**2. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СТЕНДУ**

**2.1 Загальні положення щодо апаратної частини стенду**

Розробка апаратної частини є одним із ключових етапів створення функціонального навчального стенду для вивчення основ автоматизованого керування. Апаратна частина виконує роль матеріального середовища, через яке реалізуються алгоритми управління, побудовані у програмному забезпеченні, та забезпечується взаємодія користувача з усією системою. Саме тому до цього етапу ставляться високі вимоги щодо надійності, безпеки, структурованості, сумісності та простоти експлуатації.

Основною метою побудови апаратної частини стенду є створення електромонтажної системи, яка дає змогу реалізувати керування виконавчими механізмами, фіксувати стан об'єктів керування, здійснювати індикацію процесів, забезпечувати захист елементів живлення та сигналізації.

Навчальний стенд повинен бути побудований так, щоб студенти могли не лише спостерігати за процесом роботи системи, а й безпечно взаємодіяти з нею, перевіряти працездатність окремих елементів, виконувати підключення, шукати помилки, тестувати різні сценарії поведінки та відпрацьовувати навички налаштування автоматизованих систем.

Під час проєктування апаратної частини особливу увагу приділяється таким аспектам:

* Функціональній повноті - забезпечення всіх необхідних входів/виходів для взаємодії з програмною логікою;
* Електробезпеці - наявності засобів захисту від перевантажень, коротких замикань, помилкових підключень;
* Уніфікації та стандартизації - застосування поширених типів клем, реле, елементів кріплення, що спрощує обслуговування;
* Естетичному та технічному оформленню - впорядковане розташування елементів, чітке маркування з’єднань, легкий доступ до вузлів.

Для реалізації функцій автоматизованого керування в навчальному стенді було використано низку апаратних елементів, які забезпечують прийом, обробку та передачу сигналів, а також безпечне перемикання електричних ланцюгів.

У цьому розділі детально описано компонування апаратної частини стенду, розглянуто функціональні можливості основних його елементів. Це дозволяє оцінити, наскільки правильно реалізована апаратна база, яка відповідає вимогам до навчальних стендів у галузі автоматизації та електропневматичних систем.

**2.2 Опис основних апаратних компонентів стенду**

Інтерфейсний модуль FESTO EasyPort D16 є одним із ключових компонентів навчального стенду, що забезпечує зв’язок між комп’ютером та об’єктом керування через універсальний інтерфейс USB. Цей пристрій спеціально розроблений компанією Festo Didactic для потреб освіти, тестування та моделювання логіки керування автоматизованими системами [2]. Завдяки широким функціональним можливостям та простоті використання EasyPort D16 (рис. 2.1) став незамінним засобом для реалізації практичних завдань у навчальному процесі.

Изображение выглядит как электроника, Электронный компонент, Компонент схемы, Электронная техника

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 2.1. FESTO EasyPort D16 у розібраному вигляді

EasyPort D16 виступає у ролі цифрового порту введення/виведення, що дозволяє комп’ютеру отримувати сигнали від фізичних пристроїв (наприклад, кнопок, сенсорів, перемикачів) та передавати сигнали на виконавчі механізми (наприклад, реле, лампочки, пневматичні клапани тощо). Це відкриває широкі можливості для побудови повноцінних автоматизованих систем без потреби у промислових ПЛК - достатньо лише ПК, програмного середовища (наприклад, EasyVeep, FluidSIM або FST 4.21) та EasyPort [16, 22].

Основні технічні характеристики EasyPort D16:

* Кількість каналів: 16 (8 цифрових входів та 8 цифрових виходів);
* Тип виходів: транзисторні (PNP), дозволяють комутувати навантаження 24 В;
* Тип входів: сумісні з логічним рівнем 24 В постійного струму;
* Інтерфейс підключення: USB (живлення також здійснюється через USB);
* Індикатори стану: світлодіоди на кожному вході та виході для зручного моніторингу роботи;
* Можливість прямого підключення виконавчих пристроїв без використання додаткових компонентів;
* Просте встановлення драйверів та сумісність з більшістю навчального ПЗ.

Модуль EasyPort D16 відіграє центральну роль у забезпеченні двостороннього зв’язку між фізичним рівнем стенду та програмним забезпеченням. Завдяки ньому можлива реалізація принципу "людина-машина", коли студент у реальному часі бачить результати своєї програми на фізичних об’єктах. Наприклад, при натисканні кнопки на макеті, через EasyPort сигнал потрапляє до ПЗ, де виконується логіка, яка, в свою чергу, активує реле або світлодіод через вихідний порт того ж EasyPort.

Окрім освітнього застосування, EasyPort D16 активно використовується у лабораторних експериментах, зокрема в процесах:

* налагодження та тестування логіки автоматичного керування;
* моделювання поведінки систем;
* вивчення основ цифрової електроніки та ПЛК-логіки.

Переваги використання EasyPort D16 у навчальному процесі:

* Простота: не потребує складного конфігурування або програмування мікроконтролерів;
* Гнучкість: легко інтегрується у різні навчальні платформи;
* Наглядність: наявність LED-індикації дозволяє бачити усі сигнали прямо на корпусі;
* Безпечність: працює на безпечній напрузі 24 В постійного струму, що є стандартом в навчальних лабораторіях.

Таким чином, FESTO EasyPort D16 не лише спрощує підключення та взаємодію елементів стенду, а й суттєво підвищує ефективність навчання, дозволяючи студентам закріпити теоретичні знання через практичну взаємодію з реальним обладнанням.

Програмований логічний контролер FESTO FEC Compact FC34 є основним обчислювальним пристроєм у складі навчального стенду. Він забезпечує виконання логіки автоматизованого керування, реагуючи на сигнали з входів і формуючи відповідні сигнали на виходах. Цей ПЛК спеціально розроблений для невеликих систем автоматизації, навчальних цілей, лабораторних макетів та стендів з модульною структурою.

Окрім стандартних функцій логічного керування, FESTO FEC Compact FC34 підтримує підключення до різноманітних цифрових і аналогових датчиків та виконавчих пристроїв. Контролер має вбудовані входи/виходи, а також можливість розширення за допомогою модулів, що робить його гнучким у налаштуванні під конкретні задачі.

Контролер FESTO FEC Compact FC34 (рис. 2.2) підтримує роботу в реальному часі, що дозволяє реалізовувати алгоритми керування різної складності – від простих логічних операцій до послідовних автоматів.

Изображение выглядит как электроника, текст, Электронная техника, машина

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 2.2. Програмований логічний контролер FESTO FEC Compact FC34

Основні технічні характеристики FESTO FEC Compact FC34:

Входи/виходи:

* + 16 цифрових входів (24 В DC);
  + 16 цифрових виходів (24 В DC, транзисторні);

Інтерфейси:

* + USB для програмування та налагодження;
  + Порт розширення для підключення додаткових модулів (аналогових або цифрових);
* Пам’ять програми: EEPROM, яка зберігає дані після вимкнення живлення;
* Мова програмування: FST (Festo SoftWare Tool), а також підтримка структурованої логіки;
* Живлення: 24 В постійного струму;
* Монтаж: DIN-рейка, компактний корпус;
* Сумісність: з модулями Festo CPX, EasyPort, пневматичними елементами та ін.

Контролер виконує всі необхідні функції для реалізації логіки керування - зчитує сигнали з датчиків, обробляє їх за заданою програмою, керує виконавчими механізмами (контакторами, реле, індикаторами тощо). У поєднанні з модулем EasyPort D16 або безпосередньо з кнопками та сенсорами, FEC FC34 дає змогу реалізувати автономну роботу системи без участі комп’ютера.

Для реалізації зв’язку між контролером FESTO FEC Compact FC34 та інтерфейсом EasyPort D16 використовується послідовність з’єднань через комп’ютер або ноутбук (рис. 2.3), який виступає центральною керуючою ланкою під час налаштування та тестування системи.

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

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 2.3. Підключення FESTO FEC Compact FC34 та FESTO EasyPort D16 до ноутбуку

Контролер FC34 підключається до ноутбука через USB-інтерфейс або Ethernet-порт, залежно від конфігурації. Це дозволяє здійснювати завантаження програми керування, моніторинг стану вхідних/вихідних сигналів (рис. 2.4), а також діагностику в реальному часі.

Після цього EasyPort D16 під’єднується до ноутбука через USB і працює як модуль введення/виведення, що передає фізичні сигнали від/до пневматичних циліндрів, датчиків та індикаторів. Завдяки сумісності обох пристроїв з програмним забезпеченням Festo FST 4.21 або середовищем EasyVeep, забезпечується коректна взаємодія між апаратною та програмною частинами [16, 22].

У такій конфігурації FEC Compact FC34 відповідає за логіку керування, а EasyPort D16 - за комутацію фізичних сигналів, створюючи повноцінну інтерактивну систему для відпрацювання автоматизованих алгоритмів у навчальних цілях.

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

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 2.4. Схема розташування портів входів/виходів контролера FEC Compact FC34 та модуля EasyPort D16

У навчальному стенді контролер застосовується для реалізації сценаріїв керування послідовністю подій, перевірки станів, активації реле та ламп у відповідь на натискання кнопок чи надходження сигналів з сенсорів.

Також контролер FEC Compact FC34 використовується для:

* імітації промислової логіки ПЛК;
* формування сигналів на виконавчі пристрої;
* обробки дискретних подій;
* навчання базовим принципам побудови схем автоматизації.

Переваги використання FESTO FEC Compact FC34:

* Компактність: займає мінімум місця, зручно монтується на DIN-рейку;
* Гнучкість: підтримує різні варіанти розширення (входи/виходи, аналогові сигнали);
* Простота програмування: інтуїтивне середовище FST та зрозуміла логіка написання програм;
* Надійність: стабільна робота в умовах навчального навантаження;
* Інтеграція: сумісний з іншими пристроями FESTO та промисловими системами.

Таким чином, FEC Compact FC34 є мозковим центром навчального стенду, що дозволяє студентам працювати з реальними алгоритмами керування, формувати логічне мислення, набувати навичок конфігурації, тестування та налагодження автоматизованих систем.

**2.3 Основні елементи керування та з’єднання в апаратній частині стенду**

У структурі апаратної частини навчального стенду важливу роль відіграють елементи керування, з’єднання та проміжні пристрої, що забезпечують надійне комутаційне середовище між ПЛК, виконавчими механізмами та елементами інтерфейсу.

Relpol RM84 - це універсальне електромагнітне реле загального призначення. Relpol RM84 (рис. 2.5) широко використовується в автоматизованих системах управління завдяки своїм компактним розмірам, надійності та довготривалій експлуатації.

Изображение выглядит как текст, дизайн

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 2.5. Електромагнітне реле Relpol RM84

Основні характеристики Relpol RM84:

* Тип контактів: 2 перемикаючих (2CO);
* Номінальний струм: до 8 А;
* Напруга котушки: 12V або 24V DC (залежно від модифікації);
* Механічна витривалість: до 10 мільйонів циклів;
* Прозорий корпус дозволяє легко проводити візуальний контроль роботи;
* Монтується на відповідну колодку (наприклад, GZM80).

Це реле використовується для проміжного керування силовими або сигнальними ланцюгами стенду, забезпечуючи гальванічну розв’язку між ПЛК і виконавчими пристроями.

Колодка GZM80 призначена для встановлення реле типу RM84 і забезпечує надійний контакт, швидке підключення/відключення реле та зручний монтаж на DIN-рейку.

Завдяки конструкції колодки GZM80 (рис. 2.6) забезпечується не лише електричний контакт, а й механічна фіксація реле, що підвищує надійність роботи всієї системи. Колодка має чітке маркування клем, що спрощує підключення згідно зі схемами, знижує ймовірність помилок під час монтажу та полегшує обслуговування. Крім того, вона підтримує встановлення перемичок між контактами, що дає змогу створювати типові з’єднання без потреби у додаткових провідниках, підвищуючи акуратність і швидкість збирання електричних схем у навчальному стенді.



Рис. 2.6. Колодка GZM80

Особливості колодки GZM80:

* Тип монтажу: DIN-рейка;
* Матеріал корпусу: термостійкий пластик;
* Можливість підключення перемичок (для паралельного з’єднання);
* Гвинтові або пружинні затискачі (залежно від версії).

Застосування таких колодок значно пришвидшує монтаж та обслуговування релейних схем у навчальному стенді.

Модуль M91G - це допоміжний монтажний елемент, який використовується для фіксації реле або інших модульних компонентів на DIN-рейці. Призначення модулю M91G полягає у спрощенні компонування та фіксації вузлів у межах обмеженого простору щита.

Модуль M91G дозволяє легко компонувати обладнання, забезпечуючи рівномірне та безпечне розміщення елементів. Завдяки своїй універсальній конструкції, він сумісний з більшістю стандартних реле, клем та інших монтажних пристроїв. Крім того, M91G (рис. 2.7) забезпечує достатню вентиляцію елементів, запобігаючи їх перегріванню, що особливо важливо при тривалій експлуатації стенду. Його використання значно підвищує зручність обслуговування та надає змогу швидко здійснювати заміну чи переналаштування компонентів без необхідності демонтажу всієї конструкції.



Рис. 2.7. Модуль M91G

Характеристики модулю M91G:

* Виготовлений з міцного пластику або металу;
* Має отвори або фіксатори для кріплення модулів;
* Сумісний з більшістю стандартних елементів автоматики.

Цей модуль сприяє впорядкованості та структурованості електромонтажної частини стенду.

Усі вищезгадані компоненти - електромагнітні реле Relpol RM84, колодки GZM80 та монтажні модулі M91G - були зібрані в єдину функціональну конструкцію. У результаті було сформовано контактну колодку (рис. 2.8), яка виконує роль проміжного релейного вузла між програмованим логічним контролером та виконавчими пристроями.



Рис. 2.8. Зібрана контактна колодка

Контактна колодка забезпечує:

* централізоване підключення реле;
* швидкий доступ до сигнальних і силових ліній;
* зручне технічне обслуговування та заміну елементів;
* впорядковану та безпечну структуру монтажу на DIN-рейці.

Модуль реле PLC-RSC-24DC/21 від Phoenix Contact є високоякісним інтерфейсним елементом, який забезпечує ефективне комутування навантаження в електронних і автоматизованих системах. Його головною перевагою є компактність, надійність і швидкий монтаж на DIN-рейку.

Реле PLC-RSC-24DC/21 (рис. 2.9) має вбудований світлодіодний індикатор стану, що дозволяє візуально контролювати його роботу, а також варистор для захисту від перенапруг. Контакти реле здатні комутувати як постійний, так і змінний струм, що робить його універсальним для використання в навчальному стенді. Надійна ізоляція між керуючим сигналом і навантаженням забезпечує гальванічну розв’язку, необхідну для безпечної взаємодії логічних рівнів ПЛК з виконавчими механізмами. Завдяки модульній конструкції та стандартизованим розмірам, реле легко інтегрується в будь-яку систему автоматики.

Изображение выглядит как текст

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 2.9. Модуль реле PLC-RSC-24DC/21

Основні характеристики модулю реле PLC-RSC-24DC/21:

* Напруга керування: 24 V DC;
* Тип контактів: 1 замикаючий контакт (1NO);
* Максимальний струм навантаження: до 6 A;
* Світлодіодна індикація стану;
* Можливість заміни реле без демонтажу модуля;
* Типове використання: інтерфейс між ПЛК і виконавчим пристроєм.

Такий модуль чудово підходить для інтеграції в навчальні стенди, адже дозволяє швидко й безпечно реалізовувати логіку керування за допомогою зовнішнього навантаження та забезпечує гальванічну розв’язку між мікроконтролером і силовою частиною.

Автоматичні вимикачі Resi9 16A фірми Schneider Electric (рис. 2.10) є надійними захисними пристроями, які використовуються в електромонтажній частині стенду для забезпечення захисту від перевантажень і коротких замикань.

Изображение выглядит как текст, принтер, дизайн

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 2.10. Автоматичний вимикач Schneider Electric Resi9 16A

Основні характеристики автоматичних вимикачів:

* Номінальні струми: 16 А;
* Кількість полюсів: 1P (однополюсні);
* Тип кривої спрацювання: C (стандартна для загального використання);
* Номінальна відключаюча здатність: 6 кА;
* Механізм: термомагнітний (захист від перевантаження та короткого замикання);
* Монтаж: на DIN-рейку;
* Виробник: Schneider Electric, серія Acti9.

Автоматичні вимикачі забезпечують не лише електробезпеку користувача, а й дозволяють швидко виявити та локалізувати несправність у системі.

Контактор Siemens Sirius 3RT1016-1BM41 (рис. 2.11) є високоякісним електромагнітним пристроєм для комутації електричних ланцюгів змінного струму. Він призначений для ввімкнення/вимкнення трифазних двигунів, освітлення або іншого промислового навантаження в автоматизованих системах керування.

Изображение выглядит как схема

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 2.11. Контактор Siemens Sirius 3RT1016-1BM41

Основні технічні характеристики контактору Siemens Sirius:

* Номінальний робочий струм: до 9 А AC-3 при 400 В;
* Потужність двигуна: до 4 кВт (при 400 В);
* Напруга керування котушки: 24 В DC;
* Кількість головних контактів: 3NO (3 нормально відкриті);
* Додатковий контакт: 1NC (нормально закритий);
* Тип монтажу: на DIN-рейку або за допомогою гвинтів;
* Серія: Siemens Sirius 3RT10.

Особливості:

* Сумісність з великою кількістю додаткових модулів (теплові реле, механічні блокування, тощо);
* Висока механічна та електрична витривалість;
* Швидкий монтаж та компактні розміри.

Контактор використовується для керування навантаженням середньої потужності в навчальному стенді та забезпечує надійну комутацію відповідно до логіки, закладеної в програмному забезпеченні ПЛК.

Блок живлення LRS-100-24 виробництва компанії Mean Well є надійним імпульсним джерелом постійного струму, яке використовується для забезпечення стабільного живлення низьковольтної апаратури в навчальному стенді, зокрема контролерів, реле, індикаторів, кнопок тощо.

Окрім основних технічних переваг, блок живлення LRS-100-24 також відзначається високою стабільністю параметрів вихідної напруги навіть при зміні навантаження або коливаннях вхідної напруги. Це особливо важливо в навчальному стенді, де підключені різноманітні електронні компоненти, чутливі до перепадів напруги. Завдяки своїй надійності та компактності, LRS-100-24 успішно інтегрується в конструкцію стенду, не займаючи багато простору, що дозволяє оптимізувати внутрішнє компонування апаратної частини.

Крім того, LRS-100-24 (рис. 2.12) має вбудовані захисти від перевантаження, короткого замикання та перенапруги, що значно підвищує безпеку експлуатації стенду. Завдяки широкому діапазону робочої температури та високому коефіцієнту корисної дії до 91%, цей блок живлення забезпечує ефективну роботу обладнання навіть за тривалого використання. Його наявність у складі навчального стенду гарантує стабільне функціонування всіх підключених пристроїв і мінімізує ризики виходу з ладу елементів електронної схеми через нестабільне живлення.

Изображение выглядит как мозаика, искусство

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

Рис. 2.12. Блок живлення LRS-100-24

Основні технічні характеристики блоку живлення LRS-100-24:

* Вхідна напруга: 85–264 В AC / 120–373 В DC (широкий діапазон);
* Вихідна напруга: 24 В DC;
* Номінальний вихідний струм: 4.5 А;
* Потужність: 108 Вт;
* Ефективність: до 88%;
* Тип охолодження: пасивне (вентиляційні отвори, без вентилятора);
* Захисти:
  + від короткого замикання;
  + від перевантаження;
  + від перенапруги;
  + від перегріву.

Особливості блоку живлення LRS-100-24:

* Компактний розмір, зручний для монтажу у щиті;
* Монтаж на перфоровану панель або DIN-рейку через адаптери;
* Наявність світлодіодного індикатора стану живлення;
* Сертифікати відповідності міжнародним стандартам безпеки (CE, RoHS).

Призначення блоку живлення LRS-100-24 в навчальному стенді:

* Забезпечення стабільної напруги 24 В постійного струму для живлення логічних пристроїв;
* Безпечна інтеграція з елементами керування та індикації;
* Висока надійність і захист дозволяють використовувати блок у навчальному середовищі без ризику пошкодження елементів у разі помилок.

Блок живлення LRS-100-24 є критично важливим компонентом стенду, оскільки забезпечує енергоживленням усю низьковольтну частину системи, необхідну для коректного функціонування ПЛК, реле, сенсорів і виконавчих механізмів.

**Висновок**

У розділі було здійснено детальний аналіз та опис апаратної частини навчального стенду, що є основою для його стабільної та ефективної роботи. Розглянуто склад і призначення основних технічних компонентів, таких як блок живлення LRS-100-24, контролер FESTO FEC Compact FC34, інтерфейсний модуль EasyPort D16, реле Relpol RM84, реле Phoenix Contact, комутаційні колодки GZM80, а також модуль M91G. Усі ці елементи підібрані з урахуванням їх надійності, сумісності між собою та здатності працювати в умовах навчального процесу.

Особливу увагу приділено якості електричних з’єднань, організації внутрішнього монтажу, а також дотриманню вимог безпеки та електромагнітної сумісності. Апаратна частина побудована таким чином, щоб забезпечити безперервну й стабільну роботу всіх функціональних елементів стенду навіть при тривалому навантаженні. Також враховано компактність і можливість зручного доступу до окремих вузлів для обслуговування або заміни.

Завдяки правильно обраній структурі та технічному рішенню, стенд забезпечує високу надійність у роботі, зручність у використанні та відповідає сучасним вимогам до навчального обладнання. Такий підхід дозволяє ефективно реалізувати навчальні завдання, пов’язані з вивченням основ автоматизації, електроніки та систем керування.