

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра електронних систем

ДЕМКО ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПРИСТРІЙ КЕРУВАННЯ КРОКОВИМ ДВИГУНОМ НА БАЗІ
МІКРОКОНТРОЛЕРА**

Спеціальність 171 Електроніка

Освітня програма Електронні системи

Кваліфікаційна робота
на здобуття освітнього ступеня бакалавра

Науковий керівник:

Папи Олександр Вікторович

к.ф-м.н

(асистент)

Ужгород – 2025

Регістрація _____
(номер)

« ____ » _____ 2025 р. _____
(підпис)

Тетяна СЕМАК

Кваліфікаційна робота допущена до захисту

Завідувач кафедри

_____ Тарас ЗАЯЦЬ
(підпис)
к.ф.-м.н., доцент

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент _____
(підпис) _____
(Ім'я, Прізвище)

_____ (науковий ступінь, вчене звання)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра електронних систем

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. _____ (Заяць Т. М.)

“ ____ ” _____ 2025 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

На кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему:

**ПРИСТРІЙ КЕРУВАННЯ КРОКОВИМ ДВИГУНОМ НА БАЗІ
МІКРОКОНТРОЛЕРА**

Студента групи ЕС: Юри ДЕМКА

Керівник: к.ф.-м.н., кафедри ЕС

Олександр ПАПП

()

()

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. _____ (Заяць Т. М.)

“ _____ ” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну бакалаврську роботу
студенту Демко Юрій Олександрович

1. Тема роботи: Пристрій керування кроковим двигуном на базі мікроконтролера.
Затверджена на засіданні кафедри (протокол №__ від _____ 2024 р.)

2. Термін закінчення роботи: 10 червня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи.

1. Створити простий ефективний електричний пристрій, який забезпечує керування стандартними кроковими двигунами.

Забезпечити слідуєчі характеристики контролера:

1. Можливість керувати нозьковольтними синхронними двигунами;
2. Напруга живлення: 5В від USB порта компютера;
3. Струм в режимі роботи небільше: 500 мА;
4. Робоча температура, °С -10 ÷ +65 ;
5. Наявні інтерфейси для програмування та зчитування SWD, UART, USB Type-C;
6. . Зміст роботи (перелік питань, що підлягають розробці).

ВСТУП

1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування
2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання
3. Проектно-конструкторський розділ
 - 3.1. Синтез та аналіз структурної схеми
 - 3.2. Синтез та аналіз електричної принципової схеми
 - 3.3. Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми. Вибір елементів

Висновки

Перелік посилань

ДОДАТКИ

Додаток А. структурна схема КРБ.ЕС. 9469617.001.Е1

Додаток Б. принципова схема КРБ.ЕС. 9469617.001.Е3

Додаток В. перелік елементів КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЕ

5. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль			

Дата видачі завдання 2024 року.

Керівник роботи _____ (к.ф-м-н.. Папп О.В.)
(підпис)

Завдання прийняв на виконання _____ (Демко Ю.О.)
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів виконання КБР	Термін виконання етапів	Примітки
1.	Пошук та аналіз аналогів об'єкта досліджень.	до 20.12.2024 року	
2.	Огляд та аналіз аналогів.	до 20.02.2025 року	
3.	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції.	до 20.03.2025 року	
4.	Синтез структурної та принципової схем, їх розрахунок.	до 20.04.2025 року	
5.	Виготовлення конструкторської документації.	до 20.05.2025 року	
6.	Оформлення кваліфікаційної бакалаврської роботи.	до 10.06.2025 року	
7.	Захист на державній екзаменаційній комісії.	Згідно з графіком захисту	

Студент _____ (Демко Ю.О.)
(підпис)

Керівник роботи _____ (к.ф-м-н.. Папп О.В.)
(підпис)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна бакалаврська робота на тему: «Пристрій керування кроковим двигуном на базі мікроконтролера» / УжНУ; Керівник: Папп О. В.; Студент: Демко Ю. О., група ЕС.

Пояснювальна записка: 33 сторінки, 13 рисунків, 2 таблиці, 13 джерел, 3 додатки.

Графічна частина: структурна та принципова схеми, перелік елементів.

Об'єкт розробки: система прецизійного керування кроковим двигуном для лабораторного обладнання, реалізована на базі мікроконтролера Atmega328P з драйвером DRV8834 та інтерфейсом USB-UART.

Методи дослідження: аналіз наявних схемотехнічних рішень, синтез структурної та електричної принципової схеми, вибір елементної бази, розрахунок надійності та параметрів роботи пристрою.

У процесі виконання роботи було проведено аналіз аналогів систем керування кроковими двигунами, обґрунтовано вибір елементів для побудови пристрою, розроблено структурну та принципову електричну схеми, виконано розрахунки основних функціональних вузлів. Особливу увагу приділено енергоефективності, компактності та сумісності з USB-інтерфейсом комп'ютера.

Пристрій призначений для автоматизованого точного позиціонування механізмів в оптичних та вимірювальних приладах, таких як спектрофотометри. Його виготовлено з використанням недорогих, доступних компонентів, а надійність оцінено за середніми показниками інтенсивності відмов.

Ключові слова: кроковий двигун, мікроконтролер, Atmega328P, DRV8834, USB, FT232RNQ, керування, структурна схема, принципова схема.

ABSTRACT

Bachelor Qualification Work on the topic: “Stepper Motor Control Device Based on a Microcontroller.” / Uzhhorod National University; Supervisor: O. V. Papp; Student: Y. O. Demko, Group: EC.

Explanatory Note: 33 pages, 13 figures, 2 tables, 13 sources, 3 appendices.

Graphical Part: structural diagram, schematic diagram, and bill of materials.

Object of the study: development of a precision stepper motor control system based on the Atmega328P microcontroller, featuring a DRV8834 driver and USB-UART communication via the FT232RNQ chip.

Research Method: analysis of existing control systems and circuit designs, synthesis of structural and electrical schematics, component selection, and reliability assessment.

During the course of the project, a comprehensive review of available stepper motor control solutions was carried out. Based on the analysis and technical requirements, the device's architecture was developed and implemented. The design section includes the development of the control logic, hardware schematics, and functional reliability calculations. Special attention was paid to the compactness, electromagnetic compatibility, and ease of integration with laboratory equipment.

The developed device is designed for use in automation systems requiring accurate positioning, such as in spectrophotometers and other optical laboratory instruments.

Keywords: stepper motor, microcontroller, Atmega328P, DRV8834, USB, FT232RNQ, control system, schematic, reliability.

ЗМІСТ

1. Вступ.....	9
2. Загальні відомості та огляд існуючих методів	10
2.1. Інтерфейс підключення пристрою до ПК по USB та конвертуванням в RS-232.....	9
2.2. Інтерфейс RS-232 (UART).....	10
2.3. Гібридний двофазний кроковий двигун, будова, переваги та недоліки.....	12
2.4. Будова крокового двигуна.....	13
3. Огляд можливих схемних рішень керування двигунами з використанням мікроконтролерів	19
3.1. Контролер крокового двигуна на базі TB6560A	19
3.2. Контролер крокового двигуна на мікросхемі PC116F84	20
4. Розрахунок основних блоків пристрою.....	23
4.1. Розробка електричної принципової схеми прецизійної системи керування кроковим двигуном з USB інтерфейсом.....	23
4.2. Однокорпусний мікродрайвер двигуна DRV8834.....	25
4.3. Опис для мікросхеми FT232RLN USB	26
4.4. Опис для мікроконтролера ATmega328P-AU	28
4.5. Розрахунок надійності вибраних компонентів.....	30
5. Висновок.....	32
6. Список використаної літератури.....	33
7. Додатки: Схеми електрична структурна Схеми електрична принципова Перелік елементів	

				<i>КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ</i>			
<i>Ви</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	Пристрій керування кроковим двигуном на базі мікроконтролера. ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Демко Ю.О.</i>			<i>Н</i>	<i>8</i>	<i>33</i>
<i>Перевіри</i>		<i>Папп О.В.</i>					
<i>Н.Конт</i>		<i>Папп О.В.</i>					
<i>Затв.</i>		<i>Заяць Т.М.</i>					
					<i>УжНУ, ІТФ, гр.ЕС, 4-курс</i>		

1. ВСТУП

Одним з важливих завдань сучасної науки є створення комп'ютеризованої системи управління. На сьогодні вона використовується в різних сферах діяльності людини.

Числове програмне управління – це комп'ютеризована система керування, яка забезпечує якісне управління механізмами.

Саме ЧПУ відповідає за переміщення робочих органів пристрою, швидкість їх руху та позиціонування, за послідовність циклу роботи, а також за різні допоміжні функції.

Крокові двигуни – це електромеханічні пристрої, які перетворюють сигнали зовнішнього управління в кутовий рух ротора електродвигуна з повною його фіксацією в певному місці знаходження без використання пристроїв, що працюють за принципом зворотного зв'язку. Сучасні крокові двигуни (електродвигуни) по суті своїй є звичайними синхронними електричними двигунами без стартової обмотки, що найчастіше розташовується на роторі движка. Це обумовлюється асинхронним, частотним запуском крокового двигуна.

Метою даної роботи є вивчення прецизійної системи керування кроковим двигуном з USB інтерфейсом, недоліки та переваги самих крокових двигунів. можливість застосування в науковій, дослідницькій сферах.

Для експерименту був використаний кроковий двигун лабораторного хроматографічного пристрою для вимірювання ступеню заломлення світлового потоку через досліджуваний взірець. У цього двигуна виявилось чотири виводи відповідно і робоча напруга 5В.

					КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ	9
Зм	Арк	№ докум	підпис	дата		Арк.

2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА ОГЛЯД ІНСТУЮЧИХ МЕТОДІВ

2.1 Інтерфейс підключення пристрою до ПК по USB та конвертуванням в RS-232.

З'єднання плати контролера крокового двигуна з комп'ютером відбувається за допомогою USB послідовної шини що уніфікує даний пристрій і дозволяє легке і швидке підключення без зайвих перехідників та плат. Далі ця шина конвертується в RS 232.

Цей інтерфейс був створений для того щоб підключити периферії до персонального комп'ютера. Інформаційні сигнали і напруга живлення 5В передаються по чотирипровідному кабелю. Для сигналу використовується диференціальний спосіб передачі двом проводам D+ і D-. Рівні сигналів передавачів у статичному режимі повинні бути нижчими за 0.3 В (низький рівень) або вище 2.8 В (високий рівень). Приймачі повинні витримувати вхідну напругу в межах -0.5...+3.8 В. Передавачі повинні мати можливість переходу у високоімпедансний стан для забезпечення двонаправленої напівдуплексної передачі даних по одній парі проводів. Передача по двох проводах не обмежується лише диференціальними сигналами. Крім диференціального приймача, кожен пристрій має лінійні приймачі сигналів D+ і D-, а передавачі цих ліній управляються індивідуально. Це дозволяє розрізнити безліч станів лінії, які використовуються організації апаратного інтерфейсу. Стани Diff0 і Diff1 визначаються по різниці потенціалів на лініях D+ і D- більше 200 мВ за умови, що на одній з них потенціал вищий за поріг спрацьовування VSE. Стан, при якому на обох входах D+ та D- присутній низький рівень називається лінійним нулем (SE0 - single-ended zero).

2.2 Інтерфейс RS-232 (UART)

В цьому інтерфейсі дані проводяться по RxD (прийом даних) та TxD (передача даних). Інтерфейс UART широко застосовується як стандартний послідовний інтерфейс передачі даних між різними пристроями, тому що він має

					<i>КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ</i>	10
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>підпис</i>	<i>дата</i>		<i>Арк.</i>

у собі нескладні алгоритми та можливість двосторонньої передачі даних. Наприклад, мікроконтролери сімейства AVR, ARM, PIC та багато інших мають в собі вбудовану апаратну реалізацію інтерфейсу UART, через цей протокол можуть бути підключенні деякі з пристроїв. [2] Відомо, що цей інтерфейс, визначений стандартом Асоціації електронної промисловості (EIA), він передбачає наявність обладнання двох видів: термінального DTE и зв'язного DCE. Слід розуміти, що є суттєва різниця між цими видами обладнання. Термінальне обладнання, наприклад мікрокомп'ютер може надсилати і приймати дані по послідовному інтерфейсу. Зв'язне обладнання це пристрої, які можуть задовольнити передачу даних від термінального обладнання. Видимим прикладом зв'язного обладнання є модем. Він є сполучною ланкою у послідовному ланцюжку між комп'ютером і телефонною лінією. Різниця між термінальними і зв'язними пристроями сумнівна, тому виникають деякі труднощі в розумінні того, до якого типу обладнання відноситься той чи інший пристрій. [1]

2.3 Гібридний двофазний кроковий двигун, будова, переваги та недоліки.

Кроковий двигун — електричний двигун, в якому імпульсне живлення електричним струмом призводить до того, що його ротор не обертається неперервно, а виконує щоразу обертальний рух на заданий кут. Завдяки цьому, кут повороту ротора залежить від числа поданих імпульсів струму, а кутова швидкість ротора точно рівна частоті імпульсів помноженій на кут повороту ротора за один цикл роботи двигуна.

Кут повороту двигуна під впливом одного імпульсу може мати різні значення, залежні від конструкції двигуна, — як правило це значення в діапазоні від декількох градусів до декілька десятків градусів. Крокові двигуни, залежно від призначення пристосовані до виконання від частки обороту в секунду до декількох тисяч оборотів в секунду. [2]

					<i>КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ</i>	11
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>підпис</i>	<i>дата</i>		<i>Арк.</i>

2.4 Будова крокового двигуна.

Конструктивно крокові електродвигуни складаються із статора, на якому розташовані обмотки збудження, і ротора, виконаного з магніто-м'якого (ферромагнітного) матеріалу або з магніто-твердого (магнітного) матеріалу. Крокові двигуни з магнітним ротором дозволяють отримувати більший крутний момент і забезпечують фіксацію ротора при знеструмлених обмотках. (Рис. 1)

Гібридні двигуни поєднують у собі найкращі риси двигунів зі змінним магнітним опором і двигунів з постійними магнітами.

Статор гібридного двигуна також має зубці, забезпечуючи велику кількість еквівалентних полюсів, на відміну від основних полюсів, на яких розташовані обмотки. Зазвичай використовуються 4 основні полюси для 3,6 градусних двигунів і 8 основних полюсів для 1,8-0,9 градусних двигунів. Зубці ротора забезпечують менший опір магнітного ланцюга у певних положеннях ротора, що покращує статичний і динамічний момент. Це забезпечується відповідним розташуванням зубців, коли частина зубців ротора знаходиться строго навпроти зубців статора, а частина між ними.

Ротор гібридного двигуна має зубці, розташовані в осьовому напрямку. Ротор розділений на дві частини, між якими розташований циліндричний постійний магніт. Таким чином, зубці верхньої половинки ротора є північними полюсами, а зубці нижньої половинки — південними. Крім того, верхня і нижня половинки ротора повернуті один відносно одного на половину кута кроку зубців. Число пар полюсів ротора дорівнює кількості зубців на одній з його половинок. Зубчасті полюсні наконечники ротора, як і статор, набрані з окремих пластин для зменшення втрат на вихрові струми. [2]

2.5 Принцип роботи крокового двигуна.

Цикл роботи електродвигуна можна розбити на 4 кроки.

Крок 1: верхній електромагніт включений, відбувається притягання найближчого зуба ротора шестеренної форми. Зуби вирівнюються по електромагніту, вони будуть трохи зміщені відносно електромагніта.

					<i>КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ</i>	12
Зм	Арк	№ докум	підпис	дата		Арк.

Крок 2: верхній електромагніт відключений, а правий електромагніт знаходиться під напругою, потягнувши найближчі зуби прокрутивши ротор вправо. У результаті відбудеться повертання на $3,6^\circ$ для цього прикладу.

Крок 3: нижній електромагніт знаходиться під напругою, спричинивши наступне повертання ротора на $3,6^\circ$.

Крок 4: лівий електромагніт включений, що знову проверне ротор на $3,6^\circ$. Коли верхній знову увімкнеться, ротор у кінцевому підсумку за 4 кроки повернеться на один зуб, а оскільки у ротора є 25 зубів, то повний оберт займе 100 кроків для даного прикладу. [5]

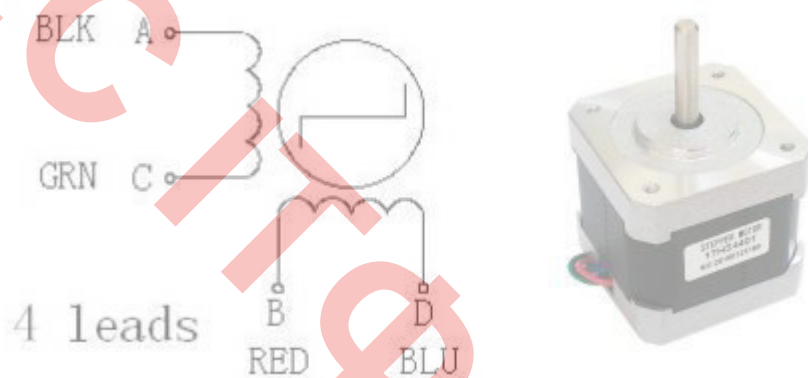


Рис.1. Будова та зовнішній вигляд крокового двигуна

					КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ	13
Зм	Арк	№ докум	підпис	дата		Арк.

2.6 Переваги та недоліки крокового двигуна.

Переваги:

1. Кут повороту двигуна пропорційний кількості вхідних імпульсів.
2. Двигун працює з повним моментом у стані спокою (якщо обмотки підключені до живлення).
3. Прецизійне позиціонування і повторюваність кроку — хороші крокові двигуни мають точність близько 3 — 5% кроку і ці помилки не накопичуються від кроку до кроку.
4. Можливість швидкого розгону, гальмування і зміни напрямку руху.
5. Безвідмовність — у зв'язку з відсутністю щіток. Довговічність двигуна залежить тільки від довговічності підшипників.
6. Залежність оборотів двигуна від дискретних імпульсів дозволяє керувати двигуном без зворотного зв'язку, завдяки чому кроковий двигун простіший і дешевший в керуванні.
7. Можливість досягнення дуже низьких швидкостей обертання з навантаженням закріпленим безпосередньо на осі двигуна.
8. Широкий діапазон швидкостей обертання отримуваний завдяки тому, що швидкість пропорційна частоті вхідних імпульсів.

Недоліки:

1. Механічний резонанс з'являється при неправильному керуванні.
2. Складнощі при роботі з дуже високими швидкостями.
3. Можлива втрата контролю положення у зв'язку з роботою без зворотного зв'язку.
4. Споживання електроенергії не зменшується навіть без навантаження.
5. Невисока питома потужність.
6. Відносно складна схема управління. [2]

					<i>КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ</i>	14
Зм	Арк	№ докум	підпис	дата		Арк.

2.7. Управління кроковим двигуном за допомогою ПК

Послідовний порт USB (Рис.2), (Табл.1) є чудовим та сучасним інтерфейсом, що дозволяє підключати до персонального комп'ютера безліч найрізноманітніших пристроїв. Однак він може бути легко пошкоджений, тому при його використанні для під'єднання саморобних зовнішніх пристроїв потрібно дотримуватись правил безпеки. Зокрема використовувати компоненти захисту порту. Цей порт має одну лінію введення/виводу. Лінії передачі даних - двонаправлені і саме їх ми і будемо використовувати. У табл.1 описано призначення контактів роз'єму порту USB.

Розпіновка USB 2.0 type A



1	Vbus
2	D-
3	D+
4	GND

Рис 2 Компонування роз'єму USB Таблиця 1 Компонування роз'єму USB

Для перетворення USB в RS232 задіяна мікросхема FT232RQ це однокристальний чіп USB до послідовного UART інтерфейсу з опціональним вихідним генератором годинника та новою функцією безпеки FTDIChip-ID™¹. Цей чіп підтримує швидкості передачі даних від 300bit до 3 Mbit, асинхронні та синхронні режими бітового бенгу, а також різні варіанти інтерфейсу для керування зовнішньою логікою або мікроконтролером.

В якості мікроконтролера використаємо мікросхему ATmega 328P з інтерфейсом керування RS232.

Цей мікроконтролер є однокристальним, базується на 8-бітному ядрі RISC-процесора. Він є високопродуктивним, енергоефективним контролером від Microchip.

- Момент утримання: 4 кг / см;
- Номінальний струм: 1.7 А;
- Індуктивність обмотки: 2.8 мГн. [5]

ЕС ПТФ УЖНУ

					КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ	17
Зм	Арк	№ докум	підпис	дата		Арк.

JP1 - Установка моменту обертання (струму фази): Перемички не встановлені 100%; Встановлена 3-4 (TQ1) 75%; Встановлена 1-2 (TQ2) 50%; Встановлені 1-2 і 3-4 (TQ1 і TQ2) 20%.

JP2 - Установка режиму спаду струму і дроблення кроку: Режими дроблення кроку (ТВ6560А); Не встановлені 1-2, 3-4 1/1; Встановлена 3-4 (M1).

1/2; Встановлена 1-2 (M2) 1/16 (Для ТВ6560 1/4); Встановлені 1-2 і 3-4 (M1 і M2) 1/8; Режими дроблення кроку (ТВ6560); Не встановлені 1-2, 3-4 1/1; Встановлена 3-4 (M1) 1/2; Встановлена 1-2 (M2) 1/8; Встановлені 1-2 і 3-4 (M1 і M2) 1/4; Режими спаду струму: Не встановлені 5-6, 7-8 0% (nominal); Встановлена 7-8 (DS1) 25% (mixed decay); Встановлена 5-6 (DS2) 50% (mixed decay); Встановлені 5-6, 7-8 (DS1 і DS2) 100% (fast decay); Драйвер розраховано на робочу напругу 24В і струм 3А.

3.2 Контролер крокового двигуна на мікросхемі РС116F84 [2]

Виконання кроків контролюється за допомогою зворотного зв'язку, який реалізований на датчиках струму і компараторах. Датчики струмів включаються в ланцюг польових транзисторів. Сигнали, зняті з датчиків струму, на входи компараторів, на другі входи компараторів подається опорна напруга, що сформована мікроконтролером яка і визначає піковий струм в обмотках синхронним двигуна. Виходи компараторів підключаються до входів переривань мікроконтролера. Основою пристрою є мікроконтролер DD1. Сигнали управління обмотками двигуна формуються на портах PB4 – PB7. Для комутації обмоток використовуються польові транзистори КП 505А (VT1 – VT4). Щоб транзистори залишалися закритими під час дії сигналу «скидання» мікроконтролера (порти в цей час знаходяться у високоімпедансним стані), між затворами і витоками включені резистори R11, R14, R17, R18. Для обмеження струму перезарядки ємкості затворів встановлені резистори R3, R6, R7, R8. У даному контролері реалізований повільний спад струму фаз, який забезпечується шунтуванням обмоток двигуна діодами VD1, – VD4. Для

					<i>КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ</i>	19
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>підпис</i>	<i>дата</i>		<i>Арк.</i>

підключення синхронним двигуна є восьмиконтактний роз'єм Хр1, який дозволяє підключити двигун, що має два окремі виводи від кожної обмотки

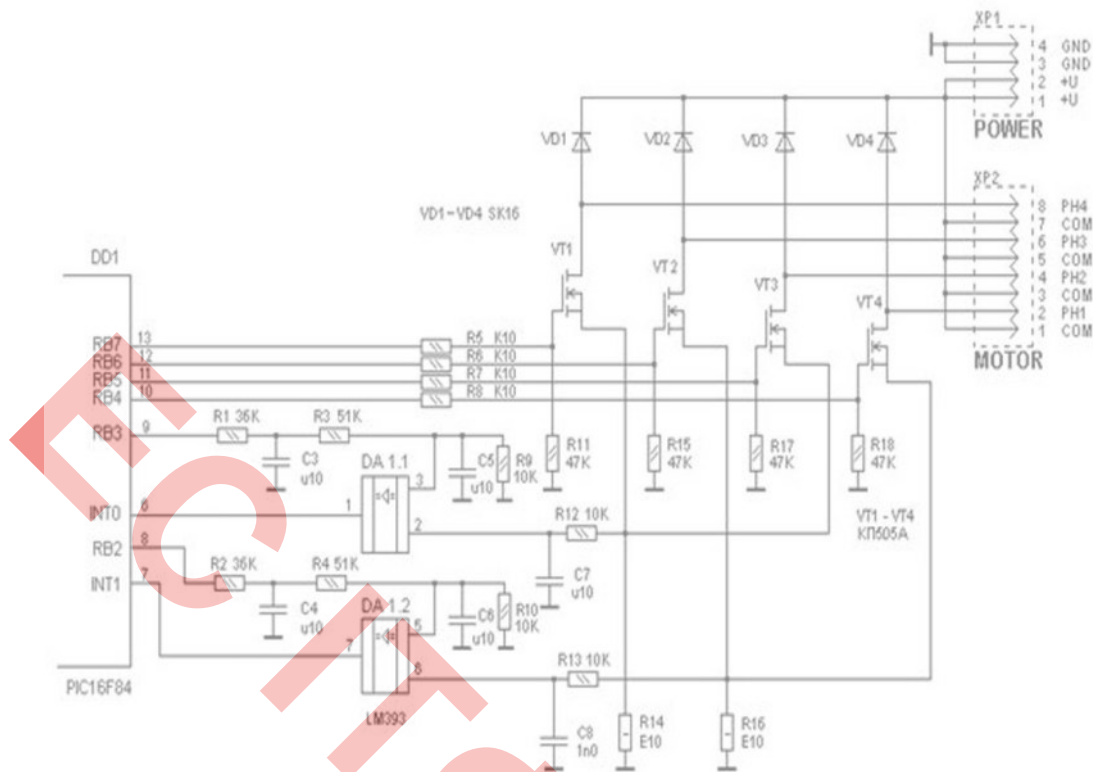


Рис. 5. Принципова схема контролера [2]

Стабілізація струму здійснюється за допомогою контролера ШІМ, який реалізований програмно. Для цього використовуються два датчики струму R15 і R16. Сигнали, зняті з датчиків струму, через ФНЧ R12 C5 і R13 C6 поступають на входи компараторів DA1.1 і DA1.2. ФНЧ запобігають помилковим спрацьовуванням компараторів через завади. На другий вхід кожного компаратора подається опорна напруга, яка і визначає піковий струм в обмотках двигуна. Ця напруга формується мікроконтролером. Для фільтрації сигналу ШІМ використовуються ФНЧ R1C1R4C3 і R2C2R5C4. Одночасно резистори R1, R4, R9 і R2, R5, R10 утворюють ділянки, які задають масштаб регулювання струмів фаз. Виходи компараторів підключені до виходів переривань мікроконтролера INT0 і INT1.

При переході в мікрокроковий режим підпрограма виконується безпосередньо після перевірки позиції двигуна. Таким чином, при перевірці позиції відбувається перевірка всієї системи в цілому, у тому числі і синхронним двигуна. При переході в мікрокроковий режим проводиться контроль мікрокроків, наявності втрачених кроків, при втраті кроку напруга на вході компаратора не відповідає еталонному і підпрограма дає команду на повтор кроку. Якщо виконання мікрокрока сталося відповідно до програми, то виконується наступний крок, якщо в другий раз стається втрата кроку та видається команда STOP. У кроковому і напівкроковому режимах підпрограма не використовується.

Дана методика пропонує варіант вирішення проблеми втрати кроків при роботі мікроконтролерної системи на крокових двигунах без використання дорогих датчиків положення.

					<i>КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ</i>	21
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>підпис</i>	<i>дата</i>		<i>Арк.</i>

4. РОЗРАХУНКИ ОСНОВНИХ БЛОКІВ ПРИСТРОЮ

4.1. Розробка електричної принципової схеми прецизійної системи керування кроковим двигуном з USB інтерфейсом.

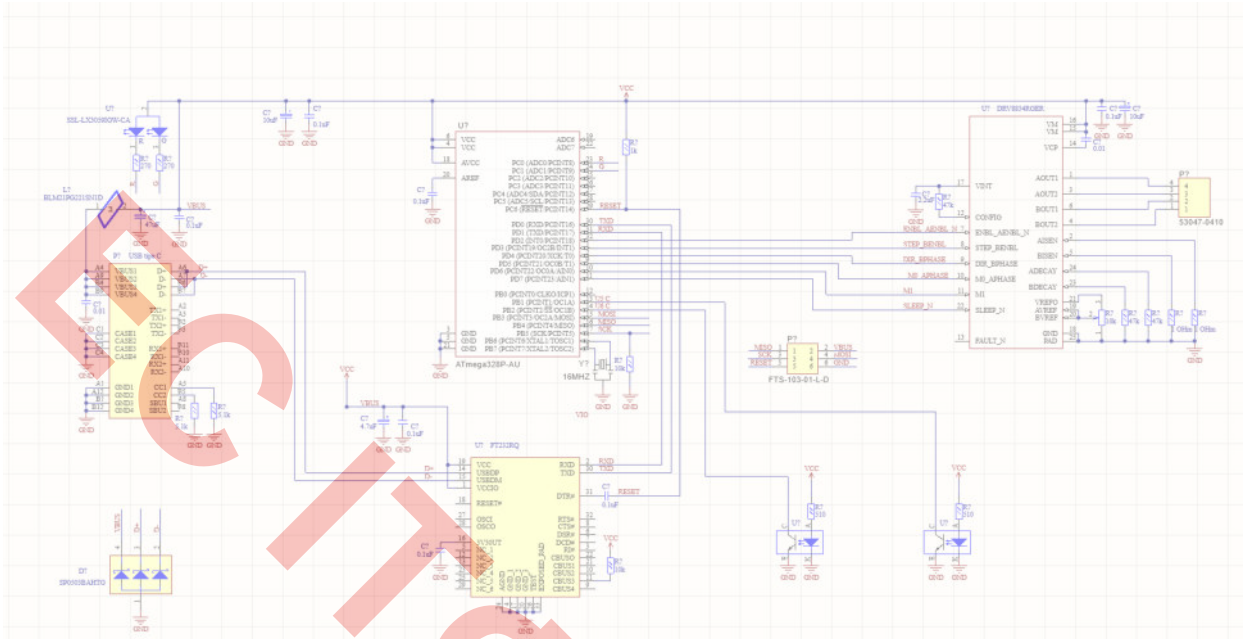


Схема.1. Принципова схема пристрою у вікні програми Altium Designer

Основним кроком проектування є розробка схеми електричної принципової схеми графічним редактором DipTrace. Принципові електричні схеми призначені для повного відображення взаємозв'язків, пристроїв з урахуванням принципів їх дії і послідовності роботи (Схема 1). На електричних схемах вказують лише ті елементи, які пояснюють електричні процеси. На схемі деталі розміщують так, як це зручно для їх зображення та легшого розуміння принципу роботи пристрою.

Зм	Арк	№ докум	підпис	дата

КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ

4.2 Огляд структурної схеми пристрою

Оскільки прилад не переносний і призначений і споживання його невелике то його живлення достатньо отримувати від USB 3.0 який буде живити усю електроніку на платі. Цей пристрій з'єднується за допомогою цього ж USB пристрою для отримання команд щодо позиціювання валу крокового двигуна в чітко заданій позиціях, швидкість переміщення валу і так далі. Процесор також здатний записувати останні команди для відновлення у випадку втрати сигналу. Процесор отримавши дані про позицію двигуна, швидкість, та інші параметри керує драйвером крокового двигуна який за допомогою внутрішніх схем формує сигнал до двигуна. (Схема.2.)

Пристрій складається з таких основних вузлів та каскадів:

1. Перетворювач UART- USB – необхідний для обміну даними пристрою та ПК.
2. Центральний процесор – необхідний для опрацювання команд ПЗ
3. Драйвер – Необхідний для керування крокового двигуна.

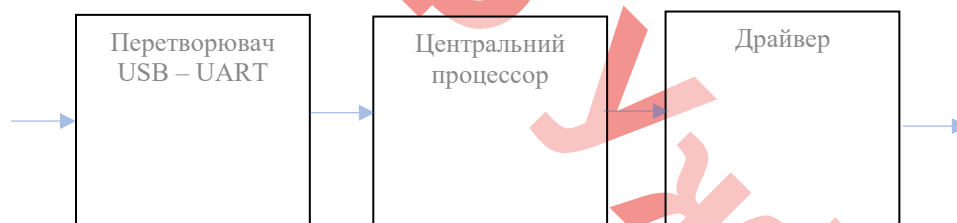


Схема.2. Структурна схема пристрою.

Основою пристрою є мікроконтролер Atmega328p, він забезпечує керування драйвером. Зв'язок та керування мікропроцесором виконується за допомогою USB 3.0.

Особливістю представленого контроллера є відсутність будь-яких органів керування та дисплеїв, для вводу - виводу інформації, на корпусі. Весь процес управління виконується у програмі, встановленій на смартфон або комп'ютері.

4.2 Однокорпусний мікродрайвер двигуна DRV8834

Вибраний драйвер забезпечує гнучке рішення задач для мехатронних програм. Пристрій має два H-мостових драйвера і призначений для керування біполярним кроковим двигуном або двома двигунами постійного струму.

Блок вихідного драйвера кожного H-мосту складається з N-канальних силових MOSFET, налаштованих як H-міст для керування обмотками двигуна. Кожен H-міст містить схему для регулювання або обмеження струму обмотки (Рис 5).

З належним дизайном друкованої плати кожен H-міст DRV8834 може безперервно працювати до 1,5A RMS (або постійного струму) при 25°C з живленням V_M 5В. Пристрій може витримувати пікові струми до 2,2 А на міст. Потужність струму дещо знижується при нижчому V_M напруги.

Внутрішні функції відключення з контактом виходу несправності передбачені для захисту від перевантаження по струму, захисту від короткого замикання, блокування від зниження напруги та перегріву. Також передбачений режим сну з низьким енергоспоживанням.

DRV8834 упакований у 24-контактний корпус VQFN (Рис 4) з PowerPAD™ (екологічно чистий: RoHS і без Sb/Br). [5]

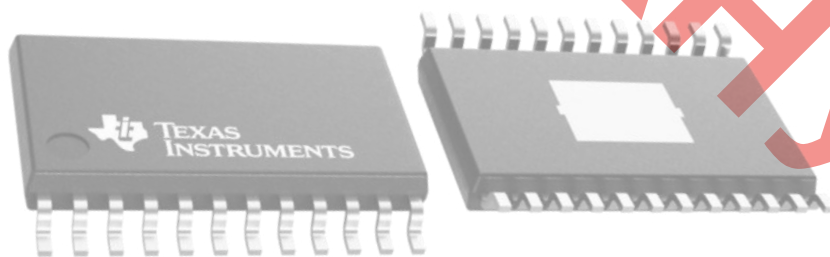


Рис. 4. Зовнішній вигляд корпусу

					<i>КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ</i>	24
Зм	Арк	№ докум	підпис	дата		Арк.

4.3 Опис для мікросхеми FT232RNQ USB

Це повношвидкісна мікросхема USB для послідовного UART, що включає генератор і EEPROM з 32-контактним корпусом QFN (Рис.6).

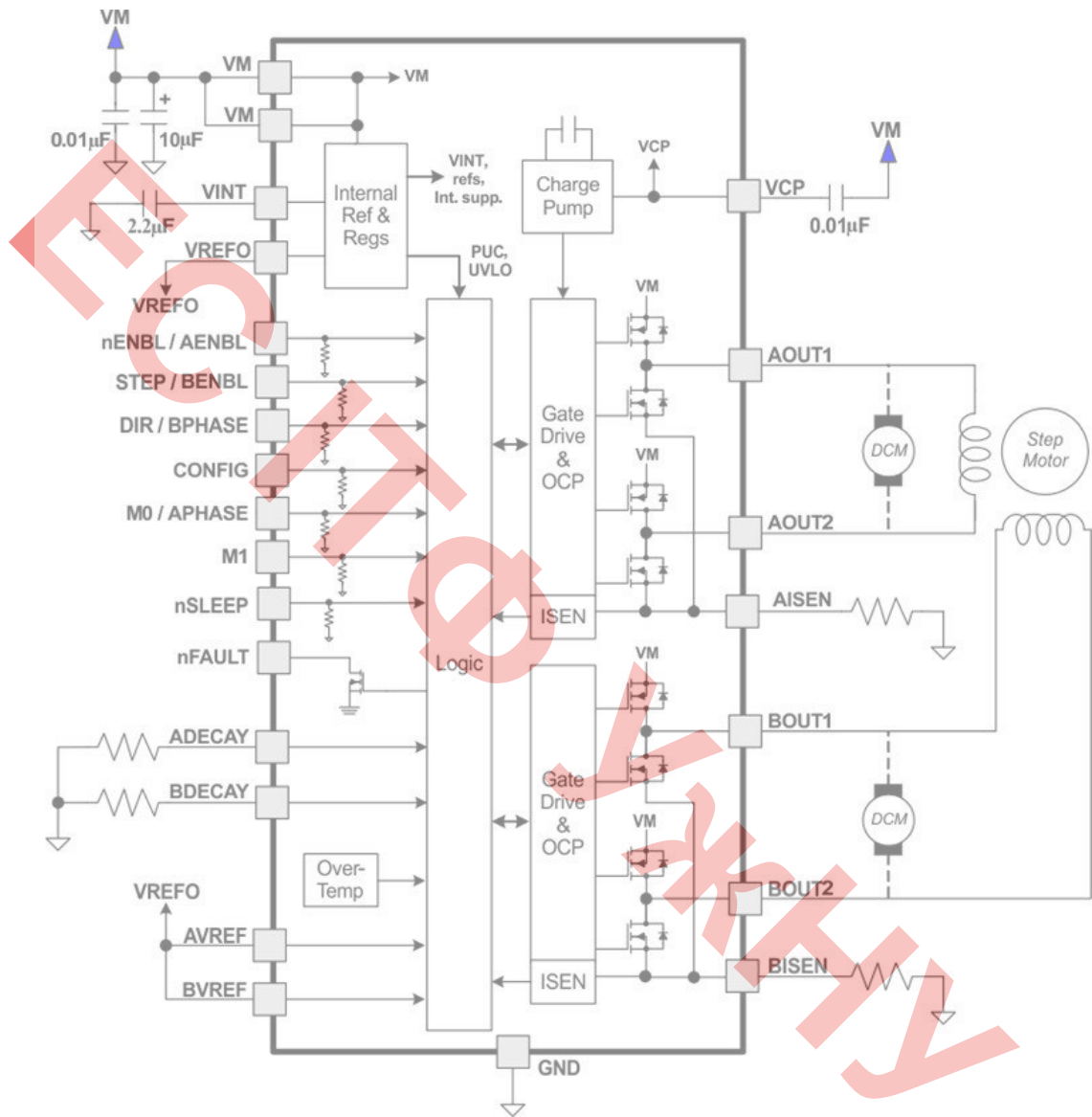


Рис. 5. Внутрішня топологія

Конструкції USB до послідовного порту з використанням FT232RNQ були додатково спрощені завдяки повній інтеграції зовнішнього EEPROM,

схеми годинника та USB-резисторів у пристрій. FT232RNQ додає дві нові функції порівняно зі своїми попередниками, що фактично робить його чіпом 3-в-1 для деяких сфер застосування (Рис.7.). Внутрішньо згенерований тактовий сигнал (6 МГц, 12 МГц, 24 МГц і 48 МГц) можна вивести з пристрою та використовувати для управління мікроконтролером або зовнішньою логікою. Унікальний номер (FTDIDChip-ID™) записується в пристрій під час виробництва та зчитується через USB, таким чином формуючи основу захисного ключа, який можна використовувати для захисту прикладного програмного забезпечення клієнта від пошкодження. Перетворювачі RS485, модернізація застарілих периферійних пристроїв до USB, промислове керування USB, інтерфейс MP3-плеєра USB, інтерфейс ПК-USB телеприставки. Тобто виходячи з цього ми маємо:

- Однокристальний інтерфейс USB для асинхронної послідовної передачі даних, нові налаштовані контакти введення/виведення CBUS
- Повністю підтримуване апаратне забезпечення або програмне забезпечення X-On / X-Off встановлення зв'язку, новий USB FTDIDChip-ID™
- Передача та прийом сигналів світлодіодного приводу, буфери прийому та передачі FIFO для високої пропускної здатності даних.
- 256-байтний буфер прийому та 128-байтний буфер передачі з використанням технології згладжування буфера.
- Регульований тайм-аут буфера отримання, підтримка призупинення/відновлення USB.
- Пристрій поставляється з попередньо запрограмованим унікальним серійним номером USB, низьке споживання пропускної здатності USB.
- Підтримка конфігурацій USB із живленням від шини, автономним живленням і високої потужності.
- Інтегрований перетворювач рівня 3,3 В для входів/виходів USB, резисторів USB і схеми скидання живлення.

					<i>КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ</i>	26
Зм	Арк	№ докум	підпис	дата		Арк.

програмований USART, байт-орієнтований 2-провідний послідовний інтерфейс, послідовний порт SPI, 6-канальний 10-розрядний аналого-цифровий перетворювач (8 каналів у пакетах TQFP та QFN/MLF), програмований сторожовий таймер із внутрішнім генератором і п'ять режимів енергозбереження, які можна вибрати програмно. Прилад працює в межах 1,8-5,5 вольт. [7] (Рис.8.)

- Сімейство 8-розрядних мікроконтролерів AVR® з високою продуктивністю та низьким енергоспоживанням
- Розширена архітектура RISC
- Сегменти енергонезалежної пам'яті високої витривалості
- Підтримка бібліотеки Atmel® QTouch®
- Периферійні особливості
- Спеціальні функції мікроконтролера

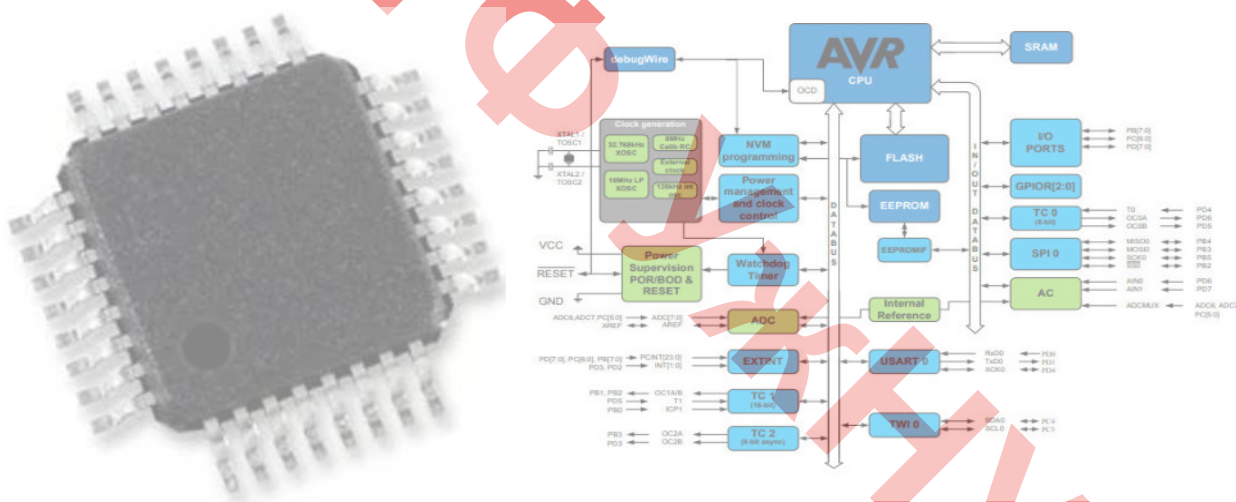


Рис. 8. Зовнішній вигляд та топологія ATmega328P-AU

4.5. Розрахунок надійності вибраних компонентів

Зазвичай якісною властивістю приладів є надійність, фізичними методами важко відслідити, можливо тільки теоретично розрахувати.

.Надійністю виражається спроможність пристрою працювати безвідмовно на протязі довгого часу, без зміни параметрів, які впливають на працездатність пристрою, якщо ж якийсь з параметрів виходить за рамки, це може призвести до порушення працездатності пристрою. Надійність характеризується великою кількістю показників, які діляться на чотири групи: -параметри довговічності; -параметри безвідмовності; -параметри збереження; -параметри ремонтпридатності. Довговічність – властивість виробу зберігати працездатність до настання періоду фізичного спрацювання при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту. Безвідмовність – властивість безперервно зберігати працездатність на протязі певного часу чи певного напрацювання. Збереження – властивість безперервно зберігати працездатний стан впродовж і після зберігання і транспортування. Ремонтпридатність – властивість, яка міститься в пристосуванні до попередження і виникнення відмов, пошкоджень та усунення їх наслідків шляхом проведення ремонтів і технічного обслуговування. При проведенні наближеної оцінки надійності апаратури рекомендується використовувати усереднені значення експлуатаційної інтенсивності відмови основних груп виробів (λ_e), приведені у спеціальному розділі довідника [13]. Ці значення розраховані для чотирнадцяти груп апаратури по ГОСТ В 20.39.304-76 або ГОСТ В 20.39.304-98 при температурі оточуючого середовища в апаратурі у відповідності із даними довідника.

У таблиці (Табл. 6) наведені усереднені значення експлуатаційної інтенсивності відмови груп виробів які входять у схему даного пристрою порашовані для температури 30° С.

					<i>КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ</i>	29
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>підпис</i>	<i>дата</i>		<i>Арк.</i>

Позиційне познач.	Найменування	Кількість	λ , 10 ⁻⁶
Мікросхеми інтегральні			
U2	FT232RQ	1	0,8
U3	ATmega328P	1	0,8
U4	DRV8834RGER	1	1.1
Індикатори світлодіодні			
U1	SSL-LX3059IGW	1	0,4
Резистори змінні, метало-оксидні			
R10	PVG3A103C01R00	1	0,2
Резистори постійні.			
R1 – R9, R11-R13	ERJ3EKF1001V	12	1,08
Конденсатори керамічні			
C2,C5,C6,C8- C14	CGA3E2X7R1E104K080AA	10	0,8
Конденсатори танталові			
C1,C4,C14	TAJR106M006RNJ	3	1,5
Діодні збірки			
Конденсатор електролітичний			
C7	6SVP47M	1	0,05
Кварцевий резонатор			
Y1	CSTNE16M0V53000R0	1	0.2
Фільтр			
Li	BLM21PG221SN1D	1	0.3
Всього, Σ , 10 ⁻⁶ 1/Год.			6.75
Напрацювання на відмову, год			148148,1

Таблиця 6. усереднені значення експлуатаційної інтенсивності відмови

					<i>КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ</i>	30
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>підпис</i>	<i>дата</i>		<i>Арк.</i>

ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної роботи було розроблено, змодельовано та дослідно реалізовано пристрій для керування кроковим двигуном на базі мікроконтролера ATmega328P з використанням драйвера DRV8834 та інтерфейсу USB-UART на основі мікросхеми FT232RNQ. Рішення орієнтоване на задачі високоточного керування у лабораторному обладнанні, зокрема в автоматизованих оптичних приладах, таких як спектрофотометри та хроматографи.

У процесі роботи було виконано:

- огляд типових методів і схем керування кроковими двигунами;
- аналіз існуючих мікросхем-драйверів і вибір оптимального рішення за критеріями енергоефективності, простоти інтеграції та можливостей мікрокрокування;
- синтез структурної та електричної принципової схеми системи керування;
- розрахунок елементної бази й оцінка надійності пристрою.

Особливу увагу приділено компактності плати, екологічності виготовлення (безсвинцевий припій, лакове покриття), захисту інтерфейсів USB, а також витримуванню електромагнітної сумісності. Визначено, що напрацювання на відмову пристрою перевищує 148 тисяч годин, що свідчить про високу надійність рішення.

Отримані результати можуть бути основою для подальшого розвитку систем точного керування, зокрема для розширення функціональності через зворотний зв'язок, використання більш продуктивних МК, або інтеграцію в системи ЧПУ з інтерфейсами нового покоління.

					<i>КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ</i>	31
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>підпис</i>	<i>дата</i>		<i>Арк.</i>

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. [Електронний ресурс]–Режим доступу:
<http://edu.asu.in.ua/mod/book/tool/print/index.php?id=16#ch11>
2. Книга: Електричні ланцюги II - змінний струм (Kuphaldt) · Tony R. Kuphaldt
3. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими ліній ТЗЗ них електричних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами : підручник / Ю. О. Карпов, С. Ш. Кацев, Ю. Г. Ведміцький; за ред. проф. Ю. О. Карпова. – Херсон : ОЛДІПЛЮС, 2014. – 377 с.
4. Двигуни для моделістів. Меттью Скарпино, 2018. - 432с.
5. [Електронний ресурс]–Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod527-draiver-shagovogo-dvigatelya-drv8834-ot-pololu>.
6. Матвієнко М.П. Основи електротехніки. Підручник. Вид. 2-ге перероб. і доп. – К,:Видавництво Ліра-К, 2018.- 228с
7. [Електронний ресурс]–Режим доступу:
https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/atmega328p-au_29080.html
8. [Електронний ресурс]–Режим доступу:
https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/ClassII_070726.pdf
9. [Електронний ресурс]–Режим доступу:
<https://radiokey.com.ua/ua/p1035837861-kondensatory-820.html>
10. [Електронний ресурс]–Режим доступу:
<https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/blm21pg221sn1.pdf>
11. [Електронний ресурс]–Режим доступу:
https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/270-ohm-1-0-1w-50v-0603-erj3ekf2700v-panasonic-rezistor-smd_98952.html
12. [Електронний ресурс]–Режим доступу:
<https://www.tme.eu/Document/09f78d123800ead38f5f5dba30413976/SSL-LX3059IGW.pdf>
13. Довідник надійності електровиробів 2004р.-581с

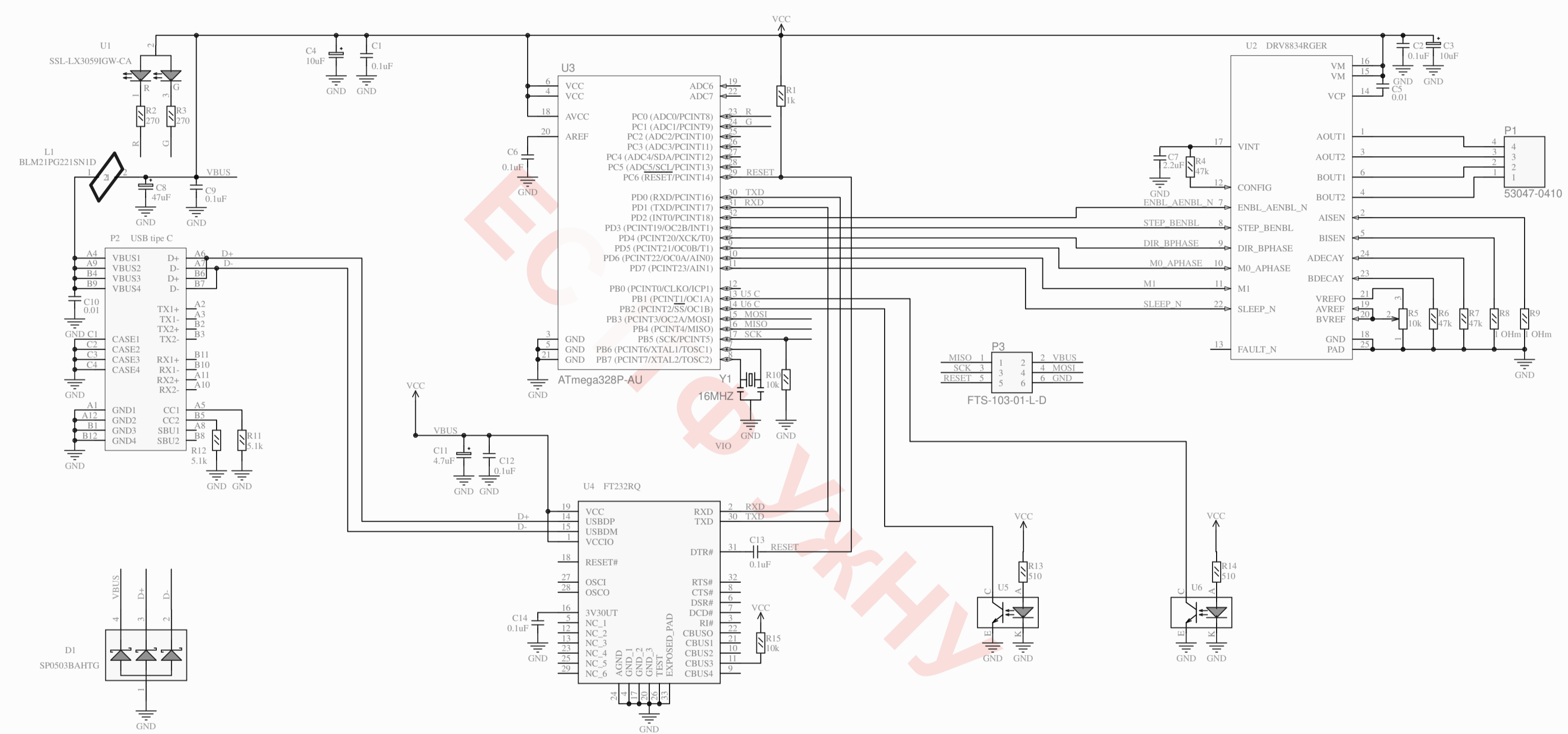
					<i>КРБ.ЕС. 9469617.001.ПЗ</i>	32
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>підпис</i>	<i>дата</i>		<i>Арк.</i>

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
<u>Конденсатори</u>			
C1, C8, C11, C15, C16, C19, C20	CAP CER 4.7UF 16 V X5R 0402	7	Murata GRM155R60J475ME47
C2, C10, C12, C13, C17, C21	TDK 100nF MLCC 25V ±10% 0603	6	TDK CGA3E2X7R1E104K080A
C3, C4, C5, C6	CAP TANT 10UF 6.3V 0805	4	Vishay TAJR106M006RNJ
C7	CAP CER 1.5nF 6.3V 0402	1	Murata GRM155R60J475ME47D
C9	CAP TANT Solid 47uF 6.3V	1	KEMET T525B476M006ATE080
C14	CAP CER 0.01uF 50V X7R 0603	1	Samsung CL10B103KB8NCNC
C18	CAP TANT 10UF 6V 0805	1	Vishay TAJR106M006RNJ
<u>Діоди</u>			
D1, D4	Schottky Rectifier	2	
D2, D3	1N4007	2	
D5	ESD Suppressor TVS 5.5V SOT-143	1	Littelfuse SP0503BAHTG
<u>Мікросхеми</u>			
IC1	LT3845IFE#PBF	1	Analog Devices
IC2	LTC4000EUFD-1#PBF	1	Analog Devices
IC3	ESP32-WROOM-32UE-N8	1	Espressif
IC4	LM1117IMP-3.3_NOPB	1	Texas Instruments
U1	FT232RQ-REEL	1	FTDI
<u>Дроселі</u>			
L1	Inducto 1mH	1	Coilcraft
L2	Ferrite Beads 220Ohm 0805	1	Murata BLM21PG221SN1D

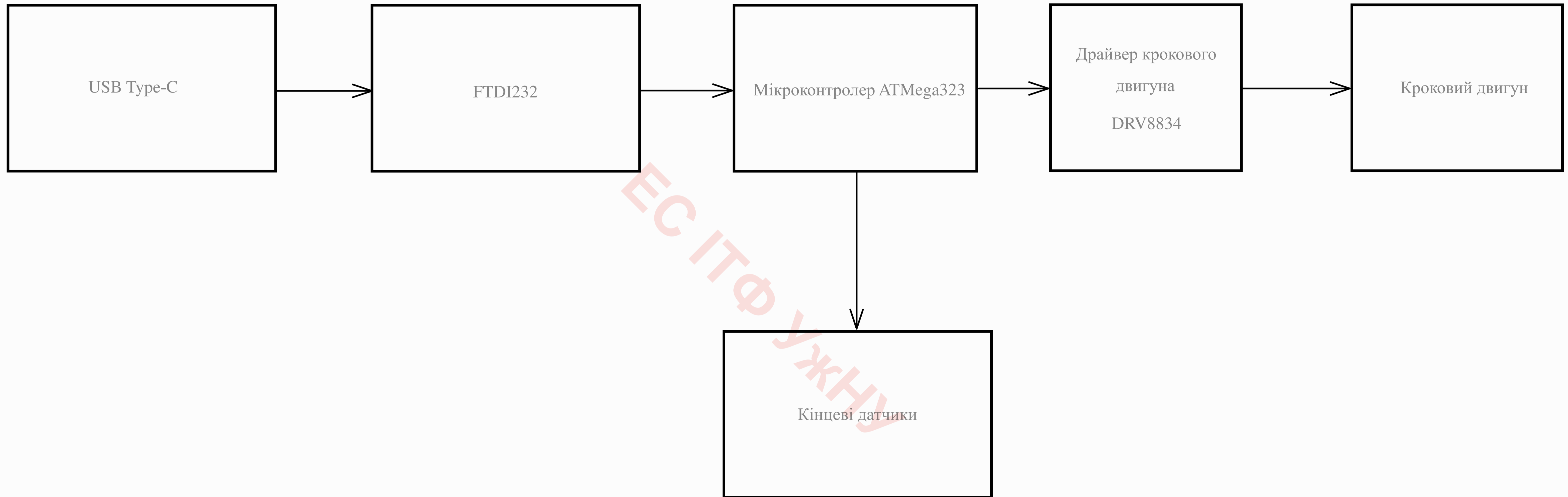
КРБ.ЕС. 9469617.001. ПЕ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Демко Ю. О.	<i>[Signature]</i>		У	1	1
Перевірів		Панн О.В.	<i>[Signature]</i>		УжНУ. ІТФ. зр. ЕС		
Т.контр					2 курс		
Н/Контр.		Панн О.В.	<i>[Signature]</i>				
Затвердив		Заяць Т.М.	<i>[Signature]</i>	20.09			

Пристрій керування кроковим двигуном на базі мікроконтролера.
Перелік елементів



						КРБ.ЕС. 9469617 001 Е3		
Лист	Арх.	№ док-м.	Підпис	Дата	Прістрій керування кроковим двигуном базі мікроконтролера.			
Розробив	Демко Ю.О.				Літера	Масштаб	Масштаб	
Перевірив	Павл О.В.				Н		1:1	
						Схема електрична принципова		
П. Кооп.	Павл О.В.					УжНУ, ІТФ, курс 4		
Литература	Зелені Т.М.					гр. ЕС		



ЕС ІТФ УЖНУ

					<i>КРБ.ЕС. 9469617 001 E1</i>		
№	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Пристрій керування кроковим двигуном бази мікроконтролера. Схема електрична структурна		
Розробив	Листо Ю.О.						
Перевірив	Листо О.В.				Листів	Архивів	
					УЖНУ, ІТФ, курс 4		
Н. Кошар	Листо О.В.				гр. ЕС		
Затвердив	Закор Т.М.						

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ

к.ф.-м.н. доц. Заяць Тарас Михайлович

Студента (-ки) 4-20 курсу
спеціальності 171 Електроніка
Демко Юрій Олександрович
(прізвище, ініціали)

ЗАЯВА

щодо самостійного виконання
навчальної/кваліфікаційної роботи здобувачем освіти

Я, Демко Юрій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові),


Студент(-ка) Демка, Інженерно-технічний факультет, 4-й курс
(форма навчання, факультет, курс)

заявляю: моя письмова робота на тему: Пристрій керування кроковим
двигуном на базі мікроконтролера

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату.

Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше робіт мають відповідні посилання. Я ознайомлений(а) з діючим Положенням, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску навчальної/кваліфікаційної роботи до захисту та притягнення до академічної відповідальності.

23.06.2015
Дата


Підпис

Додаток 2.

ДОВІДКА

про результати перевірки на унікальність
кваліфікаційної, навчальної (курсової) роботи

Автор роботи	Дешко Юрій Олександрович
Назва роботи	Примери керування кроковими двигунами на базі мікроконтролера
Спеціальність	171 Електроніка
Курс	4
Факультет	Інженерно - технічний
Кафедра	Електроніка систем
Керівник роботи	Панько Олександр Вікторович
Роботу перевірено в програмі	Unicheck
Додано до бази даних	
Ідентифікаційний номер роботи	
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ	996/e
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	

Відповідальна особа/
Науковий керівник роботи

Панько Олександр Вікторович
(прізвище, ініціали)

23.06.2025

Дата



Підпис



Автентифіковано засобом перевірки на плагіат ANTIPLA
Дата видачі: понеділок, 23 червня 2025, 10:38
Доступно через www.antip.la

Плагіатограма

Результат (відсоток плагіату)	1%
Назва документу	Демко-антипла.docx
Кількість символів	8,415
Кількість спеціальних символів	28
Кількість слів	1,060
Унікальна кількість слів	726
Кількість речень	89
Найпоширеніші слова	для, з, та, і, USB
Найдовше слово	призупинення/відновлення
Середня довжина слова	6.9
Середня кількість слів у реченні	11.9
Всього посилань	0
Кількість слів із плагіатом	7

23.06.2025

(дата)

Alex Papp

(перевірив)