**4. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ**

**4.1 Загальні відомості про розробку алгоритмів керування**

У сучасних виробничих системах ефективність і надійність роботи значною мірою залежать від якості реалізованих алгоритмів керування. Особливо важливо це для автоматизованих пневматичних і електропневматичних систем, де процеси повинні бути точно скоординовані, а реакція на сигнали – миттєвою. Саме тому питання побудови логіки роботи й перевірки її у віртуальному середовищі перед фізичним запуском має принципове значення. У рамках даного дипломного проєкту створено навчальний стенд на основі пристрою Festo EasyPort D16, що дозволяє на практиці дослідити та реалізувати алгоритми керування за допомогою інтегрованого комплексу програмного забезпечення.

Реалізація алгоритмів відбувається з використанням трьох основних програм: FluidSIM, FST 4.21 та EasyVeep. Кожне з них виконує конкретну функцію у ланцюжку автоматизації: від створення схеми і логіки – до візуального представлення і взаємодії з фізичним середовищем. Такий підхід дозволяє поступово і структуровано будувати систему керування: спочатку у вигляді моделі, потім – у формі робочого алгоритму, і на завершення – у вигляді реального керованого об’єкта. Саме цим пояснюється актуальність вибору програмного забезпечення, яке, працюючи у взаємозв’язку, забезпечує повний цикл - від ідеї до дії [14, 15, 16].

**4.2 Загальна характеристика комплексу програмного забезпечення**

У рамках створення навчального стенду на базі пристрою Festo EasyPort D16 важливу роль відіграє програмне забезпечення, за допомогою якого реалізується логіка керування, відбувається симуляція роботи системи, а також здійснюється тестування поведінки віртуального або фізичного об’єкта. Комплекс програм, який використовується для цих цілей, дозволяє охопити весь цикл: від побудови логічної моделі – до її перевірки та реалізації в дії. Такий підхід забезпечує ефективне навчання студентів основам автоматизації, дозволяючи працювати як з теоретичними моделями, так і з реальним обладнанням.

Для реалізації задачі були задіяні три основні програмні продукти: FluidSIM, FST 4.21 і EasyVeep. Кожне з них має свої особливості, функціональне призначення і місце у структурі реалізації управління.

FluidSIM - це одна з найбільш популярних і функціональних програм для моделювання пневматичних, гідравлічних і електропневматичних систем. Її основне призначення – це створення, візуалізація та аналіз схем автоматизованих технічних систем, зокрема навчального призначення [14].

Основні функції FluidSIM:

* Проектування пневматичних схем: програма містить велику бібліотеку пневматичних компонентів – циліндрів, клапанів, повітророзподільників, кнопок, обмежувачів, сенсорів та ін. Користувач може вільно розміщувати елементи на робочому полі та з’єднувати їх відповідно до логіки схеми.
* Інтерактивна симуляція: дає змогу запускати симуляцію роботи пневмосхеми. Під час симуляції видно, як переміщується повітря, як реагують виконавчі елементи, коли спрацьовують кінцеві вимикачі або перемикаються клапани.
* Електропневматичне моделювання: крім пневматичних схем, FluidSIM дозволяє додавати елементи електричного управління (наприклад, реле, контакти, перемикачі, котушки), що забезпечує повну модель керування.
* Побудова логіки керування: користувач може задати порядок дій за допомогою релейної логіки, контакторів, логічних елементів AND, OR, таймерів, тощо.
* Освітній модуль: програма має вбудовані приклади, анімації та навчальні схеми, що робить її дуже корисною в освітньому процесі.
* Інтеграція з EasyPort: підтримується передача сигналів на реальні входи/виходи через інтерфейс EasyPort, що дозволяє поєднувати симуляцію з фізичними пристроями.

У межах дипломного проєкту FluidSIM використовується як середовище розробки пневматичної частини системи управління, що дозволяє відпрацювати логіку роботи циліндрів до підключення реального обладнання.

FST 4.21 (Festo Simulation Tool) – це програмне забезпечення для розробки програм керування в середовищі візуального програмування. Воно підтримує міжнародний стандарт IEC 61131-3 і дозволяє створювати логіку управління з використанням мови FBD (Function Block Diagram) [22].

Ключові функції FST 4.21:

* Візуальне програмування логіки: користувач створює алгоритм, додаючи блоки контактів, котушок, логічних елементів, таймерів, лічильників та з’єднуючи їх між собою без написання текстового коду.
* Симуляція та відладка: FST 4.21 дозволяє перевіряти створену логіку в симуляційному режимі – без підключення до обладнання. Це дозволяє перевірити коректність роботи алгоритму та логіки послідовностей.
* Інтерфейс з EasyPort: одна з головних переваг – можливість напряму подавати сигнали на Festo EasyPort D16, зчитуючи фізичні входи (датчики, кнопки) та подаючи сигнали на виходи (котушки, світлодіоди, клапани).
* Реалізація автоматичного керування: програма дозволяє реалізувати алгоритм, в якому певна послідовність дій виконується автоматично у відповідь на зміну стану датчиків або натискання кнопок.
* Гнучкість та масштабованість: логіку можна легко змінювати, доповнювати новими блоками, дублювати, тим самим адаптуючи систему під нові завдання.

У рамках дипломного проєкту FST 4.21 є основним середовищем програмування логіки послідовного керування для навчального стенду, забезпечуючи взаємодію між програмним середовищем і реальними пневматичними елементами.

EasyVeep – це симуляційна програма, створена спеціально для навчання основам програмування ПЛК та логіки керування. Вона дозволяє під’єднати логіку з FST або іншої ПЛК-програми до віртуальних моделей промислових об’єктів [16].

Основні функції EasyVeep:

* Віртуальні моделі: програма має бібліотеку готових об'єктів – транспортер, гравітаційний магазин, підйомник, мийка, розлив, прес тощо. Кожна модель реагує на керуючі сигнали та змінює свій стан відповідно до алгоритму.
* Підключення до FST 4.21: EasyVeep отримує сигнали з FST через EasyPort, що дозволяє бачити, як працює створена логіка в дії, навіть без підключення до справжнього пневматичного обладнання.
* Візуальний контроль: всі процеси відображаються у вигляді анімованої моделі, що дає змогу легко і швидко оцінити правильність роботи алгоритму.
* Підтримка зворотного зв'язку: програма також може подавати сигнали назад у FST 4.21 (наприклад, про положення деталі або стан датчика), що дозволяє реалізовувати повноцінний цикл взаємодії.

У нашому проєкті EasyVeep використовується для перевірки правильності побудованого алгоритму без підключення до реального макету, а також для демонстрації логіки роботи у наочній формі.

Загалом, вибір програмного забезпечення залежить від навчальних цілей: для базового вивчення схем – FluidSIM, для моделювання виробничих процесів – FST 4.21, а для практичної роботи з ПЛК - EasyVeep.

Таблиця 4.1

Порівняльна характеристика програмних засобів

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристика | FluidSIM | |  | | --- | |  |  |  | | --- | | FST 4.21 | | EasyVeep |
| Призначення | Моделювання пневматичних, електричних схем | Імітація роботи виробничих систем у вигляді стендів | Навчання основ ПЛК за допомогою простих моделей |
| Тип візуалізації | 2D-схеми компонентів | Графічний інтерфейс з віртуальними стендами | Прості 2D/3D моделі |
| Можливість програмування | Релейна логіка, логічні елементи | FBD (Function Block Diagram) у вбудованому середовищі | Працює зі справжнім ПЛК (через інтерфейс) |
| Види задач | Побудова схем, тестування логіки | Повноцінні моделі: стрічкові конвеєри, маніпулятори | Прості дії: підйомники, мотори, датчики |
| Переваги | Велика бібліотека елементів, простота | Моделює повноцінні виробничі процеси | Доступність, зрозумілий інтерфейс |
| Недоліки | Немає 3D-моделей, обмеження у логіці | Старий інтерфейс, мало гнучкості | Низька деталізація, прості задачі |

Порівняння програмних засобів FluidSIM, FST 4.21 та EasyVeep показало, що кожне середовище має свої сильні та слабкі сторони й орієнтоване на різні аспекти навчання та моделювання автоматизованих систем.

FluidSIM є зручним інструментом для початкового вивчення пневматичних та електричних схем завдяки простому інтерфейсу та великій бібліотеці елементів, хоча й має обмеження у візуалізації та логічному моделюванні [14].

FST 4.21 дозволяє моделювати повноцінні виробничі процеси, зокрема стрічкові конвеєри та маніпулятори, але має застарілий інтерфейс і менш гнучкі налаштування [22].

EasyVeep – доступний і зрозумілий інструмент для навчання основ ПЛК через прості інтерактивні моделі, хоча його функціональність обмежується лише базовими задачами та має низький рівень деталізації [16].

У результаті порівняння програм FluidSIM, FST 4.21 та EasyVeep можна зробити висновок, що кожна з них має свої переваги та призначення залежно від рівня підготовки користувача та навчальної мети. У комплексі ці програмні засоби доповнюють одне одного та забезпечують ефективне поетапне вивчення автоматизації.

**4.3 Задача для навчального стенду в програмному забезпеченні FluidSIM**

У рамках дипломного проєкту для вивчення принципів автоматизації пневматичних систем було обрано задачу, пов’язану з керуванням гравітаційним магазином.

Гравітаційний магазин – це простий, але ефективний приклад промислового механізму, у якому деталі переміщуються під дією сили тяжіння. Завдяки цьому він не потребує складного механічного транспортування, однак вимагає точної та послідовної логіки керування подачею і обробкою деталей.

Суть роботи гравітаційного магазину (рис. 4.1) полягає в тому, щоб подавати одну деталь у зону обробки або відвантаження у визначеній послідовності, керуючи пневматичними циліндрами та враховуючи сигнали з датчиків. Такий процес широко використовується в автоматизованих виробничих лініях, де потрібно точно дозувати або подавати окремі елементи для подальшої обробки.

Изображение выглядит как зарисовка, диаграмма, рисунок, Технический чертеж

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.1. Гравітаційний магазин

Позначення на рисунку 4.1:

1 (А) – привод подачі деталі;

2 (В) – привод відвантаження деталей;

3 – гравітаційний магазин;

4 – деталь;

5 – позиція відвантаження;

6 – лоток;

7 – коробка.

Задача полягає у тому, що деталі зберігаються у гравітаційному магазині (3), з якого вони під власною вагою потрапляють до зони подачі. Привод подачі деталей (1, A) активується та пересуває першу деталь до позиції відвантаження (5). Після досягнення потрібної позиції, привод зупиняється, а деталь утримується у фіксованому положенні. Далі активується привод відвантаження деталей (2, B), який переміщує деталь у напрямку лотка (6). Після переміщення деталь скочується по лотку (6) у коробку (7) для збирання готових виробів. Після завершення циклу приводи (1 і 2) повертаються у вихідне положення, і система готова до обробки наступної деталі. Процес повторюється автоматично або за командою оператора, забезпечуючи послідовне подавання й відвантаження кожної деталі з гравітаційного магазину за допомогою приводів (рис. 4.2).

Для побудови та тестування цієї задачі було використано програмне забезпечення FluidSIM, яке дозволяє змоделювати як пневматичні компоненти, так і логіку керування, і тим самим підготувати основу для переходу до реального стенду з використанням Festo EasyPort D16 [2].

Ця задача добре підходить для демонстрації принципів автоматизації. Вона дозволяє наочно відпрацювати керування пневматичними приводами, взаємодію сенсорів і виконавчих механізмів, а також реалізацію циклічного алгоритму роботи системи. Модель є типовим прикладом для навчального стенду і допомагає зрозуміти основи логіки автоматизованих процесів.

**Изображение выглядит как текст, диаграмма, План, Технический чертеж

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.**

Рис. 4.2.Система приводів гравітаційного магазину

1. Привід подачі деталі (циліндр A):

Цей привід реалізує поступальний рух циліндра для подачі деталі до наступного етапу обробки або транспортування.

* Розподільник: 5/2 з електрокеруванням (котушки Y1 та Y2).
* Датчики положення: SQ1 (кінцеве переднє положення), SQ2 (кінцеве заднє положення).
* Позначення:

A+ – подача циліндра вперед (вмикається котушка Y1).

A- – повернення циліндра назад (вмикається котушка Y2).

2. Привід відвантаження деталі (циліндр B):

Цей привід відповідає за переміщення деталі по лотку до коробки.

* Розподільник: 5/2 з електрокеруванням і пружинним поверненням (котушка Y3).
* Датчики положення: SQ3 (кінцеве переднє положення), SQ4 (кінцеве заднє положення).
* Позначення:

B+ – подача циліндра вперед (вмикається котушка Y3).

B- – автоматичне повернення назад під дією пружини (після знеживлення котушки Y3).

Функціональна логіка:

* Система працює циклічно: спочатку активується привід A+, який подає деталь. Після досягнення кінцевого положення (датчик SQ1), виконується команда на A−, і циліндр повертається у вихідне положення.
* Потім активується привід B+, який здійснює відвантаження деталі. Після завершення ходу (датчик SQ3), котушка знеживлюється, і циліндр повертається у вихідне положення автоматично (за допомогою пружини).

Переваги такої системи:

* простота реалізації та обслуговування;
* надійна робота за рахунок контролю положення циліндрів;
* можливість легкої інтеграції з ПЛК (через датчики та електромагніти);
* гнучкість у налаштуванні послідовності рухів.

У сучасних автоматизованих системах управління ключову роль відіграє правильне проєктування схеми підключення вхідних (рис. 4.3) та вихідних (рис. 4.4) сигналів програмованого логічного контролера (ПЛК). Від цього залежить ефективність керування виконавчими механізмами, своєчасна індикація станів та забезпечення безпечної роботи обладнання.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, число, Шрифт

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.3. Таблиця вхідних сигналів ПЛК

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, число, Шрифт

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.4. Таблиця вихідних сигналів ПЛК

У входів ПЛК передбачено контроль положення приводів та наявності деталі (рис. 4.4), а також інтеграцію з органами ручного керування, такими як кнопки START, STOP, RESET та перемикач режимів MODE (рис. 4.5).

Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, число

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.4. Контроль положення приводів та контроль наявності деталі входів на ПЛК

Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, Параллельный

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.5. Органи керування гравітаційним магазином входів на ПЛК

1. Контроль положення приводів (Inputs I0–I3):

Цей блок відповідає за моніторинг положення пневматичних циліндрів:

* I0 (SQ1 – A0): циліндр A у вихідному (задньому) положенні.
* I1 (SQ2 – A1): циліндр A у висунутому (передньому) положенні.
* I2 (SQ3 – B0): циліндр B у вихідному положенні.
* I3 (SQ4 – B1): циліндр B у висунутому положенні.

Ці датчики (кінцеві вимикачі) дозволяють точно відстежувати стан кожного приводу.

2. Контроль наявності деталі (Inputs I4–I5):

* I4 (SQ5 – DET\_1): деталь прибуває до точки обробки.
* I5 (SQ6 – DET\_2): деталь переведена на наступний етап.

Ці сигнали потрібні для прийняття рішень в автоматичному режимі -наприклад, коли почати цикл або перемістити деталь далі.

3. Органи керування (Inputs I6–I9):

Це кнопки та перемикачі, які дозволяють оператору взаємодіяти з системою:

* I6 (SB1 – START): кнопка запуску.
* I7 (SB2 – STOP): кнопка зупинки (нормально замкнена – NC).
* I8 (SB3 – RESET): кнопка скидання системи.
* I9 (SA1 – MODE): перемикач режимів (ручний/автоматичний).

Принцип дії схеми:

* Усі датчики та кнопки підключені до ПЛК через дискретні входи.
* Напруга живлення – +24V, загальний провід – 0V.
* Коли контакт спрацьовує, на відповідний вхід ПЛК подається логічна "1".

У електричній схемі виходів передбачено керування приводами і індікацію та сигналізацію (рис. 4.6). Кожен з елементів підключений до відповідного виходу ПЛК, що забезпечує гнучкість і масштабованість системи.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.6. Керування приводами і індикація та сигналізація виходів на ПЛК

1. Управління приводами (Outputs Q0–Q2):

* Q0 (Y1 – A\_PLUS): команда на піднімання підйомного циліндра A.
* Q1 (Y2 – A\_MINUS): команда на опускання підйомного циліндра A до початкового положення.
* Q2 (Y3 – B\_P\_M): команда на висування упорного (тягового) циліндра B.

1. Індикація та сигналізація (Outputs Q3–Q6):

* Q3 (HL1 – Start Light): лампа сигналізації початку циклу.
* Q4 (HL2 – Reset Light): лампа сигналізації «стоп».
* Q5 (HL3 – Q1 Lamp): індикація стану виходу Q1 (лампа «Q1»).
* Q6 (HL4 – Q2 Lamp): індикація стану виходу Q2 (лампа «Q2»).
* Живлення виходів здійснюється від +24 V та 0 V.
* Виконавчі клапани Y1–Y3 керують роботою циліндрів, а світлові індикатори HL1–HL4 забезпечують візуальну інформацію про стан системи.

Такий розподіл виходів ПЛК дозволяє чітко розділити блоки управління та індикації, забезпечуючи легке масштабування системи при підключенні додаткових приводів чи ламп.

У сучасних автоматизованих системах важливою складовою є можливість перемикання між різними режимами роботи, такими як ручний, автоматичний та режим очікування. Це дозволяє адаптувати систему до різних виробничих умов, забезпечити гнучкість управління, а також підвищити безпеку та зручність обслуговування.

Для реалізації такої функціональності у програмованих логічних контролерах (ПЛК) використовуються спеціальні логічні схеми, що забезпечують обробку сигналів з кнопок керування, перемикачів режимів та елементів індикації. В основі таких схем лежить принцип релейно-контактної логіки, яку зручно реалізовувати за допомогою мови програмування LD (Ladder Diagram).

Саме така схема вибору режимів роботи дозволяє оператору керувати процесом у відповідності до заданих вимог, з можливістю запуску, зупинки, а також перемикання між ручним та автоматичним управлінням (рис. 4.7). Це є невід'ємною частиною проєктування навчального стенду, орієнтованого на вивчення основ автоматизації.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, дисплей, число

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.7. Перший модуль вибору режимів роботи на електричній схемі

* У першій гілці схеми реалізовано логіку керування запуском і зупинкою. Контакт STOP (I7) забезпечує можливість штатної зупинки системи. Контакт START (I6) подає команду на запуск системи. Самоблокування (фіксація) реалізується за допомогою допоміжного контакту START (адреса 25-26), який дозволяє утримувати сигнал навіть після відпускання кнопки. Котушка START активується після натискання кнопки пуску, подаючи живлення на наступні елементи схеми.
* У другій гілці відбувається вибір ручного режиму роботи (Manual mode). Коли активується вхід I9 (наприклад, за допомогою перемикача), спрацьовує вихідна котушка MM, що вказує на вибір ручного режиму.
* У третій гілці передбачено вибір автоматичного режиму (Automatic mode). Тут також використовується вхід I9, але через нормально замкнутий контакт (NC). Коли перемикач режиму вимкнений (тобто логічний нуль на вході I9), активується котушка AM, яка сигналізує про вибір автоматичного керування.

Для візуального контролю передбачено індикацію стану: світлові індикатори, підключені до виходів START, MM і AM, дозволяють оператору бачити поточний режим роботи системи. Індикатор Operating mode показує, що система активна, Manual mode – що обрано ручний режим, а Automatic mode - що активовано автоматичне керування.

Такий підхід дозволяє реалізувати гнучке й безпечне перемикання між режимами, що є важливою функцією як у навчальних стендах, так і в промислових автоматизованих системах.

У другому модулі реалізовано логіку автоматичного управління пневматичними циліндрами за допомогою програмованого логічного контролера (рис. 4.8). Даний фрагмент відповідає за послідовність переміщень підйомного та упорного циліндрів у автоматичному режимі.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.8. Другий модуль автоматичне управління пневматичними циліндрами на електричній схемі

На основі сигналів від кінцевих датчиків DET\_1 та DET\_2 контролер визначає положення виконавчих механізмів. При виконанні заданих умов (задіяні контакти I4, I0, I2), активується вихід Q0, що відповідає за піднімання циліндра A у переднє положення (A+). Наступна гілка активує вихід Q1 для повернення циліндра A у початкове положення (A–), коли спрацюють відповідні вхідні сигнали (I5, I1, I2). Остання лінія схеми активує вихід Q2 для висування упорного циліндра B (B+/-) при певному наборі умов, включно з зворотним контактом I3, який виконує функцію блокування.

Таке програмне рішення дозволяє забезпечити чітку логіку роботи виконавчих елементів, контроль послідовності операцій, а також підвищити безпечність та надійність автоматизованої системи управління. Цей модуль є частиною комплексної програми, яка використовується в навчальному стенді для ознайомлення студентів із принципами промислової автоматизації.

У третьому модулі реалізовано логіку індикації та сигналізації в автоматизованій системі на основі програмованого логічного контролера (рис. 4.9). Даний фрагмент призначений для керування сигнальними лампами, які інформують про стан системи.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.9. Третій модуль індикація та сигналізація на електричній схемі

На схемі зображено три окремі гілки логіки:

* Перша гілка відповідає за увімкнення лампи «Initial position Lamp» (Q3). Вона активується після натискання кнопки START (вхід I6), за умови наявності сигналу від STOP (I0), I2 і активності стартового світла. Також у колі присутній самотримач – контакт Q3 паралельно кнопці START, що дозволяє зберігати стан навіть після відпускання кнопки.
* Друга гілка керує увімкненням лампи Q1 Lamp (вихід Q5), яка засвічується при спрацюванні датчика DET\_1 (вхід I4). Це може слугувати сигналом про досягнення певного положення або виконання операції виконавчим механізмом.
* Третя гілка відповідає за активацію лампи Q2 Lamp (вихід Q6) після спрацювання датчика DET\_2 (вхід I5), аналогічно попередній гілці.

Таке програмне рішення дозволяє наочно відстежувати стан окремих вузлів системи, оперативно визначати початкове положення, а також контролювати виконання дій за допомогою світлової індикації. Це суттєво підвищує зручність обслуговування, безпеку та ефективність навчального процесу. Модуль є частиною комплексної програми, яка застосовується в навчальному середовищі для засвоєння принципів роботи промислової автоматики.

Функціональна діаграма роботи пневматичних циліндрів A і B в автоматичному режимі показує послідовність переміщень виконавчих механізмів, яка реалізується за допомогою програмованого логічного контролера (ПЛК) на основі заданого логічного алгоритму (рис. 4.10).

Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, График

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.10. Функціональна діаграма роботи пневматичних циліндрів A і B в автоматичному режимі

Цикл роботи системи починається після натискання кнопки START, за умови активного режиму та початкових положень циліндрів (A0 і B0), а також наявності сигналу від датчика DET\_1. Логічна умова запуску виглядає наступним чином: START \* MODE \* DET\_1 \* A0 \* B0.

У першому етапі циліндр A висувається - переміщується з положення A0 до A1. Після досягнення кінцевої точки починається другий етап –циліндр A повертається назад у початкове положення (A-), а циліндр B висувається (B+). Для цього необхідні умови: спрацював датчик DET\_2, циліндр A знаходиться в A1, а циліндр B – у B0.

У третьому етапі після досягнення циліндром B кінцевої позиції B1, він повертається назад у положення B0 (B-). Це завершує цикл, і система може знову повернутись до першого етапу, якщо умови залишаються незмінними.

Ця діаграма дозволяє візуально простежити чітку послідовність дій виконавчих елементів. Вона слугує важливим етапом під час розробки логіки програми в ПЛК та використовується як навчальний матеріал для формування практичних навичок у сфері промислової автоматизації.

Пульт керування (рис. 4.11) є основним інтерфейсом оператора з автоматизованою системою. Його використання дозволяє:

* Запускати або зупиняти процес;
* Відновлювати роботу після збоїв;
* Перемикати режим функціонування.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, круг, Шрифт

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.11. Пульт керування гравітаційним магазином

1. Кнопка "START":

* Колір: зелений.
* Призначення: включення обладнання.
* Позначення на схемі: SB1, вхід I6 на ПЛК.
* Функція: надсилає команду на початок роботи системи.

2. Кнопка "STOP":

* Колір: червоний.
* Призначення: зупинка процесу.
* Позначення на схемі: SB2, вхід I7 на ПЛК.
* Функція: зупиняє обладнання.

3. Кнопка "RESET":

* Колір: сірий.
* Призначення: скидання системи після помилки та завершення циклу.
* Позначення на схемі: SB3, вхід I8 на ПЛК.
* Функція: повертає систему у вихідний стан, готує до нового запуску.

4. Кнопка/перемикач "MODE":

* Колір: бірюзовий.
* Призначення: перемикання між автоматичним і ручним режимами роботи.
* Позначення на схемі: SA1, вхід I9 на ПЛК.
* Функція: дозволяє оператору обрати тип керування – ручне або автоматичне.

Розроблена модель у середовищі FluidSIM дала змогу відпрацювати логіку керування гравітаційним магазином у безпечному віртуальному середовищі, що є важливим етапом перед впровадженням системи на реальному обладнанні. У ході симуляції були перевірені умови спрацювання циліндрів залежно від сигналів датчиків, а також реалізовано базовий алгоритм керування подачею деталей. Такий підхід забезпечує не лише розуміння принципів роботи пневматичних систем, але й дозволяє майбутнім фахівцям автоматизації набувати практичних навичок побудови логічних схем керування з урахуванням реальних виробничих умов.

**4.4 Задача для навчального стенду в програмному забезпеченні FST та EasyVeep**

Для моделювання та візуалізації процесів автоматизованого керування в рамках дипломного проєкту було використано середовище EasyVeep у поєднанні з системою програмування логіки Festo FST 4.21. Таке поєднання дає змогу розробляти, перевіряти та налагоджувати логіку керування на віртуальному об'єкті до її реалізації на реальному обладнанні.

У рамках поставленого завдання була обрана модель, що імітує реальний промисловий процес транспортування об'єкта за допомогою пневматичних приводів. У візуальній моделі EasyVeep використано два пневмоциліндри та один кубик, що виконує роль умовного виробу (рис. 4.12). Завдання полягає в поетапному переміщенні кубика за допомогою узгоджених дій виконавчих механізмів.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, программное обеспечение, диаграмма

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.12. Задача з транспортуванням куба за допомогою пневмоциліндрів у середовищі EasyVeep

Послідовність дій у моделі:

1. Кубик падає на платформу перед першим пневмоциліндром.
2. Після фіксації кубика сенсором активується перший циліндр, який піднімає кубик у вертикальному напрямку.
3. У верхній точці спрацьовує сенсор положення, що дає сигнал на активацію другого циліндра.
4. Другий циліндр штовхає кубик ліворуч на наступну ділянку.
5. Після завершення переміщення обидва циліндри повертаються у вихідне положення, і система готова до наступного циклу.

Для реалізації логіки керування у середовищі FST 4.21 було створено таблицю відповідності входів та виходів, яка дозволяє чітко ідентифікувати функціональне призначення кожного елемента системи. У таблиці наведено відповідність адресами, символічними позначеннями та коментарями, що описують призначення кожного сигналу (рис. 4.13).

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, программное обеспечение, число

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.13. Відповідність входів та виходів у середовищі FST 4.21

На основі розробленої таблиці сигналів реалізовано логічну схему керування (LAD), яка містить покрокову послідовність дій системи підйому та переміщення кубика (рис. 4.14).

У FST 4.21 було створено програму керування цією задачею. Програмна логіка базується на послідовному спрацюванні умов, отриманих від сенсорів положення циліндрів і розміщення кубика [22]. Використовуються логічні блоки для керування, що відповідають за переміщення пневмоциліндрів (рис. 4.15).

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, дисплей, программное обеспечение

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.14. Логічна схема керування запуску, зупинки програми, підйому кубика та переміщення кубика вліво в FST 4.21

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 4.15. Логічна схема повернення підйомного та скидання штовхаючого циліндра, візуалізації прибуття вантажу та візуалізація піднятого вантажу в FST 4.21

Лінія 0001 – запуск програми:

* Умова: кнопка запуску SB1 натиснута.
* Дія: установлюється тригер на змінну START (фіксація стану запуску), а також вмикається індикатор HL1 (лампа початкової позиції).

Лінія 0002 – зупинка програми:

* Умова: кнопка зупинки SB2 (нормально замкнута) відпущена (тобто ланцюг розмикається).
* Дія: скидання змінної START і вимкнення індикатора HL1 (система повертається у початковий стан).

Лінія 0003 – підйом кубика:

* Умова: активна змінна START, підйомний циліндр у нижньому положенні (A0), штовхаючий циліндр також у вихідній позиції (B0), і кубик присутній на платформі (Pi\_0).
* Дія: активується вихід A\_plus - підйомний циліндр піднімає кубик угору.

Лінія 0004 – переміщення кубика вліво:

* Умова: сигнал START активний, підйомний циліндр піднятий (A1), штовхаючий у вихідній позиції (B0), і кубик піднято (Pi\_1).
* Дія: активується вихід B\_p\_m - штовхаючий циліндр висувається і переміщує кубик ліворуч.

Лінія 0005 – повернення підйомного циліндра та скидання штовхаючого:

* Умова: активна змінна START, підйомний циліндр у верхньому положенні (A1), а штовхаючий циліндр витягнутий (B1).
* Дія:
  + Активується вихід A\_minus — підйомний циліндр опускається вниз у початкову позицію.
  + Одночасно скидається сигнал B\_p\_m, тобто штовхаючий циліндр повертається назад.

Цей крок завершує механічну операцію переміщення вантажу та повертає виконавчі механізми в початковий стан.

Лінія 0006 – візуалізація прибуття вантажу:

* Умова: спрацьовує датчик Pi\_0, що сигналізує про прибуття нового вантажу.
* Дія: вмикається лампа Q1, яка слугує візуальним індикатором присутності вантажу на стартовій платформі.

Лінія 0007 – візуалізація піднятого вантажу:

* Умова: спрацьовує датчик Pi\_1, який фіксує, що вантаж піднято.
* Дія: вмикається лампа Q2, яка сигналізує, що вантаж знаходиться у піднятому стані.

Таким чином, створена LD-програма реалізує повноцінний автоматичний цикл роботи пневматичної установки:

1. Кнопка SB1 запускає цикл.
2. Виявлення вантажу → підйом → переміщення.
3. Повернення всіх механізмів у початкові позиції.
4. Візуальна індикація станів системи за допомогою ламп Q1, Q2, HL1.

Загальна логіка послідовності:

1. Після натискання кнопки SB1 активується режим START, вмикається лампа HL1.
2. Система очікує кубик на початковій платформі. Якщо підйомний циліндр внизу, штовхаючий у вихідній позиції, і є кубик – відбувається підйом.
3. Коли підйом завершено (спрацьовує A1 і Pi\_1), включається штовхаючий механізм.
4. Після завершення циклу логіка переходить у наступний етап (його можна побачити на наступних сторінках програми або схемах скидання та повернення).

EasyVeep дозволяє перевірити правильність побудованої логіки керування завдяки анімованій 3D-моделі, де видно фізичний рух об'єктів. Це дає змогу швидко виявляти помилки в логіці програми та покращити її без необхідності підключення до реального обладнання [16].

Реалізація цієї задачі сприяє розвитку навичок роботи з пневматичними приводами, сенсорами та логічним керуванням у середовищах моделювання. Завдяки візуалізації в EasyVeep і програмному керуванню в FST 4.21 користувач отримує повне уявлення про алгоритм роботи системи, її поведінку в реальному часі та можливість повторюваного відпрацювання різних сценаріїв.

Таким чином, розроблена модель у EasyVeep у поєднанні з FST 4.21 дає можливість ефективно відпрацьовувати навички побудови алгоритмів керування пневматичними системами, а також перевіряти логіку взаємодії елементів у віртуальному середовищі, що максимально наближене до реального.

**Висновок:**

У четвертому розділі було реалізовано програмну частину алгоритмів керування виконавчими механізмами навчального стенду з використанням середовищ FluidSIM, FST 4.21 та EasyVeep. Було охарактеризовано комплекс програмного забезпечення, який дає змогу моделювати та тестувати логіку керування віртуально, без залучення реального обладнання. Це дозволяє студентам закріпити знання з програмування автоматизованих систем і краще зрозуміти принципи роботи промислових контролерів.

У середовищі FluidSIM створено пневматичну схему, яка включає пневмоциліндри, датчики положення, кнопки керування та інші елементи. На основі цієї схеми було реалізовано алгоритм автоматичного переміщення підйомного та упорного циліндрів відповідно до сигналів від датчиків. Такий підхід дозволив перевірити послідовність роботи системи та впевнитися в правильності реалізованої логіки.

У FST 4.21 було розроблено логічну схему керування, яка потім візуалізувалась у програмі EasyVeep. Це дало змогу відслідковувати роботу системи в режимі реального часу на віртуальній моделі. Робота в цих середовищах дозволила не лише реалізувати алгоритм, а й протестувати його в умовах, максимально наближених до роботи з реальним обладнанням.

Загалом виконання цього етапу показало ефективність застосування програмного забезпечення FluidSIM, FST 4.21 та EasyVeep у процесі навчання, а також дозволило закріпити навички побудови алгоритмів керування й перевірки їх роботи в інтерактивному середовищі.