

Д. Р. Степаненко, О. В. Торосян, І. М. Лукашов

ПНЕВМОПРИВОДИ ТА ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»

Д. Р. Степаненко, О. В. Торосян, І. М. Лукашов

ПНЕВМОПРИВОДИ ТА ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИКИ

Навчальний посібник до практичних робіт

Харків «ХАІ» 2026

УДК 681.58(076.5)
С79

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. В. Ф. Сорокін,
д-р техн. наук, проф. С. С. Добротворський

Степаненко, Д. Р.

С79 Пневмоприводи та елементи автоматики [Текст] : навч. посіб.
до практ. робіт / Д. Р. Степаненко, О. В. Торосян, І. М. Лукашов. —
Харків : Нац. аерокосм. ун-т «Харків. авіац. ін-т», 2026. — 80 с.

ISBN 978-966-662-978-7

Викладено основні відомості щодо моделювання пневматичних приводів та елементів автоматизованих систем. Подано практичні завдання для закріплення і поглиблення знань та навичок створення моделей пневмоприводів. Завдання структуровано від простих до складніших. Розглянуто проекти, що охоплюють моделювання пневматичних, а також суміжних електричних, гідравлічних і механічних систем, з акцентом на їх взаємодію та інтеграцію в автоматизованих системах керування.

Для здобувачів вищої освіти технічних закладів, що навчаються за спеціальностями «Прикладна механіка», «Галузеве машинобудування». Може бути корисним під час вивчення дисциплін «Конструювання устаткувань для автоматизованого виробництва» та курсів, пов'язаних із застосуванням нових технологій у машинобудуванні та інших галузях промисловості.

Іл. 58. Табл. 4. Бібліогр.: 7 назв

УДК 681.58(076.5)

© Степаненко Д. Р., Торосян О. В., Лукашов І. М., 2026
© Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут», 2026

ISBN 978-966-662-978-7

ПЕРЕДМОВА

Пневмоприводи сучасних автоматизованих систем керування характеризуються простотою конструкції, високою швидкодією та надійністю в експлуатації, завдяки чому широко застосовуються в промисловості, транспорті, робототехніці та інших галузях, де потрібне ефективне й швидке виконання лінійних або обертальних рухів.

Пневматичні системи зазвичай поєднують у собі різні елементи автоматики – клапани, датчики, регулятори, приводи, – які забезпечують керування робочими процесами відповідно до заданих алгоритмів. Розуміння принципів роботи цих елементів, їх взаємодії та можливостей моделювання є важливою складовою підготовки фахівців з автоматизації.

Вивчення дисципліни «Пневмоприводи та елементи автоматики» спрямоване на формування у здобувачів освіти професійних компетентностей у сфері проектування, аналізу та експлуатації пневматичних систем керування. У процесі навчання здобувачі вищої освіти здобувають знання про конструкцію, принцип дії, характеристики пневмоприводів та елементів автоматики, вивчають методи побудови пневматичних схем, особливості підбору обладнання, а також набувають навичок комп'ютерного моделювання й діагностики роботи пневмосистем із використанням сучасного програмного забезпечення, зокрема MatLab Simulink.

Предмет є підґрунтям для подальшого вивчення дисциплін з автоматизації виробничих процесів, мехатроніки та робототехніки і важливим етапом підготовки конкурентоспроможних фахівців для промисловості, машинобудування, енергетики та суміжних галузей.

Навчальний посібник з дисципліни «Пневмоприводи та елементи автоматики» призначено для здобувачів освіти технічних спеціальностей закладів фахової передвищої та вищої освіти, які вивчають основи побудови, принцип дії, розрахунку та моделювання пневматичних систем і засобів автоматизації. Посібник містить теоретичні відомості, приклади практичного застосування пневмоприводів у різних галузях техніки. Матеріали викладено з урахуванням сучасних вимог до професійної підготовки фахівців з автоматизації, мехатроніки, машинобудування та суміжних напрямів.

Практична частина містить завдання та приклад його виконання з поясненням налаштувань елементів, а також контрольні запитання. За кожною роботою здобувач вищої освіти складає звіт та надає викладачу для перевірки та оцінювання роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Пневмоприводи – це виконавчі механізми, які використовують стиснене повітря для створення руху або сили. Вони широко застосовуються в автоматичних системах керування завдяки своїй простоті, надійності та безпеці експлуатації.

Основні складові пневматичних систем:

1. Пневматичні циліндри – пристрої, які перетворюють енергію стисненого повітря на механічний рух. Циліндри бувають односторонньої або двосторонньої дії, з різними характеристиками ходу та діаметра.

2. Пневматичні клапани-розподілювачі – елементи, що керують подаванням повітря до циліндрів, змінюючи напрямок руху штока. Найпоширеніші – 5/2 та 5/3 клапани, що мають п'ять портів і два або три положення відповідно.

3. Регулятори витрати повітря (дроселі) – пристрої для контролю швидкості руху пневматичних виконавчих механізмів шляхом обмеження повітряного потоку.

4. Пневматичні трубки та з'єднання – забезпечують транспортування стисненого повітря між елементами системи.

Елементи автоматики в пневмосистемах:

1. Датчики положення – пристрої, які фіксують положення штока циліндра чи інших рухомих частин. Часто використовують інфрачервоні або магнітні датчики, а також кінцеві вимикачі.

2. Електромагнітні реле та клапани – забезпечують електричне керування подаванням повітря в пневмосистему.

3. Програмовані контролери (наприклад, Arduino, PLC) – забезпечують логіку керування, обробляють сигнали від датчиків та подають команди до виконавчих механізмів.

Переваги пневмоприводів:

- висока швидкість реагування і точність виконання операцій;
- простота конструкції та обслуговування;
- безпека у вибухонебезпечних зонах;
- надійність та довговічність роботи.

Пневмоприводи застосовуються у промисловості для автоматизації різних процесів: для переміщення вантажів, роботи з пресами, на пакувальних лініях, маніпуляторах, транспортних системах тощо.

Практична робота № 1

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ЕЛЕМЕНТАМИ ПНЕВМОАВТОМАТИКИ

Мета роботи: ознайомитися з конструкцією, принципом дії та призначенням основних елементів пневмоавтоматики; набути початкових навичок з під'єднання і тестування пневматичних компонентів у простих схемах.

Завдання:

1. Ознайомитися з класифікацією та умовними позначеннями елементів пневмоавтоматики (розподільники, дроселі, логічні елементи, виконавчі механізми тощо).
2. Вивчити принцип роботи таких базових елементів, як: односторонній і двосторонній пневмоциліндри; кінцевий вимикач; пневматичні кнопки; логічні елементи «І», «АБО».
3. Підготувати пневматичні елементи для складання стендів згідно зі схемами (рисунки 1.8–1.12).
4. Зібрати базові пневматичні схеми з використанням розглянутих елементів.

Теоретичні відомості

Пневматичні пристрої давно відіграють важливу роль у механізації виробництва. Останнім часом вони також набули широкого застосування під час вирішення завдань автоматизації, забезпечуючи надійність роботи, простоту конструкції та економічність експлуатації.

Завдяки швидкодії, безпечності та зручності керування пневматичні системи ефективно використовуються в різних галузях промисловості для приведення в дію виконавчих механізмів, транспортування матеріалів і керування технологічними процесами.

Пневматичні пристрої в системах автоматики виконують такі функції:

- отримання інформації про стан системи за допомогою вхідних елементів (датчиків);
- оброблення інформації за допомогою логіко-обчислювальних елементів (процесорів);
- керування виконавчими пристроями за допомогою розподільних елементів (підсилювачів потужності);
- виконання корисної роботи за допомогою виконавчих пристроїв (двигунів);
- забезпечення швидкого і точного реагування системи на зміни параметрів технологічного процесу.

Характерні особливості і переваги систем пневмоавтоматики наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характерні особливості і переваги систем пневмоавтоматики

Доступність повітря	Повітря є практично скрізь у необмеженій кількості
Транспортабельність повітря	Повітря може легко транспортуватися по трубах на великі відстані
Здатність до акумулювання	Стиснене повітря може накопичуватися в резервуарах і використовуватися у міру необхідності, а резервуари можуть легко транспортуватися
Нечутливість до температури	Стиснене повітря відносно нечутливе до коливань температури. Це гарантує надійну роботу пневмосистем навіть в екстремальних умовах
Вибухобезпечність	Стиснене повітря практично вибухо- і пожежобезпечне, що не потребує дорогого захисту
Екологічність	Стиснене повітря без додавання спеціального масла не забруднює навколишнє середовище
Простота конструкції	Пневмоелементи прості у виробництві і тому недорогі
Висока швидкість	Стиснене повітря рухається швидко, що забезпечує високу швидкість поршня та малий час перемикання
Нечутливість до перевантажень	Пневматичні інструменти та виконавчі пристрої стійкі до перевантажень і можуть працювати навіть до повної зупинки без ризику пошкодження

Для того щоб точно визначити області застосування пневмосистем, необхідно також знати їх недоліки, наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Недоліки систем пневмоавтоматики

Підготовка стисненого повітря	Стиснене повітря потрібно ретельно підготувати, інакше тверді частинки та конденсат вологи можуть спричинити швидке зношення пневматичних пристроїв
Стисливість повітря	Через властивості стисненого повітря неможливо забезпечити рівномірну й постійну швидкість поршня
Обмеження по зусиллю	Стиснене повітря економічно вигідне лише до рівня навантаження приблизно 40 000–50 000 Н при типовому тиску 600–700 кПа (6–7 бар), залежно від ходу та швидкості поршня
Рівень шуму	Випускання повітря в атмосферу супроводжується сильним шумом, який зменшують за допомогою звукопоглинальних матеріалів і глушників

Експериментальне обладнання

Для отримання інформації про положення рухомих частин системи застосовують кінцевий перемикач на основі моностабільного 3/2-розподільника з роликівим важелем або ламким роликівим важелем. Елемент показано на рисунку 1.1.

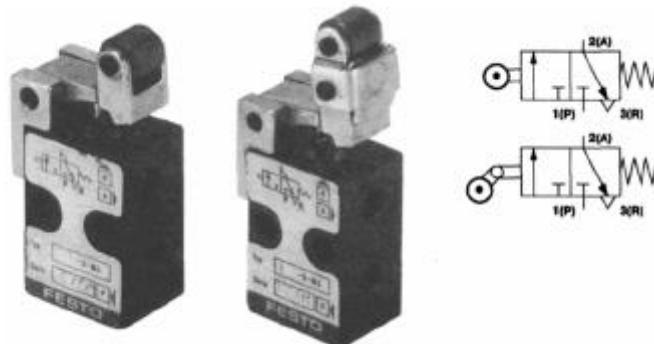


Рисунок 1.1 – 3/2-розподільник з роликівим важелем,
3/2-розподільник з ламківим роликівим важелем

Для збереження результату логічної операції та подальшого підсилення керувального сигналу або використання його в наступному логічному ланцюзі застосовують бістабільні пневмокеровані 3/2-або 5/2-розподільники. На рисунку 1.2 показано пневматичний 5/2-розподільник з двостороннім пневматичним і допоміжним ручним керуванням і його схематичне зображення [1].

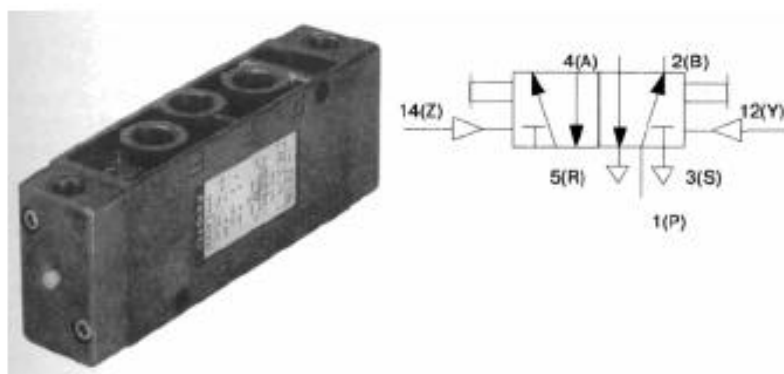


Рисунок 1.2 – Пневматичний 5/2-розподільник з двостороннім
пневматичним і допоміжним ручним керуванням

Завдання регулювання швидкості пневматичним циліндром зазвичай вирішується шляхом обмеження витрат повітря за допомогою регульованого дроселя. Для забезпечення одностороннього регулювання швидкості додатково встановлюють зворотний клапан, увімкнений

паралельно. Він вільно пропускає повітря в одному напрямку та перекриває потік у протилежному (рисунок 1.3).

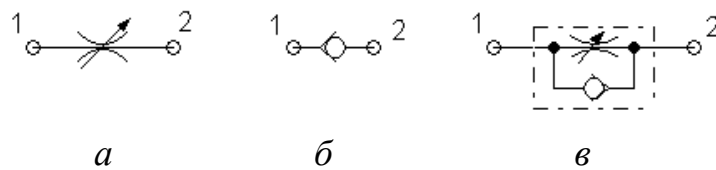


Рисунок 1.3 – Регулятори витрати повітря:
а – регульований дросель; б – зворотний клапан; в – регульований дросель зі зворотним клапаном

Формування часової затримки є поширеною вимогою на певних етапах робочого циклу і здійснюється за допомогою клапана витримки часу (рисунок 1.4). Подача тиску на 12-й канал призведе до появи тиску на 2-му каналі через заданий проміжок часу, за умови утримання цього сигналу протягом усього циклу роботи пристрою. Час затримки встановлюється регулюванням повітряного потоку через дросель, тоді як швидке скидання здійснюється за допомогою зворотного клапана.

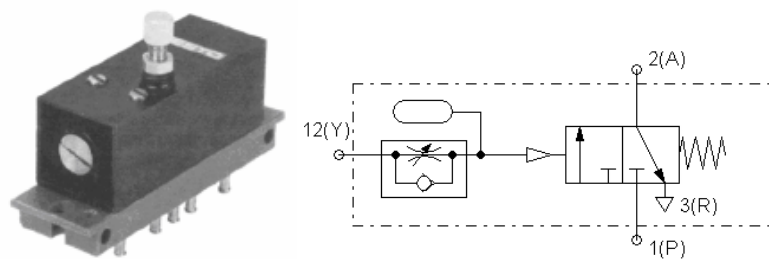


Рисунок 1.4 – Клапан затримки часу

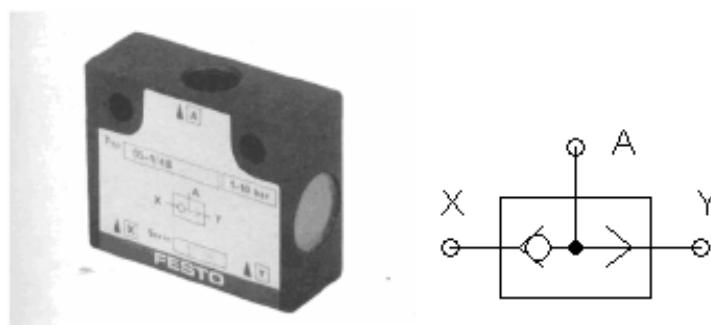


Рисунок 1.5 – Пневматичний логічний елемент «АБО»

Наступний елемент виконує логічну операцію «АБО» (рисунок 1.5). Якщо на канал X або Y подати тиск, то на виході A елемента отримаємо тиск. Цей елемент широко застосовується при складанні логіко-обчислювального блока системи.

На рисунку 1.6 показано елемент, що виконує логічну операцію «І». У разі одночасного подавання тиску на входи X і Y на виході A формується вихідний тиск. Цей тип елемента широко застосовується при побудові логічних схем у системах пневмоавтоматики.

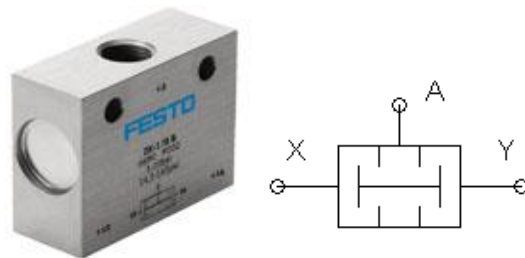


Рисунок 1.6 – Логічний пневматичний елемент «І»

У системах пневмоавтоматики можуть застосовуватися й інші елементи або різні модифікації описаних елементів, але базовий набір дає змогу вирішити широке коло завдань і пропрацювати цикл лабораторних робіт з пневмоавтоматики.

Опис лабораторних стендів

Для дослідження принципу роботи тих чи інших елементів необхідно зібрати стенди налагодження. Всі сигнали, що подаються, мають бути однозначними, а вихідні сигнали – легко помітними і такими, що піддаються аналізу.

Подавати сигнали необхідно від пневматичних кнопок, при натисканні яких на виході елемента з'являється тиск (рисунок 1.7). Виходи досліджуваних елементів залишимо непід'єднаними, завдяки чому за наявності або відсутності шипіння визначимо, на якому виході присутній тиск (сигнал).

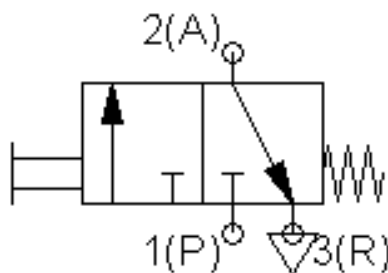


Рисунок 1.7 – Пневматичний моностабільний 3/2-розподільник з ручним керуванням

Для дослідження роботи кінцевого вимикача використовується схема, зображена на рисунку 1.8.

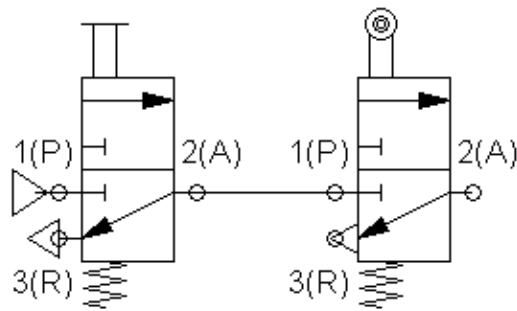


Рисунок 1.8 – Схема дослідження роботи кінцевого перемикача

У цій схемі живлення на кінцевий перемикач подається через пневматичну кнопку, що дає змогу подавати живлення виключно в момент дослідження. Змінивши положення кінцевого перемикача, можна повторити подавання живлення (в інших схемах дослідження будуть проводитися аналогічним чином).

Для дослідження 5/2-розподільника знадобляться три пневматичні кнопки, а схема набуде такого вигляду, як на рисунку 1.9.

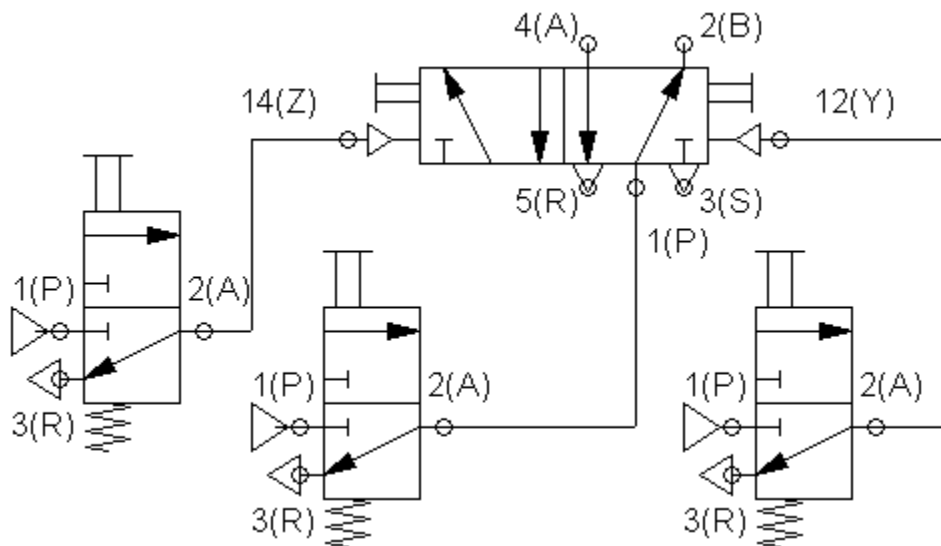
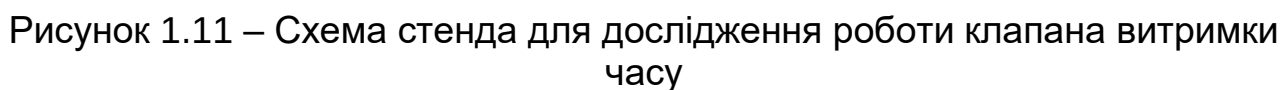
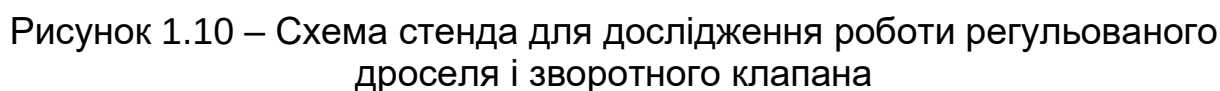


Рисунок 1.9 – Схема станда для дослідження пневматичного 5/2-розподільника з двостороннім пневматичним і допоміжним ручним керуванням

Наступний стенд призначено для дослідження роботи регульованого дроселя і зворотного клапана згідно зі схемою (рисунок 1.10). Отримані результати спостережень слід описати у звіті.

Для дослідження клапана витримки часу використовуються дві пневматичні кнопки, з'єднані відповідно до схеми, зображеної на рисунку 1.11. Під час виконання роботи необхідно простежити за послідовністю спрацювання елементів і зафіксувати отримані результати у звіті.



Під час виконання роботи необхідно послідовно перевірити всі можливі варіанти поєднання вхідних сигналів, проаналізувати отримані результати та зробити відповідні висновки щодо принципу дії кожного логічного елемента. Отримані дані слід систематизувати й подати у звіті.

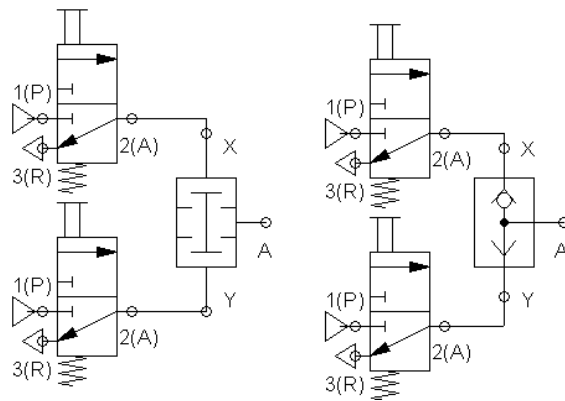


Рисунок 1.12 – Стенд для дослідження пневматичних логічних елементів «І» та «АБО»

Порядок виконання практичної роботи

1. Підготувати комплект елементів, необхідних для складання стендів згідно зі схемами, наведеними на рисунках 1.8–1.12.
2. Отримати допуск до виконання лабораторної роботи у викладача.
3. Зібрати схему згідно з рисунком 1.8.
4. Провести дослідження елемента.
5. Результат дослідження повинен містити схему стенда, таблицю істинності досліджуваного елемента «І» («АБО») та спостереження при його дослідженні.
6. Повторити дії пп. 3–5 згідно зі схемами рисунків 1.9–1.12.
7. Відповісти на контрольні запитання з лабораторної роботи.
8. Написати висновок про виконану роботу.

Зміст звіту

1. Тема та мета роботи.
2. Обладнання та матеріали.
3. Теоретичні відомості.
4. Схеми досліджень.
5. Порядок виконання роботи.
6. Результати досліджень.
7. Висновки.

Контрольні запитання

1. Що називають сигналом у пневмоавтоматиці?
2. У якому діапазоні тисків доцільно експлуатувати пневматичні системи?

3. Чи для всіх елементів пневматики є однаковим порогове значення тиску для видачі логічної «1»? Чим воно визначається?
4. Запропонуйте конструкцію клапана витримки часу, який буде створювати імпульс із заданою шириною. Зобразіть його схематично.
5. Чому бістабільні пневматичні 5/2-розподільники можуть бути елементами пам'яті? Чи може моностабільний пневматичний 5/2-розподільник також бути елементом пам'яті?
6. Запропонуйте конструкцію елемента «І» з трьома входами і одним виходом.
7. Запропонуйте конструкцію елемента «АБО» з трьома входами і одним виходом.
8. Назвіть основні переваги пневматичних систем.
9. Назвіть основні недоліки пневматичних систем.
10. Що таке підготовка стисненого повітря? Які пристрої її забезпечують?

Практична робота № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМАТИЧНОГО ЦИЛІНДРА

Мета роботи: ознайомитися з будовою, принципом дії та основними характеристиками пневматичного циліндра: вивчити способи під'єднання пневматичних циліндрів у пневмосистемах та набути практичних навичок з монтажу та налаштування елементів пневмоприводу.

Завдання:

1. Вивчити будову пневматичного циліндра.
2. Дослідити принцип дії пневматичного циліндра.
3. Зібрати базову пневматичну схему з використанням циліндра.
4. Провести випробування роботи циліндра, провести розрахунок робочої сили циліндра, зробити висновки щодо ефективності роботи пневматичної системи та оформити звіт.

Теоретичні відомості

Пневматичний циліндр – це виконавчий елемент пневмоавтоматики, що перетворює енергію стисненого газу на роботу прямолінійного руху.

Пневматичні циліндри мають широку номенклатуру і класифікуються:

- 1) за кількістю сторін дії:
 - односторонні;
 - двосторонні;
- 2) за кількістю стійких станів:

- моностабільні;
- бістабільні;
- 3) за кількістю позицій:
 - двопозиційні;
 - мультипозиційні,
- 4) за кількістю штоків:
 - з одним штоком;
 - з двома штоками;
 - без штока;
- 5) за наявністю демпфірування;
- 6) за наявністю магнітного осердя.

Вибір певного пневматичного циліндра здійснюється з міркувань конструктора автоматизованої ділянки і доповнюється розрахунком зусиль.

Щоб зрозуміти процеси, що відбуваються у пневматичному циліндрі, необхідно зобразити сили, що діють під час роботи.

Виконавчі елементи (зокрема пневматичні циліндри) використовуються для безпосереднього впливу на навантаження в автоматизованій системі. У зв'язку з цим у системі обов'язково діятиме сила навантаження F_n , яка визначається умовами експлуатації: масою об'єкта, напрямком руху, тертям, прискоренням тощо [2].

У системі діє сила тяжіння, що викликає рівну по модулю реакцію N (рисунок 2.1).

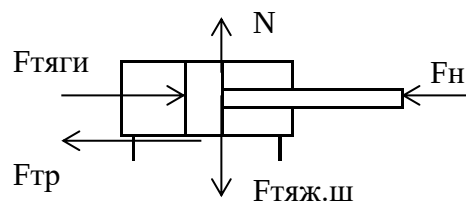


Рисунок 2.1 – Бістабільний пневматичний циліндр одnobічної дії

Циліндр і шток виконуються з високою точністю і можуть доповнюватися фторопластовими кільцями ущільнювачів, що створює істотні сили тертя, тому для надання руху пневматичному циліндру без зовнішнього навантаження інколи недостатньо навіть різниці тисків у 2 атм, що свідчить про суттєвий вплив сили тертя.

Сила тяги потребує більш детального розгляду. Позначимо ліву камеру – камера 1, праву – камера 2. Тиск у першій камері – P_1 , у другій – P_2 , а площа поперечного перерізу поршня (штока) в першій камері – A_1 , у другій – A_2 .

Сила, що викликається тиском, визначається як добуток площі на величину тиску:

$$F_i = P_i \cdot A_i. \quad (2.1)$$

З формули (2.1) випливає, що чим більше тиск у камері, тим вище сила і чим більше площа поршня, тим зусилля вище. Отже, важливо провести аналіз перерізів у першій і другій камерах.

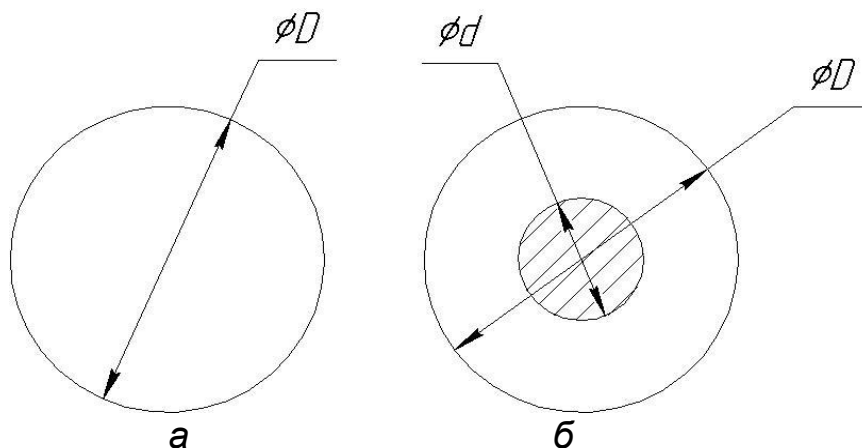


Рисунок 2.2 – Площа штока:
а – перша камера; б – друга камера

Як видно з рисунка 2.2, при одnobічному пневматичному циліндрі одна з площ менше. Площа в першій камері визначається за формулою (2.2), а в другій камері – за формулою (2.3):

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (2.2)$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot D^2 (1 - \alpha^2)}{4}, \quad (2.3)$$

де α – це коефіцієнт, що характеризує відношення діаметра штока до діаметра поршня, d/D .

Остаточне значення сили тяги $F_{тяги}$ визначається як різниця між силами, що діють у першій та другій камерах:

$$F_{тяги} = F_1 - F_2. \quad (2.4)$$

Як відомо з другого закону Ньютона, прискорення визначається через відношення рівнодійної сили до маси системи. Проінтегрувавши прискорення за часом, отримаємо швидкість циліндра, а повторна інтеграція дає змогу отримати залежність переміщення від часу.

Оскільки площа штока є величиною постійною, а маса не задається розробником, а лише враховується при розрахунку, то тиск у камерах є

керувальною величиною для досягнення потрібного зусилля, швидкості і переміщення.

Але в системах пневмоавтоматики підводять постійний тиск до виконавчих елементів, це пов'язано з тим, що:

- при недостатньому тиску в пневматичному циліндрі існує ймовірність недосягнення кінцевого положення, що зумовить зупинку циклу;
- сила притиснення в кінцевому положенні буде недостатньою для виконання технологічної операції (тиснення, закриття дверей або ін.);
- навантаження здатне спричинити зворотний хід пневматичного циліндра, що неприпустимо для надійної роботи системи.

Отже, знижувати тиск у системі живлення пневматичного циліндра – неприпустимо! Проте необхідність обмеження швидкості руху є типовим і широко розповсюдженим завданням у пневматичних автоматах.

Для завдань регулювання швидкості в пневматичних системах використовуються обмежувачі витрат, а саме дроселі. У разі, якщо потрібно обмежити витрату газу в одному напрямку, але не обмежувати в іншому, то застосовують дросель зі зворотним клапаном, схематичне зображення якого наведено на рисунку 2.3.

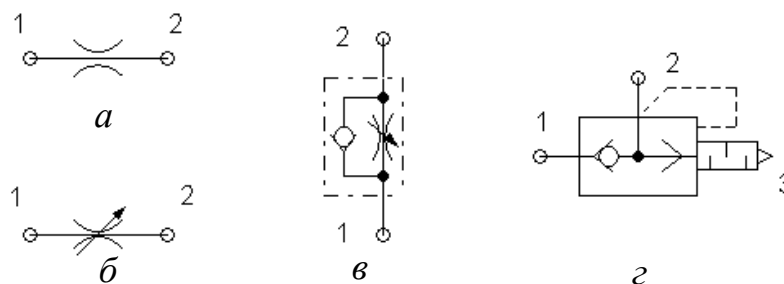


Рисунок 2.3 – Елементи, що регулюють витрату газу:
а – дросель; б – регульований дросель; в – дросель зі зворотним клапаном; г – клапан швидкого вихлопу

Необхідно пояснення щодо кожного з цих елементів. Дросель (рисунок 2.3, а) має фіксований переріз, який зазвичай менше, ніж переріз пневмоприводів, а тому повітря проходить крізь нього важко і витрата знижується.

Регульований дросель (рисунок 2.3, б) дає змогу регулювати поперечний переріз каналу вручну, аналог у побуті – це водопровідний кран, коли поворотом вентиля регулюється подавання води.

Дросель зі зворотним клапаном (рисунок 2.3, в) працює як регульований дросель при протіканні газу з каналу 1 в канал 2 і відкривається повністю при протіканні газу з каналу 2 в канал 1.

Клапан швидкого скидання (рисунок 2.3, а) дає змогу миттєво стравити тиск у камері циліндра для досягнення максимального стартового прискорення.

Залежність величини витрати і різниці тиску:

$$Q \sim \sqrt{p}, \quad (2.5)$$

де Q – витрата через елемент (л/хв); Δp – різниця тиску між входом і виходом елемента.

Залежність швидкості пневматичного циліндра від витрати газу

$$Q = V \cdot A, \quad (2.6)$$

де A – площа зазору через елемент.

Розглянемо, чому саме спостерігається така залежність. Для пояснення скористаємося ілюстрацією роботи пневматичного циліндра, показаною на рисунку 2.4.

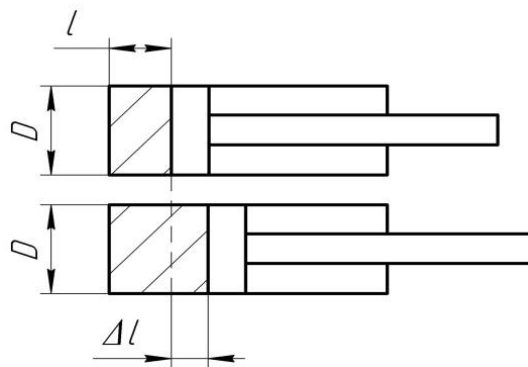


Рисунок 2.4 – Робота пневматичного циліндра

Об'єм лівої камери дорівнює $A_1 \cdot L$, а після переміщення поршня він збільшується до $A_1(L + \Delta L)$, тобто, якщо камеру наповнити 1 літром газу (при тиску камери), при $A_1 = 1 \text{ см}^2$, то переміщення ΔL дорівнюватиме 1 см.

Тиск у лівій камері може змінюватися з часом внаслідок таких причин:

- швидке скидання в правій камері, що зумовить падіння тиску в лівій;
- поява перешкоди на шляху штока, це зумовить різку зупинку циліндра і підвищення тиску в лівій камері до граничного значення;
- стискання пружини в правій камері або пружини як навантаження; залежність навантаження від ходу не є постійною величиною, і потрібно більше зусилля пневматичного циліндра, а отже, і більший тиск [3].

Таким чином, у теорії швидкість руху штока пневматичного циліндра прямо пропорційна витраті стисненого повітря. Натомість на практиці для досягнення точного часу висунення або втягування штока необхідне

налагодження системи безпосередньо на змонтованому обладнанні – з використанням секундоміра або іншого вимірювального засобу.

Порядок виконання роботи

Під час практичної роботи ознайомтеся з бістабільним пневматичним циліндром односторонньої дії, з ходом штока за варіантом з таблиці 2.1. Зберіть схему в програмному пакеті FluidSIM-P Demo згідно з рисунком 2.5, в яку входить: бістабільний пневматичний циліндр, 5/2 бістабільний розподільник з ручним керуванням, редуктор тиску і дроселя зі зворотними клапанами.

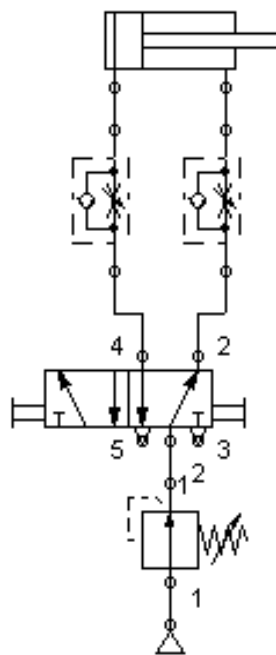


Рисунок 2.5 – Схема для випробувань

Після збирання схеми проведіть моделювання роботи системи, спостерігаючи переміщення штока при зміні тиску та положення розподільника. Зафіксуйте результати експерименту, проаналізуйте вплив дроселів і зворотних клапанів на швидкість та плавність руху циліндра, а також визначте, як різні налаштування впливають на стабільність роботи бістабільного елемента.

Дайте відповідь: як залежно від тиску змінюється швидкість? Для відповіді виконайте такі дії: введіть параметри циліндра `configure cylinder-parameters` (рисунок 2.6).

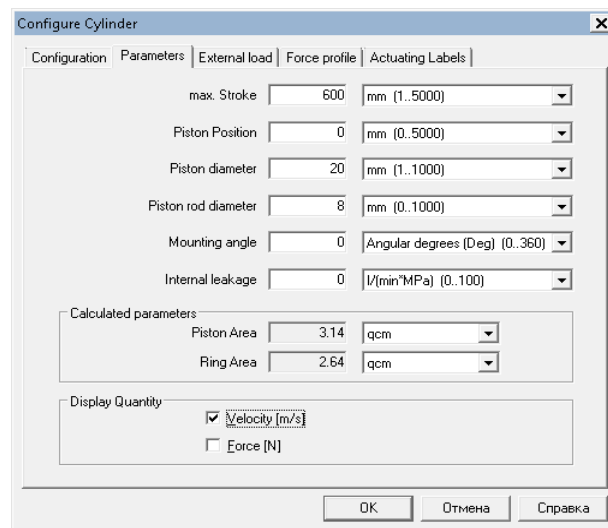


Рисунок 2.6 – Меню параметрів циліндра

Далі введіть параметр коефіцієнта тертя і масу configure cylinder-external load (рисунок 2.7).

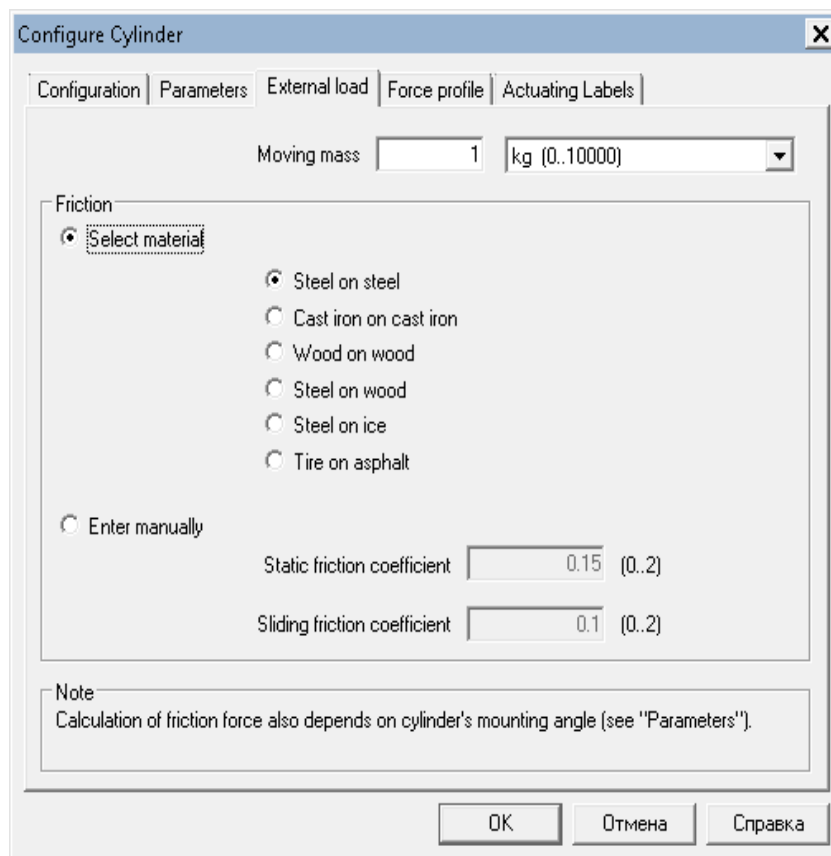


Рисунок 2.7 – Меню параметрів циліндра

У редакторі дроселя зі зворотним клапаном виберіть пропускне значення дроселя (рисунок 2.8).

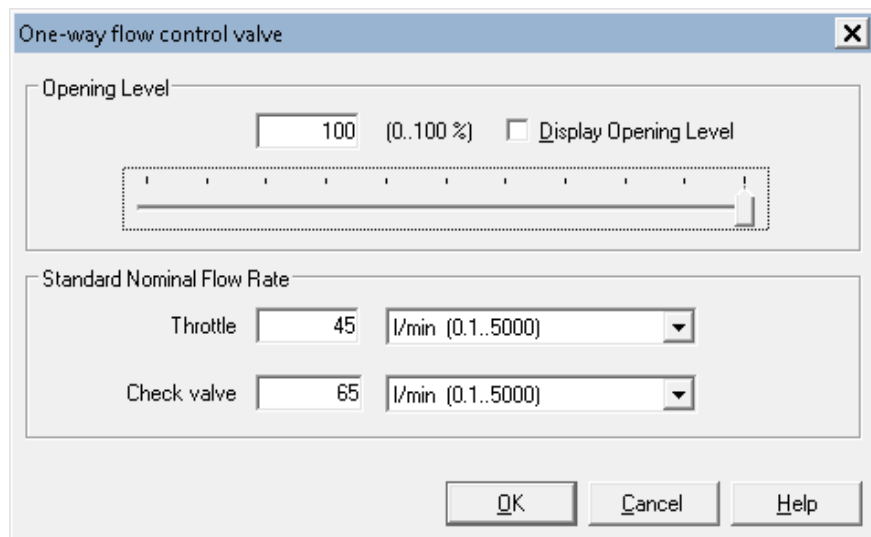


Рисунок 2.8 – Меню параметрів дроселя

Заповніть таблицю і виконайте дослідження:

- при робочому тиску і відкритих дроселях спостерігайте швидкість руху;
- регулюйте витрату через дроселі і занесіть отримані дані до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри і результати дослідження

№ п/п	l штока	d поршня	d штока	A ₁ , мм ²	A ₂ , мм ²	Дросель, %	P ₁	P ₂	F ₁	F ₂	V ₁	V ₂
1	L= N·2+100	N+10	N+2									
2	L= N·2+200	N+20	N+5									

Примітки:

N – номер за списком;

P₁ – тиск у лівій камері циліндра. Записуємо максимальне значення під час руху;

P_2 – тиск у правій камері циліндра. Записуємо максимальне значення під час руху (оскільки при зупинці тиск зрівняється зі значенням у системі, наприклад 6 бар, а під час руху буде показувати 4–5 бар);

F_1 – сила під час руху в праву сторону, розрахункова;

F_2 – сила під час руху в ліву сторону, розрахункова;

V_1 – швидкість під час руху в праву сторону, записувати максимальне значення;

V_2 – швидкість під час руху в ліву сторону, записувати максимальне значення.

Побудуйте графік залежності швидкості від тиску та оформіть його у вигляді рисунка.

Визначте для кожного варіанта максимальний тиск у системі, при якому ненавантажений пневматичний циліндр ще не починає рухатися, враховуючи різні значення коефіцієнта тертя.

Напишіть висновок.

Зміст звіту

1. Тема та мета роботи.
2. Обладнання та матеріали.
3. Теоретичні відомості.
4. Схеми досліджень.
5. Порядок виконання роботи.
6. Результати досліджень.
7. Висновки.

Контрольні запитання

1. Як здійснюється вибір певного пневматичного циліндра?
2. Що створює сили тертя в циліндрі?
3. Як змінюється робота пневматичного циліндра при зниженні тиску в робочій камері?
4. Що відбувається при зменшенні площі поршня?
5. Які фактори можуть викликати зміну тиску в лівій камері з плином часу?
6. Яким чином можна змінювати швидкість руху штока циліндра?
7. Яке значення має діаметр поршня в роботі пневмоциліндра?
8. Яке джерело енергії приводить у дію пневмоциліндр?
9. Якою є функція штока в пневмоциліндрі?
10. Які основні частини конструкції пневмоциліндра?

Практична робота № 3

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ЗМІН КЕРУВАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТА НА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ПРИСТРОЇ З ЕЛЕМЕНТОМ ЗАТРИМКИ ЧАСУ

Мета роботи: ознайомитися з принципом дії реле часу, зібрати відповідну схему на стенді та здійснити перевірку її працездатності.

Завдання:

1. Ознайомитися з будовою та принципом дії реле часу.
2. Розробити електричну схему під'єднання реле часу, змонтувати її на лабораторному стенді відповідно до розробленої схеми.
3. Провести перевірку працездатності схеми та зафіксувати результати.
4. Проаналізувати отримані дані та зробити висновки щодо ефективності роботи реле часу.

Теоретичні відомості

Реле часу – це електромагнітний або електронний пристрій, призначений для реалізації затримки в спрацюванні виконавчих елементів схеми на заданий інтервал часу після надходження керувального сигналу. Воно використовується в автоматизованих системах керування для забезпечення заданої часової послідовності виконання операцій, коли необхідно, щоб певна дія відбувалася не миттєво, а через попередньо встановлений часовий інтервал.

Клапани витримки часу (таймери) належать до комбінованих клапанів і поділяються на:

- клапани витримки часу: затримка пневматичних сигналів;
- пневмоблоки керування: генерація сигналів для реалізації реверсивних і циклічних рухів циліндрів двосторонньої дії;
- 5/4-розподільники: пристрій керування циліндром двосторонньої дії;
- 8-лінійні розподільники з пневматичним керуванням: керування тактовим пристроєм;
- тактові генератори: мультивібратори для керування швидким рухом циліндрів;
- вакуумні головки з викидачем: для захоплення і відпускання деталей;
- тактові ланцюжки: для реалізації завдань керування;
- командні модулі з пам'яттю: для пуску при певних вхідних умовах.

Клапан витримки часу складається з 3/2-розподільника, дроселя зі зворотним клапаном і невеликої пневмоємності. 3/2-розподільник може бути нормально відкритим або нормально закритим (рисунки 3.1, 3.3).

Зазвичай випускаються клапани витримки часу в обох варіантах виконання з діапазоном витримки часу 0...30 с.

У нормально закритому виконанні подача повітря до виходу перекрита в початковому стані, і відкриття відбувається після закінчення встановленого часу витримки. У нормально відкритому виконанні, навпаки, в початковому стані повітря подається на вихід, а після витримки часу канал перекривається або перемикається.

Регулювання часу витримки здійснюється зміною прохідного перерізу дроселя, що змінює швидкість наповнення пневмоємності. Зворотний клапан забезпечує швидке розрядження ємності після зняття сигналу, що дає змогу оперативно підготувати клапан до наступного циклу роботи.

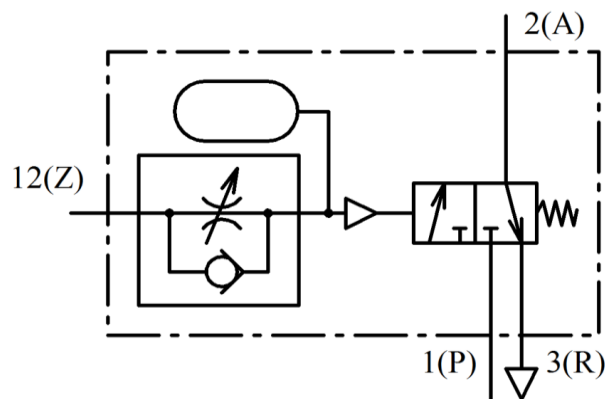


Рисунок 3.1 – Умовне позначення нормально закритого клапана витримки часу

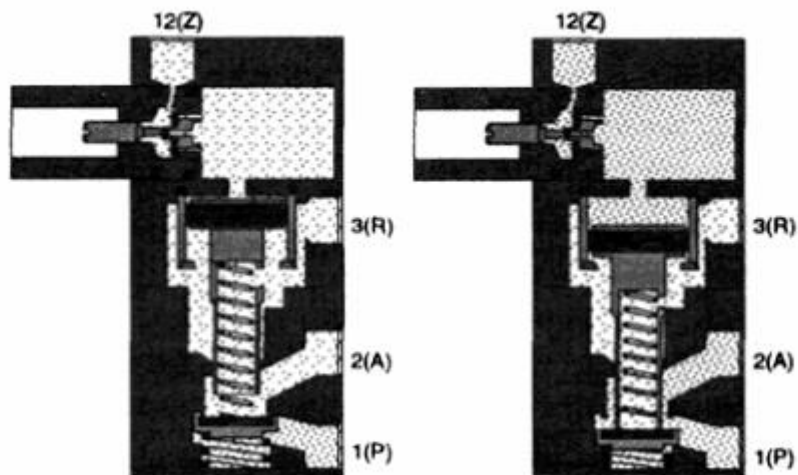


Рисунок 3.2 – Нормально закритий клапан витримки часу

Діапазон витримки часу може бути істотно збільшений шляхом під'єднання додаткових пневматичних ємностей. При цьому точність витримки визначається ступенем очищення повітря та стабільністю робочого тиску в системі.

Принцип дії клапана витримки часу

Принцип дії клапана витримки часу розглядається на прикладі клапана з нормально закритим 3/2-розподільником (рисунк 3.2). Стиснене повітря підводиться до клапана по каналу 1 (P). Пневматичний сигнал керування подається на вхід 12 (Z) і через регульований дросель починає заповнювати ємність. Налаштування дроселя впливає на величину витрати повітря, а значить, і на час, протягом якого в ємності підвищиться тиск. Після досягнення в ємності заданого значення тиску запірний орган 3/2-розподільника переміщається вниз. При цьому блокується прохід від виходу 2 (A) до вихлопного отвору 3 (R), а потім відкривається прохід від каналу живлення 1 (P) до виходу 2 (A). Час, необхідний для наповнення пневмоємності стисненим повітрям до заданого значення тиску, і є часом налагодження цього пристрою.

Щоб повернути клапан витримки часу в початкове положення, необхідно зняти сигнал з входу 12 (Z). Повітря з ємності через зворотний клапан швидко витече в атмосферу і 3/2-розподільник під дією пружини повернеться в початкове положення, блокуючи канал живлення 1 (P) і з'єднуючи вихід 2 (A) з вихлопним отвором 3 (R).

У результаті тиск на виході повністю знімається, а виконавчий механізм (наприклад, пневмоциліндр) переходить у вихідний стан.

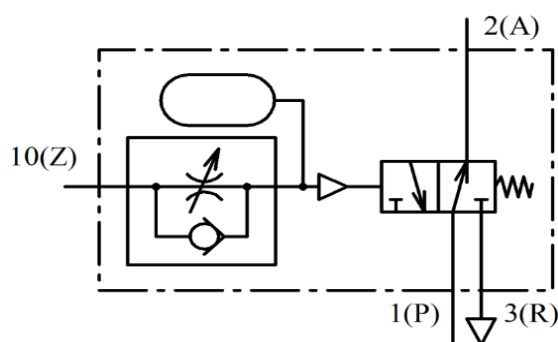


Рисунок 3.3 – Умовне позначення нормально відкритого клапана витримки часу

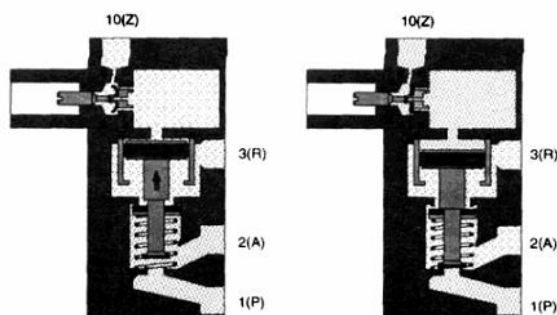


Рисунок 3.4 – Нормально відкритий клапан витримки часу

У нормально відкритому клапані витримки часу (рисунок 3.4) у вихідному (початковому) стані вихід 2 (A) 3/2-розподільника знаходиться у з'єднанні з портом подавання повітря 1 (P). При подаванні сигналу на вхід 10 (Z) вихід 2 (A) через заданий час з'єднується з атмосферою, а канал живлення 1 (P) замикається. Унаслідок цього вихідний сигнал буде відключений через встановлений час. Час витримки відповідає моменту досягнення певного рівня тиску в пневмоємності. У досліджуваній принциповій схемі (рисунок 3.5) використовуються нормально відкритий 1.4 і нормально закритий 1.5 клапани витримки часу. При натисканні на кнопку 1.2 сигнал проходить через клапан 1.4 і, перемикаючи розподільник 1.1, змушує шток циліндра висуватися. Клапан має настройку часу 0,5 с. Цього достатньо, щоб стартовий сигнал надійшов на вхід 14 (Z) розподільника 1.1. Але через 0,5 с клапан витримки часу 1.4, на вхід 10 (Z) якого також надходить стартовий сигнал від кнопки 1.2, вимикається і знімає сигнал з входу 14 (Z) розподільника 1.1. Однак розподільник 1.1 залишається в положенні, що відповідає висуненню штока циліндра 1.0. У крайньому висунутому положенні шток циліндра 1.0 натискає на кінцевий вимикач 1.3, який посиляє сигнал на вхід 12 (Z) нормально закритого клапана витримки часу 1.5. Через встановлений час, що визначається настроюванням дроселя в клапані 1.5, на виході 2 (A) клапана 1.5 з'являється сигнал. Цей сигнал надходить на вхід 12 (Y) розподільника 1.1, який перемикається в початкове положення, оскільки на його протилежному вході 14 (Z) сигналу вже немає. Шток циліндра втягується. Новий цикл можна буде починати, якщо кнопка 1.2 відпущена. Після відпускання кнопки сигнал на вході 10 (Z) клапана витримки часу 1.4 зникає і клапан 1.4 повертається у вихідну позицію, підготувавши лінію для подавання нового сигналу на вхід 14 (Z) розподільника 1.1.

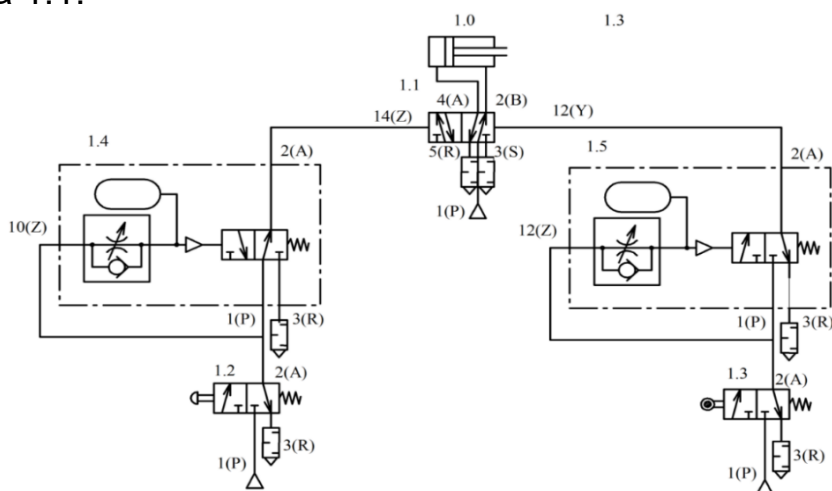


Рисунок 3.5 – Принципова схема: клапан витримки часу

На рисунках 3.6–3.9 показано графіки перемикання клапанів витримки часу.

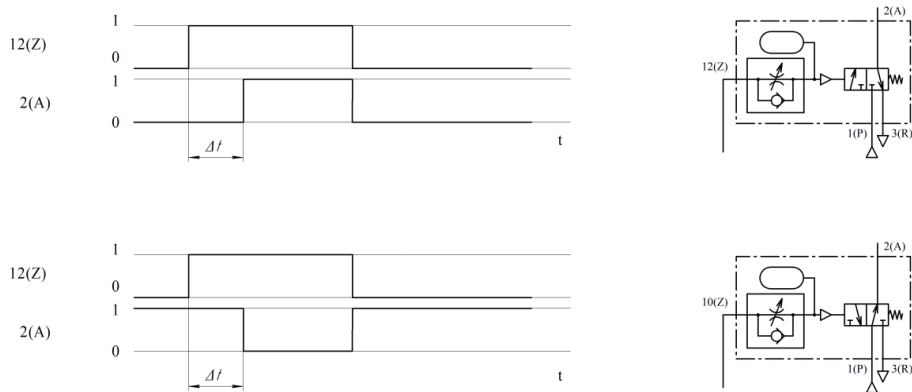


Рисунок 3.6 – Графік перемикання клапана витримки часу з затримкою по передньому фронту сигналу керування

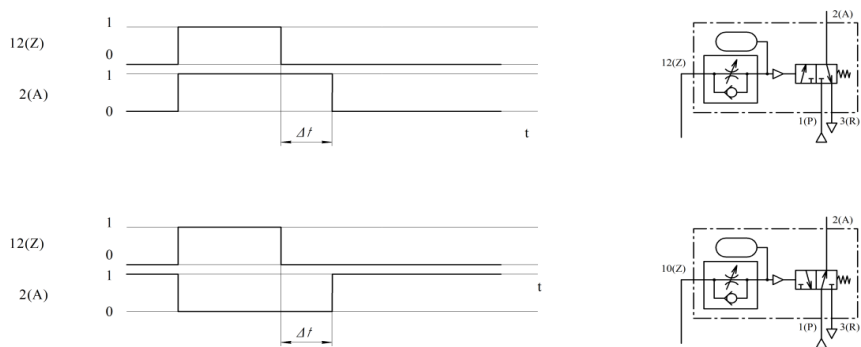


Рисунок 3.7 – Графік перемикання клапана витримки часу з затримкою по задньому фронту сигналу керування

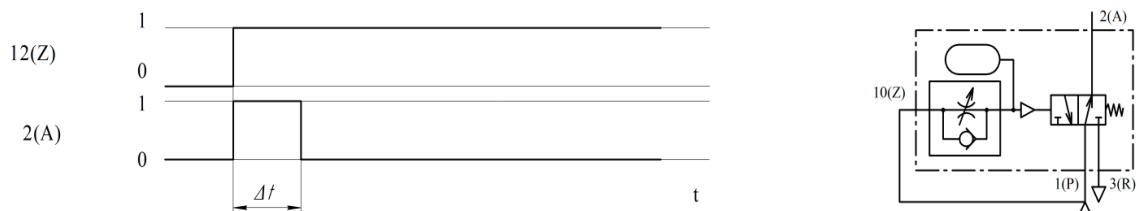


Рисунок 3.8 – Графік формування короткочасного імпульсу

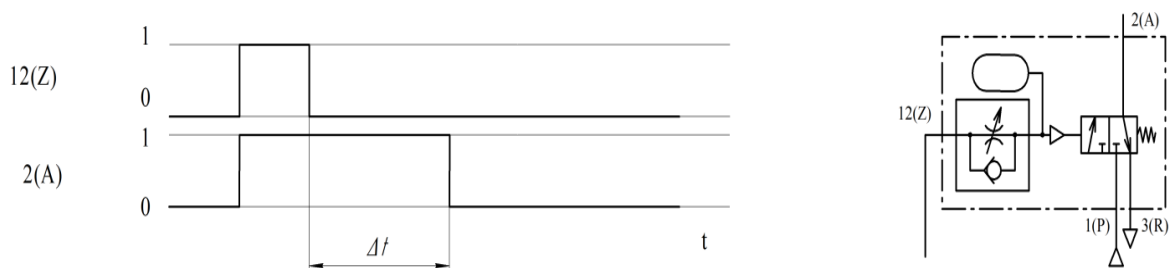


Рисунок 3.9 – Графік збільшення тривалості сигналу

Приклад

Для забезпечення притискання склеюваних деталей одна до одної застосовується пневмоциліндр двосторонньої дії. Після натискання кнопки шток циліндра повинен повільно висуватися. В крайньому висунутому положенні шток циліндра повинен залишатися протягом 6 с, а потім автоматично повернутися в початкове положення. Швидкість висування штока має бути регульованою. Нове спрацьовування циліндра можливо тільки за умови повернення штока в початкове положення (рисунок 3.10).

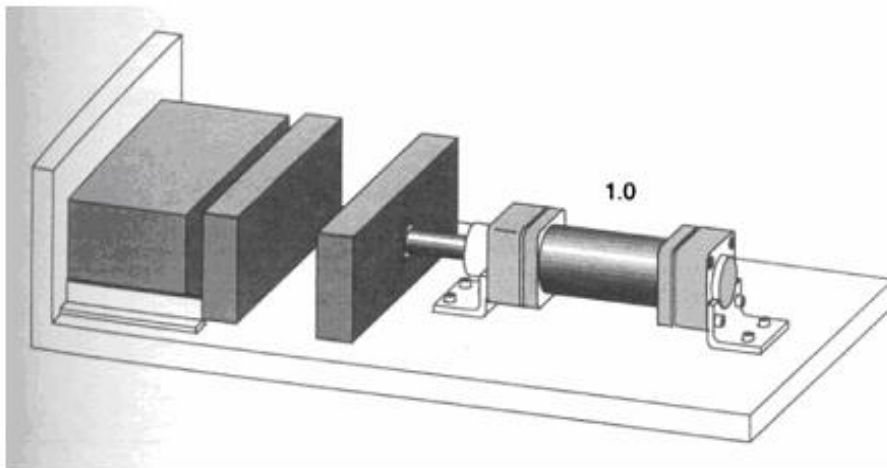


Рисунок 3.10 – Ескіз об'єкта керування

У разі, якщо при запуску системи шток знаходиться не в початковому положенні, необхідно виконати його корекцію. Це здійснюється за допомогою ручного керування 5/2-розподільником з двостороннім пневматичним керуванням і допоміжним ручним керуванням. У вихідному положенні на всі розподільники, за винятком кінцевого вимикача (розподільника 1.4, керованого важелем з роликом), не діє сигнал керування, штокова порожнина циліндра знаходиться під тиском повітря і шток залишається у втягнутому положенні. Необхідні початкові умови для висунення штока циліндра: шток повністю втягнутий (увімкнений кінцевий вимикач 1.4) і включена кнопка «СТАРТ» (розподільник 1.2). Якщо умови старту виконані, то вихідний сигнал клапана двох тисків 1.6 (клапан «І») надходить на вхід 14 (Z) 5/5-розподільника з двостороннім керуванням 1.1, який перемикається. Повітря надходить у поршневу порожнину циліндра, і шток висувається. Швидкість висування штока при цьому налаштовується за допомогою дроселя зі зворотним клапаном 1.02, встановленого на виході зі штокової порожнини. Після початку руху штока кінцевий вимикач 1.4, звільняючись, вимикається.

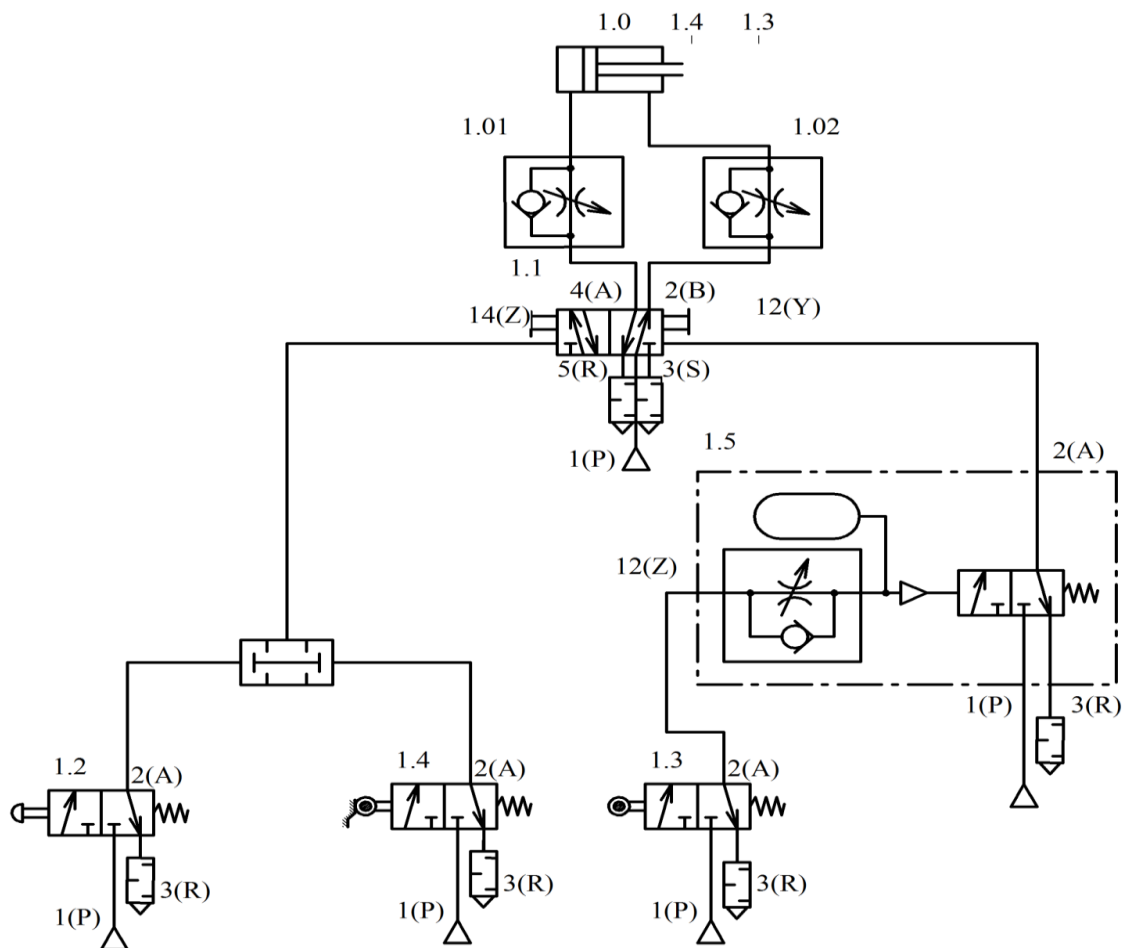


Рисунок 3.11 – Принципова схема системи

Таким чином, навіть при натисканні кнопки розподільника 1.2 логічна умова «I» не виконується і сигнал на вході 14 (Z) розподільника 1.1 зникає (рисунок 3.11). При цьому стан розподільника 1.1, який має властивість пам'яті, залишається незмінним. Нове натискання на кнопку розподільника 1.2 не приведе до старту доти, доки система не займе вихідне положення. При досягненні позиції пресування вмикається кінцевий вимикач 1.3, який подає сигнал на реле часу 1.5. Дросель зі зворотним клапаном починає заповнення об'єму повітрям. Швидкість збільшення тиску в ємності залежить від настройки дроселя реле часу. Якщо тиск досяг необхідного рівня, то включається 3/2-розподільник і на керівному вході 12 (Y) розподільника 1.1 з'являється сигнал. Розподільник 1.1 перемикається, шток втягується. Швидкість втягування залежить від настройки дроселя зі зворотним клапаном 1.01. На початку процесу втягування перемикається кінцевий вимикач 1.3 і ємність реле часу 1.5 з'єднується з атмосферою через дросель зі зворотним клапаном та кінцевий вимикач 1.3. Унаслідок цього 3/2-розподільник реле часу перемикається в початковий стан. Це приводить до зняття сигналу з керувального каналу 12 (Y) розподільника з двостороннім керуванням 1.1. Коли шток поршня повернеться у вихідне

положення, спрацює кінцевий вимикач 1.4 і після натискання кнопки клапана 1.2 може бути ініційовано новий робочий цикл.

Порядок виконання роботи

1. Накресліть елементи.
2. Складіть принципову схему з використанням таймера відповідно до поставлених завдань.
3. Позначте елементи схеми та пронумеруйте всі приєднувальні лінії (канали).
4. Перевірте працездатність схеми на стенді або у програмному середовищі FluidSimP Demo.
5. У бланк звіту з практичної роботи занесіть елементи створеної схеми (рисунок 3.13).
6. Сформулюйте висновки з практичної роботи.
7. Дайте відповіді на контрольні запитання.

Звіт з практичної роботи № 3 «Вплив зміни конструкції керувального елемента на рішення. Елемент затримки часу»

Здобувач освіти _____ група _____

1. Реле часу (таймер)	
2. Розподільник, керований за допомогою кнопки з фіксацією	
3. Пневматичний 3/2- розподільник, моностабільний, нормально закритий	
4. Пневматичний 5/2- розподільник, бістабільний	
5. Пневмоциліндр моностабільний двосторонній	
6. Пневматичний 5/3- розподільник	

Постановка завдання

Для забезпечення притискання склеюваних деталей застосовується бістабільний пневмоциліндр. При натисканні на кнопку шток поршня пресового циліндра висувається (рисунок 3.12). Коли прес притисне деталь, він повинен залишатися в цьому положенні протягом 6 с, після чого шток має автоматично повернутися в початкове положення. Початок нового циклу можливий тільки за умови досягнення штоком крайнього втягнутого положення і збереження цього положення протягом 5 с. За цей час склеєні деталі вручну виймають з преса, на їх місце встановлюють нові. Висування штока циліндра має відбуватися повільно, а втягування – відносно швидко, але з можливістю регулювання швидкості.

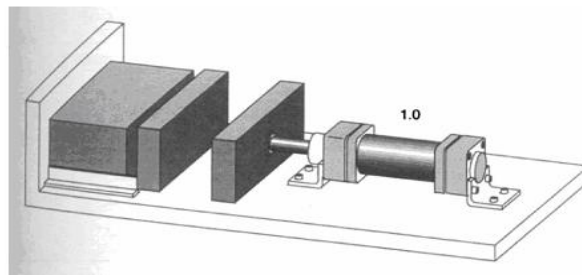


Рисунок 3.12 – Пневматична схема роботи пристрою

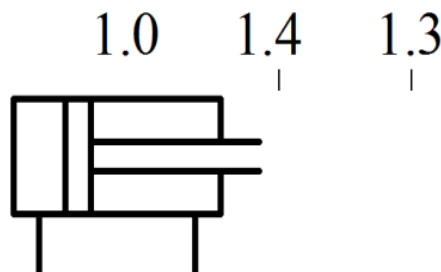


Рисунок 3.13 – Схема об'єкта керування

Зміст звіту

1. Тема та мета роботи.
2. Обладнання та матеріали.
3. Теоретичні відомості.
4. Схеми досліджень.
5. Порядок виконання роботи.
6. Результати досліджень.
7. Висновки.

Контрольні запитання

1. На які види поділяються клапани витримки часу (таймери)?
2. З яких елементів складається клапан витримки часу, які існують його типи та в яких часових діапазонах зазвичай виготовляються такі клапани?
3. Як сформувати короткочасний імпульс? (Накресліть схему і графік).
4. У яких сферах і для чого застосовується клапан витримки часу?
5. Опишіть принцип дії системи, використовуючи її принципову схему.
6. Які фактори впливають на точність та стабільність витримки часу в клапанах?
7. Які основні технічні характеристики необхідно враховувати при виборі клапана витримки часу для конкретної системи?
8. Наведіть приклади типового застосування клапанів витримки часу у промислових автоматизованих системах.
9. У чому полягає відмінність між електричними та пневматичними елементами затримки часу?
10. Яким чином задається і регулюється час затримки у пневматичному реле часу?

Практична робота № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КІЛЬКОХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАТРИМКИ ЧАСУ В ПНЕВМАТИЧНІЙ СИСТЕМІ

Мета роботи: ознайомитися з принципом дії елемента затримки часу, дослідити вплив зміни параметрів і конструкції керувального елемента (наприклад, типу або значення затримки) на динамічні характеристики системи. Визначити, як модифікація елемента затримки впливає на перехідні процеси, стабільність та якість регулювання у системах автоматичного керування.

Завдання:

1. Побудувати структурну схему системи автоматичного керування з лінійним об'єктом без затримки часу.
2. Додати до моделі елемент затримки часу, реалізувати моделювання.
3. Змінити тип керувального елемента.
4. Порівняти отримані результати та зробити висновок.

Теоретичні відомості

Основні компоненти систем автоматичного керування

Система автоматичного керування (САК) містить такі ключові елементи:

Об'єкт керування (ОК) – це технічний або технологічний процес, стан якого необхідно підтримувати на заданому рівні або змінювати відповідно до вхідного сигналу.

Керувальний елемент (регулятор) – пристрій або алгоритм, що формує керувальний вплив на об'єкт на основі різниці між заданим і фактичним значенням керованої величини (сигналом відхилення).

Задавальний пристрій – елемент, який задає бажане (еталонне) значення вихідної величини системи.

Зворотний зв'язок – канал, який передає інформацію про фактичний стан об'єкта керування для коригування керувального впливу в реальному часі.

Опис установки

Корпус та втулка, що є тілами обертання, надходять через конвеєрну лінію до позиціонувальної плити пресувального верстака в горизонтальному положенні. Привід 1 горизонтального пресу запресовує втулку у корпус. Після закінчення шток пневмоприводу 1 повертається у вихідне положення. Пневмопривід горизонтального маніпулятора 2 підходить до складальної одиниці, захоплювальний пристрій захоплює її в проміжку часу 3 с. Далі привід 2 переносить складальну одиницю до тари для зберігання та відпускає її [4].

Для забезпечення узгодженості дій усіх механізмів у системі передбачено послідовне керування пневмоприводами із застосуванням клапанів витримки часу та кінцевих вимикачів (або датчиків положення). Це гарантує безпечну та безперебійну роботу обладнання, виключає можливість передчасного спрацювання приводів і забезпечує необхідну продуктивність складальної ділянки.

Кінцеві вимикачі контролюють положення штоків пневмоциліндрів і передають сигнали для запуску наступної операції технологічного циклу. Клапани витримки часу забезпечують необхідні паузи між окремими операціями, що дає змогу стабілізувати процес складання, уникнути механічних перевантажень та досягти чіткої синхронізації роботи преса, маніпулятора та захоплювального пристрою. Додатково для підвищення надійності та точності роботи системи застосовується програмне або електронне керування, яке враховує сигнали від датчиків положення і кнопок керування.

Розроблення функціональної діаграми

Робота пневматичної системи здійснюється відповідно до функціональної діаграми, яка визначає послідовність виконання технологічних операцій та взаємодію між елементами керування і виконавчими механізмами (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Функціональна діаграма

Діаграма описує такий процес: якщо вмикається кінцевий вимикач XN2 і оператор натискає кнопку 1.2, то висувається шток циліндра 1.0. Коли циліндр 1.0 повністю висувається, то вмикається кінцевий вимикач X1 і шток циліндра 1.0 втягується. Після цього вмикається кінцевий вимикач XN1 і шток циліндра 2.0 висувається. Коли шток циліндра 2.0 досяг крайнього переднього положення, вмикається кінцевий вимикач X2, що запускає таймер 3.2. Коли таймер 3.1 спрацював, шток циліндра 2.0 втягується. Коли шток циліндра 2.0 втягнувся, вмикається кінцевий вимикач XN2, що запускає таймер 3.1. Коли таймер спрацює, система повертається у вихідне положення.

Циклограма роботи установки

На циклограмі (рисунок 4.2) відображено послідовність спрацювання пневмоциліндрів та логічних елементів керування в часі. Лінії 1 і 2 відповідають руху штоків циліндрів у напрямку висування, тоді як n1 і n2 характеризують їх зворотний хід (втягнення).

Позначення 3 та n3 відповідають станам елемента пам'яті, який забезпечує фіксацію сигналу та підтримання відповідного положення розподільника до надходження наступної керувальної команди.

Сигнали $X1...X3$ і $XN1...XN3$ формуються кінцевими вимикачами, що спрацьовують при досягненні штоками циліндрів крайніх положень і визначають моменти переходу системи до наступного етапу робочого циклу.

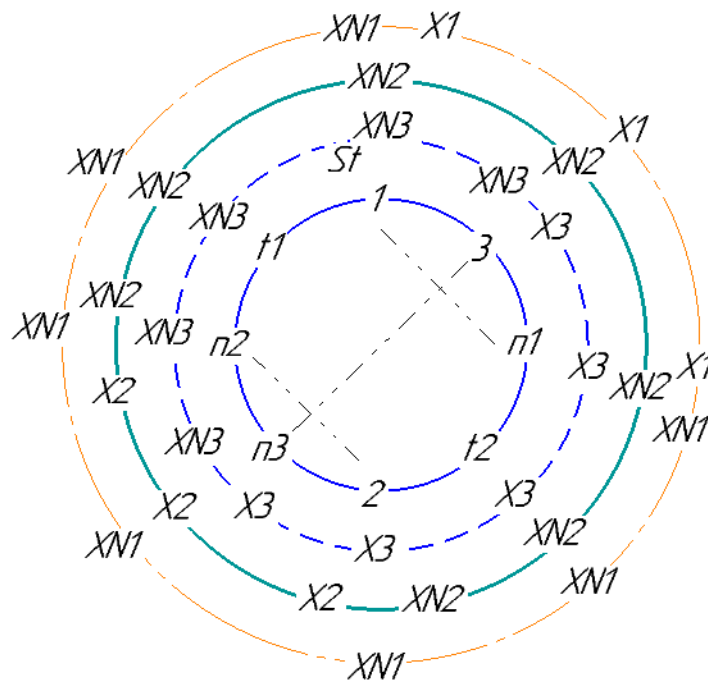


Рисунок 4.2 – Циклограма роботи системи:

1, 2 – висування циліндрів; п1, п2 – втягнення циліндрів; 3, п3 – елемент пам'яті; $X1...X3$, $XN1...XN3$ – сигнали кінцевих вимикачів

Рівняння роботи установки

Рівняння роботи установки відображає послідовність спрацювання виконавчих механізмів та логіку виконання операцій технологічного процесу:

$$\begin{aligned} Y1 &= ST \& T_1; \\ Y2 &= T_2; \\ Y3 &= X1; \\ T_2 &= XN1 \& X3; \\ T_1 &= XN2 \& XN3; \\ YN1 &= X3; \\ YN2 &= XN3; \\ YN3 &= X2, \end{aligned}$$

де $Y1$, $Y2$, $Y3$ – це контакти електромагнітних котушок, які керують розподільником. При надходженні сигналу ці котушки перемикають

розподільник у режим подавання тиску до циліндра, що забезпечує його висування;

YN1, YN2, YN3 – контакти електричних катушок керування розподільником, що при подаванні сигналу перемикають розподільник у режим подавання тиску на циліндр для його висування;

T1, T2 – керувальні входи реле затримки часу (пневматичного таймера);

T_1, T_2 – вихідні сигнали реле затримки часу (пневматичного таймера).

Пневматична схема в середовищі FLUIDSIM

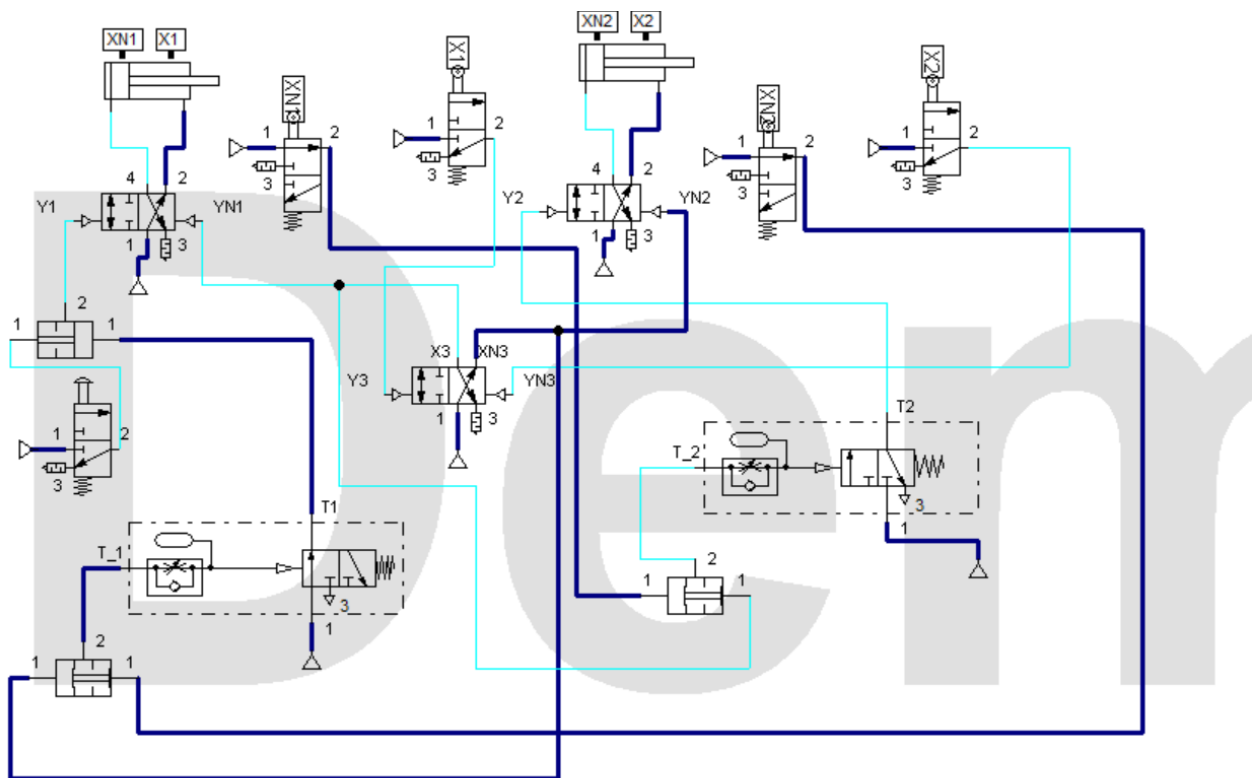


Рисунок 4.3 – Пневматична схема в середовищі FLUIDSIM

Приклад

Скласти пневматичну систему пресового зняття задирок з деталі.

Алгоритм роботи: після натискання кнопки привід 2 висувається та фіксує заготовку. Далі привід 1 переміщується в робочу зону та виконує операцію зняття задирок, яку моделюємо паузою тривалістю 5 с. Після завершення процесу привід 1 повертається у вихідне положення, а потім повертається привід 2. Система переходить у режим очікування завантаження нової заготовки, орієнтуючись на реле часу з витримкою 3 с.

Зміст звіту

1. Опис роботи установки.
2. Функціональна діаграма з детальним описом роботи системи.
3. Циклограма.
4. Рівняння роботи керувальних елементів системи.
5. Схема пневматична (надати кілька скріншотів, що демонструють різні етапи роботи системи для наочного підтвердження її працездатності).

Контрольні запитання

1. Яку функцію виконує елемент затримки часу у схемі?
2. Як зміна тривалості затримки часу впливає на точність і ефективність виконання операції?
3. Що відбудеться в системі, якщо елемент затримки часу вийде з ладу?
4. Які типи елементів затримки часу існують і який найкраще підходить для цієї системи?
5. Чи можна замінити пневматичний елемент затримки електронним таймером? Які переваги та недоліки такого рішення?
6. Що таке «затримка на увімкнення» і «затримка на вимкнення»? У чому між ними різниця?
7. Які основні параметри впливають на тривалість затримки часу в пневмоелементах?
8. Як зміна внутрішнього об'єму елемента затримки часу впливає на його функціонування?
9. Чому важливо правильно вибрати тип і конструкцію керувального елемента у схемах з реле часу?
10. Як зміна діаметра дроселя в контурі затримки часу впливає на роботу пристрою?

Практична робота № 5

ПІД'ЄДНАННЯ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА PLC ДО ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Мета роботи: ознайомитися з принципами під'єднання програмованого логічного контролера (PLC) до пневматичної системи з метою автоматизації її роботи, набути практичних навичок з під'єднання та налагодження ПЛК для керування елементами пневматичної системи (електромагнітними клапанами, датчиками положення, виконавчими механізмами тощо).

Завдання:

1. Вивчити структуру пневматичної системи та її елементів.
2. Ознайомитися з технічними характеристиками використовуваного ПЛК.
3. Під'єднати електромагнітні клапани та датчики до відповідних входів/виходів ПЛК.
4. Скласти алгоритм керування пневматичною системою.
5. Реалізувати програму керування мовою LAD/STL/FBD.
6. Протестувати роботу системи та оцінити її функціональність.

Порядок виконання роботи

Пневматичні системи широко застосовуються в автоматизованих технологічних процесах для здійснення механічного руху за допомогою стисненого повітря. Основними елементами таких систем є пневмоциліндри, електромагнітні клапани, датчики положення та засоби керування.

Програмований логічний контролер (ПЛК) – це спеціалізований мікропроцесорний пристрій, призначений для автоматизованого керування технологічними процесами у промисловості.

Інтеграція ПЛК із пневматичними системами дає змогу створити гнучкі та надійні системи керування з можливістю швидкої зміни логіки роботи.

До типового складу пневматичної системи, керованої ПЛК, входять:

- а) пневматичний циліндр – виконує поступальний рух;
- б) електромагнітний (соленоїдний) клапан – керує подачею або відведенням повітря;
- в) датчики положення (кінцеві вимикачі) – визначають положення штока циліндра;
- г) компресор/пневмоблок – забезпечує стиснене повітря;
- д) ПЛК – обробляє сигнали від датчиків і керує клапанами;
- е) лінії живлення та під'єднання сигналів – електричні дроти, пневматичні шланги.

Принцип роботи системи:

1. ПЛК приймає сигнали від датчиків положення (наприклад, шток у крайньому передньому чи задньому положенні).
2. На основі заданої логіки ПЛК активує або деактивує вихідні сигнали, які керують електромагнітними клапанами.
3. Клапани змінюють потік стисненого повітря, подаючи його до певної камери циліндра, що викликає рух штока.

4. Зворотний зв'язок від датчиків дає змогу реалізовувати послідовні операції або умови безпеки.

Під'єднання ПЛК до елементів пневмосистеми

Входи ПЛК з'єднуються з датчиками положення, кнопками керування тощо. Виходи ПЛК з'єднуються з соленоїдами клапанів (зазвичай 24 В постійного струму або через реле, якщо потрібна більша потужність).

Кожен елемент має чітко визначене під'єднання: живлення, заземлення, сигнальні лінії.

Переваги використання ПЛК у пневмосистемах: гнучкість у зміні алгоритму роботи без фізичних змін у схемі, можливість програмування складних логічних умов, надійність у промислових умовах (висока стійкість до завад), легкість діагностики та обслуговування.

Приклад застосування

Система автоматичного пресування: після натискання кнопки «Пуск» циліндр висувається, досягає кінцевого положення і фіксується датчиком. Потім відбуваються затримка і повернення циліндра у вихідне положення. Всі дії контролюються ПЛК за допомогою відповідної програми.

Така система керування забезпечує чітку послідовність виконання операцій, підвищує надійність роботи обладнання та дає змогу автоматизувати процес пресування, зменшуючи участь оператора і підвищуючи продуктивність установки.

Програмування ПЛК

Програмування ПЛК здійснюється за допомогою спеціального ПЗ (наприклад, TIA Portal для Siemens), зазвичай однією з мов стандарту IEC 61131-3:

LAD (Ladder Diagram) – релейна логіка;

FBD (Function Block Diagram) – блок-схеми;

STL/IL (Instruction List) – мова інструкцій;

ST (Structured Text) – структурований текст.

Розглянемо для прикладу ділянку автоматичного наповнення лакофарбових матеріалів із використанням пневматичної системи та ПЛК (рисунок 5.1).

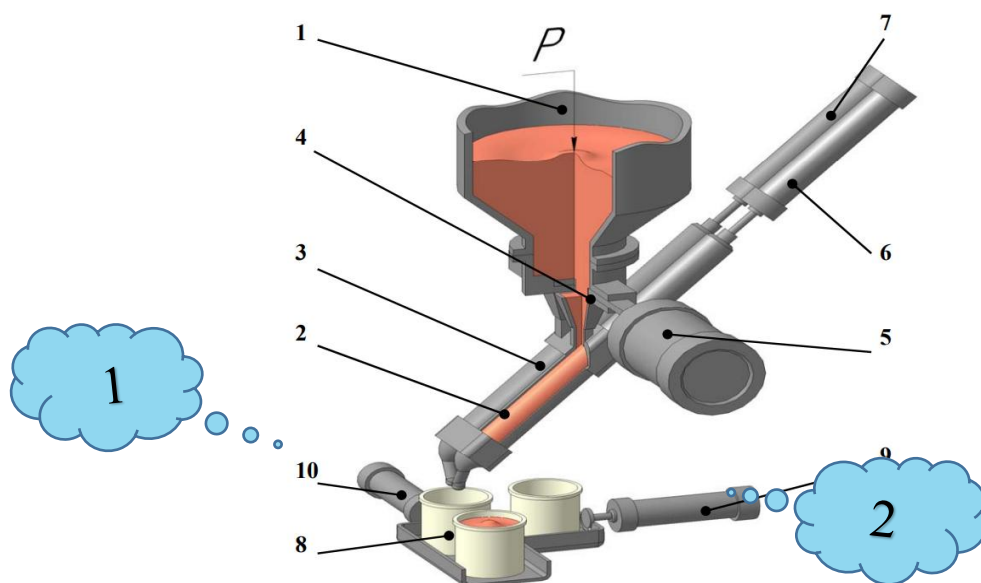


Рисунок 5.1 – Установка ділянки автоматичного наповнення лакофарбових матеріалів

Фарба, що знаходиться під тиском у циліндричній ємності 1, подається до дозатора 4. За допомогою приводу 5 здійснюється перемикання напрямної касети, яка по черзі з'єднує камери 2 та 3 з вихідним патрубком ємності 1. У вихідному положенні приводу 5 здійснюється заповнення камери 2. Тривалість цього процесу становить 2 с.

Привід 6 із заданою швидкістю видавлює шпаклівку з камери 2 у пластикову ємність 8, що знаходиться на позиції розфасування. Після цього привід 10 видаляє заповнену ємність на наступну позицію лінії для упаковки. Далі привід 9 завантажує наступну ємність на позицію фасування, на якій привід 7 із заданою швидкістю видавлює шпаклівку з камери 3. Після відвантаження двох заповнених ємностей цикл повторюється в автоматичному режимі. Час заповнення камери дозатора контролюється за допомогою реле часу (пневматичного або електричного) або таймера.

Маємо повний опис роботи установки. Для прикладу візьмемо два циліндри – № 9 та № 10 – і для зручності позначимо їх як 1 та 2 (номери вказані в хмарках на схемі). Алгоритм їх роботи має такий вигляд: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 1n \rightarrow 2n$. Незважаючи на простоту цього алгоритму, керування циліндрами не буде одноманітним, оскільки для цього використовуються моностабільні розподільники.

Переваги використання моностабільних розподільників при керуванні від контролера: основна перевага полягає в наявності лише одного керувального каналу, що дає змогу ефективніше використовувати виходи ПЛК, зменшуючи загальну кількість необхідних керувальних сигналів; мають фіксоване вихідне положення за відсутності сигналу, що підвищує надійність системи у випадку аварійного знеструмлення або

відмови контролера; спрощують логіку керування, оскільки для приведення розподільника у робочий стан достатньо короткочасного імпульсу, після чого він самостійно повертається у початкове положення при знятті сигналу.

Недоліки використання моностабільних розподільників при керуванні від ПЛК: тривале подавання керувального сигналу може призвести до перегрівання соленоїда, що зумовить його передчасний вихід з ладу через термічне перевантаження; у разі знеструмлення або втрати сигналу розподільник автоматично повертається у вихідне положення, що може бути небажаним у деяких технологічних процесах, де необхідно зберегти стан приводу; такі розподільники потребують постійного керування сигналом утримання, що збільшує навантаження на виходи ПЛК і може зменшити енергоефективність системи порівняно з бістабільними аналогами.

Розглянемо детальніше алгоритм на діаграмі «час–дія» (рисунк 5.2). Доцільно додати також графіки активації соленоїдів (електромагнітів) розподільників, які керують пневмоциліндрами. Це дасть можливість чітко визначити тривалість подавання керувального сигналу на кожен соленоїд, необхідну для повного виконання відповідної фази алгоритму.

Оскільки у випадку з моностабільними розподільниками припинення сигналу призводить до автоматичного повернення розподільника у вихідне положення, це, у свою чергу, означає зміну напрямку руху циліндра або його зупинку. Тому важливо точно визначити момент увімкнення та вимкнення керувального сигналу, щоб уникнути порушень у послідовності рухів виконавчих механізмів.

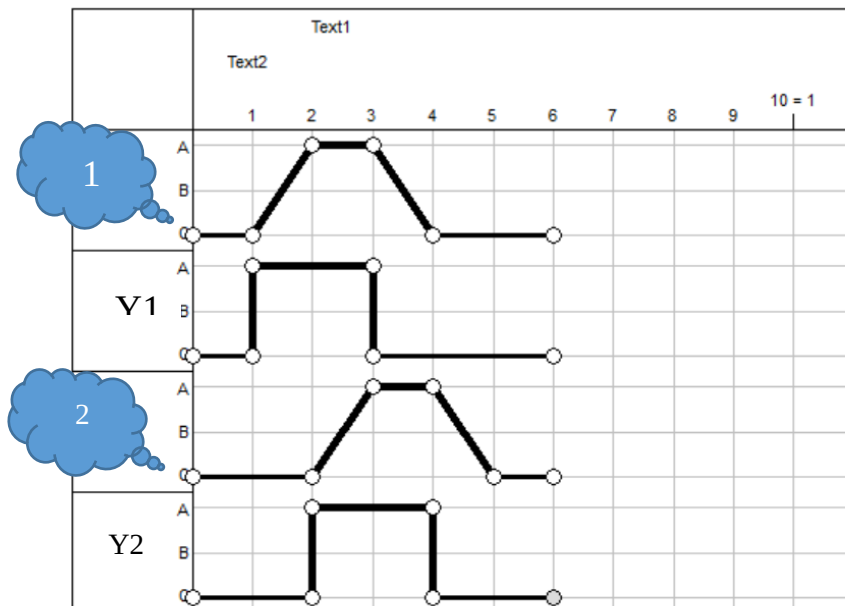


Рисунок 5.2 – Діаграма «час–дія» двох циліндрів

Для цієї діаграми необхідно визначити взаємозв'язки між елементами системи та характер їх впливу один на одного.

Наступним кроком робимо циклограму (рисунок 5.3). На ній необхідно відобразити, які елементи системи (циліндри, соленоїди, датчики) активні в кожен момент часу протягом повного робочого циклу. Це дає змогу візуалізувати логіку керування та визначити послідовність дій елементів. Особливу увагу слід приділити аналізу необхідності використання елементів пам'яті (тригери, маркери, внутрішні змінні ПЛК). Для цього об'єднуємо одноіменні вершини Y1 та YN1, Y2 та YN2. Якщо відповідні ділянки циклограми перетинаються, це означає, що можна сформувати унікальні умови для ввімкнення та вимкнення котушок розподільників без додаткової логіки пам'яті. Однак, якщо принаймні одна пара ліній не перетинається у часі, виникає потреба в додаванні проміжних умов або елементів пам'яті, які забезпечуватимуть унікальність логічних комбінацій для керування соленоїдами. Це дасть змогу уникнути неоднозначностей у роботі системи та забезпечити стабільність і повторюваність повного робочого циклу.

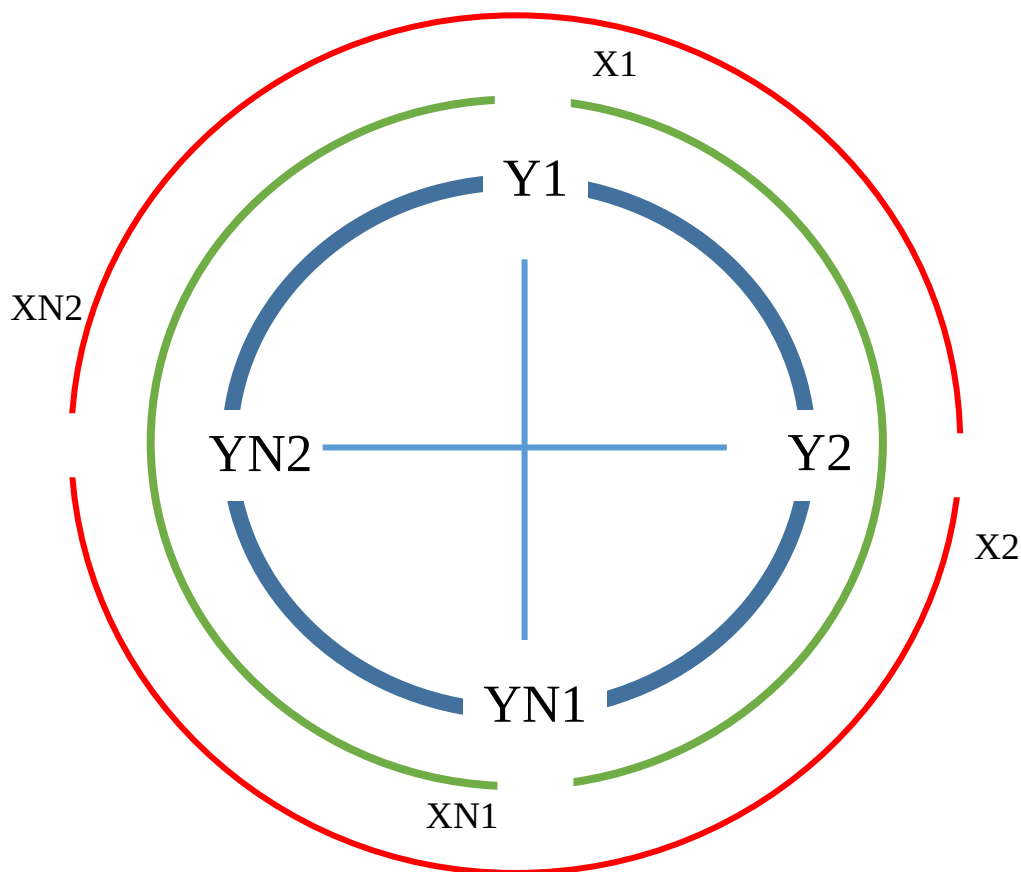


Рисунок 5.3 – Циклограма роботи двох циліндрів

Переходимо до етапу формування логічних рівнянь. Якщо записати рівняння без урахування особливостей роботи системи, – тобто за

стандартним алгоритмом, – це може призвести до некоректного функціонування програми керування.

Проблема полягає в тому, що при переході до наступного кроку алгоритму попередня умова перестає виконуватися, що спричиняє дострокове вимкнення розподільника. Унаслідок цього він перемикається раніше, ніж потрібно, і циліндр не встигає завершити задану операцію.

Отже, при складанні рівнянь необхідно передбачити умови фіксації стану або використання елементів пам'яті, щоб забезпечити стійке утримання виходу до повного завершення дії.

Аналогічно виконується побудова дуги для елемента Y2 (рисунк 5.4). Перед формулюванням відповідного логічного рівняння слід заздалегідь продумати механізм утримання керувального сигналу.

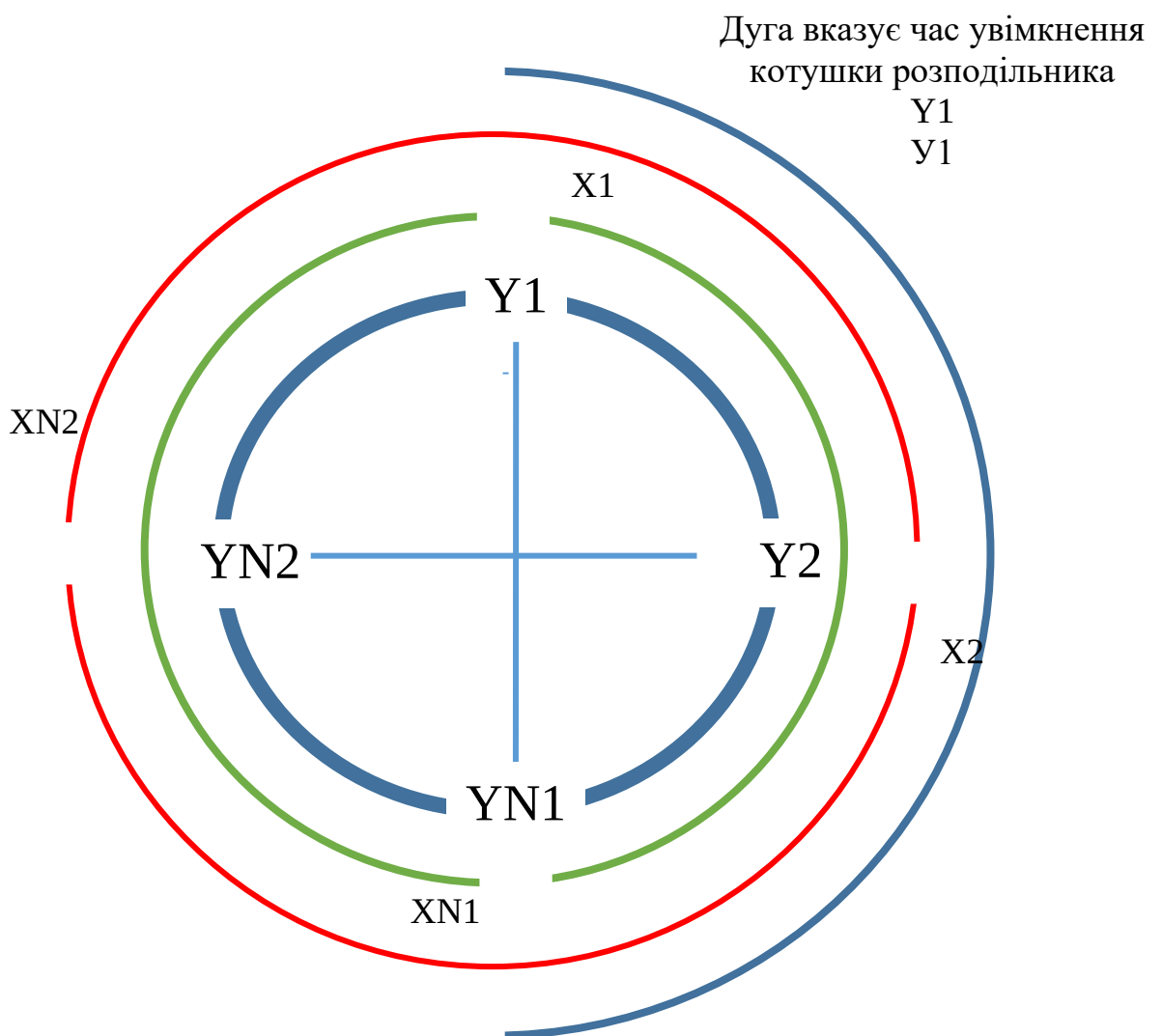


Рисунок 5.4 – Циклограма з додатковим позначенням часу роботи котушки розподільника

Найпростіше та найефективніше рішення – використати елемент пам'яті (тригер або маркер), який активується (встановлюється) у визначений момент часу і зберігає стан доти, доки не буде сформована умова для його скидання.

Таким чином, керування розподільником Y2 стає стабільним і не залежить від миттєвих змін вхідних умов, що дає змогу точно реалізувати алгоритм і запобігти передчасному перемиканню.

Під час проєктування пневматичних систем доцільніше застосовувати бістабільні розподільники замість моностабільних, оскільки вони здатні утримувати своє положення без постійного керувального сигналу, що підвищує надійність у випадку втрати живлення або сигналу.

Однак при використанні ПЛК таке завдання легко вирішується програмно. Для реалізації логіки утримання стану використовують програмні елементи пам'яті – наприклад, прості логічні прапори або RS-тригери, за допомогою яких стан розподільника фіксується до моменту зміни умови.

Це забезпечує стабільне керування моностабільними розподільниками, компенсуючи таку їх особливість, як автоматичне повернення у вихідне положення після зняття сигналу.

Тепер, коли визначені всі необхідні елементи системи, можемо переходити до розроблення принципової (функціональної) схеми керування. На цьому етапі буде виконано логічне з'єднання елементів згідно з алгоритмом роботи, враховуючи умови ввімкнення, утримання та вимкнення виконавчих механізмів [5].

Під час розроблення схеми також враховуються сигнали від датчиків положення, кнопок керування та елементів індикації. Це дає змогу забезпечити правильну взаємодію між програмованим логічним контролером і пневматичними виконавчими механізмами системи. Крім того, під час проєктування функціональної схеми слід передбачати можливі відмови елементів і забезпечувати резервування або блокування небезпечних станів.

На рисунку 5.5 показано частину електропневматичної схеми, що містить основні виконавчі елементи системи керування. До таких елементів належать пневмоциліндри, розподільники, клапани витримки часу, кнопки керування та датчики положення. Схема призначена для автоматизованого виконання робочого циклу установки пресування та маніпулювання деталей.

За допомогою електричної частини електропневматичної схеми (рисунк 5.6) відбувається керування пневматичними виконавчими механізмами установки і вмикаються елементи електричного керування: кнопки пуску та зупинки, реле, ПЛК, кінцеві вимикачі та сигнальні індикатори. Електрична частина забезпечує вплив керувальних сигналів на пневматичні розподільники відповідно до заданого алгоритму роботи установки.

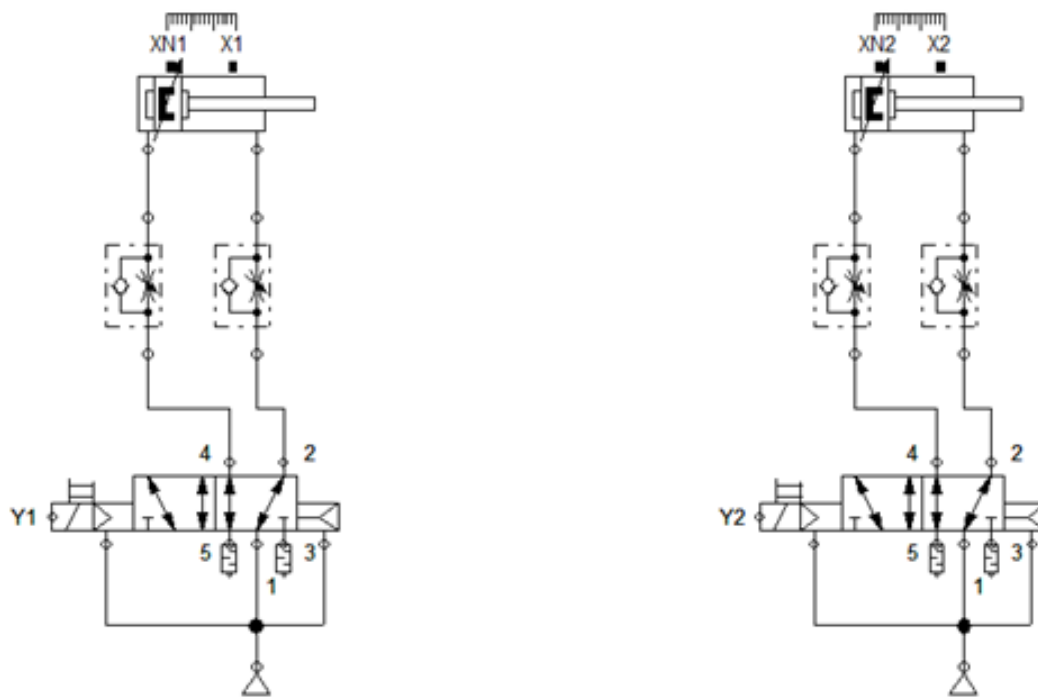


Рисунок 5.5 – Частина електропневматичної схеми з виконавчими елементами

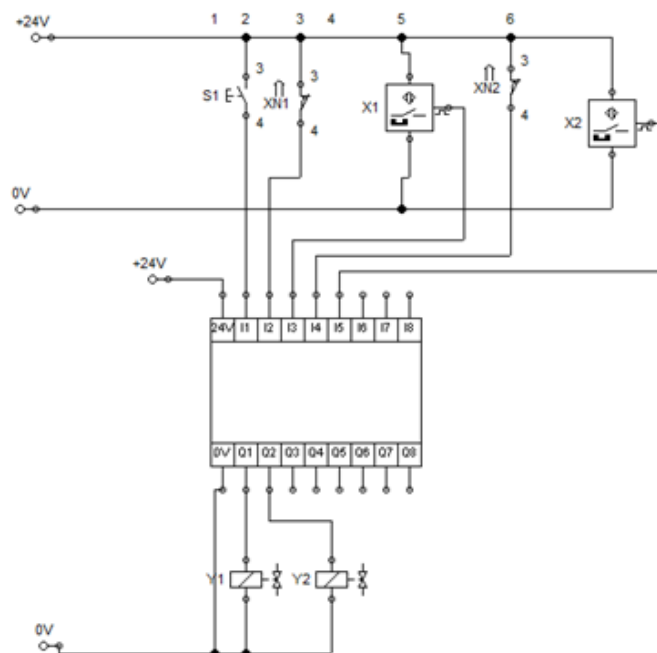


Рисунок 5.6 – Електрична частина електропневматичної схеми

На етапі розроблення установки виконується підбір необхідного обладнання. У нашому випадку для моделювання та побудови пневматичної системи використовуватимемо компоненти з бібліотеки програмного середовища FluidSim, за допомогою якого можна швидко та

наочно створити електропневматичну схему з використанням стандартних елементів.

Завдання: зробити опис елементів схеми (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Опис елементів схеми

Позначення на схемі	Назва	Короткий опис елемента
1, 2	Циліндр	
X1, XN1, X2, XN2	Датчики положення циліндрів	
1.1	Розподільник	
1.2	Дросель	

Після завершення збирання схеми переходимо до етапу програмування. За допомогою програмного середовища-симулятора FluidSim можна створювати керувальні програми для ПЛК мовою TTL (мовою логічних елементів). Це дає змогу реалізувати логіку роботи системи у вигляді комбінації базових логічних функцій – AND, OR, NOT, тригерів, таймерів тощо, що відповідає принципам релейно-контактного програмування.

Повертаємося до формування логічних рівнянь. Для реалізації утримання керувального сигналу протягом певного проміжку часу доцільно використати RS-тригер, який має два виходи: для встановлення (увімкнення) та скидання (вимкнення) стану.

На основі цього можна скласти рівняння для керування встановленням і скиданням тригера, що забезпечить запам'ятовування поточного стану розподільника.

Відповідно, за традицією позначимо ці сигнали як Y1 (встановлення) і YN1 (скидання) для першого розподільника, а також Y2 і YN2 – для другого.

Якщо додати RS-тригери, то схема набуде звичайного логічного вигляду, що дає змогу описувати рівняння так, як раніше:

$$\begin{aligned}Y1^* &= St \& XN1; \\ Y2^* &= X1; \\ YN1^* &= XN2; \\ YN2^* &= XN1.\end{aligned}$$

За допомогою RS-тригерів можна реалізувати затримки між операціями, організувати послідовність спрацьовування приводів та забезпечити безперервне і безпечне виконання робочого циклу.

Додаємо необхідні логічні елементи та виконуємо їх з'єднання відповідно до складених рівнянь, унаслідок чого отримаємо програму керування, що матиме таку структуру та вигляд, як показано на рисунку 5.7.

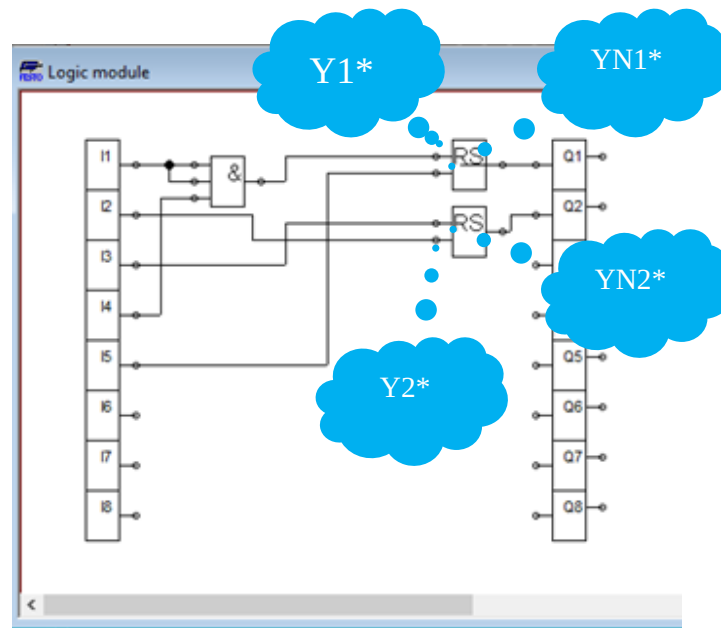


Рисунок 5.7 – Зовнішній вигляд ПЛК

Виходячи з наведеного прикладу, необхідно розробити електропневматичну схему та відповідну програму керування для виконання наступного завдання.

Завдання: при натисканні на кнопку починає висуватися другий циліндр. При отриманні сигналу від кінцевого вимикача відбувається затримка 3 с. Після затримки висувається перший циліндр. При отриманні сигналу від кінцевого вимикача відбувається наступна затримка в 5 с, після чого перший циліндр втягується. При натисканні кінцевого вимикача втягується другий циліндр і система повертається на початок циклу в режим очікування натискання кнопки.

Зміст звіту

1. Титульний аркуш.
2. Мета та завдання.
3. Схема під'єднання.
4. Алгоритм роботи установки.
5. Розроблення керувальної програми.
6. Результати експерименту (симуляції).
7. Висновки про виконану роботу.
8. Відповіді на контрольні запитання.

Контрольні запитання

1. Що таке ПЛК і які основні його функції в керуванні пневматичною системою?
2. Які основні елементи входять до складу пневматичної системи?

3. Які типи сигналів використовуються для зв'язку між ПЛК та пневматичними виконавчими механізмами?
4. Як здійснюється під'єднання пневматичних розподільників до виходів ПЛК?
5. Що таке датчики положення (кінцеві вимикачі) і яка їх роль у системі керування?
6. Які переваги має використання ПЛК порівняно з традиційними релейно-контактними системами?
7. Що таке моностабільні та бістабільні розподільники і як вони керуються з ПЛК?
8. Як реалізувати затримки в роботі пневматичних виконавчих механізмів за допомогою ПЛК?
9. Які можливі проблеми виникають при безпосередньому керуванні соленоїдами моностабільних розподільників?
10. Як у ПЛК реалізуються логічні умови для послідовного керування кількома пневматичними циліндрами?

Практична робота № 6

ПІД'ЄДНАННЯ КОНТРОЛЕРА ARDUINO ДО ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Мета роботи: спроектувати та реалізувати систему автоматичного керування пневматичною установкою на базі мікроконтролера Arduino, а також виконати її налагодження згідно із заданою послідовністю дій.

Завдання:

1. Ознайомитися з принципами побудови пневматичних систем керування.
2. Вивчити можливості використання мікроконтролера Arduino для керування електропневматичними елементами.
3. Розробити схему під'єднання Arduino до виконавчих елементів пневмосистеми (електромагнітних клапанів, датчиків положення, кнопок тощо).
4. Написати програму мовою Arduino (C/C++) для реалізації заданого алгоритму керування пневматичною ділянкою.
5. Здійснити монтаж обладнання на стенді та виконати тестування системи.
6. Налагодити роботу пневматичної системи відповідно до встановленої послідовності дій (циклу).
7. Проаналізувати результати роботи системи та виявити можливі шляхи її вдосконалення.
8. Зробити висновки та оформити звіт.

Порядок виконання роботи

Пневматичні системи широко застосовуються в автоматизації виробничих процесів завдяки простоті конструкції, високій швидкості спрацювання та надійності. Однак для забезпечення гнучкого керування такими системами доцільно використовувати електронні засоби, зокрема мікроконтролери, як-от Arduino.

Типова пневматична система керування складається:

- а) з компресора – джерело стисненого повітря;
- б) пневмоциліндрів – виконавчих механізмів;
- в) електромагнітних клапанів (соленоїдів) – керування подаванням повітря;
- г) датчиків положення (кінцевих вимикачів) – зворотний зв'язок;
- д) пневморозподільників, дроселів, зворотних клапанів – допоміжні елементи.

Arduino – це програмована апаратна платформа з відкритим кодом, яка дає змогу зчитувати сигнали з датчиків і формувати сигнали керування на виходи. У контексті пневматичних систем Arduino застосовується для: керування електромагнітними клапанами (через цифрові виходи); оброблення сигналів від кінцевих вимикачів або датчиків тиску; реалізації логіки роботи системи (циклічність, затримки, умови запуску тощо).

У межах цієї практичної роботи автоматизовано частину лінії, яка забезпечує розлив лакофарбових виробів у ємності заданого об'єму та їх подальше пакування (рисунок 6.1).

Принцип роботи: шпаклівка, яка перебуває під тиском у циліндричній ємності 1, подається в дозатор 4. Керування подаванням здійснюється за допомогою привода 5, який переключає напрямну касету, по черзі з'єднуючи камери 2 та 3 з вихідним патрубком ємності.

У вихідному положенні привода 5 заповнюється камера 2. При перемиканні привода та висуненні його штока починається заповнення камери 3. Тривалість процесу заповнення становить 2 с.

Далі привід 6 із заданою швидкістю видавлює шпаклівку з камери 2 у пластикову ємність, розміщену на позиції розфасування 8, після чого повертається у вихідне положення.

Після завершення розфасування привід 10 переміщує заповнену тару на наступну позицію для подальшого пакування. Одночасно привід 9 подає нову порожню ємність на позицію розфасування, де привід 7 подає шпаклівку з камери 3.

Таким чином, система працює почергово, забезпечуючи безперервне подавання та фасування шпаклівки у споживчу тару.

Список обладнання: контролер Arduino Uno r3 atmega328, інфрачервоний датчик виявлення перешкоди ky-033, пневматичний циліндр типу МА з нержавіючої сталі, діаметр – 25 мм, хід – 125 мм, повітряний циліндр з одним стрижнем подвійної дії МА25x125,

пневматичний 5/2-ходовий одиночний клапан керування повітрям 4V210-08, пневматичний регулятор витрати повітря з дросельною заслінкою, одноканальне реле SRD-05VDC-SL-C, світлодіод кольоровий, кнопка з ковпачком, резистор 1 кОм, резистор 150 Ом, макетна плата, джерело стисненого повітря (компресор), сполучні пневматичні трубки, дроти.

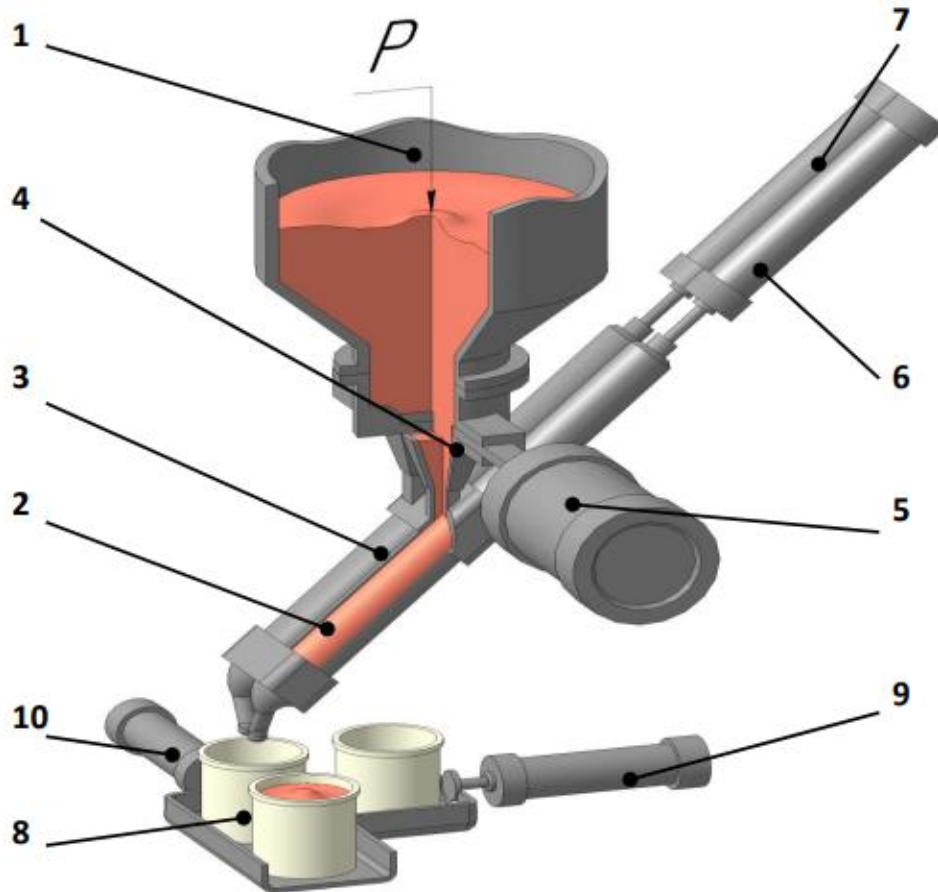


Рисунок 6.1 – Об'єкт автоматизації: ділянка автоматизованої лінії розфасування й пакування лакофарбових виробів

Опис стенда: лабораторний стенд являє собою модель пневматичної системи, до складу якої входять три пневматичні циліндри, з'єднані з 5/2-ходовими розподільниками з електричним моностабільним керуванням, що працюють від джерела живлення 24 В (рисунок 6.2). Керування розподільниками здійснюється за допомогою контролера Arduino, до якого вони під'єднані через електромеханічні реле, що забезпечують безпечне комутування навантаження. Контроль положення штоків пневмоциліндрів реалізовано через інфрачервоні датчики, які фіксують їх перебування у початковому та крайньому (висунутому) положеннях. Сигнали з датчиків надходять на відповідні входи контролера Arduino (рисунок 6.3). Також до Arduino може бути під'єднано світлодіоди, кнопки керування та інші додаткові компоненти через макетну плату, що дає змогу модифікувати або розширяти функціональність стенда під конкретні завдання.

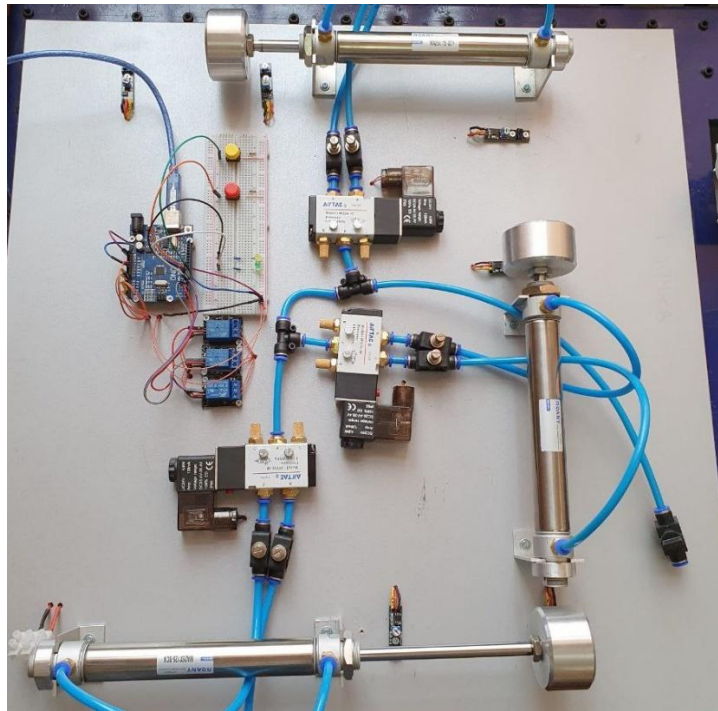


Рисунок 6.2 – Лабораторний пневматичний стенд з контролером Arduino

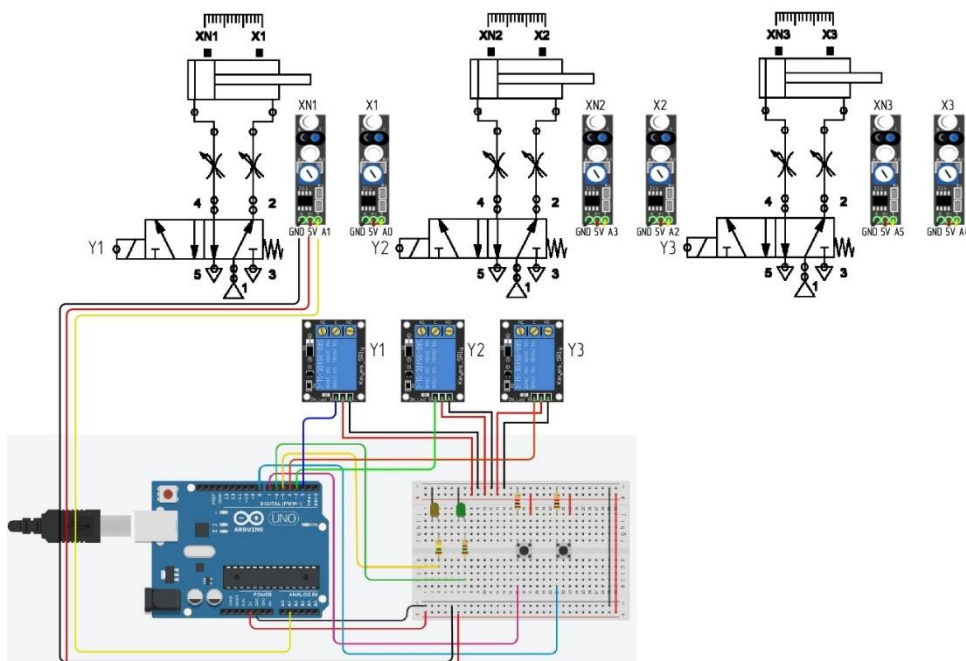


Рисунок 6.3 – Схема під'єднання пневматичного стенда до контролера Arduino

Приклад виконання роботи

Завдання: розробити програму керування Arduino та відрегулювати роботу циклу на навчальному пневматичному стенді для приводів видавлювання шпаклівки (приводи 5 і 6). Цикл починається з заповненою

камерою 2 та втягнутими циліндрами приводів 5 і 6. Після запуску циліндра 5 подавання матеріалу в камеру завершується і вона стає готовою до розфасування приводом 6 з використанням дроселя. Коли шпаклівка переміщена в пластикову ємність, циліндр 6 повертається у вихідне положення. Насамкінець циліндр 5 втягується, поновлюючи подавання шпаклівки в камеру 2 і готуючись до наступного циклу. Система починає роботу після натискання кнопки 1 і працює безперервно. При повторному натисканні кнопки 1 система допрацьовує поточний цикл і зупиняється.

Діаграма «час–дія»

Діаграма «час–дія» використовується для наочного подання послідовності операцій та часових затримок у роботі пневматичної або електропневматичної системи (рисунок 6.4).

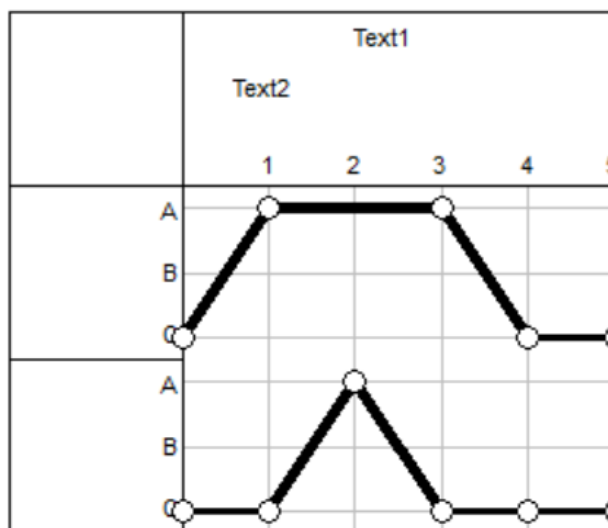


Рисунок 6.4 – Діаграма «час–дія»

Для побудови циклограми вважатимемо, що циліндр 1 лабораторного стенду відповідає циліндру 5 в описі технологічного процесу, а циліндр 2 – приводу 6 (рисунок 6.5). З метою реалізації логіки роботи в схемі буде використано елемент пам'яті Y4.

Використання цього елемента пам'яті необхідне для фіксації стану системи між окремими етапами циклу та забезпечення безперервної роботи після натискання кнопки запуску. Елемент Y4 дає змогу зберігати інформацію про активний стан циклу, що унеможливорює передчасне зупинення процесу та забезпечує коректне завершення поточного робочого циклу при повторному натисканні кнопки керування. Крім того, застосування елемента пам'яті дає змогу реалізувати функцію утримання стану виконавчих механізмів протягом заданого часу, організувати послідовність

спрацьовування приводів і контролювати виконання затримок між операціями.

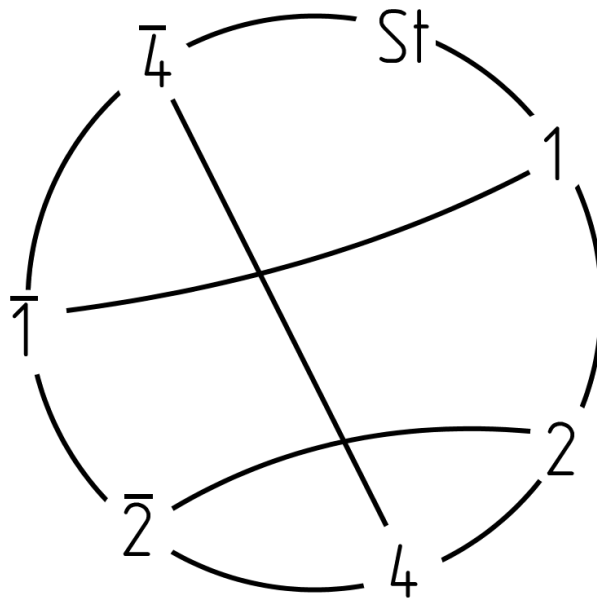


Рисунок 6.5 – Циклограма роботи установки

Рівняння роботи установки:

$Y1 = XN4 * St;$
 $Y2 = X1 * XN4;$
 $Y4 = X2;$
 $NY2 = X4;$
 $NY1 = XN2 * X4;$
 $NY4 = XN1.$

Розроблення коду контролера Arduino:

```

#define Y1 2    // Визначення реле циліндра
#define Y2 3
#define Y3 4

boolean X1 = 0; // Сенсор висунутого положення циліндра
boolean XN1 = 0; // Сенсор втягнутого положення циліндра
boolean X2 = 0;
boolean XN2 = 0;
boolean X3 = 0;
boolean XN3 = 0;

boolean X4; // Елемент пам'яті
#define but_yellow 8    // button yellow
    
```

```

#define but_red 7      // button red
#define led_yellow 6    // led yellow  pwm
#define led_green 5    // led red    pwm

int s = 0; //Крок виконання програми
bool buttonWasUp = false;
bool button = false;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(Y1, OUTPUT);
    pinMode(Y2, OUTPUT);
    pinMode(Y3, OUTPUT);
    pinMode(13, OUTPUT);
    pinMode (but_yellow, INPUT);
    pinMode (but_red, INPUT);
    pinMode (led_yellow, OUTPUT);
    pinMode (led_green, OUTPUT);
    //Встановлення циліндрів у початкове положення
    digitalWrite(Y1, 0);
    digitalWrite(Y2, 0);
    digitalWrite(Y3, 0);
    digitalWrite(led_green, 0);
    digitalWrite(led_yellow, 0);
    X4 = 0;
    while (!XN1 * !XN2 * !XN3) {};
}
void loop() {
    switch (s) {
        case 0: //Крок 0 - очікування натискання кнопки
            if (!digitalRead(but_red) and !buttonWasUp) {
                delay(80); //Захист від брязкоту контактів кнопки
                buttonWasUp = 1;
            }

            if (digitalRead(but_red) and buttonWasUp) {
                delay(80); //Захист від брязкоту контактів кнопки
                s = 1;
            }
            break;
        case 1: //Крок 1 - виконання циклу
            sens();
            //Перевірка, чи відпустив користувач кнопку, щоб коректно
            //зафіксувати наступне натискання
            if (!digitalRead(but_red) and !buttonWasUp) {

```

```

        delay(80); //Захист від брязкоту контактів кнопки
        buttonWasUp = 1;
    }
    //Перевірка, чи натиснув користувач кнопку вдруге для виходу з
циклу
    if (digitalRead(but_red) and buttonWasUp and !button) {
        delay(80); //Захист від брязкоту контактів кнопки
        button = 1;
    }
    if (!X4 ) {
        digitalWrite(Y1, 1);
    }
    if (X1 * !X4) {
        digitalWrite(Y2, 1);
    }
    if (X2) {
        X4 = 1;
    }
    if (X4) {
        digitalWrite(Y2, 0);
    }
    if (XN2 * X4) {
        digitalWrite(Y1, 1);
    }
    if (XN1 && !button) { //Продовження роботи в разі, якщо кнопку не
було натиснуто
        X4 = 0;
    }
    if (XN1 && button) { //Вихід з циклу
        s = 0;
        button = 0;
        buttonWasUp = 0;
    }
    break;
}
}
void sens() {
    if (analogRead(A0) < 100) X1 = 1; else X1 = 0;
    if (analogRead(A1) < 100) XN1 = 1; else XN1 = 0;
    if (analogRead(A2) < 100) X2 = 1; else X2 = 0;
    if (analogRead(A3) < 100) XN2 = 1; else XN2 = 0;
    if (analogRead(A4) < 100) X3 = 1; else X3 = 0;
    if (analogRead(A5) < 100) XN3 = 1; else XN3 = 0;
}

```

Приклад виконання завдання

Завдання: розробити програмне забезпечення для Arduino Uno, яке забезпечує керування пневмоприводами 5, 6 і 7, що виконують операцію видавлювання шпаклівки. Під'єднати елементи до контролера, запрограмувати заданий робочий цикл, налагодити роботу системи на лабораторному стенді.

Передбачити використання елемента пам'яті (Y4) для зберігання стану системи, датчиків положення штоків циліндрів та вихідних сигналів керування на електропневматичні клапани.

Цикл починається з заповненою камерою 2, порожньою камерою 3 та втягнутими циліндрами приводів 5, 6 та 7. Після запуску циліндра 5 подавання матеріалу в камеру 2 завершується і вона стає готовою до розфасування приводом 6 з використанням дроселя. Доки циліндр 6 працює, привід 5 подає матеріал у камеру 3. Коли шпаклівка переміщена в пластикову ємність з камери 2, циліндр 6 повертається у вихідне положення. Після цього циліндр 5 завершує подавання шпаклівки в камеру 3 і поновлює роботу з камерою 2. Шпаклівка з камери 3 фасується за допомогою циліндра приводу 7, також з використанням дроселя. Після очищення камери 3 циліндр 7 втягується і система повертається в початкове положення. Система починає роботу після натискання кнопки 1 і працює безперервно. При повторному натисканні кнопки 1 система допрацьовує поточний цикл і зупиняється.

Зміст звіту

1. Титульний аркуш.
2. Мета та завдання.
3. Зробити короткий опис ділянки пневмосистеми, яку автоматизують.
4. Опис лабораторного стенда.
5. Список використаного обладнання, схема під'єднання.
6. Написати рівняння керування.
7. Висновки про виконану роботу.
8. Відповіді на контрольні запитання.

Контрольні запитання

1. Що таке пневматична система та які її основні компоненти?
2. Яке призначення мікроконтролера Arduino в пневматичних системах?
3. Чому електромагнітні клапани не можна під'єднати безпосередньо до виходів Arduino?

4. Які елементи використовуються для керування пневмоклапанами через Arduino?
5. Які типи пневматичних циліндрів використовуються в лабораторному стенді?
6. Що таке 5/2-ходовий клапан і як він працює?
7. Як під'єднати інфрачервоний датчик до Arduino та зчитати його стан?
8. Яка напруга живлення потрібна для електропневматичних клапанів у вашій схемі?
9. Які типи виводів має контролер Arduino (входи/виходи, цифрові/аналогові)?
10. Які вимоги до джерела стисненого повітря для коректної роботи пневмосистеми?

Практична робота № 7

КЕРУВАЛЬНІ ПРОГРАМИ З ARDUINO

Мета роботи: розробити систему керування пневматичною ділянкою на основі контролера Arduino та забезпечити налагодження роботи стенда відповідно до заданого робочого циклу.

Завдання:

1. Ознайомитись із принципами програмування мікроконтролерів на базі Arduino.
2. Скласти алгоритм керування пневматичною ділянкою відповідно до заданого робочого циклу.
3. Розробити керувальну програму мовою Arduino (C/C++) для реалізації цього алгоритму.
4. Змодельувати або зібрати стенд, що імітує роботу пневматичної системи (використовуючи електромагнітні клапани, датчики положення, кнопки тощо).
5. Оформити звіт з практичної роботи.

Порядок виконання роботи

Керувальні програми – це програмні алгоритми, які реалізують логіку керування зовнішніми пристроями (наприклад, двигунами, світлодіодами, датчиками тощо) за допомогою мікроконтролера Arduino. Вони визначають, як пристрій має працювати залежно від вхідних сигналів або подій.

Типова програма (скетч) для Arduino складається з двох основних функцій:

Setup – використовується для ініціалізації змінних, встановлення режимів роботи пінів (вхід/вихід), запуску серійного порту тощо.

loop() – головний цикл, у якому реалізується безперервне виконання алгоритму керування.

Розглянемо на прикладі об'єкт автоматизації: станцію подавання компонентів на складальну лінію (рисунок 7.1).

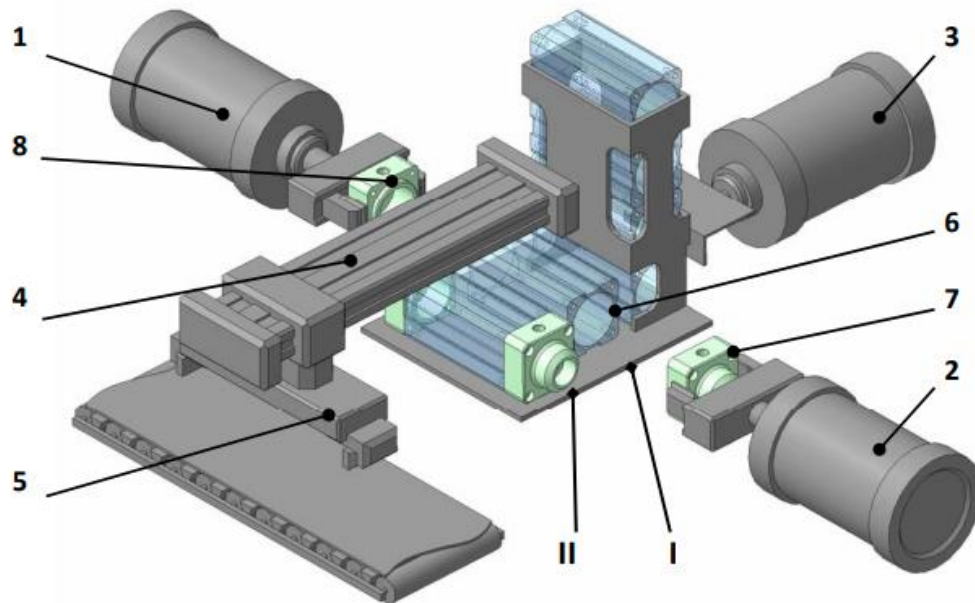


Рисунок 7.1 – Об'єкт автоматизації: завантажувальна станція складальної лінії

Принцип роботи: приводи 1 та 2 одночасно встановлюють верхні та нижні кришки пневматичних циліндрів у касету 6 для подальшого складання: привід 2 подає верхню кришку 7, а привід 1 – нижню кришку 8. Після завершення встановлення обидва приводи повертаються у вихідне положення.

Далі привід 3 просуває наступну порожню касету на позицію завантаження I та одночасно виштовхує заповнену касету на позицію відвантаження II. Перед подаванням нової касети привід 3 виходить із робочої зони, даючи змогу наступній касеті з магазину опуститися – при цьому пауза становить 3 с.

Маніпулятор, що складається з приводу 4 з пневматичним захватним пристроєм 5, забирає заповнену касету з позиції II та переміщує її на конвеєр складальної лінії [6].

Якщо на позиції завантаження I розташована порожня касета, цикл автоматично повторюється.

Список обладнання: контролер Arduino Uno r3 atmega328, інфрачервоний датчик виявлення перешкоди ky-033, пневматичний циліндр типу МА з нержавіючої сталі, діаметр – 25 мм, хід – 125 мм, повітряний

циліндр з одним стрижнем подвійної дії MA25x125, пневматичний 5/2-ходовий одиночний клапан керування повітрям 4V210-08, пневматичний регулятор витрати повітря з дросельною заслінкою, одноканальне реле SRD-05VDC-SL-C, світлодіод кольоровий, кнопка з ковпачком, резистор 1 кОм, резистор 150 Ом, макетна плата, джерело стисненого повітря (компресор), сполучні пневматичні трубки, дроти.

Опис стенда: лабораторний стенд містить три пневматичні циліндри, кожен з яких під'єднаний до розподільників типу 5/2 з електричним моностабільним керуванням на 24 В (рисунок 7.2). Керування розподільниками здійснюється через електричні реле, які під'єднані до контролера Arduino.

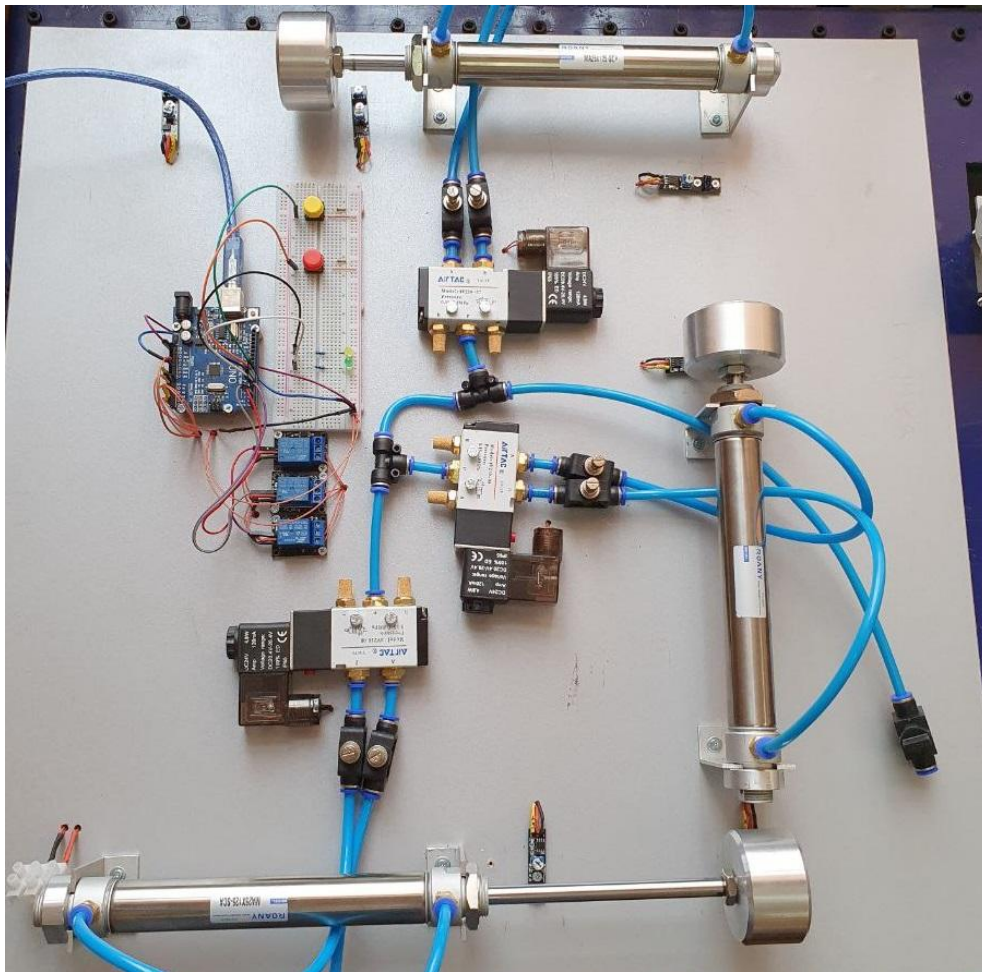


Рисунок 7.2 – Фото пневматичного стенда на базі контролера Arduino

Для контролю положення штоків циліндрів до Arduino під'єднані інфрачервоні датчики, що фіксують як початкове, так і висунуте положення.

Передбачена також можливість під'єднання до входів Arduino додаткових елементів – таких як світлодіоди, кнопки та інші компоненти – з використанням макетної плати (рисунок 7.3).

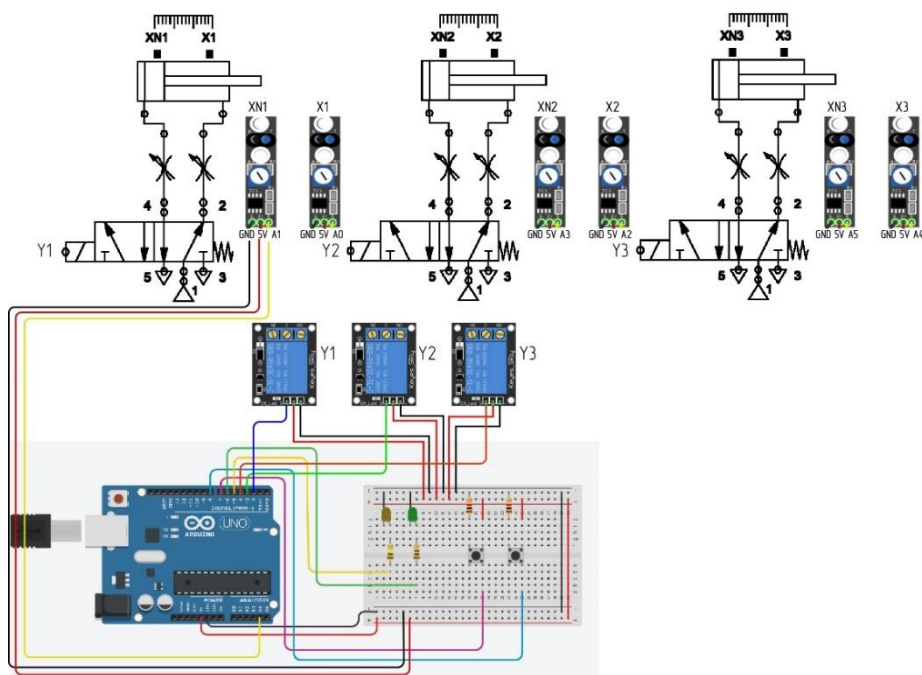


Рисунок 7.3 – Схема пневматичного стенда на базі контролера Arduino

Опис обладнання на схемі моделі (підписати головні елементи, як на схемі і в програмі, наприклад кінцевий вимикач X1 – інфрачервоний датчик перешкоди):

Програмований контролер Arduino UNO R3 ATMEGA328

_____ Інфрачервоний датчик перешкоди KY-033.

_____ Пневматичний циліндр типу MA з нержавіючої сталі, діаметр 25 мм, хід поршня 125 мм з одним штоком, бістабільний MA25-125.

_____ Пневматичний 5/2 одиночний клапан керування повітрям 4V210-08.

_____ Пневматичний регулятор витрат повітря з дросельною заслінкою.

_____ Одноканальне реле SRD-05VDC-SL-C.

_____ Світлодіод кольоровий.

_____ Кнопка.

_____ Резистор 1кОм.

_____ Резистор 220 Ом.

Макетна плата.

Джерело стиснутого повітря (компресор).

З'єднувальні пневматичні трубки.

Дроти.

Приклад виконання роботи

Завдання: розробити програму керування Arduino та налагодити роботу циклу завантажувальної станції складальної лінії на стенді

(використовуються приводи 1, 2 і 3). У початковому положенні штоки всіх циліндрів втягнуті. Цикл починається з одночасного ввімкнення приводів 1 та 2, які встановлюють на касету нижню та верхню кришку відповідно. Час встановлення становить 2 с і контролюється за допомогою таймера. Після цього приводи 1 і 2 одночасно повертаються в початковий стан. Потім привід 3 подає наступну порожню касету на позицію завантаження і повертається у вихідне положення. Перед наступним циклом на приводах 1 та 2 встановлюють нові кришки, що триває 3 с. Система починає роботу після натискання кнопки 1 і працює безперервно. Під час роботи приводів має бути ввімкнений зелений світлодіод, при встановленні елементів (робота таймера) – жовтий. Після натискання кнопки 2 система допрацьовує поточний цикл і зупиняється.

Діаграма «час–дія»

На діаграмі зображено послідовність роботи елементів установки в часі. Можна побачити, які дії виконуються на кожному етапі циклу та як вони пов'язані між собою (рисунок 7.4).

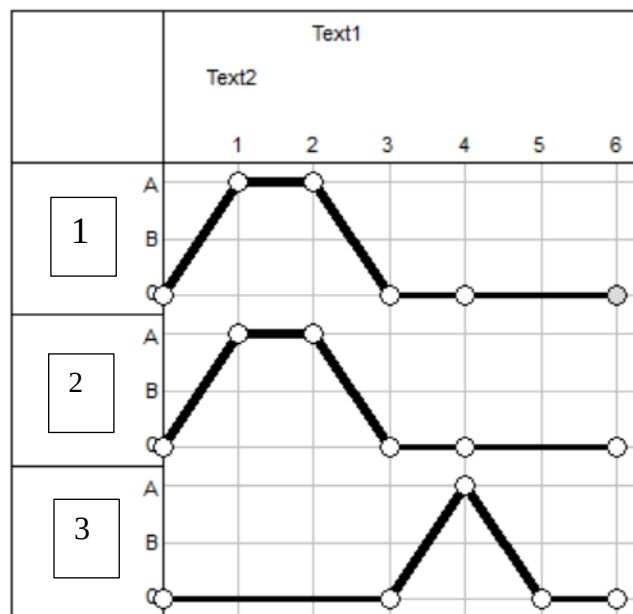


Рисунок 7.4 – Діаграма «час–дія»

У циклограмі (рисунок 7.5) приводи 1, 2 та 3 відповідають пневматичним циліндрам, що використовуються на лабораторному стенді. Для керування процесом передбачено дві кнопки: червону – як першу, а жовту – як другу.

Для реалізації логіки послідовного виконання операцій у схемі буде використано таймер та елемент пам'яті Y4, який зберігає стан керування між етапами циклу.

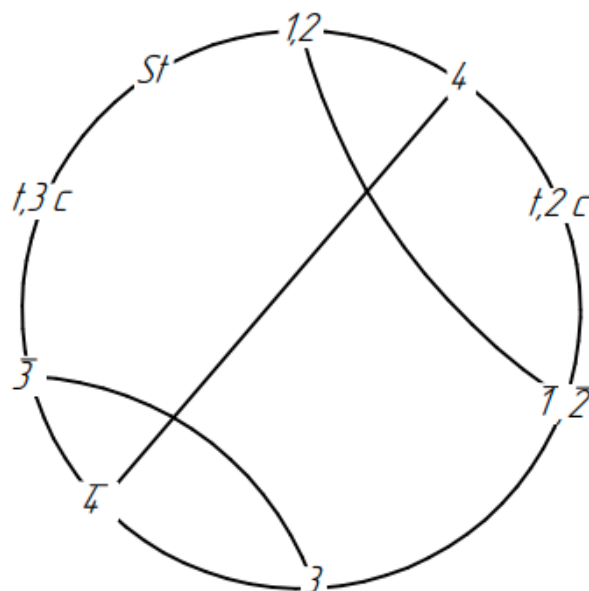


Рисунок 7.5 – Циклограма роботи установки

Рівняння роботи установки

Створимо логічні вирази, які описують умови вмикання та вимикання виконавчих механізмів (наприклад, пневматичних приводів, таймерів, світлодіодів) у системі автоматичного керування.

Ці рівняння застосовуються для побудови програмного алгоритму (наприклад, у кодї Arduino) або схем керування (наприклад, релейно-контактної логіки чи ПЛК):

$Y1 = TN3 * St * XN3 * XN4;$
 $Y2 = TN3 * St * XN3 * XN4;$
 $Y4 = X1 * X2;$
 $T2 = X4;$
 $YN1 = TN2 * X4;$
 $YN2 = TN2 * X4;$
 $Y3 = XN1 * XN2 * X4;$
 $YN4 = X3;$
 $YN3 = XN4;$
 $T3 = XN3.$

Розроблення коду контролера Arduino

Створимо повний приклад коду Arduino для реалізації керування пневматичними приводами та кнопками:

```

#define Y1 2 // Визначення реле циліндра
#define Y2 3
#define Y3 4

```

```

boolean X1 = 0; // Сенсор висунутого положення циліндра
boolean XN1 = 0; // Сенсор втягнутого положення циліндра
boolean X2 = 0;
boolean XN2 = 0;
boolean X3 = 0;
boolean XN3 = 0;

uint32_t timer3 = 0; // змінна таймера
#define T_PERIOD3 3000 // період перемикавання
boolean XT3 = 1; //прапор покриття таймера T=3s (запобігає
повторному вмиканню)
boolean T3 = 0; //прапор роботи таймера T=3s (вказує на відлік часу)

uint32_t timer2 = 0; // змінна таймера
#define T_PERIOD2 2000 // період перемикавання
boolean XT2 = 0; //прапор покриття таймера T=2s (запобігає
повторному вмиканню)
boolean T2 = 0; //прапор роботи таймера T=3s (вказує на відлік часу)

boolean X4; //Елемент пам'яті
#define but_yellow 8 // button yellow
#define but_red 7 // button red
#define led_yellow 6 // led yellow pwm
#define led_green 5 // led red pwm

int s = 0; //Крок виконання програми
bool buttonWasUp = false;
bool button = false;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(Y1, OUTPUT);
    pinMode(Y2, OUTPUT);
    pinMode(Y3, OUTPUT);
    pinMode(13, OUTPUT);
    pinMode (but_yellow, INPUT);
    pinMode (but_red, INPUT);
    pinMode (led_yellow, OUTPUT);
    pinMode (led_green, OUTPUT);
    //Встановлення циліндрів у початкове положення
    digitalWrite(Y1, 0);
    digitalWrite(Y2, 0);
    digitalWrite(Y3, 0);
    digitalWrite(led_green, 0);
    digitalWrite(led_yellow, 0);

```



```

X4 = 0;
while (!XN1 * !XN2 * !XN3) {};
}

```

```

void loop() {
  switch (s) {

```

```

    //Крок 0 - очікування натискання червоної кнопки

```

```

    case 0:

```

```

      if (digitalRead(but_red) and buttonWasUp) {

```

```

        s = 1;

```

```

      }

```

```

      break;

```

```

    //Крок 1 - виконання циклу

```

```

    case 1:

```

```

      sens();

```

```

      //Перевірка, чи натиснув користувач жовту кнопку для виходу з

```

циклу

```

      if (digitalRead(but_yellow) and !button) {

```

```

        button = 1;

```

```

      }

```

```

      if (XT3 * !T3 * XN3 * !X4) {

```

```

        digitalWrite(Y1, 1);

```

```

        digitalWrite(Y2, 1);

```

```

      }

```

```

      if (X1 * X2) {

```

```

        X4 = 1;

```

```

        XT2 = 0; //скидання таймера 3

```

```

      }

```

```

      if (X4 * !XT2) {

```

```

        XT2 = 1;

```

```

        T2 = 1;

```

```

        timer2 = millis();

```

```

      }

```

```

      if (T2 * (millis() - timer2 >= T_PERIOD2)) {

```

```

        T2 = 0;

```

```

      }

```

```

      if (XT2 * !T2 * X4) {

```

```

        digitalWrite(Y1, 0);

```

```

        digitalWrite(Y2, 0);

```

```

      }

```

```

      if (XN1 * XN2 * !X4) {

```

```

        digitalWrite(Y3, 1);

```



```

    }
    if (X3) {
        X4 = 0;
        XT2 = 0; //скидання таймера 2
    }
    if (!X4) {
        digitalWrite(Y3, 0);
    }
    if (XN3 * !XT3) {
        XT3 = 1;
        T3 = 1;
        timer3 = millis();
    }
    if (T3 * (millis() - timer3 >= T_PERIOD3)) {
        T3 = 0; //Продовження роботи в разі, якщо кнопку не було
натиснуто
        if (button) { //Вихід з циклу
            s = 0;
            button = 0;
        }
    }
    if ((!X1*!XN1)or(!X2*!XN2)or(!X3*!XN3)) digitalWrite(led_green, 1);
else digitalWrite(led_green, 0);
    //Вмикання зеленого світлодіода під час руху приводів
    if(T3 or T2) digitalWrite(led_yellow, 1); else digitalWrite(led_yellow, 0);
//Вмикання жовтого світлодіода при роботі таймера
    break;
}
}
void sens() {
    if (analogRead(A0) < 100) X1 = 1; else X1 = 0;
    if (analogRead(A1) < 100) XN1 = 1; else XN1 = 0;
    if (analogRead(A2) < 100) X2 = 1; else X2 = 0;
    if (analogRead(A3) < 100) XN2 = 1; else XN2 = 0;
    if (analogRead(A4) < 100) X3 = 1; else X3 = 0;
    if (analogRead(A5) < 100) XN3 = 1; else XN3 = 0;
}

```

Приклад виконання завдання

Завдання: розробити програму керування на базі Arduino та налагодити циклічну роботу завантажувальної станції складальної лінії на лабораторному стенді. У процесі беруть участь приводи 3, 4 та 5.

У початковому положенні шток циліндра приводу 3 втягнутий і готовий до подавання порожньої касети на позицію складання. Після виконання цієї операції привід 3 повертається у вихідне положення. Далі активується привід 4, який підводить до робочої зони захватний пристрій, встановлений на приводі 5. Після того як приводи 4 і 5 досягли робочих позицій, активується таймер на 4 с – цей час відведено на встановлення заповненої касети.

Після завершення затримки приводи 5 і 4 повертаються у вихідні положення. Перед запуском наступного циклу привід 3 відходить назад, даючи змогу наступній касеті з магазину опуститися – для цього встановлюється пауза тривалістю 3 с.

Система запускається натисканням кнопки 1 і працює автоматично в безперервному циклі. Під час руху приводів вмикається зелений світлодіод, а в момент роботи таймера (установлення касети) – жовтий.

У разі натискання кнопки 2 система завершує поточний цикл і переходить у стан зупинки.

Зміст звіту

1. Титульний аркуш.
2. Мета та завдання.
3. Опис принципу роботи установки.
4. Опис лабораторного стенду та обладнання.
5. Схема електричного під'єднання (електрична або функціональна).
6. Алгоритм роботи програми.
7. Опис роботи програми.
8. Результати налагодження.
9. Висновки та відповіді на контрольні запитання.

Контрольні запитання

1. Що таке Arduino та які його основні функції?
2. Яке призначення цифрових та аналогових входів/виходів Arduino?
3. Які основні етапи розроблення керувальної програми для Arduino?
4. Що таке реле та як воно використовується у схемах з Arduino?
5. Яким чином Arduino керує пневматичними приводами?
6. Для чого у схемі використовуються інфрачервоні або кінцеві датчики?
7. Як реалізується запуск циклу кнопкою в програмі Arduino?
8. Як зупинити автоматичний цикл після натискання кнопки?
9. Яке призначення світлодіодів у системі автоматизації?
10. Як здійснюється налагодження (debug) програми Arduino у разі помилок?

Практична робота № 8

СКЛАДНІ КЕРУВАЛЬНІ ПРОГРАМИ З ARDUINO ЦИКЛОВОЇ РОБОТИ

Мета роботи: розробити систему керування пневматичним модулем на основі контролера Arduino та налагодити роботу стенда відповідно до заданого циклічного режиму.

Завдання:

1. Розробити та реалізувати програму керування пневматичною ділянкою на базі контролера Arduino.
2. Налагодити стенд для виконання циклічних операцій.
3. Забезпечити моніторинг та відображення стану системи.
4. Протестувати та налагодити роботу системи.
5. Описати структуру програми, її основні етапи та використовувані компоненти.

Теоретичні відомості

Циклова робота – це режим роботи керувальної системи, при якому алгоритм повторюється багаторазово у вигляді циклу з певною послідовністю дій. У мікроконтролерах Arduino циклова робота реалізується за допомогою циклічних структур програмування, таймерів, умовних операторів і функцій, за допомогою яких можна керувати виконавчими механізмами на основі вхідних сигналів.

Складні керувальні програми – це програми, які містять декілька взаємопов'язаних циклів, використовують пам'ять для збереження проміжних станів, обробляють кілька вхідних сигналів (датчиків) та керують різними виконавчими пристроями (наприклад, пневматичними циліндрами, реле, світлодіодами).

Основні поняття, які використовуються при створенні складних циклових програм на Arduino:

1. Цикл (loop) – базова структура, яка забезпечує безперервне виконання коду в Arduino.
2. Таймери – засоби для відліку часу, необхідного для організації затримок та часових інтервалів без зупинки основного циклу.
3. Елементи пам'яті (прапорцеві змінні) – змінні, що зберігають стан певної частини програми або системи, що дає змогу контролювати послідовність дій.
4. Умовні оператори (if, switch) – забезпечують вибір дій залежно від стану вхідних датчиків чи значень змінних.

5. Інтерфейс з апаратурою – взаємодія з датчиками, реле, приводами через цифрові та аналогові входи/виходи Arduino.

Приклад застосування – керування пневматичною системою, де потрібно координувати роботу кількох циліндрів за визначеним циклом: переміщення, підняття, завантаження, вивантаження та повернення у початкове положення.

Застосування циклової роботи дає змогу забезпечити автоматизацію виробничих процесів, підвищити точність і швидкість операцій, а також зменшити вплив людського фактора.

Розглянемо систему керування підйомником на автоматизованому складі.

Принцип роботи: автоматизований склад має стелаж з двома вертикальними рівнями для зберігання та одним нижнім рівнем для завантаження двох типів заготовок ливарного виробництва. Стелаж поділений на секції по довжині (рисунок 8.1). Переміщення підйомника уздовж стелажа здійснюється за допомогою приводу 1, який переміщає підйомник від поточного положення до першого активованого поздовжнього датчика. Вертикальне підймання платформи регулюється циліндром двосторонньої дії 2. Після завантаження заготовок на платформу підйомник, завдяки приводові 1, здійснює горизонтальне переміщення до першої зустрічної секції з увімкнутим датчиком. Коли підйомник зупиняється біля потрібної секції, циліндр 2 піднімає платформу на перший рівень і маніпулятор 3 вивантажує заготовку першого типу. Після цього маніпулятор 3 повертається у вихідне положення, а привід 2 піднімає платформу на другий рівень, де маніпулятор 4 вивантажує заготовку другого типу. Після завершення вивантаження маніпулятор 4 також повертається в початкове положення. Час вивантаження заготовок і повернення маніпуляторів 3 і 4 у вихідне положення становить 4 с [7].

Після завершення вивантаження заготовок привід 2 опускає платформу на рівень завантаження, а циліндр 1 переміщує підйомник у початкову позицію.

Список обладнання: контролер Arduino Uno r3 atmega328, інфрачервоний датчик виявлення перешкоди ky-033, пневматичний циліндр типу МА з нержавіючої сталі, діаметр 25 мм, хід 125 мм, повітряний циліндр з одним стрижнем подвійної дії MA25x125, пневматичний 5/2-ходовий одиночний клапан керування повітрям 4V210-08, пневматичний регулятор витрати повітря з дросельною заслінкою, одноканальне реле SRD-05VDC-SL-C, світлодіод кольоровий, кнопка з ковпачком, резистор 1 кОм, резистор 150 Ом, макетна плата, джерело стисненого повітря (компресор), сполучні пневматичні трубки, дроти.

Опис стенда: лабораторний стенд містить 3 пневматичних циліндри, під'єднані до 5/2 розподілювачів з електричним моностабільним керуванням, що працюють від 24 В (рисунки 8.2, 8.3).

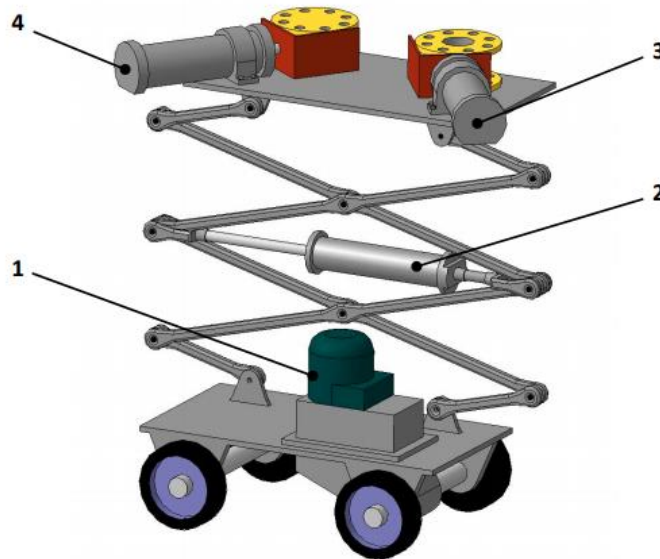


Рисунок 8.1 – Об'єкт автоматизації: підйомник автоматизованого складу

Розподілювачі з'єднані з контролером Arduino через електричні реле. До контролера також підімкнені інфрачервоні датчики для визначення положення штока циліндра – початкового чи висунутого. До входів Arduino можна під'єднати світлодіоди, кнопки та інші додаткові елементи, розміщені на макетній платі.

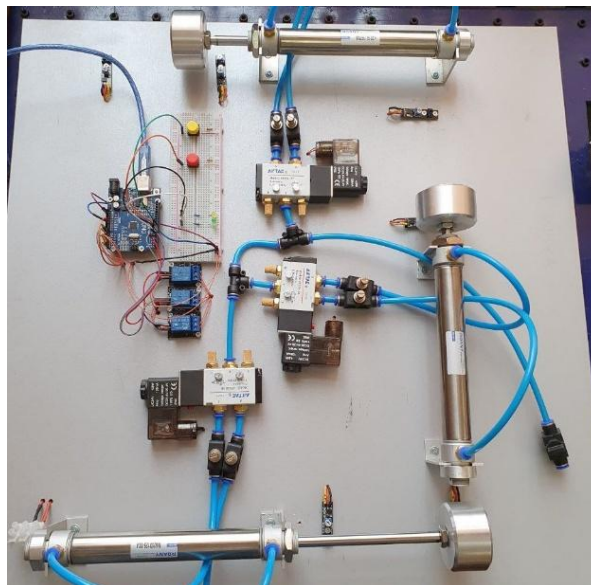


Рисунок 8.2 – Пневматичний стенд на базі контролера Arduino

Опис обладнання на схемі моделі (з підписами, як у схемі та програмі, наприклад: кінцевий вимикач X1 – інфрачервоний датчик перешкоди):

Програмований контролер Arduino UNO R3 (ATMEGA328) – основний елемент керування, що забезпечує оброблення сигналів від датчиків і керування виконавчими елементами.

Інфрачервоний датчик перешкоди KY-033 (наприклад, X1) – виконує функцію кінцевого вимикача, виявляючи наявність або відсутність об'єкта на шляху.

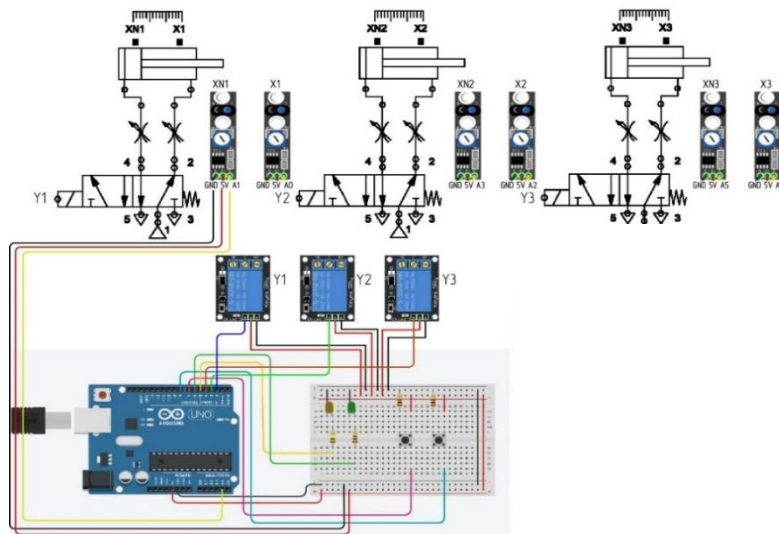


Рисунок 8.3 – Схема керування пневматичним стендом на Arduino

Пневматичний циліндр типу MA25-125 – бістабільний циліндр з ходом поршня 125 мм та діаметром 25 мм, виготовлений з нержавіючої сталі, використовується для переміщення платформи або механізму.

Пневматичний розподілювач 5/2 типу 4V210-08 – керує подаванням стисненого повітря до циліндра, забезпечуючи перемикання його напрямку руху.

Регулятор витрати повітря з дросельною заслінкою – дає змогу точно настроїти швидкість переміщення циліндра.

Одноканальне електричне реле SRD-05VDC-SL-C – використовується для керування розподілювачем через сигнал з Arduino.

Світлодіод (кольоровий) – індикатор стану (наприклад, активації механізму або помилки).

Кнопка – елемент керування, що запускає або зупиняє певну функцію в системі.

Резистор 1 кОм – використовується в схемах із кнопками або датчиками для обмеження струму.

Резистор 220 Ом – застосовується в колах зі світлодіодами для захисту від надмірного струму.

Макетна плата (breadboard) – платформа для зручного монтажу елементів без паяння.

Джерело стисненого повітря (компресор) – забезпечує подавання повітря до пневматичної системи.

Пневматичні з'єднувальні трубки – забезпечують транспортування стисненого повітря між елементами системи.

З'єднувальні електричні дроти – використовуються для під'єднання компонентів до Arduino та з'єднання між собою.

Приклад виконання роботи

Завдання: розробити програму керування Arduino та налагодити роботу циклу (цикл роботи виконується двічі, після чого система зупиняється) підйомника автоматизованого складу на стенді (використовуються приводи 2, 3 і 4). У початковому положенні штоки всіх циліндрів втягнуті. Цикл починається з увімкнення приводу 2, який піднімає циліндри 3 і 4 в робочу зону. Після цього циліндр 3 з використанням дроселя вивантажує заготовку першого типу і вмикає таймер на 2 с (час орієнтації заготовки). Механізм зворотної подачі циліндра також використовує дросель. Наступним запускається циліндр 4 з аналогічною послідовністю дій (висування через дросель, очікування 2 с, повернення штока з дроселем). Після вивантаження заготовок циліндр 2 повертається у початковий стан і система переходить до наступного циклу. Ввімкнення системи здійснюється кнопкою 1. Після її натискання механізм має виконати три робочих цикли (визначаються за допомогою лічильника) і зупинитися в початковому положенні. Кнопка 2 застосовується для аварійного вимкнення системи. При її натисканні поточна операція має зупинитись, повинен увімкнутися таймер на 4 с для усунення проблеми, після чого всі штоки циліндрів мають повернутися у вихідне положення: спочатку приводи маніпуляторів 3 і 4, потім привід платформи 2. Кількість циклів на лічильнику при цьому обнуляється. Зелений світлодіод повинен сигналізувати про нормальну роботу системи протягом трьох циклів. Жовтий сповіщає про несправність у разі натискання кнопки 2 блиманням з періодом 0,5 с.

Діаграма «час–дія»

Для візуалізації послідовності роботи елементів установки використовується діаграма типу «час–дія», яка дає змогу наочно представити зміну станів компонентів у часі.

На діаграмі, зображеній на рисунку 8.4, горизонтальна вісь X відображає плин часу; вертикальна вісь Y відображає дії або стани окремих елементів системи (наприклад, увімкнення/вимкнення двигуна, спрацювання датчика, затримка таймера тощо).

Кожен рядок діаграми відповідає окремому елементу установки, і його активність зображується у вигляді прямокутних імпульсів або логічних рівнів (0 – неактивний, 1 – активний стан).

Цей інструмент широко використовується:

- для аналізу алгоритму роботи системи;
- синхронізації дій між елементами;
- виявлення логічних помилок в алгоритмі керування;
- розроблення програм для ПЛК.

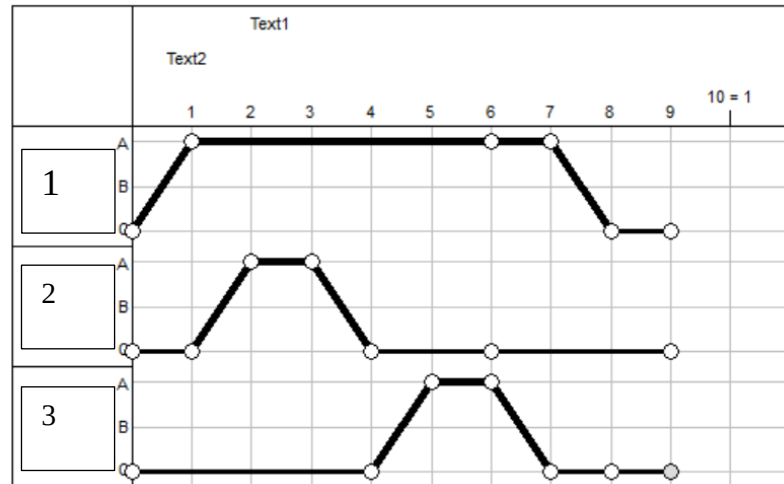


Рисунок 8.4 – Діаграма «час-дія»

Циклограма (рисунок 8.5) відображає послідовність активації виконавчих механізмів, таких як двигуни, клапани, а також фіксує моменти спрацювання датчиків і часові затримки в процесі роботи установки. Відповідно до цієї циклограми першим запускається привід конвеєра; після того, як датчик рівня зафіксує наявність об'єкта, вмикається насос. Далі відкривається клапан, і після встановленої паузи система переходить до наступного етапу робочого циклу.

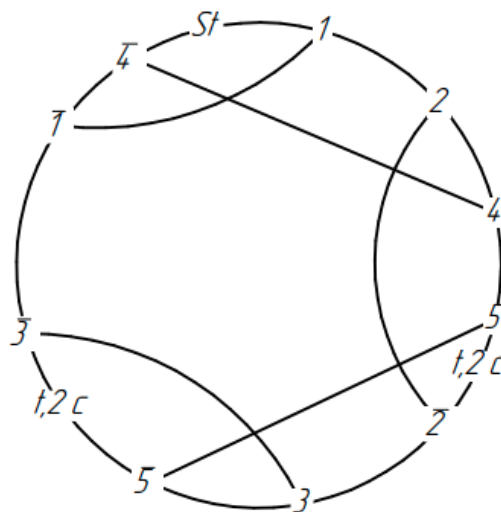


Рисунок 8.5 – Циклограма роботи установки

У цій циклограмі виконавчими елементами є приводи 1, 2 і 3, які відповідають аналогічним пневмоциліндрам лабораторного стенда. Для формування логіки роботи використовуються таймери та елемент пам'яті Y4, що забезпечує фіксацію поточного стану системи й утримання сигналу до завершення відповідного етапу циклу.

Крім того, у процесі роботи враховується зворотний зв'язок від датчиків положення штоків циліндрів, які підтверджують виконання кожної операції перед переходом до наступної. Це забезпечує послідовність, безпечність і надійність функціонування установки. Після завершення повного циклу система повертається у початковий стан або переходить у режим очікування відповідно до заданого алгоритму керування.

Рівняння роботи установки

Рівняння роботи установки – це формалізований опис взаємозв'язків між її компонентами та режимами функціонування, який відображає логіку керування, послідовність дій і взаємодію елементів системи в процесі роботи.

Іншими словами, це набір математичних або логічних рівнянь, які описують, як змінюються стани приводу, датчиків, таймерів та інших елементів установки залежно від вхідних сигналів і часу.

За допомогою цих рівнянь можна моделювати поведінку установки, аналізувати її роботу в різних режимах та розробляти ефективні алгоритми керування:

$$Y1 = YN4 * St;$$

$$Y2 = Y1 * YN4;$$

$$Y4 = Y2;$$

$$Y5 = Y4 * Y2;$$

$$T1 = Y5;$$

$$YN2 = Y5 * TN1;$$

$$Y3 = YN2 * Y5;$$

$$YN5 = Y3;$$

$$T2 = YN5;$$

$$YN3 = YN5 * TN2;$$

$$YN1 = YN3 * YN5 * YN2 * Y4;$$

$$YN4 = YN1.$$

Розроблення коду контролера Arduino (перевірити алгоритм у прикладі та виправити і налаштувати стенд)

```
#define Y1 2    // Визначення реле циліндра

#define Y2 3

#define Y3 4


boolean X1 = 0; // Сенсор висунутого положення циліндра
boolean XN1 = 0; // Сенсор втягнутого положення циліндра
boolean X2 = 0;
boolean XN2 = 0;
boolean X3 = 0;
boolean XN3 = 0;


uint32_t timer3 = 0; // змінна таймера
#define T_PERIOD3 3000 // період перемикавання
boolean XT3 = 1; //прапор покриття таймера T=3s (запобігає
повторному вмиканню)
boolean T3 = 0; //прапор роботи таймера T=3s (вказує на відлік часу)


uint32_t timer2 = 0; // змінна таймера
#define T_PERIOD2 2000 // період перемикавання
boolean XT2 = 0; //прапор покриття таймера T=2s (запобігає
повторному вмиканню)
boolean T2 = 0; //прапор роботи таймера T=3s (вказує на відлік часу)


boolean X4; //Елемент пам'яті
#define but_yellow 8    // button yellow
#define but_red 7    // button red
#define led_yellow 6    // led yellow  pwm
#define led_green 5    // led red    pwm


int s = 0; //Крок виконання програми
bool buttonWasUp = false;
bool button = false;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(Y1, OUTPUT);
    pinMode(Y2, OUTPUT);
    pinMode(Y3, OUTPUT);
    pinMode(13, OUTPUT);
```

```

pinMode (but_yellow, INPUT);
pinMode (but_red, INPUT);
pinMode (led_yellow, OUTPUT);
pinMode (led_green, OUTPUT);
//Встановлення циліндрів у початкове положення
digitalWrite(Y1, 0);
digitalWrite(Y2, 0);
digitalWrite(Y3, 0);
digitalWrite(led_green, 0);
digitalWrite(led_yellow, 0);
X4 = 0;
while (!XN1 * !XN2 * !XN3) {};
}

```

```

void loop() {
  switch (s) {

```

```

    //Крок 0 - очікування натискання червоної кнопки

```

```

    case 0:

```

```

      if (digitalRead(but_red) and buttonWasUp) {

```

```

        s = 1;

```

```

      }

```

```

      break;

```

```

    //Крок 1 - виконання циклу

```

```

    case 1:

```

```

      sens();

```

```

      //Перевірка, чи натиснув користувач жовту кнопку для виходу з

```

циклу

```

      if (digitalRead(but_yellow) and !button) {

```

```

        button = 1;

```

```

      }

```

```

      if (XT3 * !T3 * XN3 * !X4) {

```

```

        digitalWrite(Y1, 1);

```

```

        digitalWrite(Y2, 1);

```

```

      }

```

```

      if (X1 * X2) {

```

```

        X4 = 1;

```

```

        XT2 = 0; //скидання таймера 3

```

```

      }

```

```

      if (X4 * !XT2) {

```

```

        XT2 = 1;

```

```

        T2 = 1;

```

```

        timer2 = millis();

```

```

    }
    if (T2 * (millis() - timer2 >= T_PERIOD2)) {
        T2 = 0;
    }
    if (XT2 * !T2 * X4) {
        digitalWrite(Y1, 0);
        digitalWrite(Y2, 0);
    }
    if (XN1 * XN2 * !X4) {
        digitalWrite(Y3, 1);
    }
    if (X3) {
        X4 = 0;
        XT2 = 0; //скидання таймера 2
    }
    if (!X4) {
        digitalWrite(Y3, 0);
    }
    if (XN3 * !XT3) {
        XT3 = 1;
        T3 = 1;
        timer3 = millis();
    }
    if (T3 * (millis() - timer3 >= T_PERIOD3)) {
        T3 = 0; //Продовження роботи в разі, якщо кнопку не було
натиснуто
        if (button) { //Вихід з циклу
            s = 0;
            button = 0;
        }
    }
    if ((!X1*!XN1)or(!X2*!XN2)or(!X3*!XN3)) digitalWrite(led_green, 1);
else digitalWrite(led_green, 0); //Вмикання зеленого світлодіода при русі
приводів
    if (T3 or T2) digitalWrite(led_yellow, 1); else digitalWrite(led_yellow, 0);
//Вмикання жовтого світлодіода при роботі таймера
    break;
}
}

void sens() {
    if (analogRead(A0) < 100) X1 = 1; else X1 = 0;
    if (analogRead(A1) < 100) XN1 = 1; else XN1 = 0;
    if (analogRead(A2) < 100) X2 = 1; else X2 = 0;

```

```

    if (analogRead(A3) < 100) XN2 = 1; else XN2 = 0;
    if (analogRead(A4) < 100) X3 = 1; else X3 = 0;
    if (analogRead(A5) < 100) XN3 = 1; else XN3 = 0;
}

```

Завдання 1:

1. Заданий приклад необхідно адаптувати для виконання двох робочих циклів із подальшою зупинкою та очікуванням повторного натискання кнопки.
2. Розробити схему для наступного завдання (два повторення і потім очікування натискання).

Завдання 2: розробити програму керування Arduino та налагодити роботу циклу підйомника автоматизованого складу на стенді (використовуються приводи 1, 3 і 4). У початковому положенні штоки всіх циліндрів втягнуті. Цикл починається з увімкнення циліндра 3, який доставляє деталь на стелаж. Орієнтація деталі триває 3 с, після яких циліндр 3 повертається у вихідне положення. Далі привід 1 з дроселем поступово доставляє маніпулятор 4 до його робочої зони. Циліндр 4 виконує аналогічну послідовність дій (доставка деталі, очікування 3 с, повернення у вихідне положення), після чого привід 1 транспортує маніпулятори у точку старту з переходом до наступного циклу. Ввімкнення системи здійснюється кнопкою 1. Після її натискання механізм має виконати два робочих цикли (визначаються за допомогою лічильника) і зупинитися в початковому положенні. Кнопка 2 застосовується для аварійного вимкнення системи. При її натисканні поточна операція має зупинитись, повинен увімкнутися таймер на 5 с для усунення проблеми, після чого всі штоки циліндрів мають повернутися у вихідне положення одночасно. Кількість циклів на лічильнику при цьому обнуляється. Зелений світлодіод повинен сигналізувати про нормальну роботу системи протягом двох циклів блиманням з інтервалом 1 с. Жовтий сповіщає про несправність у разі натискання кнопки 2 постійним світлом.

Додатково в алгоритмі керування необхідно передбачити перевірку початкового стану перед запуском системи: якщо хоча б один зі штоків не перебуває у втягнутому положенні, запуск циклу забороняється. Перехід між етапами циклу повинен здійснюватися лише після підтвердження спрацювання відповідних датчиків положення, що забезпечує послідовність і безпечність роботи стенда. Логіка програми має бути реалізована з використанням таймерів, умовних операторів та лічильника циклів, а структура коду повинна забезпечувати можливість швидкої зупинки та коректного повернення системи у початковий стан.

Зміст звіту

1. Титульний аркуш.
2. Мета та завдання.
3. Принцип роботи установки.
4. Опис лабораторного стенда.
5. Розроблення керувальної програми.
6. Циклограма роботи установки.
7. Результати налагодження та тестування.
8. Відповіді на контрольні запитання.
9. Висновки.

Контрольні запитання

1. Що таке циклова робота в контексті програмування Arduino?
2. Які основні елементи містить складна керувальна програма циклової роботи?
3. Як реалізувати затримки й таймери в програмах Arduino для циклової роботи?
4. Яким чином Arduino взаємодіє з пневматичними циліндрами через електричні реле?
5. Як працюють інфрачервоні датчики положення у системі керування підйомником?
6. Що таке елемент пам'яті (наприклад, Y4) і яку роль він відіграє в циклових алгоритмах?
7. Як забезпечити безпеку роботи пневматичної системи під керуванням Arduino?
8. Як налаштувати та під'єднати до Arduino додаткові індикатори (світлодіоди) та кнопки керування?
9. Які основні помилки можуть виникати при програмуванні циклової роботи та як їх уникнути?
10. Як відбувається налагодження та тестування керувальної програми на лабораторному стенді?

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- 1 Беляєв, І. І. Пневматика та гідравліка в автоматизації виробництва / І. І. Беляєв. – Київ : Вища шк., 2010. – 320 с.
- 2 Гребеньков, В. О. Автоматизація технологічних процесів: Пневматичні системи / В. О. Гребеньков. – Харків : Фоліо, 2015. – 280 с.
- 3 Лисенко, П. В. Пневматичні приводи та їх застосування в автоматизованих системах / П. В. Лисенко. – Дніпро : Промислова книга, 2018. – 200 с.
- 4 Хартманн, В. Пневматичні системи в автоматизації: пер. з нім./ В. Хартманн. – Київ : Наук. думка, 2013. – 298 с.
- 5 Кравченко, С. М. Основи пневматичних систем і елементів автоматики / С. М. Кравченко. – Львів : Світ, 2012. – 240 с.
- 6 Thomas, D., Industrial Pneumatics: Principles and Maintenance / D. Thomas, H. Michael. – New York : McGraw-Hill, 2014. – 350 p.
- 7 Мельник, О. О. Елементи автоматики та пневматичні пристрої / О. О. Мельник. – Київ : Техніка, 2016. – 256 с.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	4
Практична робота № 1 Ознайомлення з елементами пневмоавтоматики.....	5
Практична робота № 2 Дослідження пневматичного циліндра	13
Практична робота № 3 Вплив конструктивних змін керувального елемента на прийняття рішень у пристрої з елементом затримки часу	22
Практична робота № 4 Дослідження роботи кількох елементів затримки часу в пневматичній системі	31
Практична робота № 5 Під'єднання програмованого логічного контролера PLC до пневматичної системи.....	36
Практична робота № 6 Під'єднання контролера Arduino до пневматичної системи.....	47
Практична робота № 7 Керувальні програми з Arduino	56
Практична робота № 8 Складні керувальні програми з Arduino циклової роботи	66
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	78

Навчальне видання

**Степаненко Денис Романович
Торосян Олена Василівна
Лукашов Іван Миколайович**

ПНЕВМОПРИВОДИ ТА ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИКИ

Редактор Н. В. Мазепа

Зв. план, 2026

Підписано до друку 13.03.2026

Формат 60 × 84 1/16. Папір офс. Офс. друк

Ум. друк. арк. 4,4. Обл.-вид. арк. 5. Наклад 50 пр.

Замовлення 33-26. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Вадима Манька, 17
<http://www.khai.edu>

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001