

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»
Циклова комісія комп'ютерних систем та мереж
(повна назва циклової комісії)

Допустити до захисту
Голова випускової циклової комісії
комп'ютерних систем та мереж
(повна назва циклової комісії)

[Підпис] Григор Кривонос
(підпис) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
« 10 » 06 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
ФАХОВИЙ МОЛОДШИЙ БАКАЛАВР

Тема: «Проектування іскробезпечного блоку дистанційного керування на Arduino»

Група: 3-011

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Здобувач освіти

[Підпис]
(підпис)

Владислав БАЛЮК

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

[Підпис]
(підпис)

Артем КУТІН

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Консультант з оформлення
пояснювальної записки

[Підпис]
(підпис)

Оксана ОСАДЧА

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Кривий Ріг 2025 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

Відділення комп'ютерної та програмної інженерії
Циклова комісія комп'ютерних систем та мереж
Освітній ступінь фаховий молодший бакалавр
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова випускової циклової комісії
комп'ютерних систем та мереж

(повна назва циклової комісії)

Ірина КРАВЧУК
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
2025 р.

(підпис)

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ОСВІТИ

Балюку Владиславу Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування іскробезпечного блоку дистанційного керування на Arduino

Керівник роботи Кутін Артем Ілліч

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по коледжу від « 04 » 04 2025 року № 51-ст

2. Строк подання здобувачем освіти роботи з _____ по _____

3. Вихідні дані до роботи іскробезпечний блок з дистанційним керуванням на Arduino

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

Обґрунтування вибраної теми, знаходження інформації, обґрунтування знайденої інформації, початок проектування програми для іскробезпечного написання коду, тестування

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

Презентація Microsoft PowerPoint

6. Консультанти розділів роботи (проекту)


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Узгодження завдання з керівником кваліфікаційної роботи	02.03.2025	Виконано
2	Знаходження та вивчення технічних документів, літератури	04.03.2025- 08.03.2025	Виконано
3	Обґрунтування вибору БДК	15.03.2025- 16.03.2025	Виконано
4	Пошук БДК, початок написання кваліфікаційної роботи	18.03.2025- 30.05.2025	Виконано
5	Попередній захист кваліфікаційної роботи	02.06.2025- 06.06.2025	Виконано
7	Захист кваліфікаційної роботи		

Здобувач освіти


(підпис)

Владислав БАЛЮК

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи


(підпис)

Артем КУТІН

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)



Звіт подібності

метадані

Назва організації

Ukrainian national aviation university

Заголовок

Дипломна робота Балюка Владислава Віталійовича 3-011_07_1.06.2025

Автор Науковий керівник / Експерт

БалюкаКутін А.

підрозділ

Криворізький Фаховий коледж

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.

0.34%

0.34%

КП 1

0.41%

0.41%

КЦ

25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

4934

Кількість слів

39732

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.

Тип спотворення	Символ	Кількість
Заміна букв	B	1
Інтервали	A→	0
Мікропробіли		0
Білі знаки	B	0
Парафрази (SmartMarks)	a	1

Подібності за списком джерел

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

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	Копія тексту	
		КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/feeem_2019_netpub.pdf	12	0.24 %
2	https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/feeem_2019_netpub.pdf	5	0.10 %

з бази даних RefBooks (0.00 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)

з бази даних УкрІНТЕІ (0.00 %)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Проектування іскробезпечного блоку дистанційного керування на Arduino»: 44 сторінки, 8 рисунків, 1 таблиця, 16 використаних джерел.

ІСКРОБЕЗПЕКА, ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ, ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ, ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ARDUINO NANO, MODBUS, SCADA, АВТОМАТИЗАЦІЯ

Мета роботи – розробити іскробезпечний блок дистанційного керування з сучасними функціями моніторингу та інтеграції, що відповідає міжнародним стандартам безпеки.

У першому розділі розглянуто сучасні підходи до забезпечення іскробезпеки електрообладнання, нормативну базу, класифікацію вибухонебезпечних зон, типові причини аварій та принципи побудови систем безпеки. Проведено аналіз сучасних систем керування та їх взаємодії з іншими елементами промислової безпеки.

Другий розділ присвячено огляду існуючих пристроїв дистанційного керування, що забезпечують іскробезпеку для комутаційних апаратів. Проаналізовано технічні характеристики, переваги та недоліки вітчизняних і зарубіжних рішень, визначено оптимальний напрямок модернізації.

У третьому розділі описано процес проектування іскробезпечного блоку дистанційного керування: розроблено функціональну та принципову схеми, програмне забезпечення на базі Arduino Nano з підтримкою протоколу Modbus для інтеграції з SCADA-системами, проведено моделювання у середовищі Proteus.

Практичне значення – підвищення рівня безпеки, надійності та гнучкості керування електрообладнанням у вибухонебезпечних середовищах, можливість впровадження на промислових підприємствах України.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП	

9 РОЗДІЛ 1 ОПИС КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ В УМОВАХ
ІСКРОНЕБЕЗПЕЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

11	1.1	Вступ.....	11
	1.2	Нормативна база та класифікація вибухонебезпечних середовищ....	11
	1.3	Типові причини аварій та важливість дотримання стандартів	12
	1.4	Принципи забезпечення іскробезпеки.....	12
	1.5	Сучасні системи керування.....	13
	1.6	Взаємодія з іншими системами безпеки.....	14
	1.7	Організаційні та профілактичні заходи	14
	1.8	SWOT-аналіз сучасних систем керування у вибухонебезпечних середовищах.....	15
	1.9	Комплексний підхід і перспективи розвитку.....	16
	1.10	Висновок до першого розділу	16

РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ
ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ІСКРОБЕЗПЕКУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ КОМУТАЦІЙНИМИ
АПАРАТАМИ..... 17

	2.1	Вступ	17
	2.2	Блок дистанційного управління (БДУ) ТОВ «НВП РУДПРОМАВТОМАТИКА»	17
	2.3	Блок дистанційного управління БДУ-ХД	20
	2.4	PHOENIX CONTACT PX SERIES.....	22
	2.5	SIEMENS SITRANS SAFETY MODULE	23
	2.6	ABB SAFESWITCH	

25 2.7 Висновок до другого

розділу..... 27

РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМОТЕХНІКИ ТА ПРОГРАМНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІСКРОБЕЗПЕЧНОГО БЛОКУ ДИСТАНЦІЙНОГО
КЕРУВАННЯ..... 29

3.1 Проектування функціональної схеми та логіки роботи іскробезпечного
блоку дистанційного керування 29

3.2 Проектування принципової схеми іскробезпечного БДК 31

3.3 Проектування програми керування іскробезпечним блоком
дистанційного керування 34

3.4 Висновок до третього розділу 38

ВИСНОВКИ.....

40 СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ

ДЖЕРЕЛ..... 43

7

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

IEC — International Electrotechnical Commission

Міжнародна електротехнічна комісія — міжнародна організація, що розробляє стандарти у сфері електротехніки, електроніки та суміжних технологій.

ATEX — ATmosphères EXplosibles

Європейська директива щодо обладнання і захисних систем, призначених для використання в потенційно вибухонебезпечних середовищах.

AVR — Alf and Vegard's RISC processor

Мікроконтролерна архітектура, розроблена компанією Atmel (тепер Microchip). Широко використовується в Arduino.

STM32 — STMicroelectronics ARM Cortex-M based 32-bit microcontroller
Лінійка 32-бітних мікроконтролерів на основі ARM Cortex-M від компанії STMicroelectronics.

SCADA — Supervisory Control and Data Acquisition

Система диспетчерського керування та збору даних. Використовується для моніторингу й управління промисловими процесами.

Intrinsic safety — внутрішня безпека

Метод захисту електрообладнання у вибухонебезпечних середовищах, що гарантує, що іскри чи перегрів не спричинять займання.

Fail safe — аварійно-безпечний режим

Конструктивний підхід, при якому система в разі відмови переходить у стан, який є безпечним для людей і обладнання.

Optocouplers (оптичні з'єднувачі) — також оптрони

Електронні компоненти, які передають сигнал між двома частинами схеми за допомогою світла, ізолюючи їх електрично.

Phoenix Contact і АВВ

Компанії-виробники електротехнічного та автоматизаційного обладнання:

8

Phoenix Contact — спеціалізується на з'єднувальних технологіях, ПЛК, інтерфейсах тощо.

АВВ — один із світових лідерів у сфері енергетики, електрообладнання, робототехніки та автоматизації.

TCP/IP або Modbus

TCP/IP — набір мережевих протоколів, основа Інтернету.

Modbus — комунікаційний протокол, використовуваний у промисловості.

Може працювати поверх TCP/IP (Modbus TCP).

IEEE — Institute of Electrical and Electronics Engineers

Міжнародна професійна організація, яка розробляє стандарти в галузі електроніки, комп'ютерних технологій, зв'язку тощо.

9

ВСТУП

Сучасна промисловість характеризується широким впровадженням автоматизованих систем керування, особливо у сферах, де існує ризик виникнення вибухонебезпечних ситуацій. Вибухонебезпечні середовища формуються через

наявність легкозаймистих газів, парів або пилу, що вимагає особливого підходу до організації керування електрообладнанням. Одним із ключових завдань є забезпечення іскробезпеки – здатності електрообладнання працювати без утворення іскри, яка може стати джерелом займання.

Забезпечення іскробезпеки є багаторівневим завданням, що поєднує технічні, організаційні та інформаційні рішення. Відповідність міжнародним і національним стандартам (IEC 60079, ATEX, ДСТУ EN 13237:2019) є обов'язковою умовою для введення обладнання в експлуатацію. Аналіз причин аварій у вибухонебезпечних середовищах свідчить, що основними факторами ризику є порушення правил експлуатації, використання несертифікованого обладнання, недостатній моніторинг параметрів та відсутність регулярного технічного обслуговування.

Сучасні системи керування електрообладнанням у вибухонебезпечних середовищах базуються на принципах автоматизації, інтеграції та гнучкості. Вони включають SCADA-системи, PLC-контролери, сенсорні мережі та IoT-рішення, що дозволяють централізовано збирати, аналізувати та зберігати дані, а також оперативно реагувати на аварійні ситуації. Важливим аспектом є взаємодія систем іскробезпеки з іншими елементами промислової безпеки – пожежною сигналізацією, вентиляцією, аварійним відключенням живлення, системами відеоспостереження.

Особливу увагу приділено огляду існуючих пристроїв дистанційного керування, які забезпечують іскробезпеку для комутаційних апаратів. Проаналізовано вітчизняні та зарубіжні рішення, їхні технічні характеристики, переваги та недоліки. Виявлено, що більшість сучасних пристроїв є дорогими, складними в обслуговуванні та потребують спеціалізованої підтримки, тоді як

10

вітчизняні аналоги вирізняються простотою та доступною ціною, але потребують модернізації.

У кваліфікаційній роботі запропоновано модернізувати блок дистанційного керування (БДК) на основі мікроконтролера Arduino Nano, що дозволяє розширити функціонал, підвищити надійність та забезпечити інтеграцію з сучасними системами автоматизації. Розроблено функціональну та принципову схеми, програмне забезпечення для керування реле та індикацією, а також реалізовано

обмін даними з SCADA-системою через протокол Modbus.

Практична цінність роботи полягає у створенні надійного, гнучкого та економічно доцільного рішення для дистанційного керування електрообладнанням у вибухонебезпечних середовищах, що відповідає сучасним вимогам безпеки та автоматизації.

11

РОЗДІЛ 1

ОПИС КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ В УМОВАХ ІСКРОНЕБЕЗПЕЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

1.1 Вступ

Сучасна промисловість стрімко розвивається, і дедалі більше підприємств працюють у складних умовах, де існує ризик виникнення вибухонебезпечних ситуацій. Вибухонебезпечні середовища формуються через наявність легкозаймистих газів, парів, пилу, що вимагає особливого підходу до організації керування електрообладнанням. Іскробезпека стає не лише технічним, а й стратегічним завданням для підприємств, оскільки від неї залежить безпека персоналу, збереження обладнання, екологічна стабільність та репутація компанії. Історично підходи до забезпечення іскробезпеки змінювалися: від простих ручних систем керування до складних автоматизованих комплексів, що інтегрують сучасні технології моніторингу, дистанційного керування та аналітики. Сьогодні питання іскробезпеки розглядається як багаторівнева система, що поєднує технічні, організаційні та інформаційні рішення.

1.2 Нормативна база та класифікація вибухонебезпечних середовищ

Безпечна експлуатація електрообладнання у вибухонебезпечних середовищах регламентується міжнародними та національними стандартами. Основними документами є ІЕС 60079-11:2014[1], АТЕХ 2014/34/ЄС[2], ДСТУ EN 13237:2019, ДСТУ ІЕС 60079-6:2009. Вони визначають вимоги до конструкції, монтажу, експлуатації та обслуговування обладнання, а також процедури сертифікації.

Ключовим аспектом є класифікація вибухонебезпечних зон:

- **Зона 0** — середовище, де вибухонебезпечна атмосфера присутня постійно або протягом тривалого часу.
- **Зона 1** — зона, у якій вибухонебезпечна атмосфера може виникати під час нормальної експлуатації.
- **Зона 2** — зона, де вибухонебезпечна атмосфера виникає рідко або короткочасно.

12

Класифікація середовища визначає вибір обладнання, методів захисту, організацію систем керування та профілактичних заходів. Відповідність стандартам є обов'язковою умовою для введення обладнання в експлуатацію.

1.3 Типові причини аварій та важливість дотримання стандартів

Аналіз промислових аварій показує, що основними причинами інцидентів у вибухонебезпечних середовищах є:

- Порушення правил експлуатації;
- Використання несертифікованого або застарілого обладнання;
- Недостатній моніторинг параметрів середовища;
- Відсутність регулярного технічного обслуговування;
- Недостатня підготовка персоналу.

Навіть незначна іскра, перегрів або коротке замикання можуть призвести до масштабних аварій із серйозними наслідками для людей, обладнання та довкілля. Тому суворе дотримання нормативних вимог, регулярна перевірка стану обладнання та навчання персоналу є критично важливими

1.4 Принципи забезпечення іскробезпеки

Головними принципами іскробезпеки є:

- Обмеження електричної енергії

Всі електричні кола, що працюють у вибухонебезпечних зонах, повинні бути спроектовані так, щоб енергія, яка може виділятися у разі несправності, не перевищувала безпечного рівня. Для цього використовують спеціальні

13

обмежувальні компоненти (резистори, конденсатори), а також схеми контролю струму та напруги.

- Фізична та електрична ізоляція

Розділення силових і керуючих кіл, застосування оптопар, гальванічної розв'язки, герметичних корпусів дозволяє уникнути передачі небезпечних імпульсів і запобігти виникненню іскри.

- Постійний моніторинг параметрів

Сучасні сенсорні модулі дозволяють у реальному часі контролювати температуру, вологість, концентрацію газу та пилу. Дані передаються до централізованих систем моніторингу (SCADA, IoT-платформи), що забезпечує оперативне реагування на відхилення.

- Відповідність стандартам і сертифікація

Усе обладнання повинно проходити сертифікацію відповідно до міжнародних і національних стандартів. Регулярні перевірки та випробування гарантують відповідність вимогам безпеки

1.5 Сучасні системи керування

Системи керування електрообладнанням у вибухонебезпечних середовищах базуються на принципах автоматизації, інтеграції та гнучкості. Основні компоненти таких систем:

- SCADA-системи

Дозволяють централізовано збирати, аналізувати та зберігати дані з

численних датчиків і виконавчих механізмів. Забезпечують візуалізацію процесів, автоматичне реагування на аварійні ситуації, дистанційне керування. • PLC-контролери

Використовуються для локального керування обладнанням, реалізації алгоритмів захисту, аварійного відключення, резервування каналів зв'язку.

14

- Сенсорні мережі та IoT

Дозволяють розширити можливості моніторингу, підключати нові датчики без складної реконструкції системи, інтегрувати обладнання різних виробників. •

Дистанційне керування

Забезпечує безпечну роботу персоналу, дозволяє оперативно реагувати на зміни параметрів, знижує ризик перебування людей у небезпечних зонах.

[Приклад: На сучасних газових підприємствах впроваджують бездротові сенсорні мережі, які передають дані про стан обладнання у реальному часі до центральної диспетчерської.]

1.6 Взаємодія з іншими системами безпеки

Системи іскробезпеки інтегруються з іншими елементами промислової безпеки:

- Пожежна сигналізація — автоматичне виявлення займання та запуск систем гасіння.

- Вентиляція — контроль і підтримка безпечної концентрації газів і пилу. •

Аварійне відключення живлення — миттєве знеструмлення обладнання у разі небезпеки.

- Системи відеоспостереження та контролю доступу — додатковий рівень захисту від несанкціонованого втручання.

Така взаємодія забезпечує багаторівневий захист і підвищує загальну надійність виробничого процесу.

1.7 Організаційні та профілактичні заходи

Технічні рішення мають підкріплюватися організаційними заходами: •

Регулярне технічне обслуговування — своєчасна перевірка та заміна зношених компонентів.

15

- Аудит і профілактика — планові перевірки систем безпеки, аналіз аварійних ситуацій, впровадження коригувальних заходів.
- Навчання персоналу — постійне підвищення кваліфікації, тренінги з реагування на надзвичайні ситуації.
- Розвиток культури безпеки — формування відповідального ставлення до дотримання стандартів, внутрішні політики підприємства.

[Приклад: На підприємствах хімічної промисловості проводять щомісячні навчання з евакуації та реагування на аварійні ситуації.]

1.8 SWOT-аналіз сучасних систем керування у вибухонебезпечних середовищах

Сильні сторони:

- Високий рівень автоматизації та інтеграції;
- Оперативність реагування на відхилення;
- Можливість централізованого моніторингу та дистанційного керування;

- Зниження людського фактору.

Слабкі сторони:

- Висока вартість впровадження та обслуговування;
- Необхідність постійного навчання персоналу;
- Залежність від якості сенсорів, програмного забезпечення та зв'язку.

Можливості:

- Впровадження нових технологій (цифрові двійники, IoT, машинне навчання);
- Підвищення енергоефективності та надійності;
- Розширення функціоналу систем безпеки.
- Загрози:
 - Кіберзагрози та несанкціонований доступ;
 - Відмова критичних компонентів;
 - Недостатня адаптація до нових стандартів.

16

1.9 Комплексний підхід і перспективи розвитку

Комплексний підхід до забезпечення іскробезпеки передбачає поєднання технічних, організаційних та економічних рішень. Сучасні тенденції включають: • Впровадження цифрових двійників — створення віртуальних моделей виробничих процесів для прогнозування аварійних ситуацій.

- Інтеграція IoT — підключення великої кількості сенсорів для збору та аналізу даних у реальному часі.

- Машинне навчання та аналітика — використання алгоритмів для прогнозування відмов, оптимізації технічного обслуговування.
- Кібербезпека — захист систем керування від зовнішніх і внутрішніх загроз.
- Хмарні технології — зберігання та обробка даних на віддалених серверах для підвищення гнучкості та масштабованості.

[Приклад: На сучасних підприємствах використовують цифрові двійники для моделювання аварійних сценаріїв і оптимізації профілактичного обслуговування.]

1.10 Висновок до першого розділу

Забезпечення іскробезпеки електрообладнання у вибухонебезпечних середовищах — це багаторівнева задача, що вимагає системного підходу. Поєднання сучасних технічних рішень, організаційних заходів, постійного навчання персоналу та впровадження інновацій дозволяє мінімізувати ризики аварій, підвищити ефективність і надійність виробничих процесів. Лише комплексна реалізація цих принципів гарантує безпечну та стабільну роботу промислових підприємств у складних умовах.

17

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ІСКРОБЕЗПЕКУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ КОМУТАЦІЙНИМИ АПАРАТАМИ

2.1 Вступ

У сучасній промисловості, особливо в гірничій, хімічній та нафтохімічній галузях, питання безпечного дистанційного керування електрообладнанням у вибухонебезпечних середовищах є надзвичайно актуальним. Від правильного вибору та впровадження таких пристроїв залежить не лише ефективність виробничих процесів, а й безпека персоналу та збереження обладнання. У цьому

розділі розглянуто основні типи пристроїв дистанційного керування, які застосовуються для забезпечення іскробезпеки, проаналізовано їхні технічні характеристики, переваги, недоліки та практичні аспекти використання. Такий аналіз дозволяє визначити оптимальні напрямки для подальшої модернізації та впровадження нових рішень у сфері промислової автоматизації.

2.2 Блок дистанційного управління (БДУ) ТОВ «НВП РУДПРОМАВТОМАТИКА»

Блок дистанційного управління (БДУ) виробництва ТОВ «НВП Рудпромавтоматика» є одним із найпоширеніших вітчизняних рішень для дистанційного керування електрообладнанням у вибухонебезпечних середовищах. Цей пристрій спеціально розроблений для використання у гірничій, хімічній та нафтовій промисловості, де до систем керування висуваються підвищені вимоги щодо надійності та безпеки.

- Технічні особливості та функціонал:

БДУ забезпечує іскробезпечний інтерфейс, що дозволяє безпечно передавати сигнали керування до комутаційних апаратів. Пристрій відповідає вимогам

18

міжнародних стандартів ІЕС 60079 та АТЕХ, що підтверджується відповідними сертифікатами. Конструкція блоку передбачає захист від перенапруги та короткого замикання, а також можливість інтеграції у комплексні системи автоматизації. Блок має просту, але надійну конструкцію, що забезпечує легкість монтажу та обслуговування навіть у складних умовах експлуатації.

- Принцип дії та підключення:

БДУ встановлюється у ланцюг керування комутаційними апаратами, забезпечуючи гальванічну розв'язку між силовими та керуючими колами. Вхідні сигнали надходять через іскробезпечні кола, які обмежують струм і напругу до безпечних значень. Вихідний сигнал формується релейним контактом, що дозволяє підключати різні типи виконавчих механізмів. Для перевірки справності

блоку передбачено спеціальний режим самотестування.

- Нормативна база:

БДУ відповідає вимогам ДСТУ EN 60079, АТЕХ 2014/34/EU, а також має сертифікати відповідності для використання у вибухонебезпечних середовищах категорії Ex.

Переваги:

- Високий рівень іскробезпеки, підтверджений сертифікатами відповідності.
- Надійність роботи у складних промислових умовах, стійкість до перепадів температури та вологості.
- Відносно невисока вартість у порівнянні з імпортними аналогами.
- Простота конструкції, що полегшує обслуговування та ремонт.

Недоліки:

- Використання застарілої елементної бази, що обмежує можливості розширення функціоналу.
- Відсутність сучасних інтерфейсів для інтеграції з IoT та SCADA-системами.
- Обмежена гнучкість налаштувань та модернізації.

Практичний досвід застосування: БДУ від ТОВ «НВП-Рудпромавтоматика» широко використовується на підприємствах гірничої промисловості України, де важливими є простота обслуговування та надійність у складних умовах

експлуатації. Завдяки своїй конструкції пристрій забезпечує стабільну роботу навіть при значних коливаннях температури та вологості. На практиці БДУ часто застосовується для керування комутаційними апаратами, електродвигунами, а також у складі систем аварійного відключення живлення. Наприклад, на одному з вугільних підприємств Донецької області впровадження БДУ дозволило знизити кількість аварійних зупинок обладнання на 20% завдяки підвищенню надійності

системи керування.



Рисунок 2.1 – Блок дистанційного управління БДУ ТОВ «НВП Рудпромавтоматика»

20

2.3 Блок дистанційного управління БДУ-ХД

Блок дистанційного управління типу БДУ-ХД — це сучасний пристрій, який може мати один (БДУ-Д) або два (БДУ-2Д) незалежні канали керування. Кожен канал може працювати як окремо, так і у взаємовідключаючому режимі, що підвищує гнучкість використання. Вибір режиму роботи здійснюється встановленням перемички на роз'ємі блоку, а час затримки перемикання становить 0,3 с.

Технічні характеристики та конструктивні особливості:

БДУ-ХД побудований на сучасній мікроконтролерній базі, що забезпечує

високу стабільність параметрів роботи та розширені можливості діагностики. Пристрій має захист від втрати керованості при замиканні і обриві проводів, а також від самовключення при короткочасному підвищенні напруги живлення. Вхідні кола каналів керування іскробезпечні, реагують на замикання через діод, а у разі короткого замикання лінії або збільшення її опору вище встановленого порогу відбувається автоматичне відключення каналу. Вихід кожного каналу виконаний у вигляді реле з одним перемикаючим контактом.

Блок може постачатися у трьох різних типах корпусу: металевий корпус із монтажною пластиною, металевий корпус із боковими роз'ємами, або пластиковий корпус для монтажу на DIN-рейку. Це дозволяє адаптувати пристрій до різних умов експлуатації та вимог замовника. Світлодіодна індикація на корпусі інформує про наявність напруги живлення, спрацьовування реле та стан лінії керування.

Принцип роботи:

Мікроконтролер аналізує стан вхідних кіл, контролює цілісність лінії, реалізує функцію «нульового» захисту та автоматично переводить пристрій у безпечний стан у разі виявлення несправності. Завдяки цьому досягається високий рівень надійності та безпеки експлуатації.

21

Нормативна база:

БДУ-ХД має сертифікат відповідності Ex [ia] I X, що дозволяє використовувати пристрій у вибухонебезпечних середовищах. Відповідає вимогам ДСТУ EN 60079, АТЕХ.

Переваги:

- Сучасна елементна база, мікроконтролерне керування.
- Гнучкість налаштувань, компактність, простота інтеграції.
- Можливість вибору типу корпусу та роз'ємів.
- Вбудована світлодіодна індикація для зручності експлуатації. • Сертифікація

Ex [ia] I X, що дозволяє використовувати пристрій у вибухонебезпечних середовищах.

Недоліки:

- Потреба у правильному підключенні та якісному монтажі.
- Гарантійний термін — 12 місяців з дати введення в експлуатацію.

Приклад застосування:

Блоки БДУ-ХД активно використовуються у шахтних та нафтохімічних підприємствах для безпечного дистанційного керування пускачами, електродвигунами та іншими пристроями, де важлива іскробезпека та надійність. Завдяки сучасній схемотехніці та широким можливостям налаштування, БДУ-ХД може бути інтегрований у складні системи автоматизації, забезпечуючи високий рівень захисту та оперативності керування. Наприклад, на одному з підприємств Запорізької області впровадження БДУ-ХД дозволило зменшити час на діагностику та усунення несправностей у системі керування на 30%.



Рисунок 2.2 – Блок дистанційного управління БДУ-ХД

22

2.4 PHOENIX CONTACT PX SERIES

Серія PX від Phoenix Contact — це сучасні пристрої дистанційного керування, які відзначаються високою якістю електричної ізоляції, стійкістю до перенапруги та наявністю розширених алгоритмів fail-safe. Вони підтримують інтеграцію з SCADA-системами, мають розвинені функції самодіагностики та резервування каналів зв'язку.

Технічні характеристики:

Пристрої PX Series розроблені для роботи у складних промислових умовах, де важливі максимальна надійність та безпека. Високий рівень електричної ізоляції забезпечує захист від перенапруги та коротких замикань, а підтримка резервування каналів зв'язку дозволяє уникнути втрати керуваності навіть у разі аварійних ситуацій. Інтеграція з сучасними SCADA-системами забезпечує централізований моніторинг та управління, а розширені функції самодіагностики

дозволяють своєчасно виявляти та усувати несправності.

Принцип роботи:

PX Series використовує багаторівневу систему апаратного захисту, що включає гальванічну розв'язку, енергетичні обмежувачі та автоматичне аварійне відключення живлення при перевищенні допустимих параметрів. Програмне забезпечення інтегрується з SCADA- та IoT-платформами, що дозволяє збирати дані з численних сенсорів та здійснювати їх аналіз у реальному часі.

Нормативна база:

Відповідає вимогам IEC 60079, ATEX, має сертифікати відповідності для роботи у вибухонебезпечних середовищах.

Переваги:

- Надійність, довговічність, глибока інтеграція у комплексні системи автоматизації.
- Розширені функції fail-safe та самодіагностики.
- Висока якість ізоляції та захисту від перенапруги.
- Сертифікація для роботи у вибухонебезпечних середовищах.

23

Недоліки:

- Висока вартість.
- Складність монтажу та обслуговування.
- Необхідність спеціалізованої підтримки.

Приклад застосування:

Пристрої PX Series використовуються на великих промислових підприємствах для централізованого моніторингу та аварійного відключення обладнання, де важливі максимальна надійність і можливість масштабування системи керування. Особливо ефективними вони є у хімічній та нафтохімічній промисловості, де від безперервності керування залежить безпека всього виробництва. Наприклад, на одному з підприємств Польщі впровадження PX

Series дозволило знизити кількість аварійних зупинок обладнання на 25% завдяки підвищенню рівня автоматизації та діагностики.



Рисунок 2.3 – Пристрій Phoenix Contact PX Series

2.5 SIEMENS SITRANS SAFETY MODULE

Модулі безпеки Siemens SITRANS призначені для дистанційного керування та моніторингу у вибухонебезпечних середовищах. Вони забезпечують двосторонній зв'язок, резервування каналів та високу точність вимірювань.

Технічні характеристики:

Siemens SITRANS Safety Module — це багатофункціональний пристрій, який дозволяє не лише передавати керуючі сигнали, а й здійснювати моніторинг стану обладнання у реальному часі. Двосторонній зв'язок із резервуванням забезпечує

24

безперервність керування навіть у разі відмови основного каналу. Висока точність вимірювань дозволяє оперативно реагувати на відхилення параметрів, а інтеграція з SCADA та IoT-платформами відкриває широкі можливості для автоматизації та аналітики.

Принцип роботи:

Модуль здійснює збір даних з численних сенсорів, аналізує їх у реальному часі та автоматично ініціює аварійне відключення у разі виявлення небезпечних відхилень. Програмні алгоритми самодіагностики постійно контролюють стан пристрою, аналізують дані з сенсорів і автоматично ініціюють аварійне відключення у разі виявлення небезпечних тенденцій.

Нормативна база:

Відповідає вимогам ІЕС 60079, АТЕХ, має сертифікати відповідності для роботи у вибухонебезпечних середовищах.

Переваги:

- Висока функціональність, надійність у промислових умовах.
- Можливість інтеграції з сучасними платформами.
- Двосторонній зв'язок із резервуванням каналів.
- Висока точність вимірювань та моніторингу.

Недоліки:

- Висока вартість інсталяції.
- Складність налаштування.
- Потреба у спеціалізованому обслуговуванні.

Приклад застосування:

Siemens SITRANS Safety Module активно впроваджується на хімічних та нафтохімічних підприємствах, де необхідна висока точність контролю параметрів та можливість оперативного реагування на аварійні ситуації. Завдяки своїм можливостям пристрій дозволяє підвищити рівень безпеки та ефективності виробничих процесів. Наприклад, на одному з підприємств Німеччини впровадження SITRANS Safety Module дозволило скоротити час реагування на аварійні ситуації на 40%.

25



Рисунок 2.4 – Siemens SITRANS Safety Module

2.6 ABB SAFESWITCH

SafeSwitch від ABB — це бездротовий пристрій дистанційного керування, який має вбудовану самодіагностику та сучасні алгоритми шифрування для захисту даних.

Технічні характеристики:

SafeSwitch розроблений для роботи у складних промислових умовах, де важлива мобільність та швидкість розгортання системи. Бездротова передача сигналу дозволяє уникнути складного монтажу кабельних ліній, а вбудована система самодіагностики забезпечує своєчасне виявлення несправностей. Захищеність даних гарантується сучасними алгоритмами шифрування, що особливо важливо для підприємств із підвищеним рівнем ризику. Принцип роботи:

SafeSwitch використовує бездротові протоколи зв'язку з резервуванням каналів, що дозволяє забезпечити безперервність керування навіть у разі збоїв основної лінії. Вбудована система самодіагностики постійно контролює стан пристрою та сигналізує про несправності.

26

Нормативна база:

Відповідає вимогам ІЕС 60079, АТЕХ, має сертифікати відповідності для роботи у вибухонебезпечних середовищах.

Переваги:

- Висока мобільність, простота інтеграції у сучасні системи.
- Захищеність від несанкціонованого доступу.
- Вбудована система самодіагностики.
- Підтримка бездротової передачі сигналу.

Недоліки:

- Обмеження у випадках екстремальних умов експлуатації (наприклад, сильні електромагнітні завади).

- Потреба у спеціалізованій підтримці для коректної інтеграції.
- Вища вартість у порівнянні з провідними аналогами.

Приклад застосування:

ABB SafeSwitch використовується на сучасних газових підприємствах, де важливо забезпечити швидке реагування на зміну параметрів та мінімізувати ризик перебування персоналу у небезпечних зонах. Завдяки бездротовій технології пристрій дозволяє оперативно розгортати системи керування у нових зонах без складного монтажу. На одному з підприємств Норвегії впровадження SafeSwitch дозволило скоротити час монтажу системи керування на 50% у порівнянні з традиційними провідними рішеннями.



Рисунок 2.5 – ABB SafeSwitch

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця пристроїв

Назва	Виробник	Тип зв'язку	Іскробезпека	Інтеграція з SCADA/ IoT	Переваги	Недоліки
БДУ	ТОВ «НВП Рудпроматоматика»	Провідний	Так	Обмежена	Висока надійність, простота, доступна ціна	Застаріла елементна база, обмежені функціональні складні інтеграції
БДУ ХД	ДІГ, Україна	Провідний	Так	Так	Сучасна база, мікроконтролер, індикація, гнучкість	Потреба у якісному монтажі, гарантія

						12 міс.
PX Series	Phoenix Contact	Провідний	Так	Так	Висока якість ізоляції, fail-safe, інтеграція	Висока вартість, складність монтажу
SITRANS Safety Module	Siemens	Провідний/бездротовий	Так	Так	Двосторонній зв'язок, точність, масштабованість	Висока ціна, складність налаштування
SafeSwitch	ABB	Бездротовий	Так	Так	Мобільність, самодіагностика, захищеність	Обмеження в екстремальних умовах, потреба у підтримці

2.7 Висновок до другого розділу

Проведений аналіз показав, що сучасні пристрої дистанційного керування для іскробезпечних середовищ мають широкий спектр функцій, забезпечують високий рівень безпеки та інтеграції з автоматизованими системами. Водночас більшість із них є дорогими, складними в обслуговуванні та потребують спеціалізованої підтримки. Вітчизняні рішення, такі як БДУ ТОВ «НВП-Рудпроматоматика», вирізняються простотою, надійністю та доступною ціною, але потребують

28

модернізації для відповідності сучасним вимогам. Саме тому доцільно обрати цей пристрій як базу для подальшого вдосконалення, перевівши його на мікропроцесорну основу, що дозволить розширити функціонал, підвищити надійність та забезпечити інтеграцію з сучасними системами автоматизації. Вибір оптимального пристрою для модернізації має ґрунтуватися на поєднанні таких

критеріїв, як відповідність міжнародним стандартам, можливість інтеграції з сучасними платформами, простота обслуговування та економічна доцільність. Модернізований блок дистанційного керування повинен забезпечувати не лише базові функції іскробезпеки, а й підтримку сучасних протоколів зв'язку, розширені можливості діагностики та самотестування, а також гнучкість налаштувань для різних умов експлуатації.

29

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМОТЕХНІКИ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІСКРОБЕЗПЕЧНОГО БЛОКУ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Проектування функціональної схеми та логіки роботи іскробезпечного блоку дистанційного керування

Розглянемо функціональну схему роботи блоку дистанційного керування (рисунок 3.1).

Блоку дистанційного керування (БДК) може працювати у двох режимах: •

місцеве керування за допомогою пульта дистанційного керування (ПДК); •

дистанційне керування за допомогою команд керування зі SCAD системи (Supervisory Control and Data Acquisition - Система диспетчерського керування та збору даних).

Перемикання режиму відбувається перемикачем на корпусі БДК «Місц./Дист.».

При керуванні в місцевому режимі на вхід блоку дистанційного керування надходять сигнали керування с пульта дистанційного керування у формі змінної гармонійної (при відсутності сигналу керування) або пульсуючої напруги (при натиснутій кнопці керування). Даний сигнал проходить через іскробезпечні кола керування, що обмежують їх електричну енергію забезпечуючи принцип іскробезпечності.

Напруга сигналів керування прикладена до аналогового фільтра, що забезпечує первинну фільтрацію сигналу від імпульсних завад які можуть виникнути в колах керування від зовнішніх електромагнітних завад та призводять до хибних спрацювань БДК, що не допустимо в його роботі.

Відфільтрований сигнал надходить до аналогового входу Arduino Nano де відбувається його дискретизація та квантування в аналого-цифровому перетворювачі, програмна фільтрація для додаткового зменшення рівня завад та

30

формування прапорів керування дискретними виходами керування реле та індикації сигналів керування та зв'язку із ПДК.

При виявленні команди увімкнення від ПДК на дискретному виході відповідного каналу формується логічний сигнал, що через схему керування вмикає відповідне реле, сухі контакти якого виведені на роз'єм блоку дистанційного керування та з'єднані із відповідним об'єктом керування, що представляє собою пускач/реверсивний пускач або пристрій плавного пуску електричного двигуна конвеєра/лебідки чи іншого електричного обладнання.

При цьому відбувається увімкнення на індикаторі станів БДК відповідного світлодіода червоного кольору.

При надходженні команди на вимкнення з ПДК логічний сигнал увімкнення знімається що призводить до вимкнення реле та відповідного обладнання, а індикатор стану відповідного каналу змінює колір на зелений.

У випадку розірвання лінії зв'язку із ПДК гармонійна напруга/імпульсна напруга сигналів керування зникає, і реле відповідного каналу вимикається разом із вимкненням відповідного світлодіода індикації стану каналу.

При переведенні перемикачем БДК у режим дистанційного керування команди з ПДК ігноруються, а процес керування відбувається виключно командами, які надходять з програми верхнього рівня шляхом запису відповідних регістрів SCAD системою у пам'ять БДК.

Для зв'язку використовується інтерфейс RS232 який через зовнішній блок іскробезпечих кіл зв'язку забезпечує іскробезпечну передачу даних через іскронебезпечне середовище, поєднується з відповідним перетворювачем USB RS232 підключеним до персонального комп'ютера в залі керування. При цьому

персональному комп'ютері має бути встановлена довільна SCAD система яка підтримує протокол обміну MODBUS.

Живлення блоку дистанційного керування відбувається від джерела зниженої напруги змінного струму 18 В, що розташоване у взривозахисному корпусі разом із БДК.

31

стабілізаторів напруги у потрібні для живлення компонентів схеми величини.

Змінна напруга перетворюється на постійну за допомогою випрямляча та блок дистанційного

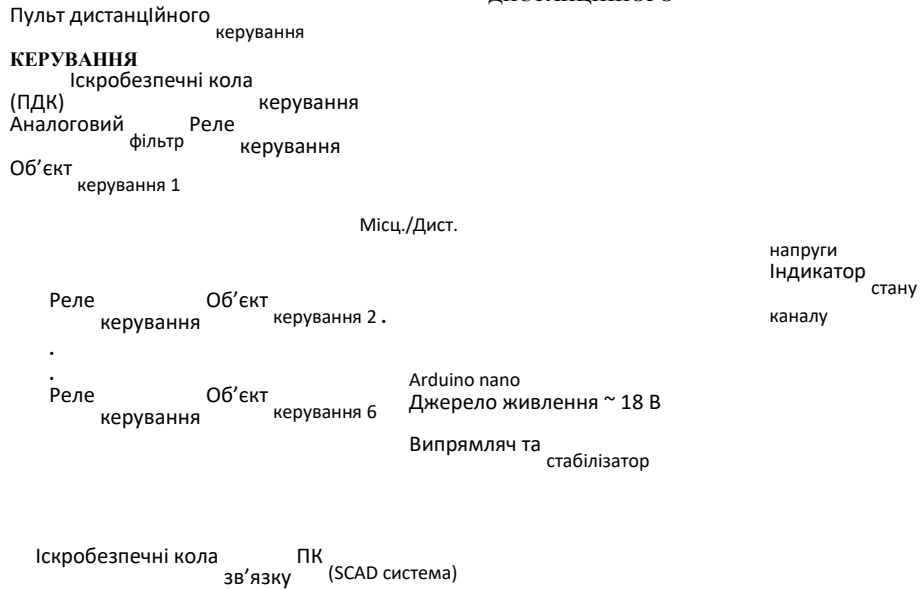


Рисунок 3.1 – Функціональна схема БДК та взаємодія із зовнішніми

пристроями 3.2 Проектування принципової схеми іскробезпечного БДК

Принципова схема БДК (рисунок 3.2) зібрана у середовищі моделювання Proteus складається з модуля Arduino Nano. Блоків підсхем забезпечення іскробезпечності та аналогової фільтрації: ANALOG FILTER_SAFETY_POWER_CH0-ANALOG FILTER_SAFETY_POWER_CH5, двох зсуваючих регістрів-защіпок 74HC595, пари світлодіодів зеленого та червоного кольору разом з обмежуючими їх струм резисторами 200 Ом, реле що спрацьовує

32

від напруги 4.5В, керуючих ключів на транзисторах BC547, швидкодіючих діодів 1N4148, кнопки керування режимом Місц/Дист. Спрощених джерел живлення 18 В змінного струму та 5 В постійного струму (електрична схема випрямляча не додавалась на схему оскільки плата Arduino Nano в середовищі Proteus не має

активних виводів для живлення)

Для імітації роботи пультів дистанційного керування до схеми були додані діоди 1N4007, що через кнопку та змінний резистор (імітує погіршення якості лінії зв'язку між пультом дистанційного керування та блоком дистанційного керування) під'єднані до входів іскробезпечих кіл керування.

Вміст блоку ANALOG FILTER_SAFETY_POWER_CH0 приведений на рисунку 3.3.

Він представляє собою струмообмежуючі резистори на 300 Ом та 2.2кОм, два зустрічно направлені діоди що забезпечують відповідну форму напруги для визначення сигналів керування та обриву/погіршення якості лінії. Двох ланковий RC-фільтр що складається з резисторів 2,7 кОм, 4,7 кОм, 8.2 кОм та конденсаторів 4,7мкФ та 662 мкФ виконують функцію виділення постійної складової з напруги сигналу що несе в собі інформацію про стан кола керування та сигналів: увімкнено/вимкнено/погіршення зв'язку з ПДК.

Реле керування отримують живлення якоря в момент формування сигналу логічної одиниці що надходить з відповідного виходу (з 2 по 7 включно) Arduino Nano через транзистор колектор якого послідовно зв'язаний з ними. Обмотка якоря реле зашунтована швидкодіючим діодом 1N4148 для виключення виходу з ладу транзистора в момент його закривання напругою протиерс.

Керування світло діодами відбувається з використанням двох зсуваючих регістрів-заціпок у які завантажується двійкова послідовність що відповідає роботі відповідного каналу та формується на виході при надходженні відповідного сигналу на вхід керування

SH_CP(GREEN) – D11;

SH_CP(RED) – D12;

DS – D13;

MR – +5V;

OE – GND.

Для організації зв'язку Arduino Nano із SCADсистемою використовуються вільні дискретні входи/виходи 8 (Tx) 9(Rx) відповідно, що будуть з'єднуватись з іскробезпечним колом зв'язку.

Режим роботи місцеве/дистанційне керування задає кнопка з фіксацією що підключена до входу А7.

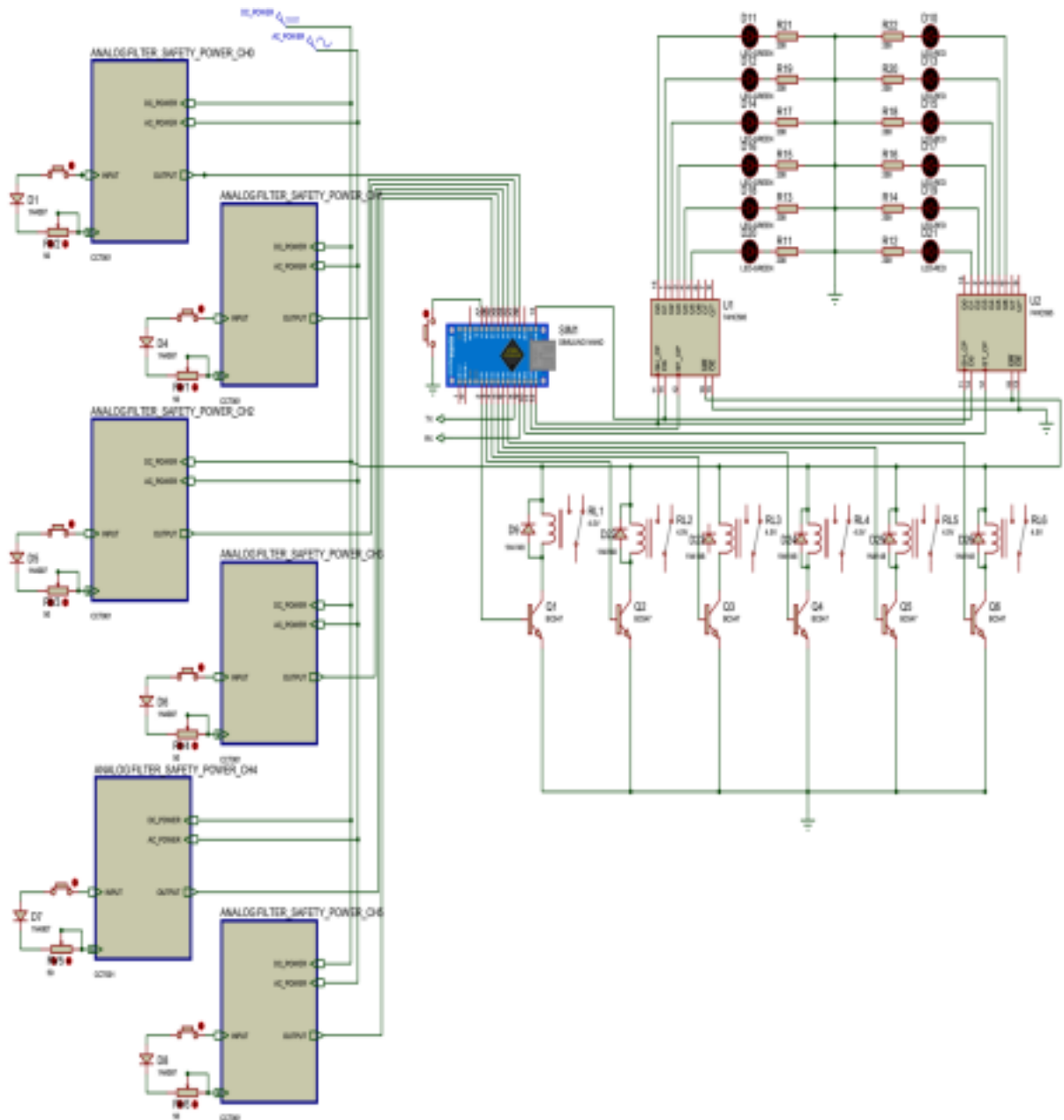


Рисунок 3.2 – Електрична схема іскробезпечного БДК

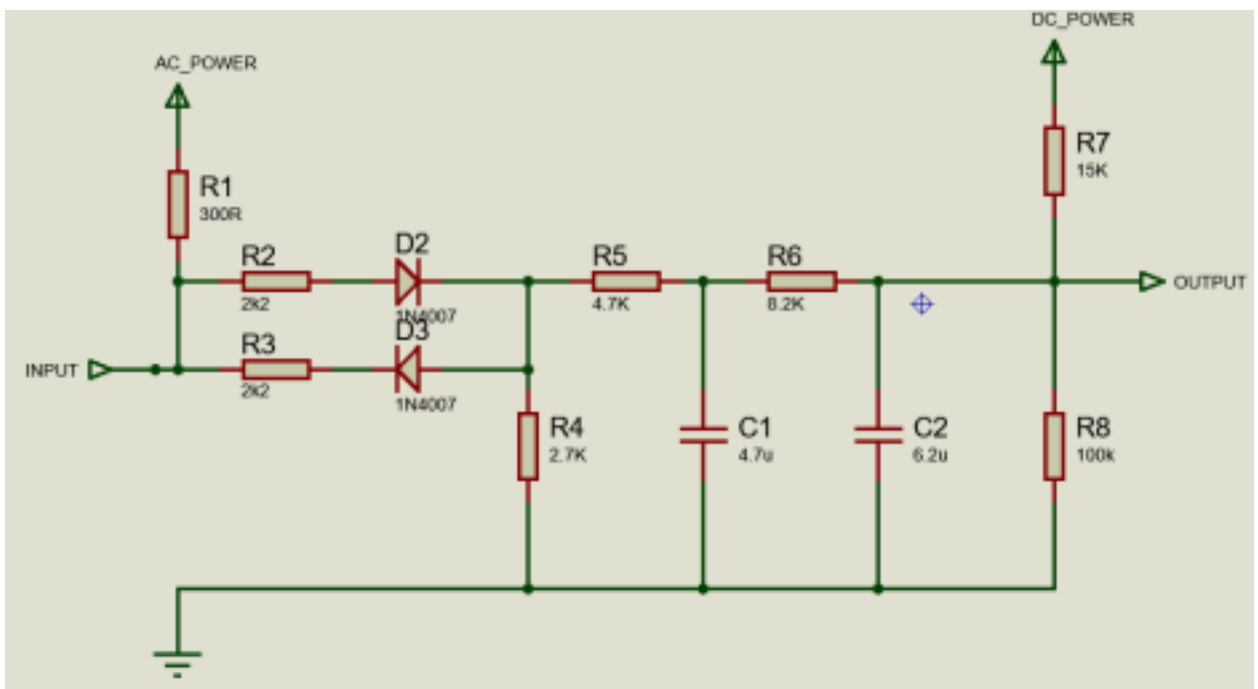


Рисунок 3.3 – Вміст блоку ANALOG_FILTER_SAFETY_POWER_CH0

3.3 Проектування програми керування іскробезпечним блоком дистанційного керування

Задача програми керування мікроконтролера іскробезпечного блоку керування має вирішувати наступні основні задачі:

- забезпечити отримання інформації з аналогових входів окремих каналів керування, усереднення їх (фільтрація від завад) та формування команд керування реле та світлодіодів індикації
- реалізувати керування з використанням дискретних виходів реле відповідного каналу в залежності від сигналів керування на входах та відмикання при наявності проблем із зв'язком реле керування
- забезпечити керування світло діодами індикації окремо зеленого та червоного кольорів станів каналів використовуючи зсуваючи регістри-защіпки
- реалізувати вибір режиму роботи БДК (місцевий/дистанційний) в залежності від стану кнопки з фіксацією на дискретному вході.

- Забезпечити двосторонній зв'язок між SCADA системою та мікроконтролером для можливості відстеження та керування (у режимів дистанційного керування) з персонального комп'ютера у залі керування використовуючи протокол MODBUS по RS-232.

35

Підключення бібліотек

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
#include <ModbusRtu.h>
```

- SoftwareSerial: створює додатковий послідовний порт (не USB) для зв'язку по RS232/RS485.
- ModbusRtu: бібліотека для реалізації протоколу Modbus RTU (slave-режим).

Константи конфігурації

```
#define NUM_CHANNELS 6
```

```
#define N_AVG 10
```

• NUM_CHANNELS: кількість незалежних каналів керування. • N_AVG: кількість вибірок для кожного усереднення аналогового сигналу. Оголошення пінів

```
const uint8_t analogPins[NUM_CHANNELS] = {A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6};  
const uint8_t relayPins[NUM_CHANNELS] = {2, 3, 4, 5, 6, 7};
```

```
const uint8_t ledLatchPinRed = 10;
```

```
const uint8_t ledLatchPinGreen = 11;
```

```
const uint8_t ledClockPin = 12;
```

```
const uint8_t ledDataPin = 13;
```

```
const uint8_t modeButtonPin = A7;
```

- analogPins[]: аналогові входи — вхідні сигнали керування.
- relayPins[]: виходи керування реле.
- led...: пін-керування 74HC595 (латчі, годинник, дані).
- modeButtonPin: дискретний вхід для перемикання режимів (аналоговий / Modbus).

Конфігураційні параметри

```
const int thresholdA = 400;
const int hysteresisG = 50;
const int minFaultValue = 20;
```

36

- thresholdA: рівень увімкнення реле.
- hysteresisG: гістерезис вимкнення.
- minFaultValue: поріг нижче якого вважається, що аналоговий сигнал відсутній (несправність).

Оперативні змінні

```
int analogBuffers[NUM_CHANNELS][N_AVG];
int bufferIndex = 0;
int avgValues[NUM_CHANNELS];
bool relayStates[NUM_CHANNELS] = { false };
bool faultStates[NUM_CHANNELS] = { false };
```

- analogBuffers: буфери ковзного усереднення.
- bufferIndex: індекс поточної вибірки.
- avgValues[]: середні значення сигналу.
- relayStates[]: стан реле (true — увімкнене).
- faultStates[]: виявлення несправностей.

Змінні та об'єкти для Modbus

```
uint16_t modbusRegs[NUM_CHANNELS];
SoftwareSerial modbusSerial(9, 8);
Modbus slave(1, modbusSerial, 0);
```

modbusRegs[]: регістри holding, що містять стани каналів:

- 0 — вимкнено
- 1 — увімкнено
- 2 — несправність

modbusSerial: програмний UART для обміну по Modbus.

slave: об'єкт Modbus-пристрою з адресою 1.

Глобальний режим роботи

```
bool analogControlMode = true;
```

- Змінна, яка визначає режим керування:
 - true: аналоговий контроль
 - false: Modbus-керування

37

setup() — початкова ініціалізація

```
void setup() {
```

```
...
```

```
}
```

- Налаштування пінів як виходів/входів.
- Встановлення початкового стану реле (вимкнені).
- Ініціалізація програмного порту Modbus.
- Ініціалізація регістрів Holding.

loop() — основний цикл

```
void loop() {
```

```
...
```

```
}
```

slave.poll(): обробка запитів Modbus.

Зчитування стану кнопки: перемикання режиму.

В залежності від режиму:

- readAndProcessAnalog(): зчитування аналогових входів.
- processModbusControl(): обробка команд з Modbus.

updateLEDs(): оновлення світлодіодної індикації.

readAndProcessAnalog() — аналогова логіка

```
void readAndProcessAnalog() {
```

```
...
```

```
}
```

Функції:

- Зчитує нові значення analogRead(...) у буфер.
- Обчислює середнє значення за останні N_AVG вимірів.

- Якщо значення менше `minFaultValue` — канал несправний.
- Якщо менше `thresholdA` — реле вмикається.
- Якщо більше `thresholdA + hysteresisG` — реле вимикається.
- Запис результату в реєстри `modbusRegs[]`.

38

processModbusControl() — логіка керування через Modbus

```
void processModbusControl() {
...
}
```

Функції:

Зчитує з `modbusRegs[]`, і на основі значення:

- 1 — вмикає реле
- 0 — вимикає реле

Ігнорує стан аналогових входів.

Помилки зв'язку не аналізуються (вважаймо, що керування гарантовано правильне).

updateLEDs() — світлодіодна індикація

```
void updateLEDs() {
...
}
```

Функції:

- Формує два байти:
 - `redState` — які канали увімкнені (червоний)
 - `greenState` — які вимкнені (зелений)
 - у разі несправності — не активується жоден
- Виводить ці байти в 74НС595 через `shiftOut()`:
 - один реєстр — для червоних, другий — для зелених.

3.4 Висновок до третього розділу

У розділі 3 розглянуто проектування схемотехніки та програмного забезпечення іскробезпечного блоку дистанційного керування (БДК). Основні аспекти включають функціональну схему, принципову електричну схему та програму керування. БДК працює у двох режимах: місцевому (керування через пульт) та дистанційному (керування через SCADA-систему). Для забезпечення

39

іскробезпечності використано струмообмежуючі резистори, діоди та RC-фільтри. Аналогові сигнали фільтруються та обробляються мікроконтролером Arduino Nano, який керує реле та світлодіодною індикацією. Для зв'язку з SCADA системою використовується протокол Modbus через інтерфейс RS232. Програмне забезпечення реалізує фільтрацію сигналів, керування реле, індикацію станів та обмін даними. Живлення блоку забезпечується джерелом зниженої напруги 18 В. Розробка включає моделювання в Proteus, що підтверджує працездатність схеми. Запропоноване рішення забезпечує надійність, безпеку та гнучкість у керуванні обладнанням у вибухонебезпечних середовищах.

40

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі «Проектування іскробезпечного блоку дистанційного керування на Arduino» проведено комплексне дослідження проблеми забезпечення іскробезпеки електрообладнання у вибухонебезпечних середовищах, здійснено аналіз сучасних технічних рішень та розроблено власний пристрій із використанням сучасної мікроконтролерної бази. Основні результати та висновки роботи можна підсумувати наступним чином.

1. Аналіз сучасних підходів до іскробезпеки та нормативної бази У першому розділі роботи розглянуто сучасний стан проблеми іскробезпеки в промисловості, визначено основні ризики, пов'язані з експлуатацією електрообладнання у вибухонебезпечних середовищах. Показано, що забезпечення іскробезпеки є багаторівневим завданням, яке поєднує технічні, організаційні та інформаційні рішення. Відповідність міжнародним і національним стандартам

(IEC 60079, АТЕХ, ДСТУ EN 13237:2019, ДСТУ IEC 60079-6:2009) є обов'язковою умовою для введення обладнання в експлуатацію.

Аналіз причин аварій у вибухонебезпечних середовищах свідчить, що основними факторами ризику є порушення правил експлуатації, використання несертифікованого обладнання, недостатній моніторинг параметрів та відсутність регулярного технічного обслуговування. В роботі детально розглянуто принципи забезпечення іскробезпеки: обмеження електричної енергії, фізична та електрична ізоляція, постійний моніторинг параметрів, відповідність стандартам і сертифікація обладнання.

Окрему увагу приділено сучасним системам керування, які базуються на принципах автоматизації, інтеграції та гнучкості. В роботі підкреслено важливість взаємодії систем іскробезпеки з іншими елементами промислової безпеки, такими як пожежна сигналізація, вентиляція, аварійне відключення живлення, системи відеоспостереження. Проведено SWOT-аналіз сучасних систем керування, що дозволило визначити їх сильні та слабкі сторони, можливості та загрози.

41

2. Огляд існуючих пристроїв дистанційного керування для іскробезпечних середовищ

У другому розділі проведено детальний аналіз існуючих пристроїв дистанційного керування, які забезпечують іскробезпеку для комутаційних апаратів. Розглянуто як вітчизняні, так і зарубіжні рішення, зокрема БДУ ТОВ «НВП-Рудпром автоматика», БДУ-ХД, Phoenix Contact PX Series, Siemens SITRANS Safety Module, ABB SafeSwitch. Для кожного пристрою проаналізовано технічні характеристики, переваги та недоліки, а також практичний досвід застосування.

Проведене порівняння показало, що більшість сучасних пристроїв мають високий рівень безпеки, інтеграції та автоматизації, однак є дорогими, складними в обслуговуванні та потребують спеціалізованої підтримки. Вітчизняні рішення вирізняються простотою, надійністю та доступною ціною, але потребують модернізації для відповідності сучасним вимогам. На основі аналізу зроблено висновок про доцільність модернізації існуючих пристроїв шляхом впровадження мікроконтролерної бази, розширення функціоналу та інтеграції з сучасними системами автоматизації.

3. Проектування іскробезпечного блоку дистанційного керування У

третьому розділі описано процес проектування іскробезпечного блоку дистанційного керування на основі Arduino Nano. Розроблено функціональну та принципову схеми пристрою, програмне забезпечення для керування реле та індикацією, а також реалізовано обмін даними з SCADA-системою через протокол Modbus. Особливу увагу приділено забезпеченню іскробезпеки на апаратному рівні (використання струмообмежуючих резисторів, діодів, RC-фільтрів) та на програмному рівні (фільтрація сигналів, діагностика несправностей, вибір режиму роботи).

Моделювання пристрою у середовищі Proteus підтвердило працездатність розробленої схеми та програмного забезпечення. Запропоноване рішення дозволяє забезпечити надійне та безпечне дистанційне керування електрообладнанням у

42

вибухонебезпечних середовищах, підвищити рівень автоматизації та інтеграції з сучасними промисловими платформами.

4. Практичне значення та наукова новизна

Практична цінність роботи полягає у створенні надійного, гнучкого та економічно доцільного рішення для дистанційного керування електрообладнанням у вибухонебезпечних середовищах, що відповідає сучасним вимогам безпеки та автоматизації. Запропонований підхід дозволяє підвищити рівень безпеки, надійності та гнучкості керування, а також забезпечити можливість впровадження на промислових підприємствах України.

Наукова новизна роботи полягає у створенні сучасного іскробезпечного блоку дистанційного керування з можливістю інтеграції у SCADA-системи та використанням мікроконтролерної бази. Розроблені технічні рішення можуть бути використані для модернізації існуючих систем керування, а також для створення нових пристроїв з розширеним функціоналом.

5. Перспективи подальших досліджень

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на:

- Вдосконалення алгоритмів діагностики та самотестування пристрою. •

Розширення функціоналу за рахунок впровадження бездротових технологій зв'язку.

- Інтеграцію з хмарними платформами для збору та аналізу даних у реальному часі.

- Дослідження питань кібербезпеки у системах дистанційного керування.

Розробку універсальних модулів для різних типів промислового обладнання.

43

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. IEC 60079-6:2015. Explosive atmospheres – Part 6: Equipment protection by oil immersion "o". – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2015. – 53 p. areas [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_equipment_in_hazardous_areas (дата звернення:04.03.2025)

2. Directive 2014/34/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres (ATEX). – Official Journal of the European Union, 29.03.2014, L 96, p. 309–356.

3. ДСТУ EN 13237:2019. Вибухонебезпечні середовища. Терміни і визначення понять для обладнання і систем захисту, призначених для використання у вибухонебезпечних атмосферах. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 26 с. (EN 13237:2012, IDT).

4. ДСТУ IEC 60079-6:2009. Вибухонебезпечні атмосфери. Частина 6. Захист електроустаткування способом масляного занурення «о». – Київ: Держспоживстандарт України, 2010. – 55 с. (IEC 60079-6:2007, IDT).

5. Блок дистанційного керування (БДУ) / ТОВ «НВП РУДПРОМАВТОМАТИКА». – Режим доступу: [<https://rpa.ua/katalog-produkcziyi/prystroyi-peredachi-danyh-dopomizhni-bloky/bloky-nyzkovoltni/blok-dystancziynogo-keruvannya-bdu>](<https://rpa.ua/katalog-produkcziyi/prystroyi-peredachi-danyh-dopomizhni-bloky/bloky-nyzkovoltni/blok-dystancziynogo-keruvannya-bdu/>). (дата звернення:05.03.2025)

6. Блок дистанційного управління типу БДУ-ХД. – Режим доступу: <https://www.deg.com.ua/catalog/product/bloki-upravlinnja-i-zahistu/> (дата звернення: 05.03.2025)

7. Phoenix Contact. PX Series / PHOENIX КОНТАКТ. – Режим доступу: <https://www.phoenixcontact.com/en-us/products> (дата звернення:05.03.2025) 8.
Siemens SITRANS. Safety Module / SIEMENS. – Режим доступу: <https://www.siemens.com/us/en/products/automation/process-instrumentation/pressure-measurement.html> (дата звернення:05.03.2025)

44

9. ABB SafeSwitch / АВВ. – Режим доступу: <https://new.abb.com/low-voltage/products/safety-products> (дата звернення:05.03.2025)

10. **Grubac I., Kieser B., Mancini M.** Root-Cause Analysis of Industrial Dust Explosions (2000–2022) // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2023. – Vol. 171. – P. 455–468. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.04.018> (дата звернення: 20.04.2025)

11. **Eaton MTL.** AN9003. *A User's Guide to Intrinsic Safety*. – 3rd ed. – Luton, UK, 2023. – 28 p. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.mtl-inst.com/images/uploads/datasheets/App_Notes/AN9003.pdf (дата звернення: 23.04.2025)

12. **Texas Instruments.** *Intrinsic Safety Compliance of Digital Isolators in Explosive Atmospheres (Rev. A)*. – Dallas, TX, 2024. – 16 p. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ti.com/lit/pdf/slla480> (дата звернення: 24.04.2025)

13. **Siemens AG.** *Functional Safety in Process Instrumentation with SIL Rating*. – Edition 2023. – 24 p. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109766169/SIL_Broschuere_EN.pdf (дата звернення: 30.04.2025)

14. **IEC 61508-1:2010.** Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 1: General requirements. – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2010. – 112 p. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://webstore.iec.ch/publication/22273> (дата звернення: 06.05.2025)

15. **Chen L., Zhang Y.** SCADA–IoT Convergence for Hazardous-Area Monitoring // *IEEE Access*. – 2024. – Vol. 12. – P. 8890–8903. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10333450> (дата звернення: 12.05.2025)

16. **Malik A., Raza M.** Integrated Fire + Gas + Ventilation Safety Design for Offshore Platforms // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2022. –

Vol. 79. – Art. № 104816. [Электронный ресурс]. Режим доступа:
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104816> (дата звернення:13.05.2025)

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу

випускника спеціальності: 123 «Комп'ютерна інженерія»

відділення: комп'ютерної та програмної інженерії

циклова комісія: комп'ютерних систем та мереж

Владислав БАЛЮК
(ім'я, прізвище)

1. Актуальність теми: Обрана тема кваліфікаційної роботи «Проектування іскробезпечного блоку дистанційного керування на Arduino» є актуальною.
2. Кваліфікаційна робота відповідає темі, затвердженій наказом.
3. Завдання на виконання кваліфікаційної роботи виконано у повному обсязі.
4. В результаті виконання кваліфікаційної роботи було виконано проектування іскробезпечного блоку дистанційного керування на Arduino.
5. Якість виконання пояснювальної записки та ілюстративного (графічного) матеріалу відповідає вимогам Державних стандартів.
6. В кваліфікаційній роботі зроблений акцент на дані отримані на практиці.
7. Кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «добре».

Рецензент _____

(науковий ступінь, посада)

« ____ » _____ 2025 р.

(ім'я, прізвище)

З рецензією ознайомлений

Ву

(підпис)

Владислав БАЛЮК

(ім'я, прізвище)