

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Убалехта Руслана Яношевича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система
керування електромагнітом пратцен - крана

(повна назва теми)

за матеріалами ПАТ „АрселорМіттал Кривий Ріг”

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник д.філ.з фізики, доцент
(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Соломенко А.Г.
(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 16.06.2026 р. № 397-ст

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н.
Наук. ступень, вчене звання

Є.О. Модло
Ініціали, прізвище

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ бакалавр _____

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«_____» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

_____ Убалехта Руслана Яношевича _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної кваліфікаційної роботи

Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система керування електромагнітом пратцен - крана

керівник випускної роботи Соломенко Анастасія Геннадівна, д.філ.з фізики, доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «06» квітня 2026 року № 239-ст

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи 02.06.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

Об'єкт автоматизації – вантажопідйомний електромагніт пратцен-крана КСЛ-16 на холодильнику цеху Блюмінг ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»; кількість кранів у цеху – 9; вантажопідйомність крана – 16 т; проліт крана – 28-34 м; швидкість підйому вантажу – 16 м/хв; швидкість пересування візка – 60 м/хв; швидкість пересування крана – 150 м/хв; висота підйому вантажу – до 6,6 м; режим роботи (ПВ) – 50%; напруга живлення електромагніта – постійний струм 220 В (через випрямляч за схемою Ларіонова); напруга живлення приводів крана – змінний трифазний струм 380 В; температура нагріву корпусу й апаратури крана від гарячого металу – 70-80 °С; ЕРС самоіндукції при відключенні електромагніта (існуючий стан) – до 1,5 кВ і більше; вартість ремонту електромагніта – 90,0-150,0 тис. грн; міжремонтний період – не більше 3 років; критерій захисту від короткого замикання – $I_{ш} > 1,5 I_n$ з усередненням за 5 мс (5 циклів); критерій захисту від перевантаження – $I_{ш} > 1,2 I_n$ з усередненням за 60 с (60 циклів); вимоги – виключення перенапруг при відключенні електромагніта, форсоване розмагнічування за рахунок реверсивної тиристорної схеми, контроль струму, напруги, опору обмотки, температури та тривалості

включення (ТВ), обмін даними з пультом оператора по RS-485 та з верхнім рівнем через GSM-модем.

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

4.1 Аналітична частина: Особливості конструкції та технічні дані мостового крана КСЛ-16. Аналіз існуючої схеми керування електромагнітом та причин виходу з ладу (ЕРС самоіндукції). Постановка задачі модернізації системи керування. 4.2 Основна частина: Розробка пристрою керування електромагнітом з мікропроцесорним керуванням. Аналіз і обґрунтування вибору реверсивної тиристорної схеми керування. Розробка алгоритмів захисту від КЗ, перевантаження, визначення ПВ та температури обмотки. Вибір технічних засобів (контролер, БГР, блок керування тиристорами, GSM-модем, панель оператора SH-300). Розробка блок-схем алгоритмів керування електромагнітом. Заходи з охорони праці: Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників. Розрахунок захисного заземлення та освітлення. Пожежна безпека та засоби індивідуального захисту.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
ВРБ.151.239-ст.06.Е7 - Зовнішній вид пратцен-крана КСЛ-16; ВРБ.151.239-ст.06.Е6 - Аналіз схем керування електромагнітом; ВРБ.151.239-ст.06.Е0.1 - Функціональні залежності алгоритмів роботи контролера; ВРБ.151.239-ст.06.Е0.2 - Часова діаграма роботи тиристорної схеми управління електромагнітом; ВРБ.151.239-ст.06.Е0.3 - Блок-схема алгоритму керування електромагнітом; ВРБ.151.239-ст.06.Е0.4 - Приклади даних, видаваних на пульт оператора й дисплей; ВРБ.151.239-ст.06.Е3 - Принципова реверсивна тиристорна схема управління електромагнітом.

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Соломенко А.Г.	10.04.2026	10.04.2026
Основна частина	Соломенко А.Г.	10.04.2026	10.04.2026

7. Дата видачі завдання 10.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	01.05.2026	
2.	Основна частина	22.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	28.05.2026	
4.	Виконання графічної частини	29.05.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	08.06.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	19.06.2026	

Студент

(підпис)

Убалехт Р.Я.
(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи

(підпис)

Соломенко А.Г.
(прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення			Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.	
1	A3	ВРБ.151.239-ст.06.Е7			Зовнішній вид пратцен-	1			
2					крана КСЛ-16				
3	A3	ВРБ.151.239-ст.06.Е6			Аналіз схем	1			
4					керування електромагнітом				
5	A3	ВРБ.151.239-ст.06.Е0.1			Функціональні залежності				
6					алгоритмів роботи	1			
7					контролера				
8	A3	ВРБ.151.239-ст.06.Е0.2			Часова діаграма	1			
9					роботи тиристорної				
10					схеми управління				
11					електромагнітом	1			
12	A3	ВРБ.151.239-ст.06.Е0.3			Блок-схема алгоритму				
13					керування електромагнітом				
14	A3	ВРБ.151.239-ст.06.Е0.4			Приклади даних	1			
15					видаваних на пульт				
16					оператора й дисплей				
17	A3	ВРБ.151.239-ст.06.Е3			Принципова реверсивна				
18					тиристорна схема	1			
19					управління електромагнітом				
20	A4	ВРБ.151.239-ст.06.ПЗ			Пояснювальна записка	74			
21									
22									
					ВРБ.151.239-ст.01.ВР				
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система керування електромагнітом пратцен - крана	Літера		Аркуш	Аркушів
Розроб.		Убалехт Р.Я.						4	1
Пров.		Соломенко А.Г.							
Н.контр.		Соломенко А.Г.							
Затв.		Модло Є.О.			Відомість роботи	ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА гр. АВ-22			

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи: 74с., 25 рис., 8 табл., 23 джерела.

Об'єкт роботи: електромагніт пратцен - крана на складі готової продукції цеху Блюмінг ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Ціль роботи - розробка пристрою керування електромагнітом, що виключає перенапруги при його відключенні.

Методи досліджень - аналіз існуючих способів і засобів керування.

Представлено інформацію про призначення, величини навантажень і особливості роботи електромагніта. Відзначено недоліки - перенапруги при перемиканнях за рахунок виникнення ЕРС самоіндукції, недосконалість захистів від перевантажень і коротких замикань.

Запропоновано принцип роботи й структура пристрою керування, що містить тиристори, керовані сигналами контролера зі швидкодіючим захистом. Представлено алгоритми роботи й наведені розрахунки з аналізом погрішностей. Обрано елементну базу.

Ключові слова: алгоритм, вантажопідйомний електромагніт, вимір струмів і напруг, захист від струмових перевантажень, мікропроцесор, пратцен-кран, тиристор.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Мостовий кран. Особливості конструкції	10
1.1.1 Призначення	10
1.1.2 Технічні данні крану КСЛ-16	10
1.1.3 Будова і робота крана	11
1.2 Котушка й робота магніту	16
1.3 Постановка задачі.....	20
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	22
2.1 Розробка пристрою керування електромагнітом з мікропроцесорним керуванням.....	22
2.1.1 Аналіз відомих засобів зменшення ЕРС самоіндукції.....	22
2.1.2 Аналіз схем керування електромагнітом.....	26
2.1.3 Обґрунтування погрешностей вимірів	32
2.1.4 Алгоритми роботи контролера	34
2.2 Вибір технічних засобів	37
2.2.1 Контролер	37
2.2.2 Блок гальванічних розв'язок	40
2.2.3 Уніфіковані одноканальні промислові джерела живлення	43
2.2.4 GSM –модем	45
2.2.5 Блок керування тиристорами.....	46
2.2.6 Графічна панель оператора SH-300.....	49
2.3 Блок – схеми алгоритмів	50

2.3.1 Блок –схема алгоритму керування електромагнітом	50
2.3.2 Блок –схема алгоритму визначення КЗ і перевантаження.....	53
2.3.3 Блок – схема алгоритму визначення ТВ	54
2.4 Приклади даних, видаваних на пульт оператора й дисплей.....	56
2.5 Охорона праці.....	58
2.5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА	Ошибка!
Закладка не определена.	
2.5.1 Нормативна база та стан виробничого травматизму.....	58
2.5.2 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників	59
2.5.3 Заходи щодо зниження впливу шкідливих і небезпечних чинників	61
2.5.4 Розрахунок захисного заземлення електроустановок	62
2.5.5 Розрахунок освітлення станового прольоту.....	63
2.5.6 Засоби індивідуального захисту	63
2.5.7 Санітарно-побутове забезпечення.....	65
2.5.8 Пожежна безпека та екологія.....	66
2.5.9 Комплексна оцінка безпеки впровадженого пристрою	66
ВИСНОВКИ.....	70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	73

ВСТУП

У цей час на холодильнику цеху блюмінг працює 9 пратцен-кранів, призначених для передачі пакетів заготівель у подальший переділ на сортові стани. Заготівля являє собою квадрат зі стороною 80 мм і довжиною від 10,5 до 11,5 метра. Кількість заготівель у пакеті від 10 (українською рідко) до 16 шт. Максимальна довжина шляху моста пратцен -крана біля 450 метрів. Максимальний шлях пересування візка - 28 метрів. Для підйому пакета кран обладнаний двома двох- обмотувальними електромагнітами постійного струму напругою 220 В. За рахунок наявності механізму, так званої каруселі, електромагніти мають три ступені волі руху. Для переміщення пакета в горизонтальному напрямку використовуються приводи моста й візка, для підйому й опускання у вертикальній площині - привод підйому й опускання.

Відзначимо, що гарячий метал у підкрановому просторі нагріває окремі місця корпусу й апаратуру крана до 70-80 °С

Загальна кількість двигунів на крані - 8. Двигуни змінного струму з фазним ротором і релейно- контакторною схемою керування. Силове живлення - тролєї, 380 В змінного струму. Керування кранами здійснюється машиністами з кабіни.

Напруга живлення на електромагніти подається від випрямляча, виконаного за схемою Ларіонова шляхом включенням контакторів «Підйом-Опускання». Для зменшення ЕРС самоіндукції при зніманні сигналу «Підйом» і подачі сигналу «Опускання» паралельно обмоткам установлені гасящі резистори. Незважаючи на їхню наявність ЕРС самоіндукції досягає 1,5 і більше кВ. Приблизно, це і є одна з основних причин передчасного виходу магнітів за рахунок пробую ізоляції.

Крім того, машиністами не дотримуються вимоги на ТВ магніту. Реальна температура обмоток у зв'язку з переміщенням магніту не вимірюється.

Залежно від використовуваного ізолюючого матеріалу вартість ремонту магніту 90,0 – 150,0 тис. грн. Проміжок часу між ремонтами – не більше трьох років.

Виходячи з викладеного, основними завданнями роботи є:

- дослідження й аналіз існуючих методів і засобів зменшення ЕРС самоіндукції при перемиканнях у колах постійного струму;
- розробка алгоритму й вибір елементної бази для створення сучасного пристрою керування електромагнітом.

Цілі проєкту - це рішення завдань:

- усунення витрат виробництва через простої крана, обумовлених витратами часу на демонтаж устаткування, що вийшло з ладу, і на монтаж нового;
- виключення витрат на транспортування встаткування, що відмовило, до місця ремонту й назад;
- виключення витрат на виконання ремонту;
- зменшення витрат на поточні ремонти електромеханічного встаткування крана.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Мостовий кран. Особливості конструкції

1.1.1 Призначення

Кран КСЛ-16 призначений для підйомно-транспортних робіт у цехах і на складах металургійного виробництва. [1]

Кран, як правило, розрахований на експлуатацію в районах з температурою навколишнього середовища від мінус 10 до плюс 45°C для кліматичного виконання Т і від мінус 40 до плюс 40 °С для кліматичного виконання У, категорій розміщення 1, 2 і 3 за ДСТ 15150-69.

Якщо припустимий діапазон температур роботи крана відрізняється від вищенаведених, то його вказують у паспорті крана. [2]

1.1.2 Технічні данні крану КСЛ-16

Режим роботи/ТВ, %.....	50
Вантажопідйомність , т.....	16
Швидкість підйому вантажу, м/хв.....	16
Швидкість пересування візка, м/хв.....	60
Швидкість пересування крана, м/хв.....	150
Частота обертання візка, об/хв.....	3,6
Час спрацьовування вантажозахватного пристрою при повороті лабетів на 90°, с, не більше.....	7
Висота підйому вантажу, м, не більше.....	6,6
Рід струму й напруга.....	змінний трифазний 380В або 415 В або постійний 220 В
Проліт крана, м.....	28-34
Вертикальне навантаження на підкранову рейку від колеса крана, тс, не більше.....	33
Загальна маса крана, т, не більше.....	174 [3]

До складу мостового електричного спеціального крана входить:

- крановий міст;
- механізм пересування крана;
- візок;
- вантажозахватний пристрій - траверсу з лабетами й електромагнітами;
- кабіна керування;
- електроустаткування.

1.1.3 Будова і робота крана

Крановий міст 1 (рис. 1.1) спирається на ходові колеса й переміщається по підкранових коліях, покладених на виступах верхньої частини стіни або колони цеху. Ходові колеса крана приводяться в обертання механізмом 5 пересування крана, що складається із чотирьох роздільних приводів, установлених на площадках пролітної будови моста.

По рейках, закріплених на верхньому поясі головних балок моста, пересувається візок 6, постачений піднімальним механізмом з вантажозахватним пристроєм.

Візок виконаний поворотним, що дозволяє робити укладання прокату як уздовж, так і поперек цеху.

Вантажозахватним пристроєм служить траверса 10 з лабетами 9 і вантажопідйомними електромагнітами 8, які призначені для транспортування прокату. Лабети використовуються для страховки вантажу при роботі магнітами й для транспортування розпеченого прокату.

Електроживлення крана здійснюється через тверді куткові тролєї 3, розміщені уздовж підкранових колій. Для подачі струму на кран застосовуються струмознімачі, прикріплені до металоконструкції крана, черевики яких ковзають але тролєям при переміщенні моста. Для обслуговування тролєїв и струмознімачів на крані передбачена люлька 4.

Живлення механізмів візка здійснюється через тверді куткові троллеї 13, розташовані на площадці моста.

Живлення поворотної частини візка здійснюється за допомогою кільцевих струмоприймачів 11, установлених у шахті візка.

Підведення струму до вантажопідйомних електромагнітів траверси здійснюється кабелем, що зв'язується з візка й укладається в кабелі збірнику, установленому на траверсі. Вантажопідйомні магніти харчуються постійним струмом від статичного випрямляча.

Керування механізмами крана виробляється з кабіни керування 15. Вхід у кабіну здійснюється зі спеціальної посадкової площадки, розташованої в цеху.

Вхід на візок і на міст може здійснюватися з посадкової площадки цеху через тамбур кабіни крана по сходам, установленим на тамбурі й у шахті візка, або з боку підкранових колій через двері на поруччях торцевих балок.

На дверях тамбура кабіни, на дверях входу на консольну площадку й на дверях поруччя торцевих балок установлені блокувальні вимикачі, що відключають живлення всіх механізмів крана (за винятком живлення вантажопідйомних електромагнітів) при відкриванні дверей.

Металоконструкція моста крана КСЛ-16-чотирьохферменого або коробчатого типу.

Обидві пролітних будови з'єднуються по кінцях торцевими балками.

Пролітна будова складається з головної балки двотаврового перетину й допоміжної ферми. На головних балках за допомогою притискних планок закріплюється підвізкова рейка.

Ґрати допоміжної ферми - трикутні, виконані з подвійних куточків.

Головна балка й допоміжна ферма з'єднані між собою верхніми горизонтальними зв'язками й настилом, а також нижніми горизонтальними ґратами й поперечними зв'язками.

Торцеві балки виконані коробчастими з монтажними стиками для можливості транспортування мостів по залізниці.

Для обслуговування головних тролей у торця моста підвішена колиска.

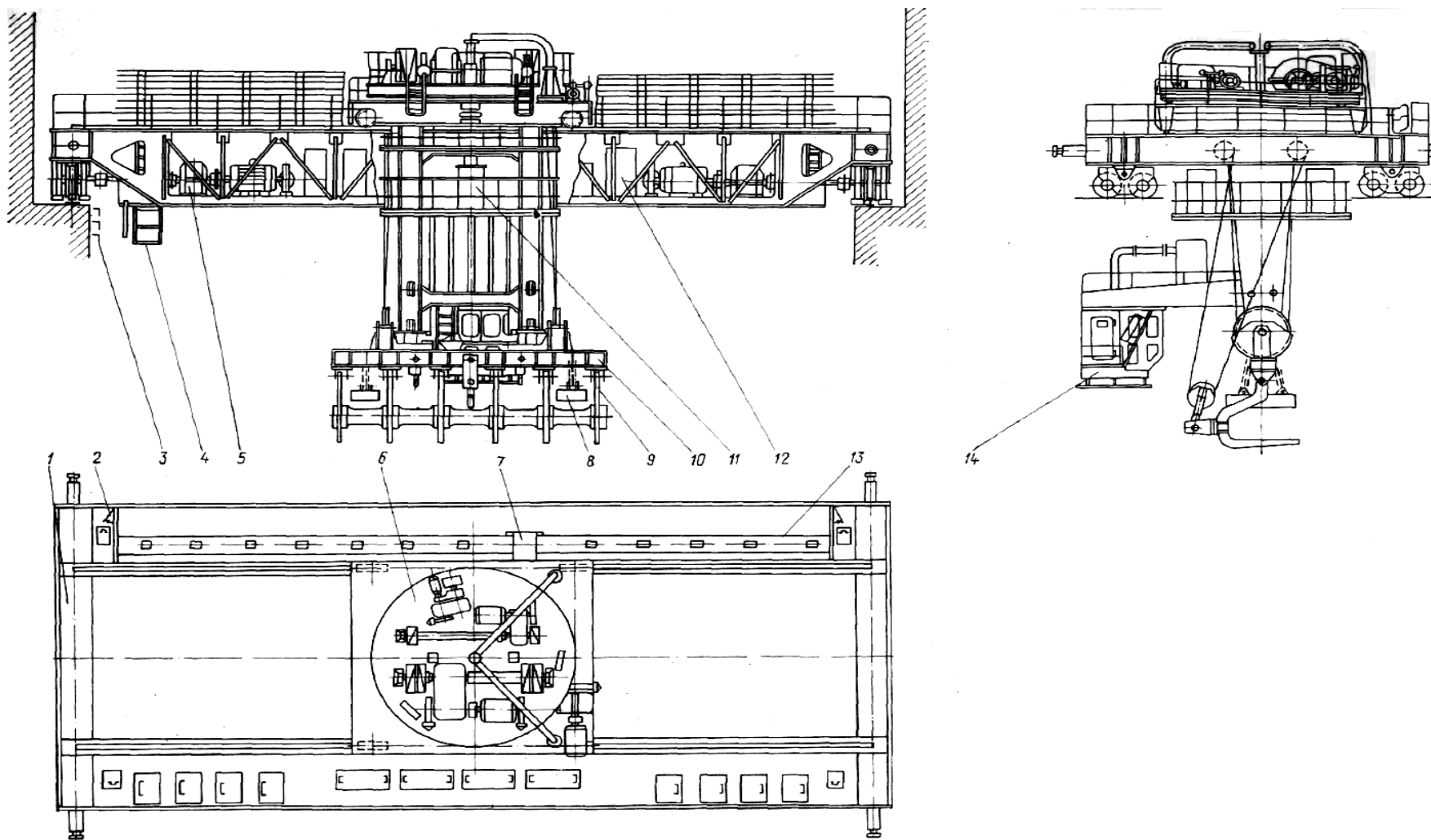


Рис. 1.1. Пратцен кран КСЛ-16 [1]

1 - міст; 2 - двері входу на майданчик мосту; 3 - ролеї крану; 4 - люлька; 5 - механізм руху крану; 6 - візок; 7 - бугель; 8 - вантажопідіймний магніт; 9 - лапи; 10 - траверса; 11 - кільцевий струмоприймач; 12 - електрообладнання; 13 - тролі візка; 14 - кабіна керування.

Для зм'якшення удару при підході крана до кінцевих упорів або при зближенні з іншим краном на торцевих балках передбачені пружинні буфери.

Пролітні будови й торцеві балки обгороджені поруччям.

Кран КСЛ-16 установлений на чотирьох двоколісних балансирних візках. У кожному балансирному візку одне колесо приводне. На кранах установлюються балансирні візки двох типів: з безребордними ходовими колесами й бічними роликами, або з ребордними колесами без бічних роликів. Приводне колесо отримує обертання від електродвигуна через зубчасту муфту, редуктор і плаваючий вал із зубчастими муфтами.

Зубчасті муфти, насаджені на плаваючий вал, забезпечують нормальну роботу механізмів при порушенні співвісності валів під час експлуатації.

Всі приводи постачені гальмами. На площадці моста встановлені дві ручні насосні станції. Кожна станція забезпечує змащенням всі змазуватися точки, що, механізму на одній торцевій балці. Зубчасті муфти, редуктори, підшипники електродвигунів, шарніри гальм змазуються індивідуально.

Візок (рис. 1.2) складається з наступних основних частин: нижньої рами 9; поворотної рами 10; механізму 12 пересування візка; механізму 8 повороту; механізму 11 підйому; механізму 18 перекидання лабетів; пристрою 2 кільцевих струмоприймачів; шахти 19; кабіни керування 17.

Нижня рама 9 – зварена зі знімною круговою рейкою. Рейка складається із чотирьох частин, опирається на суцільну кільцеву балку таврового перетину й кріпиться в обробленому пазу рами притискними планками. Для передачі навантажень із кільцевої балки на дві поздовжні балки, на яких установлені ходові колеса візка, служать кронштейни коробчастого перетину.

На нижній рамі розташований механізм 12 пересування візка й стійки 14 кільцевого струмоприймача. Рама встановлена на чотирьох колесах, дві з яких приводні. Ходові колеса кріпляться до рами візка за допомогою кутових букс. Електродвигун механізму пересування візка з'єднаний з вертикальним редуктором зубчастою муфтою. Редуктор за допомогою зубчастих муфт і проміжного плаваючого вала з'єднаний із приводними колесами. Механізм

постачений гальмом. На нижній рамі встановлюється бугель 20 для троллейного струмопідводу, а також два пружинні буфери 1 для зм'якшення удару при підході візка до кінцевих упорів.

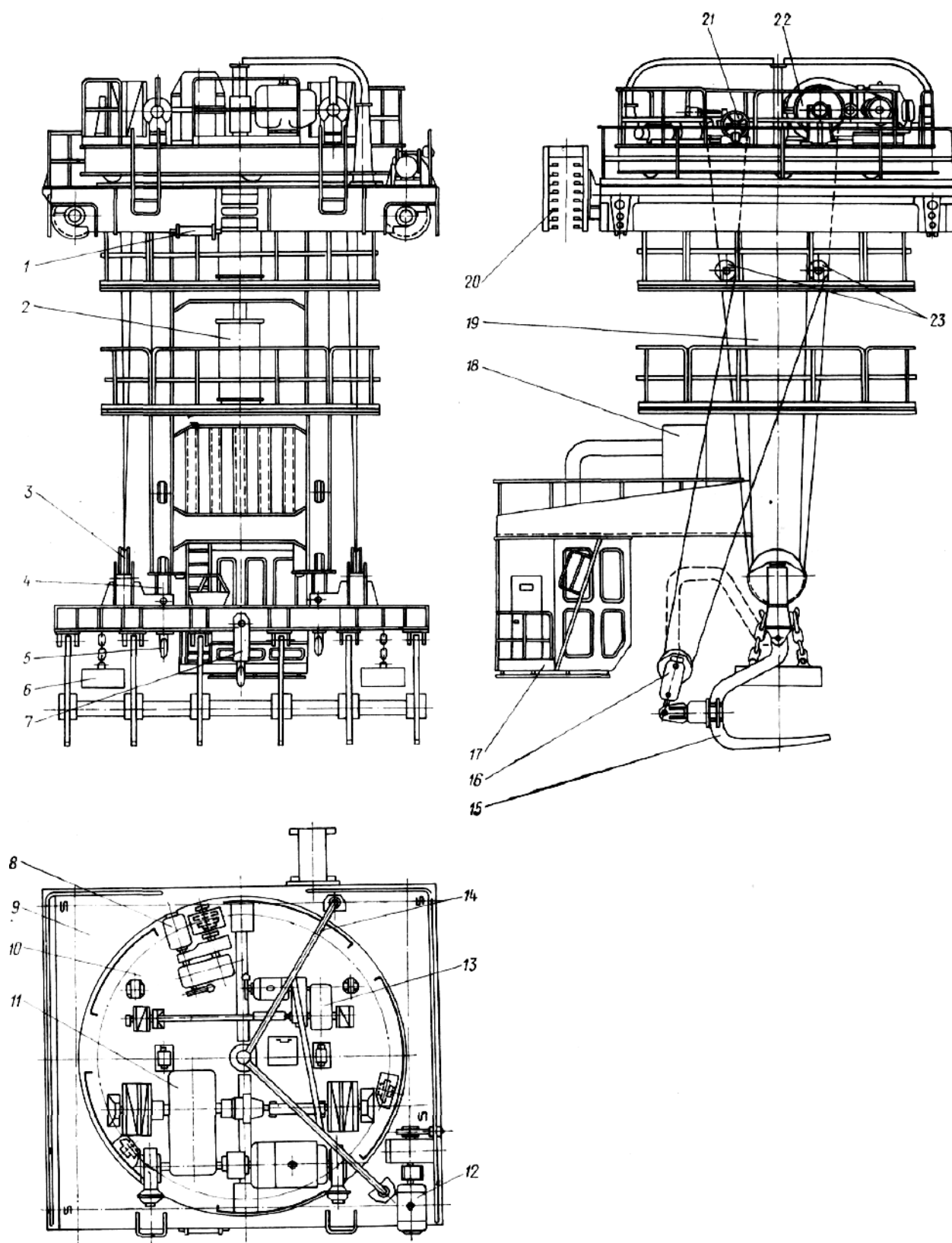


Рис. 1.2. Візок крана [1]

1.2 Котушка й робота магніту

Витки секцій ізольовані тонким азбестовим папером, просоченої ізоляційним теплостійким лаком або скловолокнистою стрічкою й залиті під тиском теплостійкою масою, що заполімеризована, що забезпечує гарну електричну й механічну міцність котушки, а також і гарний відвід тепла. Котушка магніту розрахована на напругу 220В постійного струму при тривалості включення $TВ = 50\%$. Полюси електромагніта можуть бути приварені або закріплені механічно. Зварювання забезпечує більше високу міцність і водонепроникність, але ускладнює заміну елементів, що зношуються.

Найпоширеніші електромагнітні вантажозахватні пристрої круглої форми. При роботі з поздовжньої форми застосовуються прямокутні вантажні електромагніти або траверси з підвішеними до неї, як правило, двома магнітами.

Підведення електроенергії до магніту здійснюється шланговим кабелем. При невеликих висотах підйому кабель закріплюють петлеобразно, а на крані встановлюють підпружині обертові кабельні барабани, що автоматично підтримують його з необхідним натягом. При використанні електромагнітного вантажозахватного пристрою для підйому гарячих вантажів ізоляція кабелю повинна бути теплостійкою. Електромагнітними вантажозахватними пристроями обладнають мостові й козлові крани з електроприводом.

При пропусканні електричного струму через котушку поміщений усередині її сталевий сердечник здобуває властивості природного магніту. Ступінь намагнічування сердечника, визначається величиною минаючі через нього магнітного потоку. Про намагніченість судять по максимальній масі вантажу, що притягається, (піднімальна сила магніту). Намагніченість залежить від величини струму, що пропускається через котушку, числа витків і температури котушки, хімічного складу, форми, розмірів і температури вантажу, що піднімається [4].

Котушка без сталевго сердечника також буде мати магнітні властивості - притягати феромагнітні тіла. Однак сила притягання при тому самому струмі, що проходить через неї, значно менш, ніж у котушки зі сталевим сердечником. Це пояснюється тим, що магнітна проникність повітря набагато менш, ніж сталевго (феромагнітного) сердечника.

Величина магнітного потоку визначається силою, що намагнічує, F :

$$F = I \cdot w, \quad (1.1)$$

де I - струм котушки, А

w - число витків

а також магнітної проникності кола, що складає із сердечника електромагніта й вантажу, що піднімається.

Магнітна проникність не є постійною величиною й залежить від величини сили, що намагнічує. З ростом сили, що намагнічує, магнітна проникність спочатку різко зростає до максимальної величини. Після чого настає насичення й подальше збільшення струму практично не приводить до збільшення піднімальної сили.

Зразковий розрахунок піднімальної сили магніту можна провести по вираженню:

$$P = 40,6 \cdot \frac{\Phi^2 \cdot 10^4}{S}, \quad (1.2)$$

де S – площа зіткнення між полюсами магніту й плитою що піднімається, см^2 ,

Φ - магнітний потік, Вб, рівний:

$$\Phi = \frac{F}{R \cdot \mu} \quad (1.3)$$

де $R\mu$ - магнітний опір кола електромагніта.

Магнітний опір зростає зі збільшенням довжини силових ліній потоку й числа повітряних проміжків, що перебувають на шляху магнітного потоку, і зменшується зі збільшенням перетину й підвищення магнітної проникності матеріалу, по якому проходить магнітний потік.

Довжина силових ліній магнітного потоку й перетин, по якому проходить цей потік, визначаються конструкцією й розмірами магніту, а число й розміри повітряних проміжків залежать від форми вантажу, що піднімається. На рис. 1.3 а показане розташування магнітних силових ліній при підніманні плити, на рис. 1.3 б - при підніманні скрапу. В останньому випадку магнітний опір настільки зростає, що магніт піднімає вантаж у кілька разів менший маси плити.

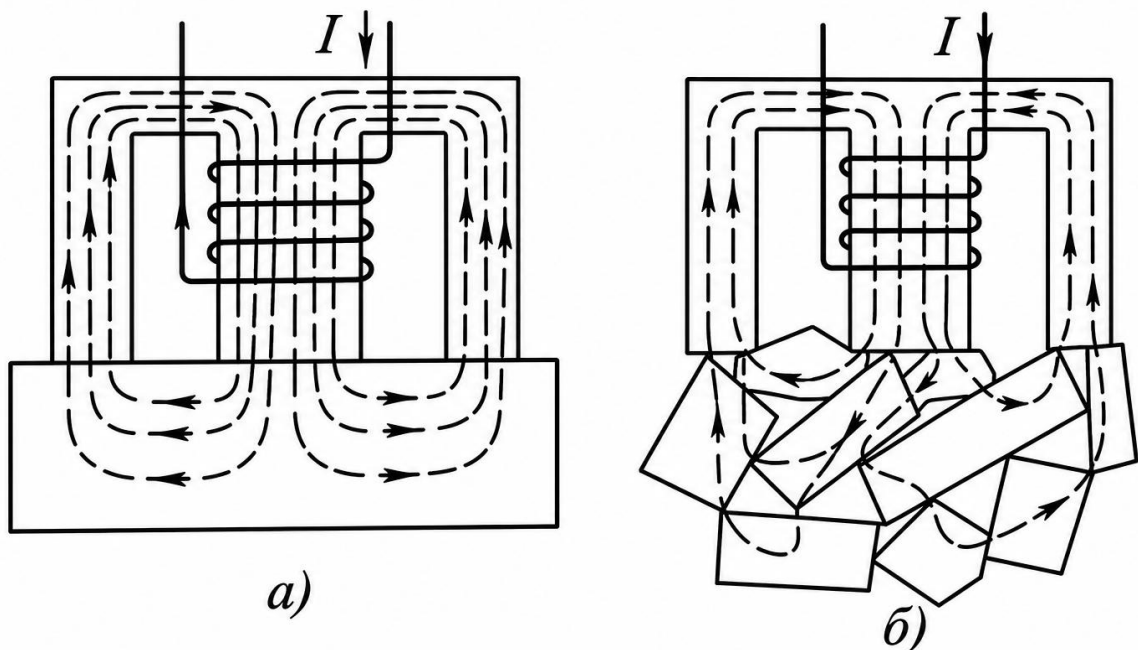


Рис.1.3. Розподіл магнітних силових ліній:

а) при підйомі плити; б) при підйомі скрапу

Нижче наведені дані вантажопідйомності магніту залежно від форми й матеріалу вантажу, що піднімається, %:

- сталеві плити й болванки.....100;
- рейки й бруски.....50;
- копрові кулі.....40-60;
- чавунні паці.....4-6;

- скрап сталевий.....2-7;
- скрап чавунний.....3;
- стружка.....1,5-2,5.

Вантажопідйомна сила магніту за інших рівних умов пропорційна величині струму, що проходить через його котушку. При заданій напрузі ця величина залежить від електричного опору котушки, що зростає з підвищенням температури. Опір котушки при максимально припустимій температурі для магніту може зрости в 1,4-1,6 рази в порівнянні з холодною. У такому ж співвідношенні знизиться струм, що намагнічує сила й вантажопідйомність магніту. Так з підвищенням температури вантажу, що піднімається, знижується його магнітна проникність (досягаючи нуля при температурі, близької до 750°C), то відповідно до цього знижується вантажопідйомність магніту.

Живлення магніту виконується постійним струмом. Живлення може виконуватися також змінним струмом. У цьому випадку встановлюється випрямляч, у якості якого застосовують трифазний міст Ларіонова.

Для звільнення від вантажу виявляється недостатнім відключити живлення магніту. Через залишковий магнетизм у сердечнику магніту й у піднімаємому вантажі, магнітний потік не знижується до нуля, становить деяку величину. Величина залишкового магнетизму визначається властивостями матеріалу сердечника й вантажу, що піднімається, і може бути такої величини, що вантаж або частина його залишиться притягнутим до магніту. Для його звільнення необхідно на короткий час магніт треба «перемагнітити», тобто пропустити через котушку струм у зворотному напрямку. При цьому, коли магнітний потік знизиться до нуля, вантаж відпаде. Величина цього струму, називаного «зворотним», становить 12-20% робочого струму.

При відключенні магніту відбувається швидке зниження магнітного потоку, що наводить у котушці ЕРС самоіндукції. Величина ЕРС при швидкому відключенні струму може досягти 3-4 кВ, тобто в 15-20 разів перевищує напругу живлення. Це явище й приводить до прискореного зношування ізоляції котушки і її пробою.

У блоках керування магнітами, розробленими в радянські часи, для обмеження величини перенапруг паралельно котушці підключався розрядний опір. При величині опору в 5-6 разів більше опору котушки величина напруги знижується до 700 - 800В. Так як розрядний опір постійно включений, то це приводить до збільшення витрати електроенергії.

На початку 90-х років був розроблений і запатентований перший тиристорний блок керування магнітом, що знайшов широке застосування в практиці.

Блок практично виключає виникнення перенапруг, що в 2-3 рази підвищує термін служби магніту.

Ушкодження магніту в більшості випадків укладуться в порушенні ізоляції між витками й секціями котушки, а також між котушкою й корпусом або струмовідводом і корпусом.

1.3 Постановка задачі

Раніше було зазначено, що основне завдання дипломного проєкту - це розробка мікропроцесорного пристрою керування електромагнітом.

У зв'язку із чим, основне завдання проєкту - це заміна існуючих морально й фізично застарілих засобів керування магнітом на сучасні.

Із чого потрібно:

а) виконати теоретичні дослідження методів і засобів зменшення ЕРС самоіндукції при перемиканнях навантаження в колах постійного струму;

б) на підставі аналізу даних п.а) і потужності електромагніта запропонувати алгоритм його керування з непрямым визначенням температури обмоток і фактичної величини ТВ;

в) змодельовати й одержати кількісні результати перехідних процесів у магніті;

г) вибрати елементну базу для роботи в умовах підвищених вібрацій і діапазону змін температур від мінус 20 до плюс 85 °С;

- д) розробити структурну й принципову схему, блок - схему алгоритму роботи контролера;
- е) запропонувати методи й засоби безпечного виконання робіт.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка пристрою керування електромагнітом з мікропроцесорним керуванням

2.1.1 Аналіз відомих засобів зменшення ЕРС самоіндукції

З електротехніки відомо, що самоіндукція – виникнення ЕРС у замкнутому провідному контурі при зміні струму, що проходить по контуру. При зміні струму в контурі пропорційно міняється й магнітний потік через поверхню, обмежену цим контуром. Зміна цього магнітного потоку, у силу закону електромагнітної індукції, приводить до порушення в цьому контурі ЕРС.

Це явище й називається самоіндукцією. (Поняття родинно поняттю взаємоіндукції, будучи як би його окремим випадком) [5].

Напрямок ЕРС самоіндукції завжди виявляється таким, що при зростанні струму в ланцюзі ЕРС самоіндукції перешкоджає цьому зростанню (спрямована проти струму), а при убутанні струму – убутанню (сонаправлена зі струмом). Цією властивістю ЕРС самоіндукції подібна із силою інерції.

Величина ЕРС самоіндукції пропорційна швидкості зміни сили струму I :

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt} \quad (2.1)$$

Коефіцієнт пропорційності L називається коефіцієнтом самоіндукції або *індуктивністю* контуру (катушки).

З (2.1) видно, що є наступні шляхи зменшення ЕРС самоіндукції:

- зменшення темпу зміни струму;
- зменшення індуктивності;
- гасінню ЕРС на електричний провідник з малим активним опором.

Як приклад гасіння ЕРС у колах постійного струму для захисту каскадів, виконаних за принципом «відкритий колектор», використовується діод, установлений паралельно індуктивності (див. рис. 2.1 і рис. 2.2). Основна умова захисту - смуга пропущення частот гасячого діода, повинна дорівнювати або більше смуги пропущення частот транзистора.

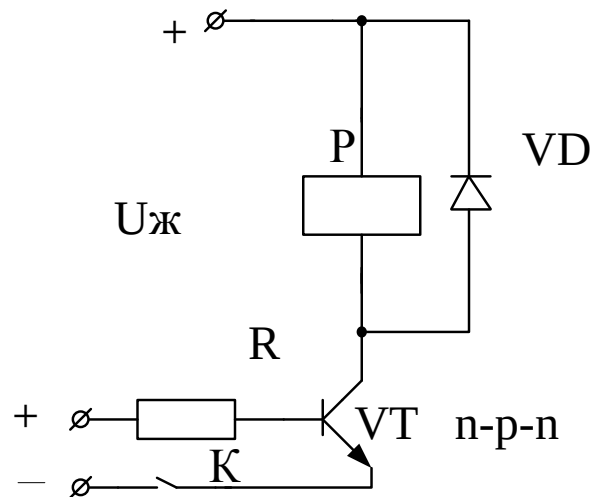


Рис. 2.1. Гасіння ЕРС самоіндукції діодом
(розроблено автором)

P - обмотка реле;

VD - гасящий діод;

VT - транзистор;

R - резистор;

K - ключ.

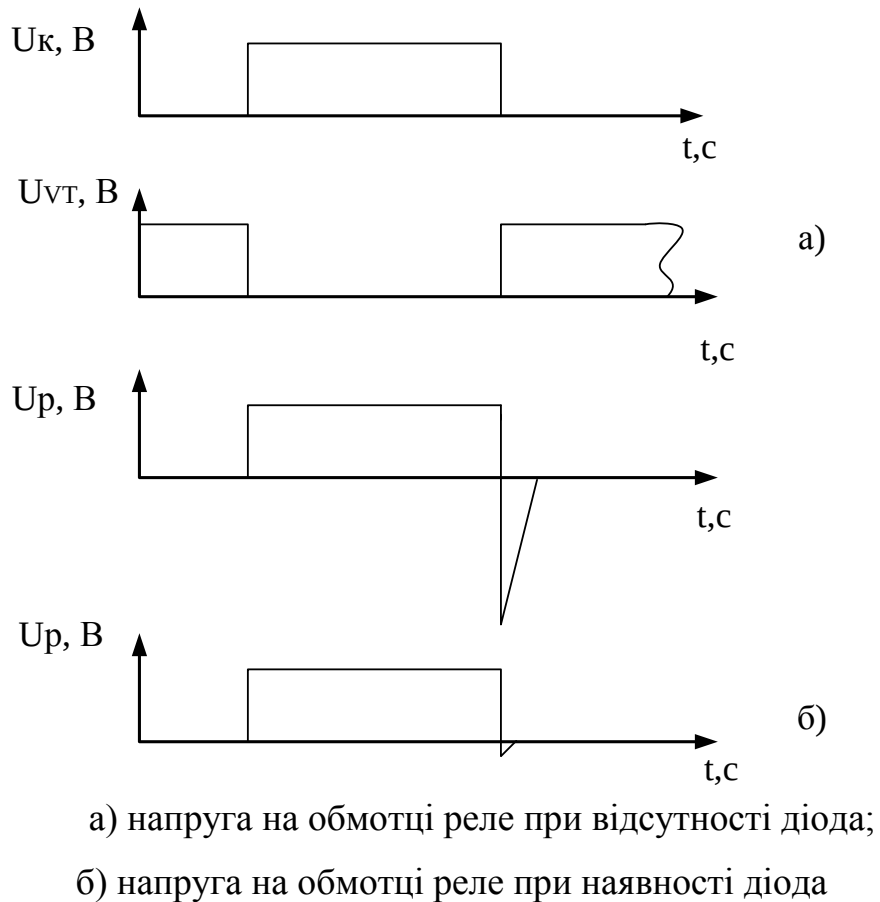


Рис. 2.2. Діаграми напруг на елементах схеми рис. 2.1
 (розроблено автором)

На рис. 2.3 зображено рішення, що забезпечує зменшення амплітуди ЕРС самоіндукції при розриві ключем К базового кола транзистора за рахунок збільшення тривалості наявності напруги на базі транзистора. Це забезпечується часом розряду R-C контуру, усталовленого в базовому колі транзистора, що пояснюється часовою діаграмою рис. 2.4 б).

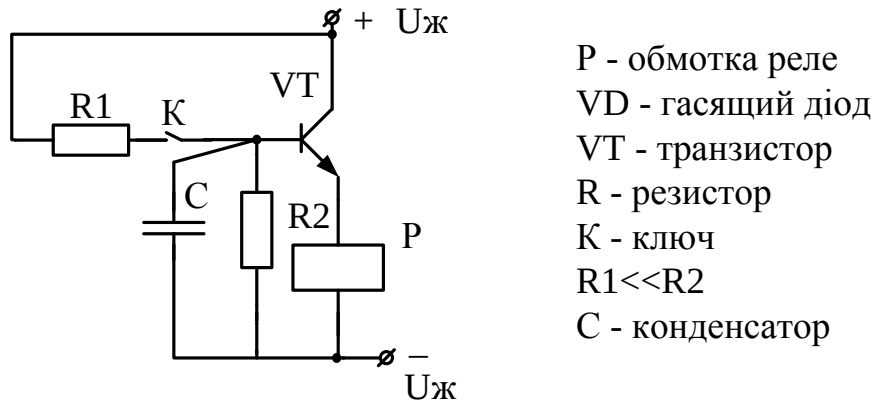
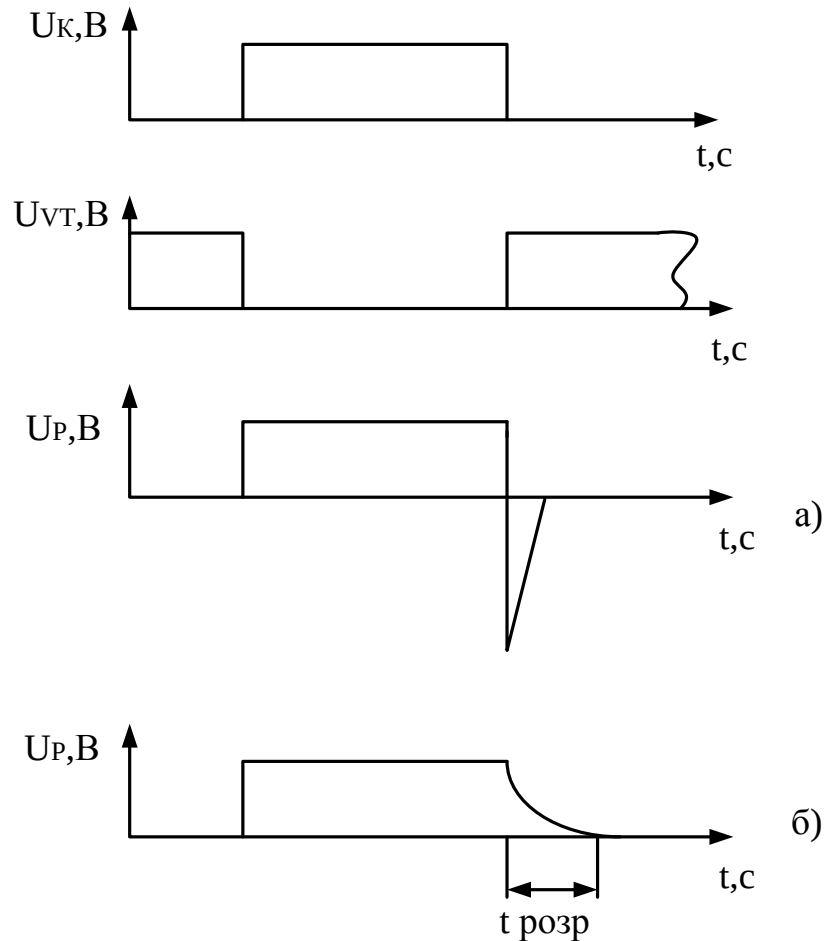


Рис. 2.3. Гасіння ЕРС самоіндукції конденсатором
(розроблено автором)



а) напруга на обмотці реле при відсутності конденсатора
 б) напруга на обмотці реле при наявності конденсатора

Рис. 2.4. Діаграми напруг на елементах схеми рис. 2.3
(розроблено автором)

2.1.2 Аналіз схем керування електромагнітом

На рис. 2.5 зображена спрощена релейно-контакторна схема керування електромагнітом пратцен -крана. Цій схемі властиві всі недоліки, описані в пункті 1.3. У зв'язку із чим, нижче розглянуті можливі схемні варіанти рішення завдання випускної роботи.

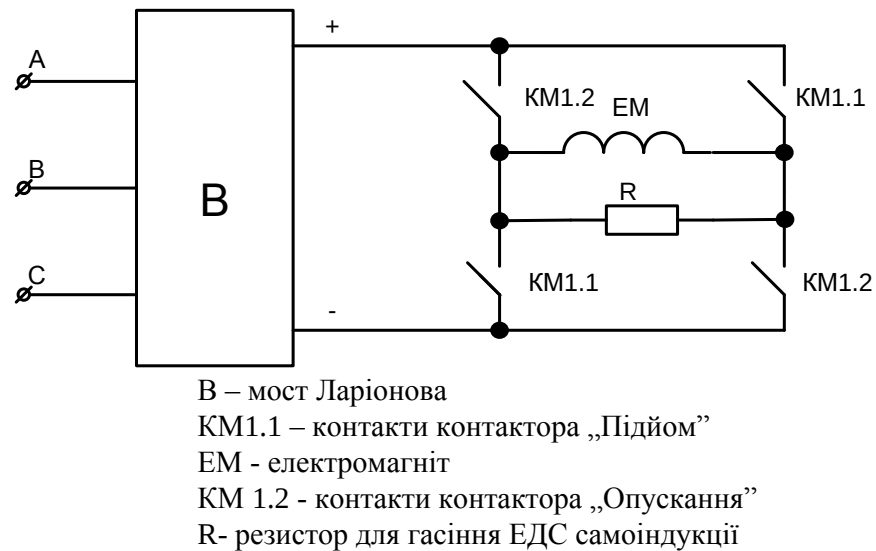


Рис. 2.5. Реверсивна контакторна схема управління електромагнітом
 (розроблено автором)

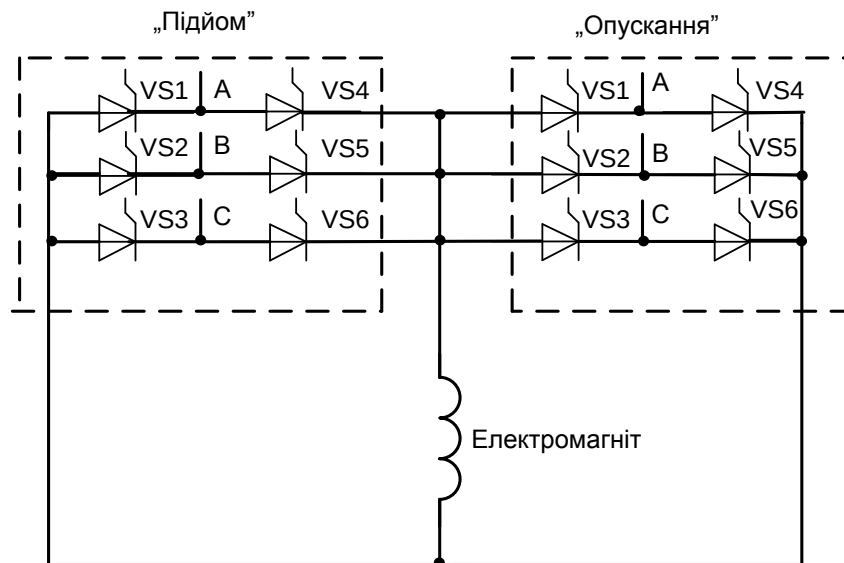


Рис. 2.6. Реверсивна тиристорна схема управління електромагнітом
 (розроблено автором)

На рис. 2.6 представлена реверсивна тиристорна схема керування, виконана з двох зустрічно включених тиристорних схем Ларіонова.

Схема забезпечує зменшення ЕРС самоіндукції за рахунок «плавного» зменшення величини струму магніту при знятті сигналу керування після підйому вантажу й «плавного» зменшення величини струму магніту при знятті сигналу керування на розмагнічування. Недолік схеми - велика кількість силових елементів. Достоїнство - малий рівень пульсацій [6].

На рис. 2.7 представлена нереверсивна схема керування. Схемою забезпечується подача на магніт двохполуперіодної напруги постійного струму. Достоїнство - мала в порівнянні з рис. 2.6 кількість силових елементів. Недолік - необхідність установки діода VD2, що гасить ЕРС самоіндукції.

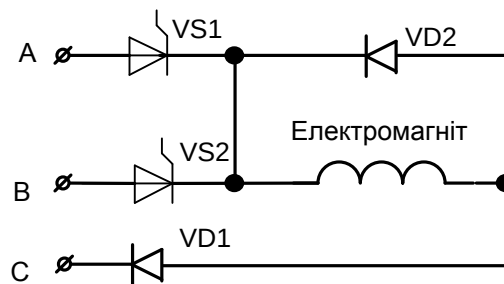


Рис. 2.7. Нереверсивна тиристорна схема управління електромагнітом
(розроблено автором)

На рис. 2.8 представлена комбінована схема керування електромагнітом. Розшифровка й призначення елементів схеми дана на рис. 2.8.

Склад апаратури схеми рис. 2.8, крім зменшення ЕРС самоіндукції, дозволяє з використанням можливостей мікропроцесорного контролера попутно вирішити наступні завдання :

- а) захист магніту при струмових перевантаженнях;
- б) захист магніту силових елементів (тиристори й діоди) схеми при виникненні коротких замикань;

Розшифровка умовних позначень:

VS1, VS2 – тиристори для регулювання напруги;

VD1 – діод для створення ланцюга між фазами А, В і С;

KM1.1, KM2.1 – контакти контакторів Підняти, Опустити;

V – вимірювач напруги;

VS3, VS4 – тиристори для гасіння ЕРС самоіндукції;

ЕМ – електромагніт;

Ш – шунт;

ККП, ККО – контакти контролера „Підняти”, „Опустити”;

а, б – до кіл існуючих блокувань;

Уж – живлення контакторів;

KM1, KM2 – обмотки контакторів „Підняти”, „Опустити”;

РКП – команда машиніста „Підняти”;

БУТ – блок управління тиристорами;

БГР – блок нормалізації і гальванічного розв'язку;

KVSi – команда на відкриття тиристорів.

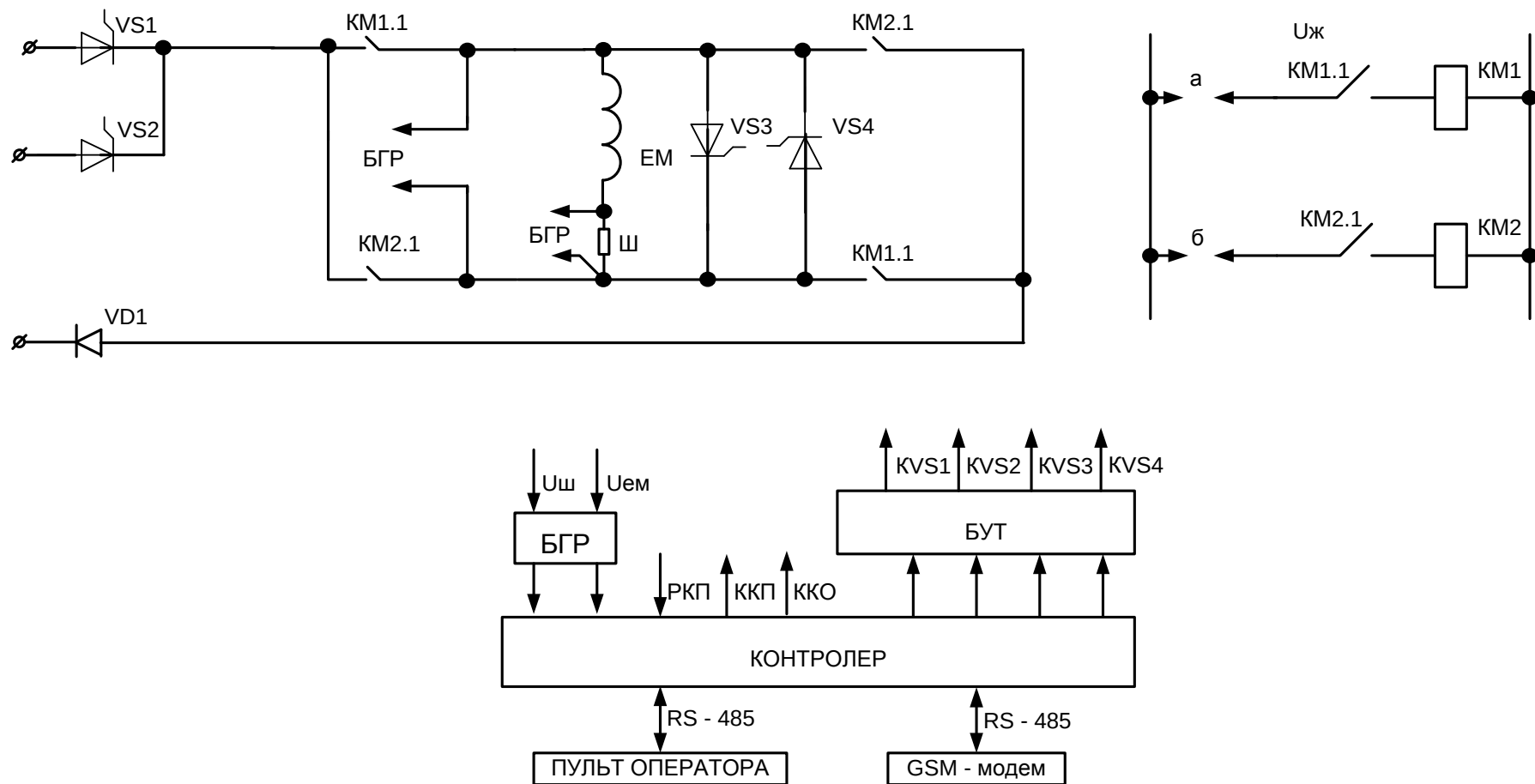


Рис. 2.8. Реверсивна тиристорна схема управління електромагнітом
(розроблено автором)

- в) за рахунок регулювання величини струму через магніт сепарацію вантажів;
- г) визначення реального ТВ;
- д) непряме (розрахунковим шляхом) визначення температури обмоток магніту;
- е) архівація параметрів по п. а)-п. д);
- ж) при установці засобів бездротового зв'язку, наприклад, GSM- модемів архівація й візуалізація даних по п.6 у робочій станції із прив'язкою до дати й астрономічного часу.

На рис.2.9 представлена часова діаграма роботи контролера по керуванню магнітом за схемою рис.2.8. На рис. 2.9 прийняті наступні умовні зображення:

- РКП - команда машиніста на підйом вантажу,
- КП - команда контролера на включення контактора «Підйом»;
- VS1, VS2, VS3, VS4 - команда контролера на відкриття тиристорів;
- t1 - затримка в подачі сигналу на включення тиристорів VS1, VS2;
- t2 - час регулювання напруги на електромагніті (зменшення ЕРС самоіндукції);
- t3 - затримка на відключення контактора КП;
- I_{ем} - обмірюваний струм через електромагніт;
- К - команда на включення контактора «Опускання»;
- U_{ем} - напруга на електромагніті;
- Тлумачення інших позначень див. на рис. 2.8.

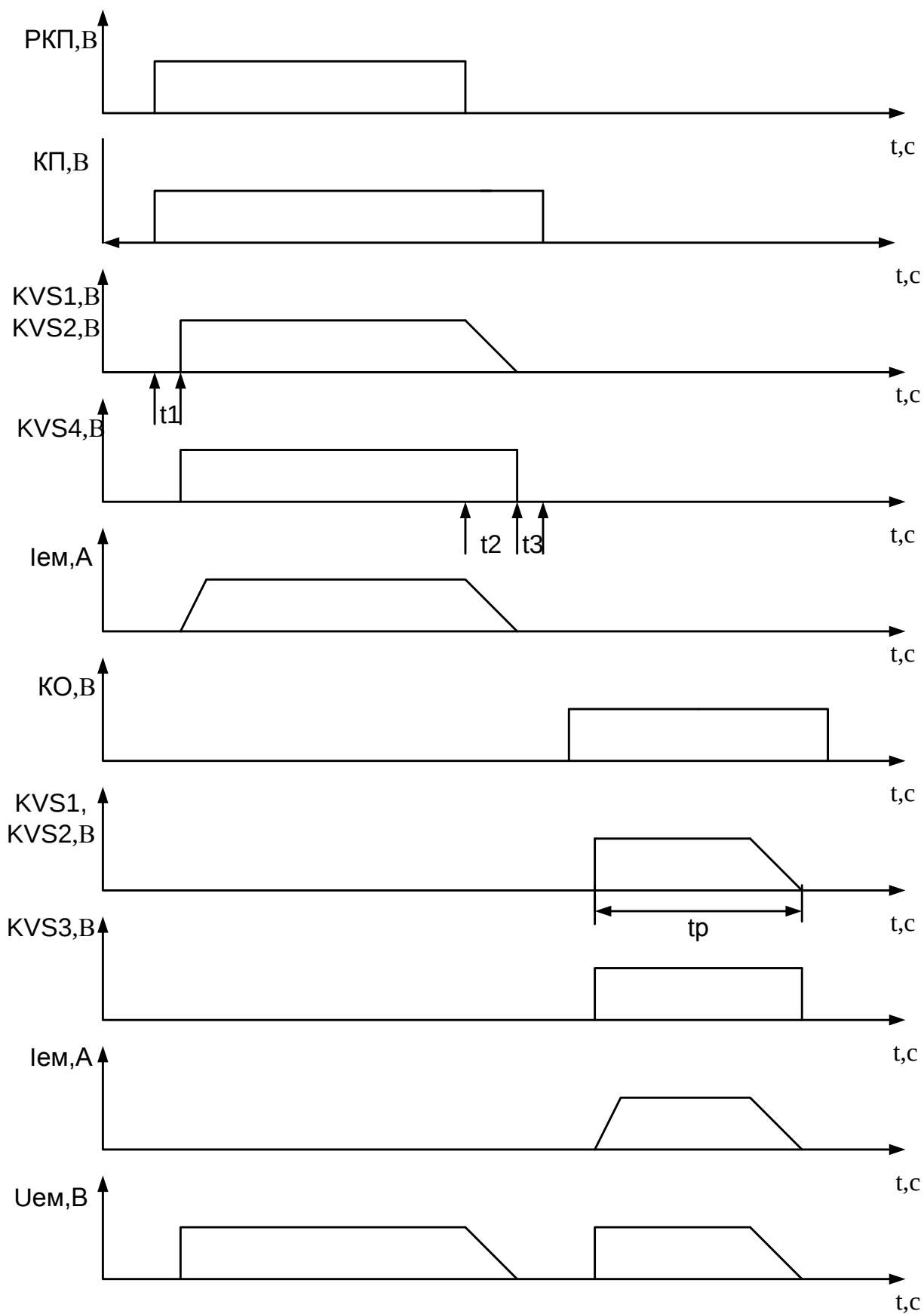


Рис. 2.9. Часова діаграма роботи тиристорної схеми управління

електромагнітом

(розроблено автором)

2.1.3 Обґрунтування погрішностей вимірів

З (2.15) видно, що погрішність виміру температури залежить від погрішності виміру струму й напруги. Умовимося, що погрішність виміру температури не повинна перевищувати 5%. Частка кожної із складових рівноцінна, тобто [7] 2,5 % погрішність струму й 2,5% погрішність напруги.

Максимальна погрішність (δ_c) виміру струму складається з наступних їх складових:

$$\delta_c = \delta_{ш} + \delta_{БРН} + \delta_{АЦП} + \delta_{мет} + \delta_{розн} \quad (2.2),$$

де $\delta_{ш}$ – погрішність шунта (0,5%),

$\delta_{БРН}$ – погрішність блоку нормалізації й гальванічних розв'язок (0,3%);

$\delta_{АЦП}$ – погрішність АЦП (0,15%);

$\delta_{мет}$ – методична погрішність, обумовлена дискретністю роботи контролера;

$\delta_{розн}$ – погрішність розрахунків (прийнята рівної нулю).

Тоді з (2.2) $\delta_{мет}$ визначається величиною:

$$\delta_{мет} = 2,5 - 0,5 - 0,3 - 0,15 = 1,55\% \quad (2.3)$$

Для забезпечення величини $\delta_{мет}$ по (2.3) варто визначити період (частоту) знімання сигналів про струм у такий спосіб:

$$\Delta\tau = 1000 \times \delta_{ап} / (di/dt) = 1000 \times 1,1 / 1200 = 1 \text{ мсек.} \quad (2.4)$$

1000 - кількість мілісекунд в одній сек.,

$\delta_{ап}$ - задана величина абсолютної погрішності,

di/dt - максимальне значення похідної струму при розряді ЕРС самоіндукції.

$$\delta_{\text{ап}} = 0,0155 \times 70 = 1,1 \text{ A} \quad (2.5)$$

де 70 - номінальний струм електромагніта.

Максимальна погрішність ($\delta_{\text{н}}$) виміру напруги складається з наступних їх складових:

$$\delta_{\text{н}} = \delta_{\text{БГРН}} + \delta_{\text{АЦП}} + \delta_{\text{мет}} + \delta_{\text{розр}} \quad (2.6)$$

де: $\delta_{\text{БГРН}}$ – погрішність блоку нормалізації й гальванічних розв'язок (0,3%);

$\delta_{\text{АЦП}}$ – погрішність АЦП (0,15%);

$\delta_{\text{мет}}$ – методична погрішність, обумовлена дискретністю роботи контролера;

$\delta_{\text{розр}}$ – погрішність розрахунків (прийнята рівної нулю).

Тоді з (2.6) $\delta_{\text{мет}}$ визначається величиною:

$$\delta_{\text{мет}} = 2,5 - 0,3 - 0,15 = 2,05\% \quad (2.7)$$

Для забезпечення величини $\delta_{\text{мет}}$ по (2.7) варто визначити період (частоту) знімання сигналів про напругу в такий спосіб:

$$\Delta\tau = 1000 \times \delta_{\text{ап}} / (du/dt) = 1000 \times 4,5 / 10\,000 = 0,45 \text{ мсек.} \quad (2.8)$$

1000 - кількість мілісекунд в одній сек.,

$\delta_{\text{ап}}$ - задана величина абсолютної погрішності,

du/dt - максимальне значення похідної напруги при розряді ЕРС самоіндукції.

$$\delta_{\text{ап}} = 0,0205 \times 220 = 4,5 \text{ В} \quad (2.9)$$

де 220 - номінальна напруга електромагніта.

Як видно з (2.4) і (2.8), період знімання сигналів напруги повинен бути у два рази менше, ніж період знімання сигналів струму.

2.1.4 Алгоритми роботи контролера

Алгоритм захисту від короткого замикання:

$$\begin{aligned} S_{кз} &= 1, \\ \text{якщо } I_{ш} &> I_{ср} = 1,5 I_{н} \\ I_{ср} &= (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5) / 5 \end{aligned} \quad (2.10)$$

де $S_{кз}$ - сигнал на закриття тиристорів;

$I_{ш}$ - обмірюваний струм шунта;

$I_{ср}$ - середнє значення струму за 5 мсек;

I_i - обмірювані значення струму шунта;

$I_{н}$ - номінальний струм електромагніта;

5 - кількість обігів контролера до шунта (час, за яке струм досяг значення $I_{ср}$).

Алгоритм захисту від перевантаження:

$$\begin{aligned} S_{перевант} &= 1, \\ \text{якщо } I_{ш} &> I_{ср} = 1,2 I_{н} \\ I_{ср} &= (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + \dots + I_{60}) / 60 \end{aligned} \quad (2.11)$$

де $S_{перевант}$ - сигнал на закриття тиристорів;

$I_{ш}$ - обмірюваний струм шунта;

$I_{ср}$ - середнє значення струму за 60сек;

I_i - обмірювані значення струму шунта;

$I_{н}$ - номінальний струм електромагніта;

60 - кількість обігів контролера до шунта (час, за який струм досяг значення $I_{ср}$).

Алгоритм визначення ТВ:

Відомо, що ТВ для розглянутих умов визначається наступним вираженням:

$$ТВ\% = (t_p/T) \times 100, \quad (2.12)$$

де t_p - час протікання струму через електромагніт;

T - період, тобто $T = t_p + t_{п}$;

де $t_{п}$ - тривалість паузи, тобто проміжок часу межу зникненням струму і його наступною появою.

Реальна ТВ% на розглянутий момент часу визначається в такий спосіб:

$$ТВ\% = \left[\sum_{T_{п}}^{T_{т}} t_p / \left(\sum_{T_{п}}^{T_{т}} t_p + \sum_{T_{п}}^{T_{т}} t_{п} \right) \right] \times 100 \quad (2.13),$$

де $T_{т}$ - теперішній момент часу,

$T_{п}$ - час початку зміни.

t_p - час протікання струму через електромагніт;

$t_{п}$ - тривалість паузи, тобто проміжок часу межу зникненням струму і його наступною появою.

Алгоритм непрямого визначення температури:

$$R_t = R_{20} [1 + \rho(T - 20^{\circ}C)] \quad (2.14),$$

де R_t - опір обмотки електромагніта при поточній температурі;

R_{20} - опір обмотки електромагніта при температурі $20^{\circ}C$;

ρ - питомий опір міді, рівне $0,0175 \text{ (Ом } \times \text{ мм}^2) / \text{ м}$;

T - поточна температура.

Фактичний опір обмотки визначається в такий спосіб:

$$R_t = U_{em} / I_{ш}, \quad (2.15),$$

U_{em} і $I_{ш}$ - відповідно обмірювані значення напруги й струму на електромагніті.

З (2.14) і (2.15) поточну температуру обмоток електромагніта визначається після наступних перетворень:

$$R_t / R_{20} = 1 + \rho(T - 20^\circ \text{C}) \quad (2.16)$$

$$(R_t / R_{20}) - 1 = \rho(T - 20^\circ \text{C}) \quad (2.17)$$

$$[(R_t / R_{20}) - 1] / \rho = T - 20^\circ \text{C} \quad (2.18)$$

$$T = 20^\circ \text{C} + [(R_t / R_{20}) - 1] / \rho \quad (2.19)$$

$$T = 20^\circ \text{C} + [(U_{em} / I_{ш} \times R_{20}) - 1] / \rho \quad (2.20)$$

Як видно з (2.20), дії контролера наступні - після виміру значень напруги й струми через обмотки розрахунок і запам'ятовування отриманих значень температури. Якщо розраховане значення температури більше припустимої, видача звукового сигналу машиністові.

2.2 Вибір технічних засобів

2.2.1 Контролер

Призначення - вимір миттєвих значень змін. та пост. І, розрахунок діючих значень і видача їх в АЦП контролера вищого рівня по запиту останнього.

Аналогові входи: 4 шт. (0-5 В постійного струму). Похибка АЦП - не гірше 0,15%, швидкодія - не більше 5 мксек, розрядність - не менш 10.

Дискретні входи: 8 шт., 0-24 В, R_{вх} 2кОм, 4 входи з яких повинні мати індивідуальну гальванічну розв'язку, генерувати переривання в контролері й забезпечити прийом сигналів від зовнішнього пристрою з виходом ОК як р-п-р, так й п-р-п.

Дискретні виходи: 6 шт., 30В, 0,3А, ОК п-р-п, два з яких повинні бути гальванічно розв'язані як від інших ланцюгів, так і один від одного.

Аналоговий вихід: 1 шт. 0 - 20 мА. Повинен дозволяти підключення виходів восьми контролерів за схемою «або» до одного входу АЦП контролера верхнього рівня. Похибка - не гірше 0,5%, швидкодія - не більше 0,1 мсек. На виході ЦАП установити ключ, керований зовнішнім двопозиційним сигналом 0-24 В. Обмежуючий резистор установити усередині плати.

Повинен вироблятися сигнал синхронізації з мережею в момент переходу напруги з мінуса в плюс.

Напруга живлення 15-24 В змінного струму.

Наявність інтерфейсів RS 232 й RS485

Елементна база - мікроконтролер MICROCHIP PIC18.

Можливість програмування, зв'язок з ноутбуком по RS232.

Наявність зовнішнього ППЗУ 128 кбайт для зберігання архівних даних

Світлодіодна індикація: факту роботи контролера - «блимавка» 1 Гц (програмує Замовник); наявності напруги живлення; факту прийому даних у контролер з інтерфейсу RS 232/485; факту передачі даних з контролера в інтерфейс RS 232/485.

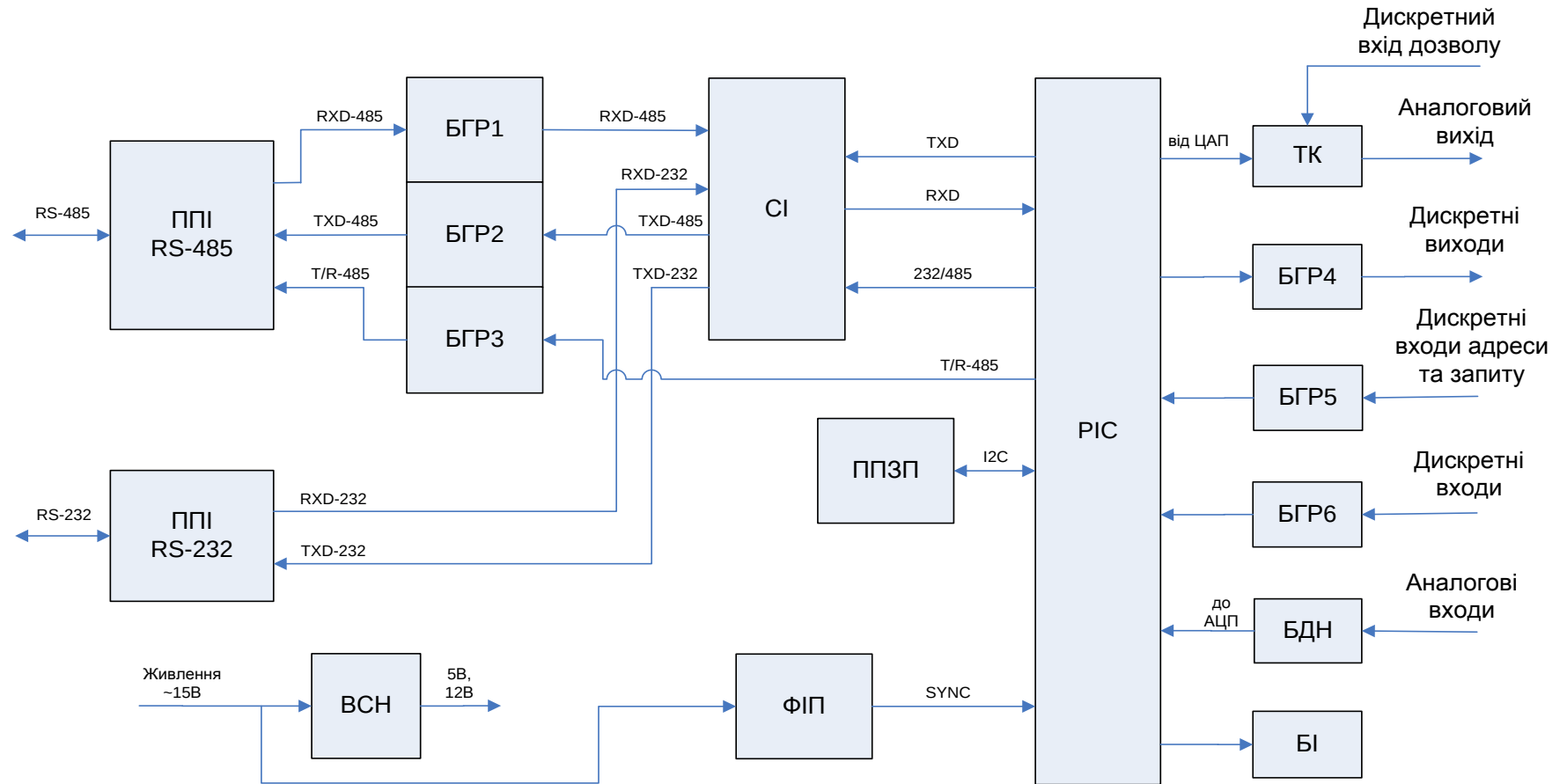


Рис. 2.10. Структурна схема вимірювального контролера
(розроблено автором)

Використовувати комплектуючі промислового діапазону робочих температур від - 40 до +85°C.

Габарити - орієнтовно 200x150x100, введення/вивід ліній зв'язку для RS232 рознімання й блоки затискачів для інших підключень.

На рис. 2.10 призначення й розшифровка умовних позначок блоків наступна:

ППІ RS-485, ППІ RS-232 - перетворювачі послідовних інтерфейсів;

БГР1-БГР6 - блоки гальванічної розв'язки (оптопар);

СІ - селектор інтерфейсу, забезпечує програмним шляхом вибір інтерфейсу;

ВСН - випрямляч зі стабілізаторами напруги, необхідних технічними засобами контролера рівнів;

ФІП - формувач імпульсів початку періоду сіткової напруги;

ППЗП - постійний програмувальний запам'ятовувальний пристрій;

РІС - контролер типу PIC18F;

БДН - блок дільників напруги для узгодження виходів джерел сигналу із входами АЦП контролера;

ТК - транзисторний ключ, що забезпечує по сигналі “Дозвіл” видачу сигналу із ЦАП;

БІ - світлодіодний блок індикації:

1. “Живлення” - живлення контролера.
2. “Робота” - факт роботи контролера (миготіння світлодіода із частотою 1Гц).
3. “ТХ” - передача даних контролером.
4. “RX” - прийом даних контролером.

Призначення ліній зв'язку між блоками:

RS-485 - інтерфейс RS-485 для роботи з вилученими (до 1 км) об'єктами;

RS-232 - інтерфейс RS-232 для програмування контролера й роботи із близькорозташованими (до 15 м) об'єктами;

RXD-485 - прийняття даних контролером по інтерфейсу RS-485;

TXD-485 - передача даних контролером по інтерфейсу RS-485;

T/R-485 - вибір режиму роботи інтерфейсу RS-485 (передача/прийняття);

RXD-232 - прийняття даних контролером по інтерфейсу RS-232;

TXD-232 - передача даних контролером по інтерфейсу RS-232;

232/485 - вибір інтерфейсу 232 або 485;

TXD - передача даних по обраному інтерфейсу;

RXD - прийняття даних по обраному інтерфейсу;

I2C - інтерфейс обміну даними між ППЗУ й ПК;

SYNC - синхросигнал, вироблюваний ФП;

ЦАП - аналоговий сигнал із цифро-аналогового перетворювача.

2.2.2 Блок гальванічних розв'язок

Вимір струму

Напруга вхідного сигналу - двополярна напруга постійного струму до ± 50 мВ (див. рис. 2.11 і рис. 2.12);

Вихідний сигнал:

2,5В при $U_{вх} = 0В$;

5В при $U_{вх} = + 150$ мВ;

0В при $U_{вх} = - 150$ мВ;

Погрішність перетворення, не більше 0,25%;

Запізнювання, не більше 0,1 мс;

Вихідний опір каналу блоку - одиниці Ом;

Захист від короткого замикання виходу блоку;

Входи блоку тривалий час витримують напруга до 2В;

Кількість сигналів, оброблюваних в одному блоці - 1;

Вихідний опір шунта - тисячні частки Ом;

Іспитова напруга, що прикладається між входами й виходами блоків протягом одної хвилини - не менш 1500 В [8];

Вимір напруги

Напруга вхідного сигналу - двуполярна напруга постійного струму до $\pm 600\text{В}$ (див. рис. 2.11 і рис. 2.12);

Вихідний сигнал:

2,5В при $U_{\text{вх}} = 0\text{В}$

5В при $U_{\text{вх}} = +220\text{ В}$

0В при $U_{\text{вх}} = -220\text{ В}$

Погрішність перетворення, не більше 0,25%;

Запізнювання, не більше 0,1 мс;

Вихідний опір каналу блоку - одиниці Ом;

Захист від короткого замикання виходу блоку;

Входи блоку тривалий час витримують напруга до 500 В;

Кількість сигналів напруги, оброблюваних в одному блоці - 1;

Іспитова напруга, що прикладається між входами й виходами блоків протягом одної хвилини - не менш 1500 В;

Напруга живлення блоку, габарити, кліматика й спосіб кріплення повинні відповідати даним перетворювачів сигналів компанії ПРОМСАТ [9]

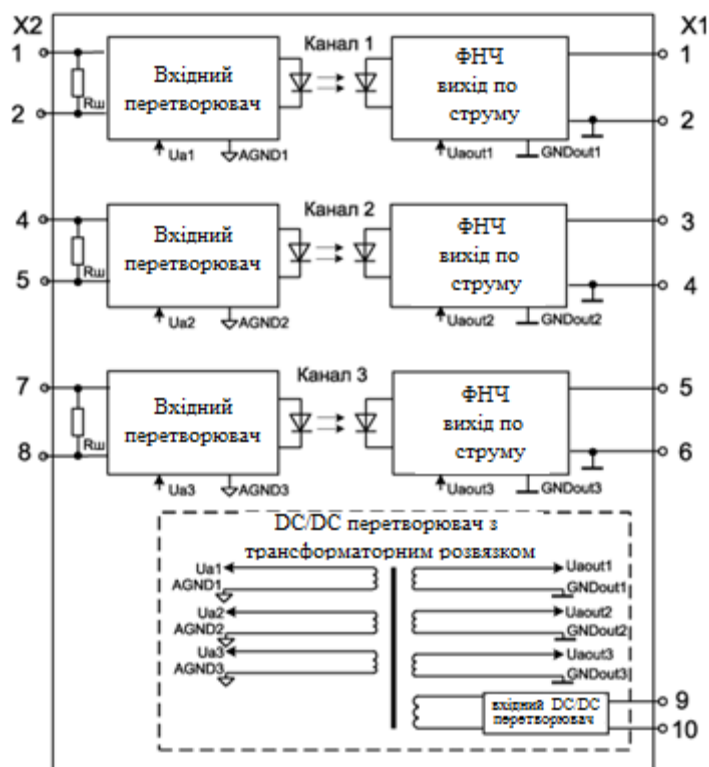


Рис. 2.11. Функціональна схема БГР [9]

З метою пояснення, на рис. 2.13 наведена діаграма вхідних - вихідних сигналів блоку БГРН. Всі необхідні пояснення наведені на рисунку.



Рис. 2.12. Загальний вид БГР [9]

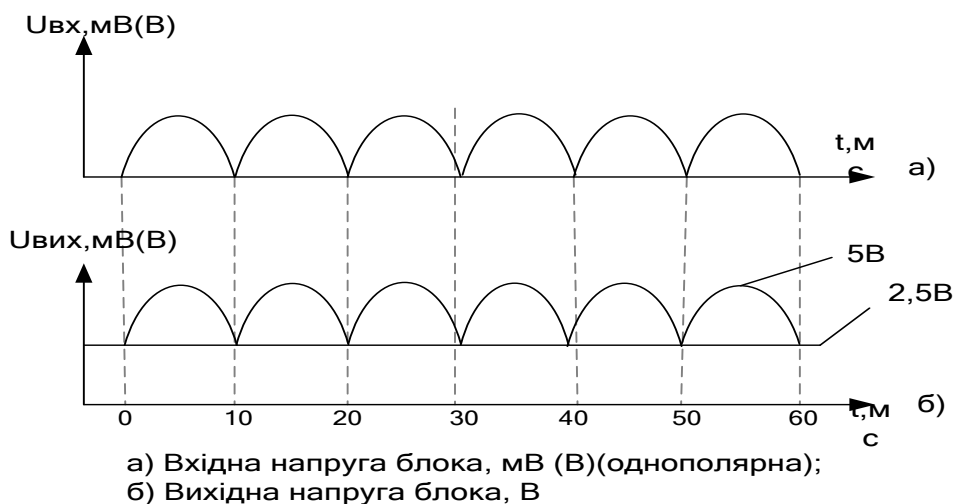


Рис. 2.13. Умовна діаграма напруг блоку при вимірі струмів
 (розроблено автором)

2.2.3 Уніфіковані одноканальні промислові джерела живлення

Уніфіковані одноканальні промислові джерела живлення серії PSA-EPS750.1 (ТУ В 31.1-13560309-003-2002) (рис. 2.14) призначені для забезпечення живлення пристроїв стабільною напругою постійного струму й можуть бути в безкорпусному і корпусному варіанті виконання.



Рис. 2.15. Уніфіковані одноканальні промислові джерела живлення
серії PSA-EPS750.1

Таблиця 2.1

Технічні характеристики джерела PSA-EPS 750.1-24

Найменування показників	Розмірність	Значення
Вхідна напруга	В	(~175...~253) (50...60)Гц
Струм споживання, не більше	А	0,8
Кидок струму при включенні, не більше	А	30
Номінальна вихідна потужність	Вт	0...75
Номінальна вихідна напруга постійного струму	В	24
Номінальний струм навантаження	А	0...3
Максимальний струм навантаження не більше	А	3,5
Значення струму спрацьовування захисту не більше	А	4
Пульсації вихідної напруги, не більше	мВ	200
ККД, не менш	%	84
Діапазон робочих температур	С	-20...+45
Захист від перегріву: - припинення роботи при перевищенні температури силового ключа - поновлення роботи при зниженні температури силового ключа	°С	> 125 < 90
Обмеження перевищення вхідної напруги	В	~275
Відносна вологість	%	35...95
Середній наробіток на відмову	ч	32000
Ступінь захисту від зовн. Впливів		IP-20 або IP-56
Розміри	мм	IP-20: 185 x 55 x 40 IP-56: 200 x 83 x 50

Конструктивне виконання

Конструктивно, джерела живлення в корпусному варіанті виконання являють собою металевий корпус, що забезпечує ступінь захисту від зовнішніх впливів IP-20 або IP-56, варіант виконання обмовляється при замовленні. У середині корпуса встановлена друкована плата, на якій зібрана електронна схема. Корпус IP-20 призначений для настінного монтажу або монтажу на DIN-Рейку, корпус IP-56 призначений для монтажу тільки на DIN-Рейку. Варіант кріплення обмовляється при замовленні. Габаритні розміри корпуса IP-20: 185 x 55 x 40 мм, IP-56: 200 x 83 x 50 мм. Маса: 0,4 кг.

2.2.4 GSM –модем

GSM-Модем Siemens ES75 Terminal – перший модем, виробництва компанії «Siemens AG», на базі сотового модуля Siemens MC75, підтримуючу 450нтологию EDGE, найшвидший режим передачі даних в GSM-Мережі в цей час.

EDGE забезпечує швидкий доступ в Інтернет і дозволяє з високою швидкістю завантажувати й передавати великі файли, повідомлення електронної пошти із вкладеннями. Максимальна швидкість передачі по EDGE становить 384 kbps, у той час як GPRS – до 171 kbps.

Крім того, Siemens ES75 Terminal дуже компактний і оснащений двома портами підключення – USB 2.0 і COM (RS-232, 9 pin).

Підтримка EDGE дозволяє Siemens ES75 Terminal передавати дані в середньому втричі швидше, ніж з використанням GPRS-Каналу. Міцний металевий корпус і малі габарити забезпечують можливість застосування ES75 Terminal для мобільного доступу в Інтернет, так і для промислових додатків.

Таблиця 2.2

Технічні характеристики GSM-Модем Siemens ES75 Terminal

Найменування показників	Розмірність	Значення
Підтримка двох GSM-Діапазонів		EGSM 900 / GSM 1800 / GSM 1900 / GSM 850
Підтримка режиму пакетної передачі даних		GPRS MultiSlot Class 8 – до 85,6 кбіт/с
Підтримка каналу керування широкомовною передачею пакетів		(PBCCH)
Набір інструментів для SIM-додатків		комплект
Розширений набір		Ат-Команд для промислових додатків
Діапазон вхідної напруги	В	(9...24)
Стандартні інтерфейси		RS-232 і RJ-9
Убудований тримач SIM-Карти		комплект
Рознімання для підключення антени		FME (Male)
Світловий індикатор стану		комплект
Габарити	мм	65 x 74 x 33
Маса	г	130
Діапазон робочих температур	°С	Від -20 до +55
Гарантії	місяців	12

2.2.5 Блок керування тиристорами

Схема електрична принципова блоку керування тиристорами зображена на рис. 2.15. Призначення окремих елементів :

T1 - трансформатор живлення,

VD1 - VD3 – випрямлячі,

D1 - стабілізатор напруги,

VT1, VT2 - транзистори для забезпечення струму в ланцюзі керуючий електрод катод тиристора рівнем не менш 0,5А,

D4 - оптрон;

Д5, Д6 тригери Шмідта, що виробляють імпульсний сигнал, тривалістю, обумовленої R15 (R16) і 38(39), постійна часу 0,2 мсек.

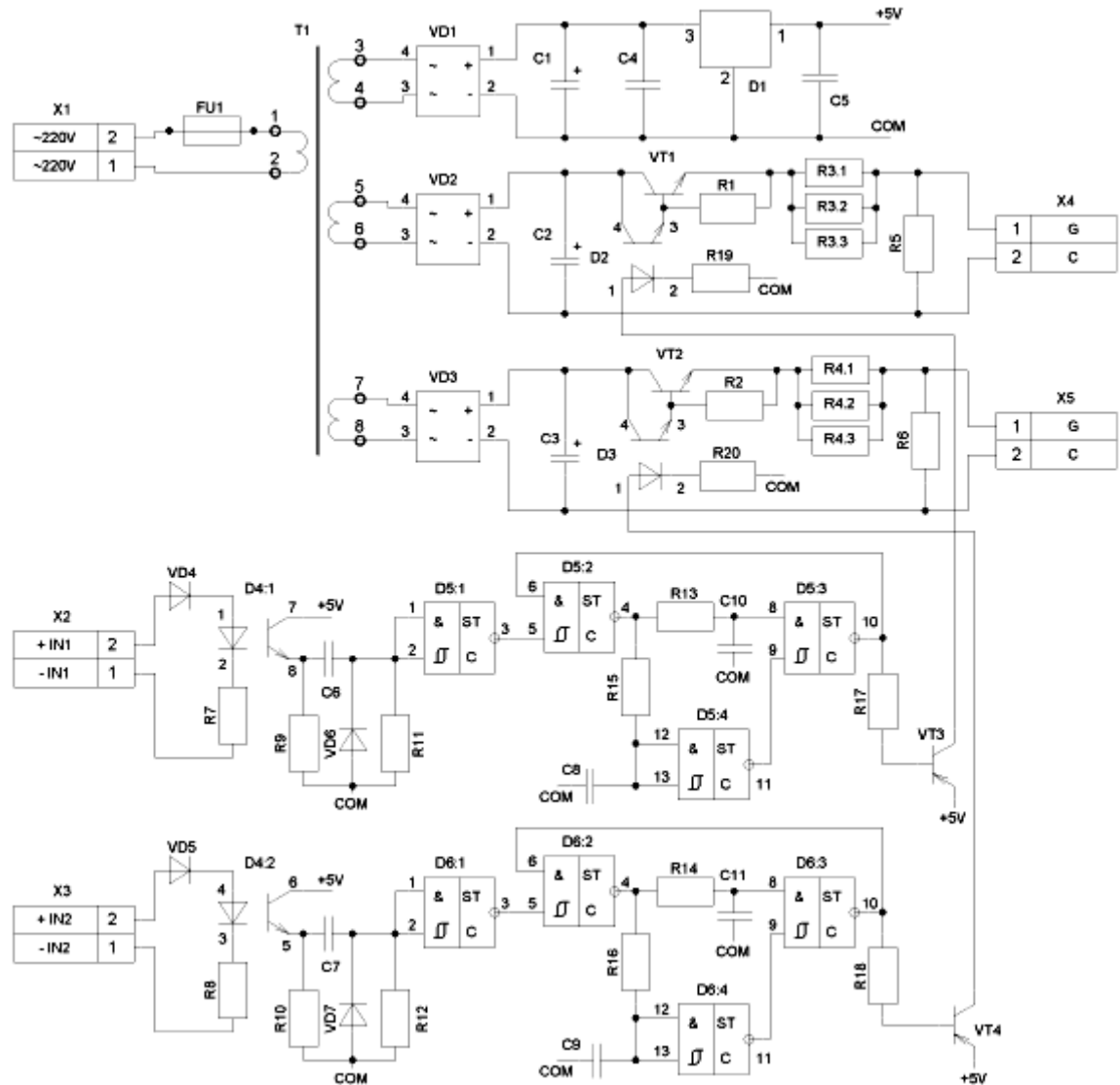


**Рис. 2.16. Схема електрична принципова блоку керування
тиристорами
(розроблено автором)**

Кожний з резисторів R3i і R4i дорівнює 33 Ом, тобто вихідний струм у ланцюг «Керуючий електрод - катод тиристора» обмежений резистором в 11 Ом і опором переходу «Керуючий електрод - катод тиристора» у відкритому стані.

Блок працює в такий спосіб.

При подачі сигналу на один із входів Д4, наприклад, IN1 на виході тригера Д5.3 з'являється низький рівень, VT3 відкривається й через фотодіод VT1 протікає струм.

На виході оптопари з'являється імпульс, тривалістю приблизно 0,45 мсек.

Регулювання рівня напруги на електромагніті виконує контролер, у якому виробляється сигнал синхронізації з мережею. Регулювання напруги контролером виробляється по алгоритму (2.10) [10].

На рис. 2.16 представлено складальне креслення плати блоку керування тиристорами.

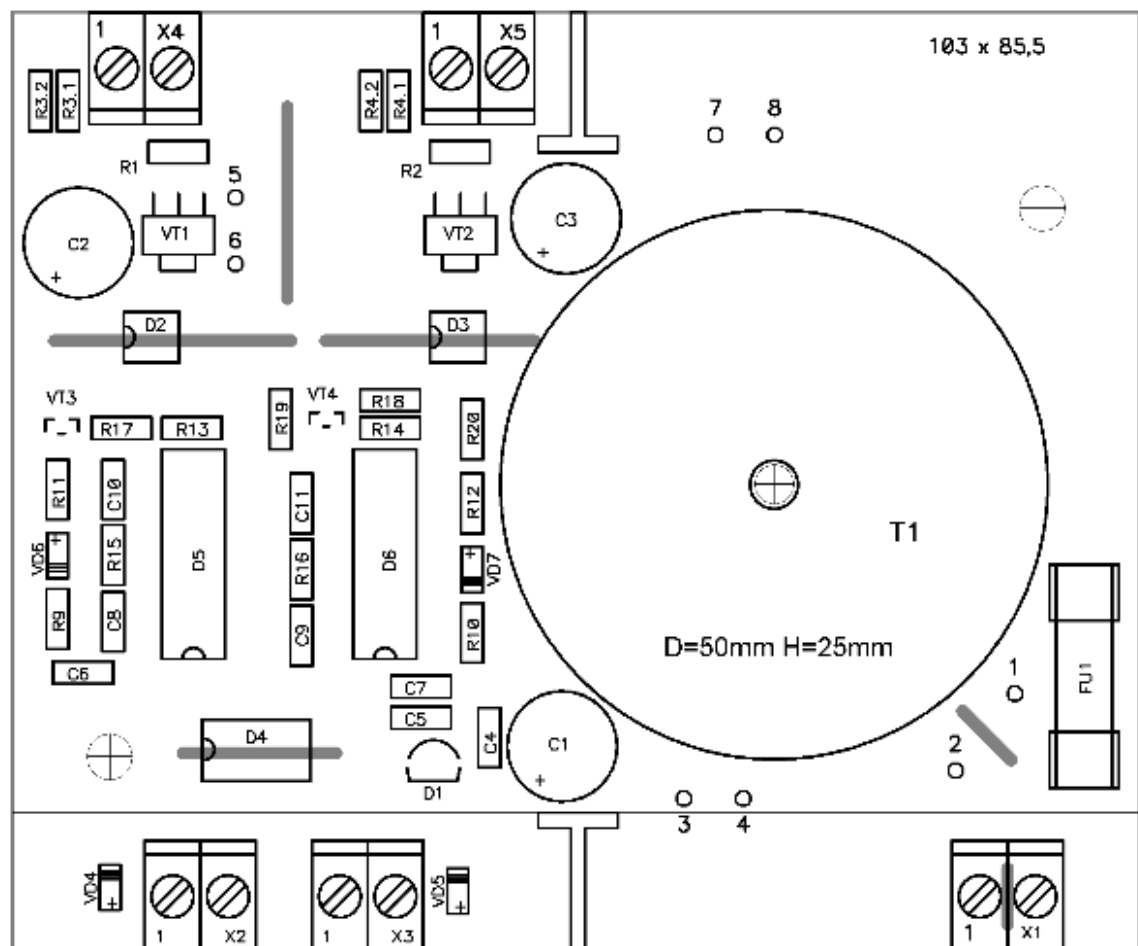


Рис. 2.16. Складальне креслення плати блоку керування тиристорами
(розроблено автором)

2.2.6 Графічна панель оператора SH-300

Загальний вид пульта представлений на рис. 2.17.



Рис. 2.17. Графічна панель оператора SH-300

Графічна панель оператора SH-300 відноситься до розряду нескладних засобів людино-машинного інтерфейсу, дуже простим в освоєнні й експлуатації, але проте маючим найбільш затребувані функції для подібного роду виробів, саме:

- монохромний ЖК дисплей 4,3” 192x64 пікселей, з підсвічуванням, здатний відображати 4 ряди по 24 знака;
- захист передньої панелі IP65;
- регулювання контрасту потенціометром;
- підтримка інтерфейсів RS232/422/485;
- опитування й обробка даних у реальному масштабі часу;
- 14 програмувальних кнопок на лицьовій стороні панелі;
- підтримка багатомовного відображення написів на екрані панелі;
- можливість захисту паролем;
- виведення аварійних сигналів на задані події;
- екранні об’єкти: індикатори, динамічні діаграми й графіки, написи, уведення з убудованої клавіатури й відображення даних з комірок пам’яті ПЛК (або ін. підключеного пристрою);

- зручне й дуже просте в освоєнні (безкоштовно входить у комплект поставки) програмне забезпечення, що не вимагає спеціальних навичок від користувача;

- наявність готових драйверів для зв'язку із ПЛК основних виробників (Mitsubishi, Omron, Siemens, Panasonic, Delta Electronics, Koyo, Vigor, FAB Array), а також стандартних драйверів Modbus (RTU, ASCII)

2.3 Блок – схеми алгоритмів

2.3.1 Блок –схема алгоритму керування електромагнітом

На рис. 2.18 представлена блок – схема алгоритму керування електромагнітом, де прийняті наступні умовні позначки:

I – обмірюване значення струму електромагніта;

РКП – команда машиніста «Підйом»;

КП – команда контролера включення контактора «Підйом»;

Z – ознака, формована при включенні контактора «Підйом»;

ВЧ1 – витримка для організації інтервалу часу t_1 (затримка між включенням контактора «Підйом» і відкриттям тиристорів, тобто організація включення контактора в безструмовій паузі);

Vsi – команда на включенні тиристора;

In – номінальний струм магната;

п/п – підпрограма;

ТВ – інтервал повторного включення;

ВЧ2 - - витримка для організації інтервалу часу t_2 (затримка між закриттям тиристорів вимиканням контактора «Підйом» і, тобто організація вимикання контактора в безструмовій паузі);

АВАРІЯ 1 – подія, що полягає в завданні машиністом сигналу на підйом, тривалістю більше припустимої;

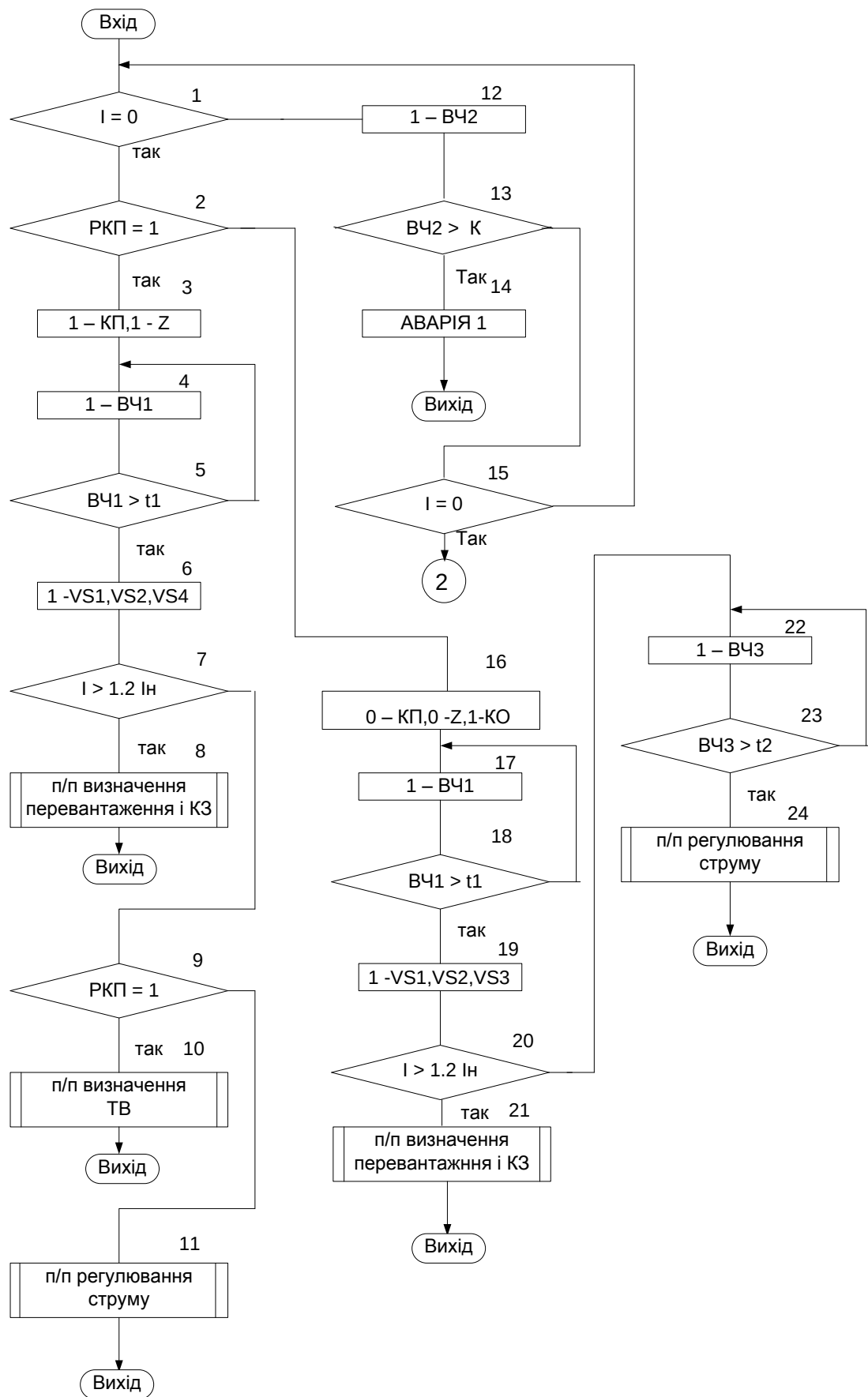


Рис. 2.18. Блок – схема алгоритму керування електромагнітом
(розроблено автором)

K – константа, що визначає припустиму тривалість протікання струму через магніт (чисельне значення визначається при налагодженні);

K - команда контролера включення контактора «Опускання»;

t_2 – інтервал часу розмагнічування;

ЛЧ ТВ – лічильник кількості сигналів «Опускання»;

ВЧЗ – витримка часу на регулювання струму по закінченні інтервалу часу розмагнічування.

Призначення операторів наступне:

Оп.1 – прийом і визначення факту протікання струму через магніт.

Оп.2 - перевірка умови: « чи подана команда машиністом на підйом».

Оп.3 – Видача команди на включення пускача КП і формування ознаки Z про те, що команда на підйом подана; наявність ознаки Z дозволяє зменшити кількість звертань до зовнішніх пристроїв (блок- контакти, шунт і т.д.).

Оп.4, Оп.5 – організація витримки часу, після закінчення якої подається команда на включення тиристорів.

Оп.6 – включення тиристорів для подачі струму в магніт у напрямку «Підйом».

Оп.7, Оп.8 - перевірка факту збільшення струму рівнем $1,2 I_n$.

Оп.9, Оп.10 - визначення тривалості протікання струму в напрямку «Підйом», для обчислення ПВ.

Оп.11 - регулювання струму для зменшення ЕРС самоіндукції після зняття машиністом команди «Підйом».

Оп.12, Оп.13, Оп.14, Оп.15 - контроль факту протікання струму в напрямку «Підйом», тривалістю більше K .

Оп.16- вимикання контактора КП, обнуління осередку з ознакою Z , включення контактора K (розмагнічування),

Оп.17, Оп.18 - організація витримки на включення тиристорів.

Оп. 19 - команда на включення тиристорів.

Оп.20, Оп.21 - визначення факту короткого замикання й перевантаження.

Оп.22, Оп.23, Оп.24 - регулювання струму для зменшення ЕРС самоіндукції після відключення контактора К.

2.3.2 Блок –схема алгоритму визначення КЗ і перевантаження

На рис. 2.19 представлена блок - схема алгоритму визначення КЗ і перевантаження, де прийняті наступні умовні позначки:

Z - масив пам'яті, аналогічний регістру, що зрушує; масив містить 5 двохбайтових осередків, у які послідовно в часі записуються 5 значень струму магніту, обмірюваних через 1 мсек.; при настанні 6- й мілісекунди значення струму в 4-й осередку пересилається в 5-ю, значення струму 3-й осередку пересилається в 4-ю й т.д.; таким чином, створено так зване кільце,

Ii - обмірюване значення струму,

Iпот - середнє значення струму за п'ять вимірів,

Iср - осередок для зберігання Iпот,

Iн - номінальний струм шунта,

Iш - струм шунта,

Vsi - команда на включення (відключення) тиристорів,

АВАРІЯ - подія, що полягає у визначенні контролером факту виникнення КЗ або перевантаження.

Призначення операторів наступне:

Оп.1, Оп.2 - організація «кільця» (для КЗ - 5 двохбайтних осередків, для перевантаження - 60, частота звертання до датчика струму 1 мсек.).

Оп.3, Оп.4 - обчислення фактичного середнього значення струму КЗ (1,5 Iн) або перевантаження (1,2 Iн).

Оп.5 - перевірка умови перевищення обчисленого середнього значення струму заданому.

Оп.6, Оп.7 - видача сигналу на закриття тиристорів, якщо напруга з електромагніта знято.

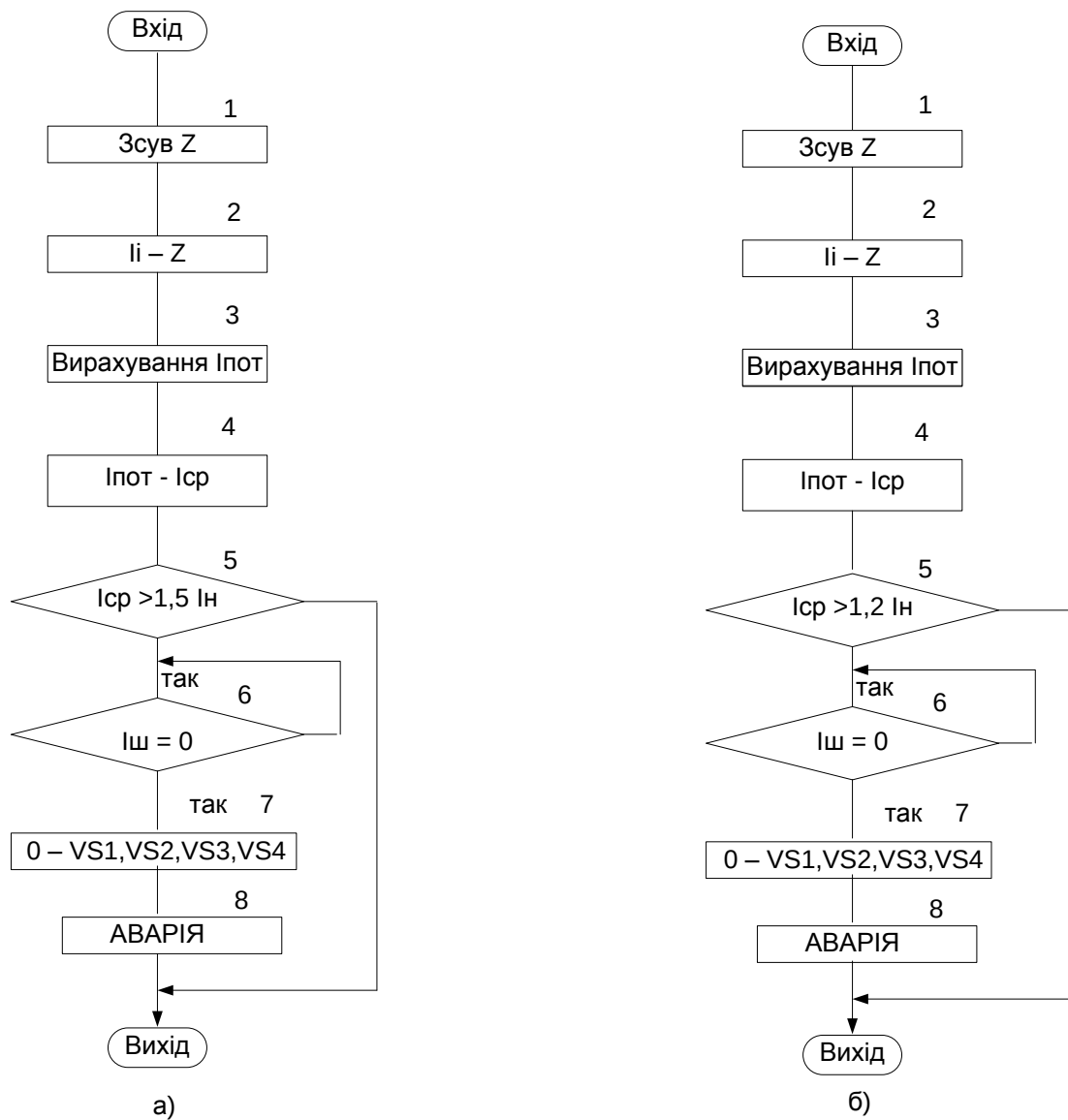


Рис. 2.19. Блок-схема алгоритму визначення КЗ (а) і перевантаження (б)
(розроблено автором)

2.3.3 Блок – схема алгоритму визначення ТВ

На рис. 2.20 представлена блок – схема алгоритму визначення ТВ, де прийняті наступні умовні позначки:

КП – сигнал включення контактора «Підйом», виданий контролером,
 α – ознака, формована при видачі сигналу КП,

T – поточний час,

$T_{пкп}$ - момент часу появи сигналу КП,

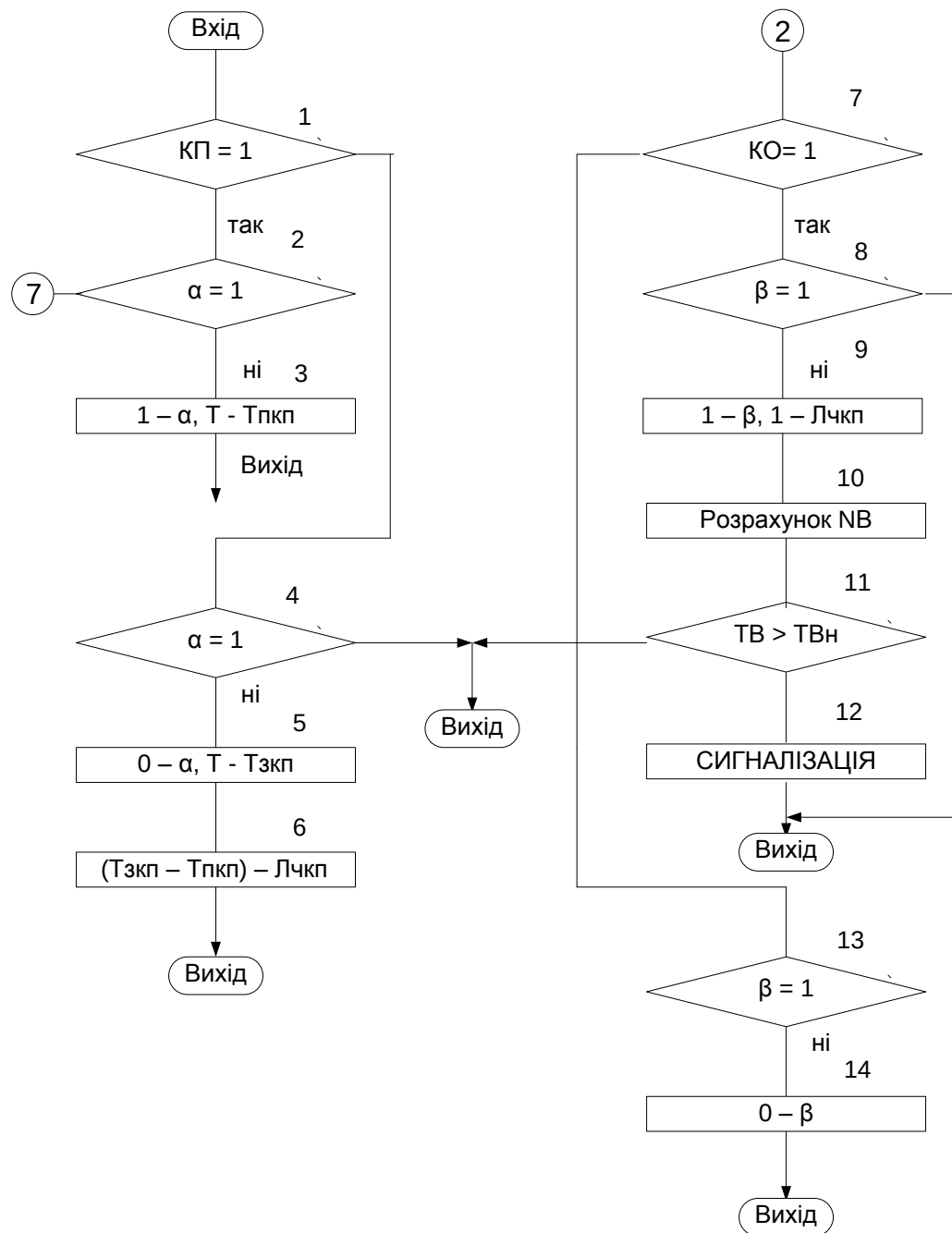


Рисунок 2.20. Блок-схема алгоритму визначення ТВ

(розроблено автором)

$T_{зкп}$ - момент часу зникнення сигналу КП;

Лчкп - лічильник часу наявності сигналу КП;

КО - сигнал включення контактора Опускання, виданий контролером;

β - ознака, формована при видачі сигналу КО;

ТВн - величина паспортного ТВ.

Призначення операторів наступне:

Оп.1, Оп.2, Оп.3 - оцінка моменту часу появи сигналу КП;

Оп.4, Оп.5, Оп.6 - оцінка моменту часу зникнення сигналу КП;

Оп.7, Оп.8, Оп.9 - констатація факту появи сигналу КО;

Оп.10, Оп.11, Оп.12 - розрахунок фактичного ТВ і видача сигналу, якщо фактичне ТВ більше номінального;

Оп.13, Оп.14 - обнуління ознаки β .

2.4 Приклади даних, видаваних на пульт оператора й дисплей

На рис. 2.21 наведений приклад даних, видаваних на пульт машиніста крана.



Рис. 2.21. Приклад даних видаваних приладом на пульт оператора

Розшифровка умовних позначок рис. 2.21 наступна:

Перший рядок цифр:

«14-05»-поточний час;

«27-04-26» - 27 квітня 2026 р.;

«3М 07-15» - зміна з 7 до 15 годин;

Другий рядок цифр:

«БР 4» - бригада 4;

«ПЕРЕВ - 0» - за час із початку зміни до 14 годин 15 хв. Струмові перевантаження на електромагніті не виявлено;

«КЗ-0» - за час із початку зміни до 14 годин.15 хв. Короткого замикання на електромагніті не виявлено;

«ТВ-47» - середнє значення ТВ за час із початку зміни до 14 години.15 хв. Не перевищило 47%.

Третій рядок цифр:

«СТРУМ - 68А» - за час із початку зміни до 14 години.15 хв. Середнє значення струму дорівнює 68А;

«ОПІР 3-50М» - поточний опір обмоток магніту 3,50м;

«ВКЛ - 57ХВ» - за час із початку зміни до 14 годин.15 хв час включеного стану магніту, тобто сумарна тривалість протікання струму;

«ТЕМП - 95» - розрахункова температура обмоток.

На рис. 2.22 наведений приклад даних, видаваних на дисплей робочої станції.

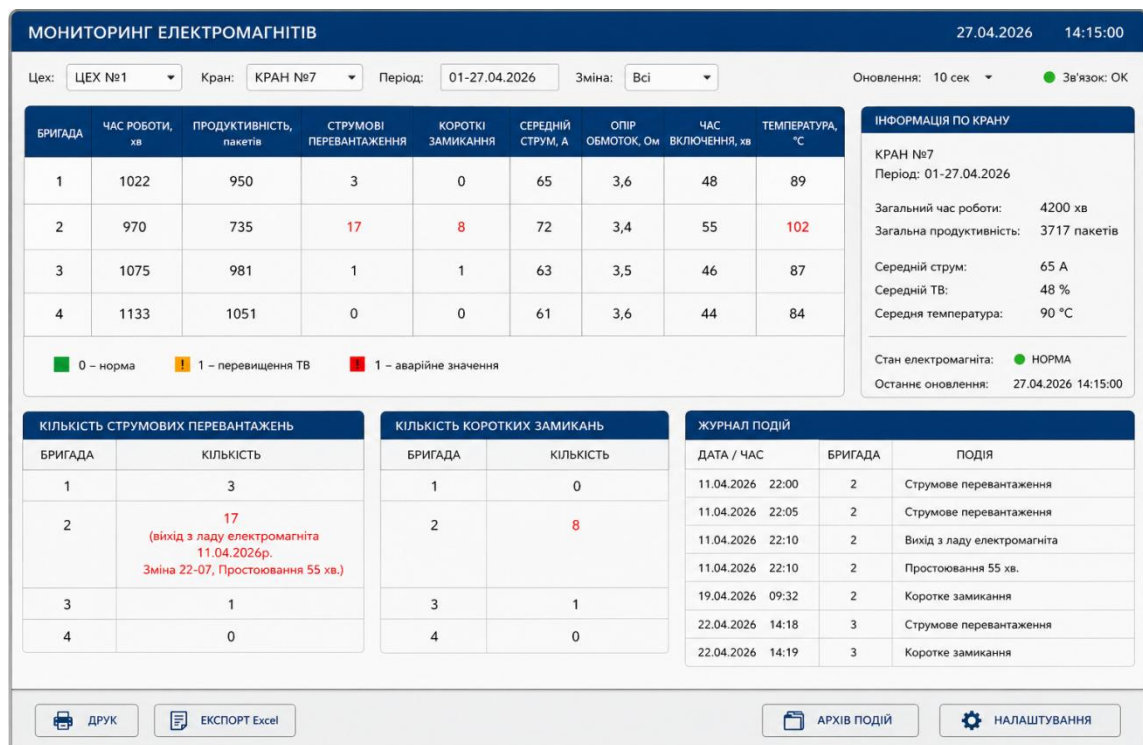


Рис. 2.22. Приклад даних, видаваних на дисплей робочої станції

Як видно з рис. 2.22, керівництву цеху в стислому й зручному вигляді виводяться дані, що дозволяють за короткий проміжок часу виконати аналіз роботи бригад.

2.5 Охорона праці

2.5.1 Нормативна база та стан виробничого травматизму

Право на здоров'я та безпечні умови праці є невід'ємним правом людини, закріпленим у статтях 43 та 45 Конституції України [13].

Законодавство України про охорону праці формується на основі [14]. Державна політика у цій сфері, визначена статтею 4 зазначеного Закону, базується на таких принципах: пріоритет життя і здоров'я працівників; повна відповідальність роботодавця за створення безпечних умов праці; комплексний підхід до розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавних та галузевих програм; соціальний захист працівників, які потерпіли від нещасних випадків або професійних захворювань; адаптація національного законодавства до міжнародних стандартів (МОП, ЄС) [14].

Важливою особливістю сучасного періоду є врахування факторів воєнного стану, що вимагає від роботодавців впровадження додаткових заходів безпеки, зокрема планування евакуації, забезпечення укриття та інформування персоналу про повітряні тривоги.

За офіційними даними Державної служби України з питань праці, у 2024 році внаслідок нещасних випадків на виробництві травми отримало 3 509 працівників, що на 405 випадків більше, ніж у 2023 році [15]. Особливістю сучасного періоду є значне зростання травматизму, пов'язаного з веденням бойових дій: кількість працівників, травмованих на робочих місцях внаслідок військової агресії, зросла більш ніж удвічі порівняно з 2023 роком [15]. У металургійній галузі, до якої належить цех Блюмінг ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ризики виробничого травматизму залишаються високими через поєднання традиційних небезпек із новими факторами воєнного часу.

Показники виробничого травматизму в Україні у 2024 році [15]

Показник	Значення	Динаміка до 2023 р.
Загальна кількість травмованих	3 509 осіб	+405 (+13 %)
Травми внаслідок бойових дій	1 006 осіб	+556 (+124 %)
Смертельні випадки (усі причини)	493 випадки	+21 (+4,5 %)
Смертельні випадки через обстріли	224 особи	+28

2.5.2 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників

У цеху Блюмінг діють такі основні групи небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

Механічні небезпеки. Основне та допоміжне устаткування (прокатні валки, тягнучі ролики, зубчасті передачі, ножиці, пили, рольганги) має рухомі частини, контакт з якими може призвести до травм. Особливу небезпеку становлять обертові елементи (валки, маховики, шпінделі, муфти), зворотно-поступальні механізми (маніпулятори, кантувачі, штовхачі), переміщувані заготівки, блюми, сляби та готовий прокат.

Електричні небезпеки. Більша частина електроустаткування цеху працює при напрузі до 1000 В, окремі системи - при напрузі 6000 В. Джерелами електротравматизму є струмоведучі частини розподільних пристроїв, пошкоджена ізоляція кабелів та обладнання, неправильне заземлення або занулення. Захист забезпечується відповідно до вимог [16].

Виробничий шум та вібрація. Джерелами механічного шуму є зубчасті передачі, підшипники, процеси деформації та різання металу. Вібрація виникає від роботи прокатних станів, зворотно-поступальних механізмів, ручного пневмоінструменту. Нормування здійснюється згідно з [17], [18].

Мікроклімат та теплові навантаження. Джерелами тепловиділень є оброблюваний метал (температура до 1200 °С), нагрівальні колодязі, прокатні стани. Це створює ризик теплового стресу, особливо в літній період.

Запиленість та хімічні фактори. При гарячій прокатці утворюється окалина, аерозолі оксидів заліза та легуючих елементів. Гранично допустимі концентрації (ГДК) регламентовані санітарними нормами [17], речовини належать переважно до 2-3 класів небезпеки.

Освітленість робочих зон. Недостатня освітленість підвищує ризик помилок персоналу та травматизму. Нормування здійснюється згідно з [19].

Таблиця 2.4

Рівень шкідливих виробничих чинників цеху Блюмінг

Параметр	Нормативне значення	Фактичне значення	Відхилення
Рівень шуму, дБА	80	96	+16 дБА
Загальна вібрація, дБ	87	97	+10 дБ
Запиленість повітря, мг/м ³	6,0	2,5-8,9	±3,4
Температура повітря (теплий пер.), °С	18-27	32-36	+5...+9 °С
Освітленість, лк	50	39	-11 лк
Відносна вологість, %	40-60	47	у нормі

2.5.3 Заходи щодо зниження впливу шкідливих і небезпечних чинників

Зниження шуму та вібрації досягається оснащенням джерел шуму звукоізолюючими кожухами та віброгасними опорами; застосуванням вібропоглинаючих покриттів (зниження шуму до 10 дБ у середньо- та високочастотному діапазоні); заміною ударних механізмів на безударні аналоги; динамічним балансуванням обертових вузлів; використанням засобів індивідуального захисту згідно з [17].

Захист від електричного струму забезпечується застосуванням огорож струмоведучих частин (суцільних або сітчастих з розміром вічка не більше 25×25 мм); встановленням блокувальних пристроїв на розподільних пристроях; використанням діелектричних засобів (килимки, рукавички, інструмент з ізольованими рукоятками); регулярним контролем ізоляції та опору заземлювальних пристроїв відповідно до [16].

Покращення мікроклімату досягається модернізацією систем загальнообмінної та місцевої витяжної вентиляції; встановленням повітряно-душових установок у зонах інтенсивного тепловиділення; забезпеченням персоналу питним режимом.

Зменшення запиленості та хімічного навантаження забезпечується впровадженням місцевих витяжних зондів у місцях утворення аерозолів; використанням засобів індивідуального захисту органів дихання (респіратори типу «Пелюстка», фільтри класу FFP2/FFP3); регулярним моніторингом якості повітря відповідно до санітарних норм.

Покращення освітлення здійснюється заміною застарілих ламп розжарювання на світлодіодні світильники; забезпеченням нормованої освітленості згідно з [19]; регулярним очищенням світильників від пилу та кіптяви.

2.5.4 Розрахунок захисного заземлення електроустановок

Розрахунок виконується для електроустановок напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю відповідно до [16].

Вихідні дані: напруга мережі $U = 0,4$ кВ; загальна довжина кабельних ліній $l_1 = 2,3$ км; питомий опір ґрунту $\rho = 150$ Ом·м; глибина закладання заземлювача $h = 0,7$ м; діаметр труби-заземлювача $d = 0,05$ м; довжина труби $l = 2,5$ м; коефіцієнт сезонності $k_s = 1,4$.

Струм однополюсного замикання на землю для кабельних ліній:

$$I_3 = \frac{U_{\text{лін}} \cdot l_1}{10} = 0,4 \cdot 2,3 / 10 = 0,092 \text{ А} \quad (2.21)$$

Допустимий опір робочого заземлення пробивного запобіжника:

$$R_{\text{доп}} = \frac{125}{I_3} = \frac{125}{0,092} \approx 1359 \text{ Ом} \quad (2.22)$$

Опір розтіканню одного трубчастого заземлювача:

$$R_{\text{тр}} = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln\left(\frac{4l}{d}\right) = \frac{150}{2\pi \cdot 2,5} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 2,5}{0,05}\right) \approx 47,2 \text{ Ом} \quad (2.23)$$

З урахуванням коефіцієнта сезонності:

$$R_{\text{тр}}^{\text{сез}} = R_{\text{тр}} \cdot k_s = 47,2 \cdot 1,4 \approx 66,1 \text{ Ом} \quad (2.24)$$

Необхідна кількість заземлювачів (з урахуванням коефіцієнта використання $\eta_{\text{е.т}} = 0,75$):

$$n = \frac{R_{\text{тр}}^{\text{сез}}}{(\eta_{\text{е.т}} \cdot R_{\text{доп}})} = \frac{66,1}{(0,75 \cdot 1359)} \approx 0,065 \rightarrow n = 4 \text{ шт.} \quad (2.25)$$

Після визначення числа труб $n = 4$ та опору з'єднувальної смуги (переріз 48 мм², товщина $b = 0,004$ м) $R_{\text{см}} \approx 12,3$ Ом, загальний опір заземлювального пристрою:

$$R_{\text{заг}} \approx 18,4 \text{ Ом} < 1359 \text{ Ом} \quad (2.26)$$

де умова $R_{\text{заг}} < R_{\text{доп}}$ виконується. Запроектований заземлювальний пристрій із 4 трубчастих заземлювачів, з'єднаних сталевую смугою, забезпечує необхідний рівень електробезпеки відповідно до [16].

2.5.5 Розрахунок освітлення станового прольоту

Вихідні дані: площа прольоту $S = 126 \text{ м} \times 28 \text{ м} = 3528 \text{ м}^2$; нормована освітленість $E = 50 \text{ лк}$; коефіцієнт запасу $K = 1,5$; середня горизонтальна освітленість однієї лампи $E_{\text{ср}} = 4,1 \text{ лк/шт.}$; потужність світильника $P = 500 \text{ Вт}$.

Потужність освітлювальної установки:

$$P_{\text{заг}} = \frac{E \cdot S \cdot K}{E_{\text{ср}}} = \frac{50 \cdot 3528 \cdot 1,5}{4,1} \approx 64634 \text{ Вт} \quad (2.27)$$

Необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{P_{\text{заг}}}{P} = \frac{64634}{500} \approx 129 \text{ шт.} \quad (2.28)$$

Для забезпечення нормованої освітленості станового прольоту згідно з [19] необхідно встановити 129 світлодіодних світильників потужністю 500 Вт із запасом 10 % на заміну.

2.5.6 Засоби індивідуального захисту

Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) здійснюється відповідно до [20].

Таблиця 2.5

**Перелік спецодягу і засобів індивідуального захисту електромонтера цеху
Блюмінг [20]**

№	Найменування засобу захисту	Строк носіння, міс.	Кількість на рік, шт.
1	Костюм бавовняний захисний	12	18
2	Черевики шкіряні на клейовій підшві	12	18
3	Каска захисна пластмасова	60	18
4	Рукавиці брезентові	2	108
5	Респіратор «Пелюстка» ШБ-1	1 зміна	250
6	Вушні вкладиші шумозахисні	1 зміна	250
7	Рукавиці діелектричні	чергування	18
8	Пояс запобіжний	чергування	18

Таблиця 2.6

Перелік додаткових засобів електрозахисту електромонтера [16]

Найменування захисного засобу	Випробувальна напруга	Періодичність випробувань	Огляд перед застосуванням
Показчики напруги	600 В	1 раз на рік	так
Рукавиці діелектричні гумові	6 кВ	1 раз на 6 міс.	так
Інструмент з ізольованими рукоятками	2 кВ	1 раз на рік	так
Галоші діелектричні	3,5 кВ	1 раз на рік	так
Заземлення переносні	6 кВ	після виготовлення	так

2.5.7 Санітарно-побутове забезпечення

Кількість працюючих у цеху Блюмінг становить 636 осіб, у найбільш численній зміні - 165 осіб. Душові та умивальні розташовані суміжно з гардеробними. Санітарно-побутові приміщення розміщені на відстані не далі 75 м від робочих місць.

Таблиця 2.7

Забезпечення санітарно-гігієнічними і побутовими приміщеннями

№	Найменування	Норматив	Розрахункове значення	Фактична наявність
1	Гардеробні шафи	1 шт./особу	636 шт.	636 шт.
2	Душові сітки	1 шт./3 особи	55 шт.	55 шт.
3	Умивальні крани	1 шт./20 осіб	9 шт.	9 шт.
4	Посадкові місця в їдальні	1 місце/особу в зміні	165 місць	168 місць
5	Туалети	3 шт.	33 шт. (3 прим.)	3 шт.
6	Питні фонтанчики	1 шт./150 осіб	4 шт.	4 шт.

Категорія пожежної небезпеки цеху Блюмінг відноситься до категорії Г (робота з незаймистими речовинами у гарячому стані), клас зони - П-П. Ступінь вогнестійкості II згідно з [21].

Виробничі приміщення обладнані первинними засобами пожежогасіння: вогнегасниками вуглекислотними та порошковими; ящиками з піском; бочками з водою; пожежними щитами з комплектом інвентарю. Встановлені автоматичні пожежні сигналізації типу СДПУ-1 із сповіщувачами КІ-1.

В цеху передбачено 4 пожежних виходи для евакуації персоналу. Двері на шляху евакуації відчиняються за напрямком виходу з приміщення. В цеху

розроблені і розташовані в доступних місцях плани евакуації персоналу при виникненні пожежі.

Для захисту будівель цеху від прямих ударів блискавки застосовані громовідводи стрижньові ($n = 25 \times 3$ шт., $h = 150$ м), зона захисту яких відповідає вимогам [21].

2.5.8 Пожежна безпека та екологія

У прокатному виробництві є організовані технологічні й неорганізовані викиди. Основне джерело технологічних викидів - нагрівальні колодязі, печі й машини вогневого зачищення. Джерела неорганізованих викидів: нагрівальні колодязі під час відкривання кришок, нагрівальні печі при недостатній тязі, робочі кліті, ножиці для різання металу, вогневе й механічне зачищення заготівель.

Незважаючи на постійне збільшення обсягів виробництва, загальна кількість стічних вод, що скидаються у водойми, зменшується завдяки впровадженню сучасних технологій очищення, замкнутих циклів водопостачання та утилізації шлаків.

2.5.9 Комплексна оцінка безпеки впровадженого пристрою

Аналіз виробничих умов цеху Блюмінг свідчить про наявність комплексу небезпечних і шкідливих чинників, що потребують системного підходу до забезпечення безпеки праці. Інтеграція розробленого мікропроцесорного пристрою керування електромагнітами пратцен-крану у виробничий процес здійснюється з урахуванням чинних нормативних вимог [22].

Аналіз даних табл. 2.4 демонструє, що найбільш критичними параметрами є рівень виробничого шуму та вібрації в основному прольоті, які перевищують нормативні значення на 16 дБА та 10 дБ відповідно. Такі

відхилення зумовлені конструктивними особливостями прокатного обладнання та обмеженими можливостями застосування звукоізолюючих заходів у діючому виробництві.

Для кількісної оцінки результативності запропонованих технічних рішень використано показник зниження інтегрального ризику травматизму K_p , що визначається за формулою:

$$K_p = 1 - \frac{\sum(P_{ф.і} \cdot W_i)}{\sum(P_{н.і} \cdot W_i)} \quad (2.29)$$

де $P_{ф.і}$ - фактичне значення i -го параметра виробничого середовища; $P_{н.і}$ - нормативне значення i -го параметра; W_i - ваговий коефіцієнт впливу параметра на загальний рівень ризику; n - кількість контрольованих параметрів [23].

Вагові коефіцієнти прийняті: шум та вібрація $W_3 = 0,18$; мікроклімат $W_4 = 0,15$; хімічні фактори $W_5 = 0,12$.

Підстановка фактичних та нормативних значень з табл. 2.4:

$$K_p = 1 - \frac{(96 \cdot 0,18 + 97 \cdot 0,18 + 8,9 \cdot 0,12 + 36 \cdot 0,15 + 39 \cdot 0,17)}{(80 \cdot 0,18 + 87 \cdot 0,18 + 6,0 \cdot 0,12 + 27 \cdot 0,15 + 50 \cdot 0,17)} \approx 0,23 \quad (2.30)$$

Отримане значення $K_p = 0,23$ свідчить про те, що без впровадження додаткових заходів інтегральний ризик перевищує нормативний рівень на 23 %. Реалізація запропонованого комплексу заходів (віброізоляція, модернізація вентиляції, покращення освітлення) дозволяє знизити цей показник до $K_p \leq 0,05$, що відповідає прийнятному рівню виробничого ризику.

Для оцінки надійності системи захисного заземлення в експлуатації запроваджено показник ймовірності безвідмовної роботи P_e , що розраховується за законом:

$$P_e(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.31)$$

де λ - інтенсивність відмов заземлювального пристрою ($\lambda = 0,02$ 1/рік згідно з [23]); t - час експлуатації, років.

Для міжперевірочного періоду ($t = 1$ рік):

$$P_e(1) = e^{-0,02 \cdot 1} \approx 0,98 \quad (2.32)$$

Значення $P_e = 0,98$ підтверджує високу надійність запроєктованої системи заземлення.

Для комплексної оцінки впливу розробленого мікропроцесорного пристрою на рівень охорони праці використано метод зваженої суми часткових показників:

$$I_6 = \Sigma(\alpha_j \cdot K_j) \quad (2.33)$$

де I_6 - інтегральний показник безпеки; α_j - ваговий коефіцієнт j -го критерію; K_j - нормоване значення j -го критерію (від 0 до 1); m - кількість критеріїв.

Таблиця 2.8

Оцінка впливу мікропроцесорного пристрою на показники охорони праці

№	Критерій оцінки	Вага α_j	Нормоване значення K_j	Внесок у інтегральний показник
1	Зниження ризику електротравматизму	0,30	0,92	0,276
2	Покращення умов праці оператора	0,25	0,88	0,220
3	Зменшення ймовірності аварійних ситуацій	0,20	0,85	0,170
4	Економічна ефективність заходів безпеки	0,15	0,95	0,143
5	Відповідність нормативним вимогам	0,10	1,00	0,100
Всього	Інтегральний показник I_6	1,00	-	0,909

Значення інтегрального показника $I_6 = 0,909$ (за шкалою від 0 до 1) свідчить про високий рівень безпеки запропонованого технічного рішення. Показник перевищує порогове значення 0,75, що вважається мінімально допустимим для впровадження нових технічних засобів у виробництво з підвищеною небезпекою.

ВИСНОВКИ

За результатами виконаної випускної кваліфікаційної роботи можна зробити такі висновки.

Досліджено об'єкт автоматизації - вантажопідйомний електромагніт постійного струму напругою 220 В пратцен-крана КСЛ-16, що експлуатується на холодильнику цеху Блюмінг ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Встановлено, що основною причиною передчасного виходу магнітів з ладу є ЕРС самоіндукції, яка при контакторному комутуванні досягає 1,5 кВ і більше - тобто перевищує напругу живлення у 3-4 рази. Це систематично руйнує ізоляцію обмоток і скорочує міжремонтний ресурс до трьох років при вартості ремонту 90-150 тис. грн. Додатково виявлено: відсутність контролю реальної тривалості включення (ТВ), неможливість непрямого визначення температури обмоток і недосконалість захистів від струмових перевантажень і коротких замикань.

Проведено порівняльний аналіз відомих схем зменшення ЕРС самоіндукції - від гасящих резисторів і діодів до тиристорних реверсивних схем за схемою Ларіонова. Для реалізації прийнята комбінована реверсивна тиристорна схема (рис. 2.8), яка на відміну від існуючих дозволяє не лише плавно знижувати ЕРС самоіндукції при відключенні, але й одночасно вирішувати задачі вимірювання струму та напруги, захисту від КЗ і перевантажень, архівації параметрів роботи та дистанційного моніторингу через GSM-канал.

Розроблено чотири алгоритми роботи мікропроцесорного контролера: алгоритм захисту від короткого замикання (спрацювання при $I_{ш} > 1,5 \cdot I_n$ за 5 мс); алгоритм захисту від перевантаження (спрацювання при $I_{ш} > 1,2 \cdot I_n$ за 60 с); алгоритм розрахунку фактичного значення ТВ за поточним значенням часу роботи і пауз з початку зміни; алгоритм непрямого визначення температури обмоток через вимірювання поточного опору за відношенням $U_{ем}/I_{ш}$ з

подальшим перерахунком за формулою залежності опору міді від температури. Всі алгоритми задокументовані у вигляді блок-схем.

Виконано розрахунок складових апаратних і методичних похибок вимірювальних ланцюгів струму та напруги. Встановлено, що при допустимій похибці вимірювання температури 5 % необхідна частота опитування АЦП по каналу струму становить 1 кГц, по каналу напруги - 2 кГц. Ці вимоги покладено в основу технічного завдання на контролер.

Обрано елементну базу пристрою відповідно до умов експлуатації: діапазон температур від -20 до +85 °С, підвищені вібрації. Контролер побудовано на базі мікроконтролера MICROCHIP PIC18F з зовнішнім ППЗП 128 кбайт для архівних даних, інтерфейсами RS-232 і RS-485. Для гальванічної розв'язки та нормалізації сигналів струму (до ± 50 мВ) і напруги (до ± 600 В) прийнято блоки БГРН виробництва ПРОМСАТ з похибкою перетворення не більше 0,25 % і випробувальною напругою ізоляції 1500 В. Живлення пристрою забезпечується уніфікованими промисловими джерелами серії PSA-EPS750.1 (24 В, ККД не менше 84 %). Для оперативної індикації та керування прийнята графічна панель оператора SH-300.

Виконано аналіз умов праці на робочих місцях цеху Блюмінг. Розраховано систему захисного заземлення електроустановок напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю: чотири трубчасті заземлювачі, з'єднані сталеву смугою, забезпечують результуючий опір, що задовольняє вимогам [16]. Розраховано природне і штучне освітлення станового прольоту: необхідна кількість світлодіодних світильників потужністю 500 Вт становить 129 штук. Розроблені заходи щодо зниження шуму, вібрації та хімічного забруднення повітря робочої зони. Визначено склад засобів індивідуального захисту для електромонтерів цеху згідно з [20].

Розроблений мікропроцесорний пристрій керування електромагнітом пратцен-крана принципово усуває головну причину передчасних відмов - неконтрольовані перенапруги при комутаціях - і одночасно закриває інші виявлені прогалини в системі захисту та моніторингу. Технічне рішення

побудоване виключно на серійній промисловій елементній базі, відпрацьованій для умов металургійного виробництва, що забезпечує практичну реалізованість проєкту без розробки нестандартного обладнання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вовк В.Я., Масюткін Є.П. Вантажопідіймальні кранові машини: навч. посіб. – Маріуполь: ПДТУ, 2011. – 341 с.
2. Іванченко Ф.К. Вантажопідіймальні машини: підручник. – Київ: Вища школа, 1989. – 422 с.
3. Технічний паспорт мостового крана КСЛ-17. – Харків: ПАТ «Укркранмаш», 2016. – 84 с.
4. Технологічна інструкція на пратцен-кран / ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». – Кривий Ріг, 2010. – 48 с.
5. Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: підручник. – Київ: Каравела, 2010. – 440 с.
6. Оніщенко Г.Б. Електричний привід: підручник. – Київ: Арістей, 2006. – 428 с.
7. Ткаченко Г.И., Пирогов А.В., Баленко Ю.В и др., «Измерения токов в кабельных линиях связи без трансформаторов и шунтов»,ж. Металлургическая и горнорудная промышленность, Днепропетровск, 2009 г, № 6.
8. Holit Data Systems : офіційний сайт. URL: <http://www.holit.ua> (дата звернення: 14.05.2026).
9. ПРОМСАТ : офіційний сайт. URL: <http://www.promsat.com> (дата звернення: 14.05.2026).
10. Вайнер А.И.Ткаченко Г.И., Баленко Ю.В.и др.,Стенд для послеремонтных испытаний асинхронных двигателей методом динамического нагружения, Металлургическая и горнорудная промышленность, 2011 г, № 4
11. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII : редакція станом на 01.01.2025 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 14.05.2026).
12. Шеремет В.О., Каракаш О.І. та ін. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві : навч. посіб. – Дніпропетровськ : ІМА-прес, 2003. – 311 с.

13. Конституція України : прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України 28.06.1996. – Київ, 1996. – Ст. 43, 45.
14. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII : редакція станом на 01.01.2025 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 14.05.2026).
15. Державна служба України з питань праці. Аналіз виробничого травматизму за 2024 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dsp.gov.ua> (дата звернення: 14.05.2026).
16. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок : затв. Держнаглядохоронпраці 2001. – Київ, 2001. – 241 с.
17. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку : затв. МОЗ України 01.12.1999. – Київ, 1999. – 28 с.
18. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації : затв. МОЗ України 01.12.1999. – Київ, 1999. – 32 с.
19. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення : затв. Мінрегіоном України 03.10.2018. – Київ, 2018. – 76 с.
20. Наказ Держгірпромнагляду № 62 від 16.04.2009 «Про затвердження Норм безплатної видачі засобів індивідуального захисту працівникам металургійних підприємств».
21. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – Київ : Мінрегіон, 2016. – 37 с.
22. Шеремет В.О., Каракаш О.І. та ін. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві : навч. посіб. – Дніпропетровськ : ІМА-прес, 2003. – 311 с.
23. Прохоренко А.К. Надійність технічних систем і техногенний ризик : навч. посіб. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 204 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

151-9д-2026вр6

Автор

151-9д-2026вр6

Науковий керівник / Експерт

Модло Є

ІД документу

334133596

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

6/2/2026

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.



9633

Кількість слів



71132

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		41
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		55

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

Копію тексту

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

ЗГОДА здобувача вищої освіти
Державного університету економіки і технологій про перевірку
кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету

Я, *Убалехт Руслан Яношевич*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота

Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система керування електромагнітом пратцен - крана виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований, що відповідно до «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений.

1.06.2026