

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 174 «Автоматизація, комп'ютерні технології та робототехніка»
Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Лисишина Ярослава Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Автоматизація металургійного виробництва. Дослідження та розробка
безконтактного автоматичного вимикача для підстанції 0,4 кВ блюмінга 1300
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

(повна назва теми)

за матеріалами з підстанції 0,4 кВ Блюмінга 1300

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник професор, д.т.н.

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Чорний О.П.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 15.01. 2026 р. № 6

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н.

Наук. ступінь, вчене звання

Є.О. Модло

Ініціали, прізвище

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

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр _____

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерні технології та
робототехніка» _____

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лисишину Ярославу Анатолійовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи Автоматизація металургійного виробництва. Дослідження та розробка безконтактного автоматичного вимикача для підстанції 0,4 кВ блюмінга 1300 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

керівник випускної роботи _____ Чорний Олексій Петрович, професор, д.т.н.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «20» жовтня 2025 року
№ 727-ст _____

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи
12.01.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи: на підстанції встановлено 41 автоматичний вимикач на струми в межах 15 – 250 А. Плановані технічні характеристики БАВ: кількість фаз = 3 од.; номінальна фазна напруга = 220 В; ряд номінальних струмів від 20 до 1000 А; види захистів: від міжфазних, однофазних коротких замикань і коротких замикань на землю, струмових перевантажень, зниження (підвищення) напруги, асиметрії фазних струмів, від обриву фази й зниження опору ізоляції до припустимого рівня. Кратність струму відключення навантаження при короткому замиканні I/In задається у межах 5,...,8.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 4.1 Аналітична частина. Схема підстанції 0,4 кВ Блюмінга 1300. Недоліки електромеханічних вимикачів. 4.2 Основна частина. Плановані технічні характеристики БАВ. Структура й робота БАВ. Принципові схеми автомата, призначення елементів. Алгоритми роботи. Похибки вимірів. Розрахунок економічної ефективності впровадження технічного рішення.

Розглянути заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності в умовах Блюмінга 1300.

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

ВРМ.174.727-ст.07.Е0.1 – Осцилограма струму короткого замикання;
ВРМ.174.727-ст.07.Е1.1 – Структурна схема апаратного відключення
навантаження при КЗ; ВРМ.174.727-ст.07.Е0.2 – Часова діаграма роботи вузла
контролю КЗ; ВРМ.174.727-ст.07.Е1.2 – Спрощена структурна схема
управління однією фазою; ВРМ.174.727-ст.07.Е3.1 – Схема електрична
принципова силового блоку; ВРМ.174.727-ст.07.Е3.2 – Схема електрична
принципова гасіння ЕРС; ВРМ.174.727-ст.07.Е7 – Схема розташування
комплектуючих у шафі БАВ; ВРМ.174.727-ст.07.Е0.3 – Таблиця порівняльних
характеристик БАВ з електромеханічним автоматом

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Чорний О.П.	20.10.2025	20.10.2025
Основна частина	Чорний О.П.	20.10.2025	20.10.2025

7. Дата видачі завдання 20.10.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	28.11.2025	
2.	Основна частина	25.12.2025	
3.	Оформлення пояснювальної записки	29.12.2025	
4.	Виконання графічної частини	05.01.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	12.01.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	21.01.2026	

Студент _____
(підпис)

Лисишин Я.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Чорний О.П.
(прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення	Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.		
1	A3	BPM.174.727-см.07.E0.1	Осцилограма струму	1				
2			короткого замикання					
3	A3	BPM.174.727-см.07.E1.1	Структурна схема	1				
4			апаратного відключення					
5			навантаження при КЗ					
6	A3	BPM.174.727-см.07.E0.2	Часова діаграма	1				
7			роботи вузла					
8			контролю КЗ					
9	A3	BPM.174.727-см.07.E1.2	Спрощена структурна схема	1				
10			управління однією фазою					
11	A3	BPM.174.727-см.07.E3.1	Схема електрична	1				
12			принципова					
13			силового блоку					
14	A3	BPM.174.727-см.07.E3.2	Схема електрична	1				
15			принципова гасіння ЕРС					
16	A3	BPM.174.727-см.07.E7	Схема розташування	1				
17			комплектуючих у					
18			шафі БАВ					
19	A3	BPM.174.727-см.07.E0.3	Таблиця порівняльних	1				
20			характеристик БАВ					
21			з електромеханічним					
22			автоматом					
23	A4	BPM.174.727-см.07.ПЗ	Пояснювальна записка	63				
			BPM.174.727-см.07.ВР					
Зм.	Арк.	№ документа					Підпис	Дата
Розроб.		Лисишин Я.А.						
Пров.		Чорний О.П.						
			Автоматизація металургійного виробництва. Дослідження та розробка безконтактного автоматичного вимикача для підстанції 0,4 кВ блюмінга 1300 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».	Літера	Аркуш	Аркушів		
						4	1	
Н.контр.		Чорний О.П.		Відомість роботи	ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА гр. АВ-24м			
Затв.		Модло Є.О.						

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної роботи магістра: 63 с., 15 рис., 9 табл., 24 джерела.

Об'єкт розробки – автоматичні вимикачі для електропостачання в умовах Блюмінга 1300 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Мета роботи – дослідження й розробка безконтактного автоматичного вимикача що забезпечує зменшення кількості загоряння електричних кабелів і електроустаткування.

Представлені результати аналізу роботи застарілих і сучасних автоматичних вимикачів. Їхній основний недолік – механічний розрив контактів при коротких замиканнях і перевантаженню. Час розриву контактів 20-50 мілісекунд. Крім того, це необхідність чищення й перевірки контактів після аварійного відключення й ручного регулювання уставок захисту від перевантаження. Час відключення навантаження в БАВ не перевищує 1 мікросекунди.

Виконаний аналіз погрішностей вимірів в інформаційному тракті: «шунт – дільник напруги на резисторах -датчик струму- АЦП контролера». Установлено, що максимальна похибка із обліком методичної (дискретність роботи контролера) при періоді знімання сигналів датчиків в 500 мікросекунд не перевищує 3%

Представлені статті технічно- економічного ефекту від використання БАВ і розрахунки очікуваного економічного ефекту. Термін окупності -1,2 року.

Ключові слова: автоматичний вимикач, алгоритм, електроустаткування, контролер, погрішності вимірів, струм к.з., тепловий захист.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Складові частини та принцип роботи вимикача	10
1.2 Схема підстанції 0,4 кВ Блюмінга 1300 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».....	15
1.3 Недоліки електромеханічних вимикачів.....	17
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	18
2.1 Плановані технічні характеристики БАВ	18
2.3 Принципові схеми автомата, призначення елементів	24
2.4 Алгоритми роботи	32
2.5 Похибки вимірів	37
2.5.1 Похибки виміру струму при к.з.	37
2.5.2 Похибки виміру струму при перевантаженні.....	39
2.5.3 Похибки виміру напруги	41
2.6 Вимоги до характеристик блоку БГР і контролера	41
2.6.1 Характеристики БГР	41
2.6.2 Розрахунки дільників напруги фаз.....	42
2.6.3 Розрахунки дільника напруги шунта	43
2.6.4 Контролер.....	44
2.6.5 Драйвер1 (керування силовими транзисторами)	46
2.6.6 Драйвер2 (керування транзисторами гасіння ЕРС)	47
2.7 Розташування комплектуючих у шафі.....	48
2.8 Перелік елементів.....	50
2.9 Розрахунок економічної ефективності впровадження технічного рішення	52
2.9.1 Статті розрахунків економічної ефективності	52
2.9.2 Основні порівняльні характеристики БАВ і електромеханічного автомата (ЕА)	52
2.9.3 Розрахунки очікуваного річного економічного ефекту від впровадження безконтактного автоматичного вимикача (БАВ) на Блюмінгу 1300	54

2.10 Заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності в умовах Блюмінга

1300 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	56
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	63

ВСТУП

У наш час більшість підприємств, що здійснюють планове вмикання та вимикання навантаження в трифазному колі змінного струму, оснащені фізично й морально застарілими автоматичними вимикачами із вбудованим захистом від перевантажень (тепловий захист) та коротких замикань (к.з.). Налаштування порогів спрацьовування захистів здійснюється або вручну – зміною механічного зусилля в регулювальних органах (у застарілих автоматах), або коригуванням уставок електронних компонентів (у сучасних автоматах).

До недоліків існуючих засобів належать:

- час вимикання навантаження при струмах короткого замикання становить 20–300 мілісекунд, а сам струм перевищує номінальний у 12–15 разів;
- можливість неточної установки порогів спрацьовування захисту від струмових перевантажень;
- необхідність огляду та ремонту контактів автоматичних вимикачів після спрацьовування захисту від струмів к.з.;
- навантаження після спрацьовування теплового захисту часто вмикається на ще неохолоджені кабельні провідники, що пришвидшує зниження опору їхньої ізоляції й у подальшому може спричинити їхнє загоряння;
- у спекотну погоду автоматичні вимикачі із тепловим захистом на біметалічній пластині можуть несанкціоновано вимикати споживача навіть за відсутності перевантаження;
- у разі обриву однієї фази на виході автомата, якщо до нього підключений трифазний асинхронний двигун із навантаженням, що не перевищує номінальне, збільшення струму в інших двох фазах може виявитися недостатнім для спрацьовування захисту. У результаті двигун продовжує обертатися після технологічної зупинки, а повторне живлення лише двох обмоток призводить до струмів, що перевищують пускові.

Відомо [1], що в Україні щодня трапляється в середньому 254 пожежі, з яких 30 % спричинені аварійними режимами електроустаткування та несправностями електропроводки. Під час пожеж щодня в середньому гине 5 осіб, ще 4 отримують травми. Також вогонь щодоби знищує або пошкоджує 73 будинки й 12 одиниць техніки. Загальні матеріальні збитки за рік становлять 10 млрд 75 млн 259 тис. грн.

Мета цієї роботи – розробка безконтактного автоматичного вимикача, спрямованого на зменшення кількості загорянь електричних кабелів і електроустаткування за рахунок:

- вимикання навантаження вже через 3 мікросекунди після досягнення струмом короткого замикання заданого рівня кратності;
- фіксації й подачі керівництву сигналу про момент повторного вмикання автомата на неохолоджені провідники;
- недопущення несанкціонованої зміни уставок захистів сторонніми особами.

У джерелі [2] зазначено, що виявлення короткого замикання на крановому електромагніті виконується контролером не більше ніж за 10 мкс по одній фазі. Оскільки фаз три, мінімальний час складає 30 мкс. А з урахуванням необхідності виконання додаткових команд для реального вимикання, фактичний час може сягати 50 мс. Тому в цій роботі запропоновано реалізувати виявлення короткого замикання та вимикання споживача від мережі за час порядку 1 мкс, використовуючи засоби на основі жорсткої (апаратної) логіки.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Складові частини та принцип роботи вимикача

Автоматичний вимикач – це контактний комутаційний апарат, що дозволяє стабілізувати напругу в електромережі. Його встановлюють, щоб захистити кабелі, проведення, а також електроприлади від короткого замикання (к.з.) і перевантаження.

При установці даного пристрою слід пам'ятати, що він не призначений для захисту людини від поразки електричним струмом.

Модульний вимикач автоматичний зовні представлений у вигляді корпусу й важеля керування, які виконані із ПВХ-Пластикату зниженої горючості (див. рис. 1.1).

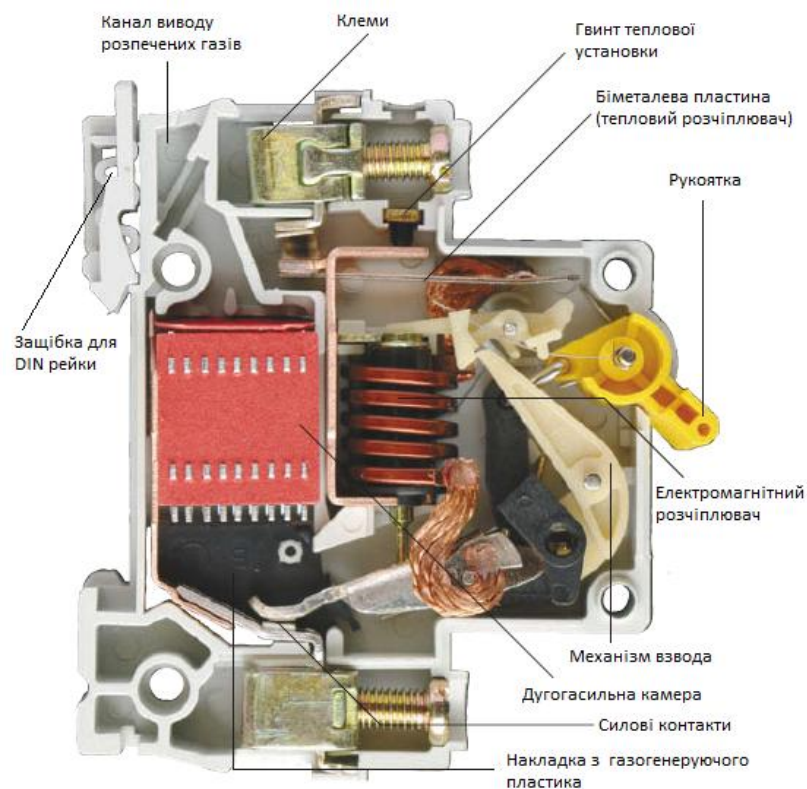


Рис.1.1. Складові частини автоматичного вимикача [3]

Клеми (нижня й верхня) для підключення кабелю або проведення.

Усередині ж корпусу захисного апарата розміщаються наступні елементи:

- силові контакти (рухливий і нерухливий), що забезпечують комутацію;
- механізм взводу й розчіплювання, який взаємозалежний з важелем керування;
- котушка (електромагніт) і рухомий сердечник (якір), що виконує функцію штовхача. Ці елементи є електромагнітними розчіплювачами і забезпечують захист від струмів к.з.;
- дугогасильна камера. Даний пристрій виконує швидке гасіння дугового розряду, який утворюється при розмиканні контактів.

Біметалічна пластина є тепловим розчіплювачем і забезпечує захист від підвищеного навантаження. Також є регулювальний гвинт, за допомогою якого забезпечується регулювання значення струму, при якому даний розчеплювач повинен спрацювати.

Принцип роботи автоматичного вимикача залежить від режиму, у якому він перебуває. Розглянемо основні режими його функціонування.

а) Нормальний режим

При перемиканні важеля керування в положення «увімкнено» активується механізм взводу й розчеплення, що замикає силові контакти. У такому стані електричний струм проходить від живильної мережі через верхній гвинтовий затискач, далі — через нерухомий, а потім рухомий контакт. Після цього струм надходить через гнучкі з'єднання до котушки електромагнітного розчіплювача, знову через гнучке з'єднання — до біметалічної пластини теплового розчіплювача, і далі через нижній гвинтовий затискач до відхідної лінії та підключеного споживача.

б) Режим короткого замикання

При різкому перевищенні струму (наприклад, через коротке замикання) у котушці електромагніту виникає потужне магнітне поле, яке миттєво притягує

якір. Останній механічно здійснює тиск на важіль спускового механізму, що призводить до швидкого розмикання контактів і відключення навантаження. Ця реакція відбувається за дуже короткий час – до того, як виникнуть серйозні пошкодження.

При розмиканні контактів між ними може виникнути електрична дуга. Для її гасіння передбачена дугогасильна камера: дуга втягується в неї, розщеплюється на окремі ділянки пластинами камери й швидко гасне. Продукти іонізації та надлишковий тиск відводяться назовні через спеціальний вентиляційний отвір у корпусі автомата.

в) Режим перевантаження

При тривалому перевищенні номінального струму (перевантаженні) спрацьовує тепловий розчіплювач. Струм, проходячи через біметалічну пластину, нагріває її. Через різницю коефіцієнтів теплового розширення шарів пластину поступово вигинається. Коли вигин досягає критичного значення, кінець пластини тисне на спусковий важіль, і вимикач відключає лінію.

На відміну від електромагнітного, тепловий розчіплювач діє інерційно – його спрацювання займає певний час, що дозволяє уникати ложних відключень при короточасних перевантаженнях. Водночас саме ця інерційність забезпечує точніше та надійніше реагування на тривалі перевантаження, а також полегшує регулювання порогових значень.

Таким чином, автоматичний вимикач забезпечує комплексний захист електричного кола завдяки комбінації електромагнітного (миттєвого) і теплового (інерційного) механізмів розчеплення.

На рис.1.2 показана осцилограма струму в режимі короткого замикання. Як видно з рис. 1.2б, через автомат QF1 протікає струм величиною I_1 . При вмиканні автомата QF2 (на рис.1.2а) через Q1 почав протікати струм у шість разів більший за I_1 . Через 50 мс QF1 відключився.

Як приклад у табл.1.1 дана інформація про основні характеристики автоматичних вимикачів

Таблиця 1.1

Автоматичні вимикачі для трифазної мережі 380 В

Номінальний струм автоматичного вимикача, А	Потужність, кВт	Струм, 1 фаза 220В	Перетин живильного кабелю, мм ²
1	2	3	4
16	0-7,9	0-15	1,5
25	8,3-12,7	15,8-24,1	2,5
32	13,1-16,3	24,9-31,0	4
40	16,7-20,3	31,8-38,6	6
50	20,7-25,5	39,4-48,5	10
63	25,9-32,3	49,2-61,4	16
80	32,7-40,3	62,2-76,6	25
100	40,7-50,3	77,4-95,6	35
125	50,7-64,7	96,4-123,0	50
160	65,1-81,1	123,8-124,2	70
200	81,5-102,7	155,0-195,3	95
250	103,1-127,9	196,0-243,2	120
315	128,3-163,1	244,0-310,1	185
400	163,5-207,1	310,9-393,8	2x95
500	207,5-259,1	394,5-492,7	2x120
630	260,1-327,1	494,6-622,0	2x185
800	328,1-416,1	623,9-791,2	3x150

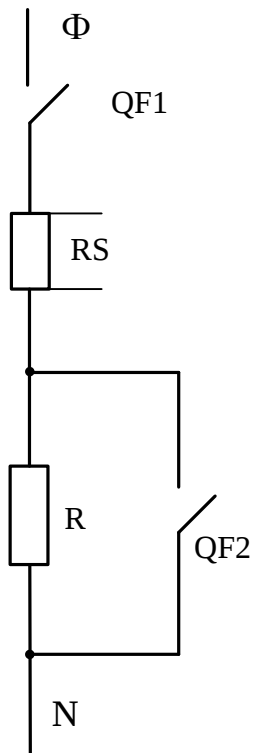


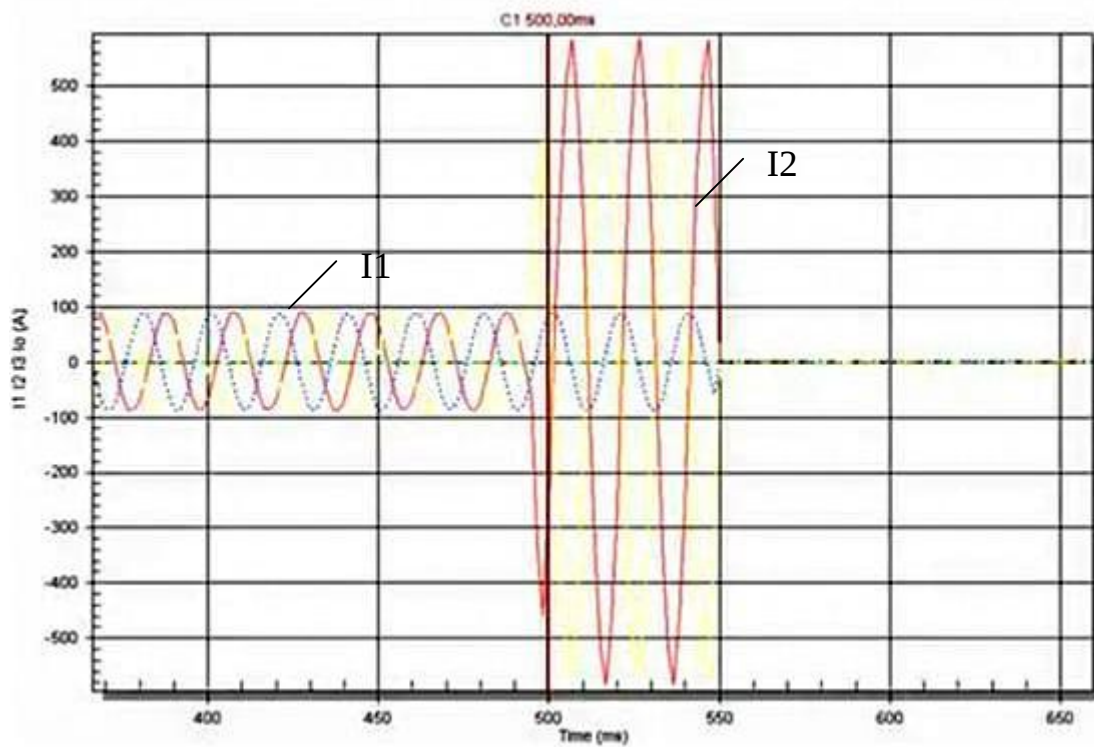
Схема осцилографування однофазного кз

QF1, QF2– однополюсний автомат, струм 10,...,15А;

RS -шунт на струм 10 А;

R – навантаження.

а)



б)

Рис. 1.2. Осцилограма струму короткого замикання, що протікає через автоматичний вимикач

(розроблено автором)

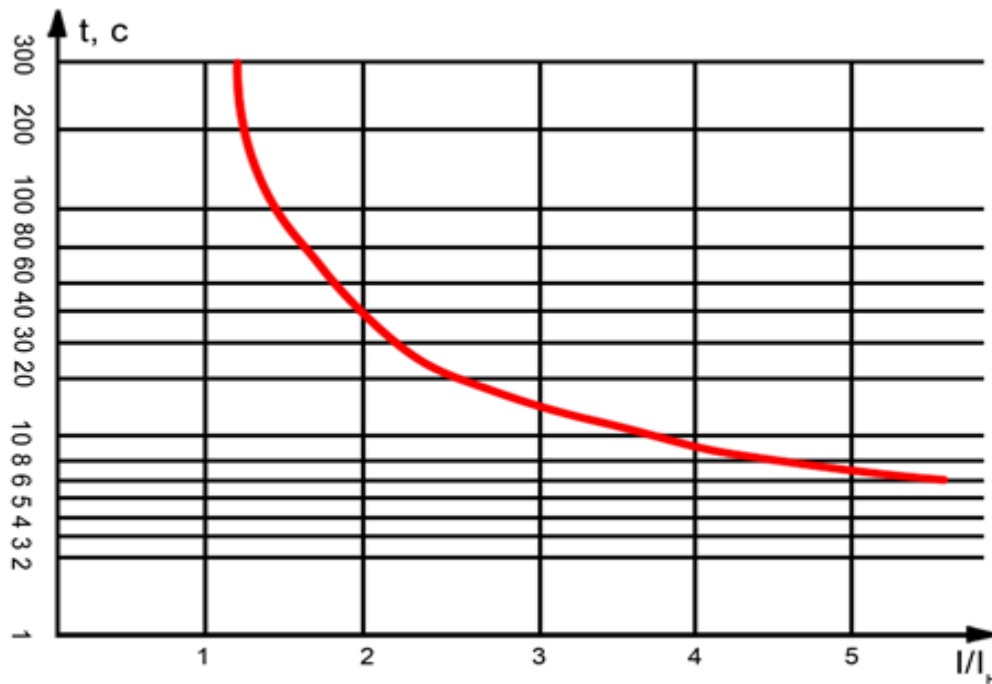


Рис.1.3. Залежність часу спрацьовування захисту від струмового перевантаження [4]

1.2 Схема підстанції 0,4 кВ Блюмінга 1300 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

На рис.1.4 як приклад надано схему підстанції 0,4 кВ Блюмінга 1300 ПАТ «АМКР». Як видно з рис.1.4, на підстанції встановлено 41 автоматичний вимикач на струми в межах 15 – 250 А.

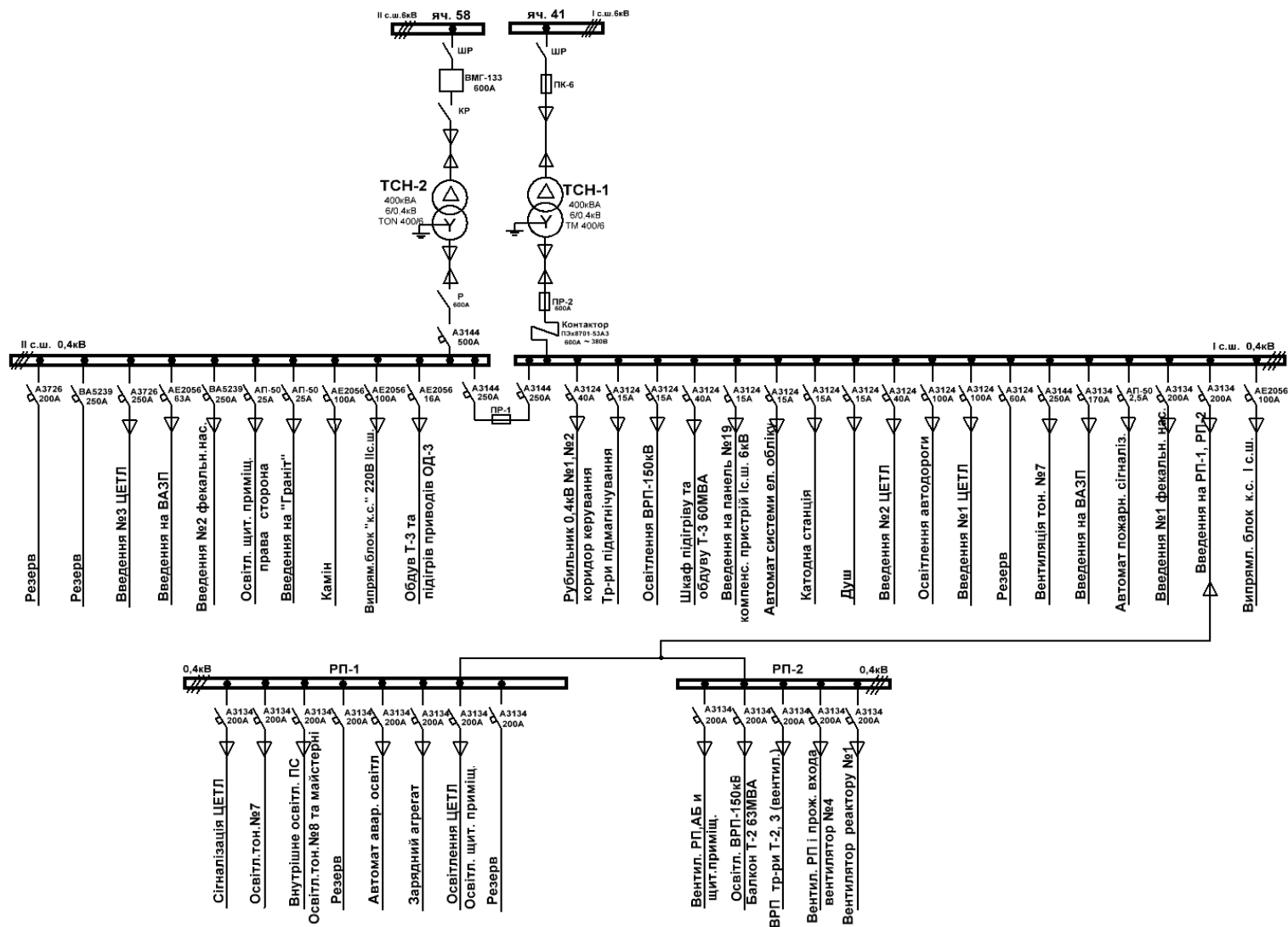


Рис.1.4. Схема підстанції 0,4 кВ Блюмінга 1300 ПАТ «АМКР»

(розроблено автором)

1.3 Недоліки електромеханічних вимикачів

Існуючі автоматичні вимикачі мають певні недоліки:

- тривалий час вимкнення навантаження при струмах короткого замикання - 20-300 мілісекунд, при цьому струми перевищують номінальне значення у 12-15 разів.
- існує ризик неправильного регулювання сторонніми особами рівнів спрацювання теплових захистів на струмові перевантаження.
- після спрацювання захистів від струмів короткого замикання потрібне обслуговування контактів автоматів.
- як правило, після спрацювання теплового захисту навантаження вмикається до повного охолодження проводів, що прискорює старіння ізоляції та може викликати її загоряння.
- в спекотну погоду автомати з біметалічним тепловим захистом можуть хибно спрацьовувати через нагрівання навіть за відсутності перевантаження.
- при обриві фази на виході автомата він може не спрацювати при підключеному асинхронному двигуні з навантаженням менше номіналу, що призведе до перевантаження обмоток статора при повторному пуску.

Таким чином, традиційні електромеханічні автомати мають низку істотних обмежень в експлуатації.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Плановані технічні характеристики БАВ

1. Кількість фаз, од. 3.
2. Номінальна фазна напруга, В 220 .
3. Ряд номінальних струмів, А від 20 до 1000.
4. Види захистів: від міжфазних, однофазних коротких замикань і коротких замикань на землю, струмових перевантажень, зниження (підвищення) напруги, асиметрії фазних струмів, від обриву фази й зниження опору ізоляції до припустимого рівня.
5. Кратність струму спрацьовування електромагнітного розчіплювача при короткому замиканні I/I_n задається в діапазоні 5 – 8/
6. Спосіб завдання захистів від струмових перевантажень табличний з ноутбука по вимогам часострумової характеристики, заданої рекомендаціями МЕК (див. рис.1.3).
7. Захист по напрузі відключає навантаження при зниженні (підвищенні) напруги по відношенню даним п.1 и п.2 на 20%.
8. Запізнювання у відключенні навантаження при досягненні струму $k \cdot I_n$ кратності по п.1.5, мсек, не більш 1.
9. Час відключення навантаження при струмових перевантаженнях по рис.1.1.
10. Автоматична повторна подача напруги (АПВ) на навантаження через 1,..., 5 секунд (встановлюється при налагодженні) після його відключення при короткому замиканні.
11. Визначення $\cos \varphi$ з похибкою не більш 1%.
12. Визначення споживання електроенергії з похибкою, не більш 2%.
13. Можливість дистанційного включення – відключення по командах диспетчера й інших систем, наприклад, пожежогасіння.

14. Запам'ятовування дати й часу обмірюваних даних подій по п.1.4,..., п.13. Час зберігання цих даних - місяць.

15. Видача даних по п.14 у ноутбук по запиту й у сервер при його наявності.

16. Основна елементна база: IGBT транзистори, драйвери для керування транзисторами по командах контролера, мікросхеми, одноплатний контролер з годинником реального часу, датчики струму й напруги.

17. Світлодіодна сигналізація про факт спрацьовування захистів.

18. Напруга живлення технічних засобів, В 165,..., 250.

19. Потужність, споживана технічними засобами, Вт, не більш 50.

20. Відключення напруги на навантаженні проводиться командами контролера. Перша – відключення силових транзисторів, друга – відключення контактора. Включення у зворотному порядку.

21. Температура повітря навколо технічного засобу мінус 30,..., +70 °С.

2.2 Структура та робота БАВ

На рис. 2.1 наведено структурну схему пристрою захисту від короткого замикання (ПЗКЗ) навантаження, виконаного на жорсткій (апаратній) логіці, із розшифровкою умовних позначень та необхідними поясненнями. На рис. 2.2 показано часову діаграму роботи ПЗКЗ з усіма необхідними коментарями.

Виходи ПЗКЗ під'єднані до контролера, який у разі спрацьовування пристрою фіксує час відключення та характер короткого замикання (однофазне, двофазне або трифазне).

На рис. 2.3 зображено спрощену схему БАВ, а нижче наведено призначення окремих блоків та розшифровку умовних позначень [3].

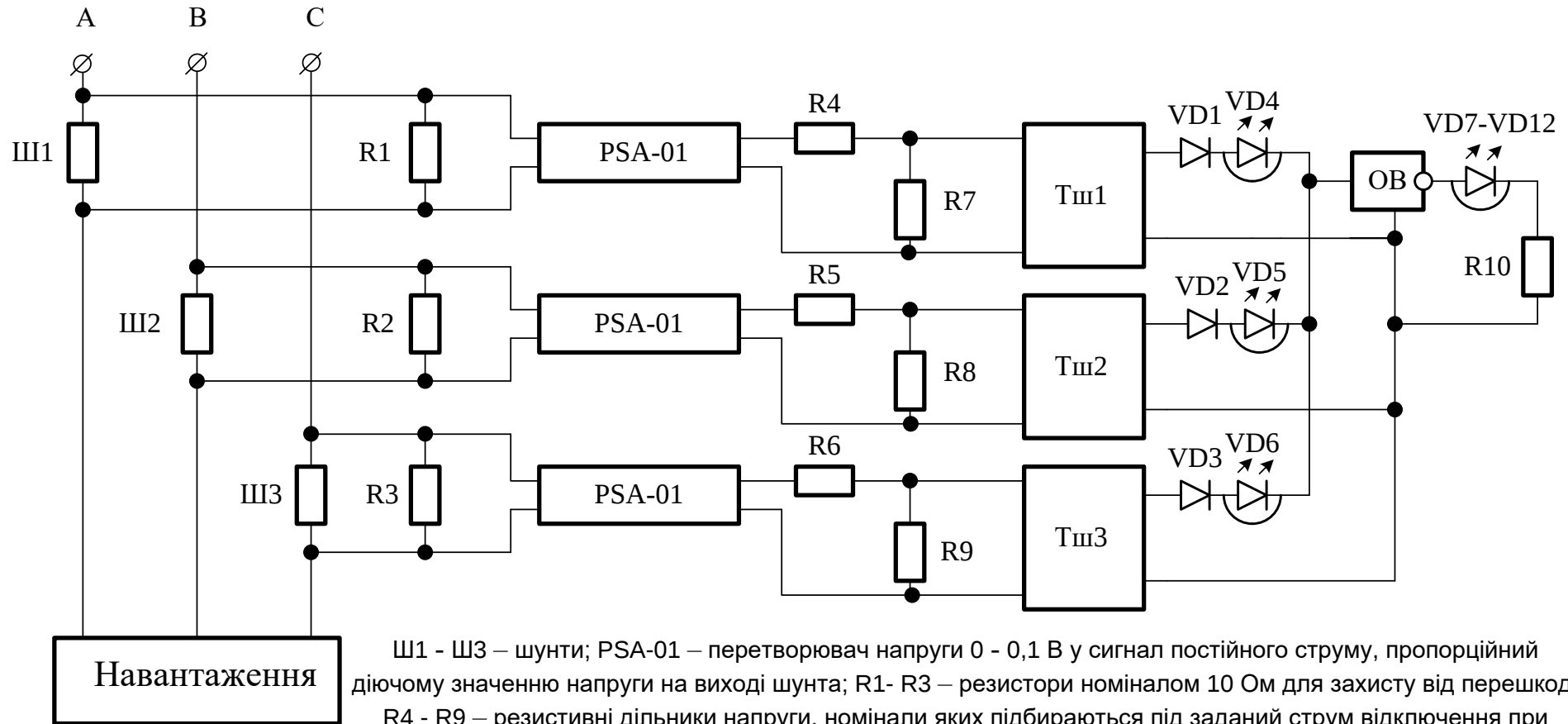
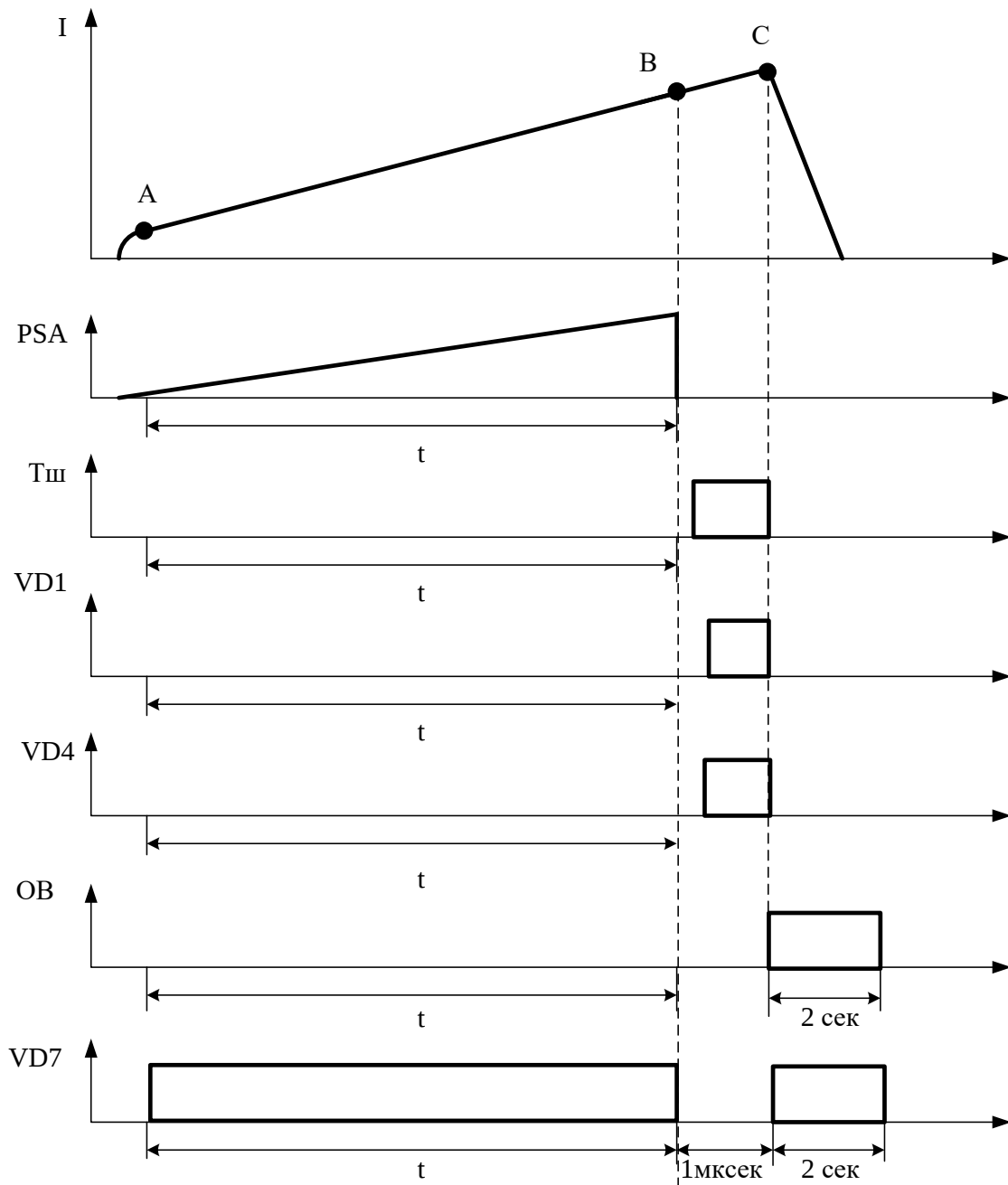


Рис. 2.1. Структурна схема апаратного відключення навантаження при виникненні короткого замикання

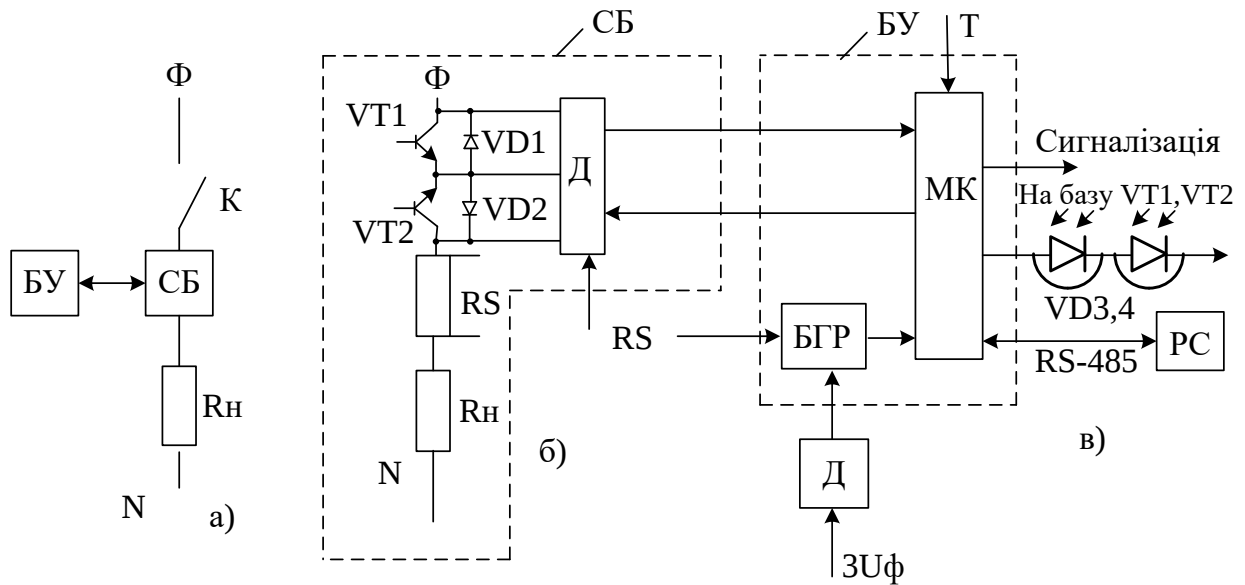
(розроблено автором)



Розшифровку умовних позначень див. на рис. 2.2. Точка А – момент початку короткого замикання; точка В – момент відключення навантаження; точка С – початок зменшення струму. Тривалість ділянки t визначається виразом: $t = 5I_n / di/dt$, де I_n – номінальний струм навантаження, di/dt – похідна струму на ділянці АВ. Час спрацьовування кожного елемента схеми (у всіх елементах, крім одновібратора ОВ, відсутні конденсатори) становить кілька десятків наносекунд, тобто затримка в подачі сигналу про досягнення струму короткого замикання заданої величини для відключення не перевищує 1 мкс.

Рис. 2.2. Часова діаграма роботи вузла контролю короткого замикання

(розроблено автором)



а) – функціональна схема, б) силовий блок (СБ), в) – блок управління (БУ)

Рис. 2.3. БАВ. Спрощена структурна схема управління однією фазою

(розроблено автором з використанням [4; 5])

Розшифрування умовних позначок:

СБ - силовий блок,

БУ - мікропроцесорний блок контролю й управління,

Φ- фаза,

N- нейтраль,

R_н – навантаження,

RS - шунт,

VT – IGBT транзистори,

VD – захисні діоди,

Д-драйвер,

БГР – блок гальванічного розв'язку (датчик струму),

Т – тумблер, команда на включення (відключення) автомата,

МК - одноплатний мікропроцесорний контролер,

РС – робоча станція,

Д – дільники напруги,

3U_ф - напруги фаз А, В і С,

VD3, VD4 – світлодіодні оптопари, що передають сигнал відключення навантаження при КЗ (короткому замиканні) від пристрою на жорсткій логіці (див. рис. 2.1).

Сигналізація про спрацювання захистів – світлодіоди: «Робота», «Перевантаження», «Коротке замикання», «Асиметрія», «Напруга», «Розірвання фази».

Принцип роботи БАВ.

При позитивній півхвилі живлячої напруги (див. рис. 2.3 б) струм протікає по колу: колектор-емітер VT1, діод VD2 і навантаження. При негативній півхвилі працюють VT2 і VD1. Спадання напруги на RS надходить на входи БГР (див. рис.2.3 в). Виходи БГР підключені до АЦП контролера. При перевищенні заданого рівня перевантаження контролер знімає сигнали керування з баз VT і видає сигнали на світлодіод, запам'ятовує струми, час, дату й передає ці дані в робочу станцію. При досягненні струму величини, рівної, наприклад, 7 Ін, ПЗКЗ відключає навантаження й видає сигнал про к.з у контролер і засвічується світлодіод «к.з.».

Як видно з рис. 2.3 в (см. VD3 и VD4), визначення факту появи струму к.з. виконується КЗКЗ, а не АЦП, що дозволяє одержати в БАВ високу швидкодію.

Перевантаження по струму, зміни напруги й обрив фази визначається по сигналах шунта й вихідної напруги VB у контролері. При цьому контролер відключає навантаження, засвічує відповідні світлодіоди й запам'ятовує ці події.

2.3 Принципові схеми автомата, призначення елементів

На рис.2.4, аркуш 1 представлена схема силового блоку, де призначення основних елементів наступне:

- модулі M1, M2 і M3 по команді драйвера (див. рис.2.2) подають струм в навантаження (аналог механічних контактів у контактних автоматах);
- RC кола й варистори FV - захист від перенапруг;
- контактор К для реалізації розриву кола між мережею й навантаженням (контактор включається й відключається сигналом контролера тільки при закритих транзисторах модулів М);
- реле Р проміжне реле для узгодження керуючого сигналу контролера з обмоткою контактора К;
- В - вентилятори для охолодження радіаторів транзисторів модулів;
- БЖ - блок живлення 220 на 24 В постійного струму;
- С7 конденсатор ємністю 100 000 мкФ для короткочасної підтримки напруги живлення на виході БЖ при відключенні напруги, що живить БАВ;
- контакти Р2 і блок- контакт К4 для подачі сигналу в контролер про факт включення (відключення) реле й контактора.

На рис.2.4, аркуш 2 представлений вузол силового блоку, що забезпечує гасіння ЕРС у навантаженні при її відключенні від мережі, де призначення основних елементів наступне:

RS - шунт,

R_{Hi} – навантаження,

M – модулі IGBT,

VD3,VD5,VD7 – діоди, що забезпечують проходження струму позитивної півхвилі через транзистори VT5,

VD5,VD6,VD8 – діоди, що забезпечують проходження струму позитивної півхвилі через транзистори VT6,

RC кола й варистори FV - захист від перенапруг.

На рис.2.4, аркуш 3 представлена схема підключень контролера до силових модулів. Діоди VD – це трифазний однополуперіодний випрямляч із дільником напруги на виході.

На рис.2.5 представлена схема підключення встаткування, встановленого на двері шафи, і пояснень не вимагає.

На рис. 2.6 представлена спрощена схема внутрішньошафових підключень БАВ, де:

SA1 – перемикач для подачі напруги на блок живлення й у контролер команди «Включити»;

SA2 – SA3 - перемикачі для аварійного відключення відповідних обладнань БАВ при їхній відмові.

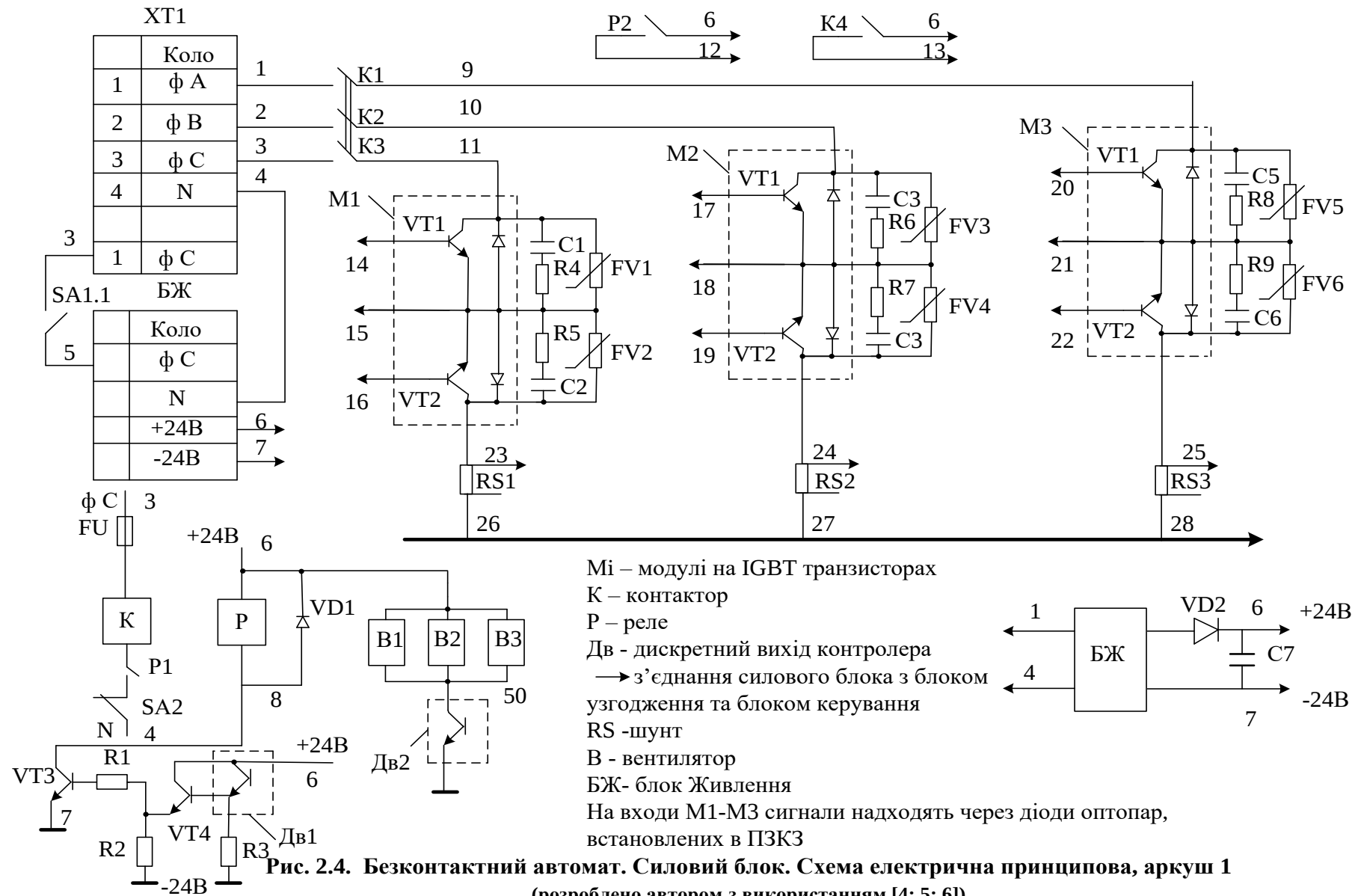


Рис. 2.4. Безконтактний автомат. Силовий блок. Схема електрична принципова, аркуш 1 (розроблено автором з використанням [4; 5; 6])

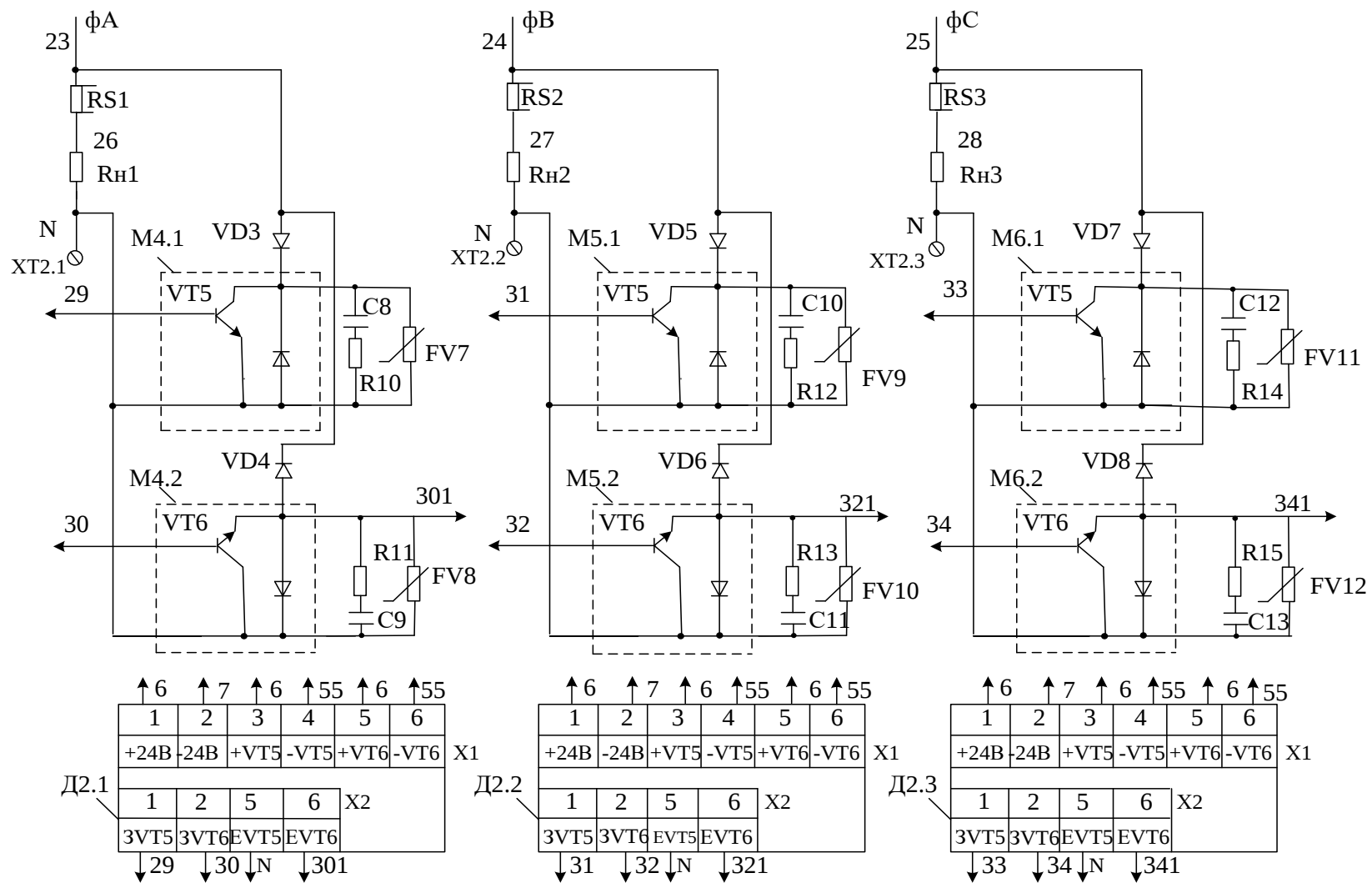


Рис. 2.4. Безконтактний автомат. Силовий блок. Гасіння ЕРС. Схема електрична принципова, аркуш 2

(розроблено автором з використанням [4; 5; 6])

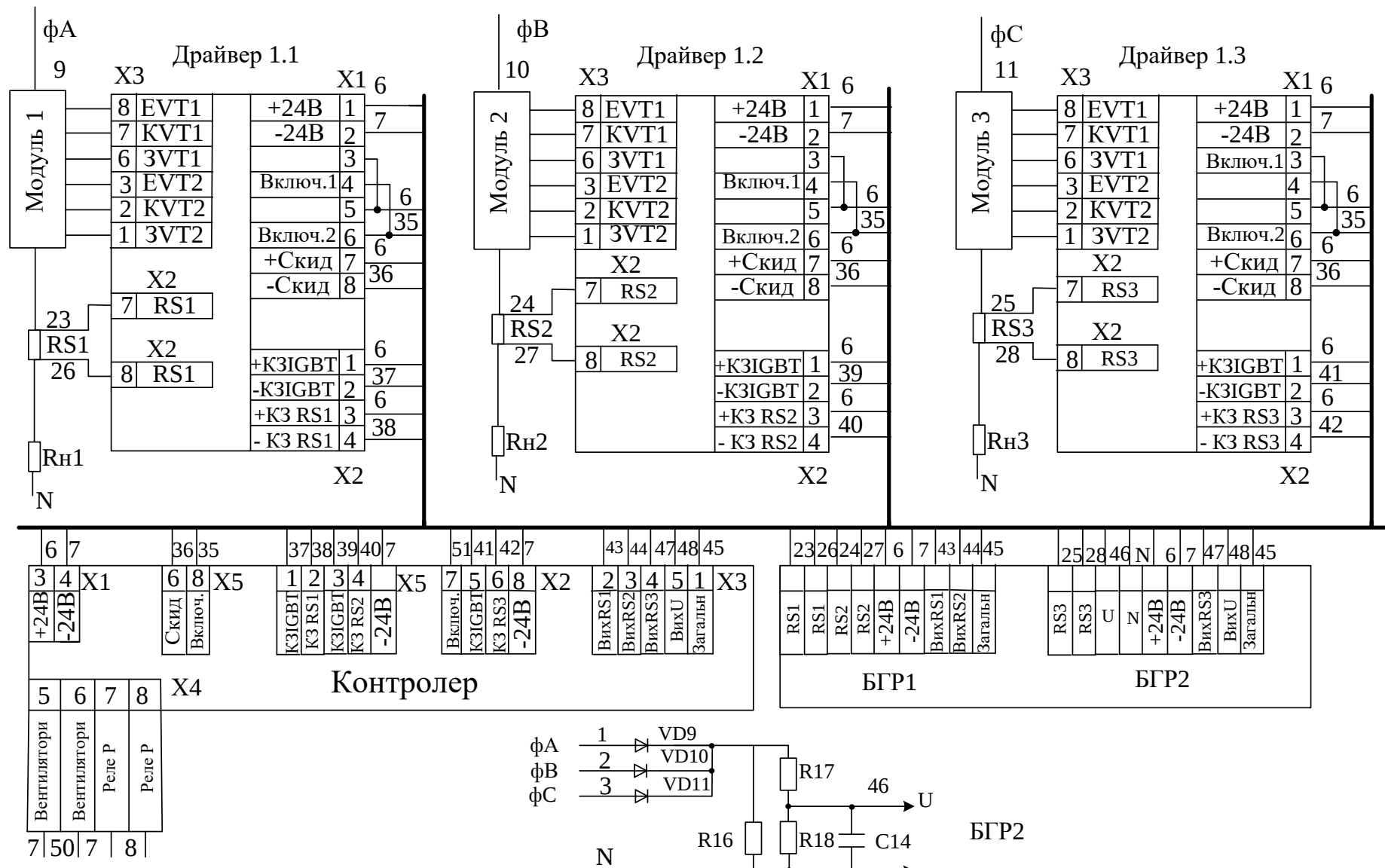


Рис. 2.4. Безконтактний автомат. Силовий блок. Схема з'єднань контролера з драйверами 1, БГР, реле, вентиляторами та модулями М1,...М3. Схема електрична принципова, аркуш 3

(розроблено автором з використанням [4; 5])

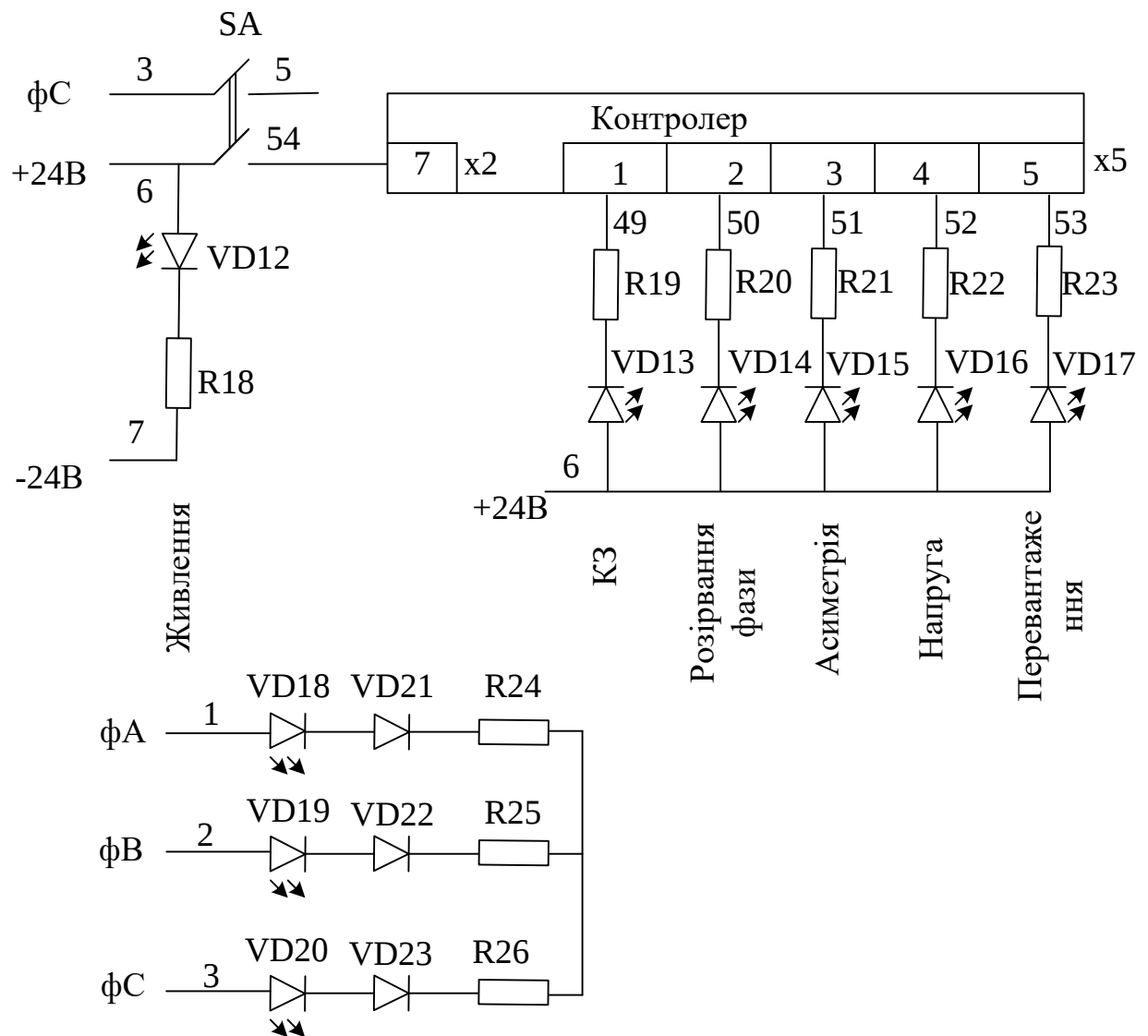


Рис. 2.5. Схема підключень устаткування на двері шафи
(розроблено автором з використанням [4; 5; 6])

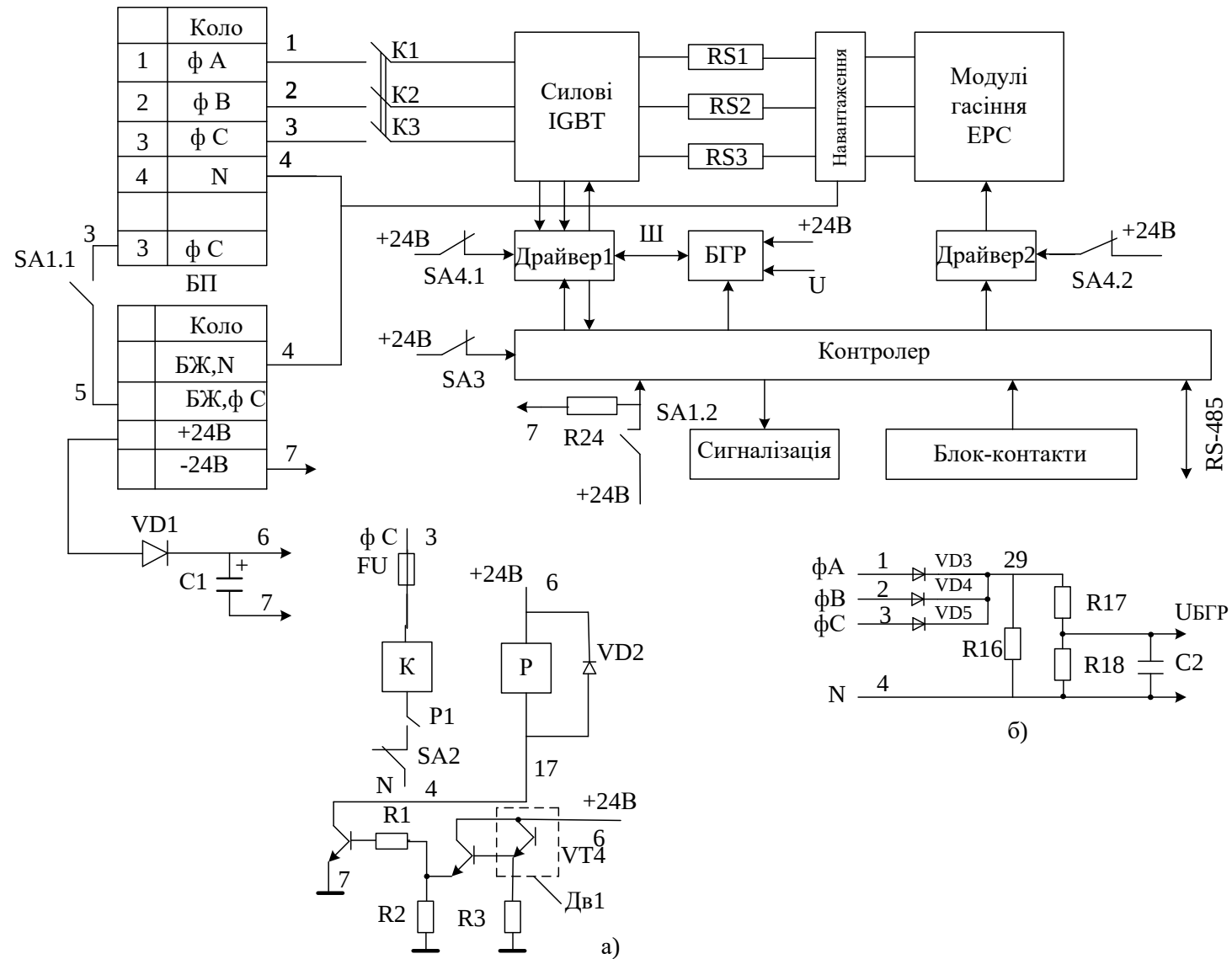


Рис. 2.6. Спрощена схема внутрішньошарфових підключень БАВ
(розроблено автором з використанням [4; 5; 6])

2.4 Алгоритми роботи

Зміст роботи алгоритмів зводиться до визначення виду несправності, видачі сигналу на відключення навантаження, запам'ятовування цієї події із прив'язкою до реального часу й видачі сигналів на засвічення відповідних світлодіодів.

1. Сигнал про однофазне коротке замикання (Софкз) виробляється, якщо виконуються наступні умови:

$$\begin{aligned} \text{Софкз} &= 1 \\ \text{якщо } I_{\text{фА}} \vee I_{\text{фВ}} \vee I_{\text{фС}} &\geq K1, \end{aligned} \quad (2.1)$$

де I_i - фазні струми,

тут і далі знак $\vee$ позначає логічну функцію «АБО»,

$K1$ – задана при налагодженні величина струму відключення при однофазномм короткому замиканні (I/I_n 5,..., 8)

При виконанні (2.1) запам'ятовується дата й час відключення автомата при к.з.

Через 1...,5 секунд виконується повторне включення й, якщо к.з. не самоліквідувалося, то контролер відключає автомат і повторює всі дії по запам'ятовуванню даних .

2. Сигнал про міжфазнім короткім замиканні (Смфкз) виробляється, якщо виконуються наступні умови:

$$\begin{aligned} \text{Смфкз} &= 1, \\ \text{якщо } (I_{\text{фА}} = I_{\text{фВ}})/ I_{\text{фС}} \vee (I_{\text{фА}} = I_{\text{фС}})/ I_{\text{фВ}} \vee & \\ \vee (I_{\text{фВ}} = I_{\text{фС}})/ I_{\text{фА}}| &\geq K1, \end{aligned} \quad (2.2)$$

де умовні позначки дивися в (2.1).

3. Сигнал при обриві фази А (Софа) виробляється, якщо виконуються наступні умови:

$$\begin{aligned} \text{СофА} &= 1 \\ \text{якщо } \text{ІфА}=0; \vee \text{ ІфВ} \wedge \text{ ІфС} \neq 0, \end{aligned} \quad (2.3)$$

де тут і далі знак $\wedge$ позначає логічну функцію «І»

4.Сигнал при обриві фази В (СофВ) виробляється, якщо виконуються наступні умови:

$$\begin{aligned} \text{СофВ} &= 1 \\ \text{якщо } \text{ІфВ}=0; \vee \text{ ІфА} \wedge \text{ ІфС} \neq 0, \end{aligned} \quad (2.4)$$

5.Сигнал при обриві фази С (СофС) виробляється, якщо виконуються наступні умови:

$$\begin{aligned} \text{СофС} &= 1 \\ \text{якщо } \text{ІфС}=0; \vee \text{ ІфА} \wedge \text{ ІфВ} \neq 0, \end{aligned} \quad (2.5)$$

Сигнал про обрив фази С не виробляється у разі її відсутності (див. ХТ1 рис.2.2, аркуш 1), на вході блоці живлення і, природно, контролер не працює.

6. Сигнал при асиметрії струмів (Сас) виробляється, якщо виконуються наступні умови:

$$\begin{aligned} \text{Сас} &= 1, \\ \text{якщо } | \text{ІфА} - \text{ІфВ} | \vee | \text{ІфВ} - \text{ІфС} | \vee | \text{ІфА} - \text{ІфС} | &\leq K2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

де $K2 = 0,2 \text{ Ін}$ (Ін номінальний струм фази).

У випадку виконання умови (2.6) запам'ятовується дата, час, струм і засвічується світлодіод «Асиметрія».

7. Час відключення споживача при струмовому перевантаженні згідно рис.1.3 визначається даними табл.2.1.

Таблиця 2.1

Час відключення споживача при струмовому перевантаженні

I/I_n	5	4	3	2	1,2
$t, \text{сек}$	6	9	15	40	1800

Отже, сигнал про струмове перевантаження ($C_{сп}$) виходячи з даних табл.2.1 виробляється, якщо виконуються наступні умови:

$$C_{сп} = 1,$$

$$\text{якщо } I = 5I_n = 6 \vee I = 4I_n = 9 \vee I = 3I_n = 15 \vee I = 2I_n = 40 \vee I = 1,2I_n = 1800 \quad (2.7)$$

У випадку виконання будь-якої з умов (2.7) відключається автомат, запам'ятовується дата, час, струм і тривалість його наявності в секундах і засвічується світлодіод «Перевантаження».

8. Відомо [7], що величина випрямленої напруги (U_d) на виході неповного моста Ларіонова (рис.2.3) визначається вираженням:

$$U_d = 2,34 U_{\phi}/2 \quad (2.8)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга.

Таким чином сигнал (C_H) про зниження (підвищення) напруги на ввідних клеммах автомата виробляється, якщо виконуються наступні умови:

$$\begin{aligned} C_H &= 1 \\ 0,8 U_d &\leq U_{dv} \leq 1,2 U_d \end{aligned} \quad (2.9)$$

де U_{dv} – вимірювана контролером величина напруги.

У випадку виконання умови (2.9) відключається автомат, запам'ятовується дата, час, напруга й засвічується світлодіод «Напруга».

9. Алгоритм роботи контролера при подачі тумблером SA сигналу «Включити» або «Відключити».

1. При подачі сигналу «Включити» контролер подає команду на включення реле Р.

2. Через витримку часу в 0,2 сек. контролер перевіряє факт замикання блок- контакту Р2 реле Р и блок- контакту К4 контактора К.

3. Наступна дія – перевірка наявності напруги на кожній фазі автомату і якщо воно присутнє й не перевищує припустимі відхилення, то контролер подає команду на включення світлодіода «Робота». Якщо має місце відхилення напруги більше припустимого, контролер вмикає світлодіод «Напруга».

4. У випадку вступу в контролер сигналу від драйвера 1 про виниканні к.з контролер подає команду на включення модулів М 4-М6, включення світлодіода «к.з.» і в драйвер 1 команду «Скидання».

5. Якщо через 1,... 5 сек драйвер1 не видав сигнал к.з, то контролер подає команду на включення модулів М1,..., М3 і відключає світлодіод к.з.

6. Якщо сигнал про к.з по п.5 не зник, то контролер відключає реле Р.

7. На двері автомата світіння світлодіода «Робота» повинна тривати.

10. Вимір $\cos \varphi$

На рис.2.7 показана фізична сутність $\cos \varphi$.

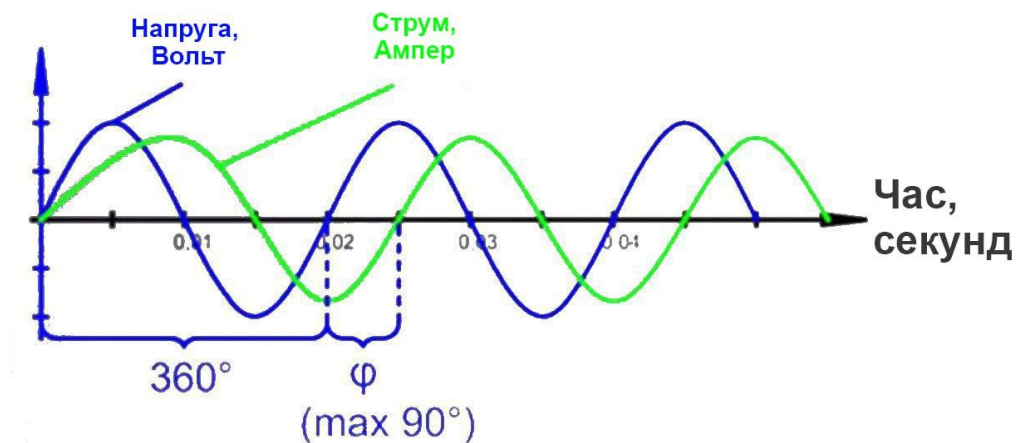
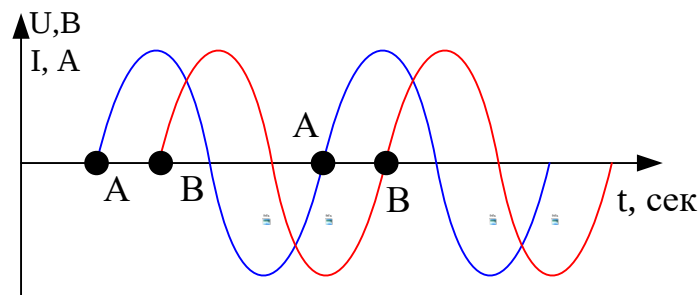


Рис. 2.7. Графік зміни струмів і напруг при індуктивному навантаженні
(розроблено автором)

Залежність $\cos \varphi$ від кута відставання струму

$$\begin{aligned}\cos(90^\circ) &= 0 \\ \cos(60^\circ) &= 0,5 \\ \cos(30^\circ) &= 0,87 \\ \cos(0^\circ) &= 1\end{aligned}\tag{2.10}$$

З аналізу рис. 2.8 алгоритм визначення $\cos \varphi$ може бути реалізований контролером виміром різниці моментів часу РМЧ переходу напруги й струму в точках А і В



Синій – напруга, червоний - струм

Рис. 2.8. Графік для алгоритму визначення $\cos \varphi$
(розроблено автором)

11. Вимір витрати електроенергії

1. Активна потужність, кВт/годин

$$P_a = 3 \sum_{1}^n (I \times U \times \cos \varphi) \times \Delta \tau / 1000 / \sqrt{2}\tag{2.11}$$

де I – фазні миттєві значення струму шунта, обмірювані АЦП контролера, через період ($\Delta \tau$, у сек) знімання сигналів,

U – обмірювані фазні значення напруги,

n – кількість вимірів за годину, $n = 3600 / \Delta \tau$

$\sum$ - знак суми,

$\cos \varphi$ – значення косинуса φ , отримане в п. 10,

1000 – коеф. перекладу P_a у кВт,

$\sqrt{2}$ – коеф. перекладу миттєвих значень у діючі.

2. Реактивна потужність, вар/годин

$$Q = 3 \sum_{1}^n (I \times U \times \sin\varphi) \times \Delta\tau / 1000 \quad (2.12)$$

де позначення див. (2.11).

2.5 Похибки вимірів

2.5.1 Похибки виміру струму при к.з.

Для визначення припустимої похибки у вимірі струму к.з. необхідно задатися величиною похідної ударного струму ($di/dt_{скз}$). Тому що на етапі розробки характеристики навантаження невідомі, то для оцінки похибки приймемо знайдену з рис.2.9 величину $di/dt_{скз}$, рівною $7280/0,01 = 728 \text{ кА/сек}$, струм навантаження автомата рівним 63 А, кратність струму відключення при к.з., рівну 5, і припустиме апаратне запізнювання (Δt) 10 мксек.

Тоді час (твідкл) від моменту виникнення к.з. до досягнення струму величини кратності 5 рівний:

$$t_{відкл} = 0,063 \times 5 / 728 = 0,0043 \text{ сек} \quad (2.13)$$

Так як наявне Δt (час відключення транзисторів при к.з.) фактичне відключення навантаження відбудеться не в момент досягнення струму к.з. рівня $5 \times 63 = 315 \text{ А}$, пізніше на 50 мксек і фактичний струм відключення к.з. ($I_{фвідклкз}$) при цьому буде дорівнювати величині:

$$\begin{aligned} I_{фвідклкз} &= 315 + 728 \times 5 \times 10^{-5} = \\ &= 315 + 0,182 = 315,2 \text{ А}, \end{aligned} \quad (2.14)$$

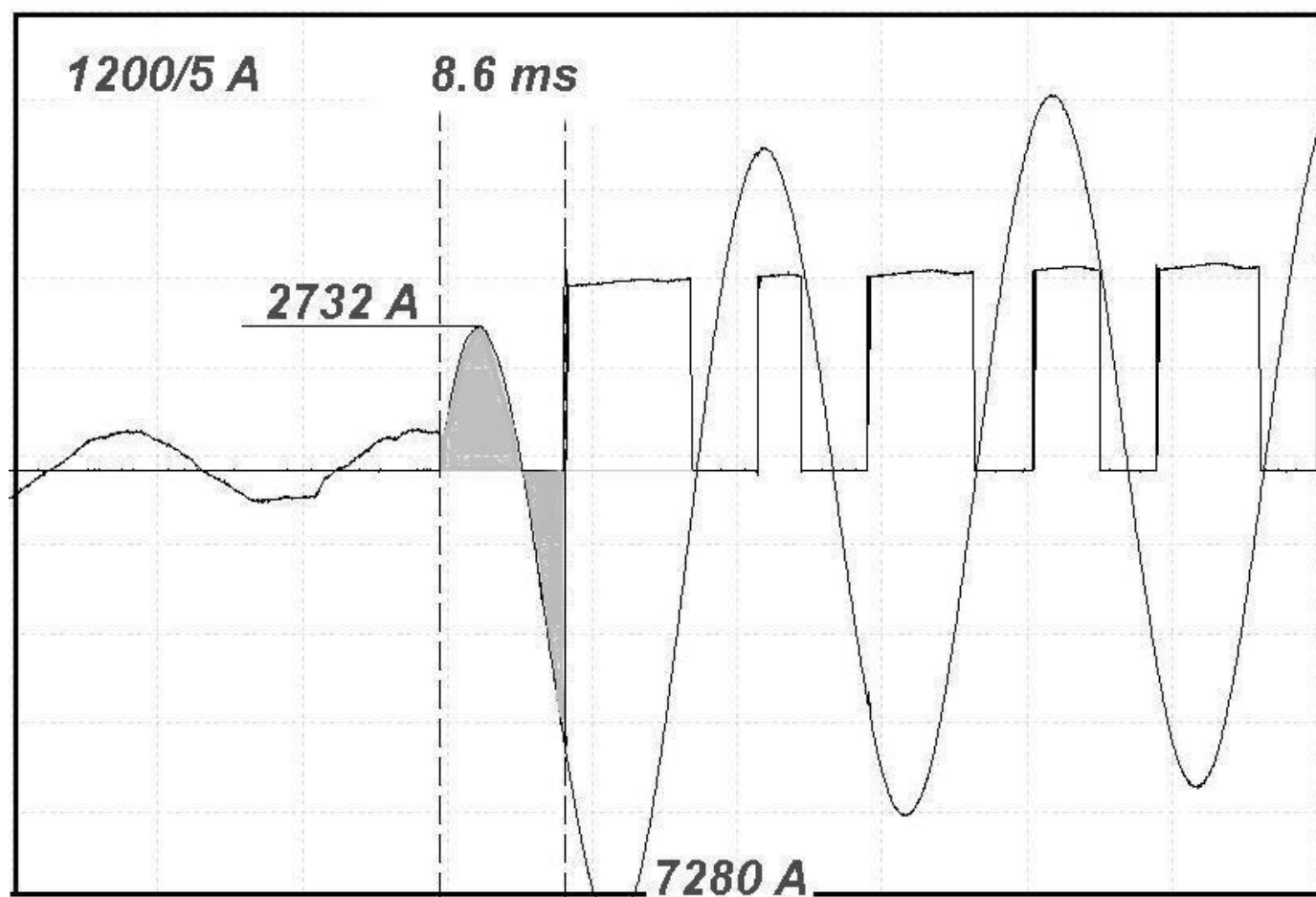


Рис. 2.9. Реальна осцилограма ударного струму к.з
(розроблено автором)

тобто., абсолютна похибка, обумовлена Δt становить 0,2 А, і відносна

$$0,2 \times 100 / 315,2 = 0,06\%.$$

Враховуючи, що це похибка є регулярною, то при налагодженні й визначенні фактичної величини Δt можна врахувати при програмуванні.

Вимірювальне коло для розглянутого варіанта включає наступні елементи: «шунт, датчик струму, дільник напруги на резисторах і тригер Шмідта».

Похибка шунта 0,5%, датчика струму 0,25%, резисторів 5%. Похибка у відхиленні рівня спрацьовування тригера Шмідта невідома. В [5] дана методика калібрування вимірювальних кіл, що дозволяє одержати похибку виміру струмів в аналогічному вимірювальному ланцюзі, рівну 3%. Вимірювальне коло струму в [5] включає шунт, дільник на 5% резисторах, датчик струму й АЦП контролера. Крім того, у похибку [5] входить похибка, обумовлена частотою знімання сигналів струму.

Можна припустити, що похибка транзистора й тригера мають також регулярний характер і при налагодженні буде використана методика, аналогічна методиці [5], яка дозволить одержати сумарну похибку величиною не більш 3%.

2.5.2 Похибки виміру струму при перевантаженні

Вимірювальне коло для розглянутого варіанта включає наступні елементи: «шунт, дільник напруги на резисторах, датчик струму (модуль БГР), АЦП контролера». Таким чином, максимальна похибка виміру струму при перевантаженнях ($\delta_{всп}$) включає наступні складові:

$$\delta_{всп} = \delta_{ш} + \delta_{рез} + \delta_{мгр} + \delta_{ацп} + \delta_{м}, \quad (2.15)$$

де δ_m – методична похибка, обумовлена частотою знімання сигналів контролером.

Виконаємо аналіз складових (2.15). Як було зазначено в п.2.5.1 реальна величина $\delta_{всп}$ буде визначена при налагодженні й калібруванні. Згідно з технічними характеристиками похибки $\delta_{ш} = 0,5\%$, $\delta_{мгр} = 0,25\%$, $\delta_{ацп} = 0,15\%$. Відомо [5], що при розрахунках діючого значення струму по (2.15) при періоді знімання сигналів $\Delta t = 500$ мсек, відносна похибка δ_m не перевищує 0,4%. Причому, розрахунки струму виконується один раз за кожні 20 мсек. Командою контролеру на вимір є поява сигналу синхронізації, вироблюваного компаратором контролера на початку періоду фази живильної мережі.

Таким чином, для розрахунків діючого значення струму ухвалюємо період знімання сигналів рівним 500 мсек.

Згідно рис.2.6 в АЦП поданий струм кожної із трьох фаз мережі. Пропонується знімання показань струму й розрахунки для визначення перевантаження організувати в такий спосіб.

1. Після подачі живлення на контролер останній послідовно в часі кожні 20 мсек розраховує струми фаз А, В і С.

2. Якщо виявилось, що струми по п.2.3 задовольняють умовам асиметрії вираження (2.6), то автомат вимикається.

3. А якщо ні, то контролер по одній з умов (2.16) визначає найбільший струм у фазі й розраховує перевантаження тільки для фази з найбільшим струмом

$$\begin{array}{l}
 I_{фА} = \text{Розрахунок,} \\
 \text{якщо } I_{фА} > I_{фВ} \wedge I_{фС} \\
 I_{фВ} = \text{Розрахунок} \\
 \text{якщо } I_{фВ} > I_{фА} \wedge I_{фС} \\
 I_{фВ} = \text{Розрахунок,} \\
 \text{якщо } I_{фС} > I_{фА} \wedge I_{фВ}
 \end{array}
 \quad (2.16)$$

Відзначимо, що дані про фазні струми в АЦП надходять однополярними сигналами. При відсутності струму в шунті на вході АЦП напруга 2В. Фільтрація відсутня.

2.5.3 Похибки виміру напруги

Згідно рис.2.6 сигнали фазної напруги в АЦП контролера надходять через трифазний однополуперіодний випрямляч, ділянки напруги на 5% резисторах з R-C фільтром з постійної часу 10 мсек і блок гальванічної розв'язки. Наявність фільтра дозволяє без усяких розрахунків вибрати період знімання сигналів (Δt) напруги величиною 40 мсек.

Таким чином, максимально можлива похибка ($\delta_{вн}$) виміру напруги визначається вираженням:

$$\delta_{вн} = \delta_{рез} + \delta_{мгр} + \delta_{ацп} + \delta_{м} \quad (2.17)$$

Підхід до визначення похибки $\delta_{рез}$ і інших складових аналогічний підходу, викладеному в п.2.5.2.

2.6 Вимоги до характеристик блоку БГР і контролера

2.6.1 Характеристики БГР

Призначення - нормалізація сигналів і їх гальванічна розв'язка перед подачею в АЦП контролера струмів фаз А, В і С; напруги фаз А, В і С.

1. Струм (три канали) - вхідний сигнал напруга змінного струму, що надходить із шунтів рівнем в 75 мВ при номінальному струмі й до 600 мВ і вище при короткім замиканні.
2. Напруга (три канали) від фаз А, В і С, що надходить із ділянки напруги на резисторах (див.рис. 6), амплітудою до 4,8 В.

3. Вхідний опір каналів БГР по п.1 - 1 Ом, п.2 - 3 кОм потужністю 1 Вт.
4. Вихідний сигнал каналів БГР по п.1 і п.2 – плюс/мінус 5 В що повторює вхідний сигнал; при відсутності сигналів напруга на виході 2,5В.
5. Похибка перетворення, не більш 0,25%.
6. Запізнювання, не більш 0,005 мс.
7. Входи каналів по п.1 і п.2 гальванічно розв'язані між собою й корпусом блоку.
8. Вихідний опір каналу блоку – 0,1 Ом.
9. Захист від короткого замикання виходу блоку.
10. Испитова напруга, що прикладається між входами й виходами блоків протягом однієї хвилини - не менш 1500 В.
11. Напруга живлення блоку, габарити, кліматика й спосіб кріплення повинні відповідати даним перетворювачів сигналів компанії ПРОМСАТ [8].

2.6.2 Розрахунки дільників напруги фаз

На рис. 2.8а представлена організація подачі напруги від фаз мережі в БГР.

Розрахунки виконаємо виходячи з величини вхідної напруги мережі $220 \times 1,1 = 242 \text{ В}$.

Тоді:

1. Амплітудне значення напруги рівно $242 \times 1,41 = 341 \text{ В}$
2. Напруга на резисторі 3 кОм (задане) = 4,7В
3. Коеф. розподілу $K = 341 / 4,7 = 73$
4. $341 - 4,7 = 336,3$
5. Величина амплітудного значення струму через вхід БГР дорівнює $I = 4,7 / 3000 = 1,57 \text{ мА}$
6. Отже, розрахункова величина $R2 = 336,3 / 1,57 = 214 \text{ кОм}$

7. Перевірка $K = 214 / 3 = 71,3$

8. Резистор $R1$ установлений для підвищення перешкодозахисності. Умовимося, що струм у лініях зв'язку повинен бути підвищений до 10 мА. Для чого знайдемо величину резистора $R1$. Тоді $R1 = 242 / 0,01 = 24,2$ кОм. [9]

9. Визначимо необхідні потужності резисторів. Потужність $PR1 = 24200 \times 0,01^2 = 2,42$ Вт, $PR2 = 24200 \times 0,00157^2 = 0,06$ Вт

10. Визначимо необхідну величину ємності виходячи з того, щоб постійна часу ланцюга повинна бути рівної 0,01 сек. Тоді $0,01 = C \times R1 \times R2 \times 10^{-6} / (R1 + R2) = 30800 = 10^{-6}$.

Звідки $C = 10000 / 30800 = 0,32$ мкФ

10. Перевірка. $0,32 \times 30800 \times 10^{-6} \approx 10$ мсек

2.6.3 Розрахунки дільника напруги шунта

На рис. 2.10 б представлена схема організація подачі напруги шунта в БГР. Розрахунки виконаємо виходячи з умов:

1. При відсутності струму в шунті на виході АЦП напруга + 2 В (див.рис.2.8в) і максимальне значення +4В

2. Напруга на виході БГР не повинна перевищувати 4В при вхідному сигналі струму, рівному 5 Ін

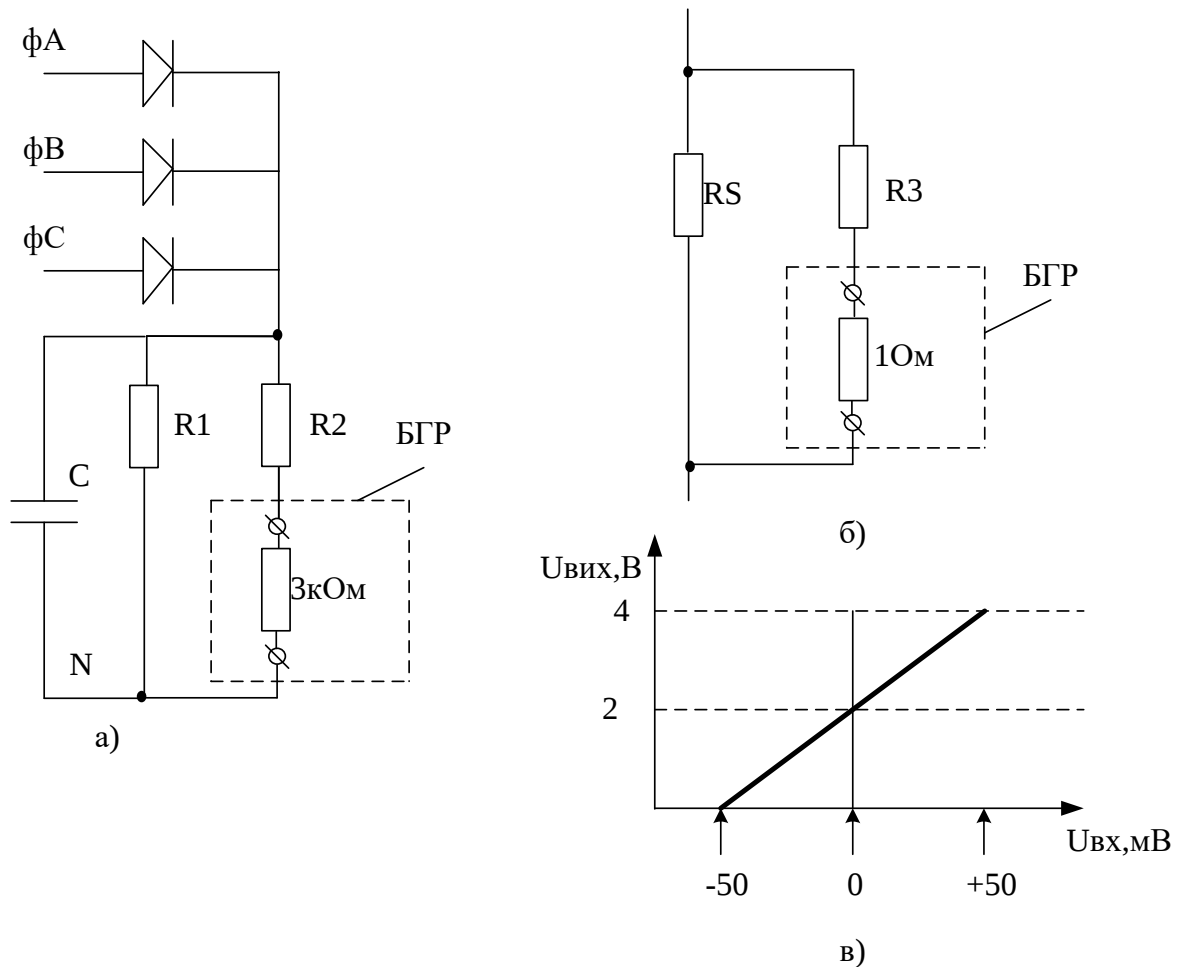
3. Номінальна вхідна напруга БГР 75 мВ діючого значення змінного струму.

Таким чином, максимальна вхідна напруга БГР не повинна перевищувати величини $75 / 1,41 \approx 50$ мВ. Згідно з технічними даними контролер БАВ повинен визначати факт 5-ти кратного струмового перевантаження, тобто дільник повинен забезпечити напругу на виході БГР, рівну 4В (див.рис.2.8в) при 50 мВ напруги шунта.

Отже, резистор $R3$ на рис.2.10б повинен бути рівним 4Ом.

Перевірка. $50/5 = 10$ мА й напруга на вході АЦП повинна бути рівною 4В і вага молодшого розряду десятирозрядного АЦП буде становити $5000 / 1000 \approx 5$ мВ.

Знайдемо вагу молодшого розряду АЦП у значенні струму. $63 \times 5 / 1000 \approx 0,3$ А (63- номінальний струм розглянутого БАВ)



Рис

2.10. Розрахунок дільників напруги перед входом БГР (розроблено автором)

2.6.4 Контролер

Призначення – приймання й обробка вхідних сигналів, видача керуючих сигналів, сигналів на сигналізацію, обмін даними з робочою станцією й ноутбуком.

1. Аналогові входи: 5 шт. (± 5 В постійного струму). Похибка АЦП – не гірше 0,15%, швидкодія одного каналу- не більш 5 мкс, розрядність – не менш 10, вхідний опір 3 кОм.

2. Дискретні входи: 12 шт, 0-30В, вхідний опір 3 кОм, 4 входи з яких повинні мати індивідуальну гальванічну розв'язку, генерувати переривання в контролері й забезпечити приймання сигналів від зовнішнього пристрою з виходом ВК як р-п-р, так і n-р-п.

3. Дискретні виходи: 12 шт., 30В, 0,3А, ОК n-р-п, чотири з яких повинні бути гальванічно розв'язані як від інших кіл, так і один від одного.

4. ЦАП, вихід 0 ... 20 мА. Похибка ЦАП – не гірше 0,4%,

5. Годинник реального часу з календарем (Переважно PCF8593T).

6. Один сигнал синхронізації з мережею, вироблюваний у момент переходу напруги фази з мінуса в плюс; використовується в якості сигналу переривання.

7. Напруга живлення 15...30 В постійного струму.

8. Передбачити порт для програмування й 2 послідовних порту: 1 порт RS-485 (гальванічно розв'язаний), 1 порт USB(RS232).

9. Основна елементна база – PIC контролер, постачений енергонезалежною пам'яттю EEPROM. Переважно PIC18F67K22, вбудовані : EEPROM пам'ять програм 128 кбайт, ОЗУ 4 кбайт, EEPROM даних 1 кбайт.

10. Наявність зовнішнього ППЗУ 128 Кбайт для зберігання архівних даних.

11. Використовувати комплектуючі промислового діапазону робочих температур: -40...+85 °С.

12. До складу контролера входять відповідні частини рознімань, джгути, кабелі, засоби для перевірки працездатності.

13.Кріплення дін- рейка, габарити орієнтовно 200x150x100, уведення/вивід ліній зв'язку для підключення ноутбука й програматора рознімання, блоки затискачів для інших підключень.

2.6.5 Драйвер1 (керування силовими транзисторами)

1. Призначення:

1.1. Керування 2-ма IGBT транзисторами однієї фази на струм до 300 А, включеними послідовно з навантаженням змінного струму, наприклад, індуктивним [10].

1.2. Автоматичне відключення транзисторів по п.1.1 при виникненні струмів к.з.

2. Сигнали керування транзисторами драйвера підключаються до того ж самого виходу контролера й повинні бути гальванічно розв'язані як від контролера, так і один від одного; гальванічна розв'язка повинна витримувати в продовж 1 хвилини напругу не менш 1000В.

3. Затримка видачі сигналу про відключення транзисторів з моменту досягнення фактичного струму величини струму к.з. не більш 10 мікросекунд (проводиться одночасне відключення всіх транзисторів по п.1.1). При цьому драйвер повинен запам'ятати цю подія й видати двопозиційний сигнал у контролер про факт відключення транзисторів при виникненні к.з. Для повторної подачі напруги в навантаження контролер видає в драйвер, двопозиційний сигнал «Скидання».

4. Драйвер1 також повинен забезпечити захист навантаження при к.з у БАВ на операційних підсилювачах (ОП), а саме:

4.1. Призначення – відключення живлення при виникненні к.з. у навантаженні БАВ по сигналу шунта в момент наростання ударного струму до заданої величини.

4.2. Напруга шунта при номінальнім навантаженні ± 75 мВ, при к.з. напруга збільшується в 5-8 разів.

4.3. Коеф. посилення ОП ($K_{оп}$) визначається вираженням $K_{оп} = 10/K \times I_n$,

де 10 – максимальна вихідна напруга ОП у вольтах,

K - максимальна розрахункова кратність струму к.з.

$I_H - 75 \text{ мВ}$

4.4. У схемі рис.2.11 застосувати швидкодіючі комплектуючі.

4.5. Запізнювання відключення схемою силових транзисторів при досягненні струму к.з заданої кратності, мксек., не більш 10.

5.Кріплення драйвера на дин- рейку.

6. Напруга живлення 15...30 В постійного струму.

7. Підключення зовнішніх кіл через блоки затискачів.

8. Використовувати комплектуючі вироби промислового діапазону робочих температур: $-40...+85 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.6.6 Драйвер2 (керування транзисторами гасіння ЕРС)

1. Призначення – керування 2-мя транзисторами однієї фази, підключеними паралельно до навантаження.

2. Драйвер як при знятті команди управління контролера по п.1.1 у розділі 2.5.5, так і при виробленні сигналу к.з. драйвером по п.3 у розділі 2.6.5 повинен реалізовувати реверс струму й гасіння ЕРС самоіндукції. Транзистори по п.1.1 (2.6.5) і п.1 (2.6.6) завжди працюють у протифазі, тобто якщо транзистори по п.2.6.5 включені, тоді транзистори по п.2.6.6 відключені й навпаки.

Керування драйверами в протифазі здійснюється зовнішніми колами.

3. Стосовно вимог п.2.6.5 у розглянутій модифікації драйвера повинні бути відсутні наступні функції:

- контроль струму через транзистори й визначення струму к.з.;
- запам'ятовування факту протікання струму к.з. через транзистори;
- введення від контролера сигналу «Скидання».

4. Кріплення драйвера на дін- рейку.

5. Напруга живлення 15 ... 30 В постійного струму.

6. Підключення зовнішніх ланцюгів через блоки затискачів.

7. Використовувати комплектуючі вироби промислового діапазону робочих температур: $-40\dots+85\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.7 Розташування комплектуючих у шафі

Ескіз розташування комплектуючих у шафі БАВ наведено на рис.2.11 де прийняті наступні умовні позначки:

1- дин-рейки;

2- кришка, розташована вище на 30мм верхньої площині шафи для випуску нагрітого повітря;

M1,...,M3 – силові модулі з радіаторами;

RS1,... RS 3 – шунти;

БГР – блок гальванорозвязки (датчики струму й напруги);

M4,...,M5 – модулі гасіння ЕРС без радіаторів;

Д1,...,Д6 – драйвери, для формування сигналів керування модулями;

БЖ 1 – блок живлення;

К – контактор;

Плата з реле, транзисторами й резисторами;

FU – запобіжник.

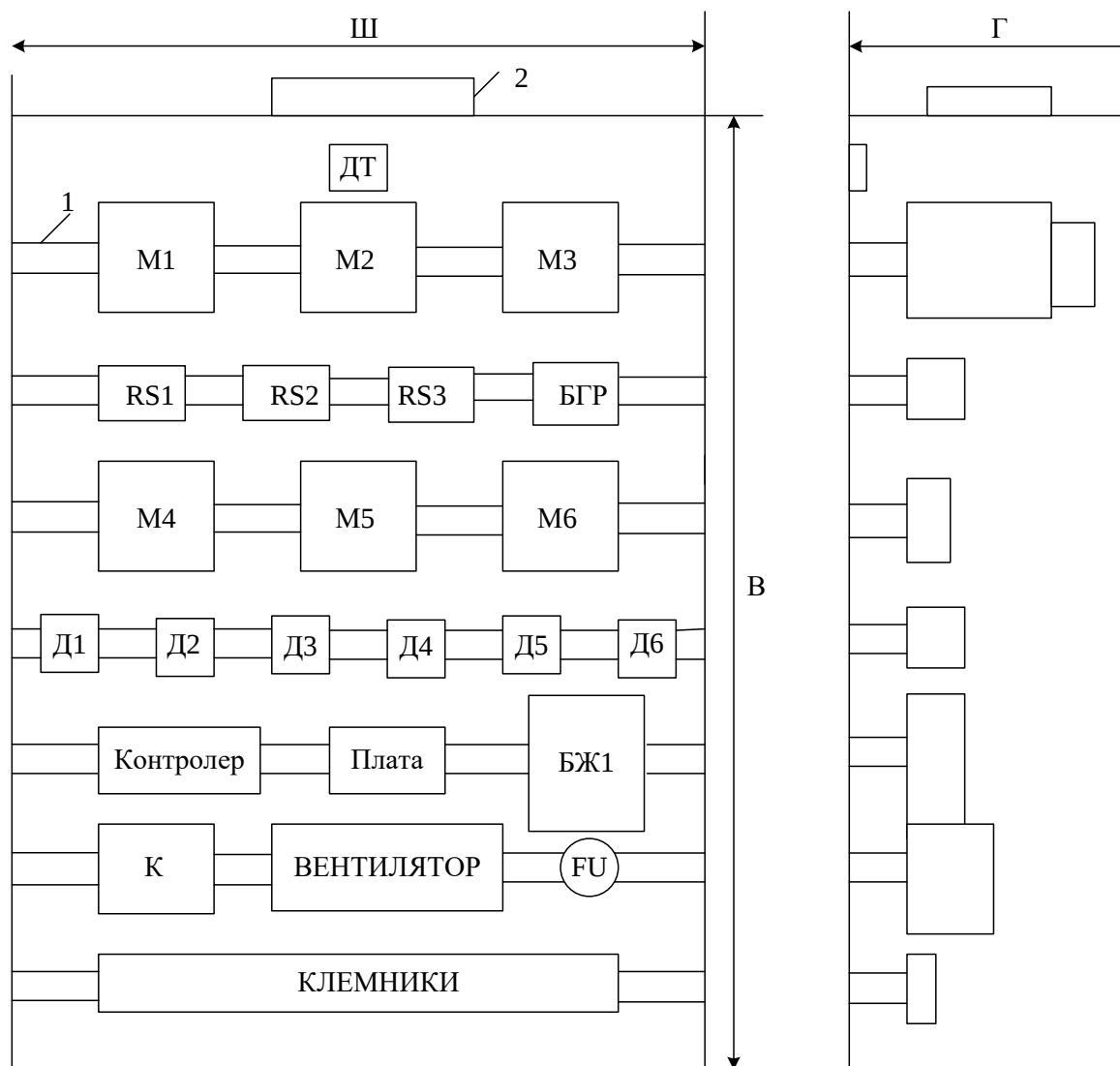


Рис. 2.11. Ескіз розміщення комплектуючих в шафі БАВ

(розроблено автором)

2.8 Перелік елементів

Таблиця 2.2

Перелік елементів на БАВ

	Найменування, тип і параметри	К- ть	Позначення	Примітка
	1	2	3	4
	Конденсатори			
1	К 75-10 1мкф 1000 В	12	C1-C6; C8-C13	
2	D 22000UF 63V	1	C7	
3	CL-21 0,33мкФ 100В	1	C14	
	Резистори			Резистори 5%
1	МЛТ-1 3кОм	3	R1;R18;R24	
2	МЛТ-1 1кОм	2	R2; R3	
3	МЛТ-2 39Ом	12	R4-R15	
4	МЛТ-2 36 кОм	1	R16	
5	МЛТ-2 220кОм	1	R17	
6	МЛТ-0,5 5,1 кОм	6	R18-R23	
	Напівпровідникові вироби			
1	Модулі на транзисторах IGBT (Сила) FF200R12KT3_E	3	M 1-M3	
2	Модулі на транзисторах IGBT (Сила) FF200R12KT3_E (EPC)	3	M 4-M6	
3	Транзистор КТ817А,Б ;3А;40В; npn	1	VT3	
4	Транзистор КТ646Б ; 0,5 А; 40В;nnp	1	VT4	
5	Діод Д112-25;струм 25А; ударний струм 380А; 900В	6	VD3-VD8	
6	Діод 1А7; 1,0 А; 1000 В	3	VD9-VD11	
7	Світлодіод Honglitronic D = 3 мм; зелений	1	VD12	
8	Світлодіод Honglitronic D = 3 мм; червоний	5	VD13-VD17	

Продовження табл.2.2

	1	2	3	4
	Інші вироби			
1	Контролер на мікросхемі PIC18F6722-1/PT	1	Спецзамовлення	м.Олександрія
2	Драйвер 1	3	Спецзамовлення	м.Олександрія
3	Драйвер 2	3	Спецзамовлення	м.Олександрія
4	БГР1	1	Спецзамовлення	м. Київ
5	БГР2	1	Спецзамовлення	м. Київ
6	Блок живлення	1		м. Київ
7	Електромагнітний нереверсивний пускач ПМЛ 4100 на 63А, котушка 220 В	1	К	
8	Реле постійного струму МРП-2- 1;24В, 2 перемикаючих контакти на 7А	1	Р	
9	Варистор MYG 20K911 (10%) ; 911 напруга спрацьовування	12	FV1-FV12	
10	Тумблер на 2 замикаючих контакти, напругою $\approx 220\text{В}$, струм 5А	1	SA1	
11	Тумблер на 2 замикаючих контакти, напругою 50 В постійного струму, 1А	2	SB1-SB2	
12	Тумблер на 1 замикаючий контакт, напругою $\approx 220\text{В}$, струм 5А	2	SB3	
13	Радіатор	1		
14	Шунт 75 мВ на 75А	3	RS1-RS3	
15	Вентилятор 24В, продуктивність 50-70 м ³ /годину	3	В 1-В3	
16	Запобіжник 5А, 220В	1	FU	

2.9 Розрахунок економічної ефективності впровадження технічного рішення

2.9.1 Статті розрахунків економічної ефективності

За рахунок кращих технічних характеристик у порівнянні з існуючими засобами подачі напруги живлення в навантаження використання автомата дозволить:

1. Не менш, ніж на 30% зменшити кількість пожеж з вини електроустаткування;
2. Практично виключити працезатрати на обслуговування автомата після к.з. (відпадає необхідність огляду й чищення контактів як в існуючих автоматах);
3. Поліпшити організацію робіт на електроустаткуванні, яке живиться від автомата, за рахунок видачі в робочу станцію даних про струми й напруги, що передують аварійному відключенню;
4. За рахунок зменшення з 50 мілісекунд до 10 мікросекунд часу протікання струму к.з. у навантаженні зменшити працезатрати на поточні й капітальні ремонти.
5. Зниження простоїв Блюмінга 1300.

2.9.2 Основні порівняльні характеристики БАВ і електромеханічного автомата (ЕА)

Порівняльні характеристики БАВ і ЕА наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Порівняльні характеристики БАВ і ЕА

	Параметр	Значення	
		2	3
	1	БАВ	ЕА
1	Час відключення від моменту досягнення відносини струму к.з. до номінального струму ($I_{k3}/I_n = 8$)	10, мксек	20 – 50, мілісек
2	Необхідність перевірки автомата й чищення контактів після відключення навантаження при к.з.	немає	так
3	Можливість неточної установки параметрів відключення теплового захисту	немає	так
4	Погодинний і добовий комерційний облік витрат повної, активної й реактивної електроенергії із прив'язкою до дати й часу	так	немає
6	Визначення коефіцієнта потужності	так	немає
7	Наявність функції АПВ	так	немає
8	Запам'ятовування дати, величини струму й часу відключення автомата через к.з.	так	немає
9	Запам'ятовування дати, часу, величини й тривалості струму перевантаження	так	немає
10	Наявність послідовного каналу для обміну обліковими даними з вилученим сервером і Ноутбуком	так	немає
11	Перенапруги при відключенні струму в індуктивнім навантаженні	немає	5-10 U_n
12	Можливість дистанційного включення-відключення	так	немає
13	Втрати потужності в механічних контактах і транзисторах	2%	немає
14	Наявність вентиляторів і необхідність їх обслуговування	так	немає
15	Можливість автоматичної роботи в повторно – короткочасному режимі	так	немає
16	БАВ, окрім функцій подачі та відключення напруги на навантаженні, є лічильником активної та реактивної енергії, виконує облік роботи (функція АСУП) і забезпечує дистанційне включення - відключення навантаження, зокрема і аварійно-попереджувального вимкнення.	так	немає

17	Відносні габарити	4,5 -5	1
----	-------------------	--------	---

Аналіз даних табл.3 показує, що БАВ:

1. Має функції ЕА й додатково «містить» ватметр для виміру повної, активної й реактивної складових електроенергії, споживаним навантаженням
2. Реалізовує функції облікового характеру
3. Не вимагає обслуговування силових контактів
4. Забезпечує час відключення при досягненні кратності відключення струму навантаження к.з. (см.п.1 табл.2.3) в 1000,..., 5000 раз менше, ніж у самого досконалого сучасного електромеханічного автомата.
5. Не дозволяє протікати в навантаженні струмам к.з. більшим, ніж величина заданого струму відключення.
6. Забезпечує видачу в Ноутбук і в сервер даних про фазні струми й напругах, прив'язаних до дати й часу, що при аварійнім відключенні дозволить швидко визначити причину й вжити необхідних заходів по подальшому його недопущенні.
7. Виключає перенапруги, що виникають при відключенні індуктивного навантаження.
8. Часові параметри режиму по п.15 і термін служби БАВ визначаються характеристиками контактора, який перемикається командою контролера тільки при відсутності струму в навантаженні.

2.9.3 Розрахунки очікуваного річного економічного ефекту від впровадження безконтактного автоматичного вимикача (БАВ) на Блюмінгу 1300

I. Вихідні дані

1. Кількість установлених у цеху трифазних автоматів на середній струм 150 А, напруга 380 В, аварійне відключення яких приводить, до простоїв- 23 шт.;

2. Середня кількість спрацьовування одного автомата – 1,1 рази на місяць;

3. Середній час простою цеху на ліквідацію причин відключення одного автомата – 9 хв.

4. Ціна простою в 1 хвилину – 1200 грн.

5. Кількість хвилин простоїв (N) у рік

$$N = 23 \times 12 \times 1,1 \times 9 \times 0,85 = 2\,322 \text{ хв/рік} \quad (2.18)$$

де 0,85 – коеф., що враховує простої цеху на проведення профілактичних робіт і ремонтів

6. Фінансові втрати цеху (Фв) на ліквідацію наслідків відключення

$$\Phi_{\text{в}} = N \times 1\,200 = 2\,322 \times 1\,200 = 2\,786\,400 \text{ грн/рік} \quad (2.19)$$

7. Ціна одного серійного зразка (Ц) БАВ – 120 000 грн.

8. Витрати ($V_{\text{БАВ}}$) на придбання 23 штук БАВ

$$V_{\text{БАВ}} = 23 \times 120\,000 = 2\,760\,000 \text{ грн.} \quad (2.20)$$

9. Ціна робіт на монтаж (М) одного БАВ – 880 грн.

Дві людини монтують 2 шт БАВ за зміну

10. Ціна монтажу ($\text{Ц}_{\text{м}}$) 23шт. БАВ

$$\text{Ц}_{\text{м}} = 23/2 \times 880 = 10\,120 \text{ грн.} \quad (2.21)$$

$$(2.22)$$

11. Амортизаційні відрахування на БАВ за рік складуть

$$A_{\text{річні}} = 2\,760\,000 \cdot 1/10 = 276\,000 \text{ грн., де}$$

10 - паспортний термін служби БАВ

Прибуток розрахуємо по формулі

$$\begin{aligned} \Pi &= \Phi_{\text{В}} - A_{\text{річні}} = 2\,786\,400 - 276\,000 = \\ &= 2\,510\,400 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (2.23)$$

II. Розрахунки очікуваного річного економічного ефекту (E_p)

$$\begin{aligned} E_p &= \Pi - E_n \cdot (B_{\text{БАВ}} + Ц_{\text{М}}) = 2\,510\,400 - 0,15 \cdot (2\,760\,000 + 10\,120) = \\ &= 2\,094\,882 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (2.24)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності ($E_n = 0,15$).

Термін окупності ($T_{\text{оБАВ}}$) БАВ

$$T_{\text{оБАВ}} = (B_{\text{БАВ}} + Ц_{\text{М}}) / \Pi = (2\,760\,000 + 10\,120) / 2\,510\,400 = 1,1 \text{ року.} \quad (2.25)$$

Таким чином за рахунок представленого ефекту від використання БАВ очікуваний економічний ефект 2 094 882 грн. Термін окупності 1,1 року, що доводить доцільність впровадження БАВ на Блюмінг 1300.

2.10 Заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності в умовах Блюмінга 1300 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

До основних шкідливих чинників цеху Блюмінг 1300 належать: виробничий шум, вібрація, запиленість повітряного середовища, наявність

струмоведучих частин електроустаткування, рухомі частини машин і механізмів, залізничний транспорт, можливість ураження електричним струмом [11].

Рівні шкідливих виробничих чинників цеху наведено в табл.2.4 згідно з вимірами та даними [12, 13].

Таблиця 2.4

Рівні шкідливих виробничих чинників цеху

Чинник	Одиниця виміру	ГДК	Фактичне значення
Температура повітря	°C	19-25	27
Запиленість	мг/м ³	4	6
Шум	дБА	80	85
Загальна вібрація	дБ	87	92

Як бачимо, рівні запиленості, шуму та вібрації в цеху перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК), отже потрібно вжити заходів для зменшення їх негативного впливу [14].

Запиленість повітря обумовлена наявністю у повітрі твердих частинок пилю. Дисперсність частинок визначає глибину їх проникнення в дихальні шляхи та ступінь шкідливості [15]. У робітників можуть розвинути захворювання дихальних шляхів, такі як силікоз чи пневмокніоз. Тому обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту органів дихання.

Джерелами шуму в цеху є різноманітне технологічне обладнання: зубчаті та ланцюгові передачі, підшипники, транспортування металу, його деформація тощо [16]. Шум негативно впливає на слуховий апарат, може спричинити стомлення та пошкодження слуху. Також він діє на органи зору, вестибулярний апарат, нервову та серцево-судинну системи [17, 18].

Вібрація виникає під час роботи основного та допоміжного обладнання, особливо на високих швидкостях обробки металу. Вона негативно впливає на центральну нервову систему, кістково-м'язовий апарат, кровоносні судини працівників [19].

Отже, перевищення гранично допустимих рівнів шкідливих виробничих чинників в цеху потребує розробки та реалізації заходів з охорони праці персоналу.

Для зниження рівня вібрації передбачено віброізоляцію та вібропоглинання. Віброізоляція полягає у встановленні пружних прокладок між джерелами вібрації та спорудами, що зменшує передачу коливань конструкціям [16]. Вібропоглинання досягається нанесенням на вібруючі елементи пружно-в'язких матеріалів [11].

Для зниження запиленості повітря передбачено вентиляцію з аспірацією, а також засоби індивідуального захисту – респіратори, захисні окуляри [15].

Електроустаткування огорожене та заземлене відповідно нормам [20]. Рубильники обладнані захисними кожухами. Застосовується комплексний розподільний пристрій, магнітні пускачі. Для підлоги вологих приміщень передбачені ізолюючі підставки.

В якості додаткового захисту персоналу від ураження електричним струмом застосовуються діелектричні килимки та інструмент із ізольованими ручками [21].

Розраховано необхідну кількість вертикальних електродів заземлення (50 шт), що забезпечує опір розтіканню струму менше 4 Ом та електробезпечність обладнання [21].

Для захисту персоналу застосовуються наступні засоби індивідуального захисту [20]:

- спецодяг і спецвзуття (для захисту від високих температур);
- захисні каски (для захисту голови);
- респіратори, протипилові маски (для захисту органів дихання).

В табл. 2.5 та 2.6 наведено перелік засобів захисту працівників цеху згідно норм [22].

Таблиця 2.5

**Перелік спецодягу та засобів індивідуального захисту
електромонтера**

Найменування	Термін придатності	Кількість
Костюм бавовняний	12 місяців	2 шт
Куртка ватяна	36 місяців	1 шт
Брюки ватяні	36 місяців	1 шт
Каска захисна	До зносу	1 шт
Черевики з діелектричними підошвами	12 місяців	1 пара
Рукавиці бавовняні	2 місяці	12 пар
Респіратор "Пелюстка"	1 зміна	5 шт

Таблиця 2.6

Перелік засобів захисту електротехнічного персоналу

Найменування	Випробувальна напруга	Періодичність випробувань	Періодичність оглядів
Покажчики напруги	600 В	1 рік	Перед застосуванням
Рукавички діелектричні	6 кВ	6 місяців	Перед застосуванням
Інструмент ізольований	2 кВ	1 рік	Перед застосуванням
Ізолюючі галузі	3,5 кВ	1 рік	Перед застосуванням
Заземлювачі переносні	6 кВ	Після виготовлення	Перед застосуванням

Основними причинами пожеж в цеху можуть бути [23]:

– дефекти та несправності електрообладнання (коротке замикання, перевантаження, іскріння);

- порушення технологічного процесу, неправильне проведення робіт;
- застосування несправних нагрівальних приладів.

Небезпечними чинниками пожежі є [14]:

- висока температура, токсичні продукти горіння;
- задимленість, обмеження видимості;
- можливість вибуху через наявність горючих речовин.

Комплекс заходів пожежної безпеки в цеху [23]:

1. Категорія цеху за пожежною безпекою – Г (табл. 2.7);
2. Первинні засоби пожежогасіння (табл. 2.8);
3. Автоматична пожежна сигналізація та оповіщення про пожежу;
4. Евакуаційні шляхи та виходи з приміщень.

Таблиця 2.7

Категорії приміщень цеху за пожежною безпекою

Приміщення	Категорія
Машинний зал	Г
Кабельний тунель	Г
Інструментальна	В

Таблиця 2.8

Первинні засоби пожежогасіння

Засіб	Кількість
Відра пожежні	3 шт
Лопати пожежні	3 шт
Піки відбивні	3 шт
Сокири пожежні	3 шт
Багри	3 шт
Вогнегасники ВВ-9	4 шт
Вогнегасники ВВ-5	2 шт

Отже, цех забезпечений необхідними засобами пожежогасіння, сигналізації та евакуації персоналу.

ВИСНОВКИ

1. Представлена інформація про кількість і наслідки пожеж з вини електроустаткування в Україні за рік. Відомо [1], що в Україні щодоби відбуваються в середньому 254 пожежі, з яких 30% через аварійний режим електроустаткування й несправностей електропроводки. На пожежах у середньому щодня гине 5 людей і 4 одержують травми, також вогонь щодоби знищує й ушкоджує 73 будинку й 12 одиниць техніки. Загальні матеріальні втрати в рік становлять 10 млрд. 75 млн. 259 тис. грн..

2. Представлені результати аналізу роботи застарілих і сучасних автоматичних вимикачів. Їхній основний недолік – механічний розрив контактів при коротких замиканнях і перевантаженню. Час розриву контактів 20-50 мілісекунд. Крім того, це необхідність чищення й перевірки контактів після аварійного відключення й ручного регулювання уставок захисту від перевантаження. Час відключення навантаження в БАВ не перевищує 10 мікросекунд.

3. Поставлене завдання створення безконтактного автоматичного вимикача на основі IGBT транзисторів з мікропроцесорним керуванням.

4. У роботі надані структурні й принципові схеми трьохфазного автомата 0,4 кВ із описом роботи.

5. Представлені алгоритми визначення контролером:

- факту виникнення аварійних режимів - к.з, перевантаження, асиметрії струмів, обриву фази й відхилення напруги живлення;

- споживання навантаженням активної, реактивної потужності й $\cos\varphi$.

6. Виконано аналіз погрішностей вимірів в інформаційному тракті: «шунт – дільник напруги на резисторах -датчик струму- АЦП контролера». Установлено, що максимальна похибка із обліком методичної (дискретність

роботи контролера) при періоді знімання сигналів датчиків в 500 мікросекунд не перевищує 3%.

7. Представлені статті технічно- економічного ефекту від використання БАВ і розрахунки очікуваного економічного ефекту. Термін окупності -1,1 року.

8. Представлено заходи з охорони праці, що забезпечують, якщо їх виконувати, безпеку обслуговування БАВ.

9. Недолік БАВ – це ціна, що перевищує в 3-4 рази ціну аналогічних по струму сучасних електромеханічних автоматів з електронним захистом.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Статистика пожеж. <https://ukraine.segodaya.ua/ua/ukraine/pozhary-v-ukraine-unesli-sotni-zhizney-spasateli-ozvuchili-pechalnuyu-statistiku-1467371> (дата звернення 01.11.2025 р.).
2. Бесараб С. М., Салін М. О. та ін. Безконтактний пристрій керування електромагнітами пратцен-кранів. Металургійна та гірничорудна промисловість. 2014. № 4. С. 112–114.
3. Автоматичний вимикач CZE (дата звернення 01.11.2025 р.).
4. Учитель А. Д., Хижняк В. Я., Литовченко О. В. Мікропроцесорний автоматичний вимикач (МAB) для електропостачання. IV Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід», 6–8 грудня 2021 р., Університет Аалто, м. Гельсінкі (Фінляндія). С. 273–279. URL (дата звернення 01.11.2025 р.).
5. Учитель О. Д. та ін. Системи автоматизації та контролю в гірничо-металургійному комплексі. Дніпро: Видавництво Акцент ПП, 2018. С. 299.
6. Хермвіль М. М., Колпаков О. Керування ізольованим затвором IGBT. Основні положення. Новини Електроніки. 2008. № 11.
7. Сенько В. І., Чибеліс В. І., Трубіцин К. В. Силова перетворювальна техніка. Конспект лекцій. 2022 (дата звернення 06.11.2025 р.).
8. Промсат, Київ, info@promsat.com.
9. Ряд номіналів резисторів E24.
10. Драйвери для керування IGBT-модулями фірми «Semikron».
11. Москальова В. М. Охорона праці в галузі. К.: Книжкове видавництво НАУ, 2007. 320 с.
12. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

13. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
14. Катренко Л. А., Пістун І. П. Охорона праці. К.: Каравела, 2021. 548 с.
15. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці. Львів: Афіша, 2006. 348 с.
16. Русаловський А. В. Правові та організаційні питання охорони праці: Навч. посіб. 4-те вид., допов. К.: Університет "Україна", 2008. 272 с.
17. Актуальні питання гігієни праці та професійної захворюваності / В. Г. Бардов та ін. Вінниця: Нова Книга, 2006. 520 с.
18. Лапін В. М. Охорона праці в Україні: Нормат.-правові акти з охорони праці. К.: Знання, 2012. 471 с.
19. Желібо Є. П., Заверуха Н. М., Зацарний В. В. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник. Київ: Каравела, 2008. 320 с.
20. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Харків, 2014. 704 с.
21. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС). Київ, 2017. 198 с.
22. НПАОП 0.00-7.17-18. Мінімальні вимоги безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці. Київ, 2018. 12 с.
23. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Київ, 2017. 31 с.
24. Гушко С. Вимоги з оформлення письмових робіт у Державному університеті економіки і технологій. Затверджено Науково-методичною радою ДУЕТ (протокол № 2 від 08 грудня 2020 р.). Навч. посібник. Кривий Ріг, 2020. 53 с.



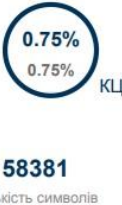
Звіт подібності

Метадані

Назва організації		підрозділ		
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY		STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY		
Заголовок				
174-4д-2026вrm				
Автор		Науковий керівник / Експерт		
174-4д-2026вrm		Молдло Є.О.		
Кількість слів	Кількість символів	Дата звіту	Дата редагування	ІД документу
9250	58381	1/13/2026	1/13/2026	333099491

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.



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	Ⓡ	157
Інтервали	A→	0
Мікропробіли	␣	0
Білі знаки	␣	0
Парафрази (SmartMarks)	Ⓐ	28

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копір 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

Копір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	https://electric-in-home.com/which-is-an-input-device-for-15-kw-how-the-circuit-breaker-is-calculated/	111 1.20 %
2	151-10д-д 1/13/2025 STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY)	73 0.79 %

ЗГОДА здобувача(чки) освіти Державного університету економіки і технологій
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, *Лисишин Ярослав Анатолійович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна магістерська (бакалаврська) робота (назва роботи повністю) виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

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

Також я поінформований(на), що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений(на) з умовами такого розміщення.

01.06. 2025