

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Кіберфізична система управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка.

Назва теми

КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Виконав: студент IV курсу, група КІ2-19-2

Підпис

Ю.О. Фурман

Ініціали, прізвище

Керівник

Підпис, дата

В.М. Стецюк

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Підпис, дата

С.М. Лисенко

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем

Підпис, дата

Т.О. Говорущенко

Ініціали, прізвище

«26» червня 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 11 ” 01 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Фурману Юрію Олеговичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка

Керівник проекту (роботи) Стецюк В.М., старший викладач

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 1.03.2023 р. № 5

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Дослідження предметної області та постановка задачі

Кіберфізична система управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка.

Апаратна реалізація кіберфізичної системи управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка.


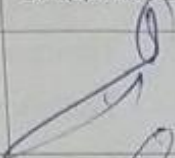

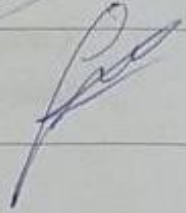
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Схема електрична структурна

Схема електрична принципова

Схема мікроконтролера Arduino mega та драйвера A988

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

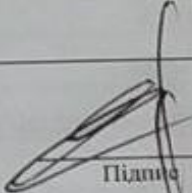
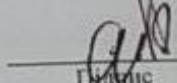
7. Дата видачі завдання « 01 » 03 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	20.02.2022	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.03.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі кіберфізичної системи керування кроковими двигунами електронної гітари токарного станка	10.03.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – моделювання та проектування кіберфізичної системи керування	20.04.2023	виконано
5	Робота над розділом 3 – апаратна реалізація кіберфізичної системи керування	30.04.2023	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	11.05.2023	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2023	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2023 року	

Студент

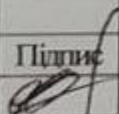
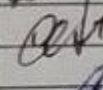
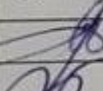
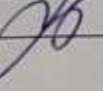
Керівник проекту (роботи)


Підпис

Підпис

Ю. О. Фурман
Ініціали, прізвище

В. М. Стецюк
Ініціали, прізвище

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			Текстові документи			
1		КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Пояснювальна записка	57		
			Графічні матеріали			
2	A2	КврКІ.190248.19.02.49 E1	Схема електрична структурна	1		
3	A2	КврКІ.190248.19.02.49 E3	Схема електрична принципова	1		
4	A2	КврКІ.190248.19.02.49 E8	Схема Arduino mega	1		
5	A2	КврКІ.190248.19.02.49 E8	Схема драйвера A4988	1		

					КврКІ.190248.19.02.49 ВП			
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Відомість проекту ХНУ, КІ2-19-2			
Розробив		Фурман						
Перевір.		Стецьок		23.06.23				
Н. контр.		Лисенко						
Затв.		Говоруненко		26.06				
		Літера	Аркуш	Аркушів				
		У		1				

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка».

Автор роботи: Фурман Юрій Олегович.

Керівник роботи: Стецюк Василь Миколайович.

Пояснювальна записка: 57с., 12 рис., 1 табл., 5 дод., 40 джерел.

Графічна частина: 4 креслення.

Кіберфізична система управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка.

Метою роботи є аналіз існуючих методів керування кроковим двигуном електронної гітари токарного станка та розробка кіберфізичної системи управління. Було проведено комп'ютерне моделювання запропонованих методів керування кроковим двигуном та їх подальша обробка та аналіз, з метою виявлення найбільш доцільного алгоритму.

Розроблена система керування реалізована засобами мови Arduino, що дозволяє здійснювати керування кроковими двигунами електронної гітари токарного станка, задавати їх швидкість та як потрібно обробляти сировину.



Підпис студента

23.06.25

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ЗАДАЧІ	10
1.1 Поняття кіберфізичних систем	10
1.2 Кіберфізичні системи в промисловості	11
1.3 Впровадження кіберфізичних систем у виробничому середовищі	16
1.4 Крокові двигуни та їх застосування в токарних станках	19
1.5 Мікросхеми та їх роль у керуванні кроковими двигунами	22
1.6 Огляд сучасних досліджень та розробок в області кіберфізичних систем контролю	24
1.7 Висновки	26
2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ	28
2.1 Принципи керування кроковими двигунами	28
2.2 Вибір та характеристики мікросхем	30
2.3 Алгоритми та програмне забезпечення для керування кроковими двигунами	31
2.4 Проектування кіберфізичної системи контролю	32
2.5 Висновки	34
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ	35
3.1 Опис апаратного забезпечення та компонентів системи	35
3.2 Програмування мікросхеми для керування кроковими двигунами	38
3.3 Підключення крокових двигунів до мікросхеми	51
3.4 Тестування та налагодження системи	55
3.5 Результати експериментів та аналіз отриманих даних	58
3.6 Висновки	59
ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	62

КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Кіберфізична система управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів	
Виконав		Фурман Ю.О.		23.06.23					
Перевір.		Стежок В.М.		23.06.23				2	57
Н.контр.		Лисенко С.М.							
Затвер.		Говорушенко Т.П.		26.06					

ХНУ, КІ2-19-2

Додаток А Код програми для Arduino	66
ДОДАТОК Б Копія креслення «Схема електрична структурна кіберфізичної системи керування крокових двигунів електронної гітари токарного станка» ...	70
ДОДАТОК В Копія креслення «Схема електрична принципова кіберфізичної системи керування крокових двигунів електронної гітари токарного станка»....	71
ДОДАТОК Г Копія креслення «Схема мікроконтролера»	72
ДОДАТОК Д Копія креслення «Схема драйвера А988»	73

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						3
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі автоматизація та контроль процесів виробництва стають все більш важливими аспектами для досягнення ефективності та точності в різних галузях промисловості. Одним із важливих напрямків розвитку є застосування кіберфізичних систем, які поєднують фізичні та кібернетичні компоненти для створення інтегрованих інтелектуальних систем управління. Однією з областей, в яких застосовуються кіберфізичні системи, є керування кроковими двигунами гітари токарного станка.

Крокові двигуни використовуються для руху токарного станка з точністю та повторюваністю, що є важливими факторами для досягнення високої якості обробки матеріалу та точності оброблюваних деталей. Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка кіберфізичної системи контролю крокових двигунів гітари токарного станка з використанням мікросхеми. Ця система має на меті автоматизувати рух гітари токарного станка та забезпечити точне позиціонування та керування різними операціями, що виконуються на станку.

Контроль руху крокових двигунів у промисловості має велике значення для досягнення точності та ефективності виробничих процесів. Застосування кіберфізичних систем контролю дозволяє покращити якість та продуктивність обробки деталей на токарних станках, знизити витрати часу та ресурсів, а також забезпечити більш гнучкий та автоматизований процес виробництва. Однак, на сьогоднішній день існує потреба в подальшому вдосконаленні кіберфізичних систем контролю крокових двигунів, зокрема в контексті їх застосування у токарних станках. Важливо розробити ефективні алгоритми керування, вибрати оптимальні мікросхеми та програмне забезпечення, а також виконати інтеграцію системи з токарним станком для досягнення найкращих результатів.

Актуальність даного дослідження полягає у потребі розробки нових методів та рішень для керування кроковими двигунами гітари токарного станка з використанням кіберфізичної системи. Це дозволить покращити якість обробки деталей, знизити витрати та підвищити ефективність виробничих процесів. Крім

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 4
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

того, розроблені рішення та отримані результати можуть бути застосовані не лише у токарних станках, але й у інших областях, де потрібно точне керування рухом механізмів.

Таким чином, дослідження з вдосконалення кіберфізичних систем контролю крокових двигунів гітари токарного станка має велике значення для промисловості та науково-дослідних робіт. Результати даного дослідження можуть сприяти покращенню якості та продуктивності виробництва, а також розвитку нових технологій у сфері автоматизації та мехатроніки.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та реалізація кіберфізичної системи контролю крокових двигунів гітари токарного станка з використанням мікросхеми. Головною метою є створення ефективної та автоматизованої системи керування, яка забезпечує точність та стабільність руху крокових двигунів, що використовуються в процесі обробки деталей на токарному станку.

Для досягнення поставленої мети роботи визначено такі основні об'єктиви:

- 1) дослідити теоретичні аспекти кіберфізичних систем контролю крокових двигунів і їх застосування у промисловості, зокрема у токарних станках;
- 2) розглянути основні принципи роботи крокових двигунів, принципи керування, а також вивчити переваги використання кіберфізичних систем у порівнянні з механічними;
- 3) вивчити роль та характеристики мікросхем, які використовуються для керування кроковими двигунами;
- 4) проаналізувати різні моделі мікросхем, їх характеристики та можливості, щоб вибрати оптимальну мікросхему для використання в розробленій системі;
- 5) створити алгоритм і програмне забезпечення для керування кроковим двигуном за допомогою обраної мікросхеми;
- 6) виконати необхідні функції, такі як контроль швидкості та напрямку, точне позиціонування, плавний старт і зупинка тощо;
- 7) підключення крокових двигунів до мікросхеми, забезпечивши правильне підключення та взаємодію між компонентами системи;

8) виконання тестування та налагодження системи, забезпечуючи належну роботу та відповідність вимогам;

9) провести експерименти з використанням розробленої кіберфізичної системи контролю на токарному станку та отримати відповідні дані. аналізувати результати експериментів, оцінити точність руху, швидкість та ефективність, зменшенню відхилень та відходів, а також підвищенню продуктивності виробництва.

Автоматизація та зменшення людського впливу: використання кіберфізичної системи контролю дозволить автоматизувати процес керування кроковими двигунами на токарних станках. Це зменшить вплив людського фактору, підвищить безпеку праці та знизить системи. На основі виконання цих об'єктивів буде здійснено аналіз ефективності та переваг кіберфізичної системи контролю крокових двигунів гітари токарного станка, а також надано рекомендації для подальших досліджень та розвитку системи. Розробка кіберфізичної системи контролю крокових двигунів гітари токарного станка через мікросхему є актуальною та інноваційною у сфері автоматизації та мехатроніки. Дане дослідження пропонує наступні наукові новизни: інтеграція кіберфізичних систем контролю з кроковими двигунами у гітарі токарного станка.

Метою дослідження є використання сучасних технологій і підходів для створення системи автоматичного керування, що забезпечує високу точність і стабільний рух крокових двигунів під час обробки деталей. Для керування кроковим двигуном використовуйте мікросхему. У документі детально розглядаються різні моделі мікросхем, їхні характеристики та можливості, а також вибирається оптимальна мікросхема для використання в системі. Таким чином досягається ефективне керування кроковим двигуном за допомогою методу програмування.

Розробити алгоритм для керування кроковим двигуном. Дослідження та розробка алгоритмів для точного позиціонування, контролю швидкості та напрямку, а також плавного запуску та зупинки двигуна. Це дозволяє досягти високої точності і якості обробки деталей на токарному верстаті.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						6
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Експериментальна перевірка та системний аналіз. Виконання практичних експериментів на токарному верстаті дає реальні дані про точність руху, швидкість і ефективність системи.

Розробка рекомендацій для подальшого дослідження та розвитку системи. На основі результатів дослідження будуть сформульовані рекомендації щодо подальших напрямків досліджень та розвитку кіберфізичної системи контролю крокових двигунів гітари токарного станка. Це дозволить вдосконалити систему та розширити її можливості в майбутньому. Таким чином, дане дослідження пропонує новаторський підхід до керування кроковими двигунами гітари токарного станка з використанням кіберфізичних систем та мікросхем, що відкриває перспективи для вдосконалення процесу обробки деталей та підвищення продуктивності промислових процесів.

Дослідження кіберфізичних систем контролю крокових двигунів електронної гітари токарного станка має велику практичну значимість у сфері автоматизації та механічного виробництва. Нижче наведені основні аспекти практичної значимості цього дослідження.

Підвищення ефективності та якості виробництва. Розробка кіберфізичної системи контролю дозволить досягти високої точності, стабільності та швидкості руху крокових двигунів на токарних станках. Це сприятиме поліпшенню якості виготовлення деталей витрати на ручне керування.

Гнучкість та адаптивність кіберфізичних систем контролю дозволяють швидко змінювати параметри керування, виконувати різноманітні операції та адаптуватися до змінних умов виробництва. Це робить систему гнучкою та ефективною при виробництві деталей з різною складністю та вимогами.

Використання сучасних технологій дослідження базується на використанні сучасних мікросхем та програмного забезпечення, які забезпечують високу швидкість обробки і точність керування. Це дозволяє використовувати передові технології у виробничих процесах і підвищує конкурентоспроможність підприємства.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Результати дослідження можуть бути використані як основа для подальшого розвитку кіберфізичних систем контролю в інших галузях промисловості. Така система може бути застосована в інших типах станків, виробничих лініях та автоматизованих системах, що відкриває широкі перспективи для її використання.

Зменшення часу наладки та налагодження кіберфізичних систем контролю дозволяє швидко налаштувати та налагоджувати крокові двигуни на токарних станках. Це знижує час, необхідний для підготовки та перенастроювання обладнання, що є важливим фактором у виробничих умовах, де важливо мінімізувати простой та збільшити продуктивність. Покращена контрольованість та гнучкість. Кіберфізична система контролю дозволяє забезпечувати точний та стабільний контроль за рухом крокових двигунів. За допомогою програмного забезпечення можна встановлювати різні режими руху, регулювати швидкість та прискорення, а також забезпечувати координований рух багатьох вісей одночасно. Це дає можливість гнучко використовувати токарні станки для різних операцій та задач, що вимагають високої точності.

Кіберфізична система контролю може бути оснащена засобами моніторингу та діагностики, що дозволяють в реальному часі відстежувати стан крокових двигунів, виявляти можливі несправності, аналізувати вібрації та інші параметри роботи. Це сприяє покращенню профілактики та усуненню несправностей, а також забезпечує високу надійність та тривалу роботу системи.

Економічні переваги: впровадження кіберфізичної системи контролю може принести економічні переваги, такі як зниження витрат на енергію, матеріали та обслуговування. Зменшення відходів, підвищення продуктивності та покращення якості виробництва також можуть призвести до збільшення прибутків підприємства.

Отже, кіберфізична система контролю крокових двигунів на токарних станках володіє рядом переваг, які включають зменшення часу наладки та налагодження, покращену контрольованість та гнучкість, моніторинг та діагностику, а також економічні переваги. Це робить її привабливою для

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 8
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

впровадження у виробничих умовах та сприяє покращенню ефективності та продуктивності процесів виготовлення на токарних станках.

У даній кваліфікаційній роботі буде використана комбінація теоретичних та практичних методів дослідження. Зокрема, будуть проведені літературний огляд з метою вивчення наукових джерел та публікацій в галузі кіберфізичних систем контролю, аналіз роботи крокових двигунів та їх використання в токарних станках, вибір та програмування мікросхеми, а також теоретично-практична реалізація розробленої системи.

Завершуючи вступ до кваліфікаційної роботи, слід відзначити, що розробка кіберфізичної системи контролю крокових двигунів гітари токарного станка є актуальною та важливою проблемою в сучасній промисловості. Результати цього дослідження можуть бути використані для покращення автоматизації токарних станків та підвищення якості виробництва.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						9
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

1.1 Поняття кіберфізичних систем

Кіберфізична система – це інтегрована система, яка поєднує фізичні та мережеві компоненти для створення інтелектуальних систем керування. Вони базуються на зв'язку та взаємодії між фізичними процесами та обчислювальними алгоритмами для керування та оптимізації роботи різних систем. Кіберфізичні системи використовуються в багатьох галузях, таких як промисловість, медицина, транспорт, енергетика та ін. Їх можна використовувати для автоматизації процесів, моніторингу та контролю, прогнозування та оптимізації та прийняття рішень на основі зібраних даних. На (рис. 1.1) зображено базову діаграму кіберфізичної системи.



Рисунок 1.1 – Діаграма кіберфізичної системи

Одним із важливих аспектів кіберфізичних систем є їх здатність до зворотного зв'язку. Це означає, що система може отримувати інформацію про стан фізичних процесів, аналізувати її та вносити відповідні зміни в кібернетичну

частину для досягнення бажаних результатів. Зворотний зв'язок дозволяє системі бути гнучкою та адаптивною до змін у середовищі та потребах.

Компоненти кіберфізичних систем включають сенсори для збору даних з фізичного середовища, актуатори для впливу на фізичні процеси, обчислювальні пристрої для обробки та аналізу даних, комунікаційні засоби для передачі інформації між компонентами системи, а також алгоритми управління та прийняття рішень.

Кіберфізичні системи дозволяють досягти багатьох переваг, таких як підвищена ефективність, надійність та безпека роботи систем, зниження витрат та енергоспоживання, покращення якості та точності управління, а також можливість використання аналітики та прогнозування для оптимізації процесів.

У контексті кваліфікаційної роботи, кіберфізична система контролю крокових двигунів електронної гітари токарного станка буде базуватись на принципах кіберфізичних систем, де фізична складова буде представлена кроковими двигунами та гітарою токарного станка, а кібернетична складова буде включати мікросхему для управління та контролю цих двигунів. Така система надасть можливість контролювати та оптимізувати роботу гітари токарного станка з використанням зворотного зв'язку та інтелектуальних алгоритмів управління [1].

1.2 Кіберфізичні системи в промисловості

Кіберфізичні системи мають широкий спектр застосувань у промисловості і відіграють важливу роль у покращенні ефективності, надійності та безпеки виробничих процесів. Використання кіберфізичної системи управління кроковими двигунами гітари токарного станка дозволяє автоматизувати та оптимізувати виробничі операції [2].

Однією з основних переваг кіберфізичних систем в промисловості є здатність до збору та обробки великого обсягу даних з різних джерел. Застосування датчиків, IoT-пристроїв та інших засобів збору даних дозволяє отримувати реально часову інформацію про стан обладнання, процесів та навколишнього середовища. Це

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						11
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

дозволяє операторам та інженерам миттєво контролювати та аналізувати ключові параметри продуктивності крокового двигуна та своєчасно приймати рішення для покращення продуктивності та зниження ризику.

Кіберфізична система також забезпечує автоматичний контроль і оптимізацію процесу. Завдяки використанню інтелектуальних алгоритмів керування та штучного інтелекту системи можуть адаптуватися до мінливих умов і виконувати оптимальні рухи крокового двигуна для досягнення максимальної продуктивності. Такі системи можуть автоматично регулювати параметри руху, контролювати швидкість, позицію та силу, забезпечуючи якісну та точну обробку.

Безпека є ще одним важливим аспектом кіберфізичної системи у галузі. Використання різних методів захисту та безпеки, таких як шифрування даних, аутентифікація користувачів та захист від несанкціонованого доступу, допомагає запобігти небажаним вторгненням та захистити важливі дані та ресурси [3].

Кіберфізичні системи в промисловості мають значний потенціал для майбутнього розвитку. Очікується, що впровадження технологій штучного інтелекту, машинного навчання та IoT дозволить створити ще більш автономні та інтелектуальні системи керування кроковими двигунами. Крім того, розширена реальність та віртуальна реальність можуть надати операторам нові можливості для взаємодії з системою та візуалізації даних.

У підсумку, кіберфізичні система в промисловості є потужним інструментом для автоматизації та оптимізації контролю крокових двигунів гітари токарного станка. Вона забезпечують збір та аналіз даних, автоматичне керування та оптимізацію процесів, а також забезпечують високий рівень безпеки. Перспективи розвитку кіберфізичних систем включають використання штучного інтелекту, IoT, розширеної та віртуальної реальності, що сприятиме подальшому покращенню продуктивності та ефективності виробничих процесів.

Впровадження кіберфізичних систем в промисловому середовищі вимагає ретельного планування, налагодження та інтеграції. Нижче розглянемо деякі ключові аспекти впровадження кіберфізичної системи у виробничих процесах [4].

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 12
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Аналіз виробничих потреб, які перед впровадженням кіберфізичної системи необхідно проаналізувати та визначити, в області, в яких можуть бути застосовані кіберфізичні системи контролю крокових двигунів електронної гітари токарного станка. Це допоможе визначити конкретні цілі, вимоги та очікувані користі від системи.

Вибір апаратного забезпечення для впровадження кіберфізичних систем вивимагає правильного вибору апаратного забезпечення це включає мікросхеми, датчики, пристрої IoT та інші компоненти. Важливо враховувати сумісність, надійність і масштабованість вибраного пристрою. Розробка програмного забезпечення необхідна для приводу та керування кроковими двигунами електронної гітари. Це включає розробку алгоритмів керування, інтерфейсів користувача та інтеграцію з іншими системами за потреби.

Тестування та налагодження перед використанням кіберфізичної системи рекомендується ретельно перевірити та налагодити систему. Це включає перевірку роботи алгоритмів керування, взаємодії пристроїв і відповідності вимогам.

Інтеграція з існуючими системами у виробничому середовищі проактивно завжди існують інші системи моніторингу та контролю. Важливо забезпечити ефективну сумісність та інтеграцію кіберфізичної системи з існуючими системами для забезпечення плавного обміну даними, взаємодії та безпеки працівників [4].

Після впровадження кіберфізичної системи подрібно надати навчання персоналу тому, як використовувати систему, користуванням інтерфейсу і як робити необхідні налаштування. Організація програм навчання та супровід співробітників під час переходу на нову систему є важливими кроками впровадження кіберфізичних систем.

Впровадження кіберфізичних систем у виробничому середовищі може забезпечити значні переваги, такі як підвищення ефективності, зниження ризику та покращення безпеки. Враховуючи вищезазначені аспекти, можна створити інтегровану систему керування кроковим двигуном токарної гітари, що підвищує продуктивність і якість продукції. Використання кіберфізичних систем в промисловості відкриває величезні можливості для підвищення ефективності,

якості та безпеки виробництва. Ці переваги роблять кіберфізичні системи привабливим для виробничих компаній, які прагнуть автоматизувати та оптимізувати свої процеси [5].

Використання кіберфізичних систем у токарних станках може дати значні переваги. Розглянемо деякі з них, автоматизація процесу обробки кіберфізичними системами, дозволяє автоматизувати процеси обробки на токарних верстатах, які використовуються у виробництві. Використовуючи інтелектуальні системи управління та алгоритми, кіберфізична система може керувати рухом крокового двигуна, контролювати швидкість і точність процесу різання, забезпечуючи високу якість обробки та повторюваність.

Підвищена точність і якість використання завдяки кіберфізичним системам дозволяє досягти високої точності і якості обробки деталей. Вони можуть керувати рухом крокових двигунів із високою роздільною здатністю, що дозволяє точно позиціонувати та обробляти. Крім того, кіберфізичні системи можна використовувати для автоматичного моніторингу та калібрування параметрів різання для отримання оптимальних результатів.

Гнучкість і налаштування кіберфізичних систем дозволяють регулювати процеси обробки на основі потреб і вимог виробництва. Оператор може легко змінювати параметри різання, швидкість руху та інші параметри без фізичного втручання. Це дозволяє легко швидко перемикатися між різними гітарами та забезпечує гнучкість виробництва.

Покращена ефективність виробництва та масштабованість через впровадження кіберфізичних систем у токарних верстатах дозволило підвищити ефективність виробництва та збільшити масштаб виробництва. Автоматизовані процеси та оптимізація параметрів різання скорочують тривалість циклу та підвищують продуктивність. Крім того, за допомогою кіберфізичних систем можна синхронізувати роботу декількох токарних верстатів, що дозволяє збільшити виробництво і знизити трудовитрати. Кіберфізична система забезпечує моніторинг і діагностику роботи в реальному часі. Вони можуть виявляти несправності, прогнозувати можливі збої та надавати операторам важливу інформацію для

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						14
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

прийняття рішень. Це зменшує час простою та витрати на технічне обслуговування та ремонт обладнання [6].

Кіберфізичні системи мають широкий спектр застосувань у промисловості і відіграють важливу роль у покращенні ефективності, надійності та безпеки виробничих процесів. Використання кіберфізичних систем управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка дозволяє автоматизувати та оптимізувати виробничі операції.

Однією з основних переваг кіберфізичних систем в промисловості є здатність до збору та обробки великого обсягу даних з різних джерел. Застосування датчиків, IoT-пристроїв та інших засобів збору даних дозволяє отримувати реально часову інформацію про стан обладнання, процесів та навколишнього середовища. Це дозволяє операторам та інженерам миттєво відстежувати та аналізувати ключові параметри роботи крокових двигунів і приймати вчасні рішення для покращення продуктивності та зниження ризиків.

Кіберфізичні системи також дозволяють впроваджувати автоматичне керування та оптимізацію процесів. Завдяки використанню розумних алгоритмів керування та штучного інтелекту, системи можуть адаптуватись до змінних умов та виконувати оптимальні рухи крокових двигунів для досягнення максимальної продуктивності. Такі системи можуть автоматично коригувати параметри руху, контролювати швидкість, позицію та силу, що дозволяє досягти високої точності та якості обробки.

Безпека є ще одним важливим аспектом кіберфізичних систем в промисловості. Використання різних методів захисту та безпеки, таких як шифрування даних, аутентифікація користувачів та захист від несанкціонованого доступу, допомагає запобігти небажаним вторгненням та захистити важливі дані та ресурси. Кіберфізичні системи в промисловості мають значний потенціал для майбутнього зростання. Очікується, що впровадження технологій штучного інтелекту, машинного навчання IoT дозволить створити ще більш автономні та розумні системи керування кроковими двигунами. Крім того, доповнена та віртуальна реальність може надати операторам нові можливості для взаємодії з

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 15
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

системами та візуалізації даних. Коротше кажучи, кіберфізичні системи у промисловості є потужним інструментом для автоматизації та оптимізації керування кроковим двигуном токарного верстата. Вони забезпечують збір і аналіз даних, автоматизований контроль і оптимізацію процесів, забезпечують високий рівень безпеки. Перспективи розвитку кіберфізичних систем включають використання штучного інтелекту, IoT, розширеної та віртуальної реальності, що сприятиме подальшому покращенню продуктивності та ефективності виробничих процесів[7].

1.3 Впровадження кіберфізичних систем у виробничому середовищі

Впровадження кіберфізичних систем в промисловому середовищі вимагає ретельного планування, налагодження та інтеграції. Нижче розглянемо деякі ключові аспекти впровадження кіберфізичні системи у виробничих процесах:

- 1) аналіз виробничих потреб;
- 2) вибір апаратного забезпечення;
- 3) розробка програмного забезпечення;
- 4) тестування та налагодження;
- 5) інтеграція з існуючими системами;
- 6) навчання персоналу;
- 7) впровадження системи.

Аналіз виробничих потреб перед впровадженням кіберфізичних систем, необхідно ретельно проаналізувати виробництво та визначити області, в яких можуть бути застосовані кіберфізичні системи контролю крокових двигунів гітари токарного станка. Це допоможе визначити конкретні цілі, вимоги та очікувані користі від системи.

Вибір апаратного забезпечення для впровадження кіберфізичних систем вимагає вибору підходящого апаратного забезпечення, включаючи мікросхеми, датчики, пристрої IoT та інші компоненти. Важливо враховувати сумісність, надійність і масштабованість вибраного пристрою.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						16
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Розробка програмного забезпечення для керування та керування кроковим двигуном токарної гітари. Це включає розробку алгоритмів керування, інтерфейсів користувача та інтеграцію з іншими системами за потреби [8].

Тестування та налагодження перед використанням кіберфізичних систем рекомендується ретельно перевірити та налагодити систему. Це включає перевірку правильності роботи алгоритмів керування, взаємодії пристроїв і відповідності вимогам.

Інтеграція з існуючими системами у випадку, якщо у виробничому середовищі вже існують інші системи моніторингу та контролю. Важливо забезпечити сумісність і ефективну інтеграцію кіберфізичні системи з існуючими системами для забезпечення плавного обміну даними та взаємодії.

Навчання персоналу про впровадженні кіберфізичні системи вимагає, як користуватися системою, як використовувати інтерфейс і як робити необхідні налаштування. Організація програм навчання та підтримка співробітників під час переходу на нову систему є важливими кроками у впровадженні кіберфізичних систем.

Впровадження кіберфізичних систем у виробничому середовищі може забезпечити значні переваги, такі як підвищення ефективності, зниження ризику та покращення безпеки. Використання кіберфізичних систем в промисловості має багато переваг, які сприяють покращенню ефективності, надійності та безпеки виробничих процесів. Нижче розглянемо деякі ключові вигоди використання кіберфізичними системами. Підвищення автоматизації завдяки кіберфізичним системам, які дозволяють автоматизувати виробничі процеси та зменшити ручну працю. За допомогою розумних алгоритмів та систем керування, кіберфізичні системи можуть автоматично керувати кроковими двигунами гітари токарного станка, виконувати складні рухи та оптимізувати швидкість та точність обробки.

Підвищення продуктивності через використання кіберфізичних систем, що дозволяє підвищити продуктивність виробничих процесів. Швидкість та точність крокових двигунів можуть бути оптимізовані для досягнення максимальної продуктивності. Кіберфізичні системи також дозволяє розпаралелювати

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

багатозадачність, що прискорює виробництво. Кіберфізичні системи забезпечують високу якість і точність виробництва. Вони можуть контролювати параметри руху крокового двигуна, такі як швидкість, положення та сила, забезпечуючи рівномірну та точну обробку матеріалу.

За допомогою кіберфізичних систем забезпечують моніторинг крокових двигунів і виробничих процесів у реальному часі. Збір та аналіз даних із датчиків та інших джерел дозволяє операторам та інженерам відстежувати стан обладнання, виявляти проблеми та швидко й ефективно приймати рішення.

Використання кіберфізичної системи допомагає зменшити витрати та уникнути втрат та браку. Автоматизований контроль і оптимізація процесів дозволяють скоротити трудові, енергетичні та матеріальні витрати. Крім того, моніторинг у реальному часі допомагає виявити несправності та проблеми та забезпечує швидке вирішення.

Використання кіберфізичних систем в промисловості відкриває величезні можливості для підвищення ефективності, якості та безпеки виробництва, але впровадження кіберфізичних систем у промисловості може зіткнутися з рядом проблем та перешкод які можуть зменшити якість та швидкість виробництва.

Інтеграція кіберфізичної системи з існуючими системами та пристроями може бути складним завданням. Необхідно забезпечити сумісність протоколів зв'язку, обміну даними та інтерфейсів між системами. Процес інтеграції слід ретельно спланувати та перевірити, щоб переконатися, що система функціонує належним чином.

Промислове використання кіберфізичних систем вимагає високого рівня безпеки та захисту від кібератак. Системи повинні бути захищені від несанкціонованого доступу та злому, а також забезпечувати безпеку важливої інформації. Розробка та впровадження надійних механізмів безпеки є важливим аспектом успішного впровадження кіберфізичних систем.

Розгортання кіберфізичних систем може бути дорогим процесом, який включає придбання та налаштування обладнання, розробку програмного забезпечення, навчання персоналу та інші витрати. Компанії повинні підготуватися

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 18
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

до витрат на впровадження та оцінити економічну доцільність інвестування в кіберфізичні системи.

Використання кіберфізичних систем вимагає наявності відповідної технічної підтримки та допомоги. Компанії повинні мати команду належно кваліфікованих інженерів і техніків, які можуть забезпечити безперебійну роботу кіберфізичних систем, усувати проблеми та виконувати оновлення.

Впровадження кіберфізичних систем може вимагати перенавчання та підвищення кваліфікації працівників. Оператори та інженери повинні бути знайомі з новими технологіями, процесами та інтерфейсами, щоб ефективно використовувати кіберфізичні системи. Забезпечення навчання та підтримки працівників є важливою частиною успішного впровадження кіберфізичних систем.

1.4 Кроковий двигун і його застосування в токарному верстаті

Кроковий двигун - це електричний пристрій, який використовується для керування рухом окремих кроків (рис. 1.2). Вони складаються з ротора і статора і працюють за принципом електромагнітної індукції. Ротор крокового двигуна має зубці, які називаються полюсами. Статор містить котушки, які створюють магнітне поле, яке взаємодіє з полюсами ротора, викликаючи рух [9].



Рисунок 1.2 – Кроковий двигун

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						19
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Однією з головних переваг крокових двигунів є точність управління. Вони мають дуже точне позиціонування та контроль руху з високою роздільною здатністю. Крім того, вони мають високу моментну жорсткість, що дозволяє витримувати великі навантаження і забезпечувати стабільний рух. Крокові двигуни знаходять широке застосування в токарних станках і використовуються для керування рухом різального інструменту, переміщення осей та виконання різних операцій. Ось перелік пунктів, що пояснюють їх застосування в токарних станках [10]:

1) плавний контроль руху крокових двигунів дозволяють здійснювати точний та плавний контроль руху різального інструменту на токарному станку, що особливо важливо при виконанні складних операцій, які вимагають високої точності;

2) позиційне управління крокових двигунів забезпечує позиційне управління осей токарного станка. Це дозволяє встановлювати та контролювати позицію різального інструменту з високою точністю, що є важливим для досягнення бажаних розмірів та форми оброблюваної деталі;

3) автоматизація процесу крокові двигуни дозволяють автоматизувати процес обробки на токарному верстаті. Їх можна запрограмувати на виконання послідовності операцій, що спрощує роботу оператора та зменшує його втручання у виробничий процес;

4) контроль швидкості та обертання крокових двигунів дозволяють змінювати швидкість та оберти різального інструменту на токарному верстаті. Це дозволяє пристосувати процес обробки до вимог конкретної деталі або завдання;

5) висока точність і повторюваність крокові двигуни забезпечують високу точність руху і повторюваність, які є важливими факторами у виробництві токарної обробки, адже вони дозволяють досягти необхідних розмірів і якості деталі при багаторазовій обробці;

6) просте програмування та інтеграція крокові двигуни можна легко запрограмувати та інтегрувати з іншими компонентами системи керування, що дозволяє зручно керувати та координувати рух різних осей та інструментів [11];

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 20
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

7) гнучке керування кроковими двигунами можна керувати різними методами, такими як керування з відкритим контуром, керування з замкнутим контуром або мікрокрокове керування, що дозволяє оператору вибрати оптимальний метод керування в залежності від конкретних вимог і застосувань;

8) низький рівень вібрації кроковий двигун має здатність зменшувати вібрацію під час руху, що особливо важливо для токарних верстатів, де на високу точність і якість обробки може вплинути вібрація;

9) можливість програмувати послідовності рухів крокових двигунів дозволяють створити складну послідовності рухів, такі як повороти в різних напрямках, переміщення з різними швидкостями, зміна кутів або рух по криволінійній траєкторії, адже це дозволяє виконувати складні операції та створювати складні форми на оброблюваній деталі;

10) енергозбереження кроковий двигун споживає енергію лише під час руху, заощаджуючи енергію, при цьому їх також можна запрограмувати на енергозберігаючі режими, наприклад автоматичне вимикання двигуна після завершення роботи;

11) можливість синхронного керування кроковими двигунами, що дозволяє переміщення кількох осей токарного верстата одночасно, що забезпечує точну координацію рухів різних частин машини та дозволяє виконувати складні операції, такі як різання різними інструментами одночасно;

12) довговічність і надійність крокові двигуни характеризуються високою міцністю, надійністю та простотою, адже вони мають просту конструкцію та мало рухомих частин, що зменшує ймовірність поломки та збільшує термін їх служби і простоту обслуговування;

13) широкий діапазон застосування крокові двигунів дозволяє використовувати їх в різних типах токарних верстатів, включаючи малі побутові токарні верстати або великі промислові токарні верстати, які можуть працювати з різними матеріалами та виконувати різні типи операцій обробки;

14) простота обслуговування та ремонту крокових двигунів завдяки простоті конструкції, їх легко обслуговувати та ремонтувати та деталі можна замінити або налаштувати без необхідності розбирати всю систему;

15) відносно низька вартість крокові двигуни відносно недорогі та поширені порівняно з іншими типами точних двигунів, що робить їх доступними для різних виробничих підприємств та користувачів, що шукають ефективні рішення для керування токарними станками.

1.5 Мікросхеми та їх роль у керуванні кроковими двигунами

Мікросхеми відіграють важливу роль у керуванні кроковими двигунами в кіберфізичних системах [12]. Вони забезпечують інтеграцію та керування всією системою, включаючи крокові двигуни, датчики, інтерфейси та комунікаційні протоколи (рис. 1.3).

Драйвери крокових двигунів включають спеціальні мікросхеми, які забезпечують необхідні сигнали для керування рухом крокового двигуна. Ці драйвери здатні забезпечувати правильну послідовність електричних сигналів, що визначають кроки руху двигуна, а також контролювати струм, що постачається до двигуна. Вони забезпечують точність, швидкість і керовану потужність руху крокового двигуна.

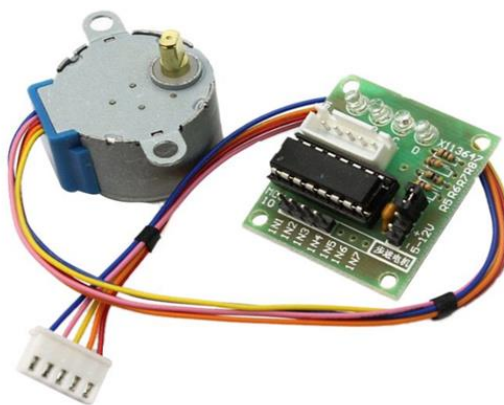


Рисунок 1.3 – Мікросхема за допомогою якої контролюють крокові двигуни

Інтерфейси та протоколи зв'язку це чіпи, які мають вбудовані інтерфейси та підтримують різні протоколи зв'язку, що дозволяє підключити систему керування до крокового двигуна. Це може включати стандартні інтерфейси, такі як SPI (Serial Peripheral Interface) або I2C (Inter-Integrated Circuit) або спеціалізовані протоколи зв'язку. Ці інтерфейси дозволяють надсилати команди та отримувати зворотний зв'язок від крокових двигунів, відстежуючи їх рух і стан.

Деякі чіпи мають вбудований контролер (рис. 1.4), який може виконувати складні алгоритми та обробляти сигнали безпосередньо на чіпі [13]. Це дозволяє знизити навантаження на зовнішній мікроконтролер і спростити систему управління. Вбудовані контролери можуть виконувати такі завдання, як генерація крокових послідовностей, запуск алгоритмів позиціонування та моніторинг стану крокових двигунів.



Рисунок 1.4 – Вбудований контролер токарного станка

Захист і діагностика мікросхеми також забезпечують захист крокових двигунів і систем від потенційних збоїв і збоїв. Вони можуть виявити перевантаження, короткі замикання, перегрів та інші відхилення від норми та вжити відповідних заходів безпеки. Крім того, ці мікросхеми можуть забезпечувати

діагностичні функції, які можуть контролювати крокові двигуни, збирати дані та виконувати аналіз для підвищення продуктивності та надійності системи [14].

Мікросхеми є необхідною складовою кіберфізичних систем для ефективного керування кроковими двигунами у гітарних токарних станках. Вони забезпечують точне керування рухом, комунікацію з іншими компонентами системи та захист від несправностей.

1.6 Огляд сучасних досліджень та розробок в області кіберфізичних систем контролю

В останні роки було проведено значну кількість досліджень та розробок в області кіберфізичних систем контролю, зокрема щодо керування кроковими двигунами в гітарних токарних станках. Ось огляд деяких сучасних досліджень та розробок в цій області [15].

Використання машинного навчання, були проведені дослідження у виробництві, які використовують методи машинного навчання для вдосконалення керування кроковими двигунами. Наприклад, нейронні мережі можуть використовуватись для прогнозування оптимального режиму роботи крокових двигунів залежно від параметрів оброблюваної деталі та інших факторів.

Використання алгоритмів оптимізації, у деяких дослідженнях зосереджуються на розробці та використанні різних алгоритмів оптимізації (рис. 1.5) для покращення ефективності та простоті керування кроковими двигунами. Це можуть бути еволюційні алгоритми, генетичні алгоритми або інші методи, які дозволяють знаходити оптимальні параметри керування для досягнення бажаної якості та продуктивності обробки.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						24
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 – Алгоритм оптимізації

Розробка інтегрованих систем керування деякі з досліджень були спрямовані на розробку інтегрованих систем керування, які поєднують у собі мікросхеми, датчики та програмне забезпечення для забезпечення комплексного керування кроковими двигунами та більш складних алгоритмів. Ці системи можуть мати високий рівень автоматизації, інтелектуалізації та забезпечувати високу точність та ефективність обробки [16].

Розвиток безпеки та захисту дивлячись на зростаючу кількість кіберзлочинів можна зрозуміти важливість кібербезпеки, для неї було проведено дослідження щодо розвитку систем захисту та безпеки кіберфізичних систем контролю. Це включає розробку методів виявлення й запобігання кібератак, шифрування та

аутифікацію даних, а також розробку протоколів комунікації, які забезпечують конфіденційність та цілісність інформації.

Використання хмарних та розподілених систем останнім часом було звернено увагу на використання хмарних та розподільних систем для керування кроковими двигунами. Це дозволяє забезпечити високу масштабованість, гнучкість та доступність системи керування, а також використовувати потужні обчислювальні ресурси для обробки великих обсягів даних.

Ці дослідження та розробки в області кіберфізичних систем контролю спрямовані на покращення продуктивності, ефективності та безпеки крокових двигунів у гітарних токарних станках. Вони відкривають широкі перспективи для подальшого розвитку та вдосконалення цих систем, що сприяє автоматизації та покращенню процесів обробки.

1.7 Висновки. Постановка задачі

В розділі проведено аналіз поняття кіберфізичних систем управління їх роль у промисловості та осні потреби для впровадження у виробничому середовищі. Було розглянено базову інформацію про крокові двигуни електронної гітари токарного та їх переваги. Такж розглянуто інформацію про мікросхеми та їх застосування у системах управління .

Для виконання поставленої задачі по побудуванню кіберфізичної системи керування кроковими двигунами електронної гітари токарного станка, яка могла б працювати вона повина бути спроектована та реалізована із урахуванням необхідних алгоритмів. Аналіз інформації показав, що у результаті дослідження петреб були виявлені необхідні завдання для розробки кіберфізичної системи управління:

- 1) виконати дослідження та аналіз існуючих систем та пристроїв;
- 2) уточнити та визначити шляхи підвищення ефективності роботи і функціонування токарного станка;

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 26
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3) виконати реалізацію та спроектувати саму кіберфізичну систему управління кроковими двигунами токарного електронної гітари токарного станка на базі мікроконтролерної системи.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						27
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ ГІТАРИ ТОКАРНОГО СТАНКА

2.1 Принципи керування кроковими двигунами

Керування кроковим двигуном у гітарному токарному верстаті базується на певних принципах, які дозволяють точно контролювати рух і положення крокового двигуна. Кроковий двигун складається зі спеціального ротора із зубцями та статора зі спеціальними обмотками. Кроковий двигун переміщується з одного положення в інше шляхом вибору кроків. Кожен крок являє собою фіксований кут повороту, який визначається конструкцією двигуна. Послідовний сигнал для керування кроковим двигуном, який необхідно подавати на обмотки статора. Це здійснюється шляхом зміни стану сигналів на вході котушки. Наприклад, застосування сигнальної послідовності «1010» до котушки може спричинити рух крокового двигуна в одному напрямку, тоді як рядок «0101» спричинить його рух у протилежному напрямку[18].

Забезпечення керуючих імпульсів для керування кроковим двигуном використовуються імпульси, які встановлюються відповідно до бажаного кута обертання та швидкості руху. Частота і кількість імпульсів впливають на швидкість обертання і точність руху крокового двигуна.

Контроль напруги та струму здійснюється для досягнення оптимального руху та мінімізації вібрації крокові двигуни потребують точного контролю напруги та струму. Використання правильного контролера або мікросхеми дозволяє точно регулювати напругу і струм, що подаються на обмотки двигуна.

Для досягнення високої точності та контролю положення крокових двигунів використовуються системи замкнутого контуру зворотного зв'язку. Це може бути енкодер або датчик, який дозволяє вимірювати фактичне положення валу двигуна і регулювати керуючі сигнали для досягнення потрібного положення.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 28
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Кроковими двигунами можна керувати за допомогою мікроконтролера, такого як Arduino або інших подібних платформ. Мікроконтролер забезпечує програмне забезпечення, яке керує кроковим двигуном і дозволяє встановлювати потрібну послідовність руху та швидкість.

Кроковими двигунами можна керувати за допомогою спеціального драйвера, який забезпечує сигнали та силу струму, необхідні для приводу двигуна. Ці драйвери забезпечують ефективну роботу і захист крокових двигунів від перевантажень і коротких замикань.

Потоковий режим керування забезпечує плавний рух крокового двигуна. У цьому режимі кроковий двигун працює зі змінною швидкістю, що забезпечує більш точний рух і зниження вібрації. Енкодери можна використовувати для отримання відгуків про рухи гітари. Це дозволяє контролювати точність руху і вимірювати положення гітари під час обробки. Існують спеціальні програми або бібліотеки, які дозволяють керувати гітарним кроковим двигуном токарного верстата. Це дозволяє регулювати параметри руху, створювати складні послідовності та координувати рухи з іншими компонентами трюку [19].

Крокові двигуни можуть мати різну роздільну здатність кроку, що дозволяє вам змінювати кількість кроків, необхідних для повного оберту. Це дозволяє змінювати точність і швидкість ваших рухів на гітарі за потреби.

Крокові двигуни можуть мати додаткові функції, такі як вбудовані датчики позиції, контроль крутного моменту або можливість мультиосевого керування. Це розширює можливості керування гітарою токарного станка та дозволяє виконувати більш складні завдання.

Крокові двигуни можуть бути використані в автоматичних системах, де гітара токарного станка працює без нагляду оператора, при цьому система може включати використання сенсорів, контрольну логіку та програмне забезпечення для автоматичного керування рухом гітари та виконання обробних операцій та можуть бути легко інтегровані з іншими компонентами токарного станка, такими як шпиндель, гайки переміщення, системи затискання тощо.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 29
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Це дозволяє створювати складні системи керування, у яких кроковий двигун взаємодіє з іншими частинами токарного верстата для досягнення бажаної продуктивності та точності. Двигуни можна інтегрувати в системи безпеки, такі як електронні механізми блокування або системи аварійної зупинки. Це допомагає забезпечити безпеку оператора та машини під час використання токарного верстата.

Ці принципи керування кроковим двигуном є основою для впровадження віртуальних фізичних систем керування на гідарних токарних верстатах. Вони забезпечують високу точність, швидкість і стабільність руху крокового двигуна, які є важливими факторами при обробці заготовки.

2.2 Вибір та характеристики мікросхем для керування кроковими двигунами

При реалізації кіберфізичної системи контролю кроковими двигунами в гідарних токарних станках, вибір відповідних мікросхем є важливим кроком. Існує ряд факторів, які слід враховувати при виборі мікросхем, включаючи [20]:

1) мікросхеми повинні бути сумісними з іншими компонентами системи, такими як контролери, сенсори та інші пристрої, але перед вибором мікросхеми слід ретельно перевірити її сумісність з іншими компонентами системи;

2) кількість виходів мікросхеми повинна бути достатньою для підключення всіх обмоток крокових двигунів, та, важливо враховувати додаткові виходи для підключення сигналів зворотного зв'язку та інших функцій;

3) роздільна здатність мікросхеми повинна підтримувати достатню роздільну здатність для належного керування кроковим двигуном, що включає мінімальне виявлення кроків і здатність генерувати достатню кількість імпульсів для точного руху;

4) швидкість і частота мікросхеми повинна бути достатньо високою, щоб забезпечити швидкість руху, необхідну для крокових двигунів, але важливо враховувати максимальну частоту імпульсів, яку може генерувати мікрочіп, а також час його відгуку;

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 30
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

5) інтерфейси зв'язку у чіпах повинні підтримувати відповідні інтерфейси зв'язку, які дозволяють зв'язуватися з контролером або комп'ютером, та може бути такий інтерфейс, як SPI (Serial Peripheral Interface) або I2C (Inter-Integrated Circuit);

б) захист і безпека важливо враховувати наявність вбудованих механізмів захисту, таких як захист від перевантаження, захист від короткого замикання, захист від перегріву тощо.

Вибираючи чіп, потрібно враховувати його доступність на ринку та його вартість. Подивіться на різних виробників і моделей мікросхем, порівняйте їхні характеристики та ціни, щоб знайти найкращий варіант.

Правильний вибір мікросхем для керування кроковими двигунами відіграє важливу роль у створенні ефективної та надійної кіберфізичної системи контролю. Необхідно провести детальний аналіз вищезазначених факторів та врахувати вимоги конкретної системи перед прийняттям остаточного рішення.

2.3 Алгоритми та програмне забезпечення для керування кроковими двигунами

Керування кроковими двигунами в кіберфізичних системах зазвичай вимагає використання спеціалізованих алгоритмів та програмного забезпечення, які забезпечують точне позиціонування та контроль руху двигуна. Деякі з основних алгоритмів та програмного забезпечення, що використовуються для керування кроковими двигунами, включають:

1) алгоритм відкритих петель керування базується на простій логіці керування, де команди керування генеруються безпосередньо з контролера або мікроконтролера. Він використовує базові крокові команди (крок вперед, крок назад) для переміщення двигуна на задану відстань або до певної позиції. Використання цього алгоритму загалом є досить простим і не вимагає складних обчислень, але він може бути менш точним, ніж інші алгоритми;

2) керування замкнутим контуром це алгоритм, який використовує зворотний зв'язок для керування рухом крокового двигуна та досягнення вищої

точності. Це передбачає використання кодера або датчика, який зчитує фактичне положення валу двигуна та передає цю інформацію на контролер. Контролер порівнює фактичне положення з бажаним і застосовує сигнали налаштування для досягнення правильного положення;

3) програмне забезпечення на базі ПК для виконання складних завдань управління використовують спеціалізоване програмне забезпечення, що працює на персональному комп'ютері. Це програмне забезпечення зазвичай має графічний інтерфейс користувача, який дозволяє встановлювати параметри руху, генерувати послідовності команд і керувати рухом крокового двигуна. Він також може містити функції моніторингу, налагодження та візуалізації даних;

4) PID-регулятори (пропорційно-інтегрально-диференціальний контролери) використовується для точного керування рухом крокового двигуна. Вони враховують як поточне положення, так і швидкість двигуна, що дозволяє компенсувати похибки та забезпечити стабільне положення. Використання PID-регулятора може підвищити точність і стабільність керування кроковим двигуном.

При виборі алгоритмів та програмного забезпечення для керування кроковими двигунами, необхідно враховувати специфіку системи, її вимоги до точності та швидкості руху, а також ресурсні обмеження.

Ретельний аналіз та тестування різних варіантів допоможуть знайти оптимальний варіант для конкретної кваліфікаційної роботи.

2.4 Проектування кіберфізичної системи контролю

Проектування кіберфізичної системи контролю кроковими двигунами гітарного токарного станка вимагає системного підходу та врахування різних аспектів. Основні етапи проектування такої системи включають [21]:

1) визначення вимог: початковим кроком є чітке визначення вимог до системи контролю. Це включає визначення потреби у точності позиціонування, швидкості руху, інтерфейсу користувача, зворотного зв'язку та інших

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						32
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

функціональних вимог. Необхідно також враховувати такі обмеження, як бюджет, розмір пристрою, енергоефективність і безпека;

2) вибір апаратних компонентів є наступним кроком у розробці кіберфізичної системи, до вибору компонентів включають крокові двигуни, мікросхеми драйверів, датчики, блоки живлення та інші. Вибір ґрунтується на системних вимогах, таких як вихідна потужність, роздільна здатність кроку, інтерфейс зв'язку та інші фактори, згадані в попередніх розділах;

3) розробка програмного забезпечення є наступним кроком для керування кроковим двигуном. Це може передбачати написання коду для мікроконтролера або використання спеціалізованого програмного забезпечення для керування двигуном. Важливо враховувати алгоритми керування, згадані у попередньому розділі, і їх інтеграцію з програмним забезпеченням;

4) інтеграція та тестування яка іде після розробки апаратних компонентів та програмного забезпечення необхідна як і в окремих модулях, так і у складі системах контролю в цілому. Це дозволяє перевірити правильність функціонування системи, її відповідність вимогам та виявити та усунути можливі проблеми;

5) оптимізація та вдосконалення після успішного тестування системи задля оцінення її характеристик. Це може включати покращення алгоритмів керування, оптимізацію ресурсів, підвищення енергоефективності та інші заходи, спрямовані на покращення продуктивності та якості роботи системи.

Розробка кіберфізичної системи керування кроковим двигуном для гітарного токарного верстата вимагає інтеграції знань електроніки, програмування, елементів керування та механіки. Це складне завдання, яке потребує системного підходу та уваги до деталей для досягнення ефективної та надійної системи керування [22].

2.5 Висновок

Відповідно до завдання, проведено дослідження в області керування кроковими двигунами за допомогою кіберфізичних систем. Було розглянуто принципи керування двигунами та встановлено, що для ефективного використання необхідно враховувати різні параметри, такі як швидкість, роздільна здатність кутова швидкість. Використання правильних сигналів дозволить досягнути точного та плавного руху.

Також було розглянуто характеристики мікросхем для керування двигунами. Встановлено, що вибір мікросхем має базуватися на вимогах виробництва з урахуванням потужності, точності та можливостей.

Далі було досліджено можливі алгоритми керування для досягнення цілей роботи, та почали проектування кіберфізичної системи та її потреб.

У другому розділі розроблено теорію кіберфізичної системи пристрою. Після детального аналізу основної інформації, можна прийти до висновку, що всі ці модулі необхідні для коректної роботи системи та виконання поставлених завдань.

Вивчення теорії дозволяє зрозуміти, як кожен компонент пристрою взаємодіє один з одним для забезпечення його працездатності. Кожен вузол у схемі має свою функцію та призначення, які разом сприяють досягненню цілей пристрою.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						34
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОНОЇ ГІТАРИ ТОКАРНОГО СТАНКА

3.1 Опис апаратного забезпечення та компонентів системи

Апаратне забезпечення та компоненти кіберфізичної системи керування кроковим двигуном токарного станка (рис. 3.1) відіграють важливу роль у забезпеченні ефективності та надійності системи токарного станка.



Рисунок 3.1 – Токарний станок

Ключові компоненти можуть включати [23]:

1) кроковий двигун є основним компонентом системи у токарному станку. Вони використовуються для перетворення електричної енергії в механічний рух. Крокові двигуни мають специфічну характеристику, яка є роздільною здатністю кроку, яка визначає точність руху. Крім того, крокові двигуни можуть мати різну потужність і вихідні параметри, які необхідно враховувати при виборі;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

2) чіп драйвера це мікросхема керування, яка використовується для керування рухом крокового двигуна. Вони подають необхідні сигнали для контролю положення і швидкості двигуна. Контрольна мікросхема може мати різні функції, такі як крокове регулювання роздільної здатності, комунікаційний інтерфейс і захист від перевантаження;

3) датчики та енкодери використовуються для збору інформації про поточне положення та швидкість руху. Вони дозволяють системі відстежувати рух крокового двигуна та забезпечувати точне позиціонування. Датчики можуть бути оптичними, магнітними, потенціометричними або іншими, залежно від системних вимог [24];

4) джерело живлення використовується для забезпечення електроенергією крокових двигунів та інших компонентів системи. Для належної роботи системи важливо враховувати вимоги до стабільності напруги, струму та живлення;

5) контролери та мікроконтролери використовуються для керування всією системою керування. Вони можуть відповідати за взаємодію з користувачем, обробку сигналу датчика, обчислення сигналу керування та керування мікросхемою керування. Вибір контролера або мікроконтролера залежить від вимог до продуктивності, інтерфейсу та можливості програмування.

Разом ці компоненти утворюють апаратну частину системи керування кроковим двигуном токарного гітарного верстата. Правильний вибір та інтеграція цих компонентів забезпечує ефективну та надійну роботу системи.

Налаштування пінів Arduino, які будуть використовуватися для взаємодії з мікросхемою драйвера крокових двигунів. Це включає визначення режиму роботи виводу, наприклад, визначення його як вихідного виводу [25]. Налаштування параметрів для керування кроковим двигуном. Це може включати налаштування висоти, напрямку руху, швидкості, прискорення та інших параметрів відповідно до ваших потреб. Керування рухом це функції або команди в бібліотеці використовуються для керування рухом крокових двигунів. Це може включати команди для виконання певної послідовності кроків, перемикання передач, зупинки або зміни напрямку.

Додаткові функції які можуть бути потрібні за вимогами до системи керування кроковими двигунами, можна використовувати додаткові функції або команди для реалізації необхідної функціональності. Наприклад, це може бути функція плавного прискорення та децелерації, підтримка додаткових режимів руху або екстрена зупинка роботи та інші додаткові функції, які підтримуються мікросхемою драйвера. Тестування та налагодження після написання програмного коду для керування кроковими двигунами варто перевірити його на працездатність. Після запуску тестової програми спостерігається рух крокових двигунів, для того, щоб, переконайтеся, що вони виконують очікувані дії. В разі необхідності вносяться корективи до програмного коду та повторюйте тестування, доки система не працюватиме належним чином.

Вибір середовища програмування Arduino.

Під час програмування мікрочіпів для керування кроковими двигунами одним із найпопулярніших варіантів середовища програмування є Arduino IDE. Arduino — це середовище розробки з відкритим кодом, спеціально розроблене для розробки простих і доступних проектів мікроконтролерів [26].

Основними перевагами використання Arduino IDE для програмування чіпів є простота використання Arduino IDE, що забезпечує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, доступний як для новачків так і для професіоналів. Він повинен мати інтуїтивно зрозумілу структуру та бути простим у навігації.

Велика спільнота Arduino яка активно діляться своїми знаннями, кодом і досвідом. Це означає, що є можливість знайти велику кількість ресурсів, підручників, прикладів та підтримки, що допоможе у розробці системи контролю.

Багатофункціональність Arduino IDE дозволяє підтримувати багатофункціональність та велику кількість бібліотек, які дозволяють легко взаємодіяти з різними пристроями та сенсорами. Це дозволяє швидко налаштувати комунікацію з кроковими двигунами, вводити команди керування та отримувати зворотній зв'язок.

Кросплатформовість, Arduino IDE підтримується на різних операційних системах, таких як Windows, macOS та Linux, що дозволяє працювати в зручному середовищі на платформі.

Широкий вибір мікроконтролерів Arduino IDE підтримує різні моделі мікроконтролерів Arduino, які можна використовувати для керування кроковими двигунами. Можливо вибрати відповідну модель відповідно до необхідних потреб і вимог до проекту.

Масштабованість Arduino IDE дозволяє підключати різноманітні додаткові компоненти та датчики до кіберфізичної системи. Це дає можливість розширити функціональність системи керування кроковим двигуном.

Коли було обрано Arduino IDE для програмування чіпів, в результат було отримано потужне, зручне середовище розробки, яке спрощує розгортання та швидко розробку елементів керування кроковим двигуном.

3.2 Програмування мікросхеми для керування кроковими двигунами

Програмування мікросхеми для керування кроковими двигунами включає в себе створення програмного коду, який взаємодіє з мікросхемою драйвера крокових двигунів для керування їх рухом і налаштування різних параметрів [27].

Основні етапи програмування мікросхеми для керування кроковими двигунами включають наступні кроки:

1) імпорт бібліотеки використовується відповідна бібліотека для програмування мікросхеми. Більшість мікросхем мають спеціальні бібліотеки, які надають зручний інтерфейс для взаємодії з ними. Зазвичай, ці бібліотеки доступні на офіційних веб-сайтах виробників мікросхем або в репозиторіях Arduino;

2) ініціалізація піна налаштовується пін або піни Arduino, які будуть використовуватися для взаємодії з мікросхемою драйвера крокових двигунів. Це включає встановлення режиму роботи піна, наприклад, налаштування його як вихідного піна;

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 38
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3) налаштування параметрів встановлюються необхідні параметри для керування кроковими двигунами. Це може включати встановлення кроку, напрямку руху, швидкості, прискорення та інших параметрів відповідно до ваших потреб;

4) керування рухом використовуються функції або команди для керування рухом крокових двигунів. Це може включати команди для виконання певної послідовності кроків, зміни швидкості, зупинки або зміни напрямку руху;

5) додаткові функції, якщо існує специфічна потреба або вимога до системи керування кроковими двигунами, тоді можна використовувати додаткові функції або команди для реалізації необхідної функціональності. Наприклад, це може бути функція плавного прискорення та децелерації, підтримка додаткових режимів руху або інші додаткові функції, які підтримуються мікросхемою драйвера;

6) тестування та налагодження після написання програмного коду для керування кроковими двигунами варто перевірити його на працездатність. Використовуючи тестову програму та спостерігаючи за рухом крокових двигунів, можна переконайтися, чи вони виконують очікувані дії. В разі необхідності вносяться корективи до програмного коду та повторюються тестування, доки система не працюватиме належним чином.

Ініціалізація піна в Arduino означає призначення режиму роботи піна, такого як вхід або вихід, а також налаштування додаткових параметрів піна, які можуть включати підтягування до живлення (pull-up/pull-down), режим введення або виведення, аналоговий або цифровий режим роботи та інше. Це важливий крок при підключенні зовнішніх пристроїв до платформи Arduino [28].

Ось приклади коду для ініціалізації піна в Arduino:

Ініціалізація піна як вхідного піна:

```
int inputPin = 2;
```

```
pinMode(inputPin, INPUT); // ініціалізація піна як вхідного піна
```

```
int outputPin = 3;
```

```
pinMode(outputPin, OUTPUT); // ініціалізація піна як вихідного піна
```

```
int buttonPin = 4; // номер піна
```

```
pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP); // ініціалізація піна як вхідного піна
```

Ініціалізація піна з підтягуванням до землі (pull-down):

```
int buttonPin = 5; // номер піна
```

```
pinMode(buttonPin, INPUT_PULLDOWN); // ініціалізація піна як вхідного  
піна з підтягуванням до землі
```

Ініціалізація піна як аналогового входу:

```
int analogPin = A0;
```

```
pinMode(analogPin, INPUT); // ініціалізація піна як аналогового входу.
```

Налаштування параметрів в Arduino включає встановлення додаткових налаштувань для пінів, таких як режими роботи, рівні сигналів, підтягування до живлення (pull-up/pull-down) та інші [29]. Це дозволяє налаштувати піни для виконання певних функцій і забезпечити необхідну взаємодію зі зовнішніми пристроями.

Нижче наведено приклад налаштування параметрів пінів в Arduino:

Встановлення рівня виведення :

```
digitalWrite(outputPin, HIGH);
```

Читання вхідного сигналу:

```
int inputPin = 2;
```

```
int value = digitalRead(inputPin);
```

```
int analogPin = A0;
```

```
analogRead(analogPin); // читання значення з аналогового піна
```

```
int buttonPin = 4;
```

```
pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP)
```

```
delay(1000);
```

Arduino також підтримує можливість встановлення преривань на пінах. Преривання дозволяють миттєво реагувати на зміни стану піна або спеціальні події. Налаштування преривань залежить від обраної платформи Arduino і може включати наступні кроки.

Налаштування преривань:

```
void setup() {
```

```

pinMode(interruptPin, INPUT_PULLUP);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin),
myInterruptFunction, CHANGE); // преривання на піні
}
void loop() { }
void myInterruptFunction() {}

```

У цьому прикладі було використовуємо функцію `attachInterrupt()`, щоб встановити переривання на піні `interrupt Pin`. Параметр `digitalPinToInterrupt()` визначає фізичний номер переривання, пов'язаний з вказаним цифровим піном. Також, встановлюється режим зміни стану (`CHANGE`), при якому викликається переривання.

У функції `myInterruptFunction()` можна визначити обробник преривань, який буде виконуватися при спрацюванні переривання. В цьому місці можливо виконати потрібні дії, пов'язані з подією, яка спричинила переривання.

Налаштування переривань дозволяє забезпечити швидку та ефективну реакцію на вхідні сигнали та події, що є корисним у багатьох додатках, включаючи керування кроковими двигунами [30].

Це лише один із багатьох способів налаштування параметрів в Arduino. Залежно від о проекту і вимог, можна використовувати інші функції та методи для досягнення необхідного функціоналу.

Керування рухом кроковими двигунами включає в себе послідовне виконання кроків для досягнення бажаної позиції. Використовуючи мову Arduino, можна розробити програмний код, який керує рухом крокових двигунів. Ось кілька кроків, які можуть бути включені в алгоритм керування рухом:

Ініціалізація пінів спочатку необхідно налаштувати пін Arduino, які використовуються для керування кроковими двигунами. Це може включати встановлення режиму пінів (`INPUT` або `OUTPUT`) та налаштування підтягування до живлення, якщо це необхідно.

Встановлення параметрів крокових двигунів, для цього потрібно встановити необхідні параметри для кожного крокового двигуна, такі як кількість кроків на

оберт, швидкість, прискорення, інтервал між кроками і т.д. Ці параметри можуть залежати від конкретного типу та моделі крокового двигуна.

Рух до бажаної позиції залежно від задачі, можливо використовувати різні методи керування рухом крокового двигуна. Один з найпростіших способів - це використання циклу для послідовного виконання кроків до досягнення бажаної позиції. Наприклад:

```
int stepPin = 2;
int dirPin = 3;
int stepsPerRevolution = 111;
int targetPosition = 1111;
void setup() {
  pinMode(stepPin, OUTPUT);
  pinMode(dirPin, OUTPUT);
}
void loop() {
  // Визначення напрямку руху
  if (targetPosition >= 0) {
    digitalWrite(dirPin, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(dirPin, LOW);
  }
  // Виконання кроків до досягнення бажаної позиції
  int currentPosition = 0;
  while (currentPosition != targetPosition) {
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(500);
    if (targetPosition > currentPosition){
      currentPosition++;
    }
  }
}
```

```
} else {  
    currentPosition--; } } }
```

У цьому прикладі було використано два піни Arduino - один для керування кроками (stepPin) і один для керування напрямком (dirPin). Було встановлюємо напрямок руху в залежності від бажаної позиції. Потім виконується цикл, де виконується послідовне крокування до досягнення бажаної позиції. Кожен крок виконується за допомогою встановлення піну stepPin в HIGH і LOW з відповідною затримкою між кроками.

Настройка швидкості обертання крокових двигунів може включати в себе керування частотою кроків або інтервалом між кроками. Ось кілька способів, які можна використовувати для налаштування швидкості обертання:

Використання затримки між кроками одним із найпростіших способів налаштування швидкості - це використання затримки між кроками. Чим менше затримка, тим вища швидкість обертання. Наведено приклад:

```
int stepPin = 2;  
int delayBetweenSteps = 1000;  
void setup() {  
    pinMode(stepPin, OUTPUT);  
}  
void loop() {  
    digitalWrite(stepPin, HIGH);  
    delayMicroseconds(delayBetweenSteps);  
    digitalWrite(stepPin, LOW);  
    delayMicroseconds(delayBetweenSteps);  
}
```

У наступному прикладі використовується затримка delayMicroseconds для встановлення інтервалу між кроками. Значення delayBetweenSteps визначає, як швидко відбувається крокування. Зменшення значення delayBetweenSteps збільшить швидкість обертання, а збільшення значення сповільнить її.

Ще один спосіб керування швидкістю - це використання таймерів. Таймери можуть забезпечити більш точне керування швидкістю інтервалом між кроками. В мові Arduino для цього можна використовувати бібліотеку TimerOne або TimerThree. Ось приклад використання TimerOne:

```
#include <TimerOne.h>

int stepPin = 2;
int stepInterval = 1000;
void setup() {
    pinMode(stepPin, OUTPUT);
    Timer1.initialize(stepInterval);
    Timer1.attachInterrupt(step);
}
void loop() {
}
void step() {
    digitalWrite(stepPin, !digitalRead(stepPin));
}
```

У цьому прикладі було використано таймер Timer1 для виклику функції step через певний інтервал часу. У функції step змінюється стан піна для виконання кроку. Змінюючи значення stepInterval, можна налаштувати швидкість обертання.

Використання преривань: Якщо мікроконтролер має підтримку преривань, можна використовувати їх для керування швидкістю обертання. Преривання можуть бути викликані з заданою частотою або після певного проміжку часу. В прикладі нижче використовується преривання Timer1 для керування швидкістю обертання:

```
#include <TimerOne.h>

int stepPin = 2;
int stepInterval = 1000;
void setup() {
    pinMode(stepPin, OUTPUT);
```

```

Timer1.initialize(stepInterval * 1000);
Timer1.attachInterrupt(step);
}
void loop() {
}
void step() {
    digitalWrite(stepPin, !digitalRead(stepPin));
}

```

Таблиця 3.1 – Опис основних функцій ПЗ

№ п.п	Назва функції	Опис функції
1	const int stepPin = const int dirPin = const int enablePin =	Функція підключає основні піни керування драйвером
2	stepsPerRevolution	Функція здійснює налаштування кількості кроків на обертання шпинделя
3	stepper.setMaxSpeed(1000);	Функція здійснює налаштування максимальної швидкості
4	stepper.setAcceleration(500);	Функція здійснює налаштування прискорення
5	stepper.runSpeed();	Функція керування двигуном
6	digitalWrite(dirPin, HIGH\Low);	Функція керування вперед\назад
7	switch (microsteps)	Налаштування крокового поділу
8	long currentPosition = stepper.currentPosition();	Отримання поточної позиції шпинделя
9	(targetPosition > stepper.currentPosition())	Функція руху до цільової позиції

Тут було наведено лише декілька прикладів, які показують налаштування параметрів пінів в Arduino. Залежно від проекту та вимог, які можна використовувати для різних комбінацій цих функцій та методів для досягнення необхідного функціоналу.

Додаткові функції керування кроковими двигунами можуть включати [31]:

1) керування напрямком руху та можливість змінювати напрямок руху крокового двигуна дозволяє реалізувати рух вперед і назад залежно від вимог системи;

2) режими руху, такі як постійний крок, мікрокрок, інтерполяція між кроками та інші, можуть забезпечити більш точне позиціонування та більш плавний рух;

3) інтерфейс оператора надає можливість взаємодії з системою керування кроковими двигунами через інтерфейс оператора, такий як кнопки, регулятори або екран, дозволяє оператору змінювати параметри руху, вибирати режими роботи та відстежувати стан системи;

4) зберігання конфігурацій, можливість зберегти налаштування крокових двигунів у пам'яті мікроконтролера дозволяє зручно використовувати певні налаштування для різних задач і швидко переключатися між ними;

5) підтримку комунікаційних протоколів, таких як UART, I2C або SPI, дозволяє зв'язувати крокові двигуни з іншими пристроями або системами, що розширює можливості керування і моніторингу;

6) захист і діагностика можливість виявлення несправностей, перевантажень, перегріву та інших аномалій, а також виконання заходів захисту, таких як автоматичне відключення живлення, дозволяє зберегти крокові двигуни від пошкоджень і забезпечити безпеку роботи системи;

7) інтеграція з іншими системами можливість роботи з іншими системами керування, наприклад, з системами автоматизації виробництва або з системами контролю якості, дозволяє реалізувати комплексні рішення для виробничих процесів.

Тестування та налагодження кіберфізичної системи управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка є важливим етапом в розробці. Основна мета цього етапу - перевірити працездатність системи, виявити і усунути можливі помилки та недоліки перед введенням системи в експлуатацію.

Процес тестування та налагодження може включати такі кроки:

1) валідація апаратної конфігурації перевірка правильності підключення крокових двигунів до мікроконтролера та драйвера. Перевірка, чи всі з'єднання встановлені належним чином та надійні;

2) встановлення тестової програми, яка дозволяє провести широкий спектр тестів на різні функціональні можливості системи. Ця програма може включати різні режими руху, швидкості, керування напрямком та інші параметри;

3) виконання тестових сценаріїв, які покривають різні варіанти руху, включаючи рух вперед, назад, зупинку, різні швидкості, керування напрямком, прискорення та децелерацію. Оцінка точності позиціонування та швидкості руху;

4) виявлення та виправлення помилок або неполадок в роботі системи та їх виправлення. Це може включати перевірку правильності підключення, виявлення проблем з живленням, перевірку цілісності даних та інші аспекти системи;

5) оптимізація параметрів визначення найпростіших параметрів керування, таких як швидкість, прискорення, крокові режими та інші параметри, щоб забезпечити оптимальну продуктивність та якість роботи системи.

Документування результатів формування документації, яка містить результати тестування та налагодження, виявлені проблеми та їх вирішення, а також рекомендації щодо подальших кроків для покращення системи.

Вибір мікроконтролера.

Arduino Mega є однією з популярних мікроконтролерних платформ (рис. 3.2) в рамках серії Arduino [32].

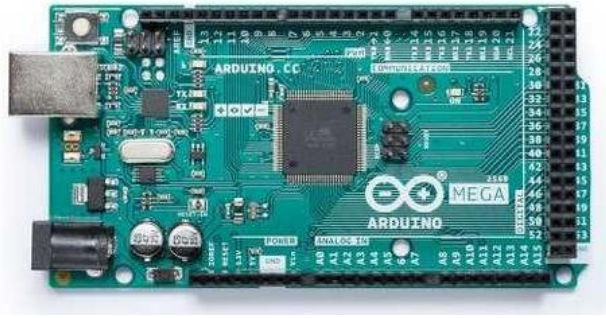


Рисунок 3.2 – Мікроконтролер Arduino Mega

Вона є розширеною версією Arduino Uno, пропонуючи більше вхідно-вихідних пінів та додаткові функції для реалізації складніших проектів. Ось детальніші характеристики Arduino Mega:

1) мікроконтролер: Arduino Mega використовує мікроконтролер ATmega2560, який має великий обсяг пам'яті (256 КБ флеш-пам'яті) та достатню кількість вхідно-вихідних пінів (54 цифрові входи/виходи, з яких 15 можуть бути використані як PWM-виходи та 16 аналогових входів);

2) комунікаційні інтерфейси Arduino Mega підтримує різноманітні комунікаційні інтерфейси, включаючи UART, I2C та SPI. Це дозволяє зв'язувати мікроконтролер з різними пристроями, такими як датчики, дисплеї, модулі зв'язку тощо;

3) розширені можливості завдяки більшій кількості вхідно-вихідних пінів, Arduino Mega забезпечує додаткові можливості для підключення додаткових модулів та пристроїв. Це дозволяє реалізувати складніші проекти з більшою кількістю сенсорів, виведеними дисплеями, моторами тощо;

4) Arduino Mega може бути живлений від зовнішнього джерела живлення або від USB-порту комп'ютера. Він також має вбудований регулятор напруги, що дозволяє подавати стабільну напругу для підключених пристроїв;

5) розробка програмного забезпечення Arduino Mega підтримує Arduino IDE - просте та зручне середовище розробки програмного забезпечення, що дозволяє писати код на мові Arduino та завантажувати його на платформу через USB-порт;

б) Arduino Mega сумісний з великою кількістю розширень та шилдів Arduino, які дозволяють розширити його функціональність. Використовуючи його можна знайти різноманітні шилди для робототехніки, сенсорів, дисплеїв та інших пристроїв.

Arduino Mega є потужною та розширеною платформою, яка ідеально підходить для проектів з багатьма вхідно-вихідними пінами та великою кількістю підключених пристроїв. Вона забезпечує гнучкість та можливість розширення, дозволяючи вам реалізувати широкий спектр проектів у сфері електроніки та робототехніки.

Вибір драйвера крокових двигунів.

Драйвер A4988 (рис. 3.3) є одним з популярних драйверів крокових двигунів, який забезпечує ефективне та точне керування кроковими двигунами.

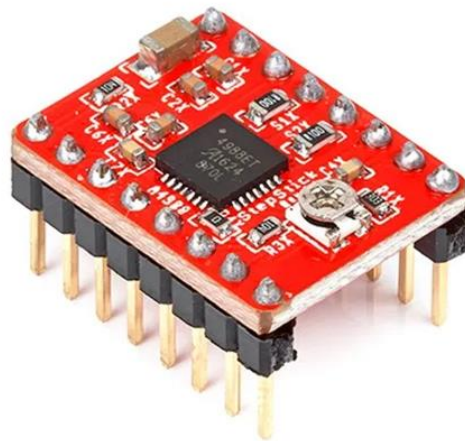


Рисунок 3.3 – Драйвер A4988

Основними характеристика наведена нище:

1) керування струмом, A4988 має можливість регулювати струм, що постачається до крокового двигуна. Це дозволяє налаштувати оптимальний струм для конкретного двигуна, забезпечуючи надійну роботу і запобігаючи перегріванню;

2) A4988 підтримує режим мікрокроку, що дозволяє досягти більшої точності руху. Він підтримує до 1/16 мікрокроку, що дозволяє розділити один

повний крок на 16 менших кроків. Це забезпечує більш плавний рух та зменшення вібрації;

3) захист від перегріву та перевантаження A4988 має вбудовану захисну функцію, яка вимикає струм, якщо виявляється перевищення максимального допустимого струму або перегрів драйвера. Це допомагає уникнути пошкодження драйвера та крокового двигуна;

4) A4988 має зручні роз'єми для підключення крокового двигуна та джерела живлення. Він також має підтримку логічного входу інтерфейсу зовнішнього керування, що дозволяє підключати його до мікроконтролерів або інших пристроїв керування;

5) швидкість руху A4988 здатний працювати на високих швидкостях руху крокового двигуна. Він підтримує плавну регуляцію швидкості і забезпечує стабільний рух навіть при високих обертах;

6) драйвер A4988 сумісний з біполярними та уніполярними кроковими двигунами, що дозволяє використовувати його з різними типами крокових двигунів;

7) драйвер A4988 є популярним вибором для проектів, які потребують керування кроковими двигунами. Він простий у використанні, має широкі можливості налаштування та забезпечує точне та ефективне керування рухом.

8) заземлення для забезпечення стабільності та захисту від електростатичного розряду (ESD), важливо заземлити модуль A4988. Це можна зробити, підключивши додатковий дріт заземлення до відповідного контакту на модулі;

9) перевірка з'єднань перед включенням живлення перевірте всі з'єднання між кроковим двигуном, модулем A4988 та Arduino Mega. Потрібно переконатися, що всі кабелі правильно підключені та надійно закріплені;

10) використано мову Arduino для написання програми, яка керуватиме рухом крокового двигуна. Можна використовувати бібліотеки, такі як "AccelStepper" або "Stepper", для зручного керування кроковими двигунами.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 50
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Після завершення підключення та програмування виконється тестовий запуск, щоб переконатися, що кроковий двигун правильно реагує на сигнали керування. Перевірте правильність напрямку руху, точність позиціонування та швидкість руху. Якщо виникають проблеми з рухом крокового двигуна, потрібно перевірити та відкалібрувати струм на модулі A4988, потрібно переконатися, що кабелі підключені в правильній послідовності фаз, та перевірити, чи програма на Arduino Mega налаштована на відповідні параметри руху.

Для захисту та запобігання перевантаженню крокового двигуна та модуля A4988, рекомендується використовувати датчики кінцевого положення або поточний контроль, якщо це необхідно. Це допоможе уникнути можливих пошкоджень або перегріву компонентів системи. Для отримання додаткової інформації потрібно звертатися до документації та ресурсів, що стосуються модуля A4988 та Arduino Mega, для отримання детальнішої інформації про підключення, програмування та використання крокових двигунів.

Для моніторингу та підтримки після встановлення системи контролю крокових двигунів, рекомендується встановити механізм моніторингу та підтримки, щоб слідкувати за роботою системи та вчасно виявляти можливі проблеми чи несправності. При оновленні та розвитку в разі необхідності розвинення системи контролю крокових двигунів, слід розглянути можливість використання більш потужного мікроконтролера, додаткових модулів або інших компонентів, щоб задовольнити розширені вимоги та функціональність системи.

3.3 Підключення крокових двигунів до мікросхеми

Підключення крокових двигунів до мікросхеми залежить від конкретної мікросхеми та типу крокового двигуна, який використовується. Однак існує загальна схема підключення, яку можна взяти за основу. Основні етапи підключення включають [33]:

1) Живлення, потрібно переконатися, що мікросхема та кроковий двигун отримують достатньо живлення, та не перевантажені. Необхідно дотримуватись

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 51
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

інструкцій у технічному описі мікросхеми для оптимального діапазону напруги живлення.

2) Контрольні сигнали, підключіть вихідні піни мікросхеми до вхідних пінів крокового двигуна. Зазвичай, це включає сигнали керування (Step) та напрямку (Direction). Потрібно переконатися, що вони підключені до відповідних пінів крокового двигуна.

3) Заземлення мікросхеми та крокового двигуна для забезпечення стабільності сигналу та електричної безпеки.

4) Конденсатори деякі мікросхеми потребують підключення конденсаторів для фільтрації шумів і стабілізації напруги. Потрібно дотримуйтесь рекомендацій документації ІС щодо використання конденсаторів.

5) Інші сигнали, залежно від мікросхеми та крокового двигуна можуть бути додаткові сигнали, такі як вимірювання струму, сигнал запуску тощо. Необхідно звернутися до документації до мікросхеми, щоб підключити ці додаткові сигнали, якщо вони необхідні для проекту.

Важливо дотримуватися документів і рекомендацій, наданих виробниками крокового двигуна та мікросхеми, щоб правильно підключити та налаштувати систему керування [34]. Підключення крокових двигунів до модуля А4988 вимагає правильного з'єднання кабелів (рис 3.4).

Необхідно перевірити специфікації крокового двигуна, щоб визначити правильну послідовність фаз і значення струму.

Підключення вихідного кабеля крокового двигуна до вихідних пінів модуля А4988. Зазвичай, крокові двигуни мають чотири кабелі, що відповідають фазам А, А', В і В'. Правильна послідовність підключення залежить від конкретної моделі крокового двигуна [35].

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						52
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

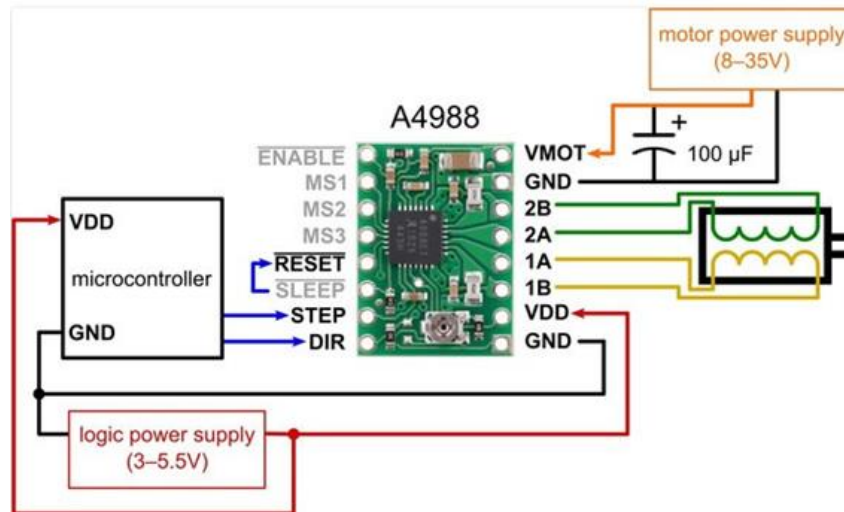


Рисунок 3.4 – Схема підключення драйвера A4988

Підключення живлення до модуля A4988. Вхідні контакти модуля приймають постійну напругу в діапазоні від 8 до 35 Вольт. Важливо переконатися, що живлення відповідає вимогам вашого крокового двигуна. Далі підключається мікроконтролер Arduino Mega до модуля A4988. Потрібно використовувати відповідні піни на Arduino Mega для забезпечення сигналів керування (крок, напрямок, enable) до відповідних пінів модуля A4988.

Далі налаштуються параметри модуля A4988 відповідно до потреб. На модулі A4988 є потенціометри, які дозволяють налаштувати струм потрібного рівня для вашого крокового двигуна. Рекомендується використовувати тестові скетчі Arduino для налаштування струму відповідно до специфікацій крокового двигуна.

Після правильного підключення кабелів та налаштування параметрів модуля A4988, можна використовувати Arduino Mega для керування рухом крокового двигуна (рис. 3.5). Потрібно використовувати відповідні бібліотеки Arduino та програмні команди для забезпечення руху крокового двигуна з необхідною точністю та швидкістю.

Конфігурація мікросхеми для керування кроковим двигуном. Після підключення крокового двигуна до мікросхеми потрібно налаштувати параметри мікросхеми для оптимального керування двигуном. Налаштування може включати різні аспекти. Установка необхідного режиму роботи крокового двигуна,

наприклад повний крок, напівкрок, мікрокроковий тощо. Це встановлюється за допомогою відповідних налаштувань на мікросхемі [36].

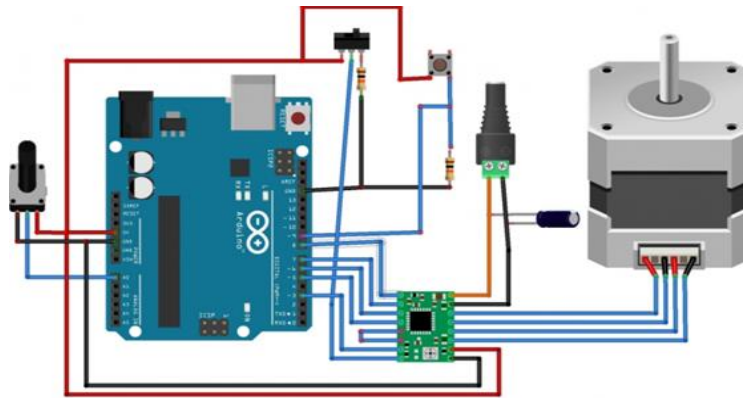


Рисунок 3.5 – Схема підключення мікроконтролера та драйвера до крокових двигунів

Потрібно регулювати силу струму, що подається на кроковий двигун. Це можна зробити за допомогою відповідних вбудованих елементів керування або налаштувань. Режими керування напрямків, для них установити правильний режим керування напрямком крокового двигуна. Він може бути двофазним, трифазним або з іншим режимом, залежно від крокового двигуна та мікросхеми.

Задля затримки та прискорення потрібно відрегулювати крокову затримку та прискорення, щоб досягти бажаної швидкості крокового двигуна. Ці параметри можна запрограмувати на мікросхемі.

Для захисту від перевантаження потрібно переконатися, що мікросхема має вбудовані функції захисту від перевантаження, щоб захистити кроковий двигун від пошкодження під час перевантажень. Якщо необхідно, налаштуйте ці засоби захисту відповідно до вимог вашого проекту[37].

При контролі сигналу необхідно переконатися, що мікросхема налаштована для прийняття і обробки керуючих сигналів (таких як крок і напрямок) від мікроконтролера або іншого джерела сигналу. При перевірці налаштування потрібно перевірити наскільки правильно встановлені конфігурації, виконати функціональну перевірку системи керування та переконайтеся, що кроковий двигун працює належним чином.

Ці параметри можуть відрізнятися залежно від мікросхеми, яку було використано для керування кроковим двигуном. Щоб отримати найкращі результати, потрібно дотримуватися рекомендацій та інструкцій виробника мікросхеми.

3.4 Тестування та налагодження системи

Після завершення проектування та підключення крокового двигуна, мікросхеми та інших компонентів системи слід виконати тестування та налагодження, щоб переконатися, що вони функціонують належним чином. Основні етапи цього процесу включають [38]:

Перевірка з'єднань, щоб всі з'єднання між кроковим двигуном, мікросхемою та мікроконтролером виконано належним чином. Тестування з'єднання акумулятора, контакти, дроти та інші з'єднання. Необхідно перевірити живлення, щоб джерело живлення було правильно підключено до крокового двигуна та мікросхеми.

Необхідне тестування напруги живлення, щоб вона відповідала вимогам компонентів та не зруйнувала проект. Схема для перевірки напруги живлення використовується для перевірки відповідності радіоелементів системи заявленим вимогам (рис. 3.6).

За потреби налаштовуються параметри мікросхеми та програмного забезпечення для досягнення бажаних характеристик руху крокового двигуна, таких як швидкість, прискорення, режим керування тощо [38].

Підтвердження результатів, перевірка, чи відповідають отримані результати очікуванням. Повторна перевірка, щоб система керування стабільна та без помилок. Усунення несправностей, якщо під час тесту виявлені будь-які проблеми, необхідно їх виправити. Перевірка підключення, зміна налаштування, тестування живлення тощо. Внесені необхідні корективи для досягнення бажаних результатів.

Тестування та налагодження системи важливі кроки у процесі розробки кіберфізичної системи контролю крокових двигунів гітарного токарного станка.

Вони дозволяють перевірити правильність підключення та функціонування компонентів, а також забезпечити оптимальну роботу системи перед її використанням у реальних умовах.

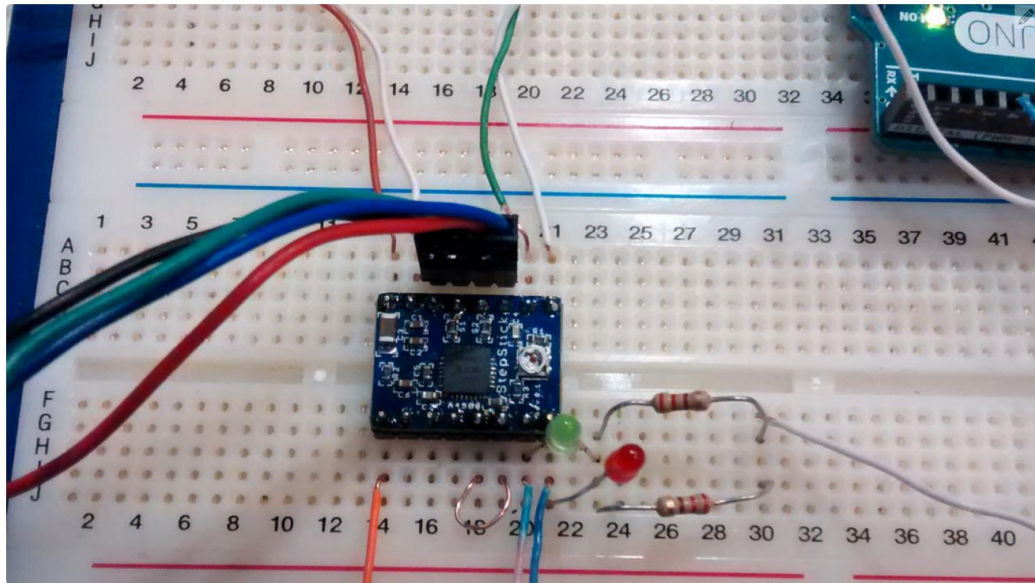


Рисунок 3.6 – Перевірка з'єднань та напруги живлення у схемі

Виконання контрольних тестів керування кроковим двигуном за допомогою програмного забезпечення або мікроконтролера. Тестування, чи рухаються крокові двигуни відповідно до команди керування та чи змінюється напрям їх руху відповідно до вхідного сигналу.

Виконання функціональних та навантажувальних тестів.

Один з важливих етапів тестування та налагодження системи керування кроковими двигунами полягає в виконанні функціональних та навантажувальних тестів. Ці тести допомагають перевірити різні аспекти роботи системи та її здатність впоратися з реальними умовами використання.

Під час функціонального тестування перевіряються основні функції системи керування кроковими двигунами, такі як керування напрямком руху, керування кроками, встановлення швидкості руху тощо. Необхідно переконатися, що система правильно виконує командні інструкції, і змінює рух крокового двигуна, як очікувалося.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

З іншого боку, навантажувальне тестування дозволяє перевірити продуктивність системи при зростанні навантаження.

Прикладаються різні навантаження до крокового двигуна та спостерігаються їх реакцією.

Потрібно перевірити, чи може система керувати кроковим двигуном під зростаючим навантаженням без шкоди для точності та ефективності.

Під час виконання навантажувального та функціонального тестування слід враховувати наступні аспекти:

- 1) точність команди;
- 2) точна оцінка позиціонування;
- 3) стабільність системи;
- 4) можливість збою.

Точність команди, потрібно переконайтеся, що команди виконуються правильно та без затримок або помилок. Протестувати, чи крокові двигуни рухаються відповідно до вхідних команд.

Точна оцінка позиціонування, точності системи яка відповідає за визначення місцезнаходження крокових двигунів.

Виконайте кілька циклів рухів і порівняйте отримані положення з очікуваними.

Необхідно звернути увагу на можливі помилки та невідповідності.

Задля стабільності роботи потрібно спостерігати за виконанням роботи системи під час тривалого використання.

Система не повина перегріватися та здатна підтримувати стабільні параметри руху протягом тривалого часу.

Збої можуть зруйнувати усю систему.

Потрібно симулювати можливі збої або непередбачувані ситуації, такі як втрата живлення, переривання зв'язку тощо, і перевірте, як система реагує на такі ситуації.

Система повинна відновити свою роботу після виникнення збоїв.

Виконання функціональних та навантажувальних тестів дозволить вам перевірити працездатність та надійність кіберфізичної системи контролю крокових двигунів гітарного токарного станка перед його фінальним використанням (рис. 3.7).

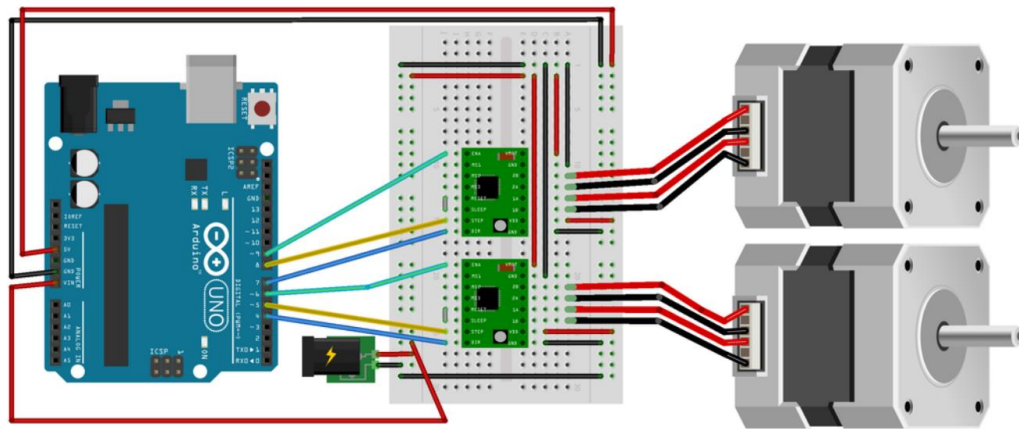


Рисунок 3.7 – Повністю налагоджена схема

3.5 Результати експериментів та аналіз отриманих даних

Після завершення тестування та налагодження системи керування кроковими двигунами необхідно провести аналіз отриманих результатів. Цей аналіз допоможе оцінити ефективність і точність системи, виявити будь-які проблеми та внести необхідні коригування. Відповідно специфікаціям потрібно переконатися, що отримані результати відповідають встановленим специфікаціям і вимогам до етапу системи керування двигуном. Необхідно порівняти результати з очікуваними параметрами, такими як швидкість руху, точність положення та стабільність бігу, якість виготовлення [40].

Задля виявлення проблем необхідно визначити потенційні неполадки або вразливі місця під час тестування. Складається список проблем і їх характеристики, щоб мати чітке уявлення про те, які виправлення потрібні системі. Для виправлення помилок застосовуються нові зміни та виправлення для вирішення виявлених проблем. Це може включати зміну налаштувань, перепрограмування мікросхеми, зміну фізичних з'єднань компонентів, нові

алгоритми дій тощо. Переконайтеся, що виконані вами виправлення вирішують проблему та покращують продуктивність системи.

Потібно виконати повторне тестування після внесення налаштувань задля перевірки системи, щоб перевірити ефективність внесених змін та їх результат. Порівняйте результати з попередніми тестами та подивіться покращення продуктивності системи.

Аналіз результатів тестування та налагодження допоможе вам зробити остаточні висновки щодо ефективності та якості кіберфізичної системи контролю крокових двигунів гітарного токарного станка. Записуються усі знайдені проблеми та їх вирішення, щоб мати документовану інформацію про процес тестування та налагодження. Кіберфізична система управління може бути легко інтегрована з іншими автоматизованими системами, наприклад, системами керування виробничим процесом або системами збірки та обробки даних. Це створює можливості для покращення управління та координації різних елементів виробничого процесу.

В цілому, кіберфізична система контролю крокових двигунів у гітарі токарного станка демонструє значні переваги порівняно з механічними системами управління. Він пропонує високу точність, гнучкість, автоматизацію та інтеграцію з іншими системами, допомагаючи підвищити ефективність і продуктивність виробничого процесу.

3.6 Висновок

На основі проведеного дослідження в області розробки та впровадження кіберфізичних систем було створено базову програму керування кроковими двигунами, та загальні рекомендації щодо, використання.

Було описано обране апаратне забезпечення, таких як мікроконтроле Arduino mega та драйвер крокових двигунів A988. Описано загальний опис дій по підключенню мікроконтролера до драйвера та крокових дій, застереження щодо роботи та тестування. Програма розроблена в середовищі Arduino.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі проведено розробку віртуальної фізичної системи для керування кроковим двигуном гітарного токарного верстата через мікрочіп. В результаті дослідження визначені завдання виконано, а сама система успішно розгорнута та протестована.

Аналіз поняття кіберфізичних систем прояснив їх роль у галузі та виявив переваги, які вони пропонують перед традиційними механічними системами керування. Вибір та характеристики мікросхем для керування кроковими двигунами були обґрунтовані на основі аналізу різних варіантів і врахування вимог до системи.

Розроблені алгоритми та програмне забезпечення для керування кроковими двигунами дозволили ефективно контролювати рух токарного станка та забезпечити потрібну точність та стабільність роботи. Проектування кіберфізичної системи контролю було проведено з урахуванням вимог щодо фізичних компонентів та інтерфейсів з мікросхемою.

Під час тестування та налагодження системи були проведені різні експерименти, що дозволили оцінити її працездатність та ефективність. Результати експериментів свідчать про успішну реалізацію кіберфізичної системи контролю, яка демонструє точність, стабільність та надійність в управлінні кроковими двигунами.

Отже, виконана робота підтверджує досягнення поставлених мети та об'єктивів дослідження. Розроблена кіберфізична система контролю крокових двигунів гітари токарного станка через мікросхему виявила свою практичну значимість у виробничому середовищі, сприяючи покращенню точності, ефективності та автоматизації процесів обробки. Результати дослідження можуть служити основою для подальшого розвитку та вдосконалення системи управління кроковими двигунами в інших промислових сферах.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						60
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

У рамках кваліфікаційної роботи було успішно виконано поставлені завдання, пов'язані з розробкою та аналізом кіберфізичної системи контролю крокових двигунів гітари токарного станка. Нижче наведено результати виконаних завдань: Розроблено концепцію кіберфізичної системи контролю:

Було проведено теоретичний аналіз та розроблено концепцію кіберфізичної системи контролю крокових двигунів гітари токарного станка. Визначено основні принципи роботи системи та визначено необхідні компоненти.

Мікросхема драйвера та драйвер вибрані та описані: було проаналізовано різні мікросхеми, придатні для керування кроковими двигунами, і обрано відповідну мікросхему. Описано його особливості та функції.

Підключення крокових двигунів до мікросхеми виконується: крокові двигуни підключаються до обраного двигуна. Виконано налагодження та тестування підключення, щоб переконатися, що двигуни працюють належним чином.

Розробка програмного забезпечення для керування: Використовуючи середовище програмування Arduino, розроблено програмне забезпечення для керування кроковим двигуном. Впроваджено алгоритми керування та встановлено необхідні параметри для досягнення бажаних результатів.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						61
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. RMIT. Cyber-physical system. URL: <https://www.rmit.edu.au/news/c4de/what-are-cyber-physical-systems> (дата звернення: 06.04.2023).
2. Мельник А. О. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Львів 2014. 158-159 с.
3. Вайнтрауб М.А. Технологія верстатних робіт: навч. посіб. Київ. 2015р. 9-21 с.
4. Ван Чунжі Яцишин С.П., Лиса О.В., Мідик А-В.В. Кіберфізичні системи та їх програмне забезпечення. *Науковий журнал*. 2018. 2-4 с.
5. *Модернізація технологічного обладнання системами числового програмного керування*. навч. посіб. / за ред.: Шифр «Цвіркун». 2020. 5-24 с.
6. Коваленко І.О., Пушкар М.В. Програмне керування електромеханічними системами: конспект лекцій. *Київ: КПІ*, 2013 46-105 с.
7. Розводюк М.П., Казак М.О. Дослідження крокового двигуна: навч.-метод. посіб. Віниця: ВНТУ 2011 5-17 с.
8. Базь О.С., Захаренко Г.С. Токарна справа: Частина 1: навч. посіб. Чернівці. 2020. 132-149 с.
9. McComb M. Introduction to Stepper Motors: web seminar. 2007. 1-29 с. URL https://www.microchip.com/stellent/groups/sitecomm_sg/documents/devicedoc/en543047.pdf (дата звернення: 29.06.2023).
10. Interface L298N DC Motor Driver Module with Arduino. URL: <https://lastminuteengineers.com/l298n-dc-stepper-driver-arduino-tutorial/> (дата звернення: 27.05.2023).
11. Грищук Ю. С. Застосування мікроконтролерів при дослідженнях електричних апаратів: навч. посіб. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів*. 2016. 23–28 с.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

12. Белов А.В. Конструювання пристроїв на мікроконтролерах: навч. посіб. *К.: Наука і Техніка: 2015. 263 с.*
13. Колонтаєвський Ю. П. Комп'ютерна електроніка: навч. посіб. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 145-160 с.
14. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів: навч. посіб. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.
15. Харченко В. С. Інтернет речей для індустріальних і гуманітарних застосунків : навч. посіб. *У трьох томах. Том 1. Основи і технології.* Харків . ХАІ, 2019. 547 с.
16. Козюрата В.Д. Захист інформації в комп'ютерних системах: навч. посіб. Ніжин: ТПК «Орхідея», 2020. 236 с.
17. Гапак О.М., Болога С.І. Захист інформації в комп'ютерних системах: навч. посіб. Ужгород: ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2021.184с.
18. Голембо В., Бочкарьов О., Підходи до побудови концептуальних моделей кіберфізичних систем: навч. посіб. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Комп'ютерні науки та інформаційні технології.* Львів: Видавництво Львівської політехніки: 2017. 168-178 с.
19. Грищук, Т. П. Павленко. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Мікропроцесорні пристрої»: навч. посіб. Ю. С. Харків : ХДПУ: 2019: 32 с.
20. Грищук Ю. С. Мікроконтролерний розчіплювач для автоматичних вимикачів.*Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. 29–35 с.*
21. Офіційний сайт Arduino. URL: <http://www.arduino.cc> (дата звернення: 14.03.2023).
22. Моделювання та аналіз цифрових схем: навч. посіб.Рівне: НУВГП. 2018. 450-468 с.
23. Лорія М. Г. Цифрова схемотехніка операції: навч. посіб. Запоріжжя: Видавництво Східноукр. НУ ім. Володимира Даля. 2016. 280 с.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						63
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

24. В.І.Бойко, А.М.Гуржій, В.Я.Жуйков Схемотехніка електронних схем: 3 кн. Кн.3 Мікропроцесори та мікроконтролери 2-го вид., допов. і переробл.: навч. посіб. 2014. 399 с.
25. Margolis M., Arduino Cookbook. *O'Reilly Media* 2011. 261-293 с.
26. Blum R., Arduino Programming in 24 Hours. *Sams Publishing* 2014. 303-318 с.
27. Моделювання та аналіз цифрових схем.: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2018. 463 с.
28. Boxal J. Arduino Workshop: A Hands-On Introduction with 65 Projects. *No Starch Press*. 2013. p 225-256.
29. Blum J. - Wiley Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry. 2013. p. 63-90.
30. Monk S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. *McGraw-Hill Education*: 2016. p. 62-105.
31. Schmidt M. Arduino: A Quick-Start Guide. *Pragmatic Bookshelf*. 2011. 229-247 с.
32. Nussey J. Arduino For Dummies. *For Dummies*. 2018 . 7-17, 91-122 с.
33. Warren J.-D., Adams J., Molle H. Arduino Robotics. *by - Apress*. 2011. p. 2-49 с.
34. Ю. І. Якименко, Т. О. Терещенко, Є. І. Мікропроцесорна техніка: навч. посіб. Київ : Політехнік. 2013. 440 с.
35. Нестерчук Д. М. Методи та засоби вимірювань електричних та неелектричних величин: навч посіб. Мелітополь: Виданвичо-поліграфічний центр «Люкс». 2017. 206 с.
36. Луцків А.П. Поточкова модель даних при функційному програмуванні мікроконтролерів. *Збірник тез доповідей №8. Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів*. 2019. 96-97 с.
37. Palamar A. Intelligent control and monitoring module for uninterruptible power supply system. II *International Scientific and Practical Conference «Theoretical*

and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs». Kharkiv, Ukraine. 2020. p. 12-13.

38. Конструкторська документація. URL: https://www.wikiwand.com/uk/Конструкторська_документація. (дата звернення: 16.04.2023).

39. Flora Mercader-Trejo, Maria Guadalupe López Granada, Luz Elena Narváez Hernández, *Industrial Metrology Engineering: An Educational Strategy to Fulfill the Needs of Industry and Society NCSLI Measure* : The Journal of Measurement Science. 2013. Volume 8, Issue 4. P. 28-30.

40. Совин Я. Р., Наконечний Ю. М. Аналіз апаратної підтримки криптографії в пристроях інтернету речей. *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*. 2018. Том 24, № 1 (2018). С. 36-48.

					КврКІ.190248.19.02.49 ПЗ	Арк.
						65
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А
(обов'язковий)
Код програми

```
#include <AccelStepper.h>

const int stepsPerRevolution = 500;

const int stepPin = 2;

const int dirPin = 3;

const int enablePin = 4;

AccelStepper stepper(1, stepPin, dirPin);

void setup() {

    stepper.setMaxSpeed(1500);

    stepper.setAcceleration(250);

    pinMode(enablePin, OUTPUT);

    digitalWrite(enablePin, HIGH);

    Serial.begin(7000);

}

void loop() {

    stepper.runSpeed();

    if (Serial.available()) {

        char command = Serial.read();

        executeCommand(command);    }    }

void executeCommand(char command) {
```

```

switch (command) {
    case '1':
        move.Forward();
        break;
    case '2':
        move.Backward();
        break;
    case '3':
        stopMotion();
        break;
    case '4':
        setSpeed();
        break;
    case '5':
        enable.Motor();
        break;
    case '6':
        disable.Motor();
        break;
    default:
        break; }
}

void getPosition() {
    long.currentPosition = stepper.currentPosition();
}

```

```

Serial.print("Position: ");

Serial.println(currentPosition); }

void move.Forward() {

digital.Write(dirPin, HIGH);

stepper.setSpeed(600);

stepper.move.(stepsPerRevolution); }

void move.Backward() {

digitalWrite(dirPin, LOW);

stepper.setSpeed(450);

stepper.move.(-steps.PerRevolution); }

void stop.Motion() {

stepper.stop();

stepper.setCurrent.Position(0); }

void setSpeed() {

int speed = Serial.parseInt();

stepper.setSpeed(speed); }

void enableMotor() {

digitalWrite(enablePin, LOW); }

void disableMotor() {

digitalWrite(enablePin, HIGH); }

void moveDistance() {

long.distance = Serial.parseInt();

```

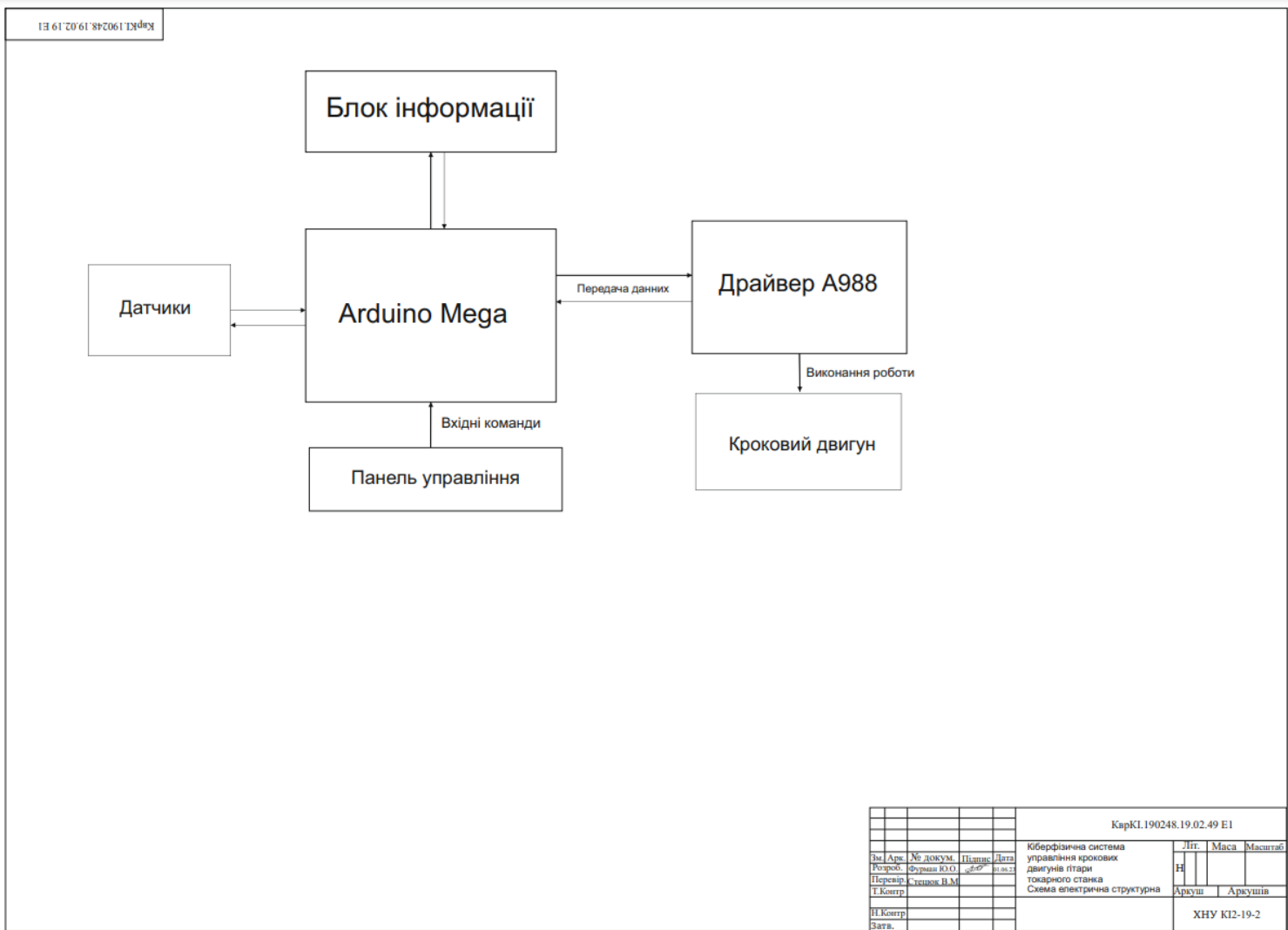
```
stepper.move(distance);  }  
  
void setMicrostep() {  
  
int.microsteps = Serial.parseInt();  
  
    switch (microsteps) {  
  
case 1:  
  
    stepper.setStepMode(1);  
  
    break;  
  
case 2:  
  
    stepper.setStepMode(2);  
  
    break;  
  
case 4:  
  
    stepper.setStepMode(4);  
  
    break;  
  
case 8:  
  
    stepper.setStepMode(8);  
  
    break;  
  
default:  
  
    break;  
  
    }  
  
}
```

ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

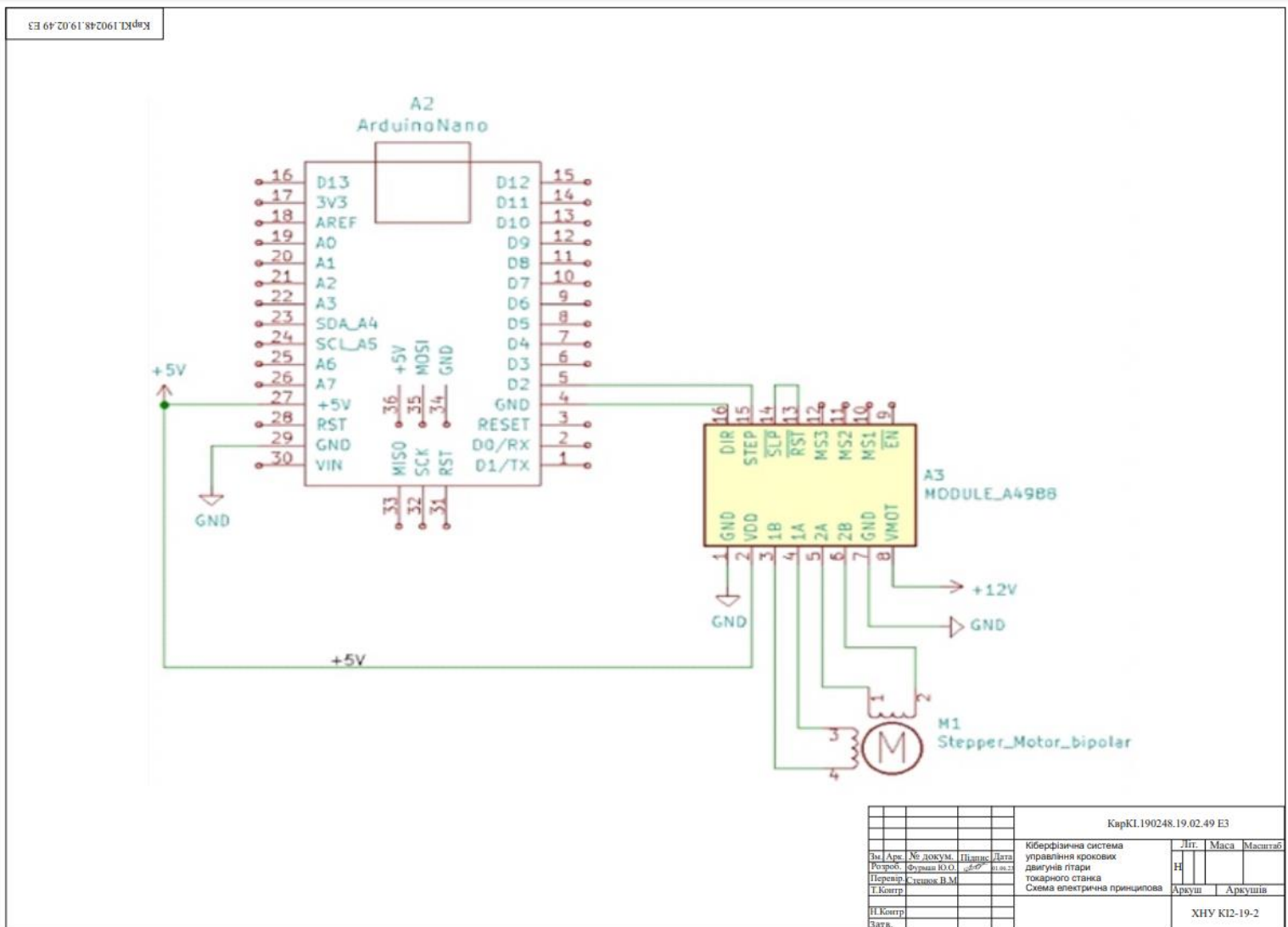
Копія графічної частини

Копія креслення «Схема електрична структурна кіберфізичної системи керування кроковими двигунами електронної гітари токарного станка»



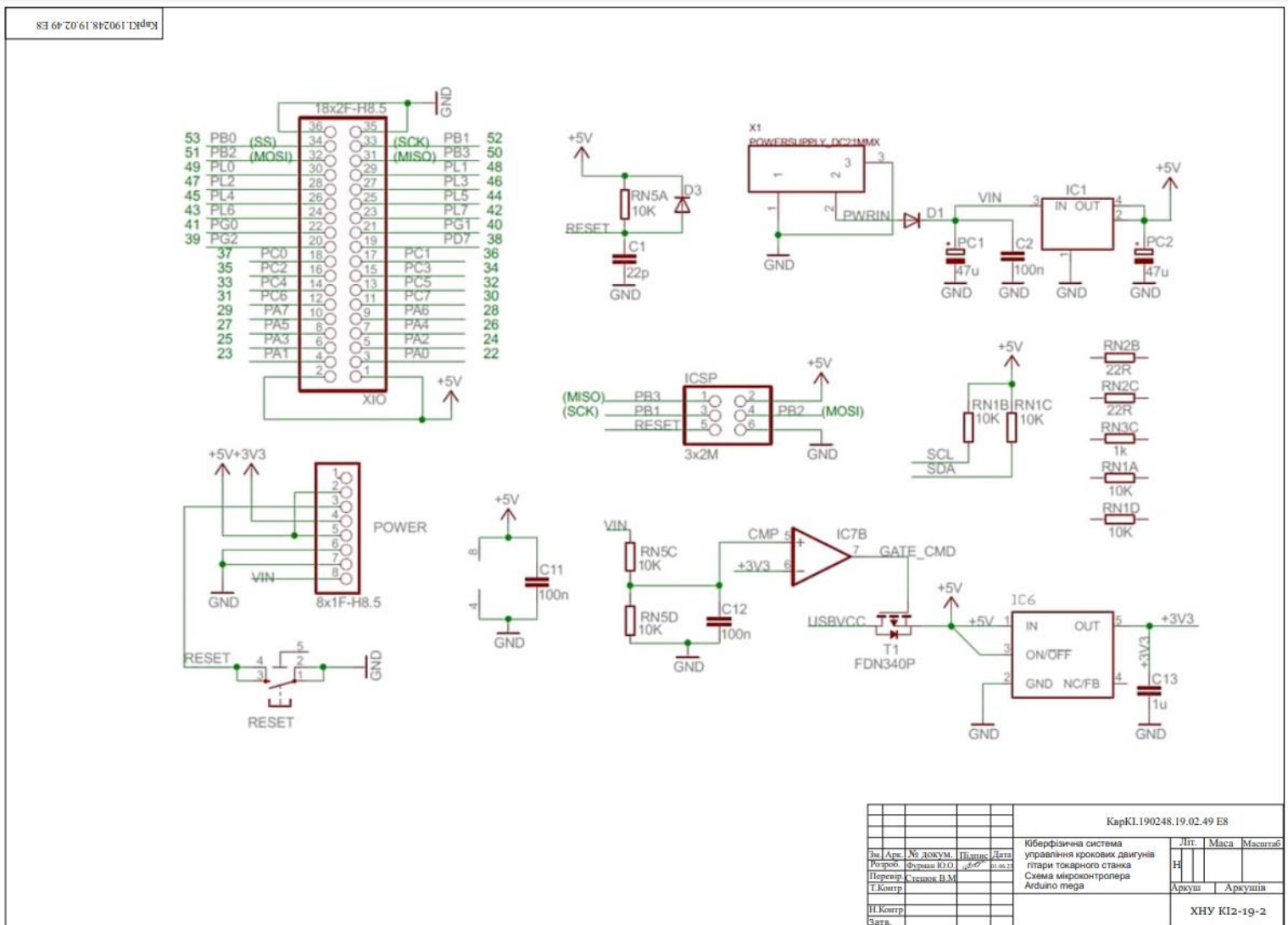
Додаток В (обов'язковий)

Копія креслення «Схема електрична принципова кіберфізичної системи керування крокових двигунів електронної гітари токарного станка»



Додаток Г (обов'язковий)

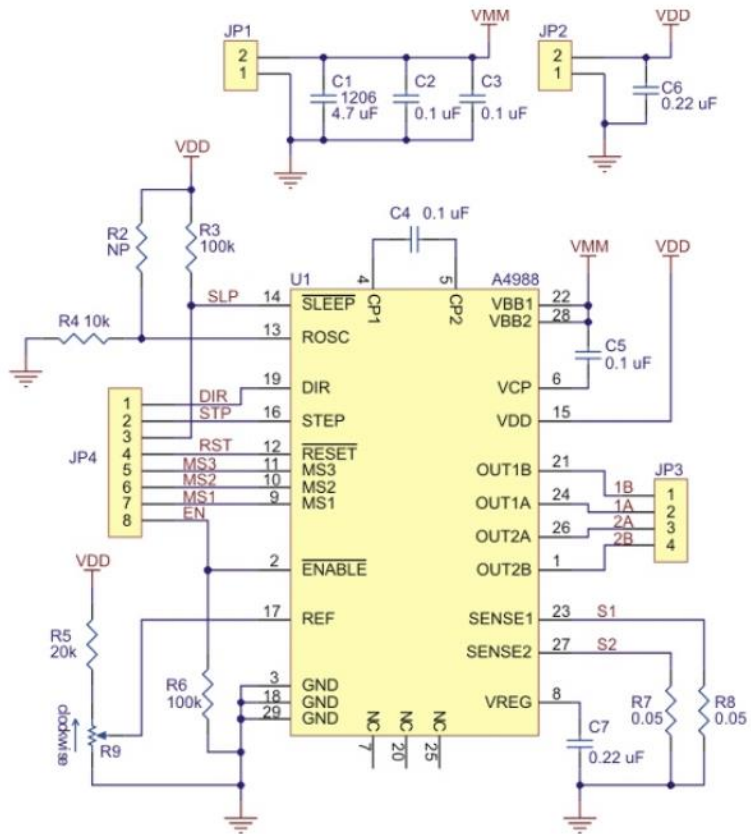
Копія креслення «Схема мікроконтролера Arduino mega»



КаркЛ190248.19.02.49 Е8					
Зв. Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Киберфізична система управління кроковими двигунами гтари токарного станка	Лит.
Розроб.	Фурман І.О.	2022	01.04.22	Схема мікроконтролера Arduino mega	Маса
Перевір.	Стецюк В.М.				Масштаб
Т. Коєвр.					Аркуш
І. Коєвр.					Аркушів
Ватв.					ХНУ КІ2-19-2

Додаток Д (обов'язковий)

Копія креслення «Схема драйвера A988»



КартКЛ190248.19.02.49 Е8

				КартКЛ190248.19.02.49 Е8				
Зм. Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Кібернетична система управління кроковими двигунами гітари токарного станка Схема драйвера А988		Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Фурман Ю.О.	Ф.С.	01.08.22			Н		
Перевір.	Стецюк В.М.					Аркуш	Аркушів	
Т.Контр.						ХНУ КІТ-19-2		
Н.Контр.								
Батв.								

Ім'я користувача:
Кафедра КІ

Дата перевірки:
22.06.2023 20:57:41 EEST

Дата звіту:
22.06.2023 20:58:27 EEST

ID перевірки:
1015679293

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100005591

Назва документа: Фурман_Кіберфізична система управління кроковими двигунами електронної гітари токар...

Кількість сторінок: 66 Кількість слів: 12454 Кількість символів: 102740 Розмір файлу: 3.37 MB ID файлу: 1015323642

2.39% Схожість

Найбільша схожість: 0.94% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1011275620)

1.77% Джерела з Інтернету

116

Сторінка 68

1.89% Джерела з Бібліотеки

143

Сторінка 68

0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Посилання

1

Сторінка 68

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

2

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA Помилки в документах: 9%

ID: 117802 Назва: БКР Кіберфізична система управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка Додано в БД: 2023-06-22 Автора: Ю.О. Фурман Керівники: В.М. Стецюк Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	92493	736	1457 (2%)	24 (3%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Фурман Юрій Олегович

Тема: Кіберфізична система управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість листів креслень 4 ; кількість сторінок записки 57

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень У роботі запропоновано програмно-технічний засіб створення кіберфізичної системи управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню _____
Дипломний проект відповідає виданому завданню _____

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз предметної області та огляд відомої теорії про кіберфізичні системи та крокові двигуни. У другому розділі проведено проектування апаратної частини програмно-технічного засобу кіберфізичної системи. У третьому розділі проведено реалізацію програмної частини програмно-технічного кіберфізичної системи управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка на базі Arduino.

4. Позитивні сторони роботи: Запропоновано структуру та спроектовано програмно-технічний засіб кіберфізичної системи управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка на базі Arduino.

5. Негативні сторони роботи: В роботі не наведено оцінку усіх можливих складових компонентів.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: пояснювальна записка та листи креслення виконані згідно діючих вимог

7. Відгук про роботу в цілому: В загальному робота виконана на достатньому рівні.

8. Інші зауваження:

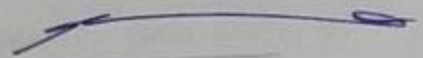
9. Оцінка дипломної роботи:

Розглянувши позитивні та негативні сторони представленої дипломної роботи вважаю, що робота заслуговує оцінки «добре» 3,75 (С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)
Клюков Юрій Павлович, зав. кафедрою КБ,
к.т.н, доцент

.. 23 .. 06

2023р.



Завідувачу кафедри КПС
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Фурман Юрій Олегович

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-19-2

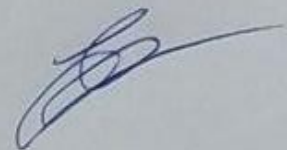
ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

22 травня 2023 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Киберфізична система управління кроковими двигунами електронної гітари токарного станка

Автор: Фурман Юрій Олегович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: Комп'ютерна інженерія та програмування

Науковий керівник: Стецюк Василь Миколайович, ст.викладач

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження. Робота приймається до захисту. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання роботи та ідентичності версії роботи.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укривтя запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформлені посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
- 4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
- 5) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 2,39% і адресується до 259 першоджерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

В.М. Стецюк

С. М. Лисенко

Т. О. Говорущенко