

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ЛУЦИШИН Сергій Ігорович

**ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОГО
ПРИЗНАЧЕННЯ / INFORMATION AND MEASURING SYSTEM
FOR POWER SUPPLY FOR CRITICAL FACILITIES**

Спеціальність 175 - Інформаційно-вимірювальні технології
Освітньо-професійна програма – Технології інтернету речей

Випускна кваліфікаційна робота за ступенем вищої освіти "бакалавр"

Виконав студент групи МТІР-41/1
Сергій Луцишин

Науковий керівник:
д.т.н., проф. Н.Я. Возна

Дипломну роботу допущено до захисту:

" ____ " _____ 20__ р.

Завідувач кафедри

А.І.Сегін

Тернопіль 2026

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Ступінь вищої освіти "бакалавр"
Спеціальність 175 - Інформаційно-вимірювальні технології
Освітньо-професійна програма – Технології інтернету речей

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
“ ____ ” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ЛУЦИШИН Сергій ігорович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема роботи

Інформаційно-вимірювальна система електропостачання для об'єктів критичного призначення / Information and measuring system for power supply for critical facilities

керівник роботи _____ д.т.н., проф. Н.Я. Возна

затверджені наказом по університету від "01" грудня 2025 р. № 894

2. Строк подання студентом закінченої дипломної роботи 25 травня 2026р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технологічний процес водозабору системи водопостачання
2. Основні технологічні параметри процесу
3. Вимоги до системи автоматизованого керування
4. Технічні засоби автоматизації

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

1. Аналіз систем електропостачання
2. Дослідження та проектування інформаційно-вимірювальної системи аварійного електропостачання
3. Розробка інформаційно-вимірювальної системи електропостачання

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи контролю та діагностики електропостачання
2. Схема системи аварійного електропостачання
3. Алгоритм роботи інформаційно-вимірювальної системи електропостачання

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Возна Н.Я.		
2	Возна Н.Я.		
3	Возна Н.Я.		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз систем електропостачання	12.2025р. – 01.2026р.	
2	Дослідження та проектування інформаційно-вимірювальної системи аварійного електропостачання	02.2026р. – 03.2026р.	
3	Розробка інформаційно-вимірювальної системи електропостачання	04.2026р. – 05.2026р.	

Студент

(підпис)

С.І.Луцишин

Керівник роботи

(підпис)

д.т.н., проф. Н.Я. Возна

АНОТАЦІЯ

Луцишин С.І. Інформаційно-вимірювальна система електропостачання для об'єктів критичного призначення – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 175 - Інформаційно-вимірювальні технології, освітньо-професійна програма – Технології інтернету речей. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення надійності електропостачання критичних об'єктів шляхом розроблення системи аварійного електроживлення з інтегрованою інформаційно-вимірювальною системою. Проведено аналіз нормативних вимог до електропостачання, досліджено існуючі технічні рішення у сфері резервного та безперебійного живлення.

Розроблено структурну схему системи аварійного електроживлення, що включає основне та резервне джерела живлення, дизель-генераторну установку, систему автоматичного введення резерву та джерела безперебійного живлення. Обґрунтовано вибір основних компонентів системи та визначено їх функціональне призначення.

Запропоновано інформаційно-вимірювальну систему, яка забезпечує збір, обробку та передачу даних про параметри електроживлення і стан обладнання. Розроблено алгоритм роботи системи, що дозволяє здійснювати автоматичне виявлення аварійних режимів, керування процесом перемикання джерел живлення та моніторинг роботи обладнання в режимі реального часу.

Виконано оцінку ефективності запропонованої системи за показниками надійності. Встановлено, що інтеграція інформаційно-вимірювальної системи дозволяє підвищити ефективність функціонування системи аварійного електроживлення та забезпечити безперебійне живлення критично важливих споживачів.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, аварійне електроживлення, моніторинг, діагностика, електропостачання.

ABSTRACT

Lutsyshyn S.I. Information and measuring system for power supply for critical facilities. - Manuscript.

Research for the degree of Bachelor in specialty 175 Information and Measuring Technology, educational and professional program - Internet of Things Technologies. – West Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

The diploma thesis addresses the issue of improving the reliability of power supply for healthcare facilities by developing an emergency power supply system integrated with an information and measurement system for monitoring and diagnostics. The regulatory requirements for hospital power supply systems are analyzed, and existing technical solutions in the field of backup and uninterruptible power supply are studied.

A structural scheme of the emergency power supply system is developed, including the main and backup power sources, a diesel generator unit, an automatic transfer switch system, and uninterruptible power supplies. The selection of the main system components is substantiated, and their functional roles are defined.

An information and measurement system is proposed to ensure data acquisition, processing, and transmission of electrical parameters and equipment conditions. The system operation algorithm is developed, enabling automatic detection of emergency conditions, control of power source switching processes, and real-time monitoring of system performance.

The efficiency of the proposed system is evaluated based on reliability, response time, and continuity of power supply. It is established that the integration of the information and measurement system improves the overall performance of the emergency power supply system and ensures uninterrupted operation of critical loads.

Keywords: information and measurement system, emergency power supply, automatic transfer switch, diesel generator, uninterruptible power supply, monitoring, diagnostics.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	10
1.1 Нормативні та правові вимоги до електропостачання.....	10
1.2 Класифікація споживачів за вимогами надійності електропостачання.....	12
1.3 Вимоги до систем аварійного електропостачання.....	13
1.4. Аналіз систем автоматичного вмикання живлення та систем автоматичного введення резерву.....	16
1.5. Аналіз сучасних систем автоматизації електропостачання.....	21
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВАРІЙНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	30
2.1 Генераторні установки в системах аварійного живлення.....	31
2.2 Вибір параметрів генераторної установки, що підлягають контролю.....	36
2.3 Схеми резервного електропостачання.....	39
2.4 Проектування системи аварійного електропостачання.....	44
2.5 Інформаційно-вимірювальне забезпечення системи електропостачання.....	47
2.6 Оцінювання похибок вимірювання та дискретизації сигналів.....	51
3. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	53

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Інформаційно-вимірювальна система електропостачання для об'єктів критичного призначення / Information and measuring system for power supply for critical	Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Луцишин С.І.						
Перевір.		Возна Н.Я.					5	72
Консульт.		Возна Н.Я.				ЗУНУ.ФКІТ.МТІР-41/1		
Н. Контр.								
Затверд.		Сегін А.І.						

3.1 Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи контролю та діагностики електропостачання.....	53
3.2 Алгоритм роботи інформаційно-вимірювальної системи аварійного електропостачання.....	55
3.3 Оцінка надійності системи електропостачання.....	58
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТКИ.....	72

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АВР – автоматичне введення резерву;

АВП – автоматичне вмикання живлення;

ATS (Automatic Transfer Switch) – автоматичний перемикач резервного живлення;

UPS (Uninterruptible Power Supply) – джерело безперебійного живлення;

PLC (Programmable Logic Controller) – програмований логічний контролер;

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – система диспетчерського контролю та збору даних;

ІВС – інформаційно-вимірювальна система;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ДБЖ – джерело безперебійного живлення;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПУЕ – правила улаштування електроустановок;

ДГУ – дизель-генераторна установка;

АСУ – автоматизована система управління;

ПЗ – програмне забезпечення;

U – напруга;

I – сила струму;

f – частота електричного струму.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення надійного та безперервного електропостачання є однією з основних умов функціонування об'єктів критичної інфраструктури. Особливу важливість це питання набуває для лікарень, де від стабільності електропостачання безпосередньо залежить робота життєво важливого медичного обладнання, систем реанімації, операційних блоків та відділень інтенсивної терапії. Навіть короткочасне зникнення напруги може привести до критичних наслідків для пацієнтів.

Традиційні системи аварійного електропостачання, що базуються на використанні резервних джерел та систем автоматичного введення резерву, забезпечують необхідний рівень надійності, однак не завжди дозволяють своєчасно виявляти передаварійні стани та ефективно керувати режимами роботи обладнання. У зв'язку з цим актуальним є впровадження інформаційно-вимірювальних систем, які забезпечують безперервний моніторинг параметрів електропостачання, діагностику стану обладнання та підтримку прийняття рішень.

Інтеграція інформаційно-вимірювальних систем у структуру електропостачання дозволяє підвищити надійність, скоротити час реагування на аварійні ситуації та забезпечити безперервність електропостачання критично важливих споживачів, що обумовлює актуальність обраної теми.

Об'єкт дослідження. Процеси контролю, діагностики та автоматизованого керування системою електропостачання з використанням інформаційно-вимірювальних засобів.

Предмет дослідження. Система електропостачання об'єктів критичного призначення.

Мета роботи. Розроблення системи електропостачання з інтегрованою інформаційно-вимірювальною системою контролю та діагностики, що забезпечує підвищення надійності та безперервності електропостачання.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз нормативних вимог та існуючих рішень у сфері електропостачання;
- дослідити особливості електропостачання та вимоги до їх надійності;
- розробити структуру системи електропостачання з використанням резервних джерел;
- обґрунтувати вибір основних елементів системи (генератор, АВР, UPS);
- розробити структурну схему інформаційно-вимірювальної системи;
- сформулювати алгоритм роботи системи контролю та керування;
- виконати оцінку надійності запропонованої системи.

Практичне значення роботи полягає у розробленні структурної моделі системи аварійного електропостачання з інтегрованою інформаційно-вимірювальною системою. Запропоновані рішення можуть бути використані при проєктуванні та модернізації систем електропостачання критичних об'єктів, а також для підвищення рівня автоматизації та надійності їх функціонування.

Результати роботи можуть бути застосовані у практиці проєктних організацій, енергетичних служб лікувальних закладів та підприємств, що займаються впровадженням систем автоматизації та диспетчеризації електропостачання.

Апробація. Наталія Возна. Адаптивні системи електроживлення з інтегрованими інформаційно-вимірювальними засобами контролю та діагностики / Н.Возна, І.Пашковський, С.Луцишин / Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2026). - Тернопіль, 2026. – С.83-86.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1 Нормативні та правові вимоги до електропостачання

Проектування систем електропостачання об'єктів критичної інфраструктури в Україні регламентується сукупністю законодавчих актів, державних будівельних норм, стандартів та галузевих нормативних документів.

Базовим нормативно-правовим актом у сфері будівництва є Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» [1], який визначає загальні принципи проектування, будівництва та експлуатації об'єктів. Відповідно до цього закону, інженерні системи будівель повинні забезпечувати безпечні умови експлуатації та надійне електропостачання відповідно до функціонального призначення об'єкта.

Правові засади функціонування електроенергетичної галузі визначаються Законом України «Про ринок електричної енергії» [2], який встановлює вимоги до якості та надійності електропостачання, а також регламентує взаємовідносини між суб'єктами енергоринку.

Основні технічні вимоги до електроустановок будівель встановлюються державними будівельними нормами, зокрема ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» [3], ДБН В.2.5-23:2025 «Проектування електроустановок житлових будинків та громадських будівель і споруд», що застосовується при новому будівництві, реконструкції та капітальному ремонті [4].

Зазначені норми визначають вимоги до: структури систем електропостачання; джерел живлення; розподільчих пристроїв; забезпечення надійності електропостачання. Згідно з ДБН, електроустановки повинні проектуватися з урахуванням категорії споживачів та необхідного рівня безперервності електропостачання.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Особливі вимоги до електропостачання об'єктів критичного призначення встановлюються галузевими будівельними нормами, відповідно до яких: передбачається наявність двох незалежних джерел живлення; обов'язкове застосування резервних джерел (дизель-генераторів); використання джерел безперебійного живлення для критичних систем.

Важливим нормативним документом є Правила улаштування електроустановок (ПУЕ), затверджені наказом Міністерства енергетики України, які визначають вимоги до проєктування, монтажу та експлуатації електроустановок [5].

Загальні вимоги до електроустановок охоплюють широкий діапазон напруг і режимів роботи, що підтверджується нормативною базою ПУЕ, яка поширюється на електроустановки до 750 кВ змінного струму [6].

Крім того, електроустановки повинні відповідати національним стандартам, гармонізованим із міжнародними, зокрема:

- ДСТУ EN 60364 – електроустановки низької напруги [7];
- ДСТУ EN 62040 – системи безперебійного живлення [8];
- ДСТУ EN 60947-6-1 – апаратура автоматичного перемикання [9].

Ці стандарти встановлюють вимоги до безпеки електроустановок; параметрів якості електроенергії; характеристик і випробувань обладнання [10].

Таким чином, нормативно-правова база України формує комплекс вимог до проєктування систем електропостачання, що охоплює технічні, експлуатаційні та безпекові аспекти. Для об'єктів підвищеної відповідальності ці вимоги передбачають обов'язкове резервування джерел живлення, застосування автоматизованих систем керування та створюють основу для впровадження інформаційно-вимірювальних систем контролю та діагностики.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.2 Класифікація споживачів за вимогами надійності електропостачання

Категорії споживачів електроенергії класифікують залежно від наслідків можливого відключення живлення.

До категорії I належать споживачі, для яких тимчасове відключення електроенергії може становити загрозу життю людей або спричинити значні матеріальні втрати, наприклад пошкодження будівель, знищення технологічного обладнання чи великих виробничих партій. Також до цієї категорії відносяться споживачі, у яких переривання електропостачання настільки порушує технологічний процес, що відновлення виробництва займе більше однієї зміни.

Категорія II охоплює споживачів, для яких відключення електроенергії може призвести до значних виробничих втрат, наприклад у продукції або сировині.

Категорія III включає всіх споживачів, які не відносяться до категорій I або II. У цій класифікації приймачі з низькою надійністю електропостачання належать до категорії III, споживачі з підвищеною надійністю - до категорії II, а ті, хто потребує дуже високої надійності живлення - до категорії I.

Категорії об'єктів за вимогами до надійності електропостачання відрізняються як за критичністю перерв, так і за можливими рішеннями для системи живлення. До категорії I належать об'єкти з базовими вимогами, де відносно тривалі перебої, навіть тривалістю кілька хвилин, є допустимими. У таких випадках живлення здійснюється від однієї лінії електромережі, резервне джерело не потрібне. Прикладами є житлові будинки у сільській місцевості, малозабудованих міських районах або невеликі багатоквартирні будинки.

Категорія II включає об'єкти з підвищеними вимогами до надійності, де перебої електропостачання не повинні перевищувати кількох секунд. Для таких об'єктів передбачено живлення від однієї лінії з генератором або від

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

двох незалежних ліній, а також наявність аварійного освітлення. Прикладами є висотні та великі житлові будівлі.

Категорія III відноситься до об'єктів із високими вимогами, де перебої електропостачання не повинні перевищувати однієї секунди. Для забезпечення такого рівня надійності застосовують дві незалежні лінії електропостачання та резервні пристрої живлення з автоматичними вимикачами (АВВ). До цієї категорії належать великі готелі, лікарні, банки, радіо- та телевізійні станції, залізничні станції, аеропорти та подібні об'єкти.

Категорія IV охоплює об'єкти з найвищими вимогами до безперебійного електропостачання, де перебої неприпустимі. Для таких об'єктів застосовують ті ж заходи, що й для категорії III, доповнені джерелами безперебійного живлення (ДБЖ) та генераторами, здатними забезпечувати тривале живлення. Це можуть бути окремі критичні приміщення або системи в установах III категорії, наприклад операційні в лікарнях, комп'ютерні системи банків та фондових бірж, а також критичні телекомунікаційні системи.

Об'єкти, про які йдеться в цій роботі, класифікуються як категорії III та IV у випадку споживачів електроенергії та категорії I та II у випадку електроприймачів, залежно від наслідків відключення електроенергії.

1.3 Вимоги до систем аварійного електропостачання

Системи аварійного електропостачання об'єктів критичної інфраструктури повинні забезпечувати безперервне або гарантоване електропостачання споживачів у разі порушення роботи основного джерела енергії. Основною метою таких систем є мінімізація часу перерви живлення та забезпечення стабільності параметрів електроенергії.

Відповідно до сучасних нормативних вимог, електроприймачі поділяються за категоріями надійності, що визначають допустиму тривалість перерв у живленні. Для об'єктів критичного призначення характерним є

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

віднесення споживачів до найвищих категорій надійності, для яких перерва в електропостачанні або є недопустимою, або повинна обмежуватися частками секунди. Це обумовлює необхідність застосування багаторівневих систем резервування.

Однією з основних вимог до систем аварійного електропостачання є наявність декількох незалежних джерел енергії. Як правило, така система включає:

- основне джерело живлення (мережа електропостачання);
- резервне джерело (друга незалежна лінія або трансформатор);
- автономне джерело (дизель-генератор);
- джерело безперебійного живлення (UPS).

У роботі використовується термін «система автоматичного введення резерву (АВР)», який відповідає вітчизняній нормативній базі. У міжнародній практиці аналогічні системи позначаються як ATS (Automatic Transfer Switch) [11-18]. Перемикання між джерелами живлення повинно здійснюватися автоматично із застосуванням систем АВР. Принципи побудови таких систем базуються на використанні як явного, так і прихованого резервування [19-21]. Приклад реалізації явного резерву, коли основне та резервне джерела функціонують незалежно, наведено на рисунку 1.1. У цьому випадку система забезпечує повне перемикання навантаження на альтернативне джерело у разі відмови основного.

Інший підхід передбачає використання прихованого резерву, коли резервна потужність знаходиться в системі, але не використовується у нормальному режимі. Така схема показана на рисунку 1.2. У разі аварії відбувається перерозподіл навантаження між секціями, що дозволяє відновити електропостачання без використання окремого автономного джерела.

Важливою вимогою до систем АВР є забезпечення їх селективності та надійності роботи. Зокрема, автоматичне перемикання повинно відбуватися лише після фіксації відключення основного джерела, що запобігає

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

паралельній роботі несинхронізованих джерел живлення. Крім того, необхідно передбачати блокування, які виключають можливість одночасного підключення декількох джерел до однієї секції шин.

Час спрацювання системи аварійного перемикання є критичним параметром і повинен відповідати вимогам до електроприймачів. Для більшості електромеханічних навантажень допустимий інтервал перерви живлення становить від 0,25 до 1,5 с, що пов'язано з умовами самозапуску електродвигунів. У той же час для чутливого обладнання, наприклад такого як медична апаратура або інформаційні системи, застосовуються джерела безперебійного живлення, які забезпечують відсутність перерви або її мінімізацію до кількох мілісекунд.

Необхідною складовою систем аварійного електропостачання є дизель-генераторні установки, які забезпечують довготривале автономне живлення об'єкта. Їх інтеграція в систему може здійснюватися за різними схемами. Зокрема, у випадку живлення окремих груп споживачів застосовується схема з виділеною розподільною шиною (рисунк 2.3), що дозволяє резервувати лише критичні навантаження.

У більш складних системах генератор підключається до головного розподільного щита об'єкта (рисунк 2.4), що забезпечує резервування більшої частини споживачів. При цьому передбачається поетапне підключення навантаження з метою уникнення перевантаження генератора.

Для підвищення надійності електропостачання можуть використовуватися системи з декількома генераторними установками. У таких випадках реалізується або розподіл навантаження між генераторами (рисунк 2.5), або їх паралельна робота на спільну шину (рисунк 2.6). Це дозволяє забезпечити резервування навіть у випадку виходу з ладу одного з агрегатів.

Крім забезпечення безперервності живлення, сучасні системи аварійного електропостачання повинні відповідати вимогам щодо якості електроенергії. Це включає підтримання напруги та частоти у допустимих

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

межах, обмеження гармонічних спотворень, а також забезпечення стабільності режимів роботи при зміні навантаження [19-23].

Таким чином, системи аварійного електропостачання повинні проектуватися як комплексні багаторівневі структури, що поєднують різні типи резервних джерел, автоматизовані системи керування та засоби контролю. Виконання зазначених вимог є необхідною умовою забезпечення надійної та безпечної роботи об'єктів критичної інфраструктури та створює основу для впровадження інформаційно-вимірювальних систем моніторингу і діагностики.

1.4. Аналіз систем автоматичного вмикання живлення та систем автоматичного введення резерву

Системи автоматичного вмикання живлення (АВЖ) застосовуються для забезпечення безперервного живлення пріоритетних споживачів низької напруги у громадських будівлях, допоміжних розподільних щитах електростанцій, промислових розподільчих щитах, розподільчих щитах електромережі та високовольтних підстанціях. Основна мета таких систем - підтримка живлення важливих споживачів у разі відключення електроенергії або зниження напруги від основного джерела. Це забезпечується автоматичним перемиканням на резервне джерело живлення.

Основними джерелами живлення є лінія живлення, трансформатор, що з'єднує приймальну мережу з мережею середньої напруги, а в окремих випадках – генератори [19]. Резервними джерелами, які беруть на себе функцію основного у разі його відмови, виступають лінія живлення, трансформатор, акумуляторні батареї (ДБЖ) та генератори.

Джерела живлення поділяють на явні та неявні. У схемі явного живлення (рисунок 1.1) [25, 26] трансформатор Т1 виконує роль основного джерела, а трансформатор Т2 - резервного. Під час нормальної роботи автоматичні вимикачі W1 і W2 замкнені, а W3 і W4 розімкнені. У разі втрати

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

напруги в лінії трансформатора T1 W1 і W2 розмикаються, а W3 і W4 замкнуті, і живлення споживачів подається через трансформатор T2. Коли напруга на лінії трансформатора T1 відновлюється, вимикачі W3 і W4 розмикаються, а W1 і W2 замикаються, повертаючи систему в нормальний режим роботи.

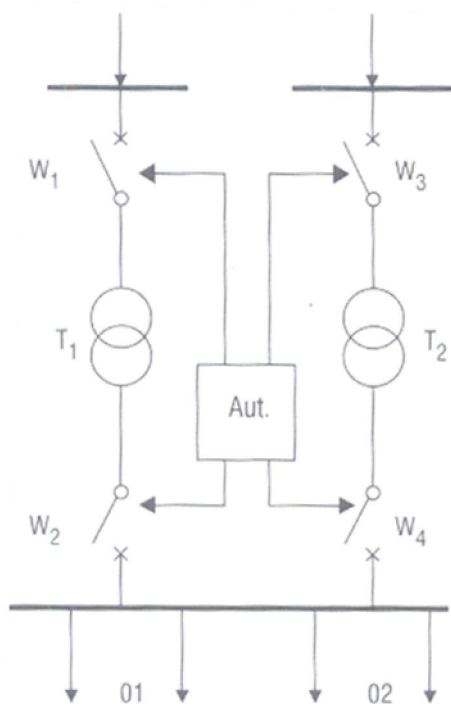


Рисунок 1.1 – Схема

електропостачання з використанням
явних резервів

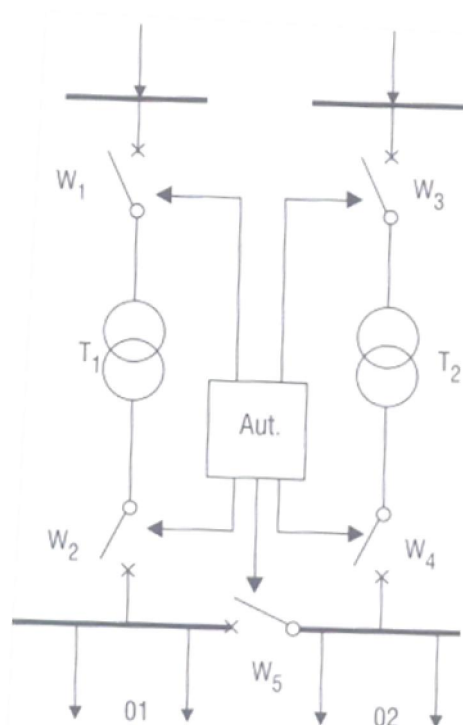


Рисунок 1.2 - Схема

електропостачання з використанням
прихованих резервів

Аналогічна операція відбувається у разі втрати напруги в лінії живлення до трансформатора T2. У випадку прихованого резерву (рисунок 1.2) під цим терміном розуміють компонент, який під час нормальної роботи не використовується повністю, але може бути задіяний у разі відключення основного джерела живлення. Під час стандартного режиму групи споживачів 01 та 02 живляться від окремих шин живлення, після чого вимикач W5 перебуває у розімкненому стані. Якщо якийсь елемент лінії, наприклад трансформаторна секція, виходить з ладу і одна зі секцій

знеструмлюється, вимикач ZSR W5 замикається та відновлює подачу живлення на знеструмлену частину системи.

Для забезпечення високої надійності електропостачання системи АВР повинні виконувати кілька ключових умов: пристрої АВР мають спрацьовувати у разі аварійної втрати напруги на резервованих шинах незалежно від причини; робота цих пристроїв повинна бути одноразовою, щоб уникнути повторного підключення резервного джерела при постійному короткому замиканні на резервних шинах; напруга резервного джерела має перевищувати мінімальний рівень, необхідний для самозапуску двигунів.

Час роботи АВР повинен бути достатньо коротким, щоб забезпечити самозапуск двигунів з найменшим можливим стрибком струму. Тривалість повного циклу АВР не повинна перевищувати 4 с, тоді як скорочений цикл повинен тривати приблизно 1,5 с. Час також повинен бути узгоджений з часом спрацьовування захисних пристроїв для пристроїв живлення та навантаження, щоб виключити непотрібне перемикання живлення.

Автоматичний вимикач резервного джерела повинен вмикатися лише після того, як автоматичний вимикач основного джерела буде виявлено як розімкнутий, щоб запобігти ввімкненню резервного джерела. коротке замикання в зоні основного джерела та живлення резервним джерелом по круговому маршруту до навантажень, підключених до основного джерела та відключених від нормального живлення. Крім того, зазвичай не допускається паралельне підключення джерел (з різних причин: відсутність синхронізму, перевищення допустимого рівня потужності короткого замикання тощо). Виконання цих вимог та поведінка навантажень двигунів безпосередньо впливають на конструкцію пристроїв АВР та первинної системи живлення [22].

Час переривання системи АВР – це час від моменту аварійної втрати напруги до моменту вмикання автоматичного вимикача. Цей час залежить від методу активації системи, тому він може змінюватися навіть для однієї й тієї ж системи АВР. Якщо система активується втратою напруги, цикл АВР

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

називається повним циклом. Якщо система активується спрацюванням захисту від короткого замикання або розмикання автоматичного вимикача основного джерела живлення, цикл АВР називається скороченим циклом [23].

На етапі проектування низьковольтних розподільчих пристроїв приймаються основні рішення, які суттєво впливають на подальший вибір системи автоматизації передачі потужності. Серед таких рішень важливим є визначення часової затримки перемикачів, що повинна відповідати потребам користувача та враховувати швидкість роботи механізму замикання і вимикання автоматичного вимикача. Це особливо критично при проектуванні систем електропостачання з надзвичайно короткими періодами перемикачів, що вимірюються мілісекундами. Не менш важливим є вибір системи, яка дозволяє керувати вимикачами як вручну, так і автоматично. Ручне керування має відключати автоматичне перемикачів та надавати оператору можливість вмикати і вимикати вимикачі за допомогою кнопок, що забезпечує підключення джерел живлення, не передбачених логічною таблицею, наприклад, під час роботи на розподільному щиті. При цьому система має бути спроектована так, щоб запобігати несанкціонованому перемикачів, яке може спричинити подачу напруги від двох джерел на одну шину або перевантаження системи живлення.

Система автоматизації АВР включає кілька функціональних блоків: пусковий блок, який складається з реле зниження напруги для реагування на падіння напруги в основному джерелі та реле підвищення напруги для контролю резервного джерела; реле затримки часу, що запобігає непотрібним перемикачів через короточасні коливання напруги; блокувальне реле, яке перешкоджає повторному включенню та вимикання автоматичного вимикача під час коротких замикань; та виконавче реле, що з відповідною затримкою вмикає автоматичний вимикач резервного джерела. У таких системах в якості виконавчих механізмів використовуються контактори, роз'єднувачі або автоматичні вимикачі.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Функціональна схема системи автоматизації автоматичного введення резерву (рисунок 1.3) включає послідовно з'єднані функціональні блоки, що забезпечують контроль параметрів електропостачання, формування керуючих сигналів та реалізацію перемикання між джерелами живлення [22, 23].

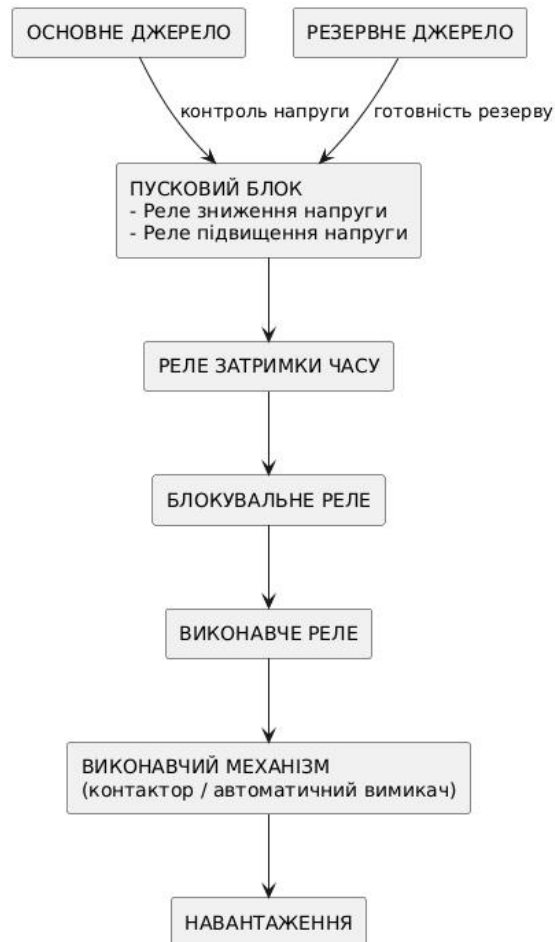


Рисунок 1.3 – Функціональна схема системи автоматизації автоматичного введення резерву

Пусковий блок здійснює контроль напруги основного та резервного джерел за допомогою реле зниження та підвищення напруги. У разі відхилення параметрів від допустимих значень формується сигнал на запуск алгоритму перемикання.

Реле затримки часу забезпечує фільтрацію короткочасних збурень та запобігає помилковим спрацюванням системи. Блокувальне реле виконує

функцію захисту, виключаючи повторні або небезпечні комутації під час аварійних режимів.

Виконавче реле формує керуючий сигнал для виконавчого механізму, який здійснює безпосереднє перемикання навантаження між джерелами живлення. У якості виконавчих пристроїв використовуються контактори, автоматичні вимикачі або роз'єднувачі.

Системи АВР здебільшого застосовуються у промислових розподільчих щитах для навантажень, що потребують високої надійності живлення, у низьковольтних розподільчих щитах електростанцій для живлення допоміжного обладнання, у будівлях громадського користування, таких як лікарні, банки або розважальні заклади, переважно для перемикання на резервне джерело живлення, а також для забезпечення живлення електрообладнання на об'єктах підвищеної відповідальності - аеропортах, радіостанціях та об'єктах національної оборони.

1.5. Аналіз сучасних систем автоматизації електропостачання

Аналіз розвитку систем електропостачання, зокрема тих, що забезпечують підвищену надійність живлення різних об'єктів, показує їх еволюцію від простих механізмів до сучасних автоматизованих рішень. На початковому етапі головну роль відіграла людина, і перемикання джерела живлення здійснювалося вручну. З розвитком технологій з'явилися реле, що дозволили значно скоротити час перемикання та зменшити потребу в постійному людському контролі. Водночас такі системи мали недоліки: складність проектування, велика кількість з'єднань між пристроями та підвищена ймовірність помилок, що негативно впливало на надійність експлуатації через значну кількість компонентів у системі автоматизації.

Сучасні системи автоматичного перемикання базуються на програмованих логічних контролерах (ПЛК) [28]. ПЛК - це програмовані пристрої, у яких програма зберігається у внутрішній пам'яті та виконується

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

циклічно. Протягом кожного циклу контролер виконує самодіагностику, зчитування вхідних сигналів, обробку програми, взаємодію з іншими пристроями та формування вихідних сигналів. Алгоритм керування реалізується програмно на мікропроцесорі ПЛК, а всі допоміжні зв'язки зберігаються у його пам'яті.

Такі системи характеризуються зменшеним енергоспоживанням та компактними розмірами. Крім того, при необхідності зміни алгоритму керування відпадає потреба у переналагодженні проводки чи створенні нових апаратних блоків - достатньо внести відповідні зміни в програму контролера. Це робить ПЛК-системи більш гнучкими, надійними та зручними в експлуатації.

Висока надійність сучасних систем автоматизації комутації електропостачання зумовлена низкою чинників. Насамперед ПЛК, що застосовуються в таких системах, характеризуються високими показниками надійності, а сама структура системи передбачає використання обмеженої кількості пристроїв, що зменшує ймовірність відмов. Програмне забезпечення контролерів розробляється фахівцями, які мають значний практичний досвід у програмуванні ПЛК, експлуатації та конструктивних особливостях автоматичних вимикачів, а також у роботі з низьковольтними розподільчими щитами. Крім того, виробники силових вимикачів добре враховують специфіку їх робочих характеристик, завдяки чому системи автоматизації створюються з урахуванням повної сумісності з відповідним комутаційним обладнанням.

У сучасних умовах мініатюризації програмованих логічних контролерів їх застосування в системах автоматизації комутації живлення набуває широкого поширення. Практично кожен провідний виробник високострумових низьковольтних комутаційних апаратів пропонує готові рішення для автоматизації процесів перемикання живлення. Одним із прикладів таких рішень є система ATS [11-14] із модулем автоматизації МАХ (залежно від виконання), яка може включати від двох до п'яти виконавчих

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

пристроїв - автоматичних вимикачів або роз'єднувачів - із номінальними струмами в діапазоні від 40 А до 6300 А.

Під час модернізації або розширення системи ATS, наприклад, шляхом додавання додаткового з'єднувача або секціонера, модуль автоматизації МАХ можна перепрограмувати для роботи за іншою з вищезазначених схем за лічені секунди. Ця функція також дозволяє перенести існуючий модуль автоматизації МАХ з однієї системи ATS до іншої. Модулі автоматизації МАХ можуть керувати перемиканням джерел живлення під час відключень електроенергії тривалістю більше 1 секунди за допомогою спрацьовування за зниженою напругою. Час затримки реагування ATS на втрату напруги можна налаштувати відповідно до роботи пристроїв живлення та навантаження. Наприклад, щоб уникнути непотрібної активації ATS через перехідні збої в розподільчих мережах середньої напруги та автоматичного повторного вмикання (ARC), налаштування затримки реагування ATS має бути більше 3 секунд. Час затримки реагування ATS після відновлення напруги також можна налаштувати відповідно до роботи пристроїв живлення та навантаження. Час, необхідний для повного циклу АВР, відрахований від моменту активації до розмикання першого вимикача (автоматичний вимикач/роз'єднувач), до моменту замикання останнього вимикача, становить 2,5 - 3,5 секунди.

Система АВР, оснащена модулем МАХ, забезпечує автоматичне перемикання електропостачання між основним і резервним джерелами, причому резервним джерелом може виступати генератор. Передбачена можливість налаштування часу затримки спрацювання АВР після зникнення або відновлення напруги відповідно до параметрів роботи систем АВР у головних розподільчих щитах і встановлених часових характеристик захисту. Система здійснює автоматичний запуск генератора та контролює його готовність до прийняття навантаження, а також забезпечує автоматичне або ручне підтвердження повернення живлення на основне джерело із подальшою зупинкою генератора через заданий проміжок часу.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Крім того, реалізовано взаємні подвійні електричні, програмні та, за потреби, механічні блокування виконавчих механізмів перед перемиканням джерел у паралельний режим роботи. Передбачено можливість ручного керування виконавчими механізмами, а також локального або дистанційного аварійного (пожежного) відключення джерел живлення за допомогою головного автоматичного вимикача. Система забезпечує світлову індикацію наявності коректної напруги джерел, стану контактів вимикача (увімкнено або вимкнено), факту аварійного відключення та справної роботи автоматичного вимикача. Додатково здійснюється моніторинг виконання команд замикання та розмикання виконавчими механізмами, контроль роботи струмових розчіплювачів автоматичного вимикача, а також перевірка правильності положення контактів виконавчих механізмів.

Модулі автоматизації ABB серії ATS021/ATS022 побудовані на основі двох логічних блоків серії EASY800 [29, 30]. Кожен логічний блок виконує власну програму, керуючи роботою інших логічних блоків. Положення контактів реле та їх блокування реалізуються незалежно двома логічними блоками. Тому сигнал увімкнення для кожного вимикача генерується двома послідовно з'єднаними вихідними контактами двох різних логічних блоків. Кодування схеми роботи ABB є найважливішим кроком перед початковим запуском модуля автоматизації типу MAX, оскільки воно також визначає роботу блокувань головних вимикачів ABB. Отже, це виконується шляхом встановлення відповідних перемичок на клемній колодці модуля. Після ввімкнення модуля автоматизації зчитується двійковий код вибраної схеми АВР та передається до обох логічних блоків. Миготливе підсвічування перемикача "Ручне керування"/"Автоматичне керування" та миготливий текст на текстовому дисплеї, що вказує на тип та версію модуля, разом із символом вибраної схеми, сигналізують про необхідність затвердження схеми АВР. Підтвердження вибраної схеми виконується в режимі ручного керування натисканням кнопки, встановленої в модулі, протягом 5 секунд. Після підтвердження схеми АВР перевіряється відображення автоматичних

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

вимикачів та/або роз'єднувачів, а також перевіряється правильність зовнішніх з'єднань модуля автоматизації. Далі тестується ручне керування та сигналізація, а потім автоматичне керування системою АВР. Нові модулі автоматизації АВР типу МАХ реалізують найпопулярніші системи живлення, що зустрічаються на практиці, з номінальними струмами від 40 А до 6300 А, використовуючи автоматичні вимикачі Moeller (рисунок 1.4) [31]. Їх розміри дозволяють встановлювати найширший варіант у відсіку розподільчого пристрою шириною 400 мм. Гнучкість систем забезпечує швидке налаштування системи залежно від застосування, а опція візуалізації гарантує швидке та просте керування.



Рисунок 1.4 - Нові модулі автоматизації ATS типу МАХ від Moeller

Компанія Legrand є одним із провідних виробників сучасних систем захисту та розподілу електричної енергії [32], пропонуючи рішення, подібні до продукції компанії Moeller. Асортимент обладнання охоплює широкий діапазон номінальних струмів компонентів автоматичних вимикачів - від 16 А до 4000 А. Залежно від величини навантаження та умов експлуатації, пропоновані системи можуть реалізовуватися на базі контакторів, роз'єднувачів або автоматичних вимикачів.

Для експлуатації та захисту низьковольтних електричних мереж компанія випускає два основні сімейства автоматичних вимикачів - DPX та DMX. Вимикачі серії DPX представлені у діапазоні номінальних струмів від 16 А до 1600 А, тоді як серія DMX призначена для більших навантажень і

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

включає пристрої з номінальними струмами 1250 А, 1600 А, 2000 А, 2500 А, 3200 А та 4000 А. Обладнання поділяється на дві розмірні групи: перша охоплює апарати зі струмами від 1250 до 2500 А, а друга - від 3200 до 4000 А. При цьому висота та глибина корпусів залишаються однаковими для обох груп, що суттєво спрощує проєктування та компонування розподільних щитів.

В електроустановках, які працюють із двома джерелами живлення - основним мережевим і резервним, - застосовується система механічних або електричних блокувань для автоматичних вимикачів DPX, що запобігає одночасній паралельній роботі джерел під час процесу перемикання. Базовим елементом систем АВР залишається логічна схема керування, реалізована на основі ПЛК (рисунок 1.5). Контролер ATS забезпечує моніторинг параметрів основного та резервного кіл і у випадку аварійної ситуації здійснює автоматичне перемикання між джерелами живлення. Крім цього, він може керувати приводами автоматичних вимикачів DPX із застосуванням шунтових або мінімальних розчіплювачів чи без них, підтримує роботу як в автоматичному, так і в ручному режимі, а також реалізує функції сигналізації у разі втрати напруги в обох колах живлення.



Рисунок 1.5 - Контролер Legrand ATS [32].

Компанія Legrand пропонує системи автоматичного перемикання потужності, призначені для роботи з різними конфігураціями джерел електропостачання. Такі системи забезпечують перемикання між двома джерелами живлення, зокрема за схемами «лінія–лінія» або «лінія–генератор», а також між трьома джерелами, наприклад «лінія–лінія–лінія» чи

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

«лінія—лінія—генератор». Крім того, передбачені рішення із застосуванням секційованих шин, які дозволяють реалізувати перемикання між двома або трьома джерелами живлення з використанням секційного вимикача, де генератор може виконувати функцію інтелектуального резервного джерела.

Компанією також розроблено нові системи АТР, стандартна конфігурація яких забезпечує дистанційне керування роботою трьох або чотирьох автоматичних вимикачів серій DPX або DMX для підтримання безперервності електропостачання. Система здійснює постійний моніторинг параметрів окремих джерел енергії, а перемикання між ними виконується відповідно до наперед заданого алгоритму логічного керування.

Серед провідних виробників обладнання АТР слід також відзначити компанію Schneider Electric [33], яка виготовляє пристрої комутації потужності для автоматичних вимикачів і роз'єднувачів із номінальними струмами від 40 А до 5000 А. Обладнання, що застосовується в енергетичних системах, належить до серій Compact NS та Masterpact NT/NW. Серія Compact NS охоплює діапазон струмів від 40 А до 1600 А, тоді як Masterpact NT/NW призначена для струмів від 630 А до 6300 А.

Застосування блоку дистанційного перемикання живлення з контролером UA (рисунок 1.6) забезпечує автоматичне перемикання джерел електропостачання відповідно до визначеної користувачем послідовності роботи.



Рисунок 1.6 - Контролер типу UA на базі типу Schneider Electric ACP

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Такі контролери використовуються у системах, що складаються з двох комутаційних пристроїв, і можуть бути інтегровані у блоки дистанційного керування для реалізації автоматичного управління потужністю згідно із запрограмованим режимом функціонування. Подібні рішення забезпечують ефективне керування енергоресурсами, зокрема автоматичне перемикання на резервне джерело за заданих умов, координацію роботи джерел енергії, регулювання режимів роботи та організацію аварійного електропостачання [33].

Контролер може бути оснащений опцією зв'язку, що забезпечує сумісність із комп'ютерною системою керування. Контролер UA може контролювати роботу пристроїв сімейств Compact NS та Masterpact NT/NW та використовується для реалізації блоку автоматичного перемикання живлення з функціями: перемикання живлення з одного джерела на інше залежно від наявності напруги U_n робочого джерела, увімкнення генераторної установки, відключення та відновлення вторинних навантажень та перемикання живлення на резервне джерело у разі обриву фази однієї з фаз робочого джерела.

Аналіз сучасних систем автоматизації електропостачання показує, що їх розвиток відбувається у напрямку підвищення рівня інтеграції та функціональної гнучкості. Використання програмованих логічних контролерів, а також спеціалізованих модулів автоматичного введення резерву провідних виробників, таких як Schneider Electric, Legrand та інших, дозволяє реалізувати складні алгоритми керування електропостачанням, забезпечуючи високу швидкодію та надійність роботи систем.

Разом з тим, сучасні системи автоматизації електропостачання вже не обмежуються лише функціями комутації та керування. Важливою складовою їх розвитку є впровадження засобів моніторингу, діагностики та аналізу параметрів електричних процесів у реальному часі. Це зумовлено необхідністю не тільки реагування на аварійні ситуації, але й їх

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

попередження, що особливо актуально для об'єктів критичної інфраструктури.

У зв'язку з цим, автоматизовані системи електропостачання трансформуються у комплексні інформаційно-вимірювальні системи, які поєднують функції керування та збору даних. Такі системи забезпечують безперервний контроль основних параметрів електропостачання, а також стану обладнання.

Інформаційно-вимірювальні системи реалізуються на основі інтеграції датчиків, аналого-цифрових перетворювачів, програмованих контролерів та програмних комплексів верхнього рівня (SCADA). Такий підхід дозволяє здійснювати не лише оперативне керування режимами роботи системи електропостачання, але й накопичення, обробку та аналіз даних для оцінювання технічного стану системи та прогнозування можливих відмов.

Таким чином, сучасні системи автоматизації електропостачання є основою для побудови інформаційно-вимірювальних систем контролю та діагностики, що забезпечують підвищення надійності, ефективності та безпеки функціонування об'єктів. Це визначає доцільність подальшого дослідження та розробки інформаційно-вимірювальної системи контролю та діагностики аварійного електропостачання.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВАРІЙНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

На основі проведеного аналізу нормативних вимог, існуючих технічних рішень та сучасних систем автоматизації електропостачання встановлено, що забезпечення високої надійності електропостачання об'єктів критичної інфраструктури потребує застосування комплексного підходу до проектування систем аварійного електропостачання.

Особливості функціонування таких об'єктів зумовлюють необхідність безперервного електропостачання відповідальних споживачів, що досягається за рахунок використання багаторівневих систем резервування. До складу таких систем, як правило, входять основні та резервні джерела електроенергії, автономні генераторні установки, джерела безперебійного живлення, а також системи автоматичного введення резерву.

Сучасні підходи до проектування передбачають не лише забезпечення резервування джерел живлення, але й інтеграцію засобів контролю та діагностики, що дозволяє підвищити ефективність функціонування системи в цілому. Це досягається шляхом впровадження інформаційно-вимірювальних підсистем, які забезпечують моніторинг параметрів електропостачання та стану обладнання в реальному часі.

При проектуванні систем аварійного електропостачання необхідно враховувати основні фактори:

- категорію надійності електроприймачів;
- допустимий час перерви електропостачання;
- потужність та характер навантаження;
- умови експлуатації обладнання;
- вимоги до якості електроенергії.

Крім того, важливим етапом є вибір структури системи електропостачання, яка повинна забезпечувати оптимальне поєднання надійності, економічності та технологічної доцільності. Залежно від умов

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

експлуатації можуть застосовуватися різні варіанти побудови систем, зокрема з використанням окремих розподільних щитів для резервованих навантажень або інтеграцією резервних джерел у загальну систему електропостачання.

У сучасних умовах особливого значення набуває використання програмованих логічних контролерів та цифрових систем керування, які забезпечують автоматизацію процесів перемикання джерел живлення, контроль параметрів електромережі та реалізацію складних алгоритмів керування. Це дозволяє значно підвищити швидкість системи, зменшити вплив людського фактору та забезпечити стабільність роботи електропостачання.

До основних параметрів, що підлягають контролю в системі аварійного електропостачання, належать параметри електричної мережі та генераторної установки.

До параметрів мережі відносяться значення напруги, струму, частоти, а також факт наявності або відсутності живлення. Контроль цих параметрів дозволяє своєчасно виявляти аварійні режими та формувати сигнали для перемикання джерел живлення.

Параметри генераторної установки включають напругу, частоту, струм навантаження, температурні режими роботи та рівень палива. Контроль зазначених параметрів забезпечує оцінку готовності генератора до роботи та стабільності його функціонування у резервному режимі.

2.1 Генераторні установки в системах аварійного живлення

За умов значних перебоїв в електропостачанні генераторні установки стають важливим джерелом резервного енергозабезпечення, особливо для об'єктів критичного призначення. Сучасні генератори здатні забезпечувати електричну енергію з необхідними параметрами якості у випадках аварій або відмов у централізованій мережі. Переважна більшість генераторних

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

установок оснащується дизельними двигунами, хоча в окремих випадках використовуються газові турбіни. Такі системи здатні приймати електричне навантаження протягом періоду від кількох годин до кількох діб залежно від умов експлуатації.

Як правило, генераторні установки обладнуються автоматичними системами регулювання частоти обертання та засобами синхронізації з енергосистемою або іншими генераторами. Вони виготовляються у широкому діапазоні номінальних потужностей - від кількох кіловат до кількох мегават. Найпотужніші агрегати можуть використовуватися як тимчасові електростанції у випадках дефіциту генерувальних потужностей в енергосистемі або під час аварійного відключення великих споживачів електроенергії.

Хоча дизельні двигуни залишаються основним типом приводу генераторів, частка установок, що працюють на газових двигунах і газових турбінах, поступово зростає. Використання газового палива є доцільним у регіонах із його доступністю або за наявності підвищених екологічних вимог. Очікується, що в сегменті потужних генераторних установок у перспективі домінуватимуть системи з приводами на основі газових турбін [19].

Генераторні установки призначені для забезпечення електроенергією у разі відключення основного джерела живлення. Одним із суттєвих недоліків використання генераторних установок є переривання живлення без напруги, яке виникає при зникненні живлення. Найпростішим рішенням цієї проблеми є використання системи живлення, БДЖ – генератора (рисунок 2.1) [19, 20].

Основними складовими генераторної установки є двигун внутрішнього згоряння, який забезпечує перетворення хімічної енергії палива на механічну енергію обертання, а також генератор змінного струму, призначений для перетворення механічної енергії в електричну. До складу установки також входять проміжні механічні вузли, зокрема зчеплення та коробки передач, що забезпечують передавання крутного моменту між елементами системи. Важливою частиною є регулятор швидкості двигуна, який підтримує

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

стабільність його роботи, а також система запуску, що забезпечує введення агрегату в робочий режим. Функціонування всієї установки координується системою керування, тоді як комутаційне обладнання головних і допоміжних електричних кіл, включаючи головний вимикач, забезпечує підключення, захист і керування електричними режимами роботи генератора.

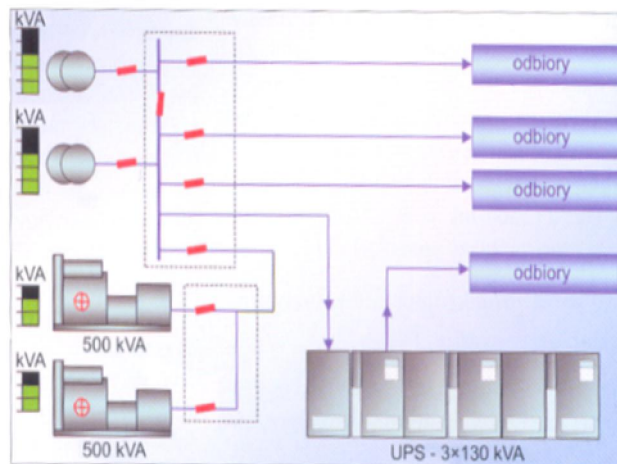


Рисунок 2.1 - Схема роботи генераторної установки паралельно з мережею живлення.

Під час вибору генератора для конкретного застосування слід визначити ряд характеристик та електричних параметрів, це: потужність генератора, кількість фаз, номінальна напруга та номінальна частота, тип двигуна, що використовується. Запалювання від стиснення є іскрове (використовується для малої потужності).

Тип генератора, що використовується, може бути синхронним або асинхронним, причому асинхронні генератори застосовуються відносно рідко. Керування генераторною установкою здійснюється у ручному, напівавтоматичному або автоматичному режимі. Залежно від умов експлуатації генератор може працювати без заданого часу запуску, коли цей параметр не є критичним, або із заданим часом запуску, що передбачає роботу в умовах тривалого відключення електроенергії, короткочасного відключення або безперервного електропостачання без його переривання.

За типом встановлення генераторні установки поділяються на стаціонарні, мобільні та переносні. Стаціонарні генератори встановлюються постійно в одному місці експлуатації, мобільні оснащуються шасі з комплектом коліс для переміщення, а переносні відрізняються від стаціонарних і мобільних компактністю та можливістю транспортування без спеціальної ходової частини.

Додаткові особливості встановлення визначаються умовами розміщення генератора. Установка може здійснюватися в приміщенні, де обладнання не піддається безпосередньому впливу погодних факторів, або зовні із захистом від атмосферних умов, зокрема під навісом чи в захисному кожусі. Також можливе зовнішнє встановлення без додаткового захисту, коли генератор повністю піддається впливу навколишнього середовища.

Важливою характеристикою монтажу є шумовий вплив генераторної установки. Генератор без звукопоглинаючого корпусу створює необмежений рівень шуму, стандартний корпус забезпечує обмеження шумового впливу до середньо-низького рівня, тоді як корпус із підвищеним звукопоглинанням (надтихий варіант) значно зменшує рівень шуму в навколишньому середовищі.

Умови експлуатації генератора визначаються параметрами навколишнього середовища, зокрема висотою над рівнем моря, діапазоном температур навколишнього повітря, рівнем вологості, ступенем забруднення повітря твердими частинками (піском, пилом або іншими домішками), а також наявністю хімічних забруднювачів, таких як агресивні гази чи пари рідин у місці встановлення обладнання. Сукупність зазначених факторів визначає спосіб експлуатації генераторної установки [22].

На сьогодні виділяють чотири основні типи конструкцій генераторних установок, класифікованих за ступенем їх готовності до роботи після втрати живлення від основного джерела електроенергії (рисунки 2.2). До групи І належать генератори з ручним перемиканням режимів роботи (рисунки 2.2а). Тривалість запуску таких установок визначається їх номінальною

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

потужністю та може змінюватися від кількох секунд для агрегатів малої потужності (десятки кіловат) до кількох хвилин для установок великої потужності, що досягає кількох мегават. З метою зменшення часу запуску багато генераторів оснащуються системами постійного попереднього підігріву дизельного двигуна або газової турбіни, що дозволяє швидше вивести установку на номінальний режим роботи.

До групи II відносяться генератори з повністю автоматизованою системою керування, яка забезпечує автоматичне перемикання у випадку зникнення живлення від основного джерела (рисунки 2.2б). Такі системи застосовуються переважно у високопотужних установках та в об'єктах, де необхідно мінімізувати тривалість перерви електропостачання та забезпечити швидкий перехід на резервне живлення.

Генератори груп III та IV оснащуються маховиком, що постійно з'єднаний із генератором. У системах групи III (рисунки 2.2в) електродвигун безперервно обертає генератор разом із маховиком при розімкненому зчепленні, унаслідок чого генератор працює без навантаження в режимі холостого ходу. У разі зникнення основного живлення автоматично вмикається зчеплення, що забезпечує надзвичайно швидкий запуск двигуна внутрішнього згорання. Завдяки цьому генератор здатний прийняти повне електричне навантаження вже через 0,5–2 секунди після аварійного відключення.

Система групи IV (рисунки 2.2г) відрізняється тим, що електродвигун, який приводить у дію генератор, має достатню потужність для безперервного живлення частини пріоритетних споживачів. Інші навантаження, для яких допустиме короткочасне відключення, підключаються безпосередньо до основної мережі. У випадку втрати живлення двигун внутрішнього згорання миттєво запускається за рахунок енергії, накопиченої маховиком, при цьому живлення пріоритетних споживачів не переривається, а супроводжується лише незначними коливаннями напруги під час запуску. Після виходу

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

двигуна на номінальну потужність решта навантажень підключається до генераторної установки.

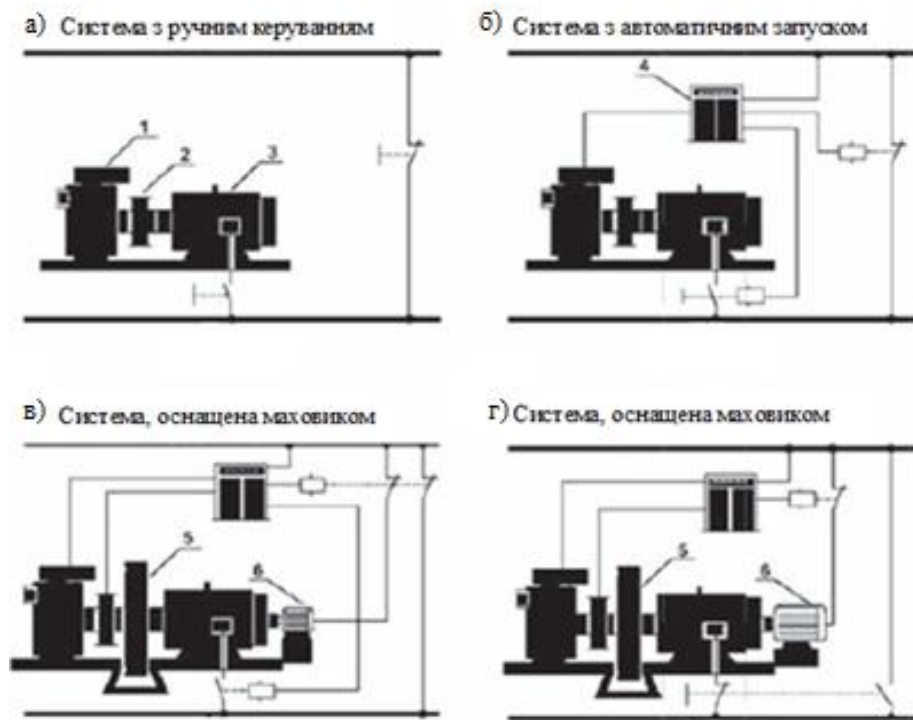


Рисунок 2.2 - Приклади різних систем генераторних установок.

На рисунку 2.2: 1 – дизельний двигун із пусковим пристроєм; 2 – зчеплення; 3 – генератор; 4 – розподільний щит із пристроями керування агрегатом; 5 – маховик; 6 – електродвигун, що приводить у дію генератор та двигун внутрішнього згоряння; а) система з ручним керуванням, б) система з автоматичним запуском, готова прийняти навантаження після заданого часу запуску тривалістю від кількох десятків до приблизно 180 секунд, в) та г) системи, оснащені маховиком, що постійно приводиться в рух електродвигуном, готовий прийняти навантаження протягом 0,5 - 2 секунд та з безперебійним джерелом живлення [19].

2.2 Вибір параметрів генераторної установки, що підлягають контролю

Потужність генераторної установки вибирається на основі потреби в потужності навантажень об'єкта. Значення потужності оцінюється аналітично

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

на етапі проектування, а для існуючих установок – шляхом вимірювання навантажень. Потреба в активній потужності розраховується за такою формулою:

$$P_z = k_z \times \sum_{i=1}^n P_i, k_z = \frac{P_{sz}}{P_I},$$

де: P_z – активна потужність, кВт;

k_z - коефіцієнт навантаження;

P_{sz} - пікова активна потужність, кВт;

P_I - встановлена активна потужність, кВт;

P_i - активна потужність і-го приймача, що охоплюється системою аварійного електропостачання, кВт.

Споживання реактивної потужності визначається за такою формулою:

$$Q_z = k_z \times \sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \varphi \times P_i = k_z \times \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_i} - 1} \times P_i,$$

де: Q_z – потреба в реактивній потужності, кварт.;

$\cos^2 \varphi_i$ – коефіцієнт потужності і-го навантаження, що охоплюється системою безперебійного живлення.

На основі розрахованої потреби в активній та реактивній потужності визначаємо коефіцієнт потужності $\cos \varphi_z$:

$$\cos \varphi_z = \frac{P_z}{\sqrt{P_z^2 + Q_z^2}}$$

де: $\cos \varphi_z$ – коефіцієнт потужності, розрахований на основі потреби в активній та реактивній потужності.

Генератор генераторної установки повинен задовольняти потреби в активній та реактивній потужності. Тому, якщо генератор виробляє енергію з коефіцієнтом потужності $\cos \varphi_z < \cos \varphi_{nG}$, коефіцієнт використання активної потужності генератора зменшується через теплове навантаження статора. Двигун внутрішнього згоряння, що приводить в дію генератор, адаптований до активної потужності генератора, тобто генератор працює з номінальним

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

коефіцієнтом потужності $\cos\varphi_{nG}$. Тому, у випадку виробництва електроенергії з коефіцієнтом потужності $\cos\varphi_z < \cos\varphi_{nG}$, це призводить до зниження використання генератора. Відносне навантаження активної потужності генератора визначається коефіцієнтом використання, який розраховується за формулою:

$$p = \frac{\cos\varphi_z}{\cos\varphi_{nG}}.$$

Необхідна мінімальна активна потужність генераторної установки повинна задовольняти нерівність:

$$P_{Gmin} \geq \frac{P_z}{p \times W};$$

$$W \approx \left(\frac{100}{100 + THD_{i\%}} \right);$$

$$THD_{i\%} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (I_i)^2}}{I_i} \times 100\%.$$

де: W – коефіцієнт спотворення;

$THD_{i\%}$ – коефіцієнт спотворення струму;

I_i – ефективне значення k -ї гармоніки струму, А;

I_i – ефективне значення основної гармоніки, А;

i – порядок гармоніки;

P_{Gmin} – мінімальна активна потужність, яку повинен мати генератор генераторної установки, кВт;

$\cos\varphi_z$ – номінальний коефіцієнт потужності генератора генераторної установки; за відсутності інформації з цього приводу ми приймаємо значення $\cos\varphi_{nG} = 0,8$.

Коефіцієнт використання p розраховується за формулою. Якщо $p \geq 1$, у формулу для мінімальної активної потужності генераторної установки слід ввести значення 1. Значення коефіцієнта потужності $\cos\varphi_{nG}$ слід приймати відповідно до технічної документації генераторної установки.

За відсутності інформації з цього приводу, значення $\cos\varphi_{nG} = 0,8$.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Видима потужність генераторної установки повинна задовольняти нерівність:

$$S_{nG} \geq \frac{P_{Gmin}}{\cos\varphi_{nG}}.$$

Під час вибору потужності генератора для блоку ДБЖ необхідно визначити вхідну потужність ДБЖ. Виробники ДБЖ вказують вихідну потужність у своїх технічних паспортах, яка використовується під час вибору ДБЖ для безперебійного живлення. Вихідна потужність блоку ДБЖ не може бути меншою за потужність, необхідну навантаженням.

2.3 Схеми резервного електропостачання

При проектуванні систем резервного живлення генератора можна виділити два основні підходи [27]:

- створення окремого розподільного щита для навантажень, резервованих генератором (рисунок 2.3);
- підключення генератора до головного розподільного щита (RG) об'єкта (рисунок 2.4).

Окремий розподільний щит генератора застосовується, якщо лише частина навантажень потребує резервного живлення. У представленій схемі (рисунок 2.3) кожна секція головного щита RG зазвичай живиться від мережі через спеціалізоване коло (трансформаторну лінію). Автоматичні вимикачі Q1 та Q2 замкнені, а секційний вимикач Q3 розімкнений. Щит RA отримує напругу від секції 2 щита RG, де замкнений автоматичний вимикач Q4 і розімкнений Q5.

При втраті напруги в будь-якому ланцюзі автоматичний блок керування SZR-1 відключає відповідний вимикач у секції, де сталася втрата, і замикає секційний вимикач Q3. У такому випадку щити RG та RA живляться від одного ланцюга, а SZR-2 не виконує жодних дій.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Якщо потужності одного з ланцюгів недостатньо для покриття всього навантаження об'єкта, можна запрограмувати SZR-1 та SZR-2 так, щоб щит RG працював від мережі, а RA - від генератора.

У разі повної втрати мережевого живлення SZR-1 вимикає автоматичні вимикачі Q1 та Q2. Після короткої затримки SZR-2 відключає Q4, подає команду на запуск генератора, контролює напругу генератора, очікує сигнал готовності навантаження і замикає Q5, забезпечуючи живлення щита RA від генератора.

Після відновлення напруги спочатку SZR-1 вмикає Q1 та Q2, а потім SZR-2 після затримки відключає генератор, розмикає Q5 і замикає Q4.

Перевагою такої схеми є простота автоматичного керування, тоді як недоліком є раптове навантаження генератора всією потужністю навантажень щита RA, що може викликати коливання напруги та частоти.

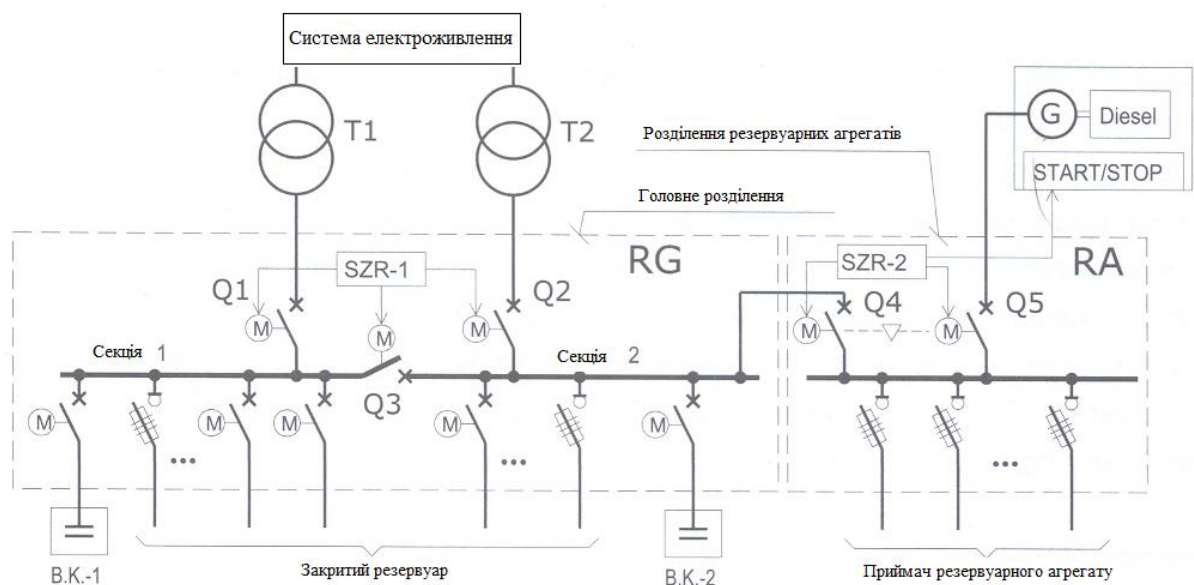


Рисунок 2.3 - Схема системи електропостачання з окремим розподільним щитом генератора.

Підключення генератора до головного розподільного щита застосовується у випадках, коли резервне живлення від генератора повинно забезпечувати більшу частину електричних навантажень. Приклад реалізації такої схеми наведено на рисунку 2.4. Головний розподільний щит (ГРЩ)

отримує живлення від двох мережевих вводів. За нормального режиму автоматичні вимикачі Q1 і Q2 увімкнені, тоді як секційний вимикач Q3 та генераторний вимикач Q4 залишаються вимкненими.

У всіх відхідних лініях керовані автоматичні вимикачі перебувають у замкненому стані. У разі зникнення напруги на одному з вводів система автоматичного керування живленням вимикає відповідний автоматичний вимикач у секції з аварією та замикає секційний вимикач Q3. У результаті весь ГРЩ продовжує житися від одного справного мережевого вводу.

Якщо напруга зникає на обох вводах, система автоматизації після встановленої затримки вимикає автоматичні вимикачі Q1, Q2, а також усі керовані вимикачі відхідних ліній, включно з вимикачами ліній конденсаторних батарей. Після цього здійснюється запуск генератора, а система контролює появу напруги на його виході (перед вимикачем Q4) та очікує готовності генератора до прийняття навантаження.

Після надходження сигналу про готовність генератора замикаються автоматичний вимикач Q4 і секційний вимикач Q3. Навантаження, які залишилися підключеними в розподільному щиті RG (наприклад, через комірки із запобіжниками або автоматичними вимикачами), починають житися від генератора. Далі вихідні вимикачі вмикаються послідовно відповідно до заданого переліку навантажень, що забезпечує поступове навантаження генератора. Конденсаторні батареї при роботі від генератора не підключаються з метою запобігання перекомпенсації реактивної потужності.

Після відновлення мережевої напруги генератор зупиняється, вимикачі Q4 і Q3 розмикаються, автоматичні вимикачі Q1 та Q2 знову вмикаються, а також підключаються вимикачі живлення конденсаторних батарей. Система автоматизації, що використовується у даному рішенні, є складнішою порівняно з варіантом застосування окремого розподільного щита для навантажень, які живляться від генератора.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

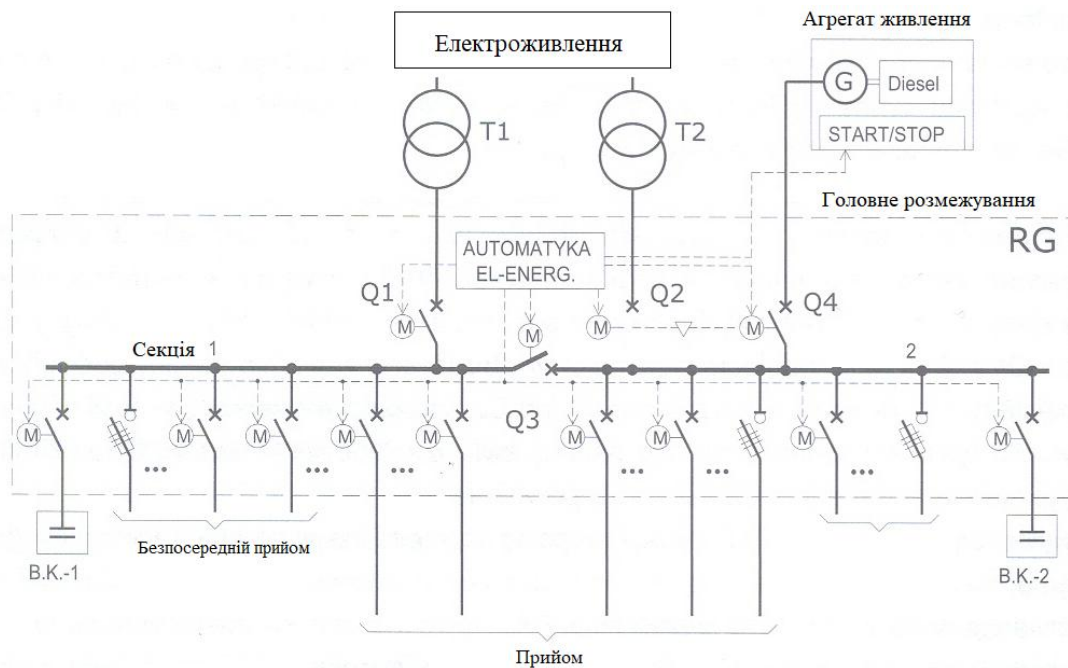


Рисунок 2.4 - Схема системи електропостачання з генератором, підключеним до головного розподільного щита RG

Якщо потужності одного генератора недостатньо для забезпечення всього навантаження або необхідно підвищити надійність системи електропостачання, застосовують декілька генераторних установок. Під час проведення випробувань, ремонтних робіт, технічного обслуговування чи у випадку несправності використання лише одного генератора може тимчасово призвести до втрати резервного живлення, що є неприпустимим для об'єктів спеціального призначення.

За наявності двох генераторів їх можна підключати до різних секцій головного розподільного щита (рисунок 2.5) або синхронізувати між собою для паралельної роботи на спільній шині з подальшим живленням головного розподільного щита саме від цієї шини (рисунок 2.6).

У разі використання більшої кількості генераторів застосовується система синхронізації, завдяки якій усі генератори працюють паралельно на спільній шині. Система синхронізації та керування забезпечує їх запуск, узгодження параметрів і подальшу спільну роботу, а також здійснює

керування таким чином, щоб навантаження на спільній шині розподілялося між генераторами пропорційно до їх номінальної потужності.

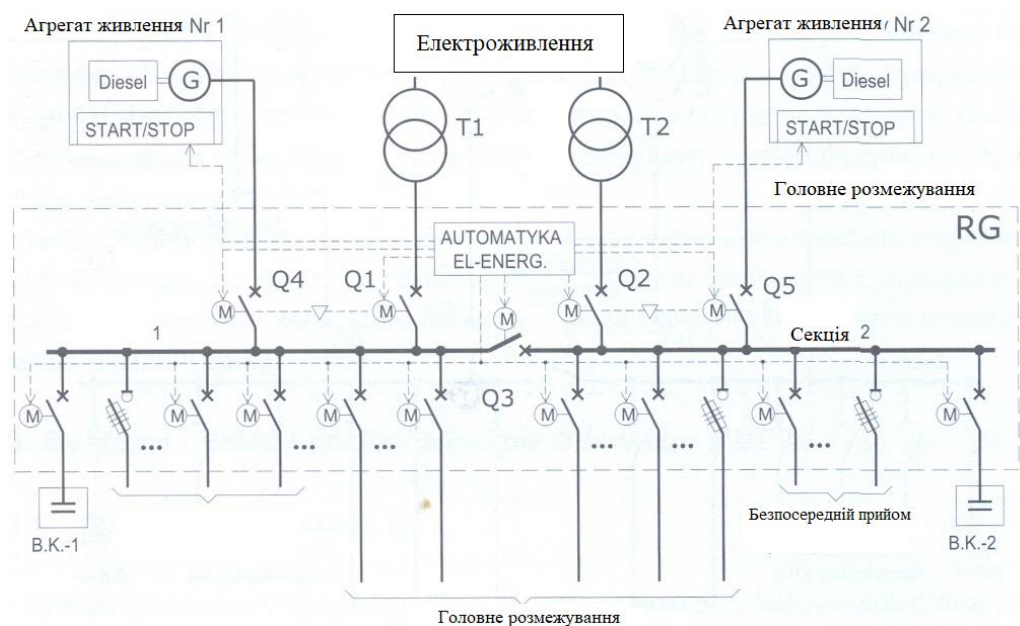


Рисунок 2.5 - Схема системи електропостачання з двома генераторами, підключеними до головного розподільного щита RG

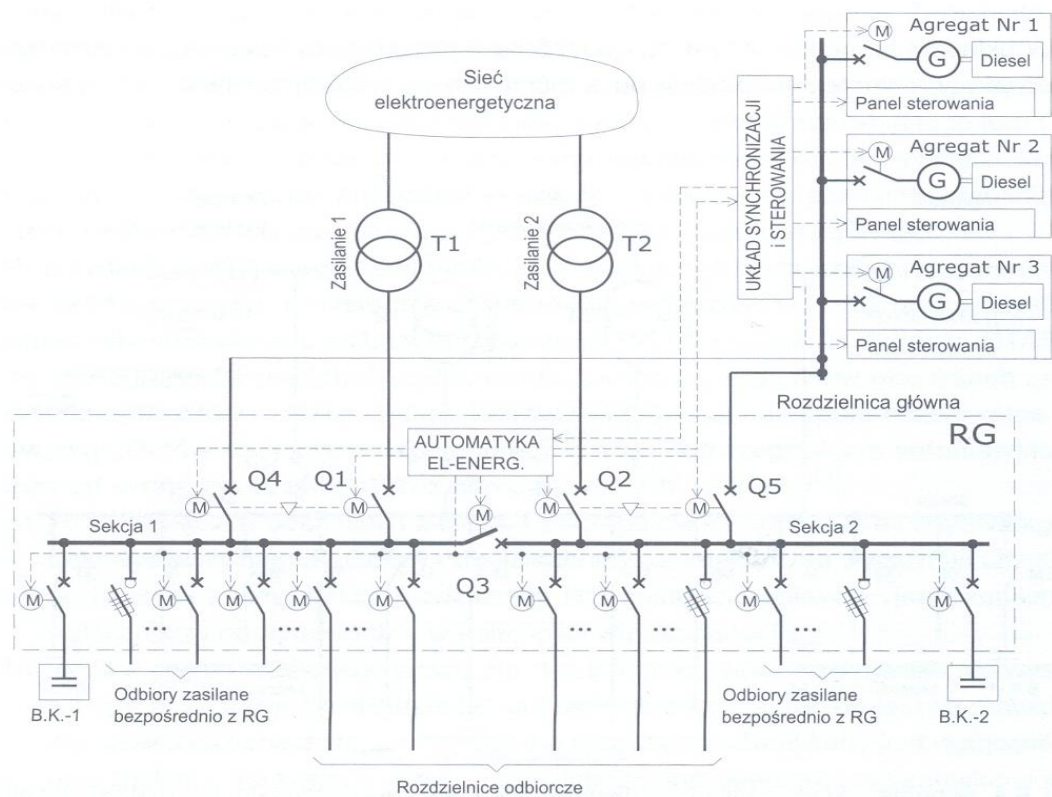


Рисунок 2.6 - Схема системи електропостачання з генераторами, що працюють паралельно на загальній шині

Номинальні потужності генераторних установок можуть підбиратися так, щоб для покриття повного навантаження об'єкта під час роботи від генераторів необхідною була робота всіх агрегатів або ж достатньо функціонування лише $n-1$ генератора.

У другому випадку формується резервована система, у якій передбачено резервний генератор. Така організація має низку переваг: при одночасній роботі всі генератори працюють із навантаженням, меншим за номінальне, що позитивно впливає на їх ресурс і експлуатаційні характеристики, а також забезпечується безперервність резервного електропостачання навіть у разі виходу одного генератора з роботи через несправність, перевірку, технічне обслуговування чи ремонт.

2.4 Проектування системи аварійного електропостачання

Проектування системи аварійного електропостачання є складним інженерним завданням, що потребує врахування підвищених вимог до надійності та безперервності електропостачання. Особливості функціонування лікувальних закладів зумовлюють необхідність забезпечення безперебійного живлення критично важливих споживачів, до яких належать операційні блоки, відділення інтенсивної терапії, системи життєзабезпечення та медичне обладнання.

Вихідними даними для проектування є структура електропостачання об'єкта, категорії надійності споживачів, сумарна встановлена та розрахункова потужність навантаження, а також вимоги до допустимого часу перерви електропостачання. З урахуванням цих факторів формується загальна концепція побудови системи аварійного електропостачання.

Система електропостачання критичного об'єкта (рисунк 2.7) передбачає наявність основного джерела живлення від зовнішньої електричної мережі, а також резервних джерел, що забезпечують автономну роботу об'єкта у разі аварійних ситуацій. Як правило, використовується

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

двоповідова схема живлення з можливістю автоматичного перемикавання між незалежними джерелами (рисунк 2.7а). У разі повної втрати зовнішнього електропостачання передбачається використання дизель-генераторної установки, яка забезпечує живлення відповідальних споживачів протягом необхідного часу.

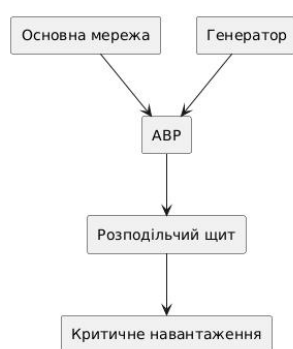
Одним із ключових елементів системи є система автоматичного введення резерву, яка забезпечує швидке перемикавання навантаження між джерелами живлення (рисунк 2.7б). Алгоритм її роботи передбачає контроль параметрів основного джерела, виявлення аварійного режиму, формування сигналу на запуск генераторної установки та подальше перемикавання навантаження на резервне джерело після досягнення ним номінальних параметрів.

Для забезпечення безперервності електропостачання особливо чутливих споживачів у структурі системи передбачено використання джерел безперебійного живлення (рисунк 2.7в). UPS-системи встановлюються на рівні окремих споживачів або груп навантаження та забезпечують живлення без перерви у момент перемикавання між джерелами, а також стабілізацію параметрів електроенергії.



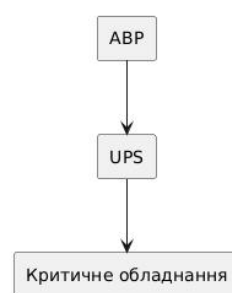
а)

Схема електропостачання з двома незалежними джерелами живлення



б)

Схема електропостачання з резервним генератором



в)

Схема живлення критичного навантаження через UPS

Рисунок 2.7 - Типові схеми систем електропостачання

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

У результаті проєктування формується багаторівнева система аварійного електропостачання, яка включає:

- основні та резервні джерела живлення;
- дизель-генераторні установки;
- системи автоматичного введення резерву;
- джерела безперебійного живлення.

Узагальнена структура системи аварійного електропостачання представлена на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Узагальнена схема системи аварійного електропостачання

Запропонована структура забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання та створює основу для подальшого впровадження інформаційно-вимірювальної системи контролю та діагностики.

Проєктована система повинна також враховувати вимоги до якості електроенергії, включаючи стабільність напруги та частоти, а також обмеження гармонічних спотворень. Це особливо важливо для чутливого медичного обладнання, яке потребує стабільних умов живлення.

Таким чином, проектування інформаційно-вимірювальної системи електропостачання для об'єктів критичного призначення базується на комплексному підході, що включає вибір структури системи, визначення параметрів резервних джерел, реалізацію автоматизованого перемикачів та забезпечення безперервності живлення відповідальних споживачів. Запропоновані рішення створюють основу для подальшої інтеграції інформаційно-вимірювальної системи, яка забезпечує моніторинг та діагностику роботи системи електропостачання.

2.5 Інформаційно-вимірювальне забезпечення системи електропостачання

З метою підвищення надійності, оперативності реагування та ефективності функціонування системи аварійного електропостачання до її складу доцільно включити інформаційно-вимірювальну підсистему, яка забезпечує безперервний моніторинг параметрів електричних процесів і технічного стану обладнання. Впровадження такої системи дозволяє здійснювати не лише контроль режимів роботи, але й діагностику можливих відхилень та попередження аварійних ситуацій.

Інформаційно-вимірювальна система призначена для збору, обробки, передачі та візуалізації даних про функціонування основних елементів електропостачання, зокрема мережевого вводу, системи автоматичного введення резерву, джерел безперебійного живлення та генераторних установок. За своєю структурою така система має ієрархічну побудову та включає рівень первинних вимірювальних перетворювачів, рівень збору та перетворення даних, рівень керування та обробки інформації, а також рівень візуалізації і зберігання даних.

Структурно ІВС складається з основних рівнів:

- первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків);
- збору та перетворення даних (АЦП, модулі вводу);

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- обробки та керування (контролер);
- візуалізації та зберігання даних (SCADA/сервер).

На рисунку 2.9 представлено структурну схему інформаційно-вимірювальної системи контролю та діагностики аварійного електропостачання.

Взаємодія між компонентами здійснюється через промислові інтерфейси зв'язку, такі як Modbus RTU/TCP, Ethernet або Profibus.



Рисунок 2.9 – Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи контролю та діагностики електропостачання

На рівні первинних вимірювальних перетворювачів здійснюється безпосередній контроль електричних і технологічних параметрів. Для вимірювання струмів і напруг використовуються трансформатори струму та напруги, а також багатофункціональні вимірювачі електричної енергії, зокрема типу PowerLogic PM5350 [34].

Для контролю параметрів електричної мережі та стану обладнання використовуються: трансформатори струму типу Schneider Electric iEM3255 [35] або ABB CTL [36]; трансформатори напруги (вбудовані або зовнішні); багатофункціональні вимірювачі електроенергії Schneider Electric PowerLogic PM5350 [37]

Такі пристрої забезпечують визначення діючих значень напруги та струму, активної і реактивної потужності, коефіцієнта потужності, частоти, а також дозволяють оцінювати якість електроенергії, включаючи гармонічні спотворення.

Контроль технічного стану обладнання реалізується за допомогою датчиків температури типу PT100 [38], датчиків рівня палива [39] та дискретних датчиків стану [40, 41] для контролю: положення автоматичних вимикачів; стану АВР; режимів роботи генератора.

Останні використовуються для фіксації положення комутаційних апаратів, режимів роботи генераторної установки та стану системи автоматичного введення резерву. Такий підхід забезпечує комплексне уявлення про функціонування всієї системи електропостачання.

Сигнали від вимірювальних перетворювачів надходять до модулів збору даних, де здійснюється їх перетворення у цифрову форму. Для цього використовуються модулі аналогового та дискретного вводу, зокрема Siemens SM 1231 та SM 1221 [42], які забезпечують прийом сигналів стандартів 0–10 В та 4–20 мА. Аналого-цифрове перетворення виконується з достатньою розрядністю, що дозволяє забезпечити необхідну точність вимірювань. Передача даних між елементами системи здійснюється за допомогою промислових протоколів зв'язку, таких як Modbus RTU або

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Modbus TCP [43], що забезпечують надійний обмін інформацією між польовими пристроями та верхнім рівнем керування.

Центральним елементом інформаційно-вимірювальної системи є програмований логічний контролер, наприклад Siemens S7-1200 [44] або Schneider Electric Modicon M221 [45].

Контролер виконує наступні функції:

- циклічне опитування датчиків;
- обробка вимірювальної інформації;
- виявлення аварійних режимів (зникнення напруги, перевантаження, відхилення частоти);
- формування сигналів керування для системи АВР;
- передача даних на верхній рівень.

Алгоритм роботи контролера базується на порівнянні поточних значень параметрів із допустимими межами. У разі виходу параметрів за встановлені межі формується сигнал аварії та ініціюється відповідна реакція системи (перемикаання на резерв, запуск генератора тощо).

Для забезпечення взаємодії з оператором та реалізації функцій диспетчеризації використовується SCADA-система, наприклад Siemens WinCC або EcoStruxure SCADA Expert. Така система забезпечує:

- візуалізацію параметрів електропостачання у реальному часі;
- архівацію даних;
- формування аварійних повідомлень;
- віддалений доступ.

Інформація відображається у вигляді мнемосхем, що відтворюють структуру системи електропостачання (мережа, АВР, генератор, UPS). Крім того, SCADA-система забезпечує можливість віддаленого доступу до даних через мережу, що є важливим для оперативного контролю та управління.

Інтеграція інформаційно-вимірювальної підсистеми у структуру електропостачання дозволяє суттєво підвищити ефективність функціонування системи. Зокрема, забезпечується оперативне виявлення

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

аварійних ситуацій, скорочується час реагування на відмови, підвищується точність контролю параметрів та з'являється можливість прогнозування технічного стану обладнання. Таким чином, інформаційно-вимірвальна система є невід'ємною складовою сучасних систем аварійного електропостачання, що забезпечує їх перехід на новий рівень надійності та інтелектуалізації.

2.6 Оцінювання похибок вимірювання та дискретизації сигналів

Важливою характеристикою інформаційно-вимірвальної системи є точність отримуваних даних, яка визначається сукупністю похибок вимірвальних перетворювачів, аналого-цифрового перетворення та цифрової обробки сигналів. Оцінювання цих похибок є необхідним для забезпечення достовірності результатів контролю та прийняття керуючих рішень.

Загальна похибка вимірювання параметра визначається як сума основних складових:

$$\Delta = \Delta_{\text{датч}} + \Delta_{\text{АЦП}} + \Delta_{\text{квант}} + \Delta_{\text{обр}},$$

де $\Delta_{\text{датч}}$ - похибка первинного вимірвального перетворювача;

$\Delta_{\text{АЦП}}$ - похибка аналого-цифрового перетворювача;

$\Delta_{\text{квант}}$ - похибка квантування;

$\Delta_{\text{обр}}$ - похибка цифрової обробки сигналу.

Похибка квантування визначається розрядністю аналого-цифрового перетворювача і може бути оцінена як половина кроку квантування:

$$\Delta_{\text{квант}} = (U_{\text{max}} - U_{\text{min}}) / (2 \cdot 2^n),$$

де U_{max} та U_{min} - відповідно максимальне та мінімальне значення сигналу;

n - розрядність аналого-цифрового перетворювача.

Крок квантування сигналу визначається за формулою:

$$q = (U_{\text{max}} - U_{\text{min}}) / 2^n.$$

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Зменшення кроку квантування за рахунок збільшення розрядності АЦП дозволяє підвищити точність вимірювання, однак супроводжується підвищенням вимог до обчислювальних ресурсів та швидкодії системи.

Важливим аспектом є також дискретизація аналогових сигналів у часі. Частота дискретизації повинна відповідати:

$$f_s \geq 2f_{\max},$$

де f_s - частота дискретизації;

$f_{\max}$ - максимальна частота спектру сигналу.

У випадку вимірювання параметрів електричної мережі промислової частоти (50 Гц) частота дискретизації вибирається з урахуванням необхідності аналізу гармонічних складових і, як правило, знаходиться в діапазоні від 1 до 10 кГц.

Крім того, при цифровій обробці сигналів можуть виникати додаткові похибки, пов'язані з апроксимацією та фільтрацією. Для їх зменшення застосовуються методи цифрової обробки, зокрема алгоритми ковзного середнього та цифрові фільтри низьких частот.

Таким чином, врахування похибок вимірювання та параметрів дискретизації є необхідною умовою забезпечення точності та надійності функціонування інформаційно-вимірювальної системи. Правильний вибір параметрів аналого-цифрового перетворення та алгоритмів обробки сигналів дозволяє підвищити достовірність контролю та ефективність роботи системи аварійного електропостачання.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи контролю та діагностики електропостачання

У сучасних умовах експлуатації об'єктів критичної інфраструктури, зокрема лікувальних закладів, підвищуються вимоги не лише до надійності електропостачання, але й до можливості оперативного контролю, аналізу та діагностики режимів роботи електротехнічного обладнання. Це обумовлює необхідність інтеграції інформаційно-вимірювальних систем у структуру електропостачання.

На основі розглянутих у розділі 2 технічних рішень побудовано структурну схему (рисунок 3.1) системи аварійного електропостачання критичного об'єкту (лікарні). Окремо на рисунку 3.1 виділено інформаційно-вимірювальну систему, яка забезпечує збір, обробку та передачу даних про параметри електропостачання та стан обладнання, а також формує керуючі впливи на виконавчі елементи, зокрема систему автоматичного введення резерву та генераторну установку. В цілому схема відображає взаємодію основних джерел електропостачання, виконавчих елементів та підсистеми збору і обробки інформації.

У верхній частині схеми зображено силову частину системи електропостачання, яка включає основну та резервну мережі, а також дизель-генераторну установку. Перемикання між джерелами здійснюється за допомогою системи автоматичного введення резерву, яка забезпечує безперервність електропостачання у разі відмови основного джерела. Електроенергія після перемикання надходить до розподільчого щита, звідки живляться споживачі, у тому числі через джерела безперебійного живлення, що гарантують відсутність перерви для критично важливого обладнання.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

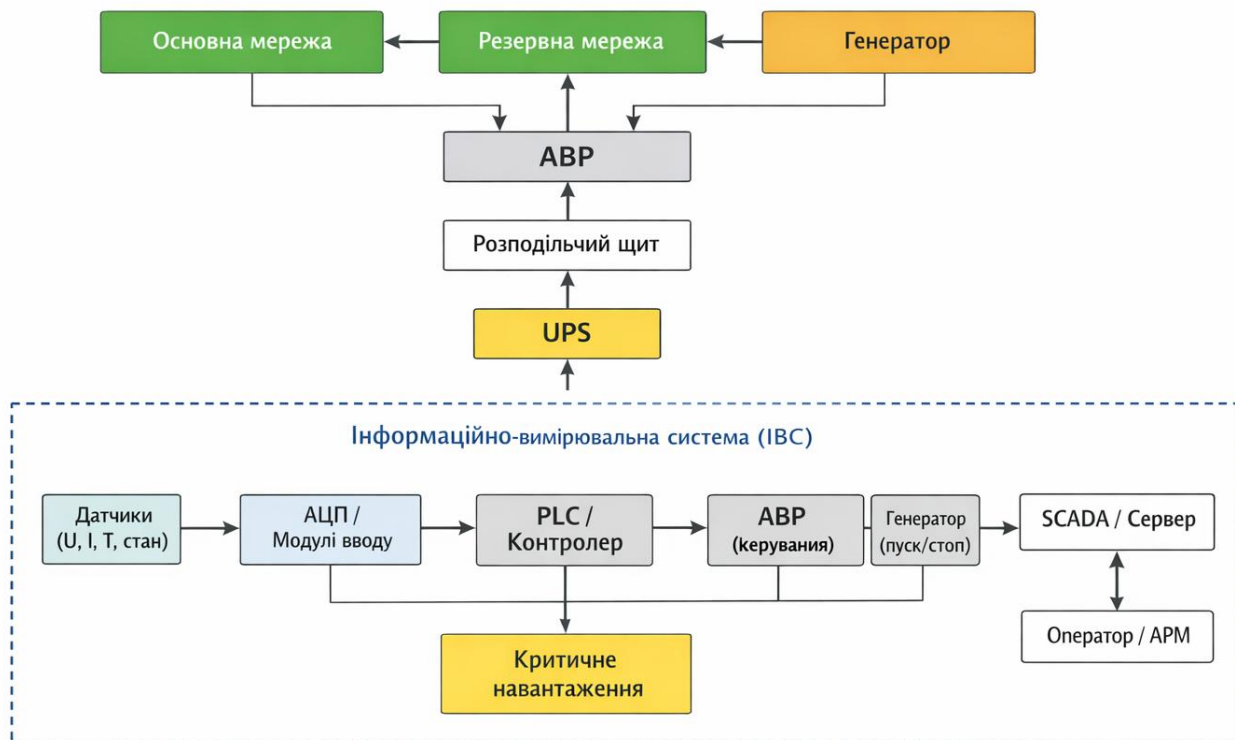


Рисунок 3.1 – Схема системи аварійного електропостачання

Нижня частина схеми відображає інформаційно-вимірювальну систему, яка функціонально інтегрована з силовою частиною. На рівні датчиків здійснюється вимірювання основних параметрів електропостачання та стану обладнання, зокрема напруги, струму, температури та режимів роботи пристроїв. Отримані сигнали надходять до модулів аналого-цифрового перетворення, де здійснюється їх дискретизація та підготовка до цифрової обробки.

Центральним елементом інформаційно-вимірювальної системи є програмований логічний контролер, який виконує обробку отриманої інформації, аналізує стан системи та формує керуючі сигнали. На основі результатів обробки контролер здійснює управління системою автоматичного введення резерву та генераторною установкою, забезпечуючи автоматичне перемикавання джерел живлення та підтримання необхідних режимів роботи.

На верхньому рівні інформаційно-вимірювальної системи функціонує SCADA-система, яка забезпечує візуалізацію параметрів у реальному часі,

архівацію даних та формування аварійних повідомлень. Оператор отримує можливість здійснювати моніторинг стану системи, аналізувати її роботу та оперативно реагувати на відхилення.

Таким чином, представлена схема реалізує замкнений цикл контролю та керування, у якому поєднуються процеси вимірювання, обробки інформації та впливу на об'єкт керування. Інтеграція інформаційно-вимірювальної системи дозволяє підвищити надійність, ефективність та безпеку функціонування системи аварійного електропостачання лікарні.

3.2 Алгоритм роботи інформаційно-вимірювальної системи аварійного електропостачання

Функціонування системи електропостачання з інтегрованою інформаційно-вимірювальною підсистемою базується на реалізації алгоритму, який забезпечує безперервний контроль параметрів електромережі, виявлення аварійних режимів та автоматичне перемикання на резервні джерела живлення.

Алгоритм роботи системи (рисунок 3.2) передбачає циклічне виконання послідовності операцій збору, обробки та аналізу інформації, а також формування керуючих впливів на виконавчі елементи системи.

На початковому етапі здійснюється безперервний моніторинг параметрів основного джерела електропостачання. За допомогою датчиків та вимірювальних перетворювачів контролюються значення напруги, струму та частоти. Отримані аналогові сигнали надходять до модулів аналого-цифрового перетворення, де вони перетворюються у цифрову форму та передаються до програмованого логічного контролера.

Контролер виконує аналіз отриманих даних шляхом порівняння їх із заданими допустимими межами. У разі, якщо параметри електропостачання знаходяться у встановленому діапазоні, система продовжує роботу у

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

штатному режимі, забезпечуючи живлення споживачів від основного джерела.

У випадку виявлення відхилення параметрів, зокрема зниження або повної втрати напруги, контролер фіксує аварійний стан та ініціює запуск процедури резервування. З метою уникнення помилкових спрацювань передбачено використання часової затримки, яка дозволяє відфільтрувати короточасні збурення в мережі.

Після підтвердження аварійного режиму формується команда на запуск дизель-генераторної установки. Одночасно здійснюється контроль готовності резервного джерела, зокрема перевіряється досягнення номінальних значень напруги та частоти генератора.

Після стабілізації параметрів генераторної установки контролер формує сигнал на систему автоматичного введення резерву, яка здійснює перемикавання навантаження з основного джерела на резервне. У цей період джерела безперебійного живлення забезпечують безперервність електропостачання критичних споживачів.

У процесі роботи від резервного джерела система продовжує моніторинг параметрів як генератора, так і основної мережі. У разі відновлення параметрів основного джерела до номінальних значень виконується зворотне перемикавання навантаження. Перед цим також реалізується затримка часу для підтвердження стабільності роботи мережі.

Після повернення до нормального режиму здійснюється відключення генераторної установки та переведення системи у початковий стан очікування. При цьому інформаційно-вимірювальна система продовжує виконувати функції моніторингу та діагностики.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

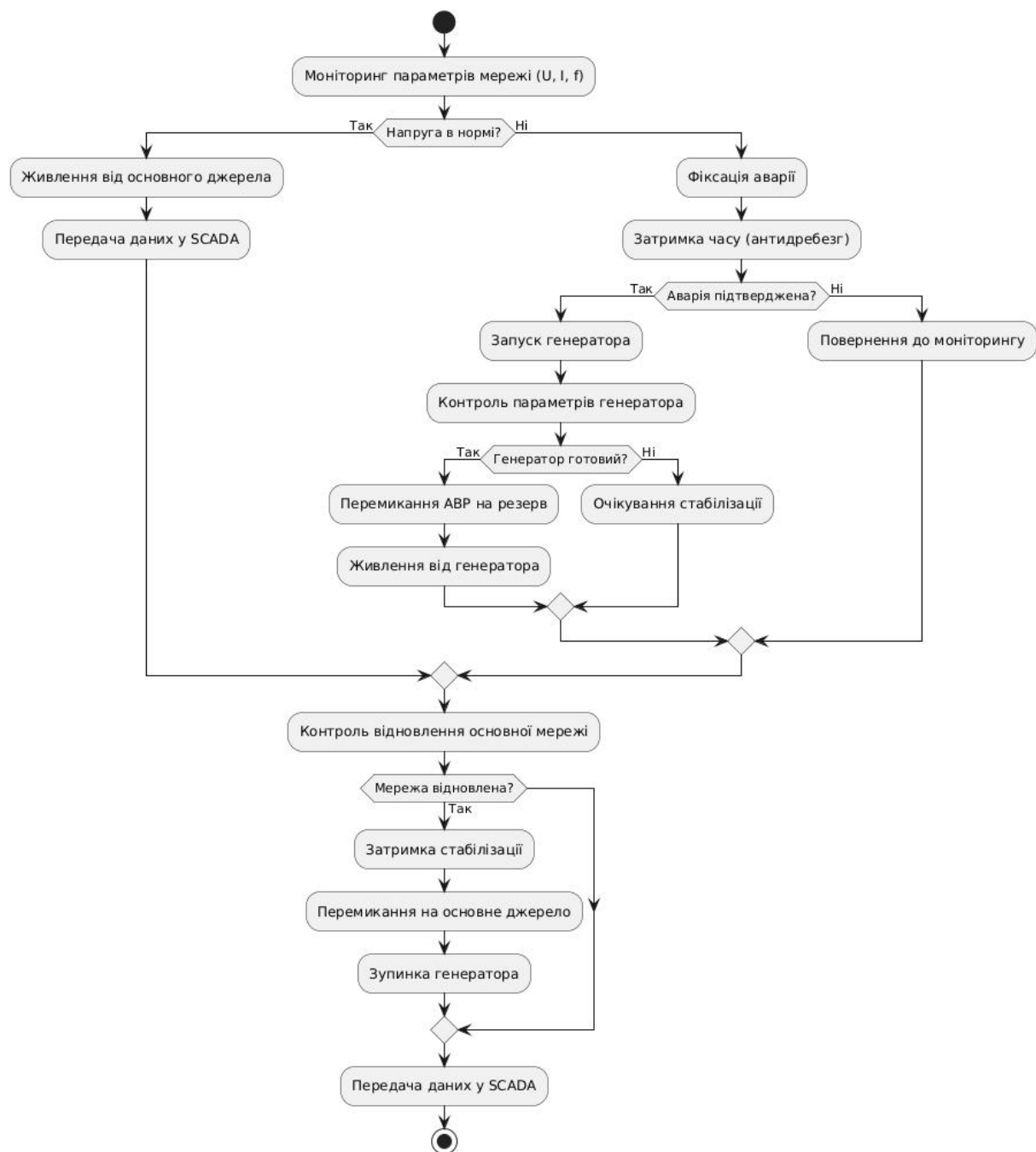


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи інформаційно-вимірювальної системи електропостачання

Важливою складовою алгоритму є функції реєстрації та передачі інформації. Усі події, пов'язані зі зміною режимів роботи системи, фіксуються та передаються до SCADA-системи, де здійснюється їх візуалізація, архівація та аналіз. У разі виникнення аварійних ситуацій

формуються відповідні сигнали тривоги для оперативного інформування персоналу.

Таким чином, алгоритм роботи інформаційно-вимірювальної системи забезпечує реалізацію замкненого циклу керування, що включає контроль параметрів, прийняття рішень та вплив на об'єкт керування. Це дозволяє підвищити надійність електропостачання, зменшити час реагування на аварійні ситуації та забезпечити безперервність живлення критично важливих споживачів.

3.3 Оцінка надійності системи електропостачання

Надійність системи аварійного електропостачання визначається її здатністю виконувати задані функції у встановлених умовах протягом певного часу без відмов. Підвищення надійності досягається за рахунок використання багаторівневої структури резервування, яка включає основне джерело живлення, резервні вводи, дизель-генераторну установку та джерела безперебійного живлення.

Надійність системи електропостачання залежить від:

- частоти відмов окремих компонентів пристрою;
- резервування;
- легкості усунення потенційних точок відмови;
- прозорих процедур експлуатації системи електропостачання та розробки графіка перевірок та заміни обладнання.

Для підвищення надійності електропостачання використовується резервування, що передбачає використання більшої кількості силових пристроїв, ніж необхідно для забезпечення необхідної потужності.

У системах електропостачання використовуються наступні типи резервування.

Реактивне резервування - воно виникає, коли резервні пристрої не працюють, але готові до роботи. Ці системи активуються у разі відмови або

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

перевірки пристрою. До недоліків систем з пасивним резервуванням належать перебої з живленням під час процесу перемикання та можливість виходу з ладу пристрою, підключеного до аварійного джерела. Прикладом пасивного резервування є система явного АВЖ, описана в розділі 1.4.

Активне (паралельне) резервування – виникає, коли споживач електроенергії живиться від кількох паралельних джерел. Джерело живлення спроектовано таким чином, що відмова будь-якого з шляхів не призводить до зменшення потужності, що подається споживачам (або до зменшення значення, прийнятного для споживача). Таке резервування показано на рисунку 3.3 Кожен трансформатор навантажується потужністю $S_{n1} = S_{n2} \cong 0,5 \cdot S_n$. У разі відмови трансформатора другий трансформатор бере на себе живлення всіх споживачів.

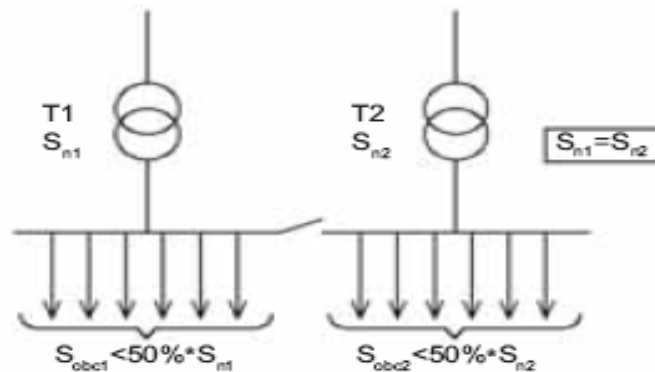


Рисунок 3.3 - Базова паралельна система активного резервування.

Паралельне активне резервування $N+1$ – це резервування виникає, коли для належної роботи системи живлення потрібно N пристроїв, підключених паралельно, і для підвищення надійності живлення додається один пристрій з такими ж параметрами, як і N пристроїв.

$N+n$ паралельне активне резервування виникає тоді, коли для належної роботи системи живлення потрібно N паралельно з'єднаних компонентів, і для підвищення надійності живлення додається n однакових пристроїв, які складають резерв при збереженні умови $N \geq 1$. Система живлення розроблена таким чином, щоб включати щонайменше два резервні пристрої, які будуть

вмикатися за нормальних умов, на додаток до запланованої кількості пристроїв. У системі, показаній на рисунку 3.4, для належної роботи достатньо одного ДБЖ, тоді як решта два складають резерв, гарантуючи безперервне живлення та підтримуючи резервування $N+1$ у разі виходу з ладу одного з них. Таке рішення забезпечує додаткову надійність живлення та більшу гнучкість під час перевірок та аварій. Його недоліком є значне збільшення витрат при лише незначному покращенні надійності живлення [19].

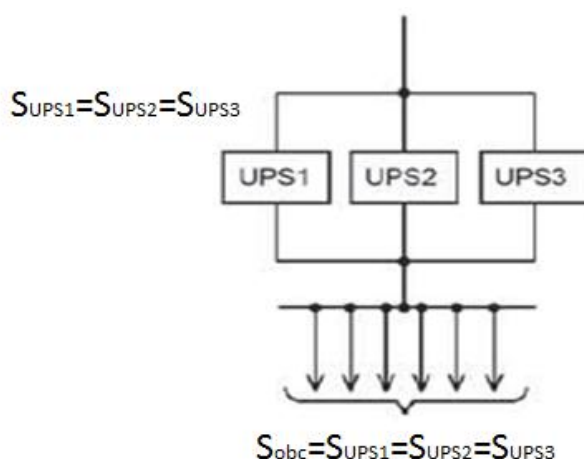


Рисунок 3.4 - Спрощений приклад паралельного активного резервування $N+n$

Послідовне (каскадне) резервування – це приклад захисту байпасної лінії у разі відключення живлення від мережі. Це одне з найкращих рішень для проектування систем, що відповідають найвищим вимогам надійності електропостачання.

У системі, представлений на рисунку 3.5, тиристорний перемикач QS підключений до кола живлення вторинного навантаження, яке за нормальних умов експлуатації перебуває у відключеному стані. До системи керування перемикача QS надходять сигнали від ДБЖ-1 та ДБЖ-2, які інформують про роботу цих джерел безперебійного живлення у режимі внутрішнього байпасу. У разі одночасного переходу ДБЖ-1 і ДБЖ-2 на байпас тиристорний перемикач QS автоматично блокується. При цьому вторинні

навантаження відключаються, тоді як пріоритетні споживачі продовжують отримувати резервне живлення від акумуляторної системи ДБЖ-3.

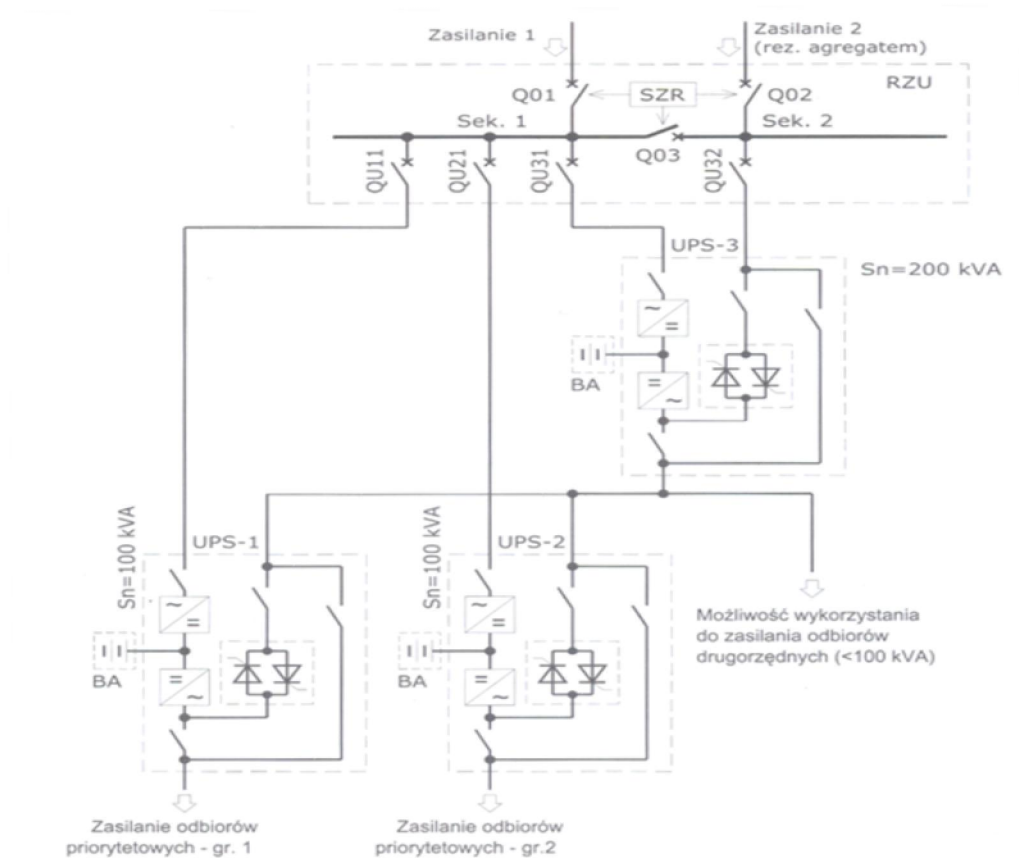


Рисунок 3.5 - Послідовне (каскадне) резервування ДБЖ

Максимальний рівень надійності електропостачання забезпечується застосуванням двох незалежних систем безперебійного живлення з роздільним живленням навантажень від кожної з них. Перемикання між джерелами здійснюється за допомогою статичних перемикачів STS - безконтактних електронних комутаторів живлення, встановлених безпосередньо на навантаженнях. Така конфігурація наведена на рисунку 3.6 [27], де паралельне резервування реалізоване саме через використання STS. У цьому випадку кожна система ДБЖ повинна бути розрахована на забезпечення повної потужності всіх підключених навантажень.

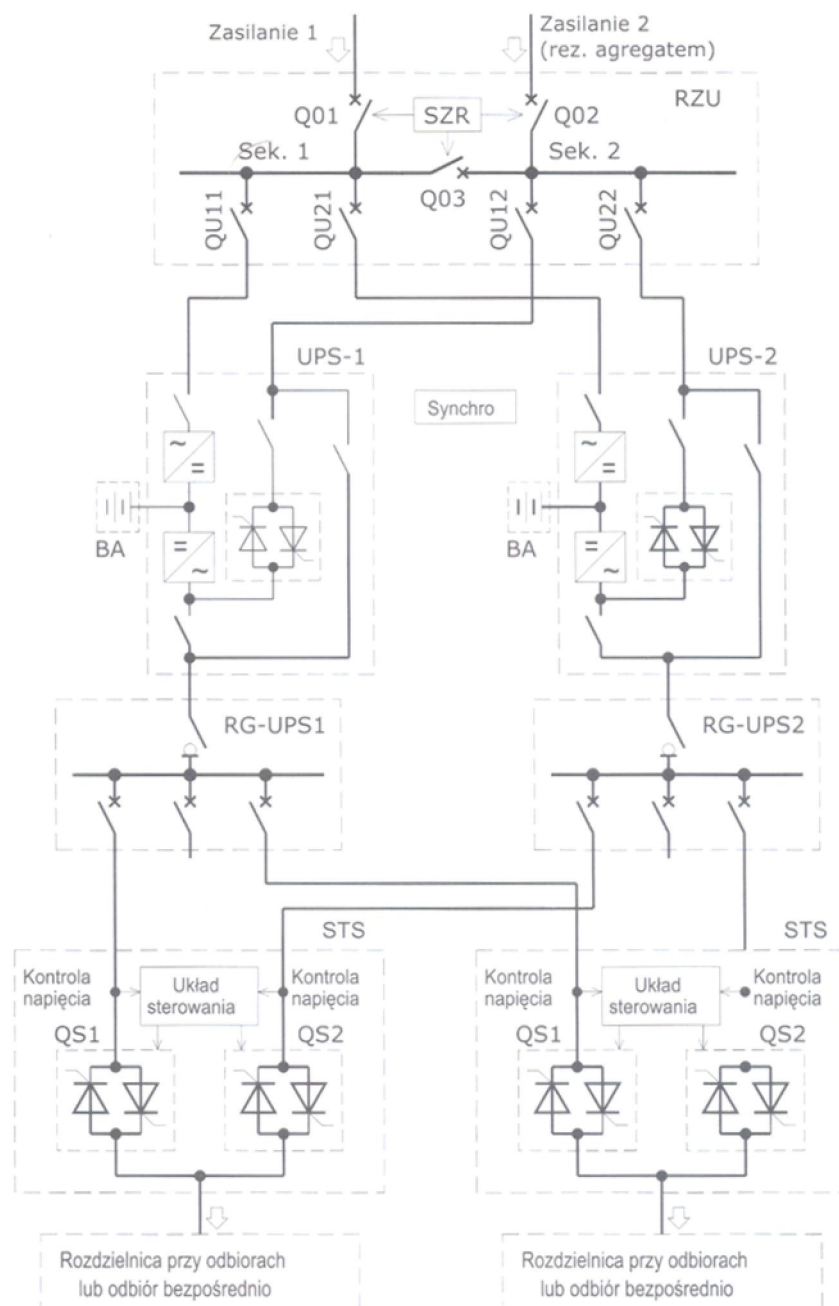


Рисунок 3.6 - Паралельне резервування з використанням STS

На рисунку 3.7 представлено універсальну систему електропостачання об'єкта підвищеної надійності, що отримує живлення від двох незалежних трансформаторних підстанцій. Залежно від експлуатаційних вимог та застосованих технічних рішень, розглянутих раніше, структура системи може бути розширена додатковими елементами або спрощена шляхом виключення окремих компонентів.

ze stacji transformatorowej II SN/nn

ze stacji transformatorowej I SN/nn

SZR

$R_u \leq 30 \Omega$

RGN

SZR

ZP

$R_u \leq 5 \Omega$

RNR

UPS

STK

odbiorniki II kategorii zasilania

RNG

odbiorniki I kategorii zasilania

STK

RSP

ZP – генераторна установка

UPS – джерело безперебійного живлення

STK – джерело живлення для телекомунікацій

RNA – щит аварійного розподілу напруги

RNG – щит гарантованої напруги

RGnN – головний розподільний щит низької напруги

RSP – щит розподілу постійного струму

SZR – автоматичний резервний вимикач

Під час проєктування подібних систем особливу увагу необхідно приділяти забезпеченню безперервного електропостачання критично важливого обладнання, для якого навіть короточасні перерви або просідання напруги можуть призвести до загрози життю людей, значних матеріальних збитків або порушення технологічних процесів.

Використання системи автоматичного введення резерву забезпечує мінімізацію впливу людського фактора та скорочення часу перемикання між джерелами живлення. Додатково впровадження інформаційно-вимірювальної системи дозволяє здійснювати безперервний моніторинг параметрів роботи обладнання та своєчасно виявляти передаварійні стани.

Інтеграція засобів діагностики та контролю підвищує загальну надійність системи за рахунок можливості прогнозування відмов та проведення профілактичного обслуговування. Таким чином, запропонована система характеризується високим рівнем надійності, що відповідає вимогам до об'єктів критичної інфраструктури.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання випускної роботи розроблено систему електропостачання з інтегрованою інформаційно-вимірювальною системою контролю та діагностики, що забезпечує підвищення надійності електропостачання критично важливих об'єктів.

У процесі роботи було виконано аналіз нормативно-правових вимог до електропостачання та встановлено підвищені вимоги до надійності, безперервності та якості електропостачання. Досліджено існуючі технічні рішення у сфері аварійного електропостачання, зокрема системи автоматичного введення резерву, джерела безперебійного живлення та дизель-генераторні установки.

На основі проведеного аналізу розроблено структуру системи аварійного електропостачання, яка включає основне та резервне джерела живлення, генераторну установку, систему автоматичного введення резерву та ДБЖ. Запропонована структура забезпечує багаторівневе резервування та відповідає вимогам до електропостачання об'єктів критичної інфраструктури.

У роботі обґрунтовано вибір основних елементів системи та визначено їх функціональне призначення. Розроблено структурну схему інформаційно-вимірювальної системи, яка забезпечує збір, обробку та передачу інформації про параметри електропостачання та стан обладнання.

Сформовано алгоритм роботи системи, який забезпечує автоматичне виявлення аварійних режимів, запуск резервного джерела живлення та перемикання навантаження з використанням системи автоматичного введення резерву. Запропонований алгоритм дозволяє мінімізувати час реагування та виключити вплив людського фактору.

Виконано оцінку ефективності розробленої системи за показниками надійності. Встановлено, що застосування інформаційно-вимірювальної системи дозволяє підвищити рівень надійності, скоротити час виявлення

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

аварій та забезпечити безперервне електропостачання критично важливих споживачів.

Таким чином, поставлена мета роботи досягнута, а розроблена система може бути використана при проєктуванні та удосконаленні систем електропостачання критичних об'єктів.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17/ed20251031#Text>.
2. Закон України «Про ринок електричної енергії» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>.
3. ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/92.1.-DBN-V.2.5-232010.-Inzhenerne-obladnannya-budinkiv-i.pdf>.
4. ДБН В.2.5-23:2025 «Проектування електроустановок житлових будинків та громадських будівель і споруд» [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3728029580368283042.
5. Вимоги до проектування, монтажу та експлуатації електроустановок [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://pozhezhni-systemy.org.ua/pue-pravya-ulashtuvannya-elektroustanovok/>.
6. Загальні вимоги до електроустановок [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf>
7. ДСТУ EN 60364 – електроустановки низької напруги [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104606.
8. ДСТУ EN 62040 – системи безперебійного живлення [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91078.
9. ДСТУ EN 60947-6-1 – апаратура автоматичного перемикання [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=81801.
10. Вимоги до безпеки електроустановок; параметрів якості електроенергії; характеристик і випробувань обладнання [Електронний ресурс]

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ресурс] – Режим доступу: <https://umnodom.com.ua/suchasni-standarty-ta-normatyvy-elektromontazhu/>.

11. Transfer switch [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Transfer_switch.

12. Automatic Transfer Switches. Technical sheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://assets.legrand.com/general/mediagrnp-ft-gt/f02233en_01_eng_v5.pdf.

13. TruONE Automatic Transfer Switches. Global catalog. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://new.abb.com/docs/librariesprovider22/default-document-library/truone_ats_1scc303008c0201_global_catalog_22-03.pdf.

14. Automatic Transfer Switch Controller DSE530. Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.deepseaelectronics.com/ats/automatic-transfer-switch-control-modules/dse530/downloads/datasheet>.

15. Automatic Transfer Switching Equipment ATyS a M. Installation and operating manual [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.socomec.ru/sites/default/files/2024-05/ATYS-A-M-%3D-63-A-IEC_INSTALLATION-AND-OPERATING-MANUAL_2024-05_552931_EN.pdf.

16. Automatic transfer switch controllers ATL series [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.rs-online.com/c459/A700000011520095.pdf>

17. ATS-33 Automatic Transfer Switch Controller [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kutai.com.tw/products/automatic-transfer-switch/ats-33>.

18. Trans-ATS Automatic Transfer Switching Controllers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.emkoelektronik.com.tr/en/products/trans-ats>.

19. Правила улаштування електроустановок. – Харків : Форт, 2017. – 760с.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

20. Кузнєцов М. П., Лисенко О. Г. Електропостачання промислових підприємств : навч. посіб. – Київ : Кондор, 2018. – 312 с.
21. Праховник А. В., Денисюк С. П. Системи електропостачання та електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 344 с.
22. Автоматичне введення резерву: принцип роботи та призначення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://avr.com.ua/avtomatychne-vvedennya-rezervu/>.
23. Автоматичний ввід резерву [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.etk.ua/korysno-znaty/avtomatychnyj-vvid-rezervu/>.
24. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств : підручник. – Вінниця : Нова Книга, 2004. – 656 с.
25. Шкрабець Ф. П. Електропостачання : навчальний посібник. – Дніпро : НГУ, 2015. – 540 с.
26. Андрєєв А. І., Банзак О. В. Джерела безперебійного живлення телекомунікаційних і комп'ютерних систем : навчальний посібник. – Київ : ДУІКТ, 2014. – 196 с.
27. Бурбело М. Й., Бірюков О. О., Мельничук Л. М. Електропостачання : навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 204 с.
28. Кадацький А. Ф., Русу О. П. Системи електроживлення підприємств зв'язку : навчальний посібник. – Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2016. – 77 с.
29. АBB. ATS021, ATS022 Automatic Transfer Switches [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://new.abb.com/docs/librariesprovider22/technical-documentation/ats-021_022.pdf
30. АBB. Automatic transfer switches [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://new.abb.com/low-voltage/products/switches/automatic-transfer-switches>.

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

31. Автоматичні вимикачі Eaton (Moeller) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://axiomplus.com.ua/ua/avtomaticheskie-vyklyuchateli/eaton/?srsltid=AfmBOoq457PkZoUeLmEHQvJWTAevbl5wSAyBnsZR4vG27m9mS_D1n4F-

32. Legrand Україна - Електротехнічне обладнання для житлових, комерційних та промислових об'єктів. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.legrand.ua/uk>

33. Schneider Electric Україна. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/>

34. Багатофункціональні вимірювачі електричної енергії PowerLogic PM5350. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://eleng.com.ua/nyzkovoltne-obladnannia/prylady-vymiriuvannia-ta-obliku/lichylnyky-elektroenerhii/bahatofunktsionalnyi-vymiriuvach-lichylnykrm5350-metsepm5350> .

35. Трансформатори струму Schneider Electric iEM3255. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://schneider.kiev.ua/vimiryuvach-iem3255-schneider-electric-a9mem3255> .

36. Трансформатори струму ABB CTL. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://new.abb.com/products/7TAN007200R0068/ctl302> .

37. Багатофункціональні вимірювачі електроенергії Schneider Electric PowerLogic PM5350. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/product/METSEPM5350> .

38. Датчики температури PT100. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.kosmodrom.com.ua/prodlist.php?name=PT100> .

39. Датчики рівня палива. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://monitoring-gps.com.ua/palyvni-datchyky/datchyky-rivnya-palyva?srsltid=AfmBOoovIxrKfCd8DcivJz7euSmEYzM8nnk9GmWoz5zXjx9louy7sMW> .

40. Дискретні датчики стану. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.datakom.kiev.ua/catalog/ustatkuvannya_dlya_elektrogeneratoriv .

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

41. Дискретні датчики стану. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://genset.com.ua/ua/shhit-avr-cto-eto-takoe-i-kak-rabotaet-pereklyuchenie-set-generator/>.

42. Модулі аналогового та дискретного вводу Siemens SM 1231 та SM 1221. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/6es7231-5nd32-0xb0/analog-input-sm-1231-4ai-16bit?pid=161225&mlfb=6ES7231-5ND32-0XB0&mfn=ps&lc=en-BY>.

43. Промислові протоколи зв'язку Modbus RTU, Modbus TCP. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.a2m.com.ua/ua/post/>.

44. Програмований логічний контролер Siemens S7-1200. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.a2m.com.ua/ua/post/>

45. Програмований логічний контролер Schneider Electric Modicon M221. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/>

					ДП.МТІР.11510980.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		