

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

Жуковська Іветта Анатоліївна

Мікропроцесорна система керування фрезерним верстатом

Спеціальність 171 Електроніка

Освітня програма Електронні системи

Кваліфікаційна робота

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

Науковий керівник:

Зяць Тарас Михайлович

к.ф.-м.н., доцент

Регистрація _____
(номер)

« ____ » _____ 2026 р. _____ Тетяна СЕМАК
(підпис)

Кваліфікаційна робота допущена до захисту

Завідувач кафедри

_____ Тарас ЗАЯЦЬ
(підпис)

к.ф.-м.н., доцент

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

_____ (підпис)

_____ Леонід СУСЛІКОВ
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

_____ д.ф.-м.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедри ЕС ІТФ УжНУ,
доц. _____ (Заяць Т.М.)
" ____ " _____ 2026 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

На кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему:

МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ФРЕЗЕРНИМ ВЕРСТАТОМ

Студентки групи ЕС: Іветти ЖУКОВСЬКОЇ

Керівник: к.ф.-м.н., доцент

Тарас ЗАЯЦЬ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедри ЕС ІТФ УжНУ,
доц. _____ (Заяць Т.М.)
" ___ " _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну бакалаврську роботу
студентці Жуковській Іветті Анатоліївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: “Мікропроцесорна система керування фрезерним верстатом”.

Затверджені Розпорядженням декана ІТФ від " ___ " _____ 20__ року № ___

2. Термін закінчення студентом бакалаврської кваліфікаційної роботи:

20 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до бакалаврської роботи.

Провести пошук аналогів схем технічних рішень мікропроцесорної системи керування фрезерним верстатом. Проаналізувати переваги та недоліки різних аналогів об'єкту дослідження. Розробити технічну пропозицію із наступними параметрами: Живлення 12 В; струм споживання до 12 А. Кількість осей керування: 3 (X, Y, Z). Тип приводів лінійних переміщень: крокові двигуни NEMA 23. Точність позиціонування: не менше 0.05 мм. Шпиндель: 0,8 кВт з повітряним охолодженням. Інтерфейс керування: USB для зв'язку з ПК або автономний дисплей. Підтримка G-коду. Функція безпеки: аварійна зупинка.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці).

Вступ.

1. Огляд та аналіз аналогів об'єкту проектування.

2. Проектно – конструкторський розділ.

Висновки.

Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Структурна схема.

2. Принципова електрична схема.

6. Консультанти розділів роботи.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1,2		Доц. Заяць Т.М.	Жуковська І.А.
Н. контроль	Папп О.В.		

7. Дата видачі завдання " " 2025 року.

Керівник роботи _____ Заяць Т.М.
(підпис)

Завдання прийняла на виконання _____ Жуковська І.А.
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання КБР	Термін виконання етапів	Примітки
1	Пошук та аналіз аналогів об'єкта досліджень.	до 20.12.2025 року	
2	Огляду та аналіз аналогів.	до 20.02.2026 року	
3	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції.	до 20.03.2026 року	
4	Синтез структурної та принципової схем, їх розрахунок.	до 20.04.2026 року	
5	Виготовлення конструкторської документації.	до 20.05.2026 року	
6	Оформлення кваліфікаційної бакалаврської роботи.	до 10.06.2026 року	
7	Захист на державній екзаменаційній комісії.	Згідно з графіком захисту	

Студент _____ (І.А. Жуковська)
(підпис)

Керівник роботи _____ (доц. Т.М. Заяць)
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра містить: 52 сторінки, 33 рисунки, 3 таблиці, 3 додатки, 16 джерел посилань.

Сучасний етап розвитку машинобудування та приладобудування характеризується масштабною автоматизацією виробничих процесів на базі верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Розробка та впровадження локальних мікропроцесорних систем керування для малогабаритних або спеціалізованих фрезерних верстатів є актуальним.

Об'єкт дослідження – процеси автоматизованого цифрового керування виконавчими механізмами та приводами лінійних переміщень настільного фрезерного обладнання.

Мета роботи – проектування та дослідження ефективної, заводостійкої мікропроцесорної системи керування трьохосьовим фрезерним верстатом із високою точністю позиціонування та можливістю автономної або ПК-асоційованої роботи.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використано методи системного аналізу існуючих промислових та аматорських систем ЧПК, методи теорії автоматичного керування, методи схемотехнічного моделювання електронних систем, а також принципи модульного програмування мікропроцесорних пристроїв реального часу. (можливо в режимі реального часу)

У роботі проведено порівняльний аналіз сучасних апаратних контролерів руху та малогабаритних верстатів з ЧПК. На основі сформованого технічного завдання розроблено структуру та принципову електричну схему локального контролера керування.

Ключові слова:

МІКРОКОНТРОЛЕР, ЧИСЛОВЕ ПРОГРАМНЕ КЕРУВАННЯ (ЧПК), ФРЕЗЕРНИЙ ВЕРСТАТ, КРОКОВИЙ ДВИГУН, G-КОД, СХЕМОТЕХНІКА, ІНТЕРФЕЙС USB, АВАРІЙНА ЗУПИНКА.

ABSTRACT

The explanatory note of the bachelor's qualification work contains: 52 pages, 33 figures, 3 tables, 3 appendices, 16 sources of references.

The modern stage of development of mechanical engineering and instrument-making is characterized by large-scale automation of production processes based on numerically controlled (NC) machines. The development and implementation of local microprocessor control systems for small-sized or specialized milling machines is relevant.

The object of research is the processes of automated digital control of actuators and drives of linear movements of desktop milling equipment.

The purpose of the work is to design and study an effective, noise-resistant microprocessor control system for a three-axis milling machine with high positioning accuracy and the possibility of autonomous or PC-associated operation.

Research methods. To achieve the goal, the methods of system analysis of existing industrial and amateur CNC systems, methods of automatic control theory, methods of circuit modeling of electronic systems, as well as the principles of modular programming of real-time microprocessor devices were used. (possibly in real-time mode)

The work carried out a comparative analysis of modern hardware motion controllers and small-sized CNC machine tools. Based on the formed technical task, the structure and the main electrical diagram of the local control controller were developed.

Keywords:

MICROCONTROLLER, NUMERICAL PROGRAMMING CONTROL (NCC), MILLING MACHINE, STEPPER MOTOR, G-CODE, SCHEMATICS, USB INTERFACE, EMERGENCY STOP.

Зміст

ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ АНАЛОГІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	10
1.1. Мікропроцесорна система керування тривісним фрезерним верстатом на базі контролера Motorola 68HC12	10
1.2. Огляд сучасних промислових та аматорських систем керування ЧПК	13
1.3. Огляд настільних та малогабаритних фрезерних верстатів з ЧПК	20
1.4. Постановка задачі на проектування	25
2. ПРОЄКТНО - КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	27
2.1. Розробка структурної схеми системи керування	27
2.2 Апаратне забезпечення системи керування	32
2.3 Розробка принципової схеми системи керування	39
2.4 Розрахунки елементів для системи керування	44
ВИСНОВКИ.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	48
ДОДАТКИ.....	50

КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Мікропроцесорна система керування фрезерним верстатом Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Жуковська І.А				У	7	52
Перевірив		Заяць Т.М						
Т. контр.								
Н.Контр.		Папш О.В.						
Затв.		Заяць Т.М						
						УжНУ, ІТФ, 4 курс Група ЕС		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЧПК – числове програмне керування

ПК – персональний комп'ютер

USB – Universal Serial Bus це універсальний стандарт для підключення пристроїв, передачі даних і живлення

кВт – кіловат

G-код – є загальною назвою для найбільш широко використовуваної мови програмування числовим програмним керуванням, яка має багато реалізацій

кГц – кілогерц

Ethernet — це популярний у світі стандарт провідних комп'ютерних мереж

ДП — друкована плата

МК — мікроконтролер

КД — кроковий двигун

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Сучасний етап розвитку машинобудування та металообробки характеризується масштабною автоматизацією виробничих процесів, де ключову роль відіграють верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Фрезерне обладнання є одним із найбільш затребуваних у цій галузі, оскільки дозволяє виконувати широкий спектр операцій із високою точністю. Розробка та впровадження локальних мікропроцесорних систем керування для малогабаритних або спеціалізованих фрезерних верстатів є актуальним науково-технічним завданням. Це дозволяє створювати гнучкі, енергоефективні та економічно доступні виробничі одиниці, адаптовані під конкретні технологічні вимоги.

Метою кваліфікаційної роботи є проектування та дослідження ефективної, завадостійкої мікропроцесорної системи керування трьохосьовим фрезерним верстатом із високою точністю позиціонування.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі завдання:

1. Порівняльний аналіз переваг та недоліків виявлених аналогів об'єкта дослідження з метою обґрунтування власного інженерного рішення.
2. Розробка технічної пропозиції та схемотехніки системи керування, яка задовольняє задані енергетичні параметри (напруга живлення 12 В, струм споживання до 12 А) та забезпечує керування шпинделем потужністю 0,8 кВт із повітряним охолодженням.
3. Проектування контуру керування лінійними переміщеннями по трьох осях (X, Y, Z) на базі крокових двигунів типу NEMA 23.
4. Реалізація інтерфейсу взаємодії USB-зв'язок з ПК із обов'язковою підтримкою стандартного технологічного мовного інтерфейсу (G-коду) та інтеграцією апаратної функції безпеки аварійна зупинка.

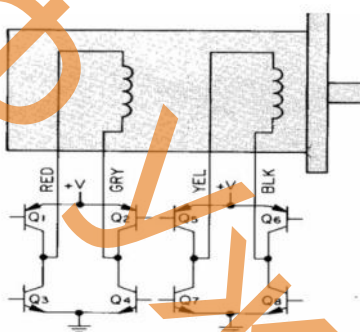
					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

1.1. Мікропроцесорна система керування тривісним фрезерним верстатом на базі контролера Motorola 68HC12

Першим розглянутим аналогом є система автоматизованого керування тривісним рухом настільного фрезерного верстата, побудована на базі 16-бітного мікроконтролера родини Motorola 68HC12 (модифікація MC68HC912B32). Дане рішення орієнтоване на забезпечення прецизійного переміщення інструменту по осях X, Y та Z [1].

Апаратна частина та привідна електроніка. Як виконавчі механізми в системі використано біполярні крокові двигуни з кутовим кроком $1,8^\circ$ (200 кроків на оберт). Для забезпечення роботи обмоток двигуна в режимі реверсивного руху реалізовано двополосну транзисторну схему Н-подібного приводу. Принцип підключення драйвера транзисторів до фаз біполярного крокового двигуна наведено на рисунку 1.1.



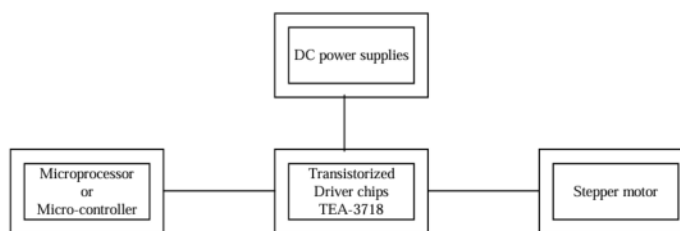
Рисунку 1.1. Принцип підключення драйвера транзисторів до фаз біполярного крокового двигуна

Комутація силових ключів для реалізації крокового режиму (за годинниковою стрілкою та проти неї) виконується шляхом подачі логічних сигналів у визначеній послідовності, що зведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Послідовність перемикання фаз для керування кроками.

STEP	Q1-Q4	Q2-Q3	Q5-Q8	Q6-Q7
1	ON	OFF	ON	OFF
2	ON	OFF	OFF	ON
3	OFF	ON	OFF	ON
4	OFF	ON	ON	OFF
1	ON	OFF	ON	OFF

Загальна структурна схема взаємодії мікропроцесорного ядра з силовими каскадами та механічною частиною представлена на рисунку 1.2.



Рисунку 1.2. Загальна структурна схема

Для підвищення надійності та компактності пристрою, замість дискретних транзисторних збірок, у системі застосовано спеціалізовані інтегральні мікросхеми драйверів TEA-3718. Схема інтеграції даних драйверів у загальну систему живлення та їх зв'язок із обмотками двигуна проілюстрована на рисунку 1.3.

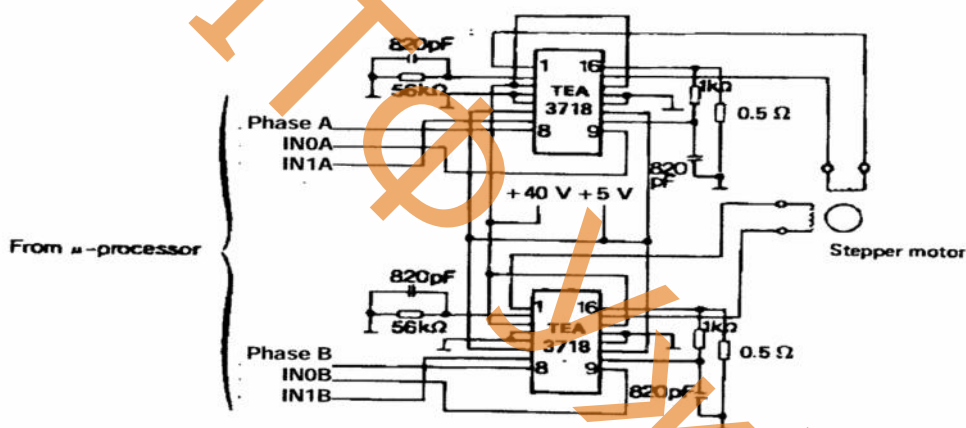
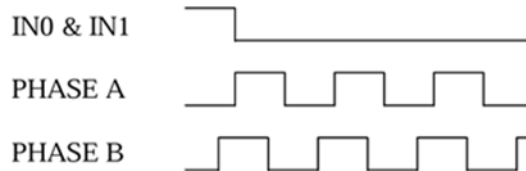


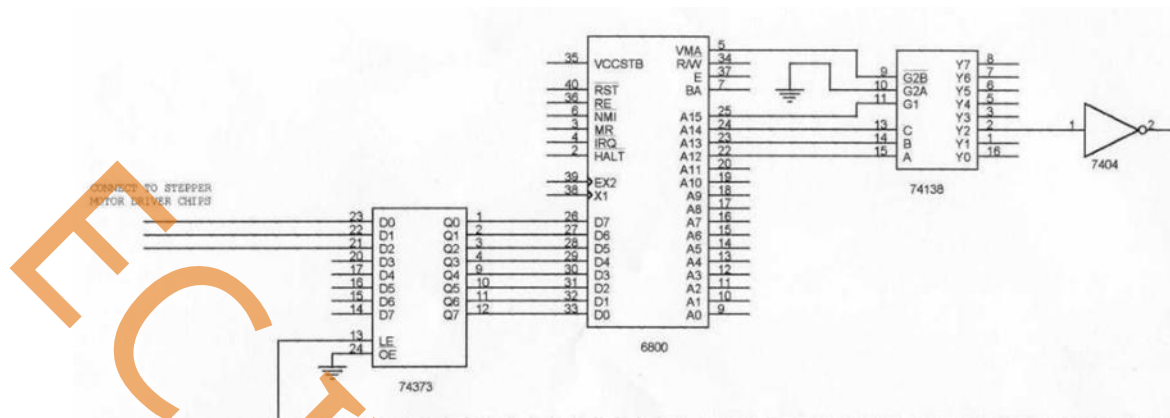
Рисунок 1.3. Схема з'єднань мікросхем драйвера [1]

Параметри інтерфейсу, що забезпечує спряження драйверів із шиною даних мікропроцесора, деталізовано в проектній документації (аналог таблиці 1.2).

Етапи розробки та програмно-апаратна реалізація. Процес проектування системи включав етап прототипування на базі 8-бітної архітектури (навчальна плата Heathkit 6800). На цьому етапі було відпрацьовано часові діаграми керування. Епюри сигналів шини даних, необхідні для формування кроків двигуна, зображені на рисунку 1.4, а базова схема підключення процесора 6800 до драйверів — на рисунку 1.5.



Рисунку 1.4. Епюри сигналів шини даних, необхідні для формування кроків двигуна



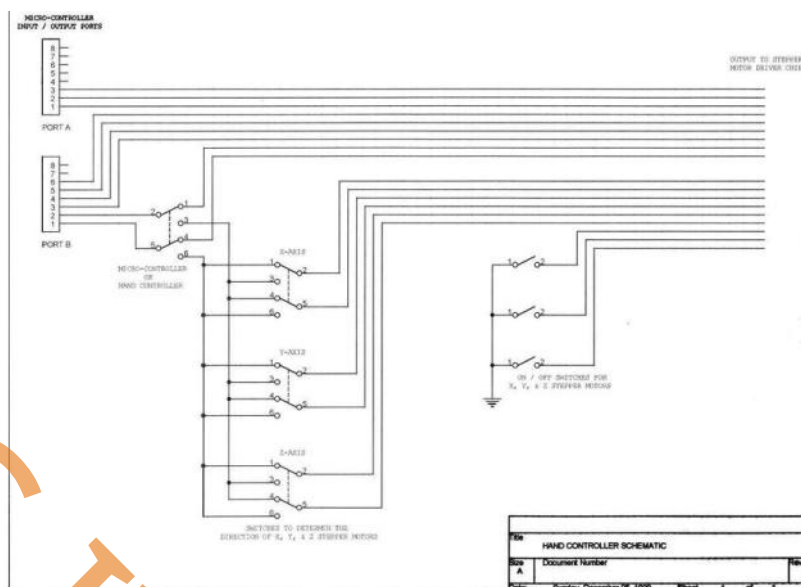
Рисунку 1.5. Базова схема підключення процесора 6800 до драйверів

Фінальна реалізація на базі контролера MC68HC912B32 дозволила використати переваги 16-бітної архітектури для паралельного обчислення координат та одночасного керування трьома осями верстата. Розподіл ресурсів портів введення-виведення для зв'язку з приводами наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Розподіл ресурсів портів введення-виведення для зв'язку з приводами

Port	Pin Number	Data Bus Bit
A	0	D ₀
A	1	D ₁
A	2	D ₂
A	3	D ₃
A	4	D ₄
A	5	D ₅
A	6	D ₆
A	7	D ₇
B	0	D ₈
B	1	D ₉
B	2	D ₁₀
B	3	D ₁₁
B	4	D ₁₂
B	5	D ₁₃
B	6	D ₁₄
B	7	D ₁₅

Крім автоматичного режиму, система передбачає можливість оперативного втручання через блок ручного керування. Схема апаратної реалізації пульта з перемикачами представлена на рисунку 1.6.



Рисунку 1.6. Схема апаратної реалізації пульта з перемикачами

Висновки за аналогом. Розглянута система забезпечує високу точність позиціонування (до 1/800 дюйма). До переваг слід віднести модульність конструкції та можливість розширення функціоналу. Основними напрямками модернізації такої системи є заміна вихідних каскадів на потужні MOSFET-транзистори для роботи з більшими струмами, а також впровадження зворотного зв'язку за допомогою енкодерів, що дозволить перетворити систему з розімкненої на замкнену (сервопривідну).

1.2. Огляд сучасних промислових та аматорських систем керування ЧПК

Контролер є центральним обчислювальним вузлом («мозком») будь-якого верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК), оскільки він забезпечує апаратний та програмний зв'язок між системою верхнього рівня та виконавчими механізмами. Загальний принцип роботи полягає в інтерпретації команд у форматі G-коду та формуванні відповідних керуючих сигналів для приводів осей. Промислові системи додатково використовують складні контури зворотного

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

зв'язку для постійного моніторингу та коригування швидкості й положення інструменту.

Широкого поширення серед систем керування набуло програмне забезпечення Mach3, яке забезпечує керування до 6 осей, підтримує функції автоматичного визначення інструменту, обробку сигналів з кінцевих вимикачів та генерацію аварійних сигналів, що робить його універсальним рішенням як для аматорських, так і для промислових проектів. На сучасному ринку представлено широкий спектр апаратних контролерів, які можна класифікувати на автономні системи та контролери, що потребують підключення до ПК.

Автономний 4-осьовий контролер руху DDCS V3.1. DDCS V3.1 — це пристрій автономного керування рухом (не потребує підключення до ПК), здатний керувати 4 осями фрезерного або гравірувального верстата з частотою генерації імпульсів до 500 кГц. Пристрій побудований на базі операційної системи Linux (зовнішній вигляд наведено на рисунку 1.7).



Рисунку 1.7. Автономний 4-осьовий контролер руху DDCS V3.1 [2]

- Особливості: 5-дюймовий TFT-екран (480×272), 17 апаратних клавiш керування.
- Функціонал: підтримка метричної та дюймової систем, функції пробного різання, три режими налаштування інструменту (плаваюче, з фіксованим положенням, кутове).

Плата керування рухом WiXHC USB/Ethernet (Mach3). Цей пристрій орієнтований на глибоку інтеграцію з програмним забезпеченням Mach3 та

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

підключається до ПК через інтерфейс USB або Ethernet. Система забезпечує стабільну генерацію крокових імпульсів з частотою до 2 МГц (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8. Плата керування рухом WiXHC USB/Ethernet (Mach3) [2]

- Особливості: керування до 6 осей, підтримка серво- та крокових двигунів.
- Периферія: 16 ізолюваних входів та 8 виходів, висока стійкість до електромагнітних завад.

Контролер Ethernet SmoothStepper (ESS). ESS — це високопродуктивний контролер руху, розроблений для роботи з Mach3. Він підключається до ПК через Ethernet, що забезпечує високу надійність та швидкість передачі даних, мінімізуючи затримки порівняно з USB (рисунок 1.9).

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

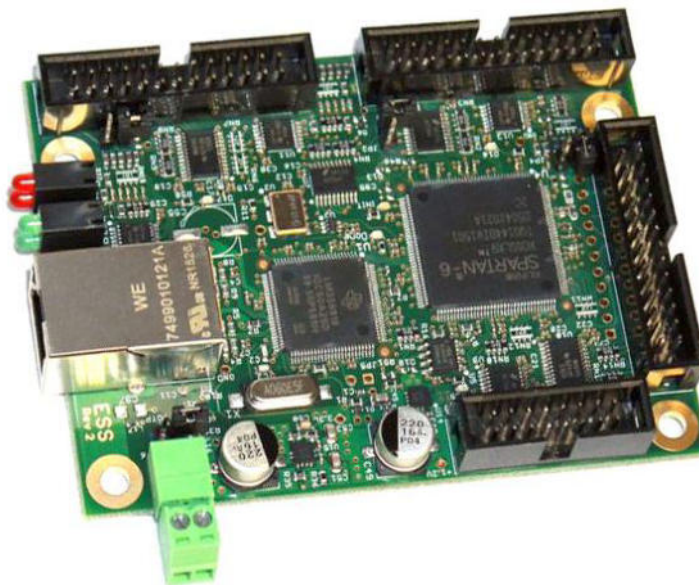


Рисунок 1.9. Контролер Ethernet SmoothStepper (ESS).

- Особливості: імітація трьох стандартних паралельних портів (LPT) для зворотної сумісності.
- Продуктивність: частота генерації імпульсів понад 4 МГц, що забезпечує надвисоку точність та плавність руху.

Система керування ЧПК XC609M. Багатофункціональна 32-бітна мікропроцесорна система керування, що підтримує багатозадачність у режимі реального часу та апаратну інтерполяцію (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10. Система керування ЧПК XC609M.

- Продуктивність: точність інтерполяції 0,001 мм, максимальна швидкість подачі до 12 м/хв.
- Особливості: 3,5-дюймовий дисплей, підтримка до 6 осей, можливість одночасного виконання 3 програм.

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Автономний 4/5-осьовий контролер DDCS-EXPERT. Потужна автономна система, що підтримує роботу зі шпинделями в декількох режимах та різними типами інструментальних магазинів (портального, дискового типу). Зовнішній вигляд представлено на рисунку 1.11.



Рисунку 1.11. Автономний 4/5-осьовий контролер DDCS-EXPERT.

- Особливості: 7-дюймовий дисплей, 40 кнопок керування.
- Функціонал: підтримка до 5 осей, відновлення роботи з точки зупинки (зокрема після збою живлення), підтримка стандартного G-коду.

Контролер руху NCH02. NCH02 є 5-осьовим автономним контролером, який зчитує керуючі програми (G-код) безпосередньо з USB-накопичувача. Система комплектується ручним генератором імпульсів (MPG) для зручного позиціонування (рисунок 1.12).

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рисунок 1.12. Контролер руху NCH02 [2]

- Особливості: 3,5-дюймовий TFT-екран, 19 клавiш користувача, наявність підвісного виносного пульта.

4-осьовий контролер TC5540H. TC5540H дозволяє керувати 4 осями та аналоговим шпинделем. Відрізняється наявністю енергонезалежної пам'яті для збереження поточних координат при знеструмленні (рисунок 1.13).



Рисунок 1.13. 4-осьовий контролер TC5540H.

- Продуктивність: цикл інтерполяції 2 мс. Частота вихідних імпульсів лінійної інтерполяції становить 400 кГц (350 кГц для чотиривісної), кругової — 300 кГц.

Спеціалізований контролер Fangling F2100B. На відміну від фрезерних контролерів, цифрова система F2100B (рисунок 1.14) розроблена спеціально для 2-осьових верстатів плазмового та газополум'яного різання.

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18



Рисунок 1.14. Спеціалізований контролер Fangling F2100B.

- Особливості: обчислювальне ядро на базі DSP, 7-дюймовий РК-екран.
- Специфіка: наявність спеціалізованих алгоритмів для контролю висоти пальника та потоку газу.

Контролер RichAuto DSP A11. Це 3-осьовий автономний пульт керування (DSP-контролер), що є модернізованою версією моделі 0501. Підключається до верстата через спеціальний інтерфейсний кабель і зчитує дані з USB-носіїв (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15. Контролер RichAuto DSP A11.

- Особливості: монохромний екран, висока стійкість до завад, захист паролем.
- Функціонал: підтримка мікрокрокового режиму, функція сигналізації про помилку шпинделя, відновлення роботи після збою живлення.

Автономний контролер SMC4-4-16A16B. Компактна 4-осьова автономна плата керування, що позиціонується як апаратна альтернатива ПК із Mach3 для базових гравірувальних задач (рисунок 1.16).



Рисунок 1.16. Автономний контролер SMC4-4-16A16B.

- Особливості: 16 входів та 16 виходів, інтегрований РК-дисплей.
- Обмеження: максимальна частота генерації імпульсів обмежена 50 кГц (одночасно для трьох осей). Відсутня функція збереження координат при відключенні живлення.

1.3. Огляд настільних та малогабаритних фрезерних верстатів з ЧПК

Настільні мікропроцесорні системи керування фрезерними верстатами знаходять широке застосування в прототипуванні, навчальних лабораторіях, ювелірній справі та дрібносерійному виробництві. Незважаючи на компактні розміри, сучасні настільні верстати володіють функціоналом, наближеним до промислових зразків.

При проектуванні та виборі настільних фрезерних систем з ЧПК враховують такі базові критерії:

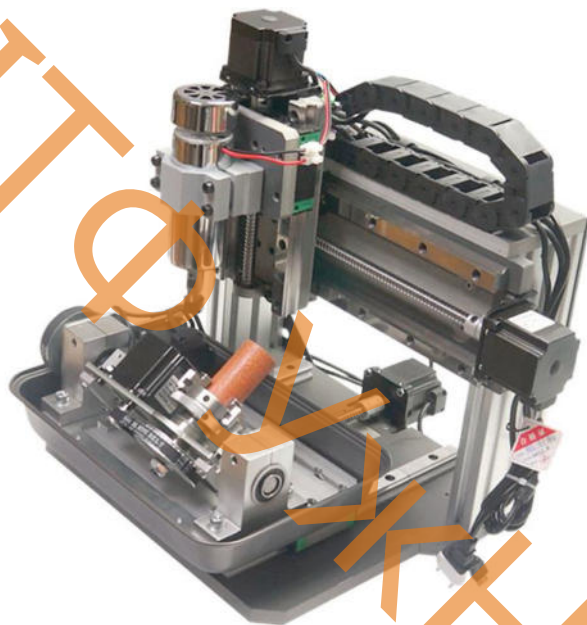
1. Програмно-апаратна сумісність (ергономічність): наявність інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу. Для невеликих верстатів найчастіше використовують програмне забезпечення Mach3 або системи на базі мікроконтролерів з прошивкою GRBL. Mach3 має перевагу завдяки ширшому функціоналу та вищій стабільності роботи.
2. Габарити робочої зони: визначають максимальні розміри заготовки.

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

3. Точність позиціонування: здатність системи забезпечувати жорсткі допуски при обробці.
4. Жорсткість конструкції: наявність литої алюмінієвої станини або лінійних напрямних, що визначає здатність верстата обробляти тверді матеріали (алюміній, латунь, сталь) без виникнення критичних вібрацій.

Нижче наведено аналіз типових представників ринку настільних верстатів з ЧПК.

Настільний фрезерний верстат Square Line Rail 3020 з лінійними напрямними. Компактний верстат, призначений для фрезерування, свердління та гравіювання металів, деревини та виготовлення друкованих плат (ДП). Зовнішній вигляд пристрою наведено на рисунку 1.17.



Рисунку 1.17. Настільний фрезерний верстат Square Line Rail 3020 з лінійними напрямними [3]

- Кінематика: підтримка 3-, 4- або 5-осьової обробки.
- Робоча зона (X×Y×Z): 300 × 200 × 100 мм.
- Шпиндель: потужність 500 Вт (патрон типу ER11).
- Особливості: підключення через USB-інтерфейс, повна сумісність із Mach3, використання напрямних квадратного перерізу для підвищення жорсткості.

Спеціалізований ювелірний верстат з ЧПК LY-40. Вузькоспеціалізована портативна система, розроблена переважно для ювелірної промисловості

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

(гравіювання на каблучках, браслетах, металевих жетонах тощо). Представлена на рисунку 1.18.



Рисунку 1.18. Спеціалізований ювелірний верстат з ЧПК LY-40.

- Робоча зона (X×Y×Z): 80 × 80 × 70 мм.
- Особливості: наявність спеціалізованого поворотного механізму для обробки внутрішніх та зовнішніх кілець, висока точність нанесення мікродруку та візерунків.

Автономний фрезерний верстат напівпромислового класу 6090. Верстат моделі 6090 (рисунок 1.19) позиціонується як рішення напівпромислового класу, адаптоване для використання в обмеженому просторі. Основна перевага системи — наявність автономного контролера, що дозволяє зчитувати G-код та виконувати керуючі програми без підключення до персонального комп'ютера.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ

Арк.

22



Рисунок 1.19. Автономний фрезерний верстат напівпромислового класу 6090

- Кінематика: 4-осьова система обробки.
- Шпиндель: потужність 2,2 кВт, що дозволяє виконувати силові операції з обробки сталі.
- Периферія: інтегровані кінцеві вимикачі для апаратного контролю меж переміщення.

Промисловий металообробний верстат 6040. Тривісна система зменшених габаритів (рисунок 1.20), конструктивно наближена до повноцінних промислових обробних центрів.



Рисунок 1.20. Промисловий металообробний верстат 6040 [3]

- Шпиндель: 2200 Вт.

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- Керування: комплектується ручним генератором імпульсів (маховиком/MPG пультами) для точного ручного позиціонування інструменту. Підходить для прецизійного фрезерування друкованих плат та металу.

Модульні комплекти для складання (DIY CNC) Окремим сегментом є платформи для самостійного збирання (форматів 3020, 3040 та 6040). Вони дозволяють проектувальнику самостійно обрати тип контролера (на базі GRBL або Mach3), крокові двигуни та драйвери.

- Механіка: для забезпечення високої стабільності та точності переміщень, замість звичайних трапецеїдальних гвинтів, у таких наборах застосовуються прецизійні кульково-гвинтові передачі (КГП) типу 1605.
- Модернізація: архітектура дозволяє поступово нарощувати конфігурацію до 4-х або 5-ти осей залежно від технологічних потреб.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У результаті проведення огляду та аналізу існуючих апаратно-програмних рішень мікропроцесорних систем керування фрезерними верстатами з ЧПК можна зробити наступні висновки:

1. Різноманітність рішень: На сучасному ринку представлена широка номенклатура контролерів руху, яка охоплює як базові плати для хобійних верстатів (з підключенням до ПК і керуванням через Mach3/GRBL), так і потужні багатоосьові автономні стійки керування з вбудованими DSP-процесорами та підтримкою промислових інтерфейсів.

2. Переваги аналогів: Сучасні системи здатні забезпечувати високу частоту генерації керуючих імпульсів (від 500 кГц до 4 МГц у системах на базі Ethernet SmoothStepper), що гарантує високу точність та плавність обробки. Більшість рішень підтримують стандартний G-код і мають розвинену периферію для підключення датчиків та шпинделів.

3. Недоліки аналогів: Аналіз показав, що бюджетні автономні системи (наприклад, SMC4-4-16A16B) мають суттєві обмеження: низьку граничну частоту імпульсів (до 50 кГц), відсутність енергонезалежної пам'яті для збереження

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

координат при збоях живлення та обмежену апаратну стійкість до завад. З іншого боку, промислові рішення (такі як DDCS-EXPERT) є економічно та габаритно надлишковими для застосування у настільних системах базового рівня.

4. Актуальність розробки: Враховуючи виявлені недоліки, розробка власного схемотехнічного рішення мікропроцесорної системи керування, яке б забезпечувало оптимальний баланс між вартістю, надійністю, функціональністю та точністю позиціонування для настільного верстата, є актуальною науково-інженерною задачею.

1.4. Постановка задачі на проектування

Метою даної роботи є розробка технічної пропозиції та схемотехнічного забезпечення мікропроцесорної системи керування тривісним настільним фрезерним верстатом з числовим програмним керуванням.

На основі проведеного аналізу аналогів та сформованого технічного завдання (ТЗ), об'єкт проектування повинен задовольняти наступним технічним і експлуатаційним вимогам:

- Кінематика та виконавчі механізми:
 - Кількість керованих осей: 3 (координати X, Y, Z).
 - Тип приводів лінійних переміщень: крокові двигуни стандарту NEMA23.
 - Забезпечення точності позиціонування робочого інструменту: не гірше 0,05 мм.
- Шпиндельний вузол: Система повинна забезпечувати керування шпинделем потужністю 0,8 кВт, що оснащений системою повітряного охолодження.
- Електричні параметри:
 - Напруга живлення логічної та силової частини: 12 В (постійного струму).
 - Максимальний сумарний струм споживання системи: до 12 А.
- Керування та інформаційна взаємодія:
 - Програмна сумісність: повна підтримка читання та виконання стандартного G-коду.

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

- Інтерфейс користувача: передбачити можливість підключення до персонального комп'ютера через інтерфейс USB та/або роботу в автономному режимі з використанням інтегрованого дисплея.
- Система безпеки:
 - Обов'язкова наявність апаратного контуру захисту з інтеграцією функції миттєвої аварійної зупинки механізмів (кнопка E-Stop) для запобігання пошкодженню верстата або травмуванню оператора.

Е С Т Т Ф У К У К Т У

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2 ПРОЄКТНО - КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розробка структурної схеми системи керування

На основі аналізу технічного завдання та існуючих аналогів об'єкта проектування, приступимо до обґрунтування структурної схеми.

Розроблена структурна схема відображає взаємодію основних апаратно-програмних вузлів мікропроцесорної системи керування фрезерним верстатом. Систему побудовано за модульним принципом із чітким розділенням логічної (слабкострумової) та силової частин.

Опис зв'язків між основними блоками схеми можна представити у вигляді наступної інформаційної та енергетичної взаємодії:

1. Рівень живлення (Енергетичний контур):

- Блок живлення (БЖ 12В, 12А) постачає силову напругу 12 В безпосередньо на Драйвери крокових двигунів (Драйвер X, Y, Z).
- Блок живлення (БЖ 12В, 12А) підключається до DC-DC перетворювача (12В у 5В).
- DC-DC перетворювач живить стабілізованою напругою 5 В Мікроконтролер (МК), Модуль USB-UART та Блок опторозв'язки.

Структурна схема енергетичного контуру рис. 2.1.

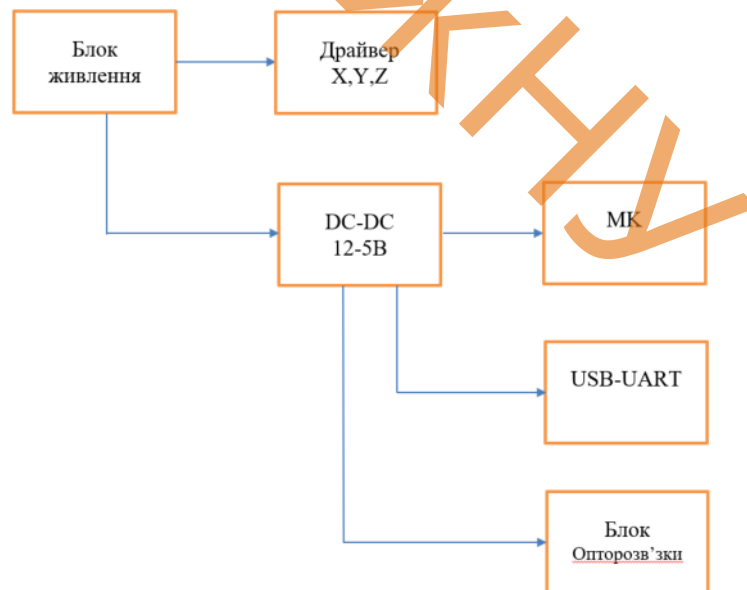


Рисунок 2.1. Структурна схема енергетичного контуру

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2. Рівень керування та інформаційної взаємодії (Логічний контур):

- Персональний комп'ютер (ПК) (двонаправлена шина USB) Модуль USB-UART (CH340G).
- Модуль USB-UART (шина UART: сигнали RX/TX) Мікроконтролер (ATmega328P).

Структурна схема логічного контуру рис. 2.2.



Рисунок 2.2. Структурна схема логічного контуру

3. Рівень виконавчих механізмів (Силовий контур):

- Мікроконтролер (МК) (сигнали STEP, DIR, ENABLE) Драйвери крокових двигунів (X, Y, Z).
- Драйвери крокових двигунів (X, Y, Z) (силові фазні струми) Крокові двигуни (КД NEMA 23: X, Y, Z).
- Мікроконтролер (МК) (сигнал ШІМ / цифровий пін) Блок керування шпинделем (Реле/SSR).
- Блок керування шпинделем (замикання силового кола) Шпиндель (0,8 кВт).

Структурна схема силового контуру рис. 2.3.

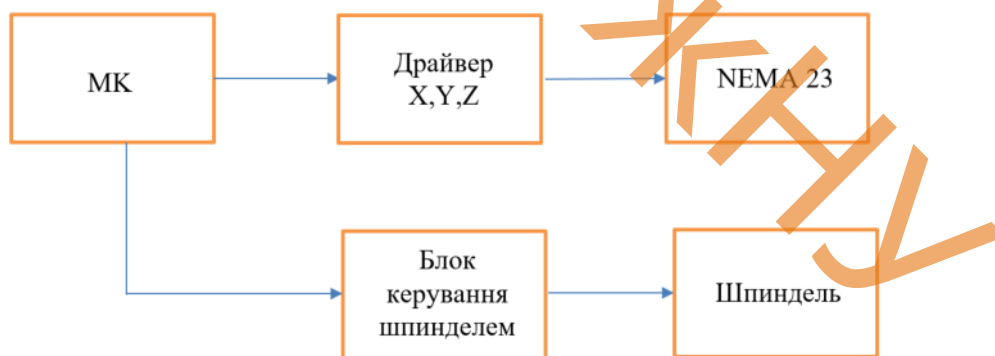


Рисунок 2.3. Структурна схема силового контуру

4. Рівень безпеки та зворотного зв'язку (Сенсорний контур):

- Кінцеві вимикачі (КВ X, Y, Z) та Кнопка аварійної зупинки (E-Stop) генерують сигнали спрацювання Блок опторозв'язки.
- Блок опторозв'язки (гальванічно ізольовані логічні сигнали) Мікроконтролер (МК).

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- Кнопка E-Stop (апаратне переривання) паралельно розриває ланцюг Блоку керування шпинделем для гарантованої зупинки обертання.

Структурна схема сенсорного контуру рис. 2.4.

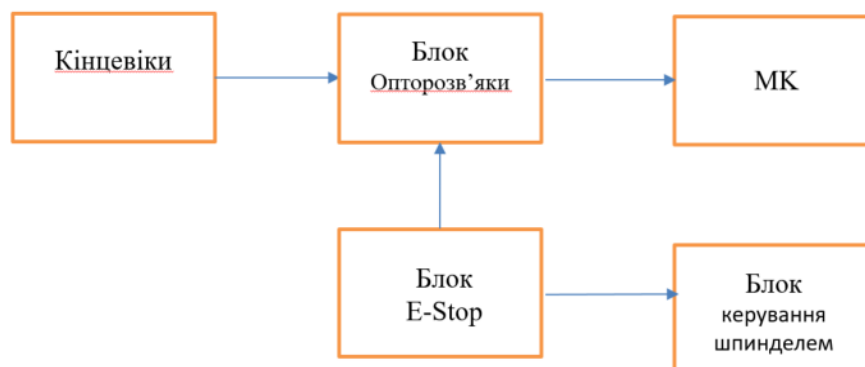


Рисунок 2.4. Структурна схема сенсорного контуру

Призначення основних блоків структурної схеми.

Персональний комп'ютер (ПК): Виконує роль пристрою верхнього рівня (HMI-інтерфейсу). На ПК працює програмне забезпечення (наприклад, Universal G-Code Sender), яке зчитує файл керуючої програми та покроково передає G-код у систему.

Модуль USB-UART: Виконує апаратну конвертацію диференціальних сигналів стандарту USB у послідовний асинхронний інтерфейс UART (рівні TTL 5В), зрозумілий мікроконтролеру.

Мікроконтролер (ATmega328P): Головний обчислювальний центр системи з мікропрограмним забезпеченням GRBL. Здійснює буферизацію команд, математичний розрахунок лінійної та кругової інтерполяції, генерацію часових імпульсів (Step/Dir) та моніторинг датчиків.

DC-DC перетворювач: Забезпечує високоефективне зниження напруги з 12 В до стабільних 5 В для живлення цифрової логіки, мінімізуючи теплові втрати порівняно з лінійними стабілізаторами.

Блок опторозв'язки: Забезпечує гальванічну ізоляцію між чутливими цифровими входами мікроконтролера та зовнішніми сенсорами (кінцевими вимикачами, E-Stop). Запобігає пошкодженню МК від індуктивних викидів та електромагнітних завад (ЕМЗ).

Драйвери крокових двигунів: Проміжні підсилювачі потужності (типу ТВ6600). Отримують слабкострумові логічні команди від МК та комутують

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

силову напругу (12 В) на обмотки двигунів NEMA 23, забезпечуючи заданий струм (до 3 А) та режим мікрокроку.

Блок керування шпинделем: Твердотільне або електромагнітне реле з транзисторним ключем, яке ізолює низьковольтну частину від силового живлення шпинделя (0,8 кВт) і дозволяє програмно керувати його вмиканням/вимиканням.

На підставі наведених окремих структурних схем блоків нашої мікропроцесорної системи розроблено структурну схему що враховує всі вимоги ТЗ (див рис. 2.5).

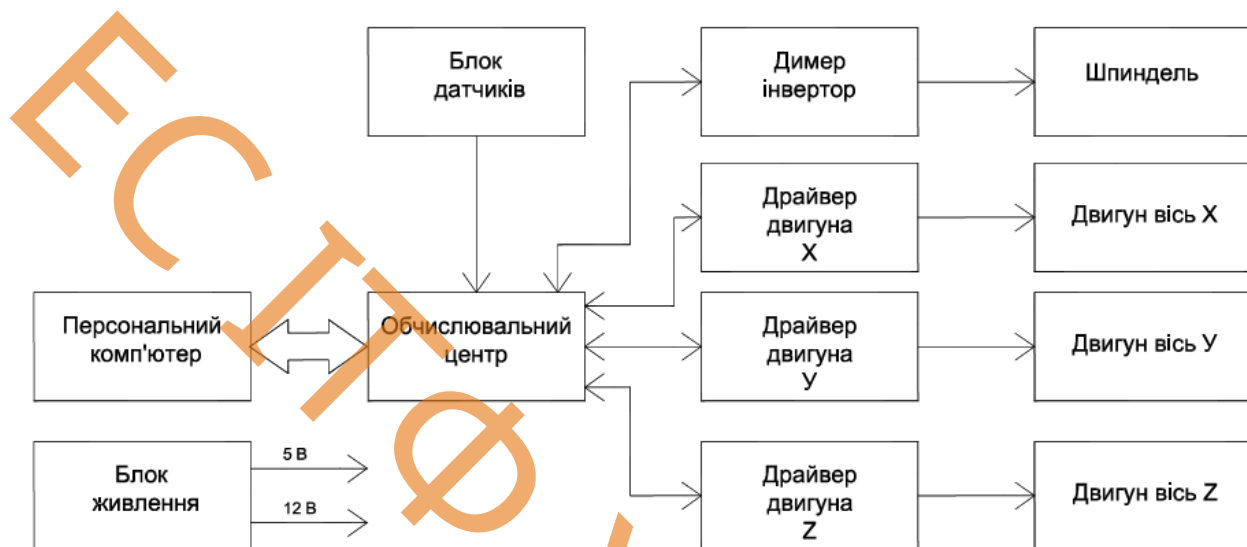


Рисунок 2.5. Схема електрична структурна

Власна схемотехнічна модель, створена на основі перевірених базових підходів, які модифіковано відповідно до вимог ТЗ.

Максимальна потужність нашого джерела живлення:

$$P = U * I = 12 * 12 = 144 \text{ Вт.}$$

У той же час шпиндель має потужність 0,8 кВт (800 Вт). Це означає, що від нашого 12-вольтового блоку живлення жити шпиндель фізично неможливо. Тому в нашій схемотехнічній пропозиції система керування на 12 В буде жити мікроконтролер та двигуни NEMA 23, а шпинделем ми будемо лише керувати (слабкострумовим сигналом через реле або ШІМ), тоді як сам шпиндель підключатиметься до власного силового окремого блоку живлення. Це абсолютно стандартна промислова практика.

Концептуальна схема: GRBL-сумісний контролер з опторозв'язкою. За основу пропоную взяти архітектуру на базі мікроконтролера, який підтримує відкрите мікропрограмне забезпечення GRBL. Це найпопулярніший у світі стандарт для настільних ЧПК, який закриває вимоги щодо USB-зв'язку та виконання G-коду.

1. Обчислювальне ядро та зв'язок. Мікроконтролер (МК): Можна використати ATmega328P. Вона ідеально підходять для обчислення траєкторій (інтерполяції). Інтерфейс USB: Реалізується через мікросхему-перетворювач інтерфейсів UART-USB, CH340G.

2. Силова частина керування приводами. Крокові двигуни NEMA 23: Ці двигуни зазвичай споживають 2.5–3 А на фазу. Популярні драйвери-мікросхеми типу A4988 або DRV8825 згорять або підуть у тепловий захист при таких струмах. Схемотехнічне рішення: Ми виводимо з мікроконтролера лише керуючі логічні сигнали: STEP (Крок), DIR (Напрямок) та ENABLE (Дозвіл). Ці сигнали подаються на зовнішні промислові драйвери типу TB6600. Вони чудово працюють від 12 В, витримують до 4 А та мають вбудовану опторозв'язку.

3. Керування шпинделем. Схемотехніка: Для керування 800-ватним шпинделем на платі передбачається транзисторний ключ польовий транзистор IRLML2502, який керує котушкою електромагнітного реле, або контактна колодка для підключення зовнішнього твердотільного реле (SSR). Це дозволить вмикати/вимикати шпиндель командами G-коду (M03 / M05).

4. Безпека та периферія. Кінцеві вимикачі (Limit Switches): Підключаються через RC-фільтри низьких частот і оптопар, PC817 до пінів мікроконтролера. Це захистить чутливий МК від електромагнітних завад, які генерують двигуни та шпиндель. Аварійна зупинка (E-Stop): Апаратна кнопка E-Stop проектується так, щоб вона одночасно виконувала дві дії:

1) Подавала апаратний сигнал Reset або Feed Hold на мікроконтролер.

2) Розривала ланцюг живлення реле шпинделя (для миттєвої зупинки обертання незалежно від зависання МК).

5. Підсистема живлення. Вхідні 12 В (від БЖ на 12 А) розгалужуються на силові клеми для драйверів TB6600. На самій платі встановлюється DC-DC

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

знижувальний перетворювач, на базі мікросхеми LM2596 для формування стабільних 5 В для живлення мікроконтролера та логіки.

2.2 Апаратне забезпечення системи керування

Arduino Uno

Arduino Uno — це апаратна обчислювальна платформа, яка служить "мозком" для електронних проектів (див. рис. 2.6 і 2.7). Вона зчитує дані з датчиків та керує виконавчими пристроями (світлодіодами, реле, двигунами).

Анатомія плати та ключові компоненти. Якщо ми поглянемо на плату, то побачимо кілька критично важливих вузлів:

Мікроконтролер ATmega328P: Це "серце" плати. 8-бітний чіп, який виконує завантажений тобою код. Він має:

Flash-пам'ять: 32 КБ (туди записується програма).

SRAM: 2 КБ (оперативна пам'ять для змінних).

EEPROM: 1 КБ (енергонезалежна пам'ять).

Тактова частота: 16 МГц.

Цифрові піни (Pins 0–13): Використовуються для цифрового введення/виведення (значення HIGH або LOW).

ШИМ (PWM): Піни 3, 5, 6, 9, 10, 11 (позначені значком ~). Вони вміють імітувати аналоговий вихід (наприклад, для плавного регулювання яскравості світлодіода чи швидкості мотора).

Аналогові входи (Pins A0–A5): Потрібні для зчитування плавних аналогових сигналів (від потенціометрів, датчиків світла тощо). Вбудований АЦП (аналогово-цифровий перетворювач) має розрядність 10 біт і перетворює напругу від 0 до 5V у цифрові значення від 0 до 1023.

Живлення: Плата може житися від USB-порту (5V) або через круглий роз'єм DC (рекомендовано 7–12V). На платі є виходи живлення для датчиків: 5 V, 3.3 V та заземлення GND.3. Технічні характеристики Arduino Uno табл. 2.1.

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

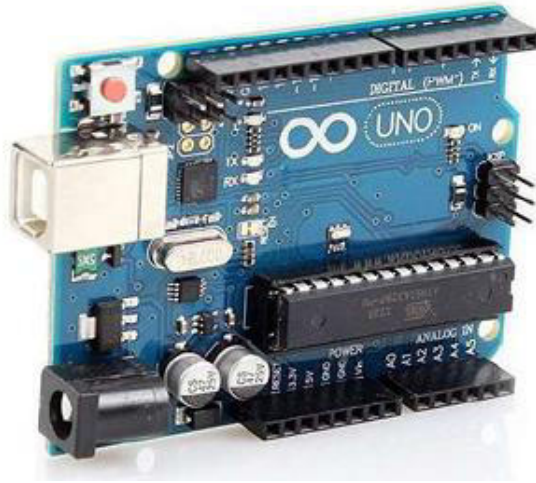


Рисунок 2.6. Зовнішній вид Arduino Uno

Таблиця 2.1. Технічні характеристики Arduino Uno

Параметр	Значення
Робоча напруга	5 В
Вхідна напруга (рекомендована)	7–12 В
Цифрові входи/виходи	14 (з яких 6 забезпечують ШІМ/PWM)
Аналогові входи	6
Постійний струм через вхід/вихід	20 мА (максимум 40 мА)

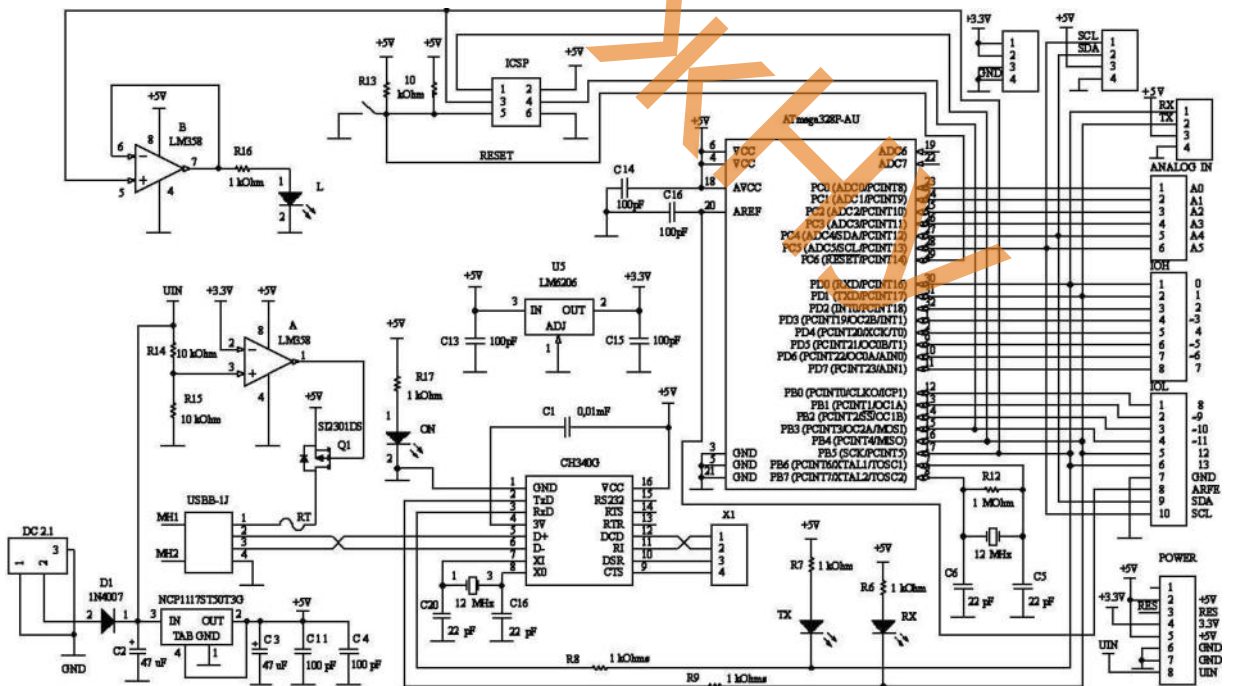


Рисунок 2.7. Схема електрична принципова Arduino Uno [4]

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ

Арк.

33

Як видно із приведеної принципової схеми на платформі реалізовано комутацію із ПК за допомогою UART-USB, на базі чипу CH340G.

Кроковий двигун Nema 23

Кроковий двигун Maker Store High Torque NEMA23 – чудовий вибір для будь-якого проекту, який потребує більшої потужності та міцності. З крутним моментом утримання 2,45 Нм він є чудовим доповненням для великих машин, що потребують більшого крутного моменту (див рис.2.8).

Поєднайте їх із джерелом живлення Meanwell 24 В постійного струму для кращої точності, швидкості та крутного моменту.

Усі крокові двигуни Nema23 тепер оснащені роз'ємом EDG 4P для легкого підключення та роботи.

З повністю чорним корпусом ці двигуни також виглядають фантастично!

Специфікація:

- Кут кроку: $1,8^\circ$
- Номінальний струм: 3,0 А постійного струму
- Номінальна напруга: 3,6 В
- Опір обмотки постійному струму (25°C): $1,2 \text{ Ом} \pm 10\%$
- Індуктивність обмотки: $4 \text{ мГн} \pm 20\%$
- Крутний момент утримання: $\geq 2,45 \text{ Нм}$
- Діаметр вала: 6,35 мм



Рисунок 2.8. Зовнішній вид крокового двигуна Nema23 [5]

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Драйвер ТВ6600HG

Плата біполярного крокового драйвера розроблена на базі мікросхеми ТВ6600HG. ТВ6600HG — це однокристальний біполярний синусоїдальний мікрокроковий драйвер ШІМ-переривника. Максимальне навантаження 4,5 А, живлення від 10 В до 42 В постійного струму (див. рис. 2.9 - 2.11).

Особливості:

- На основі одного чіпа та другого чіпа для автоматичного контролю половинного струму
- Підходить для біполярних крокових двигунів Nema17, Nema23, Nema34
- Підходить для 4-провідних, 6-провідних та 8-провідних крокових двигунів.
- Доступні обертаня вперед та назад
- Вибір фазових (мікрокрокових) перемикачів 1/1, 1/2, 1/4, 1/8 та 1/16
- Максимальне вхідне живлення 42 В постійного струму Мінімальне вхідне живлення 10 В постійного струму
- Вихідний струм 4,5 А
- Світлодіодний індикатор монітора несправностей виходу
- Світлодіодний індикатор живлення на платі
- Вбудований індикатор вхідного крокового імпульсу
- Вбудована схема автоматичного зниження струму вдвічі
- Вбудоване теплове відключення (IC)
- Вбудована схема блокування за низької напруги (UVLO)
- Вбудована схема виявлення перевантаження по струму (ISD)
- Великий конденсатор для обробки пускового струму

Застосування:

- Робототехніка
- Принтери великого формату
- ЧПК
- 3D-принтери...

Радіатор та тепловий захист.

Плата має резистори вимірювання струму, і ці резистори налаштовані на максимальний струм навантаження 4,5 А. Якщо ви використовуєте двигун з

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

меншим струмом, встановить потенціометр PR1 на необхідний рівень для двигуна. При максимальному струмовому навантаженні мікросхема ТВ6600 через деякий час перегріється, і загориться ЧЕРВОНИЙ світлодіод. Цей світлодіод вимкнеться, коли температура паде до безпечного робочого рівня.

Мікрокрокове керування. Для налаштування режимів мікрокроку (повний, половинний, вісім, шістнадцятий) використовується 4-позиційний DIP-перемикач. Див. таблицю з налаштуваннями мікрокроку. Налаштування DIP-перемикачів слід змінювати, коли живлення вимкнено, щоб правильний вибір був активним під час увімкнення.

Ступінчастий імпульс. Мінімальний позитивний шпаруватий цикл вхідного ступінчастого імпульсу повинен становити 2,2 мкс та потрібен сигнал 5 В (TTL). Позитивний імпульс на ступінчастому вході активує ступінчасту операцію.

Налаштування струму. Середній струм приводу можна встановити за допомогою попереднього налаштування (вбудований потенціометр PR1). Вбудований роз'єм CN7 (СТ) призначений для вимірювання напруги для встановлення струму двигуна (крутного моменту). Діапазон напруги для встановлення крутного моменту від 0,3 В до 3,5 В

Входи. Усі входи оптично ізолювані, щоб запобігти будь-якому шуму та коротким замиканням пристрою.

- Увімкнено: обов'язковий вхід 5 В постійного струму, встановлення високого входу вимкнено привід, встановлення низького входу увімкнено привід
- Напрямок: Потрібно вхід 5 В постійного струму, встановити високий вхід для обертання за годинниковою стрілкою, встановити низький вхід для обертання проти годинникової стрілки, напрямок двигуна залежить від підключення крокового двигуна.
- CLK: Потрібен ступінчастий імпульс. Імпульс TTL 5 В постійного струму.

Виходи. 4 дроти, 6 дротів, 8 дротів. Двигуни можна використовувати з цим приводом у біполярному режимі.

Вбудований світлодіод для оповіщення.

4-DIP-ПЕРЕМИКАЧ

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

SW4 (ФІКСАТОР): УВІМК.=Автоматичне повернення у разі перегріву або виявлення перевантаження по струму

SW4 (ФІКСАТОР): ВИМК. = Увімк. Умова несправності вимагає ввімкнення/вимкнення живлення



Рисунок 2.9. Зовнішній вид драйвера TB6600 крокового двигуна Nema23 [6]

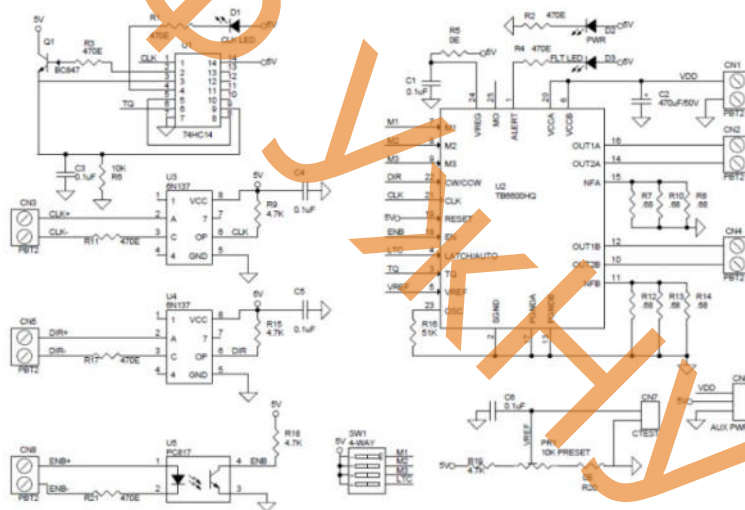


Рисунок 2.10. Схема електрична принципова драйвера TB6600 [7]

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

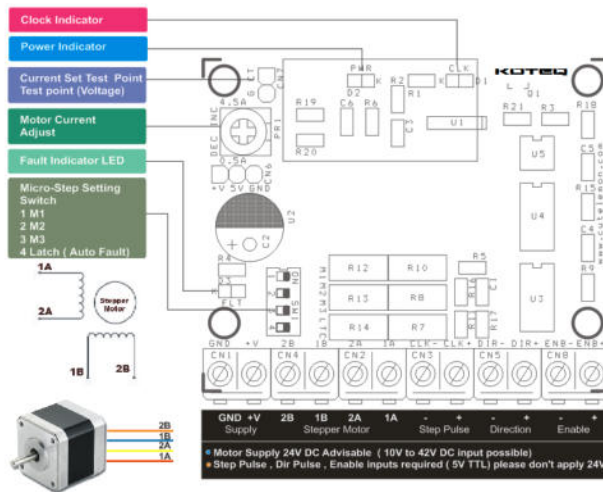


Рисунок 2.11. Схема з'єднання драйвера TB6600 із кроковим двигуном [8]

Кінцеві вимикачі (Limit Switches)

У промислових системах керування кінцевий вимикач виконує функцію комутаційного пристрою, який спрацьовує у разі досягнення рухомим механізмом заданого положення. Такі компоненти застосовують для керування технологічними процесами, забезпечення блокування в системах безпеки, а також для позиціонування та підрахунку об'єктів. За принципом дії механізму активації кінцеві вимикачі поділяють на важільні, плунжерні, пружинні, а також безконтактні (геркони, ємнісні, індуктивні сенсори та давачі Холла).

Зазвичай контакти вимикачів інтегрують у кола керування реле, двигунами або мікроконтролерами. Наявність двох пар контактів — нормально розімкнених (NO) і нормально замкнених (NC) — дозволяє не лише фіксувати подію, а й здійснювати безперервний моніторинг цілісності лінії зв'язку.

У розробленому проєкті використано механічні кінцеві вимикачі (рис. 2.12), які встановлено у граничних точках осей координат X, Y та Z. Головне призначення цих елементів — аварійне обмеження руху робочих органів верстата для запобігання механічним пошкодженням конструкції через можливі помилки у програмному забезпеченні або розрахунках керуючих координат



Рисунок 2.12. Кінцеві вимикачі (Limit Switches) [9]

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 2.13. E-Stop [10]

2.3 Розробка принципової схеми системи керування

В якості обчислювального ядра системи пропонується використати 8-бітний мікроконтролер ATmega328P [11] (сімейство AVR). Даний мікроконтролер працює на частоті 16 МГц, чого цілком достатньо для генерації стабільних керуючих імпульсів (до 30 кГц) та обчислення лінійної/кругової інтерполяції за алгоритмом Брезенхема.

Пропонована структурно-принципова архітектура поділяється на кілька функціональних блоків:

1. Блок мікроконтролера та зв'язку з ПК

- Ядро: ATmega328P з обв'язкою (кварцовий резонатор на 16 МГц, конденсатори по 22 пФ).
- Інтерфейс USB: Реалізується на базі мікросхеми конвертера USB-UART CH340G [12]. Вона забезпечує зв'язок мікроконтролера (піни RX/TX) з комп'ютером для прийому G-коду.

2. Силова частина: Керування двигунами NEMA 23

Оскільки крокові двигуни NEMA 23 потребують струмів 2.5–3 А, використання мініатюрних драйверів (A4988/DRV8825) є неприпустимим.

- Система керування формує лише слабострумові логічні сигнали (5 В).
- Відповідно до стандартної розпіновки GRBL, сигнали знімаються з портів мікроконтролера:
 - Ось X: Крок (Pin 2), Напряма (Pin 5).
 - Ось Y: Крок (Pin 3), Напряма (Pin 6).
 - Ось Z: Крок (Pin 4), Напряма (Pin 7).
 - Дозвіл (Enable): Спільний для всіх (Pin 8).

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

- Ці піни виводяться на гвинтові клемники для підключення до зовнішніх промислових драйверів типу TB6600. Такі драйвери мають власну оптичну розв'язку на входах, що додатково захищає наш мікроконтролер.

3. Блок гальванічної розв'язки (Кінцеві вимикачі та E-Stop)

Фрезерний верстат генерує багато електромагнітних завад.

- Кінцеві вимикачі (піни 9, 10, 11) та кнопка аварійної зупинки E-Stop (підключається до піну Reset або A0) підключаються до мікроконтролера не напряму, а через оптопару PC817 [13].

- На входах оптопар встановлюються апаратні RC-фільтри (резистор 10 кОм + конденсатор 104/0.1 мкФ) для придушення брязкоту контактів.

4. Блок керування шпинделем (0,8 кВт)

Шпиндель [14] має власне живлення силовий БЖ. Наша схема має лише подати команду на запуск/зупинку та задати швидкість обертання.

- Рішення: Сигнал ШІМ (PWM) з піну 11 подається на на оптопару, яка керує твердотільним реле (SSR). Це дозволить програмно вмикати шпиндель (команда M03) та регулювати його оберти.

5. Підсистема живлення (DC-DC)

Для живлення логіки від загального БЖ 12 В (до 12 А) використовується знижувальний імпульсний перетворювач, мікросхема LM2596. Він перетворює вхідні 12 В на стабільні 5 В для живлення ATmega328P, CH340G та оптопар. Імпульсний перетворювач ефективніший за лінійні стабілізатори і не буде перегріватися.

Запропоноване рішення на базі ATmega328P дозволяє створити надійний мікропроцесорний контролер, який повністю відповідає вимогам ТЗ. Зовнішня обробка силових струмів через TB6600 забезпечує заявлену підтримку двигунів NEMA 23, а апаратна опторозв'язка кінцевих вимикачів гарантує безвідмовну роботу системи безпеки (E-Stop) в умовах промислових завод.

Ось детальний схемотехнічний опис принципової електричної схеми контролера на базі ATmega328P (стандарт GRBL 1.1).

1. Підсистема живлення (DC-DC)

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Вхідна напруга 12 В від зовнішнього блоку живлення подається на плату через силовий клемник і розгалужується: перша гілка йде на живлення шпинделя (реле), друга — на DC-DC перетворювач для живлення логіки.

- **Мікросхема:** Знижувальний імпульсний перетворювач **LM2596S-5.0** (або готовий модуль).
- **Зв'язки:**
 - Вхід IN+ підключено до шини +12V.
 - Вхід IN- підключено до загальної землі (GND).
 - Вихід OUT+ формує шину живлення логіки **+5V (VCC)**.
 - На шині +5V встановлюються фільтруючі конденсатори: електролітичний 100 мкФ (для згладжування низькочастотних пульсацій) та керамічний 0.1 мкФ (104) біля самого мікроконтролера (для придушення високочастотних завад).

2. Ядро системи (Мікроконтролер ATmega328P)

Використовується мікроконтролер у корпусі DIP-28 (або TQFP-32, залежно від твого вибору; тут наведено піни для DIP-28).

- **Живлення та синхронізація:**
 - Піни 7 (VCC) та 20 (AVCC) підключаються до шини +5V.
 - Піни 8 (GND) та 22 (GND) підключаються до загальної землі.
 - Між пінами 9 (XTAL1) та 10 (XTAL2) встановлюється кварцовий резонатор на **16 МГц**. Від кожного з цих пінів на землю встановлюються конденсатори по 22 пФ.
 - Пін 1 (RESET) підтягується до +5V через резистор 10 кОм (щоб уникнути випадкових перезавантажень).

3. Блок зв'язку USB-UART (на базі CH340G)

Забезпечує підключення до ПК.

- Живлення CH340G: пін VCC до +5V, пін GND до землі.
- Між піном V3 мікросхеми CH340G та землею встановлюється конденсатор 0.1 мкФ.
- Пін TXD (CH340G) з'єднується з піном 2 (RXD / PD0) ATmega328P.
- Пін RXD (CH340G) з'єднується з піном 3 (TXD / PD1) ATmega328P.

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

- Пін DTR (CH340G) підключається до піна 1 (RESET) ATmega328P через послідовний керамічний конденсатор 0.1 мкФ (необхідно для автоматичного скидання при прошивці).

4. Виходи керування кроковими двигунами (до драйверів TB6600)

Для керування зовнішніми промисловими драйверами TB6600 сигнали виводяться на гвинтові клемники (або штирьові роз'єми). Усі драйвери TB6600 підключаються за схемою «Спільний мінус» (всі входи PUL-, DIR-, ENA- на драйвері з'єднуються із землею GND контролера).

Логічні сигнали (+5V) з мікроконтролера подаються на плюсові входи драйверів:

- **Ось X:** Пін 4 (PD2) клемник X-STEP (до PUL+); Пін 11 (PD5) клемник X-DIR (до DIR+).
- **Ось Y:** Пін 5 (PD3) клемник Y-STEP (до PUL+); Пін 12 (PD6) клемник Y-DIR (до DIR+).
- **Ось Z:** Пін 6 (PD4) клемник Z-STEP (до PUL+); Пін 13 (PD7) клемник Z-DIR (до DIR+).
- **Дозвіл (Enable):** Пін 14 (PB0) загальний клемник ENABLE (до всіх ENA+).

5. Блок опторозв'язки датчиків та аварійної зупинки (E-Stop)

Для захисту мікроконтролера від наведень, сигнали від кінцевих вимикачів та кнопки E-Stop проходять через оптопари PC817.

Схема одного каналу опторозв'язки (на прикладі осі X, повторюється для інших):

- **Зовнішня (брудна) частина:** * Кінцевий вимикач X комутує напругу +12V.
 - Сигнал проходить через струмообмежувальний резистор 1 кОм на Анод (пін 1) оптопари PC817.
 - Катод (пін 2) оптопари підключено до зовнішньої землі (може бути спільною або окремою).
- **Внутрішня (чиста логічна) частина:**
 - Емітер (пін 3) оптопари підключено до цифрової землі (GND мікроконтролера).

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- Колектор (пін 4) оптопарі підключено до вхідного піна ATmega328P і **одночасно** підтягнуто до +5V через резистор 4.7 кОм. Паралельно між піном МК і землею стоїть конденсатор 0.1 мкФ (апаратний антибрязкіт).

Розподіл входів на МК:

- Кінцевик X: Пін 15 (PB1).
- Кінцевик Y: Пін 16 (PB2).
- Кінцевик Z: Пін 18 (PB4).
- Кнопка E-Stop / Abort: Пін 23 (PC0 / A0).

6. Блок керування шпинделем

Шпиндель активується логічним рівнем або ШІМ-сигналом з контролера.

- Керуючий сигнал знімається з піна 17 (PB3 / PWM).
- Сигнал подається через резистор 100 Ом на затвор (Gate) польового N-канального транзистора (наприклад, **IRLML2502**, що відкриваються логічним рівнем 5V).
- Між затвором і землею встановлюється стягувальний резистор 10 кОм (щоб транзистор був гарантовано закритий при перезавантаженні МК).
- Витік (Source) транзистора підключено до GND.
- Стік (Drain) транзистора підключається до мінусового контакту котушки електромеханічного реле (або до входу «-» твердотільного реле SSR).
- Плюсовий контакт котушки реле підключено до +12V.
- Паралельно котушці електромеханічного реле обов'язково встановлюється зворотний діод (наприклад, 1N4007) катодом до +12V, щоб гасити індуктивні викиди при вимиканні.

Цей перелік повністю відображає принципову електричну схему системи.

Залишається лише перенести ці зв'язки у графічне середовище для отримання креслення.

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

2.4 Розрахунки елементів для системи керування

1. Розрахунок струмообмежувального резистора для опторозв'язки (PC817)

Кінцеві вимикачі комутують напругу 12 В (для підвищення завадостійкості), яка подається на вхідний світлодіод оптопари PC817. Нам потрібно розрахувати опір резистора, який захистить цей світлодіод [16].

Вихідні дані (з даташиту PC817):

- Пряме падіння напруги на світлодіоді: $U_F = 1.2 \text{ В}$.
- Номінальний прямий струм: $I_F = 10 \text{ мА (0.01 А)}$ — оптимально для впевненого відкриття транзистора.
- Напруга живлення контуру кінцевиків: $U_{in} = 12 \text{ В}$.

Опір струмообмежувального резистора R_{in} визначається за законом Ома:

$$R_{in} = \frac{U_{in} - U_F}{I_F}$$

Підставляємо значення:

$$R_{in} = \frac{12 - 1.2}{0.01} = 1080 \text{ Ом}$$

Із стандартного ряду номіналів E12 вибираємо найближче значення — 1 кОм (1000 Ом).

Далі розраховуємо потужність, яка буде розсіюватися на цьому резисторі, щоб він не згорів:

$$P_R = I_F^2 \cdot R_{in}$$
$$P_R = (0.01)^2 \cdot 1000 = 0.1 \text{ Вт}$$

Висновок: Для входу оптопари необхідно використати резистор номіналом 1 кОм із номінальною потужністю розсіювання не менше 0.25 Вт (стандартний вивідний або SMD резистор типорозміру 1206).

2. Розрахунок підтягувального резистора колектора (Pull-up)

На виході оптопари стоїть фототранзистор, колектор якого підключається до входу ATmega328P. Щоб на вході мікроконтролера була чітка логічна «1» (5 В), коли транзистор закритий, потрібен підтягувальний резистор R_{pull} .

• Вихідні дані:

- Напруга живлення логіки: $U_{cc} = 5 \text{ В}$.

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

- Напруга насичення колектор-емітер (відкрита оптопара): $U_{CE(sat)} \approx 0.2 \text{ В}$.
- Бажаний струм колектора (для стабільної роботи без перевантаження МК): $I_c = 1 \text{ мА (0.001 А)}$.

Розрахунок опору:

$$R_{pull} = \frac{U_{CC} - U_{CE(sat)}}{I_c}$$

$$R_{in} = \frac{5 - 0.2}{0.001} = 4800 \text{ Ом}$$

Із ряду E12 вибираємо стандартний номінал 4.7 кОм.

3. Перевірка енергетичного балансу системи

За ТЗ у нас є блок живлення 12 В із максимальним струмом 12 А. Необхідно довести, що цього струму вистачить для живлення всіх вузлів системи.

- Споживачі струму (від шини 12 В):
- Драйвери двигунів (ТВ6600) + NEMA 23: Хоча піковий струм двигуна може бути 2.8 А, драйвер працює як імпульсний перетворювач (знижує напругу, підвищує струм у котушці). Реальне споживання одного драйвера від 12 В при максимальному навантаженні становить близько 2.5 А. Для трьох осей: $I_{mot} = 3 \cdot 2.5 = 7.5 \text{ А}$.
- Реле керування шпинделем: Котушка стандартного 12-вольтового реле споживає $I_{rel} \approx 0.1 \text{ А}$.
- Логічна частина (через DC-DC LM2596): АТmega328P (близько 20 мА) + СН340G (30 мА) + світлодіоди оптопар (30 мА). Сумарно близько 100 мА по шині 5 В. З урахуванням ККД перетворювача (80%), струм по шині 12 В складе $I_{log} \approx 0.05 \text{ А}$.

Сумарний максимальний струм споживання системи:

$$I_{\Sigma} = I_{mot} + I_{rel} + I_{log}$$

$$I_{\Sigma} = 7.5 + 0.1 + 0.05 = 7.65 \text{ А}$$

Розрахунок коефіцієнта запасу потужності блоку живлення:

$$K_{res} = \frac{I_{max}}{I_{\Sigma}}$$

$$K_{res} = \frac{12}{7.65} \approx 1.56$$

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Висновок: Максимальний струм споживання системи складає 7.65 А. Обраний блок живлення на 12 А забезпечує коефіцієнт запасу 1.56 (запас по потужності 56%), що відповідає нормам надійності для проектування промислової та побутової електроніки (мінімальний рекомендований запас становить 20-30%).

Е С Т Т Ф
У Ж К Т У

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

ВИСНОВКИ

У результаті аналізу технічного завдання та існуючих аналогів об'єкта проектування було сформовано комплексну технічну пропозицію щодо створення мікропроцесорної системи керування трьохосьовим фрезерним верстатом. На основі проведеного дослідження можна зробити такі висновки:

Аналітичний етап: Огляд сучасних схемотехнічних рішень дозволив виявити недоліки стандартних систем та обґрунтувати доцільність розробки адаптованої архітектури, яка поєднує високу надійність із доступною компонентною базою.

Апаратна реалізація: Запропоновано енергоефективне рішення з параметрами живлення 12 В та струмом споживання до 12 А. Інтеграція крокових двигунів NEMA 23 для осей X, Y, Z дозволяє досягти заданої точності позиціонування (не менше 0.05 мм), що є оптимальним для обробки матеріалів за допомогою шпинделя потужністю 0,8 кВт.

Функціональність та безпека: Розроблена система є гнучкою у використанні завдяки підтримці універсального G-коду та подвійному інтерфейсу керування (USB-зв'язок з ПК або автономний дисплей). Впровадження апаратної кнопки аварійної зупинки гарантує належний рівень безпеки виробничого процесу.

Таким чином, спроектована система повністю відповідає вимогам виданого технічного завдання.

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Microprocessor Controlled Milling Machine: A Student Project /J. Wagner, Kenny Fotouhi, Ali Eydgahi// Conference: 2000 Annual Conference. June 2000. DOI: 10.18260/1-2--8564
2. Best CNC Controller Mach3 Board 2022 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nvcnc.net/best-cnc-controller-mach3-board.html>
3. Best Desktop CNC Milling Machines 2023 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nvcnc.net/best-desktop-cnc-milling-machines.html>
4. Schematic of arduino uno [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://duino4projects.com/schematic-of-arduino-uno/>
5. Nema 23 Stepper Motor 2.45N.m – High Torque [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://makerstore.cc/product/elec-nema23-635-ht/?srsltid=AfmBOopR5Qa4Oq9bioqRt5W4WqKvY9H5x-LIZT2DIBV0dWym99QGR432>
6. 4.5Amps Bipolar Stepper Motor driver based on TB6600 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.electronics-lab.com/project/4-5amps-bipolar-stepper-motor-driver-based-on-tb6600/>
7. Schematic diagram of an electronic device on the arduino uno. Connecti [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ic-components.com/blog/a-beginners-guide-to-tb6600-stepper-motor-driver-ic-features-and-applications.jsp>
8. MEGORAS Technology - TB6600 STEP MOTOR Driver [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://naylorlampmechatronics.com/img/cms/001138/001138_4-5A-Bipolar-Stepper-Motor-Driver-TB6600%20original.pdf
9. Мікроперемикач V-152-1C25 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua>
10. Кнопка аварійної зупинки E-STOP [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cncprom.ua/ua/p6348989-кнопка-avarijnoj-ostanovki.html>
11. Introduction to ATmega328 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.theengineeringprojects.com/2017/08/introduction-to-atmega328.html>

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

12. CH340G Working [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.basicpi.org/2017/04/15/ch340g-working/>

13. PC817 Optocoupler: Pinout, Specifications, Circuits and Datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lisleapex.com/blog-pc817-optocoupler-pinout-specifications-circuits-and-datasheet?srsltid=AfmBOoocW6jBJEDLv-peU7TSIQYQJU5a5wWLECIfUCrZOKjp31eH3dUF>

14. Шпиндель для ЧПУ 0,8 kw з повітряним охолодженням, ER11 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://techcom.kh.ua/p1483662831-shpindel-dlya-chpu.html?source=merchant_center&gad_source=1&gad_campaignid=21462314592&g_braid=0AAAAA9-Ln5XpYxU9ufDviVrCkH0G6R-lc&gclid=Cj0KCQjw54nRBhDCARIsAMcY_SC6l-Sl-Bs32ayl9nbWZxlURgZwsEnx_RWeZq6UN5GXI_hPi-px0gEaAkuKEALw_wcB
шпиндель 220 d

15. IC LM2596 Datasheet, Schematic, dc to dc buck converter [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://somanotech.com/ic-lm2596-dc-to-dc-buck-converter-module-datasheet-schematic/>

16. Онлайн калькулятор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://calc.komcat.net.ua/index.html>

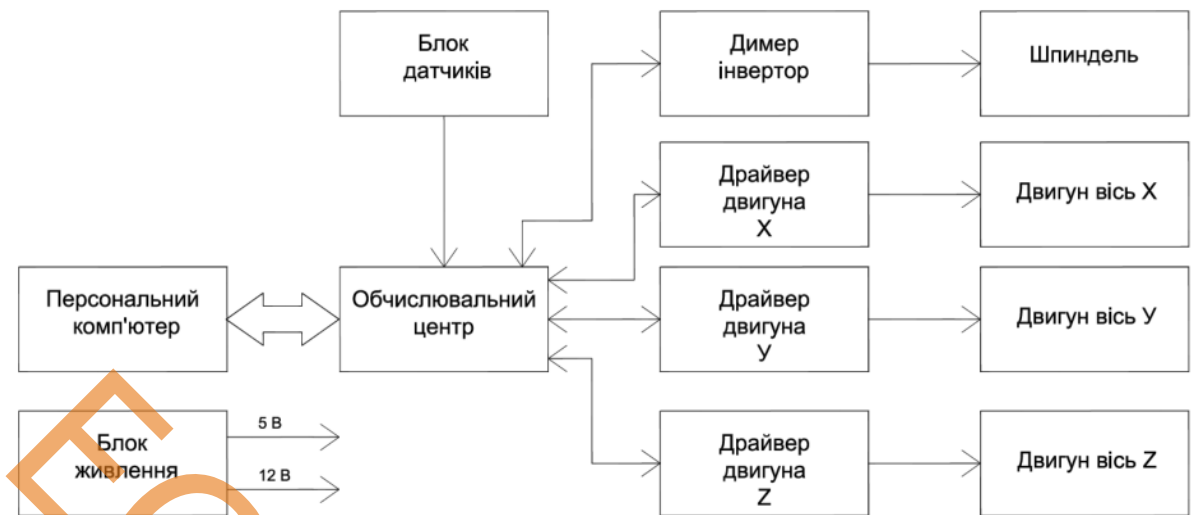
17. Жуковська І. А. Мікропроцесорна система керування тривісним фрезерним верстатом з числовим програмним забезпеченням / І. А. Жуковська, Т. М. Заяць // Science and Technology: Theory, Practice and Progress: Collection of Scientific Papers with Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference (Krakow, Poland, May 27–29, 2026). Krakow: International Scientific Unity, 2026. С. 1036–1039.

ДОДАТКИ

					КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Додаток А

Схема електрична структурна



Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

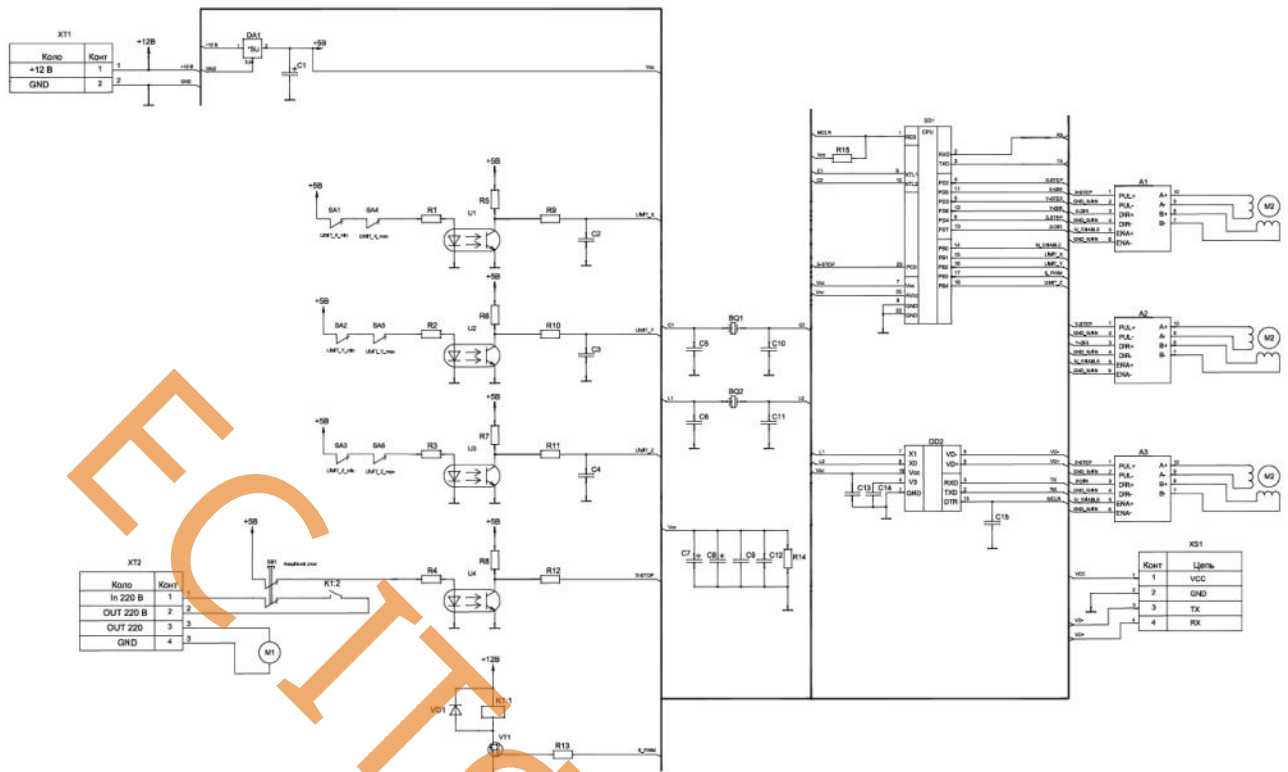
КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ

Арк.

51

Додаток Б

Схема електрична принципова



Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

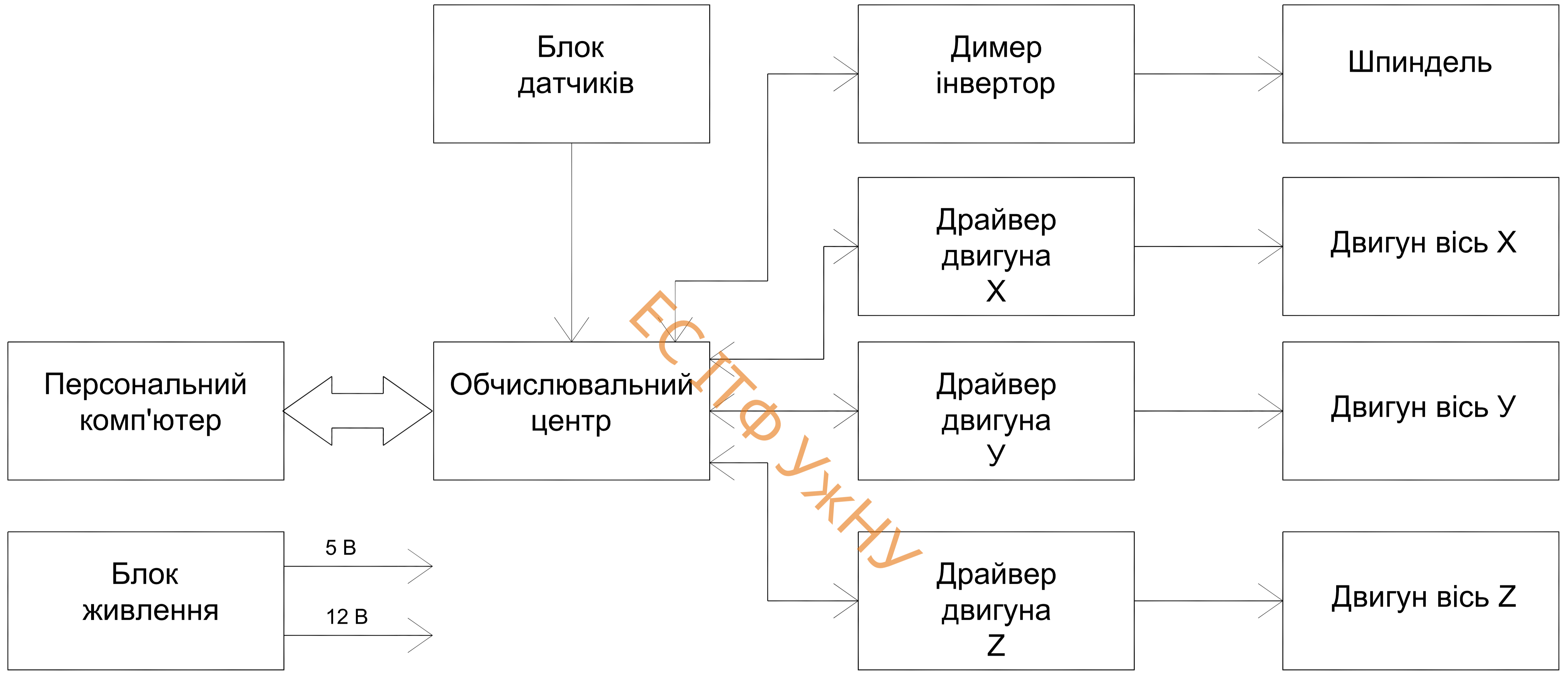
КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЗ

Арк.

52

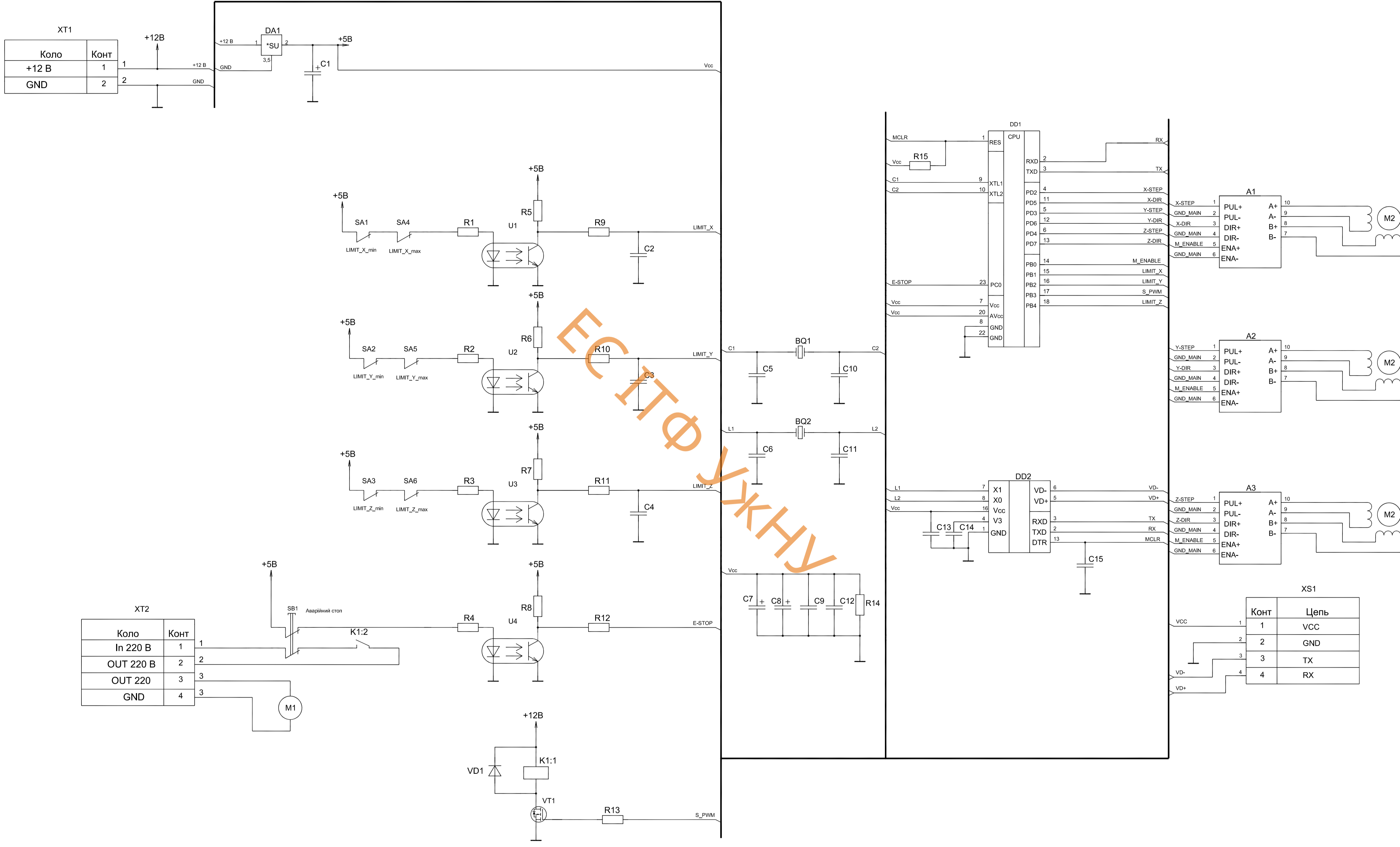
Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Кварцовий резонатори</u>		
BQ1	16.000 МГц	1	
BQ2	12.000 МГц	1	
	<u>Конденсатори</u>		
C1	X7R 100 мкФ ×10 В	1	
C2-C4	ESR 0.1 мкФ	3	
C5, C6	ESR 22 пФ	3	
C7, C8	X7R 100 мкФ ×10 В	2	
C9	ESR 0.1 мкФ	1	
C10, C11	ESR 22 пФ	2	
C12-C15	ESR 0.1 мкФ	4	
	<u>Мікросхеми</u>		
DA1	LM2596S-5.0	1	
DD1	ATmega328P-PU	1	
DD2	CH340G	1	
	<u>Резистори</u>		
R1 -R4	MF 0.25Вт. – 1 кОм	4	
R5 - R8	MF 0,125 Вт – 4.7 кОм	4	
R9-R12	MF 0,125 Вт – 1 кОм	4	
R13	MF 0.125 Вт – 10 кОм	1	
R14	MF 0.125 Вт – 1 кОм.	1	
R15	MF 0.125 Вт – 10 кОм.	1	

КРБ.ЕС.10314559.01.000 ПЕ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Жуковська І.А.		
Перевірив		Заяць Т.М.		
Т/Контр.				
Н/Контр.		Папп О.В.		
Затвердив		Заяць Т.М.		
Мікропроцесорна система керування фрезерним верстатом			Літера	Аркуш
Перелік елементів			У	1
			Аркушів	2
			УжНУ, ІТФ	
			4 курс група ЕС	



ЕС-ТФ-УЖНУ

КРБ.ЕС.10314559.01.000.Е1							
Вим.	Арс.	№ документа	Підпис	Дата	Літера	Маса	Масштаб
Виробив	Жуковська І.А.				у		4:1
Керівник	Зяць Т.М.				Аркуш 1	Аркуш 1	
Т.Контр.					УжНУ, ІТФ, 4 курс, група ЕС		
Н.Контр.	Палп О.В.						
Затвердив	Зяць Т.М.						



XT1	
Коло	Конт
+12 В	1
GND	2

XT2	
Коло	Конт
In 220 В	1
OUT 220 В	2
OUT 220	3
GND	4

XS1	
Конт	Цепь
1	VCC
2	GND
3	TX
4	RX

				КРБ.ЕС.10314559.01.000.Е1			
Вим. Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Мікропроцесорна система керування фрезерним верстатом	Літера	Маса	Маштаб
Керівник	Жуковська І.А.				у		1:1
Т.Контр.	Зяць Т.М.				Схема електрична принципова		
І.Контр.	Палп О.В.				Аркуш 1	Аркуше 1	
Затвердив	Зяць Т.М.						УжНУ, ІТФ, 4 курс, група ЕС

Додаток 1

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ

к.ф.-м.н. доц. Залізь Тарас Михайлович

Студента (-ки) 4-го курсу
спеціальності 171 Електроніка
Жуковська Вікторія Станіславівна
(прізвище, ініціали)

ЗАЯВА

щодо самостійного виконання
навчальної/кваліфікаційної роботи здобувачем освіти

Я, Жуковська Вікторія Станіславівна
(прізвище, ім'я, по батькові),

Студент(-ка) денно, інженерно-технічний факультет, 4 курс
(форма навчання, факультет, курс)

заявляю: моя письмова робота на тему: Мікропроцесорна система керування фрезерним верстатом

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.

15.06.2026
Дата

[Підпис]
Підпис

ДОВІДКА

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

Автор роботи	Мурованя Нічката Євгенівна
Назва роботи	Мікропроцесорна система керування джерелами керування
Спеціальність	171 Електроніка
Курс	4
Факультет	Інженерно-технічний
Кафедра	Електроніки систем
Керівник роботи	Заєць Тарас Михайлович
Роботу перевірено в програмі	Strike Plagiarism
Додано до бази даних	
Ідентифікаційний номер роботи	2026-КБР-Мурованя Н.Є.
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ	99%
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	

Відповідальна особа/
Науковий керівник роботи

Заєць Т.М.
(прізвище, ініціали)

15.06.2026
Дата

Підпис



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

2026_КБР_Жуковська І.А.

Автор

Іветта Жуковська

Науковий керівник / Експерт

Ігор Михайлович Юркін

ІД документу

334323239

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

Uzhhorod National University

підрозділ

Department

ЗВІТ

Дата звіту

6/15/2026

Дата редагування

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



КП 1

25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2



КП 2

6528

Кількість слів



КЦ

49546

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		3
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		0

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Копіювати текст

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
---	--	--

Домашня база даних



ЗАГОЛОВОК

КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)

Інтернет



ДжЕРЕЛО URL

КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)



Список прийнятих фрагментів

ЗМІСТ

КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)

Е
С
Т
Т
Ф
У
У
Ж
Т
У
У