

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

на тему: **Автоматична система ввімкнення резерву електропостачання котельні**

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи ЕТс-41

спеціальності 141–

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Гнитка Д.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Буняк О.А.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Мовчан Л.Т.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
 (повна назва факультету)
 Кафедра електричної інженерії
 (повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри ЕІ
 Коваль В.П.
 (підпис) (прізвище та ініціали)
 “ 05 ” січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
 (назва освітнього ступеня)
 за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
 (шифр і назва спеціальності)
 студенту Гнитці Дмитру Романовичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)
 1. Тема роботи Автоматична система ввімкнення резерву електропостачання котельні
 Керівник роботи Буняк Олег Андронікович, к.т.н., доцент,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 Затверджені наказом ректора від “31” грудня 2025 р. № 4/7-1164
 2. Термін подання студентом завершеної роботи 10 червня 2026 року
 3. Вихідні дані до роботи Параметри системи електропостачання котельні: максимальна допустима споживана потужність – 90 кВт (120 кВА); значення розрахункового струму – $I_p = 130$ А; значення струму на автоматичному вимикачі $-I_{p, АВ} = 160$ А; значення робочого струму на ланці ТП-ГРЩ - $I_{p, ТП-ГРЩ} = 160$ А.
 4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Аналітичний розділ. 2. Розрахунковий розділ. 3. Проектно конструкторський розділ. 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Загальні висновки. Перелік посилань.
 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Способи Порівняльні характеристики типів АВР. Конфігурації підключення АВР. Однолінійна схема ГРЩ. Вибір силового обладнання АВР. Модулі АВР. Схеми при різних режимах роботи. Моделювання АВР.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, охорона праці	Гурик О.Я., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 06 січня 2026 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний розділ	15.04.26 - 15.05.26	
2	Розрахунковий розділ	01.05.26 - 15.05.26	
3	Проектно-конструкторський розділ	10.05.26 - 01.06.26	
4	Заходи з безпеки життєдіяльності та основи охорони праці	15.05.26 - 01.06.26	
5	Формування пояснювальної записки та плакатів по кваліфікаційній роботі	15.05.26 - 10.06.26	
6	Попередній захист кваліфікаційної роботи	11.06.26 - 15.06.26	

Студент

(підпис)

Гнитка Д.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Буняк О.А.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс-41. – Тернопіль.: ТНТУ, 2026.

В роботі проведена розробка автоматичного введення резерву в системі електропостачання котельні на основі швидкодіючих елементів забезпечення безперебійного живлення.

Обґрунтовано вибір радіальної схеми електропостачання котельні з розімкненим режимом роботи джерел.

Запропоновано трирівневу архітектуру живлення за принципом «2 мережевих введення + дизель-генераторна установка» та здійснено раціональний вибір захисного обладнання.

Розроблено систему автоматизації на базі логічного модуля *Siemens LOGO!* для реалізації складних алгоритмів керування.

Запропоновано багаторівневу систему моніторингу параметрів мережі, яка забезпечує комплексний захист від помилкових дій шляхом поєднання механічного та програмного блокування.

Ключові слова: автоматичне введення резерву, котельня, автоматизація, логічний модуль.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	7
1.1 Аналіз способів організації АВР	7
1.2 Вимоги до АВР	14
1.3 Висновки до першого розділу	16
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	17
2.1 Вибір силових елементів ланок електропостачання котельні	17
2.1.1 Аналіз вихідних даних	17
2.1.2 Вибір силового обладнання	19
2.2 Висновки до другого розділу.....	30
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	32
3.1 Опис процесу аварійного ввімкнення резерву котельні	32
3.2 Режими управління апаратами введення	33
3.3 Моделювання аварійного введення резерву	38
3.4 Висновки до третього розділу	43
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	44
4.1 Заходи з безпеки життєдіяльності на об'єктах теплоенергетики	44
4.2 Охорона праці при експлуатації електроустановок	47
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	50
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	52

ВСТУП

Актуальність теми.

Надійність енергетичної системи є основою стабільного функціонування будь-якого промислового об'єкта. Провали напруги, короткочасні перериви в електропостачанні, імпульсні викиди є найбільш розповсюдженими чинниками, що призводять до виходу з ладу дорого вартісного обладнання, зупинки безперервних технологічних циклів та, як наслідок, величезних економічних збитків для постачальників і споживачів [1].

Для об'єктів критичної інфраструктури, таких як котельні агрегати, насосні станції та автоматизовані лінії, навіть секундна відсутність напруги може спровокувати аварійну ситуацію. Саме тому розробка та впровадження високоефективних систем резервування є першочерговим завданням сучасної електроенергетики [1].

Використання мікроконтролерів у сучасній інженерії дозволяє нівелювати «людський фактор», підвищити точність виконання операцій та забезпечити безкомпромісну безпеку технологічних процесів. Проте, вітчизняні підприємства все ще демонструють суттєве відставання у питаннях глибини автоматизації порівняно з розвиненими країнами, що робить питання модернізації виробничих потужностей надзвичайно гострим [2].

Таким чином, актуальність роботи полягає у необхідності подолання технологічного розриву в автоматизації вітчизняних підприємств шляхом створення надійних, швидкодіючих та інтелектуальних систем безперебійного електропостачання, забезпечуючи економічну стабільність та техногенну безпеку промислових об'єктів.

Мета і завдання дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є розробка автоматизованого управління автоматичним введенням резерву котельні на основі промислового контролера.

Відповідно до мети поставлені наступні завдання:

– провести аналіз способів організації автоматичного введення резерву;

- провести обґрунтування та вибір силового обладнання й засобів автоматизації системи електропостачання котельні;
- здійснити опис режимів роботи автоматичного введення резерву;
- виконати програмне моделювання системи керування на основі промислового контролера;
- провести аналіз заходів безпечної експлуатації обладнання котельні.

Об’єкт дослідження – процеси забезпечення надійності електропостачання промислових споживачів в умовах виникнення аварійних режимів.

Предмет дослідження – технічні засоби реалізації швидкодіючого автоматичного введення резерву для забезпечення безаварійної роботи.

Практичне значення отриманих результатів. Запропонована система автоматичного введення резерву на базі швидкодіючих елементів дозволить мінімізувати технологічні збитки та підвищити експлуатаційну безпеку при роботі котельного обладнання.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (15 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 53 сторінок, містить 8 таблиць та 14 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз способів організації АВР

Ефективність функціонування систем електропостачання (*СЕР*), оснащених пристроями автоматичного введення резерву (*АВР*), визначається здатністю забезпечувати необхідний рівень безперебійності живлення споживачів відповідних категорій надійності [3, 4].

Вибір архітектури та апаратної реалізації системи *АВР* обумовлюється топологією електричної мережі, характеристиками приєданого навантаження з позиції потужностей, а також регламентованими вимогами до часових інтервалів відновлення напруги.

За принципом побудови силових комутаційних вузлів сучасні пристрої *АВР* класифікують на два основні типи: електромеханічні та напівпровідникові (електронні) [5].

Електромеханічні пристрої АВР [5]. У системах цього типу функцію виконавчих органів виконують електромагнітні контактори, автоматичні вимикачі або роз'єднувачі, які оснащені мотор-приводами.

Контактні системи на базі контакторів набули найбільшого розповсюдження завдяки поєднанню конструктивної простоти та економічної доцільності. Типове технічне рішення передбачає використання двох взаємоблокованих апаратів.

Обмеження: часто з метою мінімізації вартості схеми комплектуються реле контролю напруги лише на одній фазі. Такий підхід суттєво знижує селективність захисту, оскільки унеможливорює повноцінний моніторинг параметрів мережі на всіх трьох фазах.

Часові характеристики: тривалість перемикання для таких пристроїв зазвичай становить від 0,1 до 0,8 с.

Апарати, які побудовані на базі **автоматичних вимикачів з електричним приводом** (дистанційне керування), за своїми експлуатаційними показниками

ідентичні контакторним системам, проте мають суттєву перевагу у комутаційному ресурсі – зносостійкість становить від 3000 до 10000 циклів, що на порядок перевищує можливості стандартних контакторів (близько 1000 1 000 циклів).

Електронні пристрої АВР (Static Transfer Switches) [5]. В електронних модифікаціях АВР комутація електричних кіл здійснюється за допомогою статичних ключів – тиристорів або транзисторів.

Швидкодія: завдяки відсутності інерційних механічних частин час переходу на резервне джерело не перевищує 5 мс, що є критично важливим для живлення мікропроцесорної техніки та відповідальних технологічних процесів.

Надійність: ресурс напівпровідникових систем практично необмежений і за даними виробників перевищує 1000000 перемикачів.

Порівняльні характеристики типів АВР подано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики типів АВР

Параметр	Контакторні АВР	АВР на автоматичних вимикачах	Електронні АВР
Ресурс (циклів)	~ 1000	3000 – 10000	> 1000000
Швидкодія	0,1 – 0,8 с	Схожа з контакторними	до 5 мс
Блокування	Електричне + механічне	Електричне + механічне	Програмне/електронне

Враховуючи, що об'єктом прийняття рішень в кваліфікаційній роботі є котельня, то в сучасній практиці проектування таких систем електропостачання для забезпечення надійності необхідно два або більше незалежних джерел живлення (ДЖ). Розподільні мережі в таких системах, переважно функціонують за розімкненою (радіальною) архітектурою [6].

За такої топології джерела енергії працюють паралельно, проте без жорсткого електричного зв'язку між секціями, де кожна група електроприймачів (ЕП) отримує живлення від закріпленого за нею введення [6].

Вибір розімкненого режиму роботи мережі зумовлений необхідністю вирішення наступних інженерних завдань [7]:

- обмеження струмів короткого замикання ($KЗ$): відсутність паралельної роботи трансформаторів дозволяє знизити потужність $KЗ$ на шинах низької напруги, що дає змогу використовувати комутаційну апаратуру з меншою здатністю на вимикання;

- оптимізація релейного захисту ($PЗ$): використання радіальної схеми дозволяє оперативно спрацьовувати захисних пристроїв без необхідності впровадження складних спрямованих захистів;

- оптимізація рівнів напруги: полегшується контроль та регулювання напруги на окремих секціях шин при нерівномірному навантаженні.

Основним недоліком таких систем є знижений рівень живучості порівняно із замкненими мережами. Для нівелювання цього ризику та оперативного відновлення електроживлення при аварійних відключеннях основних джерел впроваджуються засоби автоматичного введення резерву (ABP).

Типові конфігурації підключення ABP .

Використання логіки ABP дозволяє автоматизувати процес перемикання на альтернативне джерело енергії у разі зникнення напруги на основному вводі. Залежно від первинної схеми мережі, пристрої ABP можуть бути реалізовані в таких варіаціях [5]:

- ABP на секційному вимикачі ($QЗ$): забезпечує зв'язок між двома секціями шин при відключенні одного з ввідних апаратів;

- ABP на резервній лінії: автоматичне підключення запасної лінії живлення у разі пошкодження основної магістралі;

- ABP резервного трансформатора: використовується на підстанціях, де один трансформатор перебуває в «гарячому» резерві;

- ABP власних потреб та електродвигунів: застосовується для критичних агрегатів (наприклад, насосів охолодження на $ГЕС$), в яких перерва в електропостачанні може призвести до аварії.

Найбільш поширеним у промисловій енергетиці є варіант із секційним вимикачем (рис.1.1). Його структурна логіка передбачає моніторинг стану ввідних вимикачів та наявності напруги на секціях. У разі аварійного вимкнення введення $Q1$, автоматика здійснює перевірку відсутності $KЗ$ на шинах та, за умови цілісності системи, подає команду на ввімкнення секційного апарата $Q3$, що дозволяє жити обидві групи споживачів від одного робочого джерела [5].

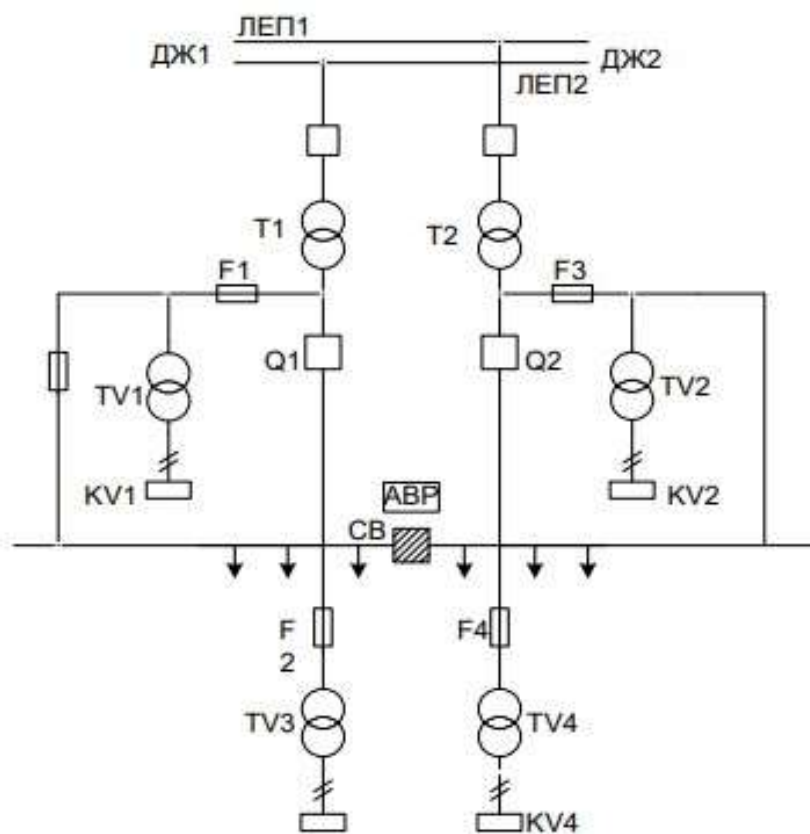


Рисунок 1.1 – Схема АВР з секційним вимикачем.

Заслуговує увагу АВР за схемою «основний – резервний» – класичне рішення для об'єктів, де чіткий розподіл джерел на основне (робоче) та резервне. Як правило, робочий ввід розрахований на повну потужність споживачів, тоді як резервний може бути представлений як окремою лінією від енергосистеми, так і автономним джерелом (дизель-генератором або акумуляторною установкою).

Логіка управління за означеною схемою базується на пріоритетності основного джерела. Алгоритм роботи можна розділити на кілька етапів [7]:

- моніторинг робочого вводу: контролер *ABP* або реле напруги постійно аналізує параметри мережі. Спрацювання ініціюється при виході напруги за встановлені межі, зникненні однієї з фаз або порушенні їх черговості.

- підтвердження резервного джерела: перед виконанням перемикання система автоматики обов'язково перевіряє наявність та стабільність напруги на резервному вводі – якщо напруга на резерві відсутня або не відповідає нормі, перемикання блокується.

- виконання комутації: подається команда на відключення основного комутаційного апарата ($Q1$). Через технологічну паузу (необхідну для гасіння дуги та підтвердження розмикання контактів) подається команда на ввімкнення резервного апарата ($Q2$).

Схема реалізації *ABP* «два робочі введення з секціонуванням» передбачає роздільну роботу двох секцій шин, кожна з яких отримує живлення від свого незалежного джерела (трансформатора або лінії). Між секціями встановлюється секційний вимикач ($Q3$), який у нормальному режимі перебуває у вимкненому стані.

Переваги схеми з секціонуванням [5]:

- рівномірне завантаження: обидва джерела працюють одночасно, що зменшує втрати енергії та забезпечує стабільний тепловий режим трансформаторів;

- висока живучість: при виході з ладу одного джерела, відповідальні споживачі продовжують роботу без тривалої перерви;

- зручність обслуговування: схема дозволяє виводити в ремонт будь-який трансформатор або лінію без повного знеструмлення об'єкта.

Натомість, для коректної роботи такої системи необхідно передбачити:

– часову селективність: затримка на ввімкнення $Q3$ повинна бути більшою за час спрацювання $P3$ на лініях, що відходять, щоб ABP не реагував на короточасні замикання у споживачів.

– контроль відповідності фази: при використанні функції само повернення (автоматичного переходу до нормального режиму після відновлення напруги) важливо уникати несинхронного включення джерел;

– систему блокування: крім програмних заборон у контролері, обов'язково застосовується електричне блокування через блок-контакти вимикачів, що фізично розриває коло ввімкнення $Q3$, якщо обидва введення $Q1$ та $Q2$ закриті.

Для найвищого ступеня надійності використовується схема реалізації ABP «два мережеві введення та дизель-генератором», яка розрахована на об'єкти особливої групи першої категорії надійності електропостачання, де навіть короточасна перерва у живленні може призвести до катастрофічних наслідків [8].

Дана архітектура передбачає наявність трьох незалежних джерел енергії: двох основних фідерів від енергосистеми та локальної електростанції (ДГУ) як джерела третього рівня (аварійного резерву).

Логіка роботи такої системи базується на ієрархічному принципі вибору джерела [7]:

– нормальний режим: живлення здійснюється від Введення № 1 або Введення № 2 (залежно від обраної стратегії – з секціонуванням або явним резервом);

– перший рівень аварії: при зникненні напруги на одному з мережевих введень автоматика здійснює перемикання на інший робочий ввід енергосистеми з мінімальним часом перемикання $0,1-0,8$ с;

– другий рівень аварії (*Total Blackout*): у разі повної втрати напруги на обох мережевих введеннях ініціюється запуск дизель-генератора. Алгоритм у цьому випадку стає складнішим:

– затримка на запуск: контролер витримує паузу (1...3 с), щоби виключити реакцію на короточасні провали напруги:

– команда "*Start*": Подається сигнал на запуск двигуна *ДГУ*;

– вихід на режим: система *ABP* очікує, поки генератор вийде на номінальні оберти та стабілізує вихідну напругу.

– приєднання навантаження: тільки після підтвердження готовності *ДГУ* закривається відповідний комутаційний апарат.

Щодо особливостей керування та блокування слід відзначити [7], що:

– реалізація такої схеми вимагає використання інтелектуальних контролерів *ABP*, які здатні керувати не лише контакторами, а й паливною системою та підігрівом двигуна *ДГУ*;

– функція «Охолодження *ДГУ*»: Після відновлення живлення від мережі система не вимикає генератор миттєво. Він працює на холостому ході протягом декількох хвилин для рівномірного охолодження вузлів двигуна;

– чотирьополюсна комутація: для систем із генератором часто вимагається від'єднання нейтрального провідника (4-полюсний автомат), для уникнення паразитних струмів та коректної роботи пристроїв захисного відключення.

– блокування: окрім стандартних електричних та механічних взаємозв'язків між мережевими введеннями, додається програмне блокування, що виключає подачу напруги від генератора до зовнішньої мережі (зворотна трансформація), що є критично важливим для безпеки ремонтних бригад.

Для об'єктивного вибору оптимальної конфігурації *ABP* необхідно провести зіставлення розглянутих вище схем за ключовими техніко-економічними показниками.

Порівняльний аналіз архітектури побудови систем *ABP* представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз архітектури побудови систем АВР

Параметр порівняння	Схема «основний + резервний»	Схема «два робочі введення з секціонуванням»	Схема «два мережеві введення та дизель-генератором»
Категорія надійності	I та II категорії	I та II категорії	Особлива група I категорії
Кількість джерел	2 (1 робоче, 1 резервне)	2 (обидва робочі)	3 (2 мережевих, 1 резервне)
Швидкодія	Висока (0,1–0,8 с)	Висока (0,2–1,0 с)	Мережа: висока; ДГУ: низька (10–30 с)
Комутаційний ресурс	Середній	Високий	Залежить від типу ДГУ
Складність логіки	Низька	Середня	Висока
Вартість логіки	Мінімальна	Середня	Максимальна
Енергоефективність	Низька (недовантаження резерву)	Висока (рівномірне навантаження)	Висока (при роботі від мережі)

1.2 Вимоги до АВР

Проектування та вибір апаратної бази автоматичного введення резерву повинні базуватися на сукупності нормативних вимог, що гарантують надійність та безпеку експлуатації електроустановок. Відповідно до галузевих стандартів та ПУЕ, до систем АВР висувуються такі ключові вимоги [9]:

А) Алгоритм та умови спрацювання.

Пристрій автоматики повинен ініціювати перемикання за таких умов:

– максимальна швидкодія: мінімізація паузи в електропостачанні після фіксації втрати напруги на основній лінії для підтримки безперервності роботи споживачів;

– універсальність реагування: активація при будь-якому зникненні напруги на шинах об'єкта, незалежно від характеру першопричини (пошкодження лінії, аварія на підстанції, тощо).

– селективність та блокування: логіка *ABP* повинна передбачати заборону на запуск при спрацюванні певних видів захисту. Зокрема, спрацювання дугового захисту шин або захисту від *КЗ* безпосередньо на секції має блокувати ввімкнення резерву, щоб запобігти подачі енергії на несправну ділянку та масштабному руйнуванню обладнання.

Б) Забезпечення надійності та запобігання аваріям:

– принцип одноразовості дії: автоматика повинна спрацьовувати суворо один раз за один цикл аварії. Це критично важливо для недопущення багаторазового ввімкнення системи на стійке *КЗ*, що може призвести до системної аварії та виходу з ладу силових трансформаторів;

– взаємне блокування джерел: згідно з вимогами *ПУЕ*, необхідно повністю виключити можливість паралельної роботи двох незалежних джерел живлення (якщо це не передбачено специфікою мережі). Для цього комутаційні апарати повинні мати дворівневе блокування: електричне (через допоміжні контакти) та механічне (шляхом встановлення спеціальних важелів або тросів).

В) Часові параметри та налаштування:

– регулювання часових затримок: система повинна мати гнучкі налаштування часу спрацювання. Наприклад, при само запуску потужних електродвигунів виникає короткочасне «просідання» напруги; у таких випадках *ABP* має витримувати паузу, щоб уникнути хибного перемикавання.

– врахування наявності *ДБЖ*: якщо в системі присутні джерела безперебійного живлення, вимоги до швидкодії *ABP* можуть бути пом'якшені, що дозволяє оптимізувати режим роботи комутаційних апаратів.

Г) Моніторинг параметрів та керування:

– контроль якості напруги: перш ніж ініціювати перехід на резерв, система автоматики зобов'язана перевірити наявність та відповідність параметрів напруги на резервному джерелі. Необхідно передбачити можливість налаштування «вікна» допустимих значень напруги (порогів спрацювання):

– інтерфейс та сервісні можливості: обов'язковою є наявність світлової індикації поточного стану (робота від мережі/резерву, наявність напруги, аварія) та забезпечення можливості переходу на ручне керування для проведення регламентних або ремонтних робіт.

1.3 Висновки до першого розділу

Для забезпечення надійної роботи котельні визначено доцільність використання радіальної схеми електропостачання з розімкненим режимом роботи джерел, що дозволить ефективно обмежити струми $KЗ$ та спростити логіку $PЗ$, проте вимагає обов'язкового впровадження систем ABP .

Проведений порівняльний аналіз технічних засобів показав, що для котельні за вхідними даними найбільш раціональним є застосування ABP на базі автоматичних вимикачів з електричним приводом, які забезпечують високий комутаційний ресурс та надійне механічне блокування.

З огляду на високу відповідальність споживачів котельні, обґрунтовано вибір трирівневої архітектури «2 мережевих введення + $ДГУ$ ».

Встановлено, що система ABP для котельні повинна реалізовувати складні алгоритми керування, що вимагає використання промислового контролера:

– принцип одноразовості дії для захисту системи від повторних ввімкнень на стійке $KЗ$;

– гнучке регулювання часових затримок для врахування пускових процесів та короткочасних провалів напруги;

– спеціальні сервісні функції $ДГУ$, такі як цикл охолодження двигуна та контроль параметрів паливної системи.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір силових елементів ланок електропостачання котельні

2.1.1 Аналіз вихідних даних

Електропостачання котельні здійснюється від окремих трансформаторних підстанцій $TM - 400/10/0,4 \text{ кВ}$ та $2 \times TM - 250/10/0,4 \text{ кВ}$ до ГРЩ, з клем запобіжників $ПН - 2$ з плавкими ставками на 200 А , які встановлені на панелі $РП - 0,4 \text{ кВ}$, підводиться у виконанні кабельними лініями $КЛ - 0,4 \text{ кВ}$, чотирижильним силовим броньованим кабелем $АПвББШп 4 \times 120 \text{ мм}$ $2 \times 240 \text{ мм}$ у землі.

Максимально допустима споживана потужність 90 кВт (112 кВА).

Параметри для проведення вибору силового обладнання [5]:

- допустимий струм при вказаному перерізу кабелю: $I_{\text{дон}} = 272 \text{ А}$;
- значення розрахункового струму на ланці $ТП - ГРЩ$: $I_{\text{р.ГРЩ}} = 172 \text{ А}$;
- значення розрахункового струму на котельні: $I_{\text{р}} = 130 \text{ А}$;
- значення розрахункового струму автоматичного вимикача: $I_{\text{р.АВ}} = 160 \text{ А}$;
- втрати напруги на котельні: трифазне; $\Delta u = 4,9 \%$;
- втрати потужності: трифазне; $380 - 400 \text{ В}$;
- реле контролю фаз (K): трифазне; $P_{\text{втр.}} = 1,65 \text{ кВт}$ ($1,45 \%$);
- проміжне реле (K): $24 \text{ В} - 12 \text{ В}$.

В якості додаткового джерела приймаємо дизель-генераторну установку $SDMO$ потужністю $P_{\text{Г}} = 132 \text{ кВА}$ від якої здійснюється електропостачання споживачів котельні при відсутності електропостачання на обох введеннях від $ТП$. Запуск та ввімкнення на навантаження проводиться в автоматичному режимі.

Однолінійна схема ГРЩ електропостачання котельні через дві незалежні лінії електропостачання при присутності альтернативного джерела живлення – дизель-генераторної установки з розподілом за секціями та елементами силового захисту представлено на рис. 2.1.

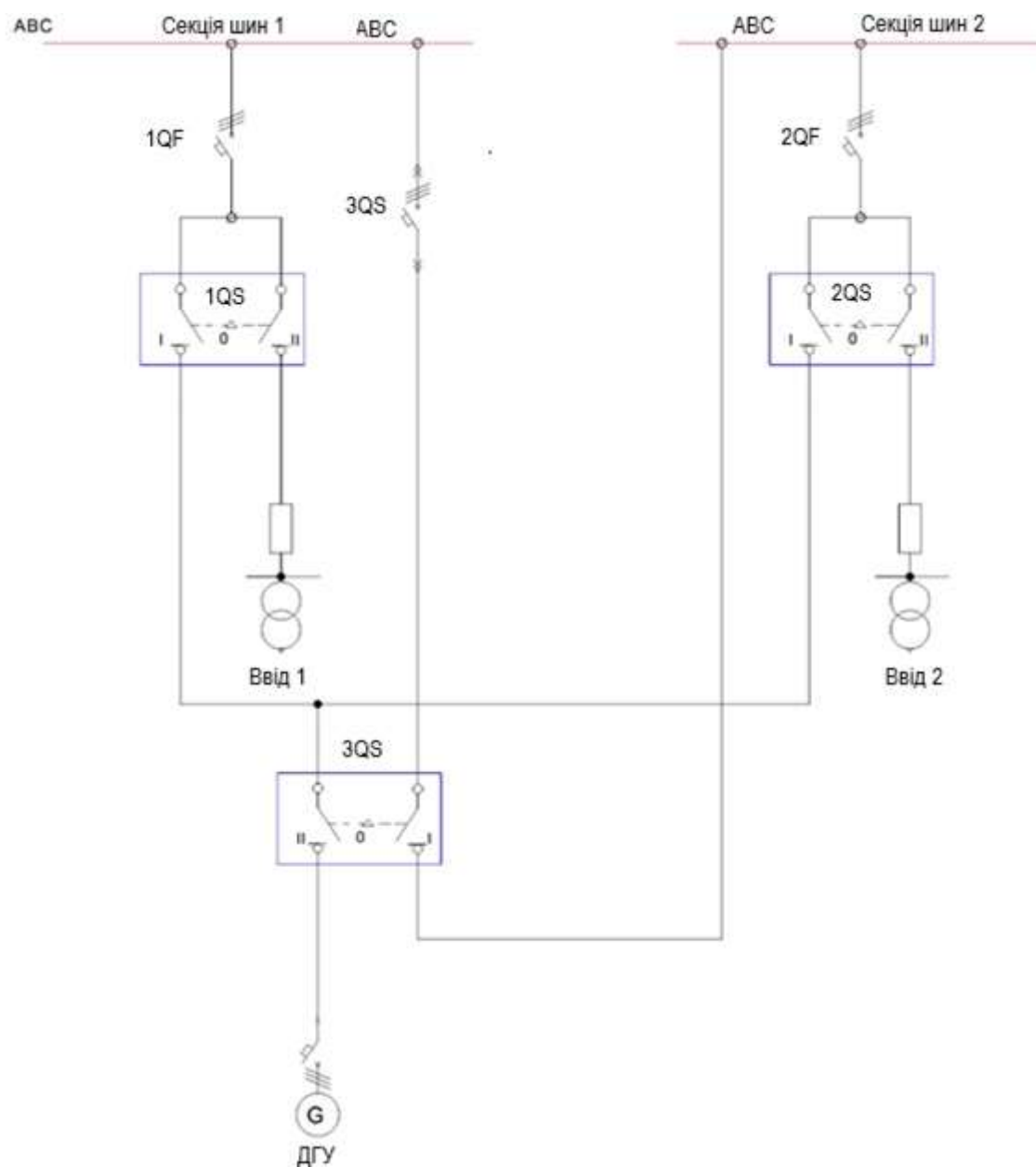


Рисунок 2.1 – Однолінійна схема ГРЩ.

На рисунку 2.1: Ввід 1, Ввід 2: 380 В; 50 Гц; ABC – чередування фаз; 1QF, 2QF, 3QF – вимикач триполюсний автоматичний; ; 1QS, 2QS, 3QS – вимикач

навантаження триполюсний реверсивний з моторним приводом; ДГУ – дизель-генераторна установка, як автономне джерело живлення.

2.1.2 Вибір силового обладнання

У відповідності до проведеного порівняльного аналізу щодо вибору силового обладнання для автоматичної системи ланок «два вводи – автономне джерело живлення» прийнято рішення використання обладнання фірми *ABB* [10].

Вибір автоматичного вимикача. Для встановлення в якості триполюсного автоматичного вимикача (*1QF*, *2QF*, *3QF*) вибираємо вимикач компанії *ABB* серії *Space Tmax XT3* – це силовий автоматичний вимикач, який виконаний в литому корпусі (*MCCB*) та призначений для захисту розподільчих мереж змінного струму, розміщенням у горизонтальному, вертикальному чи з кріпленням на монтажну плату чи рейку – без негативних впливів на номінальні характеристик та не схильний до вібрацій, що викликані механічними або електромагнітними впливами. Збільшені ізолюючі відстані забезпечують відсутність струмів витоку та надійну ізоляцію при великих перенапругах між входом та виходом. Конструкція забезпечує подвійну ізоляцію між силовими частинами, що знаходяться під напругою (рис. 2.2).

Компактні розміри та висока механічна міцність є важливими особливостями для встановленні в щитах *ABP* (*ГРЩ*) при інтенсивних режимах роботи [10].

Модель *Space Tmax XT3* встановлюється за номінальним струмом вимикача – 250 А.

Тип розчеплювача – термомагнітний (*TMD*) із захистом від перевантаження та миттєвого захисту від *K3* (здатність на вимкнення: 36 кА при напрузі 415 В); номінальний струм – 160 А.

Зносостійкість: механічна – 25000 операцій; електрична – 8000 операцій за напруги 415 В.

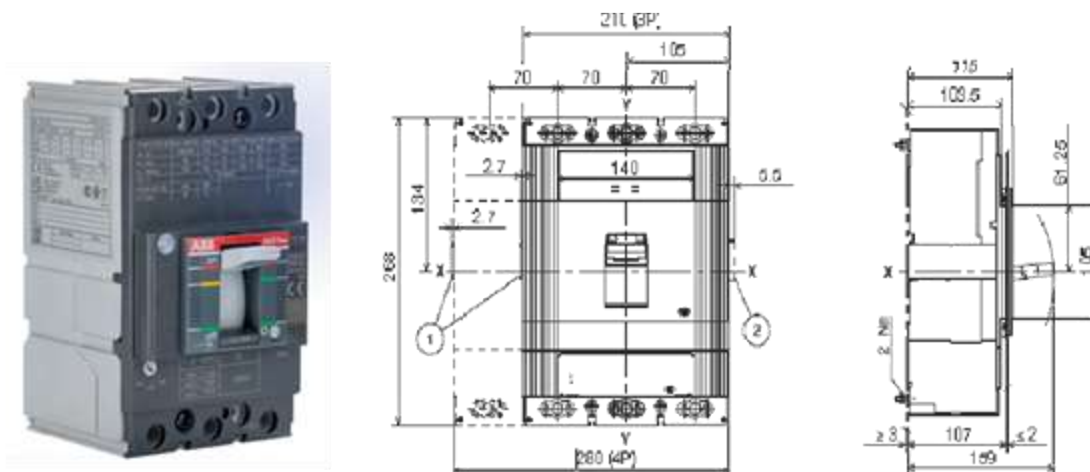


Рисунок 2.2 – Триполюсний автоматичний вимикач.

Вибір вимикача навантаження. Для встановлення в якості вимикача навантаження ($1QS$, $2QS$, $3QS$) вибрано триполюсний вимикач навантаження реверсивний з моторним приводом *ABB OTM*, в якому на відміну від класичних автоматів, вбудований механізм перемикач між джерелами з «гарантованим нульовим положенням», який забезпечується особливістю схеми контактної групи: електричний струм протікає найменш коротким шляхом між вхідним та вихідним затискачами, що суттєво знижує теплові втрати при тривалій роботі під навантаженням із-за мінімального опору контактів (рис. 2.3) [10].

Розрив фаз рубильника *OTM* відбувається одночасно в двох місцях, де при розмиканні створюються дві дуги, які практично миттєво охолоджуються в дугогасних камерах. Це дозволяє виконувати безпечно (навіть під напругою) перемикач великих індуктивних навантажень (димососи, двигуни насосів), запобігаючи іонізації повітря в корпусі рубильника.

В моделі *ABB OTM* виконано механізм «миттєвої дії» або незалежного ручного керування (*Quick – Make / Quick – Break*): натискання на ручку призводить до «заведення» внутрішньої пружини, яка в необхідний момент миттєво «вистрілює» розмикаючи/закриваючи контакти. Швидкість повертання

ручки не впливає на швидкість спрацювання контактів, що забезпечує стабільне гасіння дуги та усуває людський фактор (повільний розрив під навантаженням).

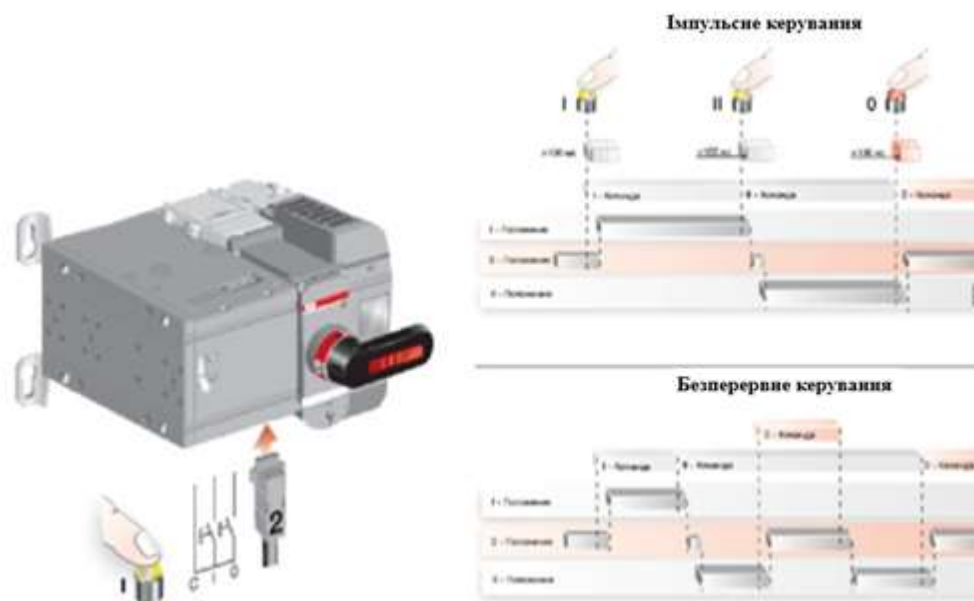


Рисунок 2.3 – Рубильник (автомат навантаження) *ABB OTM* .

При імпульсному керуванні (рис. 2.3) вимикач навантаження спрацює за допомогою електричних імпульсів, де, при натисканні кнопки здійснюється перехід у відповідне положення (I, "0", "II"). Забезпечення виконання певної дії означається тривалістю імпульсу керування, що становить ≥ 100 мс. Виконання наступної дії блокується, поки рубильник не виконає попередню команду.

При безперервному керуванні (рис. 2.3) дія на вимикач здійснюється безперервно та при натисканні кнопки керування рубильник переходить у відповідне положення ("I", "0", "II"), де положення «0» є пріоритетним, тобто, за одночасної подачі команди «0» й будь-який інший, реверсивний вимикач навантаження перейде в положення «0».

Описана модель реверсивного вимикача *ABB OTM* дозволяє виконання керування в ручному режимі. Для цього, необхідно виконати переведення перемикача з положення "Мотор / Ручне" в положення "Ручне" (*Man.*) при використанні ручки (рис. 2.4) – мотор-привід буде вимкнений і дистанційне

керування буде виконати неможливо. Експлуатація вимикача здійснюється встановленням ручки в будь-якому положенні ("I", "0", "II") (див. рис. 2.4). Запобігання дистанційному керуванню реверсивним рубильником здійснюється встановленням на фіксаторі замка.

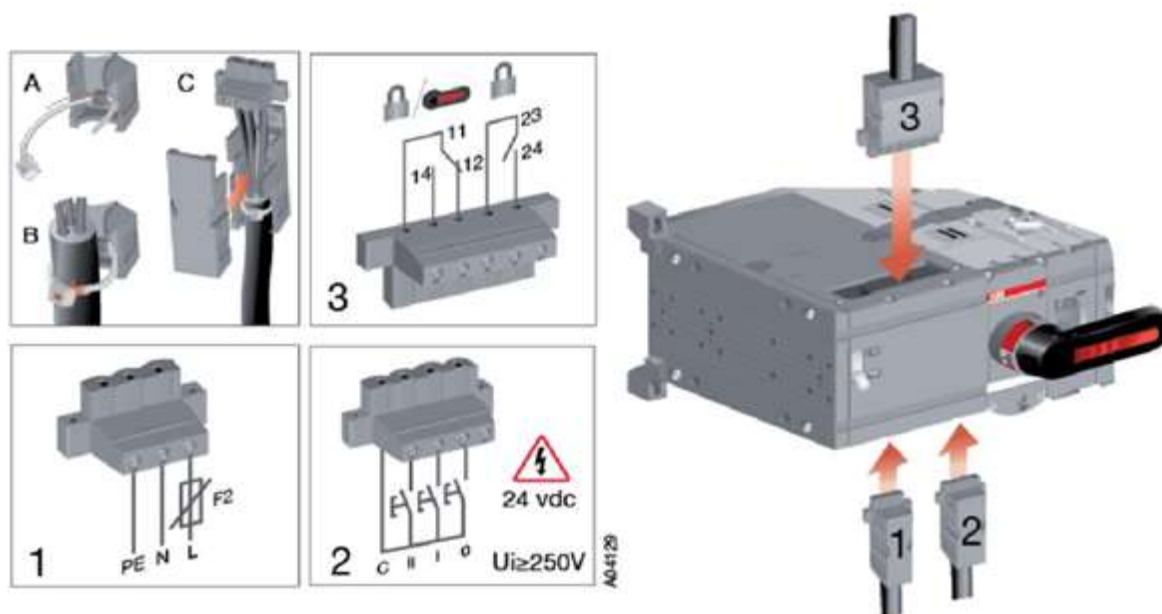


Рисунок 2.4 – Ланки керування в ручному режимі рубильником *ABB OTM* :

1 – роз'єднувачі для живлення мотор-приводу; 2 – кнопки керування; 3 – блокування керування.

Вибір реле контролю фаз. Для встановлення в якості реле контролю фаз (напруги) вибираємо реле компанії *ABB* серії *CM – ESS*, яке виконує функцію моніторингу параметрів електричної мережі з аналізом вхідної мережі на двох незалежних введеннях та автономному джерелі живлення (*ДГУ*) та здійснює контроль параметрів технологічного обладнання котельні (рисю 2.5) [10]:

– перенапруга (*Overvoltage*) – захист плат керування пальниками від стрибків напруги;

– зниження напруги (*Undervoltage*) – захист від «просідання» напруги для недопущення перегрівання двигунів насосів.



Рисунок 2.5 – Реле контролю фаз (напруги) *ABB CM – EES* .

Окрім цього конструктивними перевагами встановлення реле контролю фаз обраного типу є:

- забезпечення надійного з'єднання на клеммах реле (подвійна камера) враховуючи вібрації в приміщеннях з працюючими насосами (котлами);
- присутність регульованого гістерезису (5 – 30 %) для запобігання «деркотіння» контактів при коливанні напруги в пороговому діапазоні;
- забезпечення принципу «замкненого ланцюга» – при цілковитому зникненні напруги контакти реле розмикаються;
- ланки вимірювання та живлення й вихідна ланка виконані з гальванічною розв'язкою, де низька тривалість циклу вимірювання ($\leq 80 \text{ ms}$) дозволяє розпізнати зміну напруги.

Вибір проміжного реле. Для встановлення в якості проміжного реле, як допоміжного обладнання, вибираємо реле компанії *ABB* серії *CR – M* (*Miniature Relays*), яке виконує функцію обмеження струмів комутації між потужними мотор-приводами *OTM* та контролером (особливо в момент запуску) і захищає виходи від перенапруги (рис.2.6) [10].

Вибрана модель *CR – M* двох контактна зі струмами контактів 12 A і вбудованим світлодіодом (*LED*) для контролю спрацювання та механічною фіксацією стану та котушками напруги: *DC* – $12, 24, 48 \text{ B}$; *AC* – $110, 230 \text{ B}$.

Кнопка тестування дозволяє виконати перевірку роботи мотор-приводу *ОТМ* в ручному режимі.



Рисунок 2.6 – Проміжне реле *ABB CR – M* .

Окрім, конструктивними особливостями проміжного реле в ланках електропостачання котельні є:

- присутність гальванічної розв'язки для забезпечення електричної ізоляції між силовими ланками $230 / 400 \text{ В}$ та ланками керування 24 В ;
- використання змінної вставки (*Plug – in*) в розетці типу *CR – M2LS* для швидкої заміни реле без демонтажу дротів (до 10 с).

Вибір контрольно-керуючого модуля ДГУ.

В якості керуючого модуля до додаткового джерела електропостачання (*ДГУ SDMO*) при відсутності електропостачання від головних підстанцій, вибираємо мікропроцесорний контролер *MICS Nexus* [10], який є ланкою зв'язку силової установки (*ДГУ*) з системою *АВР* та призначений для автоматизації роботи *ДГУ* шляхом керування двигуном та генератором (рис. 2.7, а).

Модуль здійснює керування та контроль: повним циклом запуск–зупинка в автоматичному режимі; захистом двигуна з миттєвим зупином при аварії; параметрів напруги (V), частоти ($Гц$), струму (A).

Робота модуля *MICS Nexus* здійснюється на напрузі 12 В (від акумулятора *ДГУ*).

На лицьовій панелі (рис. 2.7, б) розташовані: кнопка аварійного зупинки ДГУ вимикач живлення *ON/OFF*, запобіжник, кнопки *START*, *STOP*; світлодіодну сигналізацію індикаторів станів "*Готовність*", "*Робота*", "*Загальна аварія*"; дисплей для відображення мотогодин, напруги АКБ, коду помилок.



а)



б)

Рисунок 2.7 – Модуль *MICS Nexus* (а) та лицьова панель (б).

Основні переваги використання модуля *MICS Nexus* в системі електропостачання котельні:

- безпека: контролює стан двигуна (холодний, несправний) перед під'єднанням до навантаження;
- автономність: контролює заряд акумулятора ДГУ, що забезпечує готовність до старту;
- в режимі дистанційного запуску ("*Remote Start*") має вхід для замикання проміжного реле *ABB CR-M* за командою основного контролера.

В ручному режимі, запуск ДГУ здійснюється встановленням ключа перемикача на "*ON*", що супроводжується світінням індикаторів за коректної

роботи. Якщо установка передбачає запуск підігрівача повітря необхідно задіяти кнопку "*START*", час активації якого відбувається з 10-секундною затримкою.

Зупинка роботи *ДГУ* здійснюється натисненням кнопки "*STOP*".

В автономному режимі, запуск *ДГУ* здійснюється зовнішніми командами на запуск, що супроводжується відгуком світловими індикаторами станів в залежності від необхідності підігріву повітря або при запуску напряму.

Після відміни зовнішньої команди на запуск (відновлення електропостачання від мережі), *ДГУ* зупиняється та світловий індикатор "*AUT*".

Слід зауважити, що модуль *MICS Nexus* не керує *ABP* (керування *ABP* здійснюється автоматично). Єдиний зв'язок між модулем *MICS Nexus* та *ABP* – це зовнішня команда на запуск.

Натискання кнопки "*STOP*" під час роботи *ДГУ* в автоматичному режимі призводить до її зупинки, як при надходженні сигналу "*Загальна аварія*".

Аварійна зупинка *ДГУ* здійснюється натисненням кнопки "*Загальна аварія*". Після усунення причини установу *ДГУ* (низький тиск масла; висока температура охолоджувальної рідини; висока частота обертання ротора; низька вихідна напруга генератора; низький рівень палива) установку можна запустити повернення кнопки аварійної зупинки в вихідне положення обертанням за годинниковою стрілкою з подальшим поверненням вимикача в "*OFF*" а потім в "*ON*".

Для здійснення оперативного керування магнітними пускачами (контакторами) та реле автоматики електричних ланок як змінного так і постійного струму вибираємо вимикачі *IEK* зі ступенем захисту *IP40*.

Вибір монтажної шафи *ГРЩ*. Для монтажу щитів автоматики та керування, пунктів розподілу, силових щитів вибираємо корпус шафи *ГРЩ* з монтажною панеллю *ЩМП* зі ступенем захисту *IP54*, де, з врахуванням можливості підвищеної вологості в котельні, забезпечуємо герметичність

корпусу застосуванням ущільнювача на дверцятах та покриття (порошкове) стійке до корозії й температурних перепадів [11].

Враховуючи переріз кабелів, які підводяться до шафи *ГРЩ* ($70 - 90 \text{ мм}^2$) та габарити рубильників *ОТМ* розміри щита (рис. 2.8): *H*(висота) – 800 мм; *W*(ширина) – 650 мм; *D*(глибина) – 300 мм. Для встановлення промислового контролера та реле *СМ – ESS* на панель встановлюємо *DIN* – рейки, силове обладнання *ABB* кріпимо болтами.



Рисунок 2.8 – Монтажна шафа.

Особливості використання монтажною панелі *ЩМП* в приміщенні котельні:

- універсальність: можливість встановлення компонентів різного типорозміру без прив'язки до модульних кроків;
- відведення тепла: металевий корпус та вибраний об'єм сприяє використанню пасивного охолодження контролера та реле.

Вибір промислового контролера. В якості основного контролера в системі *ABP* при електропостачанні котельні приймаємо блок компанії *Siemens* на основі програмованого логічного модуля *LOGO!*, який в якості «інтелектуального центру» узгоджує роботу вимикача навантаження (рубильника) *ABB ОТМ*, реле *СМ – ESS* й генератора з модулем *MICS Nexys*

[10].

Вбудований рідкокристалічний екран з можливістю зміни кольору при різних режимах роботи контролера забезпечую оцінювати стан виходів/входів і змінювати часові затримки, працює на ланках постійного струму напругою 24 В (АКБ генератора), дистанційне керування здійснюється через вбудований порт RJ45 (інтерфейс *Ethernet*) (рис. 2.9).

Контролер містить 8 дискретних входів (*Inputs*) до яких під'єднуються: реле контролю фаз *ABB CM – ESS* та сигнали зворотного зв'язку від *ОТМ* та 4 релейних виходів (*Outputs*), через які здійснюється керування проміжними реле *ABB CR – M*, що запускають мотор-привід і *ДГУ*.

Кожен модуль оснащений пам'яттю програм, що дозволяє використовувати до 200 логічних блоків при побудові програми.

Усі модулі *LOGO!* монтуються на профільну шину *DIN* (35 мм) або плоску поверхню. Об'єднання логічних модулів та модулів розширення в єдиний пристрій здійснюється через внутрішню шину.

Можливість з'єднання різних модулів між собою можлива лише за відповідністю одного модуля іншому. Всі модулі оснащені пазами кодування, що дозволяє уникнути помилок при монтажі, а модулі розширення оснащені кодовими штифтами. Здійснити підключення до внутрішньої шини можливе лише у випадку, якщо кодові штифти на модулі розширення точно збіглися з попереднім модулем. Вихідний модуль та система монтажу на ньому модулів розширення представлений на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Промисловий контролер.

Програмування модулів *LOGO!* можна реалізувати або встановленням заздалегідь запрограмованого картриджа пам'яті, або перенесенням програми в пам'ять модуля *LOGO!*. У модулях *LOGO!Basic* цю операцію можна здійснити за допомогою вбудованої системи меню. У всіх модулях *LOGO!*, які не мають вбудованої програми меню, ця операція виконається автоматично після встановлення запрограмованого картриджа пам'яті та ввімкнення живлення модуля.

При роботі в системі *ABP* модулі *LOGO!* мають ряд функціональних можливостей [11]:

- логіку пріоритетів: можливість виконання покрокових алгоритмів, наприклад: відсутність електропостачання на вводах 1 та 2 призводить до запуску *ДГУ* через 5 секунд із наступним перемиканням на *ДГУ* через 10 секунд;
- управління навантаженням: модуль *LOGO!* може вмикати насосне обладнання котельні при відновленні електропостачання основними лініями мережі для усунення перевантаження *ДГУ* струмами запуску;
- *WEB*- сервер: можливість оцінки стану мережі живлення котельні на планшеті (смартфоні) при під'єднанні до локальної мережі.

2.2 Висновки до другого розділу.

У другому розділі проведено повний комплекс проектно-конструкторських робіт щодо вибору та обґрунтування силового обладнання й засобів автоматизації для системи електропостачання котельні.

Обґрунтовано конфігурацію системи живлення: обрана схема «два незалежних введення + автономне джерело (ДГУ)» забезпечує I категорію надійності електропостачання, що є критично важливим для безперебійної роботи котельного обладнання (насосів, димососів) у разі аварійних ситуацій на основних лініях.

Здійснено вибір силового захисного обладнання:

- встановлено автоматичні вимикачі серії *Space Tmax XT3*, які забезпечують надійний термомагнітний захист від перевантажень та струмів КЗ;
- для перемикання між джерелами живлення обрано реверсивні вимикачі навантаження *ABB OTM* із мотор-приводом, що гарантує безпечний розрив ланцюга та унеможливорює людський фактор завдяки механізму «миттєвої дії».

Визначено склад системи моніторингу та керування:

- застосування реле контролю фаз *ABB CM – EES* дозволяє безперервно аналізувати параметри напруги (перенапруга, «просідання», асиметрія), захищаючи електронні плати пальників та обмотки електродвигунів;
- використання проміжних реле *ABB CR – M* забезпечує необхідну гальванічну розв'язку між низьковольтними ланцюгами контролера та силовими приводами.

Інтегровано «інтелектуальний центр» керування: основі програмованого логічного модуля *Siemens LOGO!* реалізовано алгоритм автоматизації *ABP*. Це дозволяє гнучко налаштувати часові затримки (наприклад, 5 с на запуск ДГУ та 10 с на перемикання навантаження), здійснювати покрокове підключення насосного обладнання для усунення пускових перевантажень.

Вирішено питання конструктивного виконання: обрано монтажну шафу

ІЕК серії *ЩМП* зі ступенем захисту *IP 54*, що в поєднанні з порошковим покриттям забезпечує довговічність обладнання в умовах підвищеної вологості та вібрацій, характерних для приміщень котельнь.

Таким чином, запропонований комплекс обладнання створює цілісну, відмово стійку систему, яка відповідає сучасним вимогам енергобезпеки та автоматизації технологічних процесів.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Опис процесу аварійного ввімкнення резерву котельні

Якісні характеристики напруги на основних введеннях електропостачання котельні та при підключенні до ДГУ (генераторний режим) безперервно контролюються реле напруги *ABB CM – ESS*. Пристрої миттєво формують сигнал на вхід контролера *Siemens LOGO!* у випадках [12]:

- підвищення або зниження напруги відносно номінального значення (захист автоматики котлів);
- повного зникнення однієї або кількох фаз;
- порушення порядку чергування фаз (захист двигунів насосів від зворотного обертання).

При виявленні неприпустимої якості електроенергії на робочому введенні, контролер *Siemens LOGO!* з програмною витримкою часу (для ігнорування перехідних процесів) подає команду на мотор-привід відповідного вимикача навантаження *ABB OTM*. Пристрій переводиться в положення "Відключено" (0), після чого автоматично проводиться включення секційного вимикача для здійснення електропостачання котельні від резервного мережевого введення.

Особливість: повернення системи у вихідний стан після стабілізації мережі може здійснюватися в автоматичному режимі (з пріоритетом введення) або вручну персоналом, залежно від налаштувань контролера.

У випадку одночасного припинення електропостачання від обох мережевих введеннях, логіка *Siemens LOGO!* ініціює наступну послідовність [13]:

- формується сигнал на запуск дизель-генераторної установки через контролер *MICS Nexys*;
- після виходу двигуна на робочі оберти та завершення часу прогріву,

автоматика *ABP* через мотор-привід *ABB OTM* вмикає *ДГУ* під навантаження.

Використання подвійного розриву контактів у рубильнику *OTM* фізично нівелює «зустрічне» ввімкнення генератора на зовнішню мережу, гарантуючи безпеку персоналу обслуговування.

Реалізація складних алгоритмів перемикання здійснюється за допомогою програмованого контролера *Siemens LOGO!*, який встановлений на панелі управління. Спеціалізоване програмне забезпечення гарантує:

- електричне та логічне блокування, що усувають паралельну роботу трансформаторів або інших джерел як при стаціонарному режимі, так і під час процесів комутаційних перемикань;

- ступеневий запуск насосної групи котельні для запобігання перевантаженню генератора 112 кВА пусковими струмами.

- механічну надійність: швидкість розриву силових контактів *ABB OTM* здійснюється окремо від сигналу, що забезпечує стабільне гасіння дуги.

3.2 Режими управління апаратами введення

Режими управління апаратами введення *ABB OTM* та *Siemens LOGO!* поділяються на [11]:

- автоматичний (керування контролером за даними реле *CM – ESS*);
- дистанційний (електричне керування з панелі);
- ручний (аварійний механічний режим із блокуванням приводу).

Система забезпечує надійне перемикання електропостачання, за винятком зустрічного ввімкнення джерел.

Система керування апаратами введення промислової котельні за вихідною повною потужністю 112 кВА передбачає наступну ієрархію режимів та блокування:

A) Вибір режиму керування.

Перемикач на лицьовій панелі дозволяє встановити один із п'яти основних

станів автоматики:

– «*Вимкнено*» – повна де активація сигналів керування, яка використовується для безпечного обслуговування щита;

– «*Дистанційний режим*» – оперативне керування вимикачами навантаження здійснюється вручну з панелі (через мотор-привід *ОТМ*);

– «*Автоматичний режим: живлення від Введення 1*» – пріоритетна робота на першому введенні (друге – у резерві чи ремонті). При аварії першого введення *Siemens LOGO!* ініціює запуск дизель-генератора через модуль *MICS Nexys*;

– «*Автоматичний режим: живлення від Введення 2*» – аналогічно попередньому, але для випадків виведення першого введення в ремонт. При відмові другого джерела система автоматично перемикається на *ДГУ*.

– штатний режим роздільного електропостачання секцій шин. При втраті напруги на одному з введень, контролер вмикає секційний вимикач. При повному вимкненні обох джерел (введень) виконується запуск та під'єднання *ДГУ* після фази прогріву.

Б) Система обов'язкового блокування.

Незалежно від режиму роботи (автоматичний чи дистанційний), контролер *Siemens LOGO!* разом з апаратною логікою *ABB* гарантує:

– не допущення паралельної роботи трансформаторів – виключає спрацювання секційного вимикача, якщо обидва вхідні вимикачі закриті (I+I), що захищає мережу від перевантаження та зрівняльних струмів;

– заборону використання *ABP* при аварії на шинах – при спрацюванні захисту відсіканням автоматичного вимикача (коротке замикання на головних шинах котельні), автоматика *ABP* блокується, щоби не подати напругу на пошкоджену ділянку.

– захист від зустрічного ввімкнення – схемна реалізація мотор-приводу *ОТМ* виключає можливість подачі напруги від *ДГУ* в зовнішню мережу.

В) Технічна реалізація через *Siemens LOGO!*.

Для кожного з описаних режимів встановлене в контролері спеціалізоване програмне забезпечення зчитує положення багатопозиційного перемикача та формує відповідні ланцюги дозволів для виконання команд.

На лицьовій панелі, ввідних та секційних комірках встановлене світлосигнальне обладнання, за допомогою якого виконується індикація положень автоматичних вимикачів, обраного режиму управління, наявності напруги живлення на введеннях. Аналогічно, інформація дублюється на дисплеї контролера.

Реалізуємо схему роботи «Введення 1» та опишемо порядок дій (табл. 3.1).

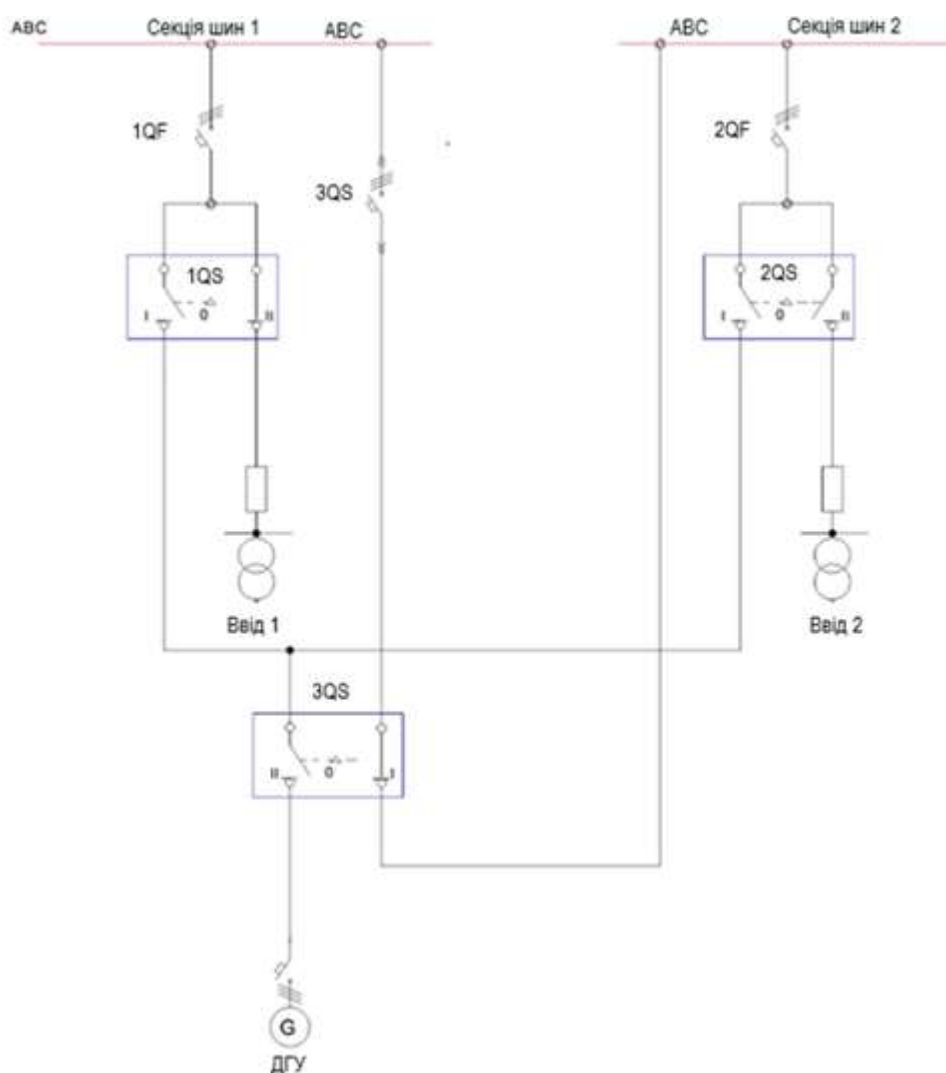


Рисунок 3.1 – Однолінійна схема: Робота «Введення 1».

Таблиця 3.1 – Порядок роботи «Введення 1»

Дія	Порядок	Назва сигналу
Запуск	1	На контролер команда "СТАРТ"
Перевірка стану <i>ОТМ</i>	2	<i>QS</i> 1, 2, 3; Положення «0» Готовий, «1», «2»
Стан реле <i>K2</i> , <i>K3</i>	3	<i>2QF</i> в положенні «Немає живлення», Робота за <i>K1</i> <i>3QF</i> в положенні «Живлення», Робота за <i>K1</i>
Реле <i>K1</i>	4	<i>1QF</i> в положенні «Ввимкнено»
Команда на <i>KV</i>	5	<i>1QS</i> спрацював, під'єднати до мережі (II)
Запуск секції <i>ОТМ</i>	6	<i>3QS</i> спрацював, під'єднати до мережі (II)
Реле <i>K1</i> «Вимкнено»	7	Перевірка <i>2QF</i> , якщо «ні» під'єднати до <i>ДГУ</i>
"STOP" <i>ОТМ</i>	8	<i>1QS</i> та <i>3QS</i> вимкнуті (0)

Реалізуємо схему роботи «Введення 2» та опишемо порядок дій (табл. 3.2).

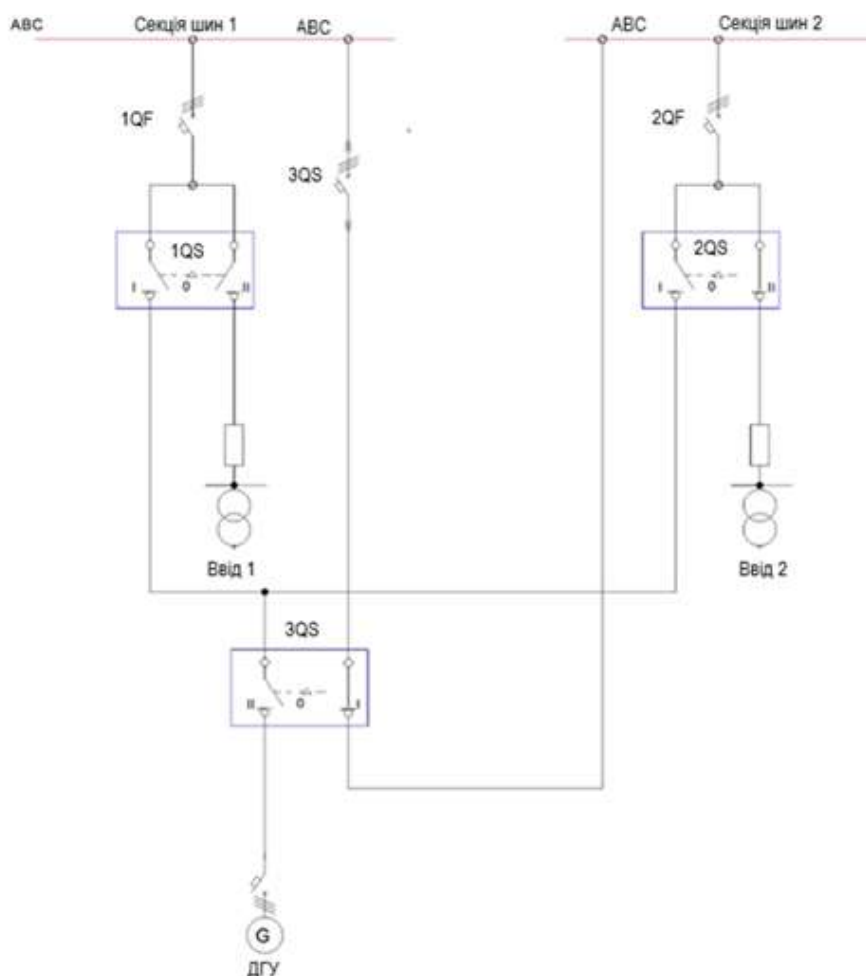


Рисунок 3.2 – Однолінійна схема: Робота «Введення 2».

Таблиця 3.2 – Порядок роботи «Введення 2»

Дія	Порядок	Назва сигналу
Запуск	1	На контролер команда "СТАРТ"
Перевірка стану <i>ОТМ</i>	2	<i>QS</i> 1, 2, 3; Положення «0» Готовий, «1», «2»
Стан реле <i>K1</i> , <i>K3</i>	3	<i>1QF</i> в положенні «Немає живлення», Робота за <i>K2</i> <i>3QF</i> в положенні «Живлення», Робота за <i>K2</i>
Реле <i>K2</i>	4	<i>2QF</i> в положенні «Ввімкнено»
Команда на <i>KV</i>	5	<i>2QS</i> спрацював, під'єднати до мережі (II)
Запуск секції <i>ОТМ</i>	6	<i>3QS</i> спрацював, під'єднати до мережі (II)
Реле <i>K2</i> «Вимкнено»	7	Перевірка <i>1QF</i> , якщо «ні» під'єднати до <i>ДГУ</i>
"STOP" <i>ОТМ</i>	8	<i>2QS</i> та <i>3QS</i> вимкнуті (0)

Реалізуємо схему роботи «ДГУ» та опишемо порядок дій (табл. 3.3).

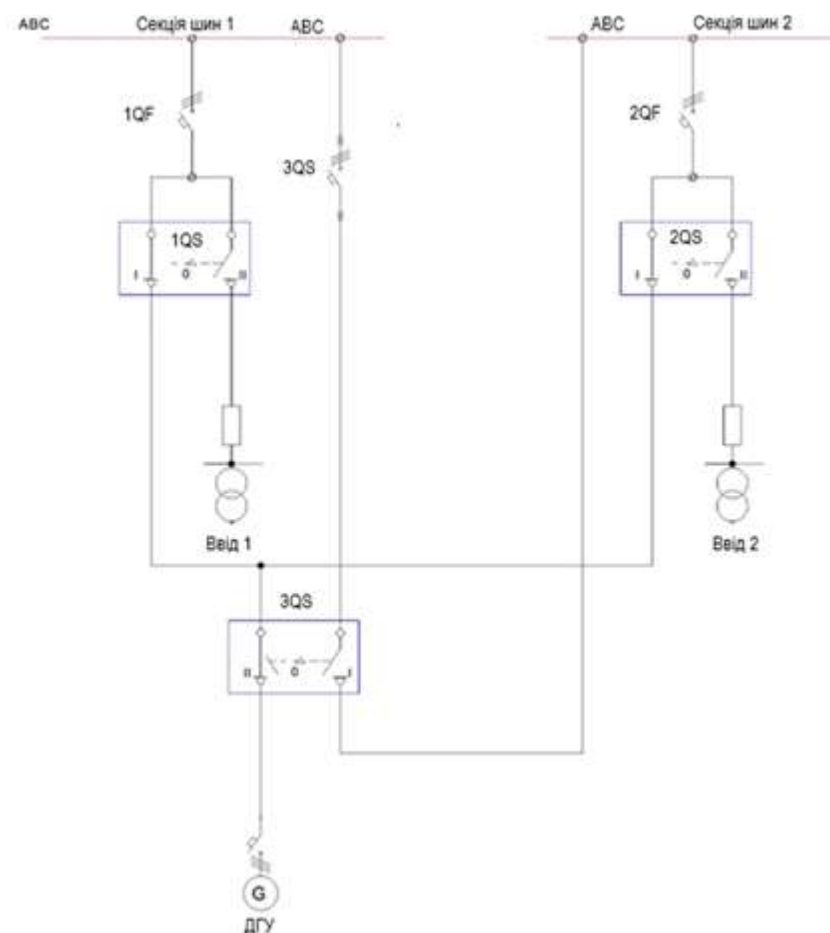


Рисунок 3.3 – Однолінійна схема: Робота «ДГУ».

Таблиця 3.3 – Порядок роботи «ДГУ»

Дія	Порядок	Назва сигналу
Запуск	1	На контролер команда "СТАРТ"
Перевірка стану <i>ОТМ</i>	2	<i>QS</i> 1, 2, 3; Положення «0» Готовий, «1», «2»
Стан реле <i>K1</i> , <i>K3</i>	3	<i>1QF</i> в положенні «Немає живлення», Робота за <i>K3</i> <i>2QF</i> в положенні «Немає живлення», Робота за <i>K3</i>
Реле <i>K3</i>	4	<i>4QF</i> в положенні «Ввімкнено»
Команда на <i>KV</i>	5	<i>1QS</i> , <i>2QS</i> спрацював, під'єднати до мережі (I)
Контроль напруги на «Введення 1», «Введення 2»	6	<i>3QS</i> «Вимкнено» (0), Повернення до <i>K1</i> або <i>K2</i> , якщо на <i>K1</i> або <i>K2</i> появиться напруга
Запуск «ДГУ»	7	Дозвіл на автоматичний запуск <i>ДГУ</i>
«ДГУ» (I)	8	<i>3QS</i> , секції об'єднати (I) Контроль блокування рубильника

3.3 Моделювання аварійного введення резерву

Для реалізації забезпечення роботи промислового контролера *Siemens* було обрано програмне забезпечення *LOGO! Soft Comfort*, яке дозволяє здійснювати розробку та налагодження програм для логічних модулів *LOGO!*, може бути використаний у клієнт/серверних додатках та забезпечує максимальну зручність розробки, налагодження, документування та архівування програм логічних модулів *LOGO!*. Підтримує програмування у вигляді функціональних блоків та релейно-контактних схем. Приклад побудови роботи *АВР* подано на рис.3.4 [13].

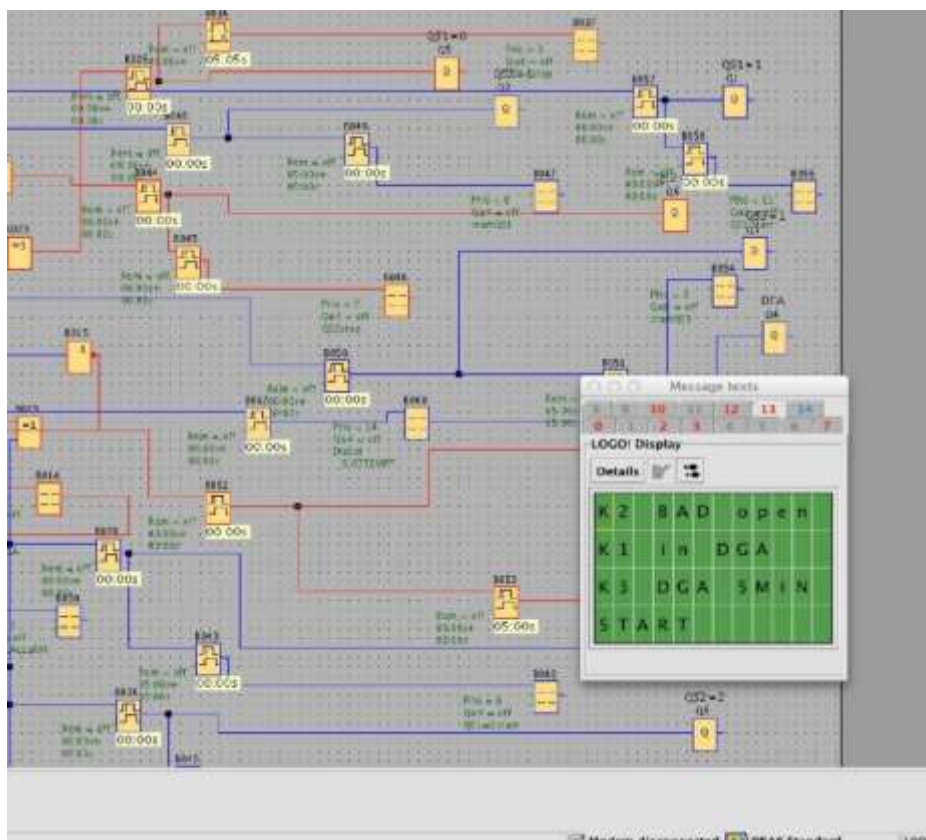
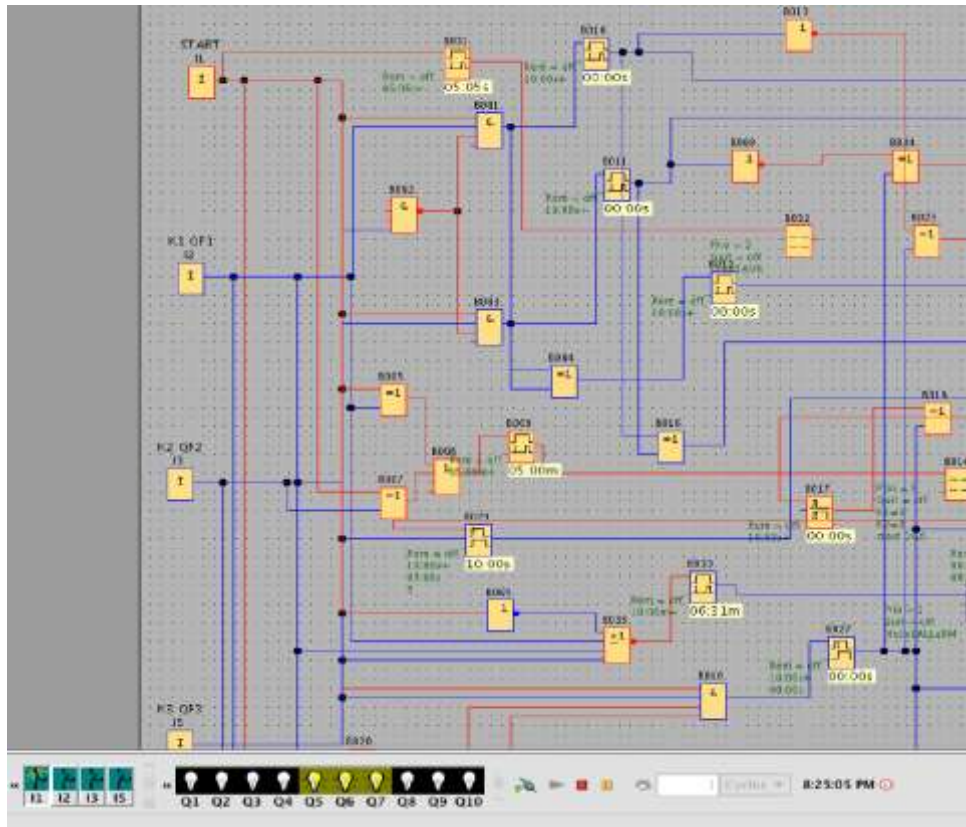
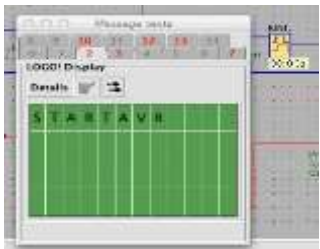
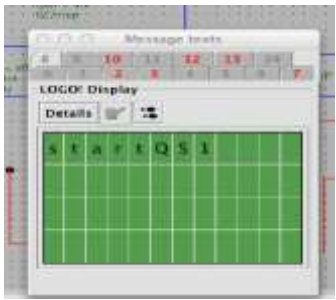
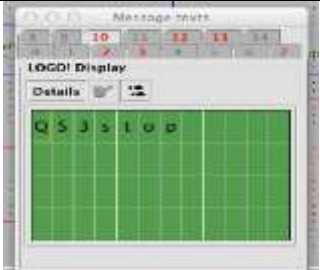


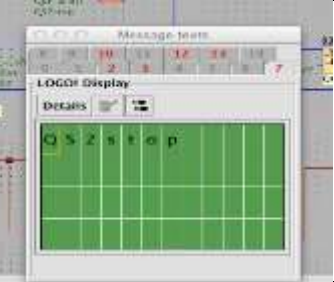

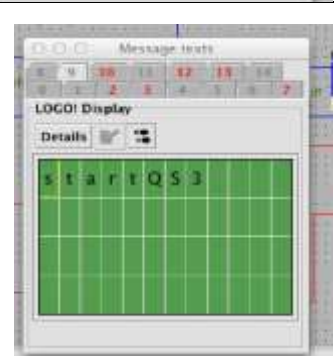




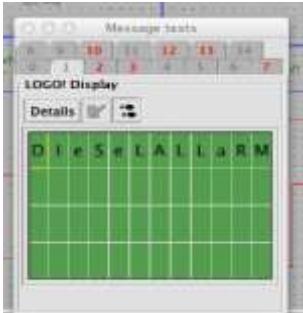
Рисунок 3.4 – Середовище розробки *LOGO! Comfort*.

Спливаючі меню на рис.3.4 призначене для відображення подій, які відбулися в системі. Проведемо аналіз повідомлень по мірі виникнення подій у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Аналіз повідомлень при виникненні подій при роботі мережевої системи з *ABP*

Найменування стану	Можливі варіанти значень
Стан <i>ABP</i>	<ul style="list-style-type: none"> – «Відключений» – «Робота» 
Режим <i>ABP</i>	<ul style="list-style-type: none"> – «Відключений» – «Дистанційний» – «Автоматичний» від «Введення 1» – «Автоматичний» від «Введення 2» – «Автоматичний» від «Введення 1» та «Введення 2» 
Блокування рубильника	<ul style="list-style-type: none"> – «Ні» – «Блокування» 
Рубильник <i>IQS</i>	<ul style="list-style-type: none"> – «Відключений» (0) – «Живлення від ДГУ» (I) – «Живлення від мережі» (II) – «Некоректний стан» 
Автомат <i>IQF</i>	<ul style="list-style-type: none"> – «Відключений» – «Включений» – «Спрацював розчеплювач» 

Найменування стану	Можливі варіанти значень	
Рубильник <i>2QS</i>	<ul style="list-style-type: none"> – «Відключений» (0) – «Живлення від ДГУ» (I) – «Живлення від мережі» (II) – «Некоректний стан» 	
Автомат <i>2QF</i>	<ul style="list-style-type: none"> – «Відключений» – «Включений» – «Спрацював розчеплювач» 	
Рубильник <i>3QS</i>	<ul style="list-style-type: none"> – «Відключений» (0) – «Секції об'єднані» (I) – «Живлення від ДГУ» (II) – «Некоректний стан» 	
Автомат <i>3QF</i>	<ul style="list-style-type: none"> – «Відключений» – «Включений» – «Спрацював розчеплювач» 	
<i>ДГУ</i>	<ul style="list-style-type: none"> – «Відключений» – «Включений» 	

Найменування стану	Можливі варіанти значень
<i>ДГУ</i>	– «Аварія» 

Часові вставки при виконанні операцій спрацювання блоків в системі роботи *ABP* подані в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Часові вставки при виконанні операцій

Назва рядка	Обмеження виконання (min/ max), с	Призначення
Час затримки включення	1/1000	Вставка таймеру затримки ввімкнення <i>ABP</i>
Час ходу рубильника	1/8	Вставка таймеру ходу рубильника
Час прогріву <i>ДГУ</i>	1/3000	Вставка таймеру прогріву <i>ДГУ</i>
Час затримки запуску <i>ДГУ</i>	0/3000	Вставка таймеру затримки запуску <i>ДГУ</i>
Час затримки зупинки <i>ДГУ</i>	0/3000	Вставка таймеру затримки зупинки <i>ДГУ</i>
Час перевірки стану	1/100	Вставки таймеру перевірки стану системи
Час зникнення напруги на введенні	1/100	Вставка таймера зникнення напруги на введенні
Час відновлення напруги на введенні	5/3000	Вставка таймера відновлення напруги на введенні 1, 2
Режим відновлення <i>ДГУ</i> *	0/2 викл./вкл.	(0) – однократний (I) – відновлення після відключення введення 1, 2 (II) – повне відновлення

* – при режимі (II) (повне відновлення) здійснюється автоматичний перехід роботи від *ДГУ* до роботи на введення 1, 2 за умови присутності на них напруги.

3.4 Висновки до третього розділу

У третьому розділі описано алгоритм розробки та моделювання системи АВР для промислової котельні:

– обґрунтовано логістику перемикання: встановлено, що система забезпечує безперервний контроль параметрів напруги за допомогою реле напруги;

– розроблено багаторівневу ієрархію керування: система підтримує п'ять основних режимів роботи (*Stop*, *Ручний*, два режими пріоритету введення та комбінований режим), що дозволяє адаптувати електропостачання котельні до поточних експлуатаційних потреб або ремонтних робіт.

Сформовано комплексний алгоритм роботи з ДГУ: Деталізовано послідовність дій при повному зникненні мережевого живлення, включаючи автоматичний запуск, фазу її прогріву та ступеневий запуск насосної групи для запобігання перевантаженню альтернативного джерела живлення пусковими струмами.

Забезпечено технічну безпеку та блокування: шляхом використання мотор-приводів та програмної логіки контролера реалізовано систему механічного та електричного блокування, що повністю виключає можливість «зустрічного» ввімкнення генератора в зовнішню мережу та паралельну роботу трансформаторів, що гарантує безпеку персоналу та цілісність обладнання.

Виконано програмне моделювання у середовищі *Siemens LOGO!* та створено модель системи керування.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Заходи з безпеки життєдіяльності на об'єктах теплоенергетики

Експлуатація котелень пов'язана з використанням обладнання, що працює під високим тиском, високими температурами та використанням вибухопожежонебезпечного палива (газ, вугілля, мазут). Забезпечення безпечних умов праці є критичним не лише для збереження здоров'я персоналу, а й для запобігання техногенним катастрофам [14].

Основою безпеки є дотримання *НПАЦП* 0.00–1.81–18 (Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском) [14]:

- допуск до роботи: до обслуговування котлів допускаються особи, не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, спеціальне навчання та мають посвідчення на право керування відповідним типом обладнання;

- інструктажі: персонал повинен проходити вступний, первинний, повторний (раз на 3 місяці) та, за потреби, позаплановий інструктажі;

- режим роботи: робота в котельні організовується позмінно. Забороняється залишати працюючий котел без нагляду до його повного зупинки.

Під час роботи в котельні на персонал діють такі фактори [14]:

- фізичні: рухомі частини механізмів, висока температура поверхонь обладнання, підвищений рівень шуму та вібрації від насосів і димососів, електричний струм.

- хімічні: загазованість повітря чадним газом (CO), метаном (CH_4) або оксидами азоту (NO_x).

- психофізіологічні: емоційне напруження через високу відповідальність та монотонність роботи.

Безпечна експлуатація котлоагрегатів, в першу чергу, залежить від справності приладів контролю та захисту. Кожен котел повинен бути оснащений [14]:

- манометрами – для контролю тиску (клас точності не нижче 2,5);
- Запобіжними клапанами – для автоматичного скидання тиску при перевищенні норми;
- показчиками рівня води, для уникнення «перепалу» металу через низький рівень води;
- автоматикою безпеки, для припинення подачі палива у разі згасання факела, зниження тиску газу або вимкнення електроенергії.

Запуск котла необхідно проводити тільки після ретельної вентиляції топки та газоходів (не менше 10–15 хвилин), що запобігає вибуху накопиченої газоповітряної суміші.

Газове паливо є найбільш небезпечним через ризик вибуху та отруєння. Тому, в котельні, газорегуляторні установки повинні бути оснащені фільтрами, скидними та запірними клапанами. Також, необхідно проводити контроль витоків – перевірку з'єднань, яка здійснюється виключно мильною емульсією або портативними газоаналізаторами. Окрім цього, в котельні обов'язково повинні бути встановлені автоматичні сигналізатори довибухових концентрацій газу.

Щодо пожежної безпеки: котельня повинна мати чіткий план евакуації та бути забезпечена засобами пожежогасіння [14]:

- вогнегасники – порошкові (ОП) або вуглекислотні (ОУ).
- ящики з піском та лопати;
- внутрішній пожежний водопровід.

Забороняється зберігати в приміщенні котельні легкозаймисті речовини (бензин, гас) та захаращувати проходи до виходів.

Для захисту від негативного впливу середовища працівники забезпечуються:

- спецодягом – костюми з вогнетривким просоченням;

- захистом органів слуху – навушники або беруші (при шумах понад 80 дБ);

- захистом очей – куляри для огляду топки;

- засобами індивідуального захисту органів дихання – протигази або респіратори (на випадок аварійних ситуацій).

Котел повинен бути негайно зупинений (аварійна зупинка) у випадках:

- виходу з ладу запобіжних клапанів;

- різкого підвищення тиску (понад 10 % від норми);

- зникнення напруги на пристроях автоматики;

- виявлення тріщин, випучин, розривів у зварних швах котла;

- виникнення пожежі, що загрожує персоналу або обладнанню.

Системне навчання персоналу, регулярна перевірка *КВП* (контрольно-вимірювальних приладів) та відповідальне ставлення до регламентів дозволяють звести ризик виникнення аварій до мінімуму (табл. 4.1) [14]

Таблиця 4.1 – Періодичність перевірок обладнання

Об'єкт перевірки	Періодичність	Відповідальна особа
Робочі манометри	1 раз на 12 місяців	Державний повірник
Запобіжні клапани	Щоденно (шляхом підриву)	Оператор котельні
Автоматика безпеки	1 раз на місяць	<i>КВПіА</i>
Газоаналізатори	Згідно з паспортом виробника	Спеціалізована служба

Сучасний підхід до безпеки життєдіяльності також включає надійність роботи обладнання через впровадження новітніх технологій [14]:

- частотно-регульовані приводи (*ЧРП/VFD*) – можливість плавно змінювати швидкість обертання двигунів насосів та вентиляторів.

- перевага для безпеки, що дозволяє повністю виключити гідроудари в системі та пускові струми в електромережі, що зменшує зношення обладнання.

– компенсація реактивної потужності, встановлення конденсаторних установок для розвантаження мережі та підвищення якості електроенергії (\cos).

4.2 Охорона праці при експлуатації електроустановок

Сучасна котельня – це складний електротехнічний об'єкт, де збій в електропостачанні може призвести до аварії теплового контуру (вибуху котла через припинення циркуляції води).

Згідно з *ПУЕ* (Правила улаштування електроустановок), більшість промислових та районних котелень відносяться до *I* категорії надійності електропостачання, що передбачає [14]:

– два незалежні джерела: живлення повинно здійснюватися від двох незалежних взаєморезервованих джерел (різні секції шин підстанції або різні підстанції).

– *АВР* (Автоматичне введення резерву): при зникненні напруги на основній лінії, перемикання на резервну має відбуватися автоматично за мінімальний проміжок часу ($t < 1 \text{ c}$).

– особлива група (третє джерело): для систем автоматики, диспетчеризації та аварійного освітлення часто передбачають джерела безперебійного живлення (*ДБЖ/UPS*) або дизель-генератори, що забезпечують роботу критичних вузлів при повному блекауті.

Електричне навантаження котельні поділяється на силове обладнання та допоміжні системи [5]:

– мережеві та підживлювальні насоси: найпотужніші споживачі (електродвигуни від *10* до *500 кВт*), які забезпечують рух теплоносія в системі;

– дуттєві вентилятори та димососи, які створюють необхідний повітряний потік для горіння та видаляють продукти згорання;

- електроприводи запірної арматури, на основі яких здійснюється дистанційне керування засувками та клапанами;

- система водопідготовки: насоси-дозатори, фільтри та установки пом'якшення води.

- системи автоматизації та зв'язку: ПЛК (програмовані логічні контролери), датчики, сервери моніторингу.

Експлуатація електричного обладнання в умовах підвищеної вологості та температури вимагає суворого дотримання ПТЕЕС та ПБЕЕС.

А) Технічні заходи захисту:

- захисне заземлення та занулення: обов'язкове приєднання всіх металевих неструмоведучих частин до загального контуру заземлення котельні. Опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

- вирівнювання потенціалів: об'єднання всіх металевих трубопроводів та каркасів котлів в єдину мережу для запобігання появі небезпечної різниці потенціалів.

- побудова мережі: кабельні траси часто проходять поблизу гарячих поверхонь. У зв'язку з цим, при виборі марки та способу прокладання кабелю слід враховувати наступні фактори:

- термічна стійкість: кабелі, що проходять поблизу котла або паропроводів, повинні мати теплостійку ізоляцію або прокладатися в захисних екранованих коробах;

- матеріал провідника: згідно з сучасними нормами охорони праці та ПУЕ, для внутрішніх мереж котельень рекомендується використовувати виключно мідні кабелі, які стійкіші до вібрацій та мають кращу провідність при меншому перерізі порівняно з алюмінієвими.

- Пожежна безпека (*LS* та *FR*):

- *BBГг2-LS*: (*Low Smoke*) – не підтримує горіння та має низьке димовиділення;

– *BBГнз-FRLS: (Fire Resistant)* – вогнестійкий кабель, який зберігає працездатність протягом 30 – 90 хвилин в умовах пожежі. Використовується для систем аварійної вентиляції, пожежних насосів та аварійного освітлення.

– захист від механічних пошкоджень: у місцях проходу через перекриття або біля зон обслуговування насосів кабелі прокладаються в сталевих трубах або металорукавах для захисту від випадкових ударів та впливу мастил.

Щодо заходів з охорони праці, всі кабельні лінії повинні мати бирки з маркуванням (номер лінії, марка кабелю, переріз). Колірна ідентифікація жил є обов'язковою: *Блакитний*: Робочий нуль (*N*); *жовто-зелений*: захисне заземлення (*PE*); *Коричневий/Чорний/Сірий*: фази (*L1, L2, L3*).

Б) Організаційні заходи:

– роботи на електричному обладнанні проводяться за нарядом-допуском або розпорядженням;

– обов'язкове використання засобів захисту: діелектричні рукавички, килимки, покажчики напруги та інструмент з ізольованими ручками.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі проведена розробка автоматичного введення резерву в системі електропостачання котельні на основі швидкодіючих елементів забезпечення безперебійного живлення.

1. Обґрунтовано вибір радіальної схеми електропостачання котельні з розімкненим режимом роботи джерел, що дозволить ефективно обмежити струми короткого замикання та спростити логіку керування мережею, що є оптимальним для об'єктів теплоенергетики.

2. Запропоновано трирівневу архітектуру живлення за принципом «2 мережевих введення + дизель-генераторна установка», що забезпечує безперебійну роботу критичного обладнання (насосів, димососів) навіть у разі повного знеструмлення основної мережі.

3. Здійснено раціональний вибір захисного обладнання, зокрема: автоматичних вимикачів серії *Space Nmax XT3* та реверсивних вимикачів навантаження *ABB OTM* з електроприводом, що забезпечує високий комутаційний ресурс та гарантований розрив ланцюга та мінімізує вплив людського фактору.

4. Розроблено систему автоматизації на базі логічного модуля *Siemens LOGO!* для реалізації складних алгоритмів керування, гнучкого налаштування часових затримок та покрокового підключення потужних споживачів для усунення пускових перевантажень.

5. Запропоновано багаторівневу систему моніторингу параметрів мережі за допомогою реле контролю фаз *ABB CM – EES*, що забезпечує захист електродвигунів та електронних плат пальників від перенапруги, асиметрії та «просідань» напруги.

6. Забезпечено комплексний захист від помилкових дій шляхом поєднання механічного та програмного блокування. Це повністю виключає можливість

зустрічного ввімкнення генератора в зовнішню мережу або несанкціоновану паралельну роботу трансформаторів, гарантуючи безпеку персоналу.

7. Підтверджено працездатність системи шляхом програмного моделювання. Розроблена модель у середовищі *Siemens LOGO! Soft Comfort* довела ефективність п'яти режимів роботи (від ручного до автоматичного з пріоритетом введень), що дозволяє адаптувати систему до будь-яких експлуатаційних потреб котельні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Попов В. А., Ткаченко В. В., Ярмолюк О. С. Ефективне керування режимами систем забезпечення споживачів електричною енергією: навчальний посібник / В. А. Попов, В. В. Ткаченко, О. С. Ярмолюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 163 с.
2. 1. Денисюк С.П. Системи гарантованого електропостачання та питання економії електроенергії / С.П. Денисюк. – К.: Семінар «Синапс / НБУ - 2004». – 2004. – 21 с.
3. Баженов В. М. Автоматика електроустановок електроенергетичних систем : навчальний посібник / В.М. Баженов, М.М. Одегов. - Харків : Планета-Прінт, 2022. - 186 с. <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/12852>.
4. Мельниченко О. Г. Підвищення надійності електропостачання споживачів шляхом вдосконалення пристроїв автоматичного введення резерву / О. Г. Мельниченко // Кваліфікаційна робота магістра. – Житомир: Поліський національний університет, 2024. – 82 с.
5. Електропостачання промислових підприємств: навч. посіб. / В. В. Кулик, В. В. Тептя, В. В. Каплун та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 188 с.
6. Електричні мережі та системи: підручник / О. С. Янковська, О. М. Манілов та ін.; за ред. О. С. Янковської. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 456 с.
7. Релейний захист та автоматика систем електропостачання : навч. посіб. / Ю. О. Папайка, М. В. Лисяк. – Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2019. – 142 с.
8. Технічні рішення для автоматичного введення резерву в мережах 0,4 кВ : техн. кат. / Компанія АББ. – К. : АББ Україна, 2021. – 56 с.
9. Системи розподілення електричної енергії. Вимоги до автоматичних перемикальних пристроїв : ДСТУ EN 60947-6-1:2014. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015. – 42 с.
10. Типові схеми АВР на базі мікропроцесорних логічних контролерів [Електронний ресурс] // Eaton Electrical Україна. – Режим

доступу: eaton.com.

11. Проектування схем АВР для промислових підприємств [Електронний ресурс] // Schneider Electric: Технічна бібліотека. – Режим доступу: se.com.

12. БУНЯК, О., СТАСІВ, А., ОРОБЧУК, Б., & СУДОМИР, В. (2025). РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПОРІВНЯЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРІВ З ВРАХУВАННЯМ УМОВИ ЕКОНОМІЧНОСТІ. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 357(5.2), 115-122. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-357-73>.

13. Програмування логічних модулів LOGO! : навч. посіб. / В. В. Тептя, М. П. Гребченко. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 112 с.

14. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня „бакалавр" усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48496>.

15. Коваль В.П., Тарасенко М.Г., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/45300>.