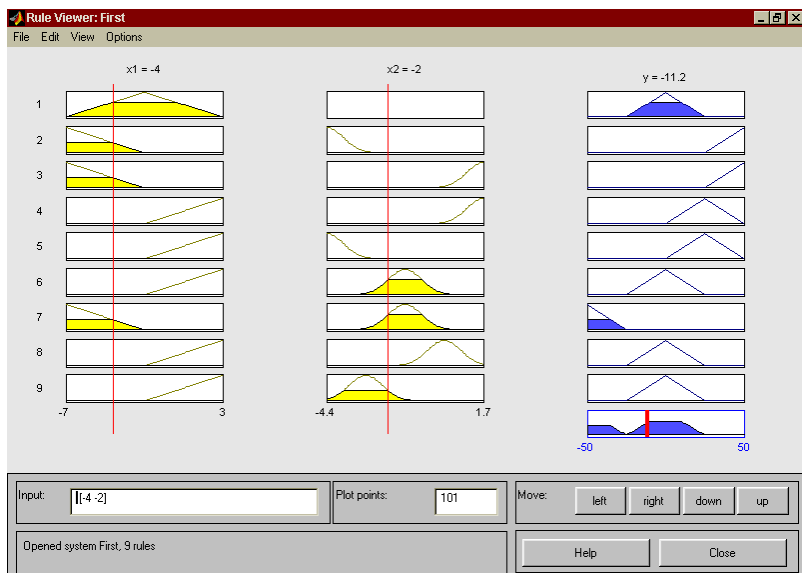


Рисунок 5.9 – Вікно візуалізації нечіткого логічного виводу в RuleViewer

Зміст звіту з лабораторної роботи.

Звіт з лабораторної роботи повинен містити титульний лист, тему, мету лабораторної роботи, опис обраної частини технологічного процесу певної електромеханічної системи на вибір здобувача освіти; вікно fis-редактора Matlab, функції приналежності вхідних і вихідних змінних, базу знань в RuleEditor, візуалізацію нечіткого логічного виводу в RuleViewer та висновки.

Контрольні запитання.

1. Основні відомості про теорію фазі-логіки і фаззі-регулювання.
2. Що таке характеристична функція? Які бувають функції приналежності нечітких множини? Основні особливості використання.
3. Пояснити принцип побудови системи управління з фаззі-контролером.
4. Пояснити призначення елементів нечіткої системи: фаззі правила, фаззіфікація, дефаззіфікація.

6 ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Розробка та дослідження моделі електромеханічної системи або її елемента за тематикою власного дисертаційного дослідження

Мета: навчитись використовувати набуті під час вивчення курсу знання та навички щодо спеціальних задач моделювання складних електромеханічних систем або їх елементів за тематикою власного дисертаційного дослідження.

Завдання.

Виокремити елемент (невелику частину) за темою власного дисертаційного дослідження, до якого можна застосувати набуті знання та навички з моделювання складних електромеханічних систем, інструментарію курсу.

Зробити опис загальної теоретичної частини обраного елемента (частини дослідження).

Зробити огляд попередніх досліджень (літературних джерел), які стосуються цієї частини.

Розробити модель (фізичну, математичну, або комп'ютерну), описати припущення використані при побудові моделі, умови, за яких вона працює адекватно.

Навести та пояснити отримані результати моделювання, зазначивши чим вони відрізняються від існуючих, їх практичну значимість та наукову новизну; перспективи використання.

Підготувати доповідь (до 10 хв) з презентацією (рекомендується використати PowerPoint). Доповідь може містити основні теоретичні відомості, огляд попередніх досліджень (літературних джерел), математичні, фізичні чи комп'ютерні моделі, результати моделювання, перспективи використання, висновки тощо.

Потрібно завантажити в Moodle: звіт за індивідуальним завданням у редакторі Word, презентацію (у форматі ppt або pdf), доповідь у редакторі Word.

Здобувачі освіти, які з поважних причин не мають можливості виступити з доповіддю на занятті онлайн, можуть завантажити відео (до 10Мб) або посилання на відео у загальному доступі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сучасні електромехатронні комплекси і системи : навч. посібник / Т. П. Павленко, В. М. Шавкун, О. С. Козлова, Н. П. Лукашова; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 116 с.
2. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О. П., Луговой А. В., Родькін Д. Й., Сисяк Г. Ю., Садовой О. В. – Кременчук, 2001. – 410 с.
3. Математичні методи ідентифікації динамічних систем: навчальний посібник / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 260 с.
4. Коренькова Т. В., Ковальчук В. Г., Калінов А. П. Автоматизований електропривод типових промислових механізмів. Практикум і тестові завдання: навчальний посібник. 2-ге видання, перероблене і доповнене. Кременчук: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2023. - 190 с.
5. Бондаренко В. І., Крисан Ю. О. Основи електропривода: Навч. посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012. – 402 с.
6. Потапенко, Е. М. Основи теорії та методи автоматичного керування: навчальний посібник [Текст] / Е. М. Потапенко, А. Е. Казурова – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 262 с.
7. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Теорія автоматичного керування» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» освітньої програми «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» денної форми навчання / Укл.: А. Є. Казурова, С. Г. Деев. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – 54 с.
8. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни «Основи сигової електроніки» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» усіх форм навчання / Укл.: М. Л. Антонов, М. В. Антонова – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка» - 57 с.
9. Електропривод: Механіка електроприводу. Електромеханічне перетворення енергії та електромеханічні властивості двигунів постійного струму: [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. М. Пижов,

Н.Д. Красношاپка, М.Я. Островерхов. – К.: КПІ ім. Ігоря – Електронні текстові дані (1 файл: 2,48 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 198 с.

10. Колб, Ант. А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. – 2-е вид. перероб. і доп. / Ант. А. Колб, А. А. Колб – Д., Національний гірничий університет, 2011. – 540 с.

11. A. Kazurova, A. Pyrozhok, M. Antonova, O. Nazarova and I. Meleshko, "Using Sequential Observers to Estimate the Parameters and State Vector of the Control System," 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/MEES61502.2023.10402464.

12. Видмиш, А. А. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. / А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.

13. Sadovoi, O. Modeling and research of electromechanical systems of cold rolling mills. Monograph. / O. Sadovoi, O. Nazarova, V. Bondarenko, A. Pirozhok, T. Hutsol, T. Nurek, Sz. Glowacki – Krakow: Traicon, 2020. – 138 p.

14. Конструкції елементів пневмоагрегатів : навчальний посібник / М. Г. Прокопов, С. М. Ванєєв, В. М. Козін, Ю. С. Мерзляков. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 146 с.

15. Губарев, О.П. Функціональні модулі систем мехатроніки з пневматичними, електромеханічними та гідравлічними виконавчими пристроями: навч. посібник / О.П. Губарев, О.С. Ганпанцурова, К.О. Беліков, А.М. Муращенко – К. : КПІ ім. І. Сікорського, 2020. – 104 с.

16. Орловський, Б. В. Мехатроніка в галузевому машинобудуванні: навчальний посібник / Б. В. Орловський. – К.: КНУТД – 2018. – 416 с.

17. Ловейкін, В.С. Мехатроніка: Навч. посібник / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, Ю.В. Човнюк – К., 2012. – 357 с.

18. Nazarova, O. Software and Hardware Complex for The Study of Electropneumatic Mechatronic Systems / O. Nazarova, V. Osadchyy, S. Shulzhenko, M. Olieinikov // 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/MEES58014.2022.10005698.

19. Nazarova, O. Mechatronic automatic control system of electropneumatic manipulator / V. Osadchyy, T. Hutsol, Sz. Glowacki, T. Nurek, V. Hulevskyi, I. Horetska // Scientific Reports, 2024. – Vol. 14. – P. 6970. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56672-4>.

20. BBC micro:bit. – Режим доступа: <https://microbit.org/>

21. Makecode. – Режим доступа: <https://makecode.microbit.org/>

22. KS0361(KS0365) keystudio 37 in 1 Starter Kit for BBC micro:bit. – Режим доступа: [https://wiki.keystudio.com/KS0361\(KS0365\)_keystudio_37_in_1_Starter_Kit_for_BBC_micro:bit](https://wiki.keystudio.com/KS0361(KS0365)_keystudio_37_in_1_Starter_Kit_for_BBC_micro:bit)

23. Уроки Micro:bit. – Режим доступа: <https://sites.google.com/view/p-s-p>

24. Kodali, R. K. Micro:Bit Based irrigation monitoring / R. K. Kodali, K. P. Nimmanapalli, S. Jyothirmay // 2018 4th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA), Greater Noida, India, 2018. - Pp. 1-3, doi: 10.1109/CCAA.2018.8777721.

25. Voštinár P. Using BBC micro:bit in primary and secondary schools for creating simple smart home / P. Voštinár, J. Knežník // 2020 43rd International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO), Opatija, Croatia, 2020. - Pp. 648-652. doi: 10.23919/MIPRO48935.2020.9245314.

26. Voštinár, P. Experience with teaching with BBC micro:bit / P. Voštinár, J. Knežník // 2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Porto, Portugal, 2020. - Pp. 1306-1310, doi: 10.1109/EDUCON45650.2020.9125278.

27. Bernad, P. Development of Measurement Systems with the BBC Micro:bit / P. Bernad, D. Šic, R. Repnik, D. Osrajnik // 2021 44th International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO), Opatija, Croatia, 2021, pp. 853-858, doi: 10.23919/MIPRO52101.2021.9596834.

28. Klimová, N. Wearables: Educational Projects Made with the BBC micro:bit / N. Klimová // 2020 18th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), Košice, Slovenia, 2020. - Pp. 323-329, doi: 10.1109/ICETA51985.2020.9379247.

29. Čerňanský, M. Using BBC Micro:bit in University Environment / M. Čerňanský, J. Jurinová // 2022 20th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), Sary Smokovec, Slovakia, 2022. - Pp. 97-102, doi: 10.1109/ICETA57911.2022.9974869.

30. Назарова, О.С. Удосконалення системи діагностики стану холодної прокатки на основі бази даних його електромеханічних процесів / О.С. Назарова, Б.В. Васильєв, Д.Р. Шокуров // Електротехніка та електроенергетика, 2023. - №1. – С.7-18. DOI 10.15588/1607-6761-2023-1-1

31. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Нечітке програмування» для студентів спеціальності 8.05010301 «Програмне забезпечення систем» усіх форм навчання / Укл.: С.О. Субботін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 50 с.

32. Новіков, П. FUZZY-контролер підтримання мікроклімату в приміщенні за значеннями індексу дискомфорту / П. Новіков, О. Степанець, Р. Саков // Automation of technological and business processes, 2018. – Вип. 9 (4). – С. 76-83. DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.824>.

33. Ротштейн, О. П. Проектування нечітких баз знань Лабораторний практикум та курсове проектування з дисципліни “Теорія нечітких множин та її застосування” / О. П. Ротштейн, С. Д. Штовба - Вінниця : ВДТУ, 1999. – 65 с.

34. Ніконов, О.Я. Побудова нечітких регуляторів для електрогідравлічних слідкувальних приводів автомобілів / О.Я. Ніконов, В.М. Шуляков // Автомобільний транспорт, 2012. – Вип. 30. – С.49-53.

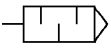
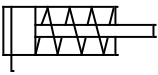
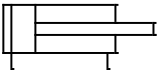
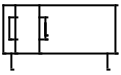
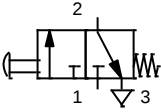
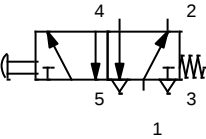
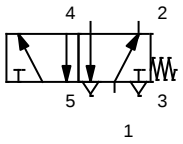
35. Леві Л. І. Використання нечіткої логіки для автоматизації функціонування зрошувальних систем / Л. І. Леві // Вісник Полтавської державної аграрної академії, 2018. - № 2 – С.153-157. DOI 10.31210/visnyk2018.02.25

36. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Моделі і методи нечіткої логіки» для студентів 3-го курсу рівня вищої освіти «Бакалавр», за спеціальністю 122 – «Комп’ютерні науки» / Укл. : Вохменцева Т.Б. – Одеський державний екологічний університет, 2021. – 82 с.

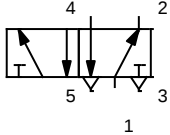
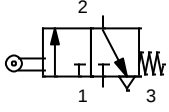
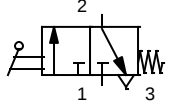
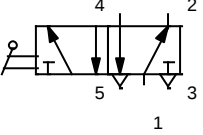
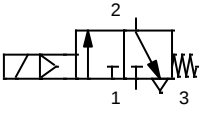
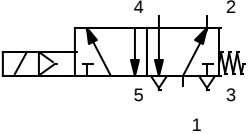
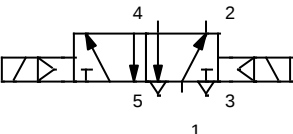
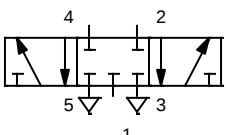
Додаток А

Перелік умовних позначень в електропневматичних схемах

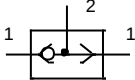
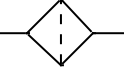
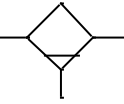
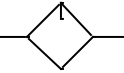
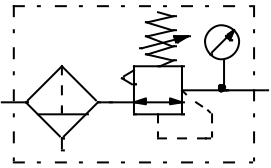
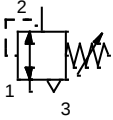
Таблиця А.1 – Умовні позначення елементів в електропневматичних схемах

	Акумулятор або ресивер
	Пневмоглушник
	Циліндр односторонньої дії, пружина спереду
	Циліндр двосторонньої дії без демпфування
	Безштоковий циліндр з регульованим демпфуванням в крайніх положеннях
	Манометр
	Розподільник з ручним керуванням-моностабільний, керування – кнопка, пружинне повернення, 3/2, Н.З.
	Розподільник з ручним керуванням-моностабільний, керування – кнопка, пружинне повернення, 5/2
	Розподільник з пневматичним керуванням-моностабільний, пружинне повернення, 5/2

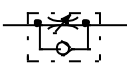
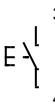
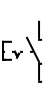
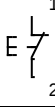
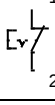
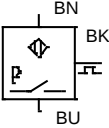
Продовження таблиці А.1

	Розподільник з пневматичним керуванням-бістабільний, 5/2
	Розподільник з механічним керуванням (плунжер), пружинне повернення, 3/2, Н.З.
	Розподільник з ручним керуванням, керування – тумблер, пружинне повернення, 3/2, Н.З.
	Розподільник з ручним керуванням-бістабільний, керування – тумблер, 5/2
	Розподільник з електропневматичним керуванням-моностабільний, пружинне повернення, 3/2, Н.З.
	Розподільник з електропневматичним керуванням-моностабільний, пружинне повернення, 5/2
	Розподільник з електропневматичним керуванням-бістабільний, 5/2
	Розподільник з пневматичним керуванням-бістабільний, 5/3, закритий у середній позиції

Продовження таблиці А.1

	Регульований дросель
	Клапан швидкого вихлопу
	Компресор
	Фільтр
	Вологовідділювач, з ручним відводом конденсату
	Маслорозпилювач
	Блок підготовки повітря, в складі вологовідділювача, фільтра, регулятора тиску, манометра та маслорозпилювача
	Регулятор тиску
	Джерело тиску

Продовження таблиці А.1

	Регульований дросель зі зворотнім клапаном
	Зворотній клапан
	Пневматичний мотор
	Кнопка, нормально відкрита, без фіксації
	Кнопка, нормально відкрита, з фіксацією
	Кнопка, нормально замкнута, без фіксації
	Кнопка, нормально замкнута, з фіксацією
	Котушка розподільника з електромагнітним керуванням
	Датчик наближення індуктивний

Таблиця А.2 – Призначення сигналів 25-пінового роз'єму електропневматичного стенда

№ pin	Сигнал	Опис
1	Y1	Шток циліндра P1.0 вперед
2	YN1	Шток циліндра P1.0 назад
3	Y2	Шток циліндра P2.0 вперед
4	YN2	Шток циліндра P2.0 назад
5	Y3	Шток циліндра P3.0 вперед
6		Резерв
7	X1	Шток циліндра P1.0 втягнуто
8	XN1	Шток циліндра P1.0 висунуто
9	X2	Шток циліндра P2.0 втягнуто
10	XN2	Шток циліндра P2.0 висунуто
11	X3	Шток циліндра P3.0 втягнуто
12	XN3	Шток циліндра P3.0 висунуто
13	-	0 В потенціометра R1
14	+	+ 24 В потенціометра R1
15	R1	Положення потенціометра R1
16	-	0 В потенціометра R2
17	+	+ 24 В потенціометра R2
18	R2	Положення потенціометра R2
19	-	0 В потенціометра R3
20	+	+ 24 В потенціометра R3
21	R3	Положення потенціометра R3
22		Резерв
23	+	Напруга живлення +24 В
24		Резерв
25	-	Напруга живлення 0 В

Таблиця А.3 – Призначення сигналів 15-пінового роз'єму мікроконтролерного стенда та з'єднувальної коробки

№ pin	Сигнал	Опис
1	Y1	Шток циліндра P1.0 вперед
2	YN1	Шток циліндра P1.0 назад
3	Y2	Шток циліндра P2.0 вперед
4	YN2	Шток циліндра P2.0 назад

5	Y3	Шток циліндра P3.0 вперед
6	HL1	Шток циліндра P1.0 висунуто
7	HL2	Шток циліндра P2.0 висунуто
8	HL3	Шток циліндра P3.0 висунуто
9	HL4	Помилка/аварія/системне повідомлення
10		Резерв
11		Резерв
12		Резерв
13	+	Напруга живлення +24 В
14		Резерв
15	-	Напруга живлення 0 В

Таблиця А.4 – Призначення сигналів 25-пінового роз'єму мікроконтролерного стенда та з'єднувальної коробки

№ pin	Сигнал	Опис
1	X1	Шток циліндра P1.0 втягнуто
2	XN1	Шток циліндра P1.0 висунуто
3	X2	Шток циліндра P2.0 втягнуто
4	XN2	Шток циліндра P2.0 висунуто
5	X3	Шток циліндра P3.0 втягнуто
6	XN3	Шток циліндра P3.0 висунуто
7	SB1	Пуск
8	SB2	Стоп
9	SA1	Перемикач 1
10	SB3	Перемикач 2
11		Резерв
...		...
22		Резерв
23	+	Напруга живлення +24 В
24		Резерв
25	-	Напруга живлення 0 В

Додаток Б

Зразок оформлення титульної сторінки

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

Кафедра ЕПА

**Лабораторна робота № 1
з дисципліни
«Спеціальні задачі моделювання складних електромеханічних
систем»**

Виконав:
аспірант групи

Іваненко І.І.

Перевірив:
доцент

Петренко П.П.