

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-виміральної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему: **Комп'ютеризовані методи калібрування датчиків у системах
числового програмного керування**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-3

Спеціальності: 152 «Метрологія та
інформаційно-вимірвальна техніка»

Клюско Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н, професор

Подчашинський Ю.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доцент,

в.о. зав. кафедри РЕА ім. проф. Б.Б.
Самотокіна

Громовий О.А.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Житомир – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент _____ **Клюско Денис Віталійович**

1. Тема роботи: Комп'ютеризовані методи калібрування датчиків у системах
числового програмного керування

Керівник роботи: д.т.н., професор науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали
Подчашинський Ю.О.

затверджена наказом по університету від « 18 » квітня _____ 2024 р. № 129/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 19 » червня _____ 2024р.

3. Вихідні дані до роботи об'єкт управління – комп'ютеризована система ви-
мірювання, параметр вимірювання – середня швидкість рухомого об'єкту, діа-

пазон вимірювання середньої швидкості 0 ,5 ... 80 рад/с, похибка
точності

системи 1.32

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
огляд та аналіз методів калібрування датчиків у системах числового
програмного керування , калібрування датчиків обертального руху,
ефективності роботи систем ЧПК на основі калібрування датчиків

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)
структурна схема, електрична принципова схема, перелік елементів,
друкованої плати, алгоритм роботи системи

6. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Узгодження технічного завдання	25.02.24 – 15.03.24	
2	Огляд та аналіз методів вимірювання швидкості	15.03.24 – 16.03.24	
3	Розробка структурної схеми	16.03.24 – 15.04.24	
4	Розробка електричної принципової схеми	16.04.24 – 24.04.24	
5	Розробка топології друкованої плати	25.04.24 – 09.05.24	
6	Розробка алгоритму та програми системи	10.05.24 – 24.05.24	
7	Розрахунок метрологічних характеристик	25.05.24 – 03.06.24	
8.	Розрахунок надійності	04.06.24 – 15.06.24	
9	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	15.06.24 – 20.06.24	

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Клюско Д.В.

(прізвище та ініціали)

Подчашинський
Ю.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Комп'ютеризовані методи калібрування датчиків у системах числового програмного керування» містить 71 сторінок, 17 рисунків, 5 таблиці, 4 формул, 14 джерела.

В даній кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризовану систему на основі мікроконтролеру для вимірювань параметрів руху. Розроблено програму обробки результатів вимірювань параметрів руху, що дозволяє реалізовувати вимірювання та відображення середньої швидкості обертання за допомогою двох датчиків на основі мікроконтролера Arduino та LCD дисплея з інтерфейсом I2C.

Ключові слова: середня швидкість, датчик Холла, комп'ютеризована система, мікроконтролер.

ABSTRACT

Bachelor's thesis on the topic "Computerized Methods for Sensor Calibration in Numerical Control System" contains 71 pages, 17 figures, 5 tables, 4 formulas, and 14 sources.

In this qualification work, a computerized system based on a microcontroller for measuring motion parameters has been developed. A program for processing the results of motion parameter measurements has been created, which allows the implementation of measurements and display of the average rotational speed using two sensors based on the Arduino microcontroller and an LCD display with an I2C interface.

Key words: average speed, Hall sensor, computerized system, microcontroller.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	5
1.1 Підстава для розробки, призначення та галузь застосування.....	5
1.2 Умови експлуатації.....	6
1.3 Вимоги до технічних характеристик.....	6
1.4 Вимоги до надійності.....	7
1.5 Вимоги до конструктивного оформлення.....	7
2. ОГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ НЕОБХІДНІСТЬ КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКІВ У СИСТЕМАХ ЧПК.....	8
2.1. Особливості верстатів та систем ЧПК як об'єкт вимірювань.....	8
2.2. Фізичні величини та датчики у системах ЧПК.....	9
2.3 Калібрування датчиків та показники точності систем ЧПК.....	12
3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ЧПК НА ОСНОВІ МЕТОДІВ КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКІВ.....	14
3.1. Оцінка впливу точності вимірювань на якість та ефективність виробничих процесів.....	14
3.2. Порівняльний аналіз та вибір методу калібрування датчиків обертального руху.....	14
3.3 Технічні аспекти застосування методів калібрування	16
4. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ МЕТОДІВ КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКІВ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ.....	18
4.1. Інтелектуальні методи калібрування датчиків.....	18
4.2. Автоматизована корекція результатів вимірювань параметрів руху....	19
4.3. Підвищення ефективності виробничих процесів на основі розроблених методів.....	20
5. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ РУХУ.....	22
5.1. Розробка структури приладу на мікроконтролері	22
5.2. Вибір елементної бази.....	26
5.3 Розробки електричної принципової схеми.....	40
6. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ РУХУ.....	42
6.1. Побудова алгоритму.....	42
6.2. Розробка програми.....	46
6.3. Опис програми.....	50
6.4 Розробка друкової плати.....	53
7. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРИЛАДУ.....	57

					<i>МММТ.480.005.007 –ПС</i>			
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Клюско Д.В.			Комп'ютеризовані методи калібрування датчиків у системах числового програмного керування ЗМІСТ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Подчаїнський Ю.О.					1	71
						ДУ «Житомирська політехніка»		
Н. Контр.								
Затверд.		Подчаїнський Ю.О.						

7.1.	Розрахунок	похибок	визначення	швидкості	57
.....					
7.2.	Розрахунок надійності систем.....				59
8.	ОХОРОНА ПРАЦІ				66
	ВИСНОВКИ.....				69
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....				71

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

ВСТУП

В умовах стрімкого розвитку технологій та автоматизації виробничих процесів, комп'ютеризовані методи калібрування датчиків у системах числового програмного керування (ЧПК) стають надзвичайно важливими. Точність і надійність роботи датчиків безпосередньо впливають на якість продукції та ефективність виробництва. Наразі, в епоху Індустрії 4.0, вимоги до точності та автоматизації ще більше зросли, що підкреслює актуальність дослідження та впровадження нових методів калібрування.

Датчики, які використовуються у системах ЧПК, забезпечують збір та обробку інформації, необхідної для управління виробничими процесами. Вони є ключовими елементами для забезпечення високої точності та стабільності роботи верстатів з числовим програмним керуванням. У перспективі розвиток комп'ютеризованих методів калібрування дозволить значно підвищити ефективність виробництва, зменшити витрати на обслуговування та забезпечити більш високу якість продукції.

Основні науково-технічні проблеми, що виникають при калібруванні датчиків у системах ЧПК, включають:

- Підвищення точності вимірювань;
- Автоматизація процесу калібрування;
- Мінімізація людського фактора;
- Зменшення часу та витрат на калібрування.

Ці проблеми мають велике значення для господарських задач, оскільки точність роботи верстатів безпосередньо впливає на якість продукції та конкурентоспроможність підприємств.

Розробка комп'ютеризованих методів калібрування датчиків займає важливе місце у вирішенні загального обсягу проблем, пов'язаних з автоматизацією та підвищенням точності виробничих процесів. Впровадження таких методів дозволить значно підвищити ефективність роботи конкретного

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

підприємства, зменшити витрати на обслуговування обладнання та забезпечити більш високу якість продукції.

Серед існуючих аналогів можна виділити традиційні методи калібрування, що використовують ручні налаштування та перевірки.

Основними недоліками таких методів є:

- Високий рівень людського фактора;
- Низька швидкість процесу калібрування;
- Обмежена точність налаштувань;
- Високі витрати на обслуговування.

Основна задача даної дипломної роботи полягає у розробці та впровадженні комп'ютеризованих методів калібрування датчиків у системах ЧПК, які дозволять підвищити точність і надійність виробничих процесів. Напрямок роботи включає дослідження існуючих методів, розробку нових алгоритмів калібрування, їх тестування та впровадження на конкретному підприємстві.

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1 Підстава для розробки, призначення та галузь застосування.

Підставою для розробки ж завдання на дипломне проектування.

- Підвищення точності вимірювань: Калібрування дозволяє компенсувати похибки датчиків Холла, забезпечуючи більш точні дані для систем ЧПК.
- Адаптація до умов експлуатації: Комп'ютеризовані методи дозволяють враховувати вплив температури, вологості та інших факторів на роботу датчиків.
- Автоматизація процесу калібрування: Зменшення людського фактору та прискорення процедури калібрування.
- Забезпечення стабільності роботи: Регулярне калібрування підтримує стабільність характеристик датчиків протягом тривалого часу.
- Підвищення ефективності виробництва: Точні датчики забезпечують кращу якість продукції та зменшують кількість браку.

Межі застосування:

- Тип датчиків: Методи оптимізовані для датчиків Холла, можуть бути обмежені у застосуванні до інших типів сенсорів.
- Діапазон вимірювань: Ефективність калібрування може знижуватися на межах робочого діапазону датчиків.
- Швидкодія системи: Складні алгоритми калібрування можуть вимагати значних обчислювальних ресурсів, що може обмежити їх застосування в системах реального часу.
- Умови навколишнього середовища: Екстремальні умови (дуже високі/низькі температури, сильні електромагнітні поля) можуть обмежити ефективність калібрування.
- Точність еталонів: Точність калібрування обмежена точністю використовуваних еталонних приладів та методів.

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

- Складність інтеграції: Може вимагати значних змін в існуючих системах ЧПК для впровадження нових методів калібрування.
- Економічна доцільність: Для простих систем вартість впровадження комп'ютеризованих методів калібрування може перевищувати потенційний виграш у точності.
- Кваліфікація персоналу: Потрібен високий рівень технічної підготовки операторів для правильного використання та інтерпретації результатів калібрування.

Терміни початку та кінця розробки і визначення кінцевого результату

- Початок розробки: 04.02.2024
- Кінець розробки: 20.06.2024
- Кінцевий результат: діюча модель комп'ютеризованої системи калібрування датчиків на основі датчика Холла для числового програмного керування (ЧПК).

1.2 Умови експлуатації

Кліматичні умови експлуатації системи

- Робочий діапазон температур: від -10 до +40 °С.
- Вологість: до 90% без конденсації.

1.3 Вимоги до технічних характеристик

Умови живлення системи (джерело енергії, яке є у замовника)

- Живлення: 220 В, 50 Гц.
- Альтернативне живлення: резервний акумулятор.

Інтенсивність та склад інформації, яка подається на вхід системи та знімається з її виходу

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

- Вхідні дані: показники від датчиків Холла (магнітне поле, струм, напруга тощо).
- Вихідні дані: скориговані дані для ЧПК.
- Швидкодія: не менше 100 операцій в секунду.
- Точність: похибка не більше 1.32%.
- Запізнення: не більше 0.01 секунди.

1.4 Вимоги до надійності

Пристрій що відновлюється, не резервується, є ремонтпридатним.

Надійність: середній час безвідмовної роботи не менше 14,431 годин.

1.5 Вимоги до конструктивного оформлення

Пристрій виконаний на стандартній платі і в стандартному корпусі

Габарити: не більше 500х400х300 мм.

Максимальна вага: 20 кг.

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

2. ОГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ТА НЕОБХІДНІСТЬ КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКІВ У СИСТЕМАХ ЧПК

2.1. Особливості верстатів та систем ЧПК як об'єкт вимірювань

Висока точність та повторюваність:

– Верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) забезпечують високу точність обробки деталей, що важливо для вимірювальних систем. Вони здатні працювати з допусками в межах мікронів.

– Завдяки автоматизації процесів, верстати ЧПК забезпечують стабільну якість обробки при повторних операціях.

Складна кінематика:

– Сучасні верстати ЧПК можуть мати від трьох до п'яти і більше осей, що ускладнює вимірювання, оскільки необхідно враховувати рухи в багатьох площинах одночасно.

– Координація рухів декількох осей потребує точних вимірювальних приладів для забезпечення правильної роботи.

Динамічні навантаження:

– Верстати ЧПК працюють на високих швидкостях, що створює значні динамічні навантаження. Це вимагає використання датчиків, здатних швидко реагувати на зміни положення та швидкості.

– Під час роботи можуть виникати вібрації, які впливають на точність вимірювань. Системи повинні бути здатні фільтрувати та компенсувати ці впливи.

Інтеграція з комп'ютерними системами:

– Верстати ЧПК інтегровані з комп'ютерними системами управління, що дозволяє автоматизувати процес збору та обробки даних.

– Важливо мати стандартизовані інтерфейси для підключення вимірювальних приладів до систем ЧПК, такі як Ethernet, USB, RS232 тощо.

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Робота в агресивних середовищах:

- У процесі обробки можуть виникати металеві стружки, пил та мастила, які можуть впливати на роботу датчиків та вимірювальних систем.
- Верстати можуть працювати в умовах значних температурних коливань, що вимагає стійкості вимірювальних приладів до таких умов.

Контроль якості:

- Вимірювальні системи повинні надавати зворотний зв'язок для корекції процесів в режимі реального часу.
- Постійний моніторинг стану інструментів і обладнання допомагає підтримувати високу якість обробки та знижувати ризик відмов.

Загалом, верстати та системи ЧПК є складними об'єктами для вимірювань через їх високу точність, динамічні характеристики та інтеграцію з комп'ютерними системами. Це вимагає використання спеціалізованих вимірювальних приладів, які здатні працювати в умовах значних навантажень та забруднень, забезпечуючи при цьому високу точність та надійність даних.

2.2 Фізичні величини та датчики у системах ЧПК

Системи числового програмного керування (ЧПК) використовують різні фізичні величини та датчики для забезпечення високої точності, стабільності та ефективності роботи. Ось основні фізичні величини та відповідні датчики, що використовуються в системах ЧПК:

Позиція та переміщення

- Лінійні та ротаційні енкодери:
- Призначення: Вимірювання положення і переміщення.
- Типи: Абсолютні та інкрементальні енкодери.

Фізичні величини:

- Положення, лінійне та кутове переміщення.

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- Лінійні потенціометри:
- Призначення: Вимірювання лінійного положення.
- Фізичні величини: Лінійне переміщення.
- Швидкість та прискорення
- Тахометри:
- Призначення: Вимірювання швидкості обертання.
- Фізичні величини: Кутова швидкість.
- Акселерометри:
- Призначення: Вимірювання прискорення та вібрації.
- Фізичні величини: Лінійне та кутове прискорення.

Сила та момент

- Датчики сили (тензометричні датчики):
- Призначення: Вимірювання сил, що діють на інструмент або оброблювану деталь.
- Фізичні величини: Сила, тиск.
- Датчики крутного моменту:
- Призначення: Вимірювання моменту, що прикладається до валів або обертальних елементів.
- Фізичні величини: Крутний момент.

Температура

- Термопари:
- Призначення: Вимірювання температури в різних точках верстата.
- Фізичні величини: Температура.
- Терморезистори (RTD):
- Призначення: Вимірювання температури з високою точністю.
- Фізичні величини: Температура.

Вібрація та звуковий тиск

- Акселерометри:

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

- Призначення: Вимірювання вібрації компонентів верстата.
- Фізичні величини: Вібраційне прискорення.
- Мікрофони:
- Призначення: Вимірювання звукового тиску та акустичних сигналів.
- Фізичні величини: Звуковий тиск.

Магнітне поле

- Датчики Холла:



Рис.2.1 – датчик Холла

- Призначення: Вимірювання магнітних полів, положення та швидкості обертання.

- Фізичні величини: Магнітне поле, кутова швидкість.

Тиск та вакуум

- Датчики тиску:

- Призначення: Вимірювання тиску в гідравлічних та пневматичних системах.

- Фізичні величини: Тиск, вакуум.

Використання цих датчиків у системах ЧПК дозволяє забезпечити високий рівень автоматизації, точності та надійності обробки деталей.

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

2.3 Калібрування датчиків та показники точності систем ЧПК

Калібрування датчиків у системах ЧПК є критично важливим процесом для забезпечення точності і надійності роботи верстатів. Ось ключові аспекти калібрування:

Типи датчиків, що підлягають калібруванню:

- Енкодери: Для вимірювання положення.
- Тахометри: Для вимірювання швидкості обертання.
- Датчики сили та моменту: Для вимірювання силових параметрів.
- Термопари та терморезистори: Для вимірювання температури.
- Датчики тиску: Для вимірювання тиску в гідравлічних та пневматичних системах.
- Акселерометри та мікрофони: Для вимірювання вібрації та звукових сигналів.

Процедура калібрування:

- Попереднє тестування: Перевірка вихідних даних датчика перед калібруванням.
- Регулювання: Адаптація параметрів датчика для максимальної відповідності стандартам точності.
- Післякалібрування тестування: Перевірка та корекція показників точності після калібрування.

Застосування стандартів:

- ISO 9000: Міжнародний стандарт управління якістю, який визначає вимоги до процедур калібрування.
- NIST (National Institute of Standards and Technology): Американський національний інститут, що регулює стандарти калібрування в США.

Показники точності систем ЧПК визначаються рядом факторів і можуть включати такі показники:

Точність положення:

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

– Вимірюється у мікронних або міліметрових одиницях в залежності від типу верстата та застосування.

Точність повторюваності:

– Спроможність верстата повторювати однакові операції з мінімальними відхиленнями.

Точність відтворюваності:

– Спроможність верстата відтворювати різні операції з мінімальними відхиленнями при різних умовах роботи.

Точність швидкості:

– Вимірюється як відхилення від налаштованої швидкості обертання.

Точність температурних параметрів:

– Вимірюється як відхилення температурних показників від налаштованих значень.

Точність вимірювання сил та моменту:

– Вимірюється як відхилення силових параметрів від реальних значень.

Кожен з цих показників є критичним для забезпечення ефективності роботи верстатів у системах ЧПК. Калібрування датчиків і моніторинг показників точності дозволяють підтримувати оптимальні умови роботи та забезпечувати високу якість виробничих процесів.

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ЧПК НА ОСНОВІ МЕТОДІВ КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКІВ

3.1 Оцінка впливу точності вимірювань на якість та ефективність виробничих процесів

Точність вимірювань вирішує кілька ключових аспектів виробничих процесів:

– Якість продукції: Вона визначає можливість виробництва деталей та виробів з відповідністю заданим специфікаціям, уникнення браку та забезпечення стабільності параметрів продукції.

– Ефективність процесів: Точні вимірювання дозволяють оптимально контролювати та налаштовувати технологічні процеси, мінімізуючи відходи та забезпечуючи ефективне використання ресурсів.

– Контроль і управління якістю: Забезпечується відповідність стандартам якості, що є критичним для задоволення вимог замовників та виконання контрактних зобов'язань.

– Мінімізація витрат: Дозволяє ефективно використовувати матеріали та ресурси, уникати додаткових витрат на переробку або відновлення бракованих деталей.

Точність вимірювань у системах ЧПК впливає на кожен етап виробничого процесу, забезпечуючи його надійність, стабільність та ефективність.

3.2. Порівняльний аналіз та вибір методу калібрування датчиків обертального руху

Порівняльний аналіз методів калібрування датчиків обертального руху важливий для забезпечення точності та надійності вимірювань у системах ЧПК.

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Ось основні методи, які можна розглянути:

- Методи калібрування датчиків обертального руху:
- Метод зіставлення з еталоном:
- Опис: Датчик порівнюється з відомим еталоном, який має високу

точність.

- Переваги: Висока точність калібрування, особливо за наявності точних еталонів. Можливість калібрувати в реальних умовах експлуатації.

- Недоліки: Вимагає доступу до точного еталону, що може бути дорогим і складним. Потребує частого повторення для підтримання точності.

Метод апаратного калібрування:

- Опис: Використання спеціалізованого обладнання для автоматизованого калібрування, наприклад, калібраторів обертального руху.

- Переваги: Швидке та ефективне калібрування без потреби у високо точних еталонах. Можливість стандартизації процесу.

- Недоліки: Вимагає спеціалізованого обладнання, яке може бути високою вартістю. Потребує кваліфікованих технічних спеціалістів для налаштування та обслуговування.

Метод програмного калібрування:

- Опис: Використання програмного забезпечення для корекції вимірювальних даних, засноване на аналізі вимірювань.

- Переваги: Гнучкість у налаштуванні та відладці. Можливість здійснювати калібрування без спеціалізованого обладнання.

- Недоліки: Залежність від точності вихідних даних для ефективного калібрування. Потребує постійного моніторингу та корекції.

Вибір методу калібрування:

При виборі методу калібрування важливо врахувати такі фактори:

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

– Точність і вимоги до калібрування: Якщо точність вимірювань є критичним аспектом, метод зіставлення з еталоном може бути найбільш відповідним.

– Вартість та доступність обладнання: Доступність і вартість спеціалізованого обладнання також впливає на вибір методу. Апаратне калібрування може бути виправданим в інтенсивних виробничих середовищах, де потрібна висока автоматизація.

– Гнучкість і витрати на підтримку: Програмне калібрування може бути більш гнучким і менш витратним у довгостроковому плані, оскільки не вимагає постійного оновлення обладнання.

Усі ці аспекти слід враховувати при розгляді порівняльного аналізу і виборі методу калібрування датчиків обертального руху для вашої конкретної ситуації в системі ЧПК.

3.3. Технічні аспекти застосування методів калібрування

Технічні аспекти застосування методів калібрування дуже важливі для забезпечення точності та надійності вимірювань в системах ЧПК. Ось ключові технічні аспекти, які слід враховувати при реалізації різних методів калібрування:

Метод зіставлення з еталоном:

– Точність еталону: Передбачається використання високоточного еталону для порівняння з вимірювальним пристроєм. Точність еталону безпосередньо впливає на кінцеву точність калібрування.

– Умови калібрування: Важливо, щоб умови, в яких проводиться калібрування, були стабільними і контрольованими, щоб уникнути будь-яких випадкових впливів на результати вимірювань.

– Контроль процесу: Необхідно мати можливість строго контролювати і документувати процес калібрування для забезпечення відповідності стандартам та вимогам.

Апаратне калібрування:

– Обладнання: Вибір і встановлення спеціалізованого обладнання для здійснення автоматизованого калібрування. Обладнання повинно мати високу точність і надійність для забезпечення точних вимірювань.

– Програмне забезпечення: Використання спеціалізованого програмного забезпечення для управління процесом калібрування і аналізу отриманих даних.

– Контроль і калібрування: Метод потребує налагодження і регулярного перевіряння обладнання для підтримання його точності і надійності.

Програмне калібрування:

– Аналіз вихідних даних: Використання програмного забезпечення для аналізу вихідних даних з датчиків і корекції показників на основі цих даних.

– Гнучкість налаштування: Програмне калібрування забезпечує гнучкість у виборі параметрів і умов калібрування в залежності від специфічних вимог процесу.

– Автоматизація і контроль: Можливість автоматизувати процес калібрування і здійснювати його під час роботи обладнання без значного впливу на виробничі процеси.

Вибір методу калібрування визначається вимогами щодо точності, доступності обладнання та витрат на підтримку. Важливо також враховувати можливість моніторингу та регулярного оновлення методів калібрування для забезпечення тривалої ефективності вимірювальної системи.

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

4. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ МЕТОДІВ КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКІВ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ

4.1.Інтелектуальні методи калібрування датчиків

Інтелектуальні методи калібрування датчиків використовують передові алгоритми та техніки для автоматизації і покращення точності процесу калібрування. Ось деякі з найбільш поширених інтелектуальних методів:

Методи машинного навчання:

- Опис: Використання алгоритмів машинного навчання, таких як нейронні мережі, методи опорних векторів, дерева рішень тощо, для аналізу вимірювальних даних та автоматичного коригування показників калібрування.

- Переваги: Здатність до самонавчання і адаптації до змінних умов експлуатації, висока точність при належному навчанні моделі.

- Недоліки: Потреба в достатньому обсязі даних для тренування моделі, складність в налаштуванні та інтерпретації результатів.

Алгоритми оптимізації:

- Опис: Використання методів оптимізації, таких як генетичні алгоритми, алгоритми імітації відпалу, еволюційні алгоритми тощо, для пошуку оптимальних параметрів калібрування.

- Переваги: Ефективність у вирішенні складних неструктурованих задач калібрування, можливість знаходження глобальних мінімумів.

- Недоліки: Потреба в великій кількості обчислень, може вимагати значних обчислювальних ресурсів.

Фільтри Калмана та їх модифікації:

- Опис: Використання алгоритмів фільтрації, таких як фільтр Калмана, розширений фільтр Калмана, для обробки динамічних даних та виправлення помилок вимірювання.

- Переваги: Ефективність у виправленні шумів та вимірювальних помилок, здатність до роботи з динамічними системами.

– Недоліки: Потреба в математичних моделях системи та уточнених даних про її характеристики.

Переваги інтелектуальних методів калібрування включають автоматизацію процесу, зменшення впливу людського фактора та покращення загальної точності вимірювань. Вибір конкретного методу залежить від вимог до точності, доступності даних та обчислювальних ресурсів.

4.2. Автоматизована корекція результатів вимірювань параметрів руху

Основні аспекти автоматизованої корекції результатів вимірювань:

Системи фільтрації даних

– Автоматизована корекція вимірювальних даних часто включає в себе застосування різних методів фільтрації. Наприклад, фільтр Калмана є потужним інструментом для вилучення шумів зі сигналів вимірювання. Цей алгоритм сприймає дані з датчиків, оцінює їх поточний стан та на основі попередніх даних робить прогнози, які поліпшують точність вимірювань.

– Деякі системи можуть автоматично коригувати калібрування датчиків в залежності від змін у середовищі або характеристиках об'єкта вимірювання. Це важливо для забезпечення стабільної та точної роботи обладнання навіть при змінах у виробничих умовах.

– Застосування методів машинного навчання дозволяє виявляти складні зв'язки в даних та автоматично коригувати параметри вимірювань. Наприклад, алгоритми класифікації або регресії можуть прогнозувати значення параметрів руху на основі історичних даних, що сприяє уточненню результатів вимірювань.

– Автоматизована система повинна бути здатна оперативно реагувати на зміни в вимірювальних умовах. Це означає, що корекції вимірювань мають

відбуватися миттєво або з мінімальною затримкою, щоб уникнути впливу помилок або несправностей на виробничий процес.

– У промислових умовах автоматизована корекція вимірювань є критично важливою для забезпечення високої якості продукції, безпеки виробничих процесів і ефективного використання ресурсів. Вона дозволяє уникати відходів, покращує управління якістю і дозволяє підтримувати високу продуктивність.

– Автоматизована корекція результатів вимірювань параметрів руху є ключовим елементом сучасних виробничих систем, що сприяє покращенню точності, надійності та ефективності виробничих процесів. Впровадження таких технологій вимагає комплексного підходу до аналізу даних, вибору відповідних алгоритмів та надійної інтеграції з виробничими системами.

4.3.Підвищення ефективності виробничих процесів на основі розроблених методів

Підвищення ефективності виробничих процесів може бути досягнуто за допомогою розроблених методів і підходів у наступних напрямках:

Автоматизація та оптимізація процесів

– Автоматизація виробничих ліній: Впровадження автоматизованих систем керування та моніторингу, які зменшують залежність від людського фактору і підвищують продуктивність.

– Оптимізація параметрів процесів: Використання математичних моделей та алгоритмів для пошуку оптимальних параметрів виробничих процесів, що дозволяє знижувати витрати матеріалів та енергії.

Впровадження новітніх технологій

– Використання інтернету речей (IoT): Збір даних з різних датчиків та обладнання для аналізу та оптимізації виробничих процесів в реальному часі.

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

– Штучний інтелект та машинне навчання: Впровадження систем прогнозування попиту, автоматичного керування запасами та управління якістю, що сприяє уникненню відходів і покращенню якості продукції.

Удосконалення управлінських процесів

– Системи ERP і MES: Впровадження інтегрованих систем управління ресурсами підприємства (ERP) та виробничих виконавчих систем (MES), що сприяє збільшенню координації та ефективності всіх процесів підприємства.

Стратегічне планування та аналіз

– Аналіз даних та бізнес-інтелект: Використання аналітики даних для виявлення та аналізу слабких місць у виробничих процесах та прийняття обґрунтованих управлінських рішень для їх вдосконалення.

Постійне удосконалення та інновації

– Підтримка культури інновацій: Залучення персоналу до пошуку нових ідей та методів покращення виробничих процесів через створення сприятливого інноваційного середовища.

Ці підходи дозволяють підприємствам не тільки збільшувати продуктивність та ефективність виробничих процесів, але й підвищувати конкурентоспроможність на ринку через зниження витрат і покращення якості продукції.

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

5. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ

5.1. Розробка структури приладу на мікроконтролері

Структурна схема (також відома як блок-схема або блокова схема) - це графічне зображення або діаграма, що відображає структуру системи, процесу або програми за допомогою блоків та з'єднувальних ліній. Вона використовується для візуалізації послідовності дій, взаємозв'язків та логіки роботи системи.

Структурна схема складається з різних блоків, кожен з яких представляє окрему функцію, операцію або етап в системі. Блоки з'єднуються за допомогою стрілок або ліній, які показують порядок виконання дій або потік даних між блоками. Кожен блок може мати вхідні та вихідні параметри, які визначають вхідні дані та результати, отримані від цього блоку.

Структурні схеми використовуються в багатьох галузях, таких як програмування, інженерія, проектування систем та багато інших. Вони допомагають розкрити логіку та взаємозв'язки компонентів системи, спростити аналіз та розробку, а також полегшують спілкування між розробниками та користувачами.

Структурна схема є потужним інструментом для моделювання та розуміння роботи складних систем, а також для виявлення помилок, оптимізації процесів та вдосконалення функціональності системи.

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

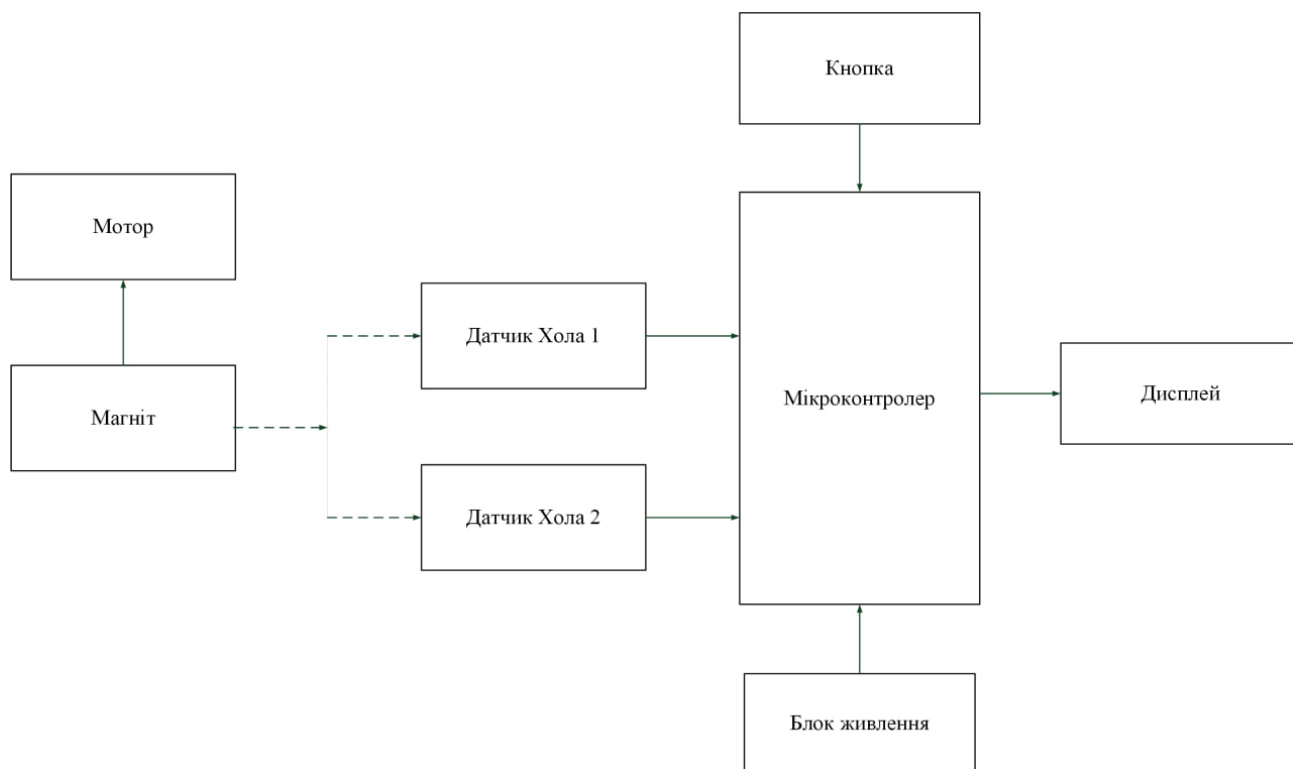


Рис. 5.2 Структурна схема приладу

Опис складових систем

На зображеній схемі представлена система, що складається з кількох компонентів, які взаємодіють один з одним. Ось детальний опис підключень та взаємодій:

1. Мотор:

- Підключений до магніта.
- Обертає магніт під час роботи.

2. Магніт:

- Підключений до мотора і обертається разом з ним.
- Створює магнітне поле, яке виявляється датчиками Холла.

3. Датчики Холла (Датчик Холла 1 та Датчик Холла 2):**

- Обидва датчики підключені до магніта.
- Виявляють зміни магнітного поля, створеного магнітом, і передають ці дані до мікроконтролера.

4. Мікроконтролер:

– Підключений до двох датчиків Холла (Датчик Холла 1 та Датчик Холла 2).

– Отримує сигнали від датчиків Холла для обчислення кутової швидкості.

– Підключений до кнопки, яка дозволяє користувачеві вмикати та вимикати систему.

– Підключений до дисплея для відображення кутової швидкості.

– Підключений до блоку живлення для отримання необхідної енергії.

5. Кнопка:

– Підключена до мікроконтролера.

– Використовується для вмикання та вимикання системи.

6. Дисплей:

– Підключений до мікроконтролера.

– Відображає кутову швидкість, обчислену мікроконтролером.

7. Блок живлення:

– Підключений до мікроконтролера.

– Забезпечує енергією всі компоненти системи.

Взаємодія компонентів:

– Мотор обертає магніт, створюючи змінне магнітне поле.

– Датчики Холла виявляють зміни магнітного поля і передають ці дані до мікроконтролера.

– Мікроконтролер обробляє ці дані для визначення кутової швидкості.

– Кутова швидкість відображається на дисплеї.

– Користувач може ввімкнути або вимкнути систему за допомогою кнопки.

– Блок живлення забезпечує енергією всі компоненти системи.

Ця схема ілюструє просту систему для вимірювання та відображення кутової швидкості обертання мотора.

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Функції системи:

- Вимірювання кутової швидкості
- Вивід кутової швидкості на дисплей
- Вмикання та вимикання системи за допомогою кнопки
- Управління всією системою в цілому

На базі функцій складові:

Вимірювання кутової швидкості:

- Датчик Холла 1: Вимірює магнітне поле, створене магнітом, та передає інформацію до мікроконтролера.
- Датчик Холла 2: Вимірює магнітне поле, створене магнітом, та передає інформацію до мікроконтролера.
- Магніт: Закріплений на валу мотора, створює магнітне поле, яке вимірюється датчиками Холла.

Вивід кутової швидкості на дисплей:

- Дисплей: Отримує інформацію про кутову швидкість від мікроконтролера і відображає її користувачеві.

Вмикання та вимикання системи:

- Кнопка: Користувач використовує кнопку для вмикання та вимикання системи. Сигнал від кнопки надходить до мікроконтролера.

Управління всією системою:

- Мікроконтролер: Отримує сигнали від датчиків Холла, обробляє їх для визначення кутової швидкості, отримує сигнал від кнопки для управління вмиканням/вимиканням системи, та передає оброблену інформацію на дисплей.
- Блок живлення: Забезпечує живлення всіх компонентів системи, включаючи мікроконтролер, датчики Холла, дисплей, кнопку та мотор. Таким чином, мікроконтролер виконує центральну роль в управлінні всією системою, забезпечуючи обробку сигналів, вимірювання кутової швидкості,

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

вивід результатів на дисплей, а також контроль стану системи на основі сигналу від кнопки.

5.2 Вибір елементної бази

Вибір елементної бази є критичним етапом у процесі проектування електронних пристроїв та систем. Правильний підбір компонентів забезпечує надійність, ефективність та економічність кінцевого продукту. У сучасних умовах ринок пропонує широкий спектр електронних компонентів, що постійно оновлюються та вдосконалюються. Тому важливо враховувати не тільки технічні характеристики, але й такі фактори, як доступність, вартість, сумісність з іншими компонентами та екологічні стандарти.

Цей розділ присвячений аналізу та вибору оптимальної елементної бази для розробки Комп'ютеризованого методу калібрування датчиків у системах числового програмного керування. У процесі вибору будуть розглянуті основні технічні параметри компонентів, такі як продуктивність, енергоспоживання, габаритні розміри та інші, а також економічні аспекти, що включають вартість та наявність на ринку. Особлива увага буде приділена аналізу сучасних технологій і тенденцій, що дозволяє забезпечити актуальність та перспективність розробки.

В результаті цього розділу буде сформовано перелік рекомендованих компонентів, що найбільше відповідають вимогам проекту, з детальним обґрунтуванням кожного вибору. Це створить міцну основу для подальших етапів проектування та розробки, що забезпечить високу якість та надійність кінцевого продукту.

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Табл. 5.1 Перелік компонентів

Компонент	Модель	Переваги	Недоліки
Мікроконтролер	Arduino nano	Компактний розмір, повна функціональність, низька вартість, широкий вибір бібліотек, зручність використання:	Обмежена пам'ять та швидкість, обмежена кількість входів/виходів
	STM32F103	Висока продуктивність, низьке енергоспоживання	Складніший у програмуванні
Магніт	Неодимовий магніт N52	Висока магнітна сила, компактний розмір	Дорожчий
	Керамічний магніт	Дешевий, широко доступний	Менша магнітна сила
Датчик Холла	KY-003	Надійність, чутливість, Низьке енергоспоживання	Чутливість до магнітних завад, бмежена дальність виявлення
	SS49E	Вища чутливість та точність	Трохи дорожчий
Мотор	28BYJ-48	Дешевий, широко доступний	Низька швидкість та момент
	NEMA 17	Висока продуктивність,	Дорожчий

		висока точність	
Кнопка	Tactile Button	Недорогий, простий у використанні	Обмежений термін служби
	Metal Push Button	Довговічний, стильний дизайн	Дорожчий
Блок живлення	LM7805	Недорогий, простий у використанні	Обмежена потужність
	Mean Well LRS-35-5	Висока надійність, стабільний вихід	Дорожчий
Дисплей	LCD 1602 дисплей з модулем ІС/I2C	Простий у використанні, недорогий	Обмежена кількість символів
	LED 128x64	Висока роздільна здатність, низьке енергоспоживання	Дорожчий

Вибір найкращих компонентів

Мікроконтролер Arduino Nano



Рис 5.3 Мікроконтролер Arduino Nano

Опис:

Arduino Nano – це компактна версія мікроконтролера Arduino, призначена для інтеграції в проекти з обмеженим простором. Nano має всі основні функції Arduino Uno, але в меншому форм-факторі.

Характеристики:

- Мікроконтролер: ATmega328
- Робоча напруга: 5V
- Вхідна напруга (рекомендована): 7-12V
- Вхідна напруга (межі): 6-20V
- Цифрові входи/виходи: 14 (6 з них можуть використовуватися як ШІМ-виходи)
- Аналогові входи: 8
- Постійний струм на вхід/вихід: 40 мА
- Флеш-пам'ять: 32 КБ (ATmega328), з яких 2 КБ використовуються завантажувачем
- SRAM: 2 КБ (ATmega328)
- EEPROM: 1 КБ (ATmega328)
- Тактова частота: 16 МГц

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

– Розмір: 18 мм х 45 мм

Неодимовий магніт N52



Рис 5.4 Неодимовий магніт N52

Опис:

Неодимові магніти, також відомі як магніти з неодимового заліза і бору (NdFeB), є найбільш потужними типами постійних магнітів, доступними на ринку. Клас N52 вказує на найвищий рівень магнітної сили серед стандартних класів неодимових магнітів.

Характеристики:

1. Склад:

- Неодим (Nd)
- Залізо (Fe)
- Бор (B)
- Інші добавки для підвищення стабільності та продуктивності

2. Магнітні властивості:

- Максимальна енергія продукту (BH_{max}):** 52 MGOe (Мегагаус-Оерстеди)
- Залишкова індукція (Br):** 14,3-14,7 кГс (кілогас)
- Коерцитивність (H_{cb}):** >10,5 кОе (кілооерстеди)

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

- Коерцитивність внутрішня (H_{cj}):** >11 кОе (кілооерстеди)

3. Фізичні властивості:

- Температура Кюрі: ~310°C (температура, при якій магніт втрачає свої магнітні властивості)

- Максимальна робоча температура: ~80°C (вище цієї температури магніт може втратити частину своєї сили)

- Щільність: ~7.5 г/см³

4. Механічні властивості:

- Твердість: Крихкість, подібна до керамічних матеріалів
- Стійкість до корозії: Низька, тому часто покривається захисними покриттями (нікель, цинк, епоксидна смола)

5. Розміри і форми:

- Можуть бути виготовлені в різних формах і розмірах, таких як диски, блоки, кільця, сфери тощо

6. Типові застосування:

- Електромотори і генератори
- Жорсткі диски комп'ютерів
- Динаміки та мікрофони
- Медичні пристрої (наприклад, магнітно-резонансна томографія)
- Магнітні кріплення і затискачі

Переваги неодимового магніту N52

1. Висока сила магнітного поля:

N52 є найвищим класом серед стандартних неодимових магнітів, забезпечуючи максимальну магнітну силу.

2. Компактність:

Завдяки високій силі магнітного поля, неодимові магніти можуть бути меншими за розміром порівняно з іншими типами магнітів, зберігаючи при цьому високу ефективність.

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

3. Широкий спектр застосувань:

Їх висока магнітна сила робить їх придатними для використання в різних промислових і комерційних застосуваннях.

Датчик Холла КУ-003



Рис 5.5 Датчик Холла

Опис:

Датчик Холла КУ-003 використовується для виявлення магнітного поля. Він здатен генерувати електричний сигнал у відповідь на присутність магніту або зміну магнітного поля. Цей датчик часто застосовується для вимірювання швидкості обертання, позиціонування, виявлення магнітних міток та інших подібних завдань.

Характеристики:

- Модель: КУ-003
- Тип сенсора: Датчик Холла
- Напруга живлення: 3.3V - 5V
- Інтерфейс: Цифровий (логічний вихід)
- Максимальний струм споживання: 10 mA
- Робоча температура: -40°C до +85°C
- Розмір: 3.2 см x 1.5 см x 0.7 см

Переваги датчика Холла КУ-003

1. Надійність:

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Датчики Холла відомі своєю високою надійністю і довговічністю, оскільки вони не мають рухомих частин і не зношуються з часом.

2. Чутливість:

КУ-003 чутливий до магнітного поля, що дозволяє використовувати його для точного виявлення магнітів або вимірювання швидкості обертання.

3. Широкий діапазон робочої температури:

Датчик здатен працювати в широкому діапазоні температур від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$, що робить його придатним для використання в різних умовах.

4. Низьке енергоспоживання:

Споживання струму датчика не перевищує 10 mA, що дозволяє використовувати його в енергоощадних проектах.

5. Простота використання:

Легке підключення та інтерфейс з мікроконтролерами, такими як Arduino, роблять його зручним для використання в різноманітних проектах.

Мотор 28BYJ-48

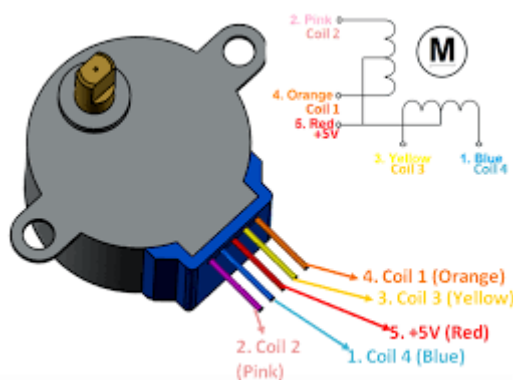


Рис 5.6 Мотор 28BYJ-48

Опис:

28BYJ-48 – це популярний і широко використовуваний кроковий мотор. Він відомий своєю надійністю, низькою вартістю та простотою використання. Завдяки вбудованому редуктору, цей мотор забезпечує високий крутний

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

момент при низьких обертах, що робить його ідеальним для різних застосувань в робототехніці, автоматизації та інших проектах.

Характеристики:

1. Тип двигуна: Кроковий мотор з постійними магнітами
2. Кількість фаз: 4 фази
3. Кількість кроків на оберт: 2048 (з урахуванням редуктора)
4. Кут кроку: 5.625° (без урахування редуктора)
5. Редуктор: 1/64 (знижує швидкість і збільшує крутний момент)
6. Напруга живлення: 5V DC
7. Струм на фазу: 240 mA
8. Опір обмоток: приблизно 50 Ом
9. Крутний момент: Високий завдяки редуктору (близько 300-400 мНм)
10. Швидкість обертання: Низька, але точна завдяки великій кількості кроків
11. Інтерфейс керування: Ультракомпактний драйвер ULN2003 або подібні
12. Розміри: Діаметр корпусу – 28 мм, довжина валу – 10 мм

Переваги мотора 28BYJ-48

1. Висока точність позиціонування:

Завдяки високій кількості кроків на оберт (2048 з урахуванням редуктора), мотор забезпечує точне позиціонування.

2. Високий крутний момент:

Вбудований редуктор збільшує крутний момент, що робить мотор придатним для завдань, що вимагають більшої сили.

3. Низька вартість:

Мотор 28BYJ-48 є одним із найдешевших крокових моторів на ринку, що робить його привабливим для аматорських проектів та прототипування.

4. Простота використання:

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Мотор легко підключається та керується за допомогою драйвера ULN2003, що робить його зручним для початківців.

5. Компактність:

Невеликий розмір мотора дозволяє використовувати його в проектах з обмеженим простором.

Тактильна кнопка (Tactile Button)



Рис 5.7 Тактильна кнопка (Tactile Button)

Опис:

Тактильна кнопка, або тактова кнопка, є механічним перемикачем, який використовується для короточасного замикання або розмикання електричного кола. Вона є компактною та забезпечує тактильний відгук при натисканні, що дозволяє користувачеві відчувати спрацювання кнопки. Такі кнопки широко використовуються в електронних пристроях, пультах керування, панелях приладів та інших інтерфейсах користувача.

Характеристики:

1. Розміри:

– Розміри кнопки можуть варіюватися, але найпоширеніший розмір – 6 мм x 6 мм x 5 мм.

– Інші поширені розміри включають 12 мм x 12 мм, 6 мм x 3.5 мм тощо.

2. Матеріал:

– Корпус: Пластик

– Контакти: Металеві (зазвичай покриті нікелем або золотом для підвищення надійності)

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

3. Електричні параметри:

- Напруга живлення: Зазвичай до 12V DC
- Струм: Зазвичай до 50 мА
- Опір контактів: Зазвичай < 100 мОм

4. Механічні характеристики:

- Сила натискання: Від 160 до 500 г (залежно від моделі)
- Життєвий цикл: Від 100,000 до 1,000,000 натискань

5. Монтаж:

- Пайка на друковану плату (PCB)
- Монтаж на поверхню (SMD) або через отвір (THT)

6. Робоча температура:

- Зазвичай від -25°C до +85°C

Переваги тактильних кнопок

1. Компактний розмір:

Тактильні кнопки мають невеликі розміри, що дозволяє використовувати їх у компактних пристроях і електронних схемах.

2. Тактильний відгук:

Завдяки тактильному відгуку користувач відчуває фізичне спрацювання кнопки, що покращує взаємодію з пристроєм.

3. Простота використання:

Легко інтегруються в схеми і не вимагають складного підключення.

4. Надійність:

Механічні перемикачі мають довгий життєвий цикл і високу надійність.

5. Низька вартість:

Тактильні кнопки є економічно вигідним рішенням для проектів будь-якої складності.

Блок живлення LM7805

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36



Рис 5.7 Блок живлення LM7805

Опис:

LM7805 - це лінійний стабілізатор напруги, який використовується для забезпечення стабільної вихідної напруги 5 вольт з вхідної напруги від 7 до 35 вольт. Цей пристрій досить поширений в електроніці, оскільки дозволяє живити різні електронні пристрої від стандартного джерела живлення з великим діапазоном вхідної напруги.

Характеристики:

1. Вихідна напруга: 5 вольт постійного струму
2. Максимальний струм вивантаження: Приблизно 1 ампер
3. Вхідна напруга: Від 7 до 35 вольт
4. Тип корпусу: TO-220 (також доступні інші варіанти корпусів)
5. Термінали: Вхід, вихід, земля
6. Температурний діапазон: Від -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$
7. Робоча частота: Нестабільний, адже це лінійний стабілізатор
8. Вихідна точність: Зазвичай $\pm 5\%$
9. Стандартні захисні функції: Захист від короткого замикання, захист від перевищення струму, захист від перевищення температури

Переваги блока живлення LM7805

1. Стабільність напруги:

Забезпечує стабільну вихідну напругу 5 вольт навіть при зміні вхідної напруги або навантаження.

2. Простота використання:

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Легко підключається і використовується без складних налаштувань.

3. Широкий діапазон вхідної напруги:

Може працювати від стандартних джерел живлення від 7 до 35 вольт, що робить його універсальним для багатьох застосувань.

4. Надійність:

Відомий своєю довговічністю та надійністю в роботі.

5. Ефективність:

Працює без шуму і ефективно перетворює надлишкову напругу на тепло.

LCD 1602 дисплей з модулем ІС/I2C



Рис 5.9 LCD 1602 дисплей з модулем ІС/I2C

Опис:

LCD 1602 – це 16x2 символний рідкокристалічний дисплей. Він може відображати 16 символів у кожному з двох рядків. Використання модуля ІС/I2C значно спрощує підключення та керування дисплеєм, оскільки для цього використовується всього 2 лінії (SDA і SCL).

Характеристики дисплея:

- Модель: LCD 1602
- Тип дисплея: Рідкокристалічний (LCD)
- Кількість символів: 16 символів на 2 рядки
- Напруга живлення: 5V

- Інтерфейс: Паралельний або I2C (з модулем ПС/I2C)
- Розмір дисплея: 80 мм x 36 мм x 12 мм

Характеристики модуля ПС/I2C:

- Чіп: PCF8574
- Адреса I2C: 0x27 (за замовчуванням, може бути змінена)
- Інтерфейс: I2C
- Напруга живлення: 5V
- Розмір: 41.5 мм x 19 мм
- Розмір:* 6 мм (кнопка) з ковпачком

Табл. 5.2 Перелік кращих елементів

Компонент	Вибір	Причини вибору
Мікроконтролер	Arduino nano	Широкий вибір бібліотек, зручність використання
Магніт	Неодимовий магніт N52	Висока магнітна сила, компактний розмір
Датчик Холла	KY-003	Надійність, чутливість, Низьке енергоспоживання
Мотор	NEMA 17	Висока продуктивність, висока точність
Кнопка	Tactile Button	Недорогий, простий у використанні
Блок живлення	LM7805	Висока надійність, стабільний вихід
Дисплей	LCD 1602	Простий у використанні, недорогий

	дисплей з модулем ІІС/I2C	
--	---------------------------------	--

Цей вибір забезпечує оптимальне поєднання продуктивності, точності, надійності та енергоспоживання для вашої системи.

5.3 Розробка принципової схеми

Принципова електрична схема (також відома як електрична схема або принципова схема) є графічним зображенням, що відображає структуру та зв'язки між електричними компонентами у пристрої або системі. Вона використовується для представлення принципової працездатності пристрою та передачі інформації про його функціональність, з'єднання та взаємодію компонентів.

Принципова електрична схема використовує стандартні символи та позначення для представлення різних електричних компонентів, таких як резистори, конденсатори, транзистори, інтегральні схеми та інші. Компоненти підключаються за допомогою ліній та з'єднувальних вузлів, які вказують напрямок потоку сигналу.

Принципова електрична схема допомагає інженерам та технікам розуміти та аналізувати принципову роботу пристрою, виявляти можливі проблеми та здійснювати моделювання імітаційних схем. Вона також використовується під час проектування, виробництва та обслуговування електронних пристроїв і систем.

Принципові електричні схеми можуть бути простими, якщо вони відображають окремі компоненти та їх підключення, або складними, якщо вони включають багато компонентів і зв'язків. Крім того, вони можуть бути

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

статичними, показуючи стан пристрою в певний момент часу, або динамічними, відображаючи залежності між компонентами в часі.

Узагальнюючи, принципова електрична схема є важливим інструментом для розуміння, аналізу та проектування електричних пристроїв і систем, дозволяючи візуалізувати та передавати їх функціональність та зв'язки між компонентами.

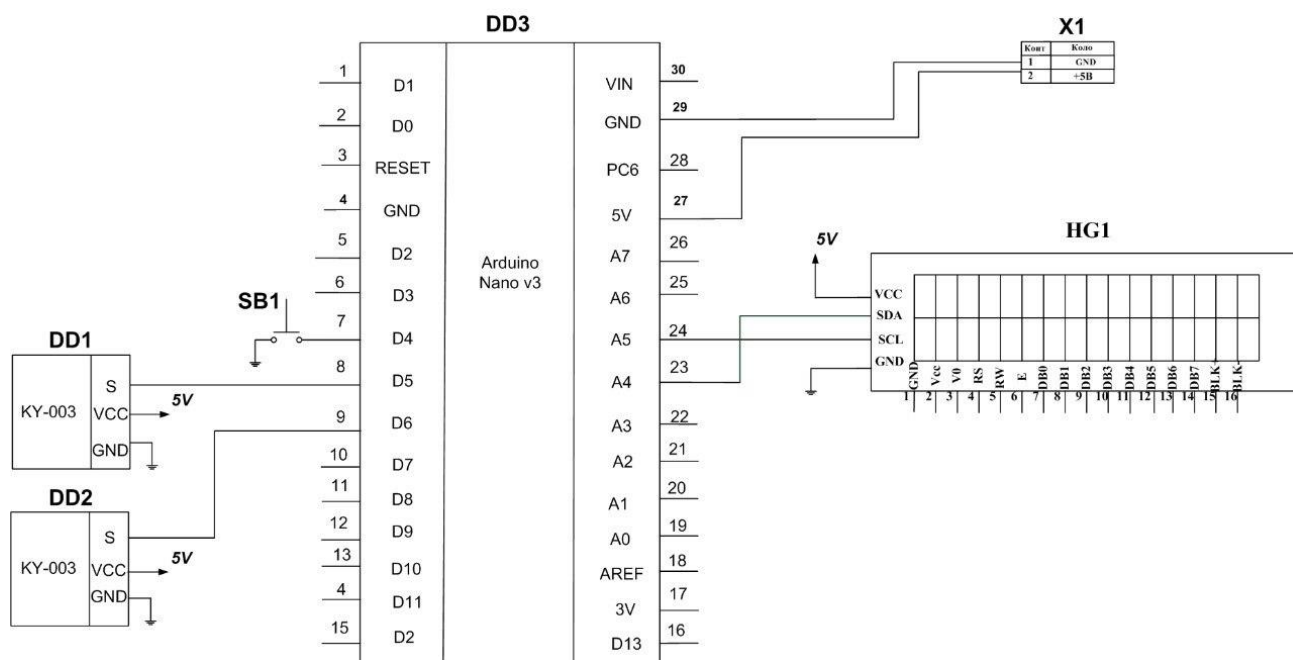


Рис 5.10. Принципова схема

Складові елементи наступні:

- DD1 – Arduino Nano;
- DD2, DD3 – датчика Холла KY-003;
- HG1 – ЖК-дисплей LCD-1602 з I2C;
- SB1– тактова кнопка Tactile Button ;
- X1 – роз'єм для акумулятора 4,8В.

6. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ РУХУ

6.1. Побудова алгоритму

Алгоритм - це точно визначена послідовність дій або інструкцій, які виконуються для розв'язання певної задачі або досягнення певної мети. Алгоритм можна розглядати як набір кроків, які потрібно виконати, щоб отримати бажаний результат.

Алгоритми використовуються в різних галузях, включаючи математику, науку, програмування, комп'ютерні науки та багато інших. Вони є основою для розв'язання проблем, автоматизації процесів і керування системами.

Хороший алгоритм має наступні властивості:

1. **Чіткість:** Кожен крок алгоритму повинен бути ясним і точно визначеним, без неоднозначностей або сумнівів.
2. **Ефективність:** Алгоритм повинен бути ефективним, тобто виконувати задачу швидко та ефективно в межах доступних ресурсів (часу, пам'яті тощо).
3. **Коректність:** Алгоритм повинен давати правильний результат для всіх можливих вхідних даних.
4. **Масштабованість:** Алгоритм повинен бути придатним для використання в різних масштабах, від невеликих до великих задач.

Алгоритми можна описувати за допомогою різних формальних методів, таких як блок-схеми, псевдокод або спеціалізовані мови програмування. Вони дозволяють систематично описувати послідовність дій, взаємозв'язки та умови виконання.

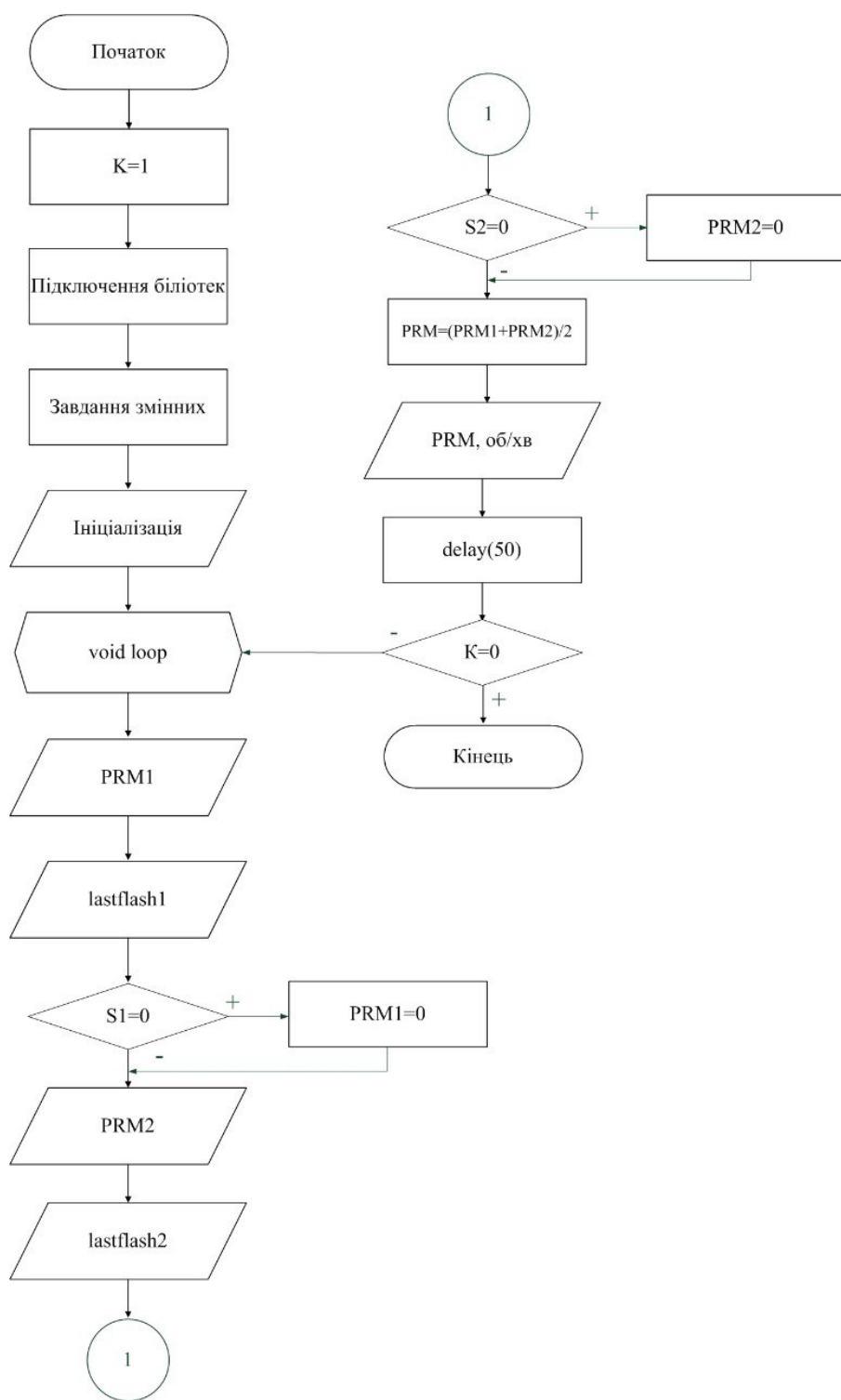


Рис.6.11 Алгоритм роботи системи

Алгоритм роботи системи з урахуванням завантаженої блок-схеми:

Алгоритм роботи системи

1. Початок:

– Встановлення змінної `K` в 1 (початок програми).

2. Підключення бібліотек:

- Підключення необхідних бібліотек, наприклад, 'LiquidCrystal_I2C'.

3. Завдання змінних:

- Оголошення змінних: 'lastflash1', 'lastflash2', 'RPM1', 'RPM2', 'RPM'.

4. Ініціалізація:

- Ініціалізація LCD дисплея.
- Встановлення початкових параметрів та налаштування переривань для датчиків.

5. Основний цикл ('void loop'):

- Початок основного циклу 'loop'.

6. Зчитування першого датчика:

- Обробка імпульсу від першого датчика.
- Збереження часу останнього імпульсу в 'lastflash1'.

7. Перевірка часу для першого датчика:

- Якщо час з моменту останнього імпульсу перевищує 1 секунду ('S1=0'), то 'RPM1' встановлюється в 0.

8. Зчитування другого датчика:

- Обробка імпульсу від другого датчика.
- Збереження часу останнього імпульсу в 'lastflash2'.

9. Перевірка часу для другого датчика:

- Якщо час з моменту останнього імпульсу перевищує 1 секунду ('S2=0'), то 'RPM2' встановлюється в 0.

10. Обчислення середнього значення RPM:

- Обчислення середнього значення обертів 'RPM' як $(RPM1 + RPM2) / 2$.

11. Відображення на LCD:

- Виведення тексту "Speed:" та значення 'RPM' на дисплей.
- Виведення тексту "Master class Arduino" на дисплей.

12. Затримка:

- Затримка в 50 мілісекунд (`delay(50)`).

13. Завершення:

- Якщо `K` встановлено в 0, програма завершується. В іншому випадку цикл повторюється.

Опис блоків блок-схеми

- Початок: Початок роботи програми.
- $K=1$: Ініціалізація початкової змінної.
- Підключення бібліотек: Імпорт необхідних бібліотек.
- Завдання змінних: Оголошення та ініціалізація змінних.
- Ініціалізація: Ініціалізація обладнання та налаштування переривань.
- void loop: Основний цикл роботи програми.
- RPM1 та lastflash1: Обробка першого датчика.
- $S1=0$: Перевірка часу з моменту останнього імпульсу для першого датчика.
- $RPM1=0$: Встановлення RPM1 в 0, якщо умова виконана.
- RPM2 та lastflash2: Обробка другого датчика.
- $S2=0$: Перевірка часу з моменту останнього імпульсу для другого датчика.
- $RPM2=0$: Встановлення RPM2 в 0, якщо умова виконана.
- $PRM=(RPM1+RPM2)/2$: Обчислення середнього значення RPM.
- `delay(50)`: Затримка на 50 мілісекунд.
- $K=0$: Завершення роботи програми.

Цей алгоритм описує роботу системи з вимірювання та відображення середнього значення обертів за хвилину для двох датчиків.

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

6.2. Розробка програми

KY-003 - Датчик Холла (Hall sensor) виконаний на базі елемента «44Е» і по суті є магнітним перемикачем. Якщо поруч з ним немає магнітного поля, то на сигнальному виході датчика є високий рівень і навпаки - якщо поле присутнє, то на виході низький рівень напруги. Таким чином сенсор має цифровий вихід. На платі є світлодіод, який горить коли є магнітне вплив. Він легко підключається до мікроконтролерів.

Зовнішній вигляд датчика Холла KY-003 представлений на рис.6.1.



Рис.6.12 Датчик Холла KY-003

Пристрій фіксує наявність постійного магнітного поля. Модуль датчика холу KY-003 в основному використовується в автоматичі, електромеханіки для визначення параметрів руху деталей механізмів. KY-003 застосовується в системах та приладах побутового, навчального та розважального призначення. Добре підходить в якості наочного посібника для вивчення ефекту Холла.

Технічні характеристики датчик Холла KY-003:

- Робоча напруга: 4.5 - 24 В;
- Робочий діапазон температур: -40 - +85 С;
- Розмір: 18.5x15 мм.

Датчик Холла спрацьовує при піднесенні постійного магніту. Для роботи KY-003 добре підходять неодимові магніти. Завдяки ефективності неодимового сплаву досить магніту невеликого розміру. Датчик реагує тільки

на один полюс магніту. Визначати полюс магніту, на який реагує датчик, слід експериментально. Для визначення параметрів обертального руху, на колесі закріплюють один, або кілька магнітів. При проходженні повз датчика на його виході формується імпульс. Чим більше магнітів встановлено на обертovому колесі, тим точніше вимір.

Приклад цієї схеми підключення представлений на рис.6.2.

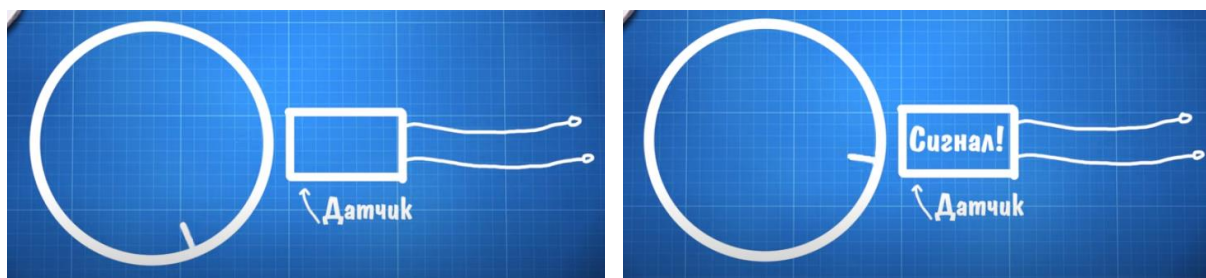


Рис.6.13. Схема використання датчика Холла та обертаючому магніті

Друга схема використання датчика Холла. Встановити багато магнітів на колесі дорого і складно. При установці слід дотримуватись полярності. Можна використовувати всього один. Магніт і модуль датчика Холла закріплені нерухомо один навпроти одного. Між ними знаходиться диск з отворами пов'язаний механічно з віссю двигуна. Диск виготовлений з немагнітної сталі, яка екранує слабе поле магніту. Завдяки чергуванню при русі прорізів і металу на виході датчика присутні імпульси. Ця конструкція аналогічна фотопереривнику, але має ряд переваг. Магніт на відміну від світлодіода не може згаснути, а це істотно підвищує надійність. Заощаджується струм живлення, не потрібні дроти світлодіода. Важлива перевага - робота в умовах підвищеної вологості. При конденсації вологи на лінзі Фотоприлад оптопара припиняє роботу, а для датчика Холла конденсація зовсім непомітна.

Третя схема. Непотрібний диск з прорізами і окремий магніт. Якщо в редукторі застосовані металеві шестерні, то намагнічують зубці шестерні і поруч закріплюють модуль датчика Холла. Але для цього знадобиться спеціальна установка, яка намагнічує шестерню.

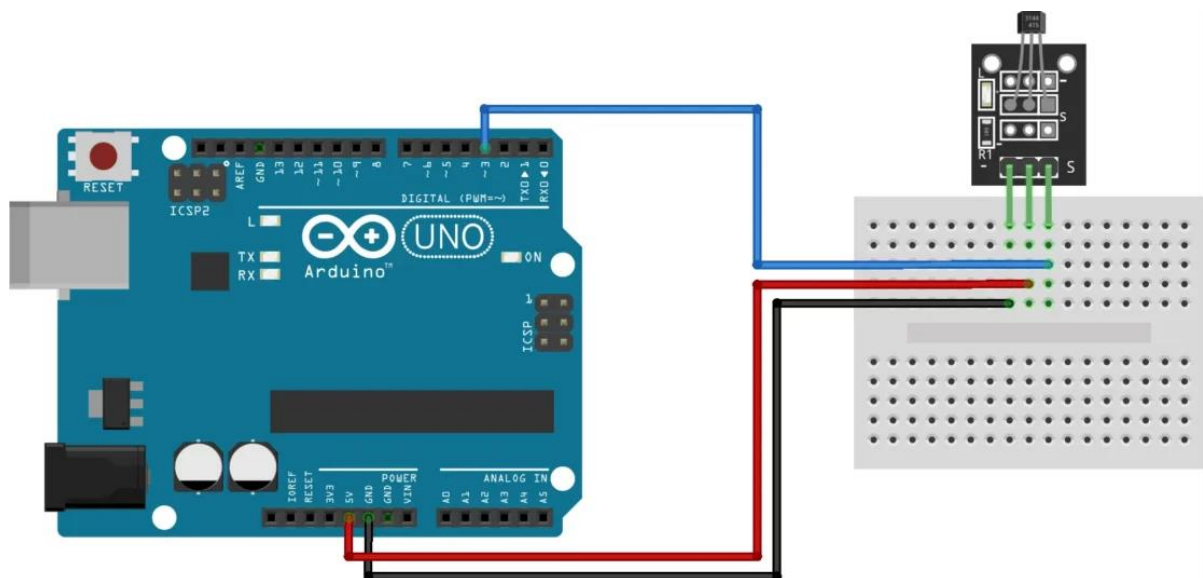


Рис.6.14.Схема підключення датчика Холла KY-003 до Arduino Uno

Підключення виводів наступне:

- "S" - цифровий вихід;
- «середній контакт» - +5 В;
- «->» - загальний.

Таке підключення датчик Холла KY-003 до Arduino Uno представлено на рис.6.3.

Код програми:

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
unsigned long lastflash1;
unsigned long lastflash2;
int RPM1;
int RPM2;
int RPM;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
void setup() {
    lcd.init();
    lcd.backlight();
}
```

```
attachInterrupt(0, sens1, RISING); // Прив'язка переривання до першого датчика
```

```
attachInterrupt(1, sens2, RISING); // Прив'язка переривання до другого датчика
```

```
pinMode(3, OUTPUT);  
digitalWrite(3, HIGH);  
}
```

```
void sens1() {  
    RPM1 = 60 / ((float)(micros() - lastflash1) / 1000000);  
    lastflash1 = micros();  
}
```

```
void sens2() {  
    RPM2 = 60 / ((float)(micros() - lastflash2) / 1000000);  
    lastflash2 = micros();  
}
```

```
void loop() {  
    if ((micros() - lastflash1) > 1000000) {  
        RPM1 = 0;  
    }  
    if ((micros() - lastflash2) > 1000000) {  
        RPM2 = 0;  
    }  
    RPM = (RPM1 + RPM2) / 2; // Обрахунок середнього значення  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Speed:");  
    lcd.setCursor(6, 0);  
    lcd.print(RPM);  
    lcd.setCursor(0, 2);
```

```

lcd.print("Master class Arduino");
delay(50);
}

```

6.3 Опис програми

Цей код для Arduino використовується для вимірювання швидкості обертання (обертів за хвилину, RPM) двох окремих датчиків і виведення середнього значення на дисплей LCD. Використовується бібліотека LiquidCrystal_I2C для роботи з LCD дисплеєм, а також функції переривань для обробки сигналів від датчиків.

Пояснення коду

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

– Підключаємо бібліотеку LiquidCrystal_I2C для роботи з LCD дисплеєм через інтерфейс I2C.

```
unsigned long lastflash1;
```

```
unsigned long lastflash2;
```

```
int RPM1;
```

```
int RPM2;
```

```
int RPM;
```

– Оголошуємо змінні для збереження часу останнього імпульсу від кожного датчика (`lastflash1` та `lastflash2`) і змінні для збереження обчислених значень RPM від кожного датчика (`RPM1` та `RPM2`). Змінна `RPM` буде використовуватись для збереження середнього значення RPM.

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
```

– Ініціалізуємо об'єкт `lcd` для роботи з LCD дисплеєм за адресою 0x27 з розміром дисплея 20x4 (20 символів на 4 рядки).

```
void setup() {
```

```

    lcd.init();
    lcd.backlight();
    attachInterrupt(0, sens1, RISING); // Прив'язка переривання до першого
датчика
    attachInterrupt(1, sens2, RISING); // Прив'язка переривання до другого
датчика
    pinMode(3, OUTPUT);
    digitalWrite(3, HIGH);
}

```

– У функції `setup()` ініціалізуємо LCD дисплей, вмикаємо його підсвітку.

– Прив'язуємо переривання до двох датчиків: перший датчик використовує переривання `0` і викликає функцію `sens1` на фронті сигналу (`RISING`), другий датчик використовує переривання `1` і викликає функцію `sens2`.

– Встановлюємо режим роботи піну 3 як вихідний і задаємо йому високий рівень.

```

void sens1() {
    RPM1 = 60 / ((float)(micros() - lastflash1) / 1000000);
    lastflash1 = micros();
}

```

– Функція `sens1()` викликається при спрацюванні першого датчика. Обчислюємо RPM на основі часу, що пройшов з моменту останнього імпульсу (`lastflash1`). Значення обертів обчислюється як `60 / (час у секундах)`. Оновлюємо значення `lastflash1` поточним часом у мікросекундах.

```

void sens2() {
    RPM2 = 60 / ((float)(micros() - lastflash2) / 1000000);
    lastflash2 = micros();
}

```

}

– Функція `sens2()` аналогічна до `sens1()`, але працює для другого датчика. Обчислює RPM для другого датчика і оновлює `lastflash2`.

```
void loop() {
```

```
  if ((micros() - lastflash1) > 1000000) {
```

```
    RPM1 = 0;
```

```
  }
```

```
  if ((micros() - lastflash2) > 1000000) {
```

```
    RPM2 = 0;
```

```
  }
```

```
  RPM = (RPM1 + RPM2) / 2; // Обрахунок середнього значення
```

```
  lcd.clear();
```

```
  lcd.setCursor(0, 0);
```

```
  lcd.print("Speed:");
```

```
  lcd.setCursor(6, 0);
```

```
  lcd.print(RPM);
```

```
  lcd.setCursor(0, 2);
```

```
  lcd.print("Master class Arduino");
```

```
  delay(50);
```

```
}
```

– У головній функції `loop()` перевіряємо, чи пройшло більше 1 секунди (1000000 мікросекунд) з моменту останнього імпульсу для кожного датчика. Якщо так, встановлюємо RPM для відповідного датчика в 0.

– Обчислюємо середнє значення RPM як середнє арифметичне між `RPM1` та `RPM2`.

– Очищаємо дисплей і виводимо текст "Speed:" та обчислене значення `RPM` на першому рядку. Виводимо "Master class Arduino" на третьому рядку.

– Затримка в 50 мілісекунд для оновлення дисплея.

6.4 Розробка друкованої плати

Розробка друкованих плат (PCB) є ключовим етапом у створенні електронних пристроїв. Вона вимагає ретельного планування, точних розрахунків та дотримання певних правил для забезпечення надійної роботи кінцевого продукту. Друковані плати служать основою для монтажу електронних компонентів, забезпечуючи їхнє фізичне з'єднання та електричну інтеграцію. У цьому процесі важливо враховувати вимоги до електричних характеристик, механічної міцності, теплових режимів та економічності виготовлення. Знання сучасних методів проектування та використання відповідного програмного забезпечення значно спрощує цей процес та допомагає уникнути багатьох помилок. У даній статті розглядаються основні етапи розробки друкованої плати, від створення схеми до кінцевого виготовлення, а також надаються практичні поради для оптимізації роботи.

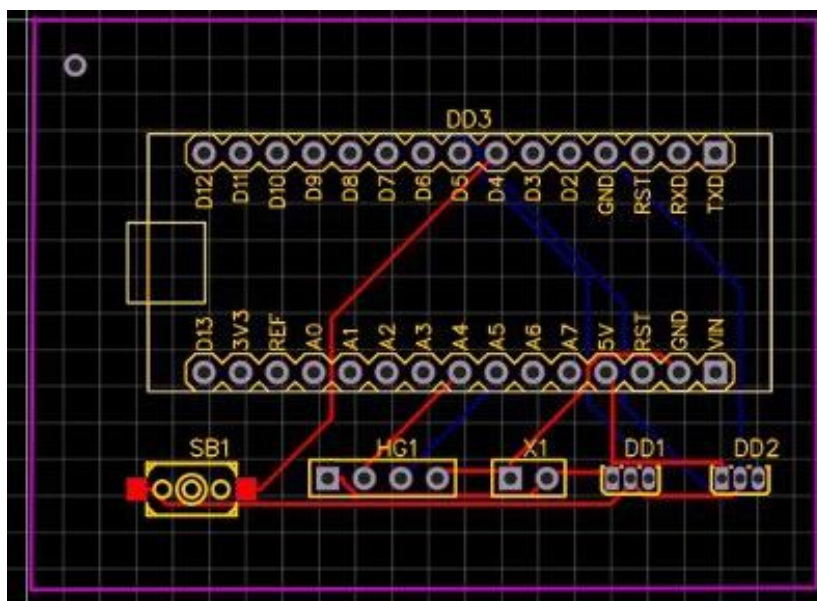


Рис.6.15 Компоновка елементів

Опис плати:

Зображення демонструє фрагмент друкованої плати, розробленої у середовищі DipTrace. Це верхній шар плати з позначеннями компонентів та трасуванням.

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Основні елементи:

1. DD3 - основний компонент, ймовірно мікроконтролер можливо, Arduino Nano. Має 30 контактів.

2. Роз'єми:

- SB1: 3-контактний роз'єм
- HG1: 4-контактний роз'єм
- X1: 2-контактний роз'єм
- DD1 і DD2: 3-контактні роз'єми

3. Трасування:

- Червоні лінії: ймовірно, силові з'єднання або критичні сигнали
- Сині лінії: сигнальні з'єднання
- Жовті контури: межі компонентів та площадки

4. Позначення виводів мікроконтролера: D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, TX, RX, RST, GND, RAW, VIN

Характеристики:

1. Двошарова плата 2. Використання різнокольорового трасування для розділення типів сигналів

3. Компактне розміщення компонентів

4. Присутність декількох роз'ємів різного призначення

5. Використання стандартної сітки для розміщення компонентів

6. Наявність монтажного отвору в лівому верхньому куті

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

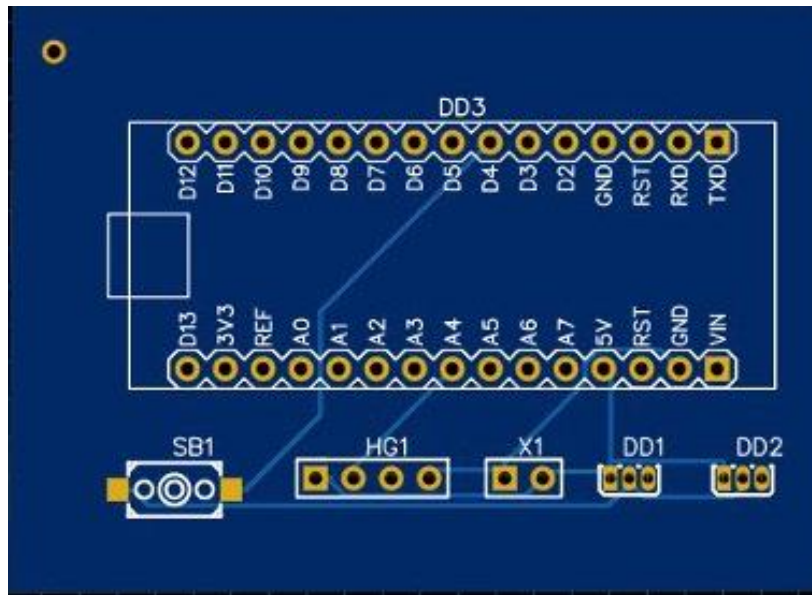


Рис.6.16 Друкована плата, верхня сторона

Це зображення показує схему друкованої плати. Ось основні елементи, які я бачу:

1. Великий компонент позначений як "DD3" з багатьма контактами. Це, швидше за все, основний мікроконтролер або процесор плати.
2. Кілька менших роз'ємів:
 - "SB1" (3-контактний)
 - "HG1" (4-контактний)
 - "X1" (2-контактний)
 - "DD1" і "DD2" (по 3 контакти кожен)
3. Плата має синій колір (типовий для друкованих плат).
4. Видно білі лінії, що позначають електричні з'єднання між компонентами.
5. Зображення має чорну сітку фону, що вказує на те, що це, можливо, схема або креслення плати, а не фотографія реального пристрою.

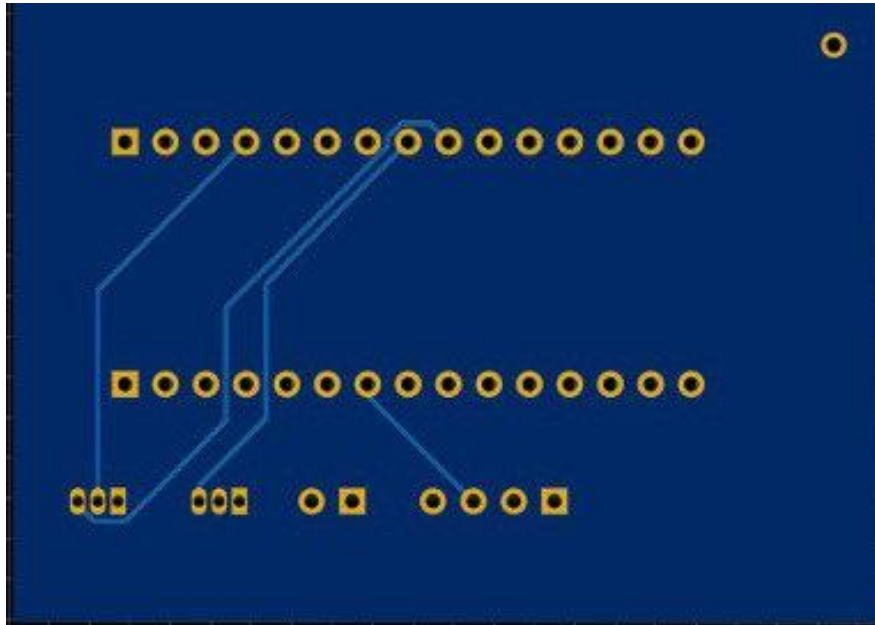


Рис.6.17 Друкована плата, нижня сторона

Зображення показує друковану плату (РСВ), яка використовується для монтажу електронних компонентів. Нижче наведено детальніший опис і характеристики цієї плати:

Розміри та Форма:

- Плата має прямокутну форму.
- На платі видно одна кругла монтажна отвір у верхньому правому куті.

Компонування та Маркування:

- На платі є дві паралельні лінії отворів, розташовані у верхній та нижній частинах.
- Кожен ряд має ряд отворів однакового розміру, які, ймовірно, призначені для підключення через контактні шпильки або роз'єми.
- Є три малі отвори в лівому нижньому куті, ймовірно для спеціальних компонентів або конекторів.
- У центрі плати можна побачити кілька слідів (доріжок), які з'єднують різні отвори між собою.

Електричні доріжки:

- На платі видно кілька провідних доріжок, які використовуються для з'єднання різних точок на платі.

Колір та Матеріал:

- Плата має синій колір, який зазвичай є кольором захисного шару.
- Пайка та монтажні отвори (золістого кольору) мають захисне покриття для запобігання корозії.

Призначення:

- Зображення не містить багато деталей про призначення конкретних компонентів або їх функції. Однак, структура та компоновання вказують на те, що це може бути плата для розробки або прототипування, яка використовується для підключення різних модулів та мікроконтролерів.

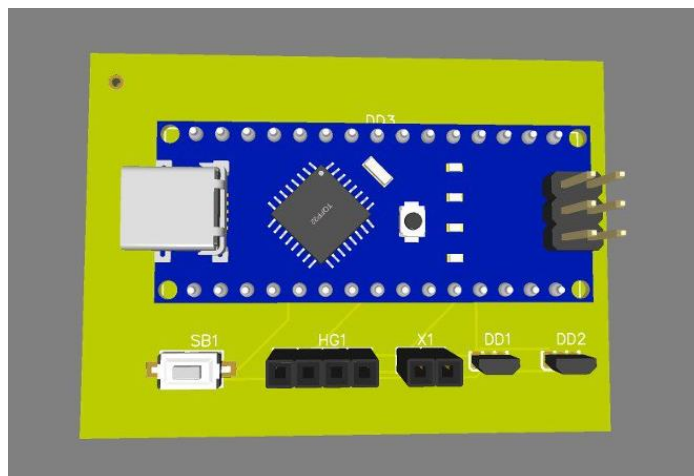


Рис.6.18 3D-модель плати мікроконтролера

На зображенні показана друкована плата, Arduino Nano. Ось основні елементи:

1. Центральний компонент - чорний квадратний чіп, ймовірно, мікроконтролер.
2. Синя друкована плата з білими контактами по краях.
3. USB-роз'єм (або подібний) на лівому краю плати.
4. Кілька менших компонентів на платі, включаючи кнопку та деякі резистори або конденсатори.

5. На нижньому краю зображення видно кілька додаткових роз'ємів:

- SB1: маленький білий компонент (можливо, кнопка чи перемикач)
- HG1: чорний 4-піновий роз'єм
- X1: чорний 2-піновий роз'єм
- DD1 і DD2: два менші чорні роз'єми

6. На правому краю плати видно 3-піновий роз'єм.

7. Плата розміщена на яскраво-зеленому фоні, що контрастує з синім кольором самої плати.

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

7. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРИЛАДУ

7.1 Розрахунок похибок визначення швидкості

Для розрахунку похибки швидкості за допомогою 10 вимірювань.

У нас є наступні вимірювання швидкості (в об/хв):

$$RPM = (523, 524, 522, 523, 521, 520, 523, 524, 523, 522) \setminus$$

Використаємо наступні формули для розрахунку середнього арифметичного, похибок вимірювань, вибіркового середнього квадратичного відхилення та інших похибок.

Крок 1: Розрахунок середнього арифметичного

$$R\bar{P}M = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} RPM_i \cong 520.5$$

Крок 2: Розрахунок похибок вимірювань ΔRPM_i та ΔRPM_i^2 (7.1):

$$\Delta RPM = |R\bar{P}M - RPM_i| \text{ та } \Delta RPM_i^2 = (R\bar{P}M - RPM_i)^2$$

Результати вимірювань та обчислення похибок у табл. 7.3

Табл.7.3

№ з. п.	RPM	ΔRPM_i	ΔRPM_i^2
1	523	2,5	6,25
2	524	3,5	12,25
3	522	1,5	2,25
4	523	2,5	6,25
5	521	0,5	0,25
6	520	0,5	0,25
7	523	2,5	6,25
8	524	3,5	12,25
9	523	2,5	6,25
10	522	1,5	2,25

Крок 3: Виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{10 \cdot 9} \sum_{i=1}^{10} (RPM_i - R\bar{P}M)^2}$$

Обчислення

$$\sum_{i=1}^{10} (RPM_i - \bar{RPM})^2 = 48.5$$

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{90} * 48.5} \approx 0.733$$

Крок 4: Випадкова похибка

$$\Delta_B RPM = t_{0.95} * \sigma_B$$

$$\Delta_B RPM = 2.26 * 0.733 \approx 1.655$$

Крок 5: Похибка приладу

Припустимо, що похибка приладу аналогічна:

$$\Delta_{пр} RPM = \frac{1}{300} * t_p * k * RPM_{гр}$$

Припустимо, що максимальна швидкість вимірювання дорівнює 1000 об/хв, а клас точності приладу 1:

$$\Delta_{пр} RPM = \frac{1}{300} * 2 * 1 * 1000 = 6.67$$

Крок 6: Похибка заокруглення

Припустимо, інтервал заокруглення аналогічний температурному випадку:

$$\Delta_3 RPM = 0.95 * \frac{0.05}{2} = 0.025$$

Крок 7: Загальна абсолютна похибка

$$\Delta RPM = \sqrt{(\Delta_B RPM)^2 + (\Delta_{пр} RPM)^2 + (\Delta_3 RPM)^2}$$

Обчислення

$$\begin{aligned} \Delta RPM &= \sqrt{(1.655)^2 + (6.67)^2 + (0.025)^2} \approx \sqrt{2.74 + 44.49 + 0.000625} \\ &\approx \sqrt{47.23} \approx 6.87 \end{aligned}$$

Отже, загальна абсолютна похибка вимірювання швидкості дорівнює приблизно 6.87 об/хв.

Для обчислення відносної похибки використовують наступну формулу:

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

$$\delta RPM = \left(\frac{\Delta RPM}{RPM} \right) * 100\%$$

Де:

- ΔRPM – загальна абсолютна похибка,
- RPM – середнє арифметичне значення швидкості.

Ми вже обчислили:

- $\Delta RPM \approx 6.87$,
- $RPM = 522.3$.

Обчислення відносної похибки:

$$\delta RPM = \left(\frac{6.87}{522.3} \right) * 100\%$$

Виконуємо обчислення:

$$\delta RPM = \left(\frac{6.87}{522.3} \right) * 100\% \approx 1.32\%$$

Отже, відносна похибка вимірювання швидкості дорівнює приблизно 1.32%.

7.2. Розрахунок надійності системи

Система буде знаходитися в білому корпусі Rack Mount 4U розміром 500x400x300 мм [23] з необхідними доробками. Значення температурного діапазону поля об'єктів відображається на дисплеї. В якості живлення використовується акумулятора Li-on на 5В.

При розрахунку надійності визначалися наступні кількісні показники:

1. Імовірність безвідмовної роботи за заданий час $P(t)$;
2. Параметр потоку відмовлень $\lambda(t)$;
3. Середній наробіток до відмовлення T_e .

Безвідмовність – властивість системи неперервно зберігати працездатність впродовж заданого інтервалу часу. Звичайно визначається

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

імовірність безвідмовної роботи за даний інтервал часу, середній час безвідмовної роботи не менше 10,000 годин.

Основним показником, що враховується при розрахунках надійності, є інтенсивність відмовлень $\lambda(t)$ – число відмовлень в одиницю часу, віднесене до числа елементів, що залишилися справними до початку даного інтервалу часу.

Розрахунок показників надійності проводився методом λ - характеристик, заснованому на інтенсивностях відмовлень комплектуючих виробів (КВ) і поправочних коефіцієнтах, що враховують реальні режими і умови експлуатації виробу.

Виріб призначений для роботи в умовах помірного клімату:

– робочий діапазон температури від -10 до +40°C, відносна вологість повітря до 90% без конденсації;

конструктивно виконано для роботи на зовні автомобіля без штучно регульованих кліматичних умов, вібростійкий. система повинна бути екранована для захисту від електромагнітних завад.

Склад виробу – автоматизована система вимірювання інтенсивності та напрямку магнітного поля за допомогою датчиків Холла.

Критерієм відмовлення виробу вважається відмовлення будь-якої його складової частини (вузла), що приводить до порушення працездатності виробу і неможливості використання його по призначенню.

При розрахунку надійності були прийняті наступні допущення:

1. відмовлення КВ і ІС є подіями випадковими і незалежними;
2. відмовлення будь-якого КВ приводить до відмовлення виробу в цілому;
3. інтенсивність відмовлень КВ протягом терміну їхньої служби в тих самих робочих режимах і умовах є постійною;

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

4. закон розподілу в розрахунках безвідмовної роботи передбачається експоненціальним.

Розрахунок надійності спроектованого виробу проводиться в відповідності з електричною принциповою схемою виробу і з обліком заданих кліматичний категорії і виконання виробу.

Розрахунок параметра потоку відмовлень виробу проводиться по формулі:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i, \quad (7.2)$$

де n – загальне число групи КВ, що входять до складу спроектованого виробу; $N_i \lambda_i$ – кількість і інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи відповідно.

Інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи в робочому режимі визначалася по формулі

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_i \dots a_n. \quad (7.3)$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмовлень КВ в номінальному режимі і нормальних умовах; $a_i \dots a_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують умови роботи (кліматичні і механічні впливи в залежності від призначення й умов майбутньої роботи), електричне навантаження КВ і температуру навколишнього середовища, ступінь інтеграції інтегральних мікросхем, а також співвідношення видів відмовлень.

Конкретні формули, по яких визначалися інтенсивність відмовлень кожної групи комплектуючих виробів, приведені в таблиці 7.2.

Величини значень визначилися по довідковим даним, приведеним у [24] з врахуванням вихідних даних для спроектованого виробу.

По формулі (7.2) визначаємо потік відмовлень виробу (сума величин в графі 10 таблиці 7.3):

$$\lambda = 68,56 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначалася по формулі

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t \quad (7.4)$$

де λ – параметр потоку відмовлень; t – час роботи виробу (год) [24].

Дані розрахунку $P(t)$ приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 7.4 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
0,9823	0,9646	0,9470	0,9293	0,8586	0,6534	0,4295	0,3069

На графіку, приведеному на рис 7.6 приведена залежність надійності $P(t)$.

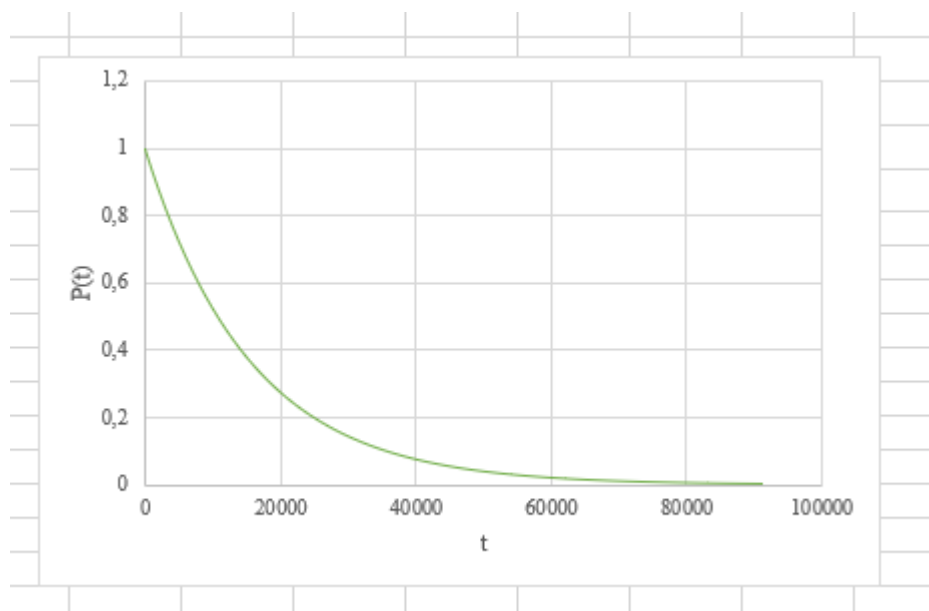


Рис.7.17 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \lambda^{-1} \quad (7.5)$$

Підставляючи дані в формулу (2.4) одержимо

$$T = (69,308 \cdot 10^{-6})^{-1} = 14,431 \text{ годин.}$$

Таблиця 7.6 – Перелік комплектуючих виробів

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_{i0} \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	Мікроконтролер				a_1	a_2	a_4	a_6	
	Arduino Nano	1	0,4	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	1,092
2	Магніт				a_1	a_2	a_4	a_6	
	Неодимовий магніт N52	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1$	1	0	0	0	0,1
3	Датчики				a_1	a_2	a_4	a_6	
	Датчик Холла (KY-003)	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
	Мотор				a_1	a_2	a_4	a_6	
4	NEMA 17	1	0,5	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8	1		0,84
5	Кнопка				a_1	a_2	a_4	a_6	
	Tactile button	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
6	Блок живлення				a_1	a_2	a_4	a_6	
	LM7805	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
7	Дисплей LCD 1602 з модулем I2C	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
8	Акумулятор 5В	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1		1		63
	Разом								69,308

8. ОХОРОНА ПРАЦІ

Розглянемо детально аспекти охорони праці для теми "Комп'ютеризовані методи калібрування датчиків у системах числового програмного керування":

1. Загальні вимоги безпеки:

- Робоче місце має бути обладнане згідно з ергономічними нормами: зручний стіл, регульоване крісло, підставка для ніг.
- Освітлення: комбіноване (природне + штучне), рівномірне, без відблисків на екрані. Рівень освітленості 300-500 люкс.
- Мікроклімат: температура 21-25°C, відносна вологість 40-60%, швидкість руху повітря до 0,1 м/с.
- Шум: не більше 50 дБА.

2. Робота з електронними компонентами та датчиками:

- Використання антистатичних браслетів при роботі з чутливими електронними компонентами.
- Зберігання датчиків у спеціальних антистатичних упаковках.
- При використанні лазерних датчиків - захисні окуляри з відповідним коефіцієнтом захисту.

3. Робота з верстатами ЧПК:

- Проведення інструктажу перед початком роботи з кожним типом верстата.
- Перевірка справності захисних екранів та блокувальних пристроїв.
- Використання захисних окулярів, рукавичок при необхідності контакту з рухомими частинами.
- Заборона носіння вільного одягу, що може потрапити в рухомі механізми.

4. Комп'ютерна безпека:

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

- Встановлення та регулярне оновлення антивірусного програмного забезпечення.

- Використання паролів складної конфігурації та їх регулярна зміна.
- Шифрування важливих даних та результатів калібрування.
- Регулярне резервне копіювання на зовнішні носії.

5. Ергономіка робочого місця:

- Монітор на відстані 60-70 см від очей, верхній край на рівні очей.
- Клавіатура на відстані 10-15 см від краю стола.
- Регулярні перерви: 15 хвилин кожні 2 години, гімнастика для очей та рук.

6. Пожежна безпека:

- Наявність порошкових або вуглекислотних вогнегасників.
- Автоматична система пожежної сигналізації.
- Регулярні тренування з евакуації.
- Заборона куріння та використання відкритого вогню в приміщенні.

7. Перша допомога:

- Навчання персоналу основам першої допомоги при електротравмах.
- Наявність аптечки з необхідними медикаментами.
- Інструкція з надання першої допомоги на видному місці.

8. Навчання та інструктажі:

- Вступний інструктаж при прийомі на роботу.
- Щоквартальні планові інструктажі з охорони праці.
- Щорічна перевірка знань з охорони праці.

9. Екологічна безпека:

- Сортування та правильна утилізація електронних відходів.
- Використання енергоефективного обладнання.
- Оптимізація процесів калібрування для зменшення енерговитрат.

10. Психофізіологічні аспекти:

- Регулярні перерви для відпочинку та зміни виду діяльності.

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

- Створення комфортної психологічної атмосфери в колективі.
- Проведення тренінгів з управління стресом та тайм-менеджменту.

Впровадження цих заходів допоможе забезпечити безпечні та комфортні умови праці при роботі з комп'ютеризованими системами калібрування датчиків у ЧПК, знизити ризики травматизму та професійних захворювань, а також підвищити ефективність роботи персоналу.

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

ВИСНОВОК

У процесі дослідження було розглянуто та розроблено кілька ключових аспектів, що стосуються підвищення ефективності роботи систем числового програмного керування (ЧПК) на основі калібрування датчиків та розробки комп'ютеризованих методів і приладів для вимірювання параметрів руху. Результати цього дослідження можуть бути узагальнені наступним чином:

Розглянуто важливість і особливості верстатів та систем ЧПК як об'єктів вимірювань. Показано, що точність і надійність вимірювань безпосередньо залежать від правильної калібрування датчиків. Використання різних типів датчиків у системах ЧПК вимагає регулярного калібрування для забезпечення точних і стабільних результатів.

Проведено аналіз впливу точності вимірювань на якість та ефективність виробничих процесів. Визначено, що недостатня точність вимірювань може призвести до дефектів у продукції та збільшення витрат. Розглянуто різні методи калібрування датчиків оберտального руху, зокрема статичне та динамічне калібрування, та здійснено порівняльний аналіз цих методів для вибору найефективнішого.

Розроблено інтелектуальні методи калібрування датчиків, що використовують алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту. Ці методи дозволяють автоматизувати процес калібрування, підвищувати точність вимірювань та знижувати вплив людського фактора. Впровадження автоматизованої корекції результатів вимірювань забезпечує високу точність і стабільність роботи систем ЧПК.

Створено структуру комп'ютеризованого приладу на основі мікроконтролера для вимірювання параметрів руху. Вибір елементної бази та розробка електричної принципової схеми забезпечують надійність і точність вимірювань. Розробка цього приладу дозволяє ефективно здійснювати вимірювання параметрів руху у системах ЧПК.

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Розроблено алгоритм та програмне забезпечення для обробки результатів вимірювань параметрів руху. Алгоритм включає фільтрацію шумів, корекцію похибок та інтерполяцію даних, що забезпечує точність та надійність результатів. Програма реалізує цей алгоритм і забезпечує користувачам зручний інтерфейс для відображення результатів вимірювань.

Проведено розрахунки похибок визначення швидкості та надійності системи. Визначено основні фактори, що впливають на надійність роботи приладу, та розроблено рекомендації щодо їх мінімізації. Забезпечення високої надійності системи є критично важливим для її ефективного використання у виробничих умовах.

Проведене дослідження та розробки дозволяють значно підвищити ефективність роботи систем ЧПК на основі методів калібрування датчиків. Впровадження комп'ютеризованих методів і приладів для вимірювання параметрів руху забезпечує високу точність, надійність та стабільність роботи, що сприяє покращенню якості продукції та зниженню виробничих витрат.

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вольтметр на PIC16F676 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://micropas.ru/shemu/voltmetry/item/2-voltmetr-na-pic16f676.html> – Дата доступу: 19.05.22
2. Вольтметр на піс. Сапр Компас [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://topuch.ru/sapr-kompas/index.html> – Дата доступу: 01.06.22
3. Мікроконтролерні пристрої : навч. посіб. для студ. спец. «Мікро- та наноелектроніка» / О. С. Тонкошкур, І. В. Гомілко, О. В. Коваленко ; Дніпропетровський нац. ун-т ім. О. Гончара. – Д. : Вид-во ДНУ, 2011. – 264 с
4. Дисплей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%%20BB%D0%B5%D0%B9>.
5. Кнопка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://calvarybaptisthsv.org/w/klavishi>.
6. Акумулятор [Електронний ресурс]. – <https://autoglim.ru/uk/the-ignitionsystem-of-the-car/akkumulyatornye-batarei-vidy-i-ustroistvo-primenenievazhnnoe-o-vazhnom/>.
7. Розробка друкованих плат [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kommersant.ru/doc/4593304>.
8. Надійність [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://radiovtc.inf.ua/Quality/L4_5.pdf.
9. Охорона праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://berislavmr.gov.ua/news/ohorona-pratsi-obov-yazky-robotodavtsiv-i-pratsivnykiv/>.
10. Вимірювальна техніка та метрологія. – Л. : Львівська політехніка, 2015. – 164с.
11. Основи електроніки : навч. посіб. / А. С. Васюра, Г. Д. Дорощенко, В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 197 с.

					МММТ. 480.005.007 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

12.Тактова кнопка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronoff.ua/knopki-taktovye>.

13.Мікропроцесорна техніка [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальності «Електроніка» / В. Я. Жуйков, Т. О. Терещенко, Ю. С. Ямненко, А. В. Заграничний ; НТУУ «КПІ» ; ред. О. В. Борисов. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,28 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 440 с.

14. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «бакалавр» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» Укладачі: Ю.О. Подчашинський, Л. О. Чепюк, Р.В. Петросян. – Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2022. – 60 с.

					<i>МММТ. 480.005.007 – ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72