

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

менеджменту

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему

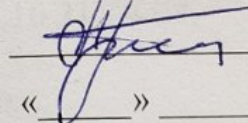
Аналіз надійності підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка»

Виконав: студент 2 курсу, групи Е-23 мсз
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Гуліватий В.О.

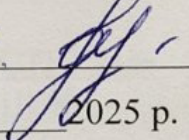
Керівник: д.т.н., проф. каф. ЕСЕЕМ



Бурбело М.Й.

« » 2025 р.

Рецензент к.т.н., доцент каф. ЕСС
(наук. ступінь, вч. звання, назва кафедри)

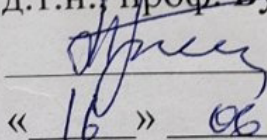
Скорська О.В. 

« » 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

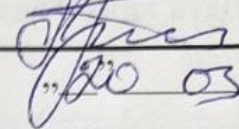
д.т.н., проф. Бурбело М.Й.



«16» 06 2025 р.

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСЕМ
проф. Бурбело М.Й.


„20” 03 2025 р

ЗАВЛАННЯ
на кваліфікаційну роботу
Гуліватору Володимиру Олександровичу

1. Тема роботи Аналіз надійності підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка»

керівник роботи Бурбело Михайло Йосипович, д.т.н., професор,
затверджені наказом по ВНТУ від «20» 03 2025 року, № 97

2. Строк подання студентом дипломної роботи «10» 06 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Технічні параметри шафи ШОТ1М 220 12 17 180 6 16 21УХЛ4;;
Схеми електрична принципова ШОТ1М 220 12 17 180 6 16 21УХЛ4; Зовнішній вигляд
комплектної шафи ШОТ1М 220 12 17 180 6 16 21УХЛ4.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДСТАНЦІЮ 110/35/10 КВ «КАЛИНІВКА»

1.1 Відомості про технологічні процеси

1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності
електропостачання

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

3 ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДСТАНЦІЇ 110/35/10 КВ «КАЛИНІВКА» ШЛЯХОМ
МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

3.1 Впровадження новітніх систем АКБ

3.2 Вибір акумуляторної батареї

3.3 Вибір зарядно-підзарядних пристроїв

3.4 Розробка АВР

3.5 Оптимальний алгоритм управління заряду та розряду акумуляторних батарей

4. Охорона праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу.

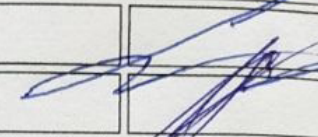
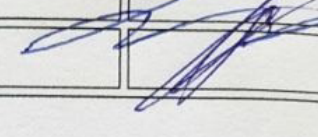
1. Однолінійна схема ПС 110/35/10 кВ «Калинівка»

2. Схема підключення ЗПП до шини постійного струму

3. Схема АВР

4. Графік інтелектуального заряду АКБ

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

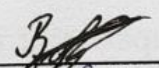
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Кобилянський О.В., к.п.н., професор		
Нормоконтр	Войтюк Ю.П., к.т.н., ст.викладач		

7. Дата видачі завдання «__»__2025 року

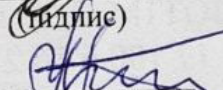
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Пр
1	Загальні відомості про енергетичне господарство.	10.05.2025	
2	Аналіз системи електропостачання енергетичного господарства.	15.05.2025	
3	Розрахунок схеми електропостачання цеху	20.05.2025	
4	Охорона праці	31.05.2025	
5	Графічна частина роботи	05.06.2025	
6	Написання розрахунково-пояснювальної записки	10.06.2025	

Студент


(підпис)

Керівник дипломної роботи


(підпис)

Гуліватий В.О.
(прізвище та ініціали)

Бурбело М.Й.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гуліватий Володимир Олександрович. Аналіз надійності підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка». Бакалаврська дипломна робота. Спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Кафедра ЕСЕЕМ – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕЕМ, 2025 – 75с.

У роботі виконано техніко-аналітичне обґрунтування модернізації системи оперативного постійного струму (СОПС) підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка» ПАТ «Вінницяобленерго» з метою підвищення її надійності. Проведено аналіз електротехнічної структури підстанції, схеми живлення власних потреб та оцінено поточний стан СОПС.

У науково-дослідній частині обґрунтовано доцільність впровадження літій-залізо-фосфатних акумуляторів для підвищення надійності СОПС та розроблено схему резервування. Досліджено оптимальний алгоритм керування зарядом АКБ з урахуванням режимів CC–CV, балансування та захисту від перенапруги.

Розглянуто питання охорони праці під час експлуатації акумуляторних батарей і зарядних пристроїв у складі СОПС.

Ключові слова: підстанція 110/35/10 кВ, СОПС, акумуляторна батарея, зарядно-підзарядний пристрій, АВР, надійність.

ABSTRACT

Gulyavatiy Volodymyr Oleksandrovykh. Reliability analysis of a 110/35/10 kV substation "Kalynivka". Bachelor thesis. Specialties 141 – Power engineering, electrical engineering and electromechanics. – ESEEM Department – Vinnytsia: VNTU, FEEEM, 2025 – 75p.

The thesis provides a technical and analytical justification for the modernization of the DC auxiliary power supply system (SOPS) of the 110/35/10 kV "Kalynivka" substation of PJSC "Vinnytsiaoblenergo" in order to enhance its reliability. The electrical structure of the substation, the internal power supply scheme, and the current state of the SOPS are analyzed.

In the research section, the feasibility of implementing lithium iron phosphate (LiFePO_4) batteries to improve the reliability of the SOPS is substantiated, and a backup configuration scheme is developed. An optimal battery charge management algorithm is investigated, taking into account CC–CV modes, cell balancing, and overvoltage protection.

Occupational safety issues related to the operation of batteries and charging devices within the SOPS are also considered.

Keywords: 110/35/10 kV substation, SOPS, battery system, charging device, automatic transfer switch (ATS), reliability.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДСТАНЦЮ 110/35/10 КВ «КАЛИНІВКА»	7
1.1 Відомості про технологічні процеси	7
1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності електропостачання	13
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	18
3 ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДСТАНЦІЇ 110/35/10 КВ «КАЛИНІВКА» ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	24
3.1 Впровадження новітніх систем АКБ	24
3.2 Вибір акумуляторної батареї	26
3.3 Вибір зарядно-підзарядних пристроїв	31
3.4 Розробка АВР	36
3.5 Оптимальний алгоритм управління заряду та розряду акумуляторних батарей.....	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	43
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	43
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	43
4.1.2 Електробезпека.....	46
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	47
4.2.1 Мікроклімат.....	47
4.2.2 Склад повітря робочої зони	48
4.2.3 Виробниче освітлення	49
4.2.4 Виробничий шум	49
4.3 Пожежна безпека	50
ВИСНОВКИ	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55

ДОДАТКИ	58
Додаток А (обов'язковий). Вихідні дані	59
Додаток Б (обов'язковий). Графічна частина.....	62
Додаток В (обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	68
Додаток Г (обов'язковий). Ілюстративна частина	70

ВСТУП

Актуальність роботи. Система оперативного постійного струму (СОПС) є важливою складовою функціонування підстанції, оскільки забезпечує живлення релейного захисту, автоматики, телемеханіки, сигнальних кіл та приводів високовольтних вимикачів. У разі втрати напруги в СОПС або виходу з ладу акумуляторної батареї підстанція не здатна виконати комутаційні операції, реалізувати аварійне відключення або запуск резервних схем, що створює ризик повної втрати керованості об'єктом.

На ПС 110/35/10 кВ «Калинівка» експлуатується застаріла система на основі свинцево-кислотних АКБ, ресурс якої вичерпано, що значно підвищує ймовірність відмов у аварійних режимах. Ці батареї мають низьку кількість глибоких циклів заряду/розряду, значну залежність від температури, велику масу та потребують частого обслуговування.

У зв'язку з цим актуальним є впровадження сучасних LiFePO_4 акумуляторних батарей і відповідних зарядно-підзарядних пристроїв, які забезпечують стабільну напругу, мають тривалий ресурс, нижчі втрати та менші вимоги до технічного догляду. Модернізація СОПС на основі таких компонентів дозволяє суттєво підвищити надійність комутацій, стабільність захистів і загальну стійкість підстанції в умовах порушення живлення від основної мережі.

Мета і задачі дослідження. Метою бакалаврської дипломної роботи є підвищення надійності підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка» шляхом модернізації системи оперативного постійного струму з впровадженням сучасних технологій енергозберігаючого обладнання.

Для досягнення цієї мети поставлено наступні задачі:

- провести аналіз електротехнічної структури ПС «Калинівка» та оцінити роль СОПС у забезпеченні її надійності;
- дослідити технічний стан наявної системи СОПС та виявити її обмеження;
- обґрунтувати вибір сучасних АКБ типу LiFePO_4 та зарядно-підзарядних пристроїв;

- здійснити технічне проектування модернізованої системи СОПС, включаючи вибір АКБ, ЗПП, схеми з'єднання і резервування;
- реалізувати алгоритм оптимального керування процесами заряду та розряду АКБ;
- розробити рішення щодо впровадження системи АВР на стороні 0,4 кВ для забезпечення резервного живлення ЗПП.

Об'єкт дослідження – система оперативного постійного струму (СОПС) підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка» як ключовий елемент внутрішнього енергоживлення та забезпечення роботи захисту й автоматики.

Предмет дослідження – підвищення надійності підстанції шляхом модернізації СОПС із впровадженням сучасних акумуляторних батарей LiFePO_4 та зарядно-підзарядних пристроїв.

Методи дослідження. У роботі використано аналітичні методи оцінки надійності, техніко-економічне порівняння варіантів АКБ, електротехнічні розрахунки струмового навантаження, а також методи проектування схем заряджання і резервування.

Наукова новизна. У дипломній роботі розроблено технічно обґрунтовану модернізацію СОПС із переходом на літій-залізо-фосфатні АКБ та впровадженням адаптивного алгоритму керування процесом заряду. Запропоновано оптимальну архітектуру системи на основі 17 батарей Pylontech RT12100G31 та шести зарядно-підзарядних пристроїв Ardroid 14,6 V 50 A з повним резервуванням.

Практична цінність роботи полягає в створенні ефективного рішення для підвищення надійності роботи СОПС, яке може бути використане як типове при модернізації інших підстанцій із застарілими системами оперативного живлення. Запропоноване рішення забезпечує підвищену стійкість до аварійних режимів, скорочення витрат на обслуговування та відповідає сучасним вимогам до безпеки об'єктів критичної інфраструктури.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДСТАНЦІЮ 110/35/10 КВ «КАЛИНІВКА»

1.1 Відомості про технологічні процеси

Підстанція 110/35/10 кВ «Калинівка» мереж ПАТ «Вінницяобленерго» яка розташована на території села Павлівка, Калинівського району, Вінницької області є ключовим елементом електричної мережі регіонального рівня, що забезпечує електропостачання значної частини промислових, комунально-побутових та сільськогосподарських об'єктів Калинівського району. Підстанція виконує функцію перетворення електричної енергії з високої напруги 110 кВ у середню (35 кВ) та низьку (10 кВ) з подальшим розподілом до споживачів.

Технологічна структура ПС включає два силові трансформатори потужністю по 25 МВА (ТДТН-25000/110), що забезпечують незалежну роботу двох секцій розподільчих пристроїв 35 кВ і 10 кВ. Розподільчі пристрої високої та середньої напруги ВРП-110 кВ, ВРП-35 кВ виконані за відкритим типом.



Рисунок 1.1 – Супутниковий знімок ПС «Калинівка»

У складі підстанції також передбачено комплекс допоміжного обладнання: трансформатори власних потреб, система постійного оперативного струму, захист і автоматика, система обліку електроенергії, а також сучасні пристрої телемеханіки для взаємодії з диспетчерськими пунктами.

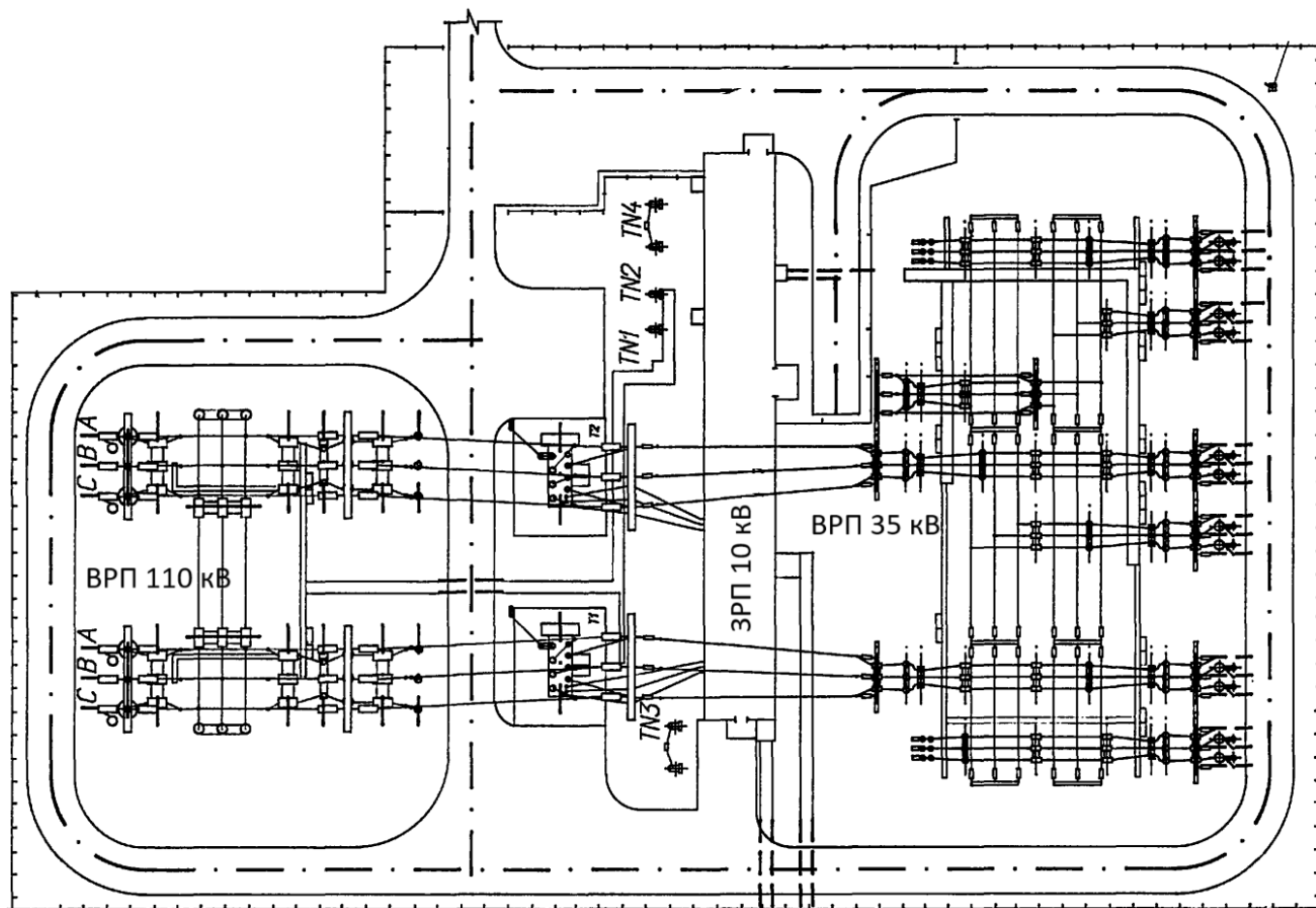


Рисунок 1.2 – План підстанції 110/35/10 кВ

Технологічні процеси на підстанціях класу напруги 110/35/10 кВ передбачають поетапне зниження напруги, трансформацію параметрів електроенергії відповідно до вимог споживачів, а також надійне секціонування мережі. На таких підстанціях забезпечується безперервний моніторинг електричних величин у режимі реального часу, що дозволяє оперативно реагувати на зміну навантаження, аварійні стани або відхилення показників якості електроенергії. До складу ПС також входять пристрої вторинних кіл, що реалізують функції захисту, сигналізації, автоматичного повторного ввімкнення (АПВ), автоматичного включення резерву (АВР), а також синхронізації й дистанційного керування.

Підстанція 110/35/10 кВ оснащується широким спектром електротехнічного обладнання, що забезпечує надійне перетворення, розподіл, захист та керування електроенергією в межах заданих рівнів напруги. Нижче наведено короткий опис основних елементів, що входять до складу сучасної трансформаторної підстанції.

Силові трансформатори. Є основним енергетичним вузлом підстанції. Вони здійснюють перетворення електричної енергії з рівня напруги 110 кВ на 35 кВ та 10 кВ. Завдяки цьому забезпечується можливість передачі енергії на великі відстані з мінімальними втратами, а також подальший розподіл до кінцевих споживачів.

Розподільчі пристрої (ВРП-110 кВ, ВРП-35 кВ, ЗРП-10 кВ). РП забезпечують приймання, комутацію, облік та розподіл електроенергії між різними секціями мережі. ВРП-110 кВ зазвичай виконуються у відкритому виконанні (ВРП), тоді як ВРП-35 кВ та ЗРП-10 кВ можуть бути як відкритого, так і закритого типу (ЗРП). Через ці пристрої реалізується підключення повітряних та кабельних ліній, а також здійснюється резервування живлення.

Комірки КРУ/КРУН. Комплектні розподільчі пристрої внутрішньої установки застосовуються на рівнях напруги 10 кВ і 35 кВ. Комірки обладнані вакуумними або елегазовими вимикачами, трансформаторами струму та напруги, а також пристроями захисту, сигналізації та обліку. Основною функцією КРУН є безпечне керування електричними колами, реалізація АВР і локалізація аварійних процесів.

Вимикачі (масляні, вакуумні, елегазові). Ці апарати призначені для вмикання та вимикання електричних кіл у робочих і аварійних режимах. Вони забезпечують швидке відключення струмів короткого замикання або перевантаження, мінімізуючи поширення аварійного процесу на інші елементи системи.

Роз'єднувачі. Роз'єднувачі застосовуються для створення видимого розриву в колі після знеструмлення. Вони не призначені для комутації навантаження, однак забезпечують електробезпеку при технічному обслуговуванні та ремонті обладнання, виконуючи функцію механічної ізоляції.

Трансформатори власних потреб. Ці трансформатори забезпечують живлення споживачів внутрішньої мережі підстанції, таких як системи керування, освітлення,

вентиляція, автоматика та зарядні пристрої. Напруга знижується з 10 або 35 кВ до рівня 0,4 кВ для живлення допоміжного обладнання.

З урахуванням необхідності забезпечення надійного живлення критичного обладнання постійним оперативним струмом та стратегічної важливості безперебійної роботи підстанцій класу напруги 110 кВ, проектна документація часто передбачає впровадження системи оперативного постійного струму (СОПС). СОПС є невід'ємною частиною системи власних потреб підстанції й забезпечує гарантоване живлення низки ключових споживачів у разі зникнення основного джерела змінного струму.

СОПС підстанції забезпечує електроживлення таких груп обладнання:

- пристрої релейного захисту та протиаварійної автоматики (РЗА, ПА);
- пристрої керування високовольними комутаційними апаратами;
- системи телемеханіки, зв'язку та передавання команд;
- елементи АСКТП, WAMS (PMU), локальної мережі та синхронізації;
- системи АСКОЕ, АСКПЯЕ, протипожежного захисту;
- кола електромагнітного блокування та приводи вимикачів;
- резервні джерела живлення інформаційно-обчислювальної інфраструктури.

Загальний план приміщення СОПС представлений рисунку 1.3.

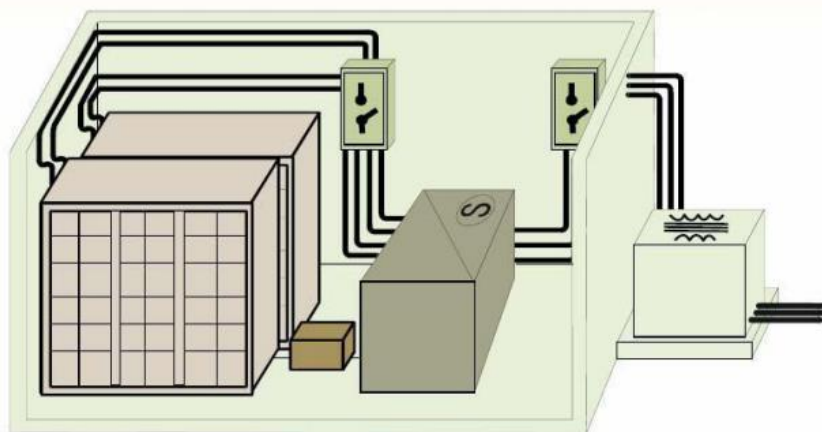


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд системи оперативного постійного струму

Для частини телекомунікаційних і автоматизованих систем передбачені джерела безперебійного живлення (ДБЖ), які функціонують як від власної акумуляторної батареї, так і від мережі оперативного постійного струму.

СОПС виконує такі функції:

- моніторинг напруги, струму та реєстрація відхилень параметрів;
- контроль заряду акумуляторної батареї (АБ) та роботи ЗПП;
- контроль опору ізоляції та пошуку замикань на землю без відключення приєднань;
- автоматичне формування сигналів тривоги та аварій;
- резервування джерел живлення;
- інтеграція в АСКТП для дистанційного керування та діагностики.

Структурно СОПС складається з:

шаф оперативного струму (ШОС);

- зарядно-підзарядних пристроїв (ЗПП);
- акумуляторної батареї (АБ);
- систем контролю ізоляції, захисту від перенапруг і моніторингу;
- кабельної мережі та постійних електроприймачів.

Шафа оперативного струму складається з двох частин.

В першій шафі розташовано:

- шинна збірка 0,4 кВ
- ЗПП – 3 штуки з параметрами: $U_{вх}$ – 380В AC; $U_{вих}$ – 220В DC; $I_{вих}$ – 20А DC;
- ввідні автоматичні вимикачі змінного та постійного струму для кожного ЗПП;
- автоматичний вимикач вводу живлення АБ з можливістю дистанційного керування;
- секції шин постійного струму;
- автоматичні вимикачі ліній споживачів;
- систему моніторингу і контролю, на базі контролера з передачею інформації до АСКТП.

У другій шафі оперативного струму розташовуються необслуговані АБ фронт-термінального підключення.

Шафа оперативного струму забезпечує:

- нормальну роботу при відхиленнях напруги мережі від номінального значення в межах від мінус 15 до плюс 15% і відхиленнях частоти мережі живлення від номінального значення в межах 1 Гц;

- живлення вихідних кіл оперативного постійного струму від першого або другого вводу мережі живлення змінного струму, при цьому можливий режим роботи, при якому частина підзарядних пристроїв знаходяться в робочому режимі, а частина в гарячому резерві та режим включення підзарядних пристроїв на паралельних роботу акумуляторної батареї (АБ) при відсутності напруги на обох вводах.

Акумуляторна батарея (АКБ). АКБ є резервним джерелом постійного струму, що забезпечує працездатність критичних систем у разі знеструмлення підстанції. Тривалість автономної роботи зазвичай становить від 1 до 3 годин залежно від ємності акумуляторів і навантаження.

Режими роботи АБ:

- режим постійної підзарядки;
- режим прискореного заряду;
- режим розряду в колах оперативного постійного струму.
- можливість ручного увімкнення і вимкнення кіл, а також захист від струмів короткого замикання і перевантаження автоматичними вимикачами, селективність з вимикачами в колах приєднання АБ і в колах підзарядних пристроїв.

– Вимірювання:

- напруги в колах оперативного струму на секціях шин;
- струму навантаження кожного перетворювача;
- напруги між полюсами АБ і «землею»;
- струму в колі АБ;
- опору ізоляції кіл оперативного струму;
- напруги на вводах змінного струму.

СОПС забезпечує живлення споживачів оперативного постійного струму в нормальних режимах і протягом трьох годин у разі повного знеструмлення власних потреб ПС. Шафа оперативного струму має два вводи живлення від різних секцій

ЩВП 0,4 кВ. Шафа оперативного струму живить споживачів оперативного постійного струму як в будівлі релейних панелей (БРП) так і на ділянці ВРП за допомогою кабельних зв'язків.

Споживачі постійного струму розподілені між собою таким чином, що відмова однієї з них не призводить до втрати основних функцій РЗА, ПА, АСК ТП і керування комутаційними апаратами. У нормальному режимі живлення споживачів СОПС здійснюється від ЗПП, АБ бере навантаження на себе в разі виникнення пікових режимів (одночасної комутації кількох груп споживачів, виникнення КЗ), а також в аварійному режимі.

Мікропроцесорні пристрої релейного захисту (РЗА). Ці пристрої забезпечують швидке виявлення аварійних режимів (КЗ, перевантаження, перенапруга) та формують сигнали на вимикачі для усунення пошкодженої ділянки. Сучасні РЗА мають високу чутливість, точність і підтримують широкий набір логічних функцій.

З метою підвищення енергоефективності та експлуатаційної надійності, сучасні підстанції такого типу часто оснащуються мікропроцесорними пристроями релейного захисту, які забезпечують селективність і швидкодію при коротких замиканнях. Використання цифрових систем моніторингу й комунікації (SCADA, ASDU) дозволяє диспетчерському персоналу централізовано керувати підстанцією та здійснювати діагностику стану основного й допоміжного обладнання без необхідності постійної присутності обслуговуючого персоналу на місці.

1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності електропостачання

Основними споживачами електроенергії від підстанції є:

- об'єкти критичної інфраструктури (лікарні, станції водопостачання, адміністративні установи);
- промислові підприємства різного профілю;
- житловий сектор (багатоповерхова та приватна забудова);

– сільськогосподарські комплекси (елеватори, ферми, системи зрошення, агропереробні підприємства).

Загальне розрахункове навантаження підстанції становить орієнтовно 20 МВт у денний максимум, що є типовим для підстанцій регіонального значення, які забезпечують електропостачання споживачів змішаного типу. З огляду на критичний характер окремих споживачів, зокрема в галузі охорони здоров'я, водопостачання та об'єктів інфраструктури, безперервність енергопостачання має ключове значення.

Відповідно до вимог ДБН В.2.5-23:2010 [6] та ПУЕ [7], підстанція обслуговує споживачів II категорії надійності електропостачання. Це означає, що для більшості приєднаних об'єктів допускається короткочасне (до кількох хвилин) переривання живлення лише за умови автоматичного увімкнення резервного джерела або перемикання на альтернативну лінію.

Для виконання цієї вимоги на підстанції передбачено два силові трансформатори, що працюють за схемою резервування типу N-1. Така конфігурація дозволяє зберігати живлення при виході з ладу одного трансформатора: другий трансформатор бере на себе навантаження, достатнє для підтримки роботи пріоритетних споживачів.

Водночас, система електроживлення власних потреб підстанції належить до I категорії надійності, оскільки забезпечує функціонування релейного захисту, автоматики, телемеханіки, зв'язку, обігріву та інших критичних систем. Надійність цієї системи досягається шляхом використання трьох незалежних джерел живлення:

- Перший трансформатор власних потреб (ТВП);
- Другий резервний ТВП, що вводиться в роботу автоматично при зникненні основного живлення;
- Система оперативного постійного струму, реалізована на базі шафи типу ШОТ1М, яка підтримує роботу обладнання навіть за повної втрати змінного живлення.

Для забезпечення безперебійної роботи електротехнічних систем реалізовано автоматичне введення резерву (АВР) на стороні 0,4 кВ. У разі втрати одного з

джерел, АВР забезпечує миттєве перемикання без втрати живлення критичних об'єктів підстанції.

Додатково, на підстанції реалізовано секціонування шин напругою 10 та 35 кВ, що дозволяє ізолювати аварійну ділянку та продовжувати електропостачання інших споживачів без значних втрат. За потреби живлення особливо відповідальних об'єктів може дублюватися через резервні повітряні лінії, підключені до сусідніх підстанцій.

Таким чином, застосовані технічні рішення повністю відповідають вимогам до II категорії надійності електропостачання для споживачів, а також I категорії надійності для систем власних потреб. Це гарантує високий рівень безперервності енергозабезпечення та стійкість до аварійних ситуацій.

На рисунку 1.4 представлена однолінійна схема ПС 110/35/10 кВ «Калинівка». Однолінійна схема підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка» демонструє класичну структуру підстанції із трьома рівнями напруги.

Електроенергія з напругою 110 кВ подається на два силові трансформатори, які понижують її до рівня 35 кВ та 10 кВ. Кожен трансформатор працює незалежно та може забезпечувати живлення відповідних секцій підстанції. Наявність двох трансформаторів дозволяє реалізувати резервування, при виході з ладу одного трансформатора другий може тимчасово забезпечити подачу живлення пріоритетним споживачам.

Розподільчий пристрій 10 кВ також має секціоновану структуру та призначений для живлення міських та сільських споживачів, об'єктів комунальної інфраструктури, а також систем власних потреб самої підстанції. Кожна лінія обладнана захисною апаратурою та можливістю оперативного вимкнення в аварійних ситуаціях.

На стороні 10 кВ підключено два трансформатори власних потреб, які знижують напругу до 0,4 кВ. Вони використовуються для живлення систем керування, автоматики, освітлення та інших технологічних потреб. Для забезпечення їх надійної роботи передбачена система автоматичного ввімкнення резерву, яка перемикає живлення у разі відмови основного джерела.

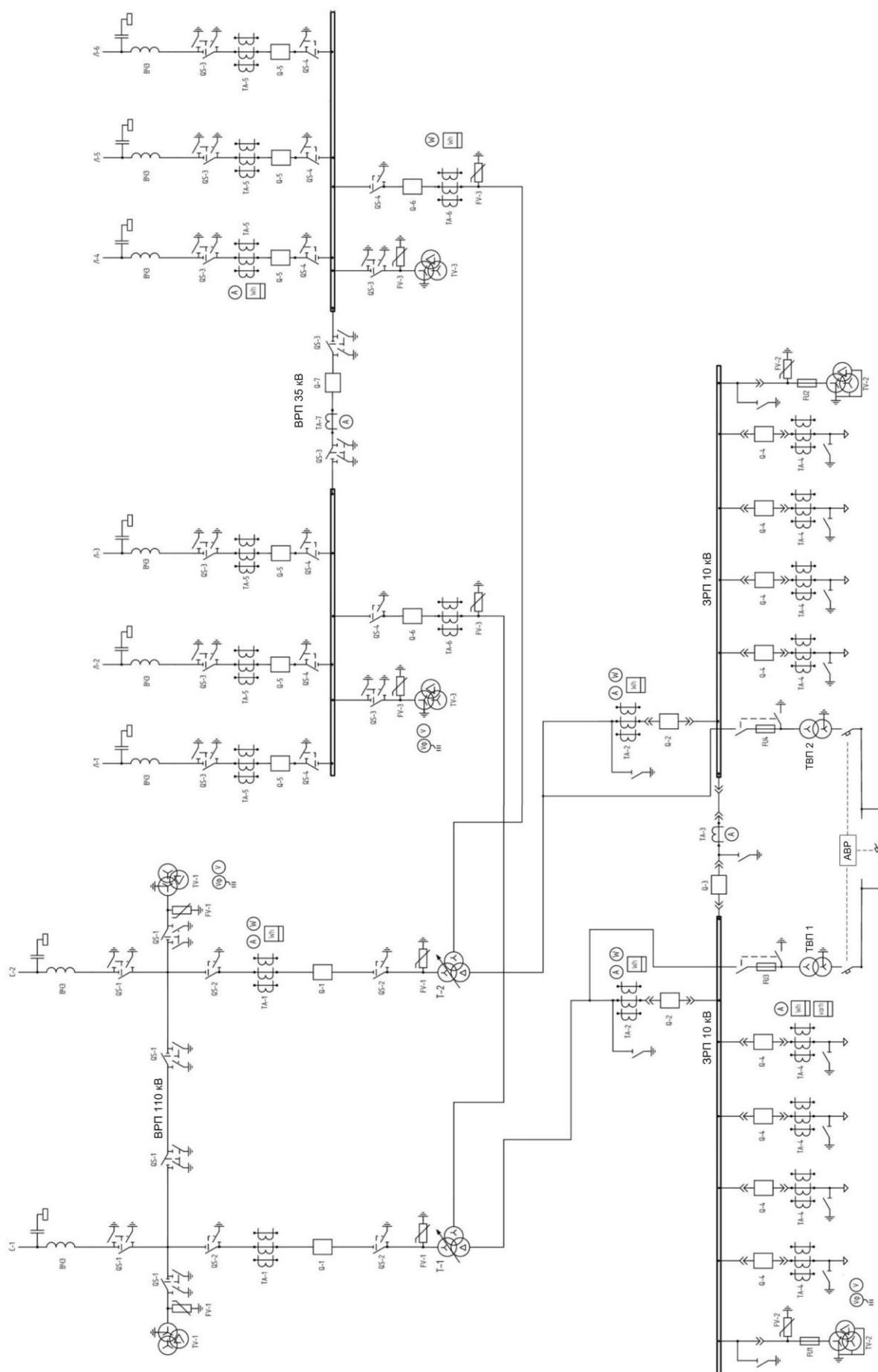


Рисунок 1.4 – Однолінійна схема ПС 110/35/10 кВ «Калинівка»

Висновки по розділу 1.

У першому розділі дипломної роботи проведено загальний аналіз ПС 110/35/10 кВ «Калинівка», яка входить до структури мереж ПАТ «Вінницяобленерго» та виконує ключову роль у системі електропостачання Калинівського району.

1. Встановлено, що підстанція здійснює поетапне перетворення електроенергії з напруги 110 кВ до 35 кВ і 10 кВ. Її електротехнічна структура включає два силові трансформатори типу ТДТН-25000/110, розподільчі пристрої 110, 35 і 10 кВ, а також допоміжні системи: трансформатори власних потреб, шафи оперативного струму, пристрої релейного захисту та телемеханіку. Усі ці елементи забезпечують перетворення, контроль і безпечний розподіл електроенергії в умовах регіонального навантаження.

2. Забезпечення безперебійної роботи підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка» є ключовим завданням. Особливо важливою є система власних потреб, до складу якої входять елементи управління, контролю та захисту, що належать до I категорії надійності.

Для гарантованого живлення власних потреб передбачено три незалежних джерела: два трансформатори власних потреб (ТВП-1 і ТВП-2) та система оперативного постійного струму. Така конфігурація забезпечує високий рівень резервування та підтримку живлення критичних споживачів навіть при повній втраті напруги змінного струму.

Надійне живлення ланцюгів оперативного постійного струму є визначальним чинником для стабільної роботи релейного захисту, автоматики, телемеханіки та дистанційного керування.

У зв'язку з цим модернізація системи оперативного постійного струму є актуальною задачею. Яка досягається заміною зношених елементів і впровадження сучасного обладнання з підвищеною надійністю та ресурсом, що дозволяє істотно підвищити надійність системи живлення власних потреб ПС.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

На підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка» для живлення систем релейного захисту, автоматики, телемеханіки та виконавчих механізмів використовується система оперативного постійного струму, реалізована на основі комплектної шафи ШОТ1М-220-12-17-180-6-16-21УХЛ4 (рисунок 2.1). Ця система забезпечує гарантовану подачу напруги постійного струму до критичних споживачів навіть у разі повної втрати зовнішнього живлення. Основу системи складають випрямні модулі, акумуляторна батарея, блок автоматики перемикання режимів, обігрів АКБ, система сигналізації та допоміжне електротехнічне обладнання.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд комплектної шафи ШОТ1М

В таблиці 2.1 представлені технічні параметри шафи ШОТ1М.

Таблиця 2.1 – Технічні параметри шафи ШОТ1М

Параметр	Значення / Опис
Назва та тип шафи	ШОТ1М-220-12-17-180-6-16-21УХЛ4 (SOT-01-01 / ШОС-А-055)
Призначення	Система оперативного живлення 220 В пост. струму з батареями та випрямлячами
Габаритні розміри	2200 × 600 × 600
Напруга живлення змінного струму	3×380 В, 50 Гц
Номінальна вихідна напруга DC	220 В
Діапазон стабілізації напруги DC	229–231 В
Тип випрямлячів (ЗУ)	SG3, по 10 А кожен; кількість – 6 модулів; сумарний струм – до 60 А
Тип АКБ	Герметизовані свинцево-кислотні, AGM, 12 В на один АКБ
Кількість батарей	17 АКБ по 12 В, підключених послідовно
Номінальна ємність АКБ	55–110 А·год (залежно від модифікації)
Мін. напруга АКБ при розряді	≈183–184 В (≈1,8 В на АКБ)
Обігрів шафи АКБ (ШОС АБ)	RH1, RH3: автоматичний/ручний режим; підтримання робочої температури
Система сигналізації	Контроль: «земля», «глибокий розряд», «втрата SG3», «перегрів», SCADA-виходи
Середній час безвідмовної роботи	≥100 000 год
Ступінь захисту	IP54
Гарантійний строк експлуатації	12 місяців; довготривале зберігання – до 1 року; при заміні АКБ – ресурс шафи ≥25 років

Принцип дії шафи оперативного постійного струму полягає у перетворенні змінної напруги 220 В, що надходить з двох вводів (1 та 2), у стабілізовану постійну напругу 220 В DC. Перемикання між вводами здійснюється автоматичним вимикачем U1, що виконує функцію АВР. Після вибору вводу, напруга надходить на зарядний пристрій (A2), який виконує функцію випрямлення та зарядки.

Вихід постійної напруги від зарядного пристрою через автоматичний вимикач Q2 (25 А) подається на основну шину 220 В DC. Паралельно до цієї шини підключено акумуляторну батарею (A4) через автомат Q1 (25 А). Це забезпечує гарантоване живлення споживачів у випадку відсутності змінної напруги на вводах. Наявність амперметрів на Q1 і Q2 дозволяє контролювати струм зарядки та розряду, а вольтметр показує загальний рівень напруги на шині.

Уся система працює під контролем блоку управління A1, який отримує живлення від головної шини через автомат Q3 (6 А). Також присутній блок контролю ізоляції (A3), який забезпечує моніторинг опору ізоляції постійного кола відносно землі. У разі порушення параметрів (наприклад, розряд АКБ), формуються сигнали тривоги KL1–KL3, які виводяться через роз'єм X1.

Споживачі підключаються до системи через автоматичні вимикачі QF1–QF16 на вихідній шині, що розведена на клемник X2. Наявність великої кількості відходящих ліній та диференційованих номіналів захисту (6 А, 10 А, 16 А) дозволяє жити широкий спектр споживачів постійного струму, з можливістю незалежного відключення кожного з них.

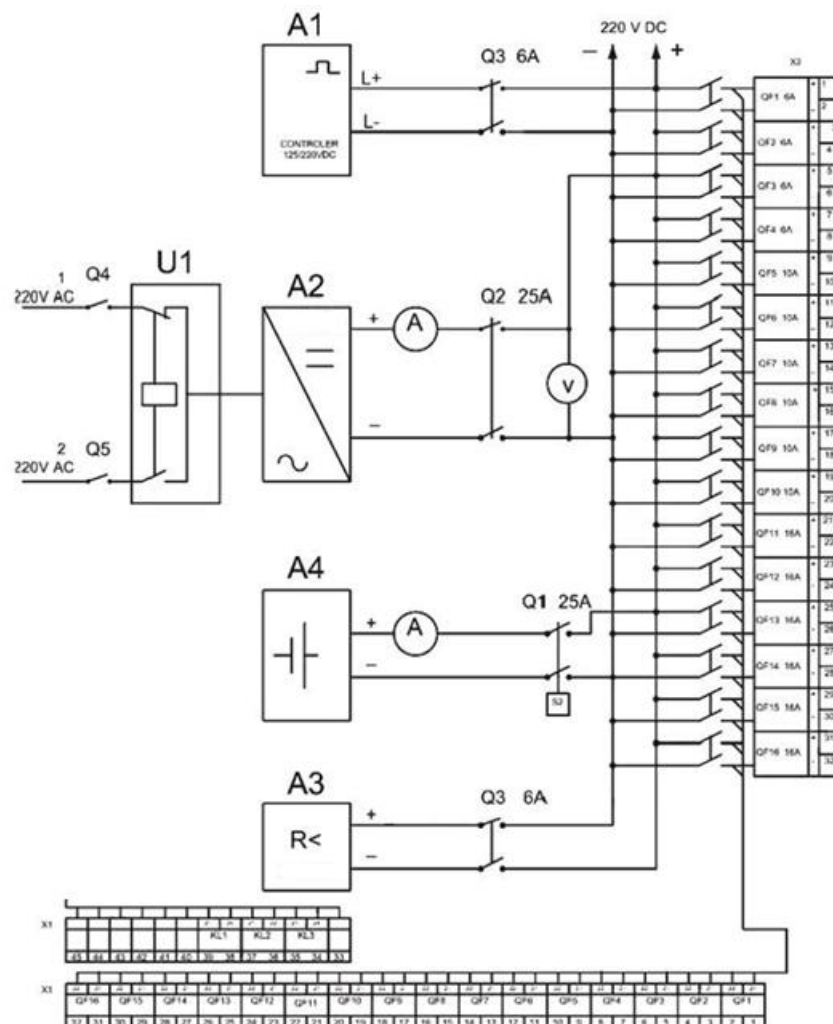


Рисунок 2.2 – Схеми електрична принципова ШОТ1М

На рисунку 2.2: U1 - АВР; A1 - блок управління та контролю; A2 - зарядний пристрій/випрямляч напруги; A3 – блок контролю ізоляції; A4 – блок акумуляторів.

Акумуляторна батарея складається з 17 послідовно з'єднаних герметичних свинцево-кислотних елементів, кожен з напругою 12 В та ємністю 100–110 А·год. Таке з'єднання забезпечує сумарну робочу напругу близько 204–230 В, що дозволяє утримувати номінальні 220 В постійного струму навіть у випадках часткового розряду. Використаний тип акумуляторів потребує періодичного контролю електроліту, чутливий до глибоких розрядів і має обмежений ресурс при інтенсивній експлуатації. З урахуванням зносу та зниження ефективності, акумуляторна батарея разом із випрямлячами потребує планової заміни або модернізації для забезпечення надійної роботи системи.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд задіяних свинцево-кислотних АКБ

Принцип роботи системи полягає в автоматичному перемиканні джерел живлення в залежності від стану вхідної напруги. При наявності напруги в мережі трифазного змінного струму 380 В випрямлячі забезпечують безперервне живлення споживачів та заряд АКБ. У разі зникнення мережевої напруги випрямлячі вимикаються, а навантаження миттєво переходить на живлення від акумуляторної батареї через відповідну схему автоматичного перемикання. Після відновлення мережі живлення споживачів знову подається від випрямлячів, а батарея переходить у режим підзаряду з контролем струму.

Для забезпечення надійної роботи системи передбачено обігрів шафи АКБ (ШОС АБ), що особливо актуально в умовах низьких температур. Обігрів виконується за допомогою нагрівальних елементів, що вмикаються автоматично або вручну через контактори. Наявність температурного захисту та сигналізації перегріву забезпечує стабільну роботу АКБ у будь-яких умовах.

Система обладнана блоком сигналізації аварійних станів. У складі шафи реалізовані релейні канали контролю, які спрацьовують при замиканні на землю, глибокому розряді АКБ, відмові випрямлячів, перегріві, зникненні напруги тощо. Вивід інформації може здійснюватися як локально (на щит індикації), так і на диспетчерський пункт через сухі контакти телемеханіки. Така архітектура дозволяє здійснювати оперативне виявлення та усунення несправностей без втрати функціональності системи.

Таблиця 2.2 – Основне обладнання СОПС

№	Найменування обладнання	Кількість	Призначення
1	Акумуляторна батарея (АКБ)	17 шт	Резервне живлення споживачів у разі втрати напруги в мережі
2	Випрямлячі змінного струму	6 шт	Перетворення змінної напруги 380 В у постійну 220 В, живлення АКБ і навантаження
3	Зарядний пристрій (вбудований у випрямляч)	6 шт	Заряд АКБ, стабілізація напруги
4	Шафа обігріву акумуляторів (ШОС АБ)	1 шт	Підтримка температурного режиму АКБ в холодну пору року
5	Автоматичні вимикачі	10 шт	Захист ланцюгів живлення, АКБ, навантаження
6	Система автоматики та керування	1 компл.	Логіка перемикавання, контроль режимів, запуск/зупинка
7	Система сигналізації несправностей	1 компл.	Передача аварій: «земля», «розряд», «відмова випрямлячів», «перегрів»
8	Мережева частина живлення	1 ланцюг	Живлення SG3 з трифазної мережі
9	Контролер моніторингу АКБ / Блок індикації	1 компл.	Відображення напруг, струмів, аварій, стану АКБ
10	Клемні з'єднання та шинопроводи	—	Комунікація між компонентами системи
11	Вентиляція шафи / обігрівачі	2 шт	Захист АКБ від перегріву/охолодження
12	Модуль телемеханіки / зв'язку з SCADA	1 компл.	Передача інформації про стан системи на диспетчерський пункт

Висновки по розділу 2.

Аналіз існуючої системи оперативного постійного струму підстанції свідчить про її відповідність вимогам, встановленим для систем електроживлення об'єктів I категорії надійності, до яких належить система власних потреб ПС. Конструкція комплексу є функціонально завершеною, охоплює всі необхідні режими роботи, а також обладнана інтелектуальними засобами моніторингу, контролю та захисту.

Водночас, з урахуванням вичерпання ресурсу акумуляторної батареї, що досягає граничного строку експлуатації, актуальним є питання її модернізації. Доцільним є не лише заміщення зношених елементів, але й перехід на сучасні типи АКБ із покращеними характеристиками за ресурсом, надійністю та ефективністю. Це дозволить підвищити загальну стабільність функціонування системи оперативного живлення, знизити витрати на технічне обслуговування та забезпечити гарантовану роботу критичних елементів підстанції навіть в умовах повної втрати зовнішнього живлення.

З ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДСТАНЦІЇ 110/35/10 КВ «КАЛИНІВКА» ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

3.1 Впровадження новітніх систем АКБ

Актуальність даної теми зумовлена тим, що підвищення надійності роботи безперебійного джерела живлення постійного струму безпосередньо призводить до зростання надійності СОПС, та всієї підстанції загалом. СОПС є основним джерелом живлення для релейного захисту, автоматики, телемеханіки та виконавчих механізмів, від яких залежить здатність підстанції своєчасно реагувати на аварійні події та стабільно працювати в усіх режимах. Втрата функціональності СОПС, зокрема через деградацію акумуляторної батареї чи несправність зарядного обладнання, одразу створює загрозу неконтрольованої роботи ПС. Будь-який збій у СОПС може призвести до порушення керованості підстанцією, помилкових або несвоєчасних дій захисту, що загрожує стійкості енергосистеми в цілому. Таким чином, підвищення надійності СОПС прямо впливає на здатність підстанції виконувати свої функції в нормальних та аварійних режимах, а її модернізація є необхідною умовою для досягнення відповідного рівня технічної безпеки та відповідності сучасним експлуатаційним вимогам.

Станом на сьогодні на підстанції експлуатується система, побудована на основі свинцево-кислотних акумуляторних батарей та зарядно-підзарядних пристроїв традиційної архітектури. Враховуючи закінчення нормативного ресурсу АБ, обмежений цикл служби (≤ 10 років), підвищену масу, деградацію при глибоких розрядах і залежність від температурних коливань, існуюча система вже не відповідає сучасним вимогам до енергоефективності, ресурсоощадності, швидкості відновлення та функціональної діагностики. Зниження її надійності в умовах аварій або втрати зовнішнього живлення створює ризик порушення керованості обладнанням підстанції та некоректного спрацювання захистів. У зв'язку з цим

модернізація СОПС є першочерговим технічним заходом, що прямо впливає на загальну надійність енергопостачання споживачів та безпеку енергосистеми.

У цьому розділі бакалаврської дипломної роботи розглядається технічне обґрунтування модернізації СОПС підстанції «Калинівка» шляхом впровадження високотехнологічних LiFePO_4 акумуляторних батарей та сучасного допоміжного обладнання. Використання Li-ion АБ забезпечує значно вищу кількість циклів (до 6000 при DOD 80%), зниження масогабаритних характеристик, зменшення втрат на саморозряд і ширший температурний діапазон експлуатації. Вбудовані BMS-системи дозволяють реалізувати повноцінний моніторинг стану кожного елементу батареї, автоматичне балансування осередків та передачу інформації через RS-485 до SCADA або АСКТП. Заміна класичних випрямлячів на нові інтелектуальні ЗПП дозволяє забезпечити функціонування в режимах CC–CV, температурну компенсацію заряду та надійний захист від перенапруг, КЗ і перегріву.

Використання літій-іонних акумуляторних батарей для СОПС, зокрема в умовах обмеженого простору підстанції, також дозволить суттєво підвищити ефективність використання площі. Завдяки стрімкому розвитку технологій Li-ion за останні роки, сучасні батареї мають покращені характеристики щільності енергії, надійності та терміну служби, а якість їх виготовлення постійно зростає, оновлення технічних параметрів і конструкцій відбувається в середньому кожні 6 місяців.

Li-ion АКБ мають ряд переваг перед свинцево-кислотними АКБ. Досягнутий для них ресурс при істотній глибині розряду - більше 6000 циклів, у той час як для свинцево-кислотних в тих же умовах - від 2000 до 4000 циклів; акумулятори працездатні за нормальної температури близько $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 3.1 – Порівняння параметрів АБ

Тип АКБ	Щільність енергії, Вт*год/кг	Рівень розвитку	Поширеність	Переваги	Недоліки
Li-ion	80–150	Доступні	Зростає	Висока щільність енергії та ККД	Висока ціна літєвих АКБ
Свинцево-кислотні	25–45	Доступні	Широко поширені	Низькі капітальні витрати	Низька щільність енергії

3.2 Вибір акумуляторної батареї

Системи безперебійного живлення зазвичай складаються з двох основних компонентів зарядно-підзарядних пристроїв та акумуляторної батареї. У ході дослідження сучасних рішень, що використовують літій-іонні акумулятори як джерело резервного живлення, було проаналізовано низку існуючих систем.

Вибір АКБ виконується виходячи з аварійного режиму роботи підстанції, коли до постійного навантаження батареї додається навантаження аварійного режиму – аварійне освітлення, пристрої телемеханіки та зв'язку та ін., яке в нормальному режимі роботи живляться від шин власних потреб змінного струму. Вихідною величиною для вибору батареї є її ємність.

Ємність АКБ визначається виходячи з струму, характеру навантаження і часу резервування. Розрахунок ємності заснований на методі подібності геометричних фігур. При цьому площа фігури обмежена шкалою часу і рівнем струму дорівнює необхідній ємності, якою повинна володіти акумуляторна батарея. Метод полягає в наступному. Графік струму навантаження в аварійному режимі (рисунок 3.1, а) можна привести до однакової по площі (рисунок 3.1, б), так як площі фігур рівні, то розрахунок ємності і визначення максимального струму за наведеним часом можна розраховувати по максимальному струму за більш короткий час.

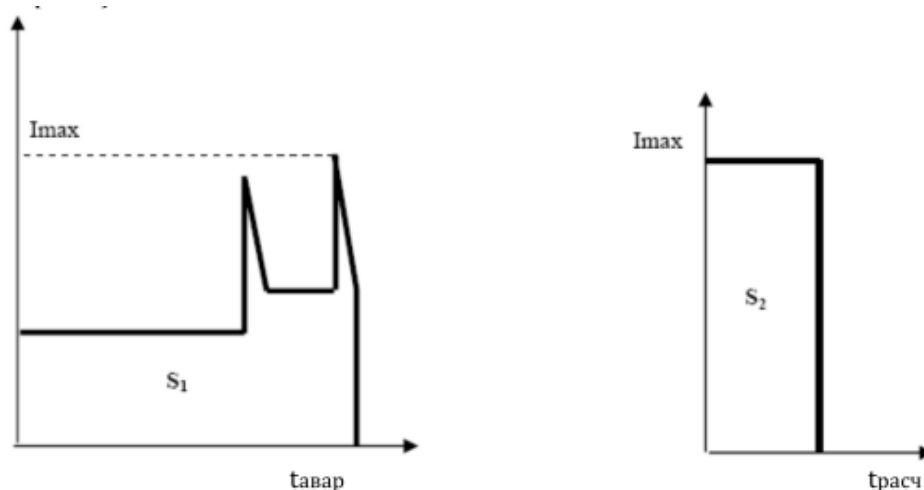


Рисунок 3.1 – Графік струму навантаження в аварійному режимі та його еквівалентний графік

Також ємність батареї перевіряється за струмом усталеного аварійного режиму в кінці часу резервування.

Вибір АБ виконується виходячи з тривалого та короткочасного режимів параметри яких наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Споживання постійного струму підстанції

п/п	Найменування споживача	Постійне споживання 220V DC, Вт	Кидкове споживання 220V DC, Вт
1	Шафа автоматики та керування вимикача "Т1"		
	- живлення пристрою РЗА	40	
	- живлення оперативних кіл	50	
	- живлення кіл увімкнення та першого електромагніту вимкнення	35,2	1000
	- живлення другого електромагніту вимкнення		1000
2	Шафа основного захисту ПЛ 1		
	- живлення основного захисту	80	
	- живлення оперативних кіл	50	
3	Шафа автоматики та вимикача та резервного захисту ПЛ1		
	- живлення резервного захисту	30	
	- живлення оперативних кіл	50	
	- живлення кіл увімкнення та першого електромагніту вимкнення	35,2	1000
	- живлення другого електромагніту вимкнення		1000
4	Шафа автоматики та керування вимикача "Т2"		
	- живлення пристрою РЗА	40	
	- живлення оперативних кіл	50	
	- живлення кіл увімкнення та першого електромагніту вимкнення	35,2	1000
	- живлення другого електромагніту вимкнення		1000
5	Шафа автоматики та вимикача та резервного захисту ПЛ2		
	- живлення резервного захисту	30	
	- живлення оперативних кіл	50	
	- живлення кіл увімкнення та першого електромагніту вимкнення	35,2	1000
	- живлення другого електромагніту вимкнення		1000
6	Шафа автоматики та керування секційного вимикача		
	- живлення пристрою РЗА	40	
	- живлення оперативних кіл	50	
	- живлення кіл увімкнення та першого електромагніту вимкнення	35,2	1000
	- живлення другого електромагніту вимкнення		1000
7	Шафа захисту та автоматики та керування вимикача ОВ-110		
	- живлення пристрою РЗА	60	
	- живлення оперативних кіл	50	
	- живлення оперативних кіл	50	
	- живлення кіл увімкнення та першого електромагніту вимкнення	35,2	1000
	- живлення другого електромагніту вимкнення		1000
8	Шафа автоматики та керування вимикача та ДЗ ПЛ 2		
	- живлення пристрою РЗА	30	
	- живлення оперативних кіл	50	
	- живлення кіл увімкнення та першого електромагніту вимкнення	35,2	1000
	- живлення другого електромагніту вимкнення		1000
9	Шафа САОП І комплект		

	- живлення пристрою РЗА	50	
	- живлення оперативних кіл	50	
10	Шафа САОП II комплект		
	- живлення пристрою РЗА	50	
	- живлення оперативних кіл	50	
11	Шафа автоматики та керування вимикача та захисту КЛ "ЦЗП"		
	- живлення основного пристрою РЗА	50	
	- живлення оперативних кіл	50	
	- живлення резервного пристрою РЗА	50	
	- живлення оперативних кіл	50	
	- живлення кіл увімкнення та першого електромагніту вимкнення	35,2	1000
	- живлення другого електромагніту вимкнення	35,2	1000
12	Шафа захисту КЛ "ЦЗП" 2 комплект		
	- живлення пристрою РЗА	50	
	- живлення оперативних кіл	50	
13	Шафа ДЗШ 110кВ 2к		
	- живлення пристрою РЗА	90	
	- живлення оперативних кіл	50	
14	Шафа реєстратора аварійних подій та ТН		
	- основне живлення 7KE85	50	
	- резервне живлення 7KE85	50	
	- живлення оперативних кіл	50	
	- живлення AQ-V211	15	
	- живлення оперативних кіл ТН	160	
15	Інші навантаження		
	Шафа комунікаційна АСКТП №6	650	
	ШВП 6 0,4	110	
	Шафа оперативного струму	400	
	Шафа обліку (12 лічильників)	300	
	Аварійне освітлення	80	
ВРП 110 кВ			
16	Шафа керування роз'єднувачів -110-1		
	- живлення контролера та оперативних кіл	300	
17	Шафа керування роз'єднувачів -110-2		
	- живлення контролера та оперативних кіл	300	
18	Шафа керування роз'єднувачів -110-3		
	- живлення контролера та оперативних кіл	300	
19	Шафа керування роз'єднувачів -110-4		
	- живлення контролера та оперативних кіл	300	
20	Шафа керування роз'єднувачів -110-5		
	- живлення контролера та оперативних кіл	300	
Сумарна потужність навантаження, Вт		5126,60	23000,00
Струм навантаження, А		23,30	104,55
Ємність розрахункова, А·год		87,91	
Ємність з врахуванням старіння АБ, А·год		131,86	
Ємність АБ вибрана, А·год		155,00	
Кількість зарядних розрахункова		2,67	
Струм заряду, А		53,5	
Кількість зарядних вибрана		3	

Для шафи оперативного струму відповідно до вищенаведеної таблиці 3.1 максимальний кидковий струм навантаження аварійного режиму, що визначається кидковим навантаженням в кінці аварійного режиму складає 104,55 А (одночасне спрацювання усіх соленоїдів високовольтних вимикачів при роботі ПРВВ та струм спрацювання пристроїв РЗА) і струм постійного споживання 23,30 А.

Попереднє значення ємності акумуляторної батареї визначаємо за формулою:

$$C_{роз} \geq (I_{пос1}) \cdot t_1 \cdot k_{інт1} + (I_{кид1}) \cdot t_2 \cdot k_{інт2} = 23,30 \cdot 3,0 \cdot 1,25 + \\ + 104,55 \cdot 0,2 \cdot 1,5 / 3600 = 87,91 \text{ (А} \cdot \text{год)}.$$

де $I_{пос1}$ – усереднене за час розряду в аварійному режимі сумарне значення струму постійного і тривалого тимчасового навантажень підстанції, А;

t_1 – розрахункова тривалість розряду акумуляторної батареї, 3,0 год;

$k_{інт1}$ – усереднене значення коефіцієнта інтенсивності розряду акумуляторної батареї для постійного навантаження приймаємо рівним 1,25;

$I_{кид1}$ – значення струму кидкового тимчасового навантажень підстанції при умові одночасно спрацювання соленоїдів вимкнення усіх вимикачів, А;

t_2 – розрахункова тривалість роботи соленоїдів вимкнення, 0,2 с;

$k_{інт2}$ – усереднене значення коефіцієнта інтенсивності розряду акумуляторної батареї для кидкового навантаження приймаємо рівним 1,5.

Уточнюючий розрахунок ємності виконується за розрядними таблицями для постійного струму розряду кінці аварійного режиму $I_{пос}$, кінцевої напруги розряду 10,8 В / елемент ($0,9U_{ном}$ одного елементу) і еквівалентного часу аварійного режиму t_1 . За даними виробника перевіряється стійкість АБ до короткочасних кидкових струмів, які тривають менше 1 с.

За умови повного резервування живлення кіл постійного оперативного струму підстанції, для їх живлення вибираються акумуляторні батареї Pylontech RT12100G31 ($LiFePO_4$) ємністю 107 А·год і номінальною напругою 12 В.

Згідно з технічними характеристиками, одна така батарея має енергетичну ємність 1,28 кВт·год, що відповідає струму 33,3 А протягом 3 годин у сталому

режимі. Для забезпечення стабільної роботи системи СОПС у складі резервного живлення застосовується 17 батарей, що забезпечують номінальну системну напругу приблизно 204–220 В DC.

На рисунку 3.2 представлено технічні характеристики обраних АКБ.

Характеристики	
Бренд:	Pylontech
Висота, см:	22,6
Ширина, см:	32,5
Глибина, см:	17,35
Гарантія:	60
Вологозахист, IP:	67
Вага, кг:	13
Діапазон робочих температур, °C:	-20°C до +60°C
Напруга акумулятора, В:	12,8
Країна виробник:	Чехія



Рисунок 3.2 – Технічні характеристики LiFePO₄ 1,28 кВт/год 12 В Pylontech RT12100G31 + BMS

У піковому режимі LiFePO₄ -акумулятори здатні короткочасно витримувати струм до 1С (100 А), а у разі комутаційних імпульсів до 2С і вище (тобто понад 200 А на елемент), що дозволяє реалізувати видачу імпульсного навантаження у критичних режимах, зокрема під час вмикання високовольтних вимикачів.

Ключові характеристики акумуляторів:

- кількість елементів: 17 шт.;
- номінальна напруга одного елемента: 12,8 В;
- ємність при 0,2С (до 10,0 В): 100 А·год;
- типова напруга заряду: 14,4–14,6 В;

- максимальний струм заряду: до $1C = 100\text{ A}$ (рекомендований $12,4\text{ A}$);
- життєвий цикл: до 6000 циклів при 80% DOD;
- BMS: вбудована, з захистом від глибокого розряду, перенапруги, перегріву, перевантаження та КЗ;
- внутрішній опір: $\leq 5\text{ мОм}$;
- температурний діапазон: $-20\dots+60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- ресурс на зберігання: до 10 років без значного зниження ємності.

Таким чином, обрані літій-залізо-фосфатні батареї повністю відповідають вимогам до систем резервного живлення І категорії, забезпечують високу надійність, гнучкість і довговічність, а також підтримують належні струмові характеристики для критичних режимів експлуатації СОПС.

3.3 Вибір зарядно-підзарядних пристроїв

Є декілька методів для зарядки Li-Ion елементів. Один із методів полягає в застосуванні постійної напруги з обмеженим струмом до акумулятора протягом трьох годин, а потім зупинки. Використовуючи цей метод, батарея буде заряджена на 100% через 3 години за умови, що струм заряду встановлений в межах від $C1$ і $C/2$ [7]. Другий, подібний метод полягає в застосуванні постійної напруги, обмеженої струмом, до акумулятора під час контролю струму заряду. Під час першої частини циклу зарядки зарядний пристрій перебуває в режимі постійного струму, при цьому напруга акумулятора повільно зростає. Коли напруга буде наближається до запрограмованої постійної (плаваючої) напруги, струм заряду починає експоненціально падати. Коли струм заряду падає до низького значення приблизно $0.1C$, зарядний пристрій припиняє заряджатися як це показано на рисунку 3.3.

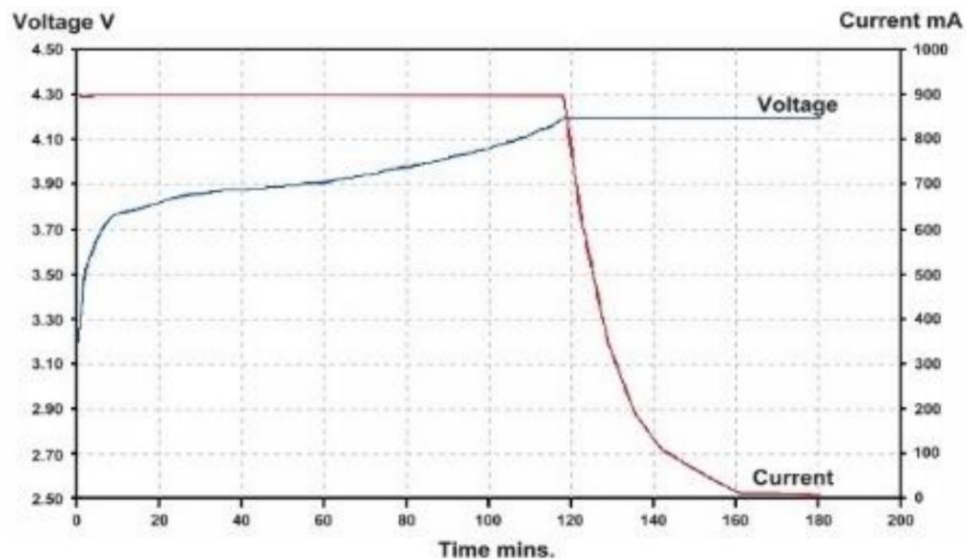


Рисунок 3.3 – Графік зарядки одного Li-ion акумулятора

Залежно від вибраного мінімального струму зарядки, акумулятор заряджений на 95% до 100%. Оскільки літій-іонні акумулятори не здатні поглинати перезаряд, весь зарядний струм повинен припинитися, коли акумулятор повністю зарядиться [8].

Згідно паспортних даних для акумуляторної батареї LiFePO₄ 1,28 кВт/год 12 В Pylontech RT12100G31 + BMS ємністю 107 А·год максимальний зарядний струм в складає $0,1C_6 = 10$ А, а нормальний тривалий струм заряду не більше $0,08 C_6 = 8$ А.

Струм навантаження ЗПП в максимальному режимі при заряді АБ та живленні навантаження свого та резервованого БРП складає:

$$I_{\max} \geq I_{\text{зар}} + I_{\text{пост1}} + I_{\text{пост2}} = 0,1 \cdot 107 + 23,3 + 14,69 = 48,69 \text{ (А)}.$$

Необхідна кількість випрямних блоків системи може бути визначено за формулою:

$$K = I_{\max} / I_{\text{ном ЗПП}} = 48,69 / 10 = 4,8.$$

де $I_{\max}$ – розрахунковий струм навантаження ЗПП в максимальному режимі при заряді АБ максимальноможливим зарядним струмом відповідно до документації виробника та живленні навантаження свого та резервованого БРП;

$I_{\text{ном ЗПП}}$ – значення номінального вихідного струму одного зарядного пристрою.

Отримане число необхідно округлити до більшого цілого значення – в якості ЗППІ вибираємо шість типу Ardroid 14,6 V 50 A LiFePO₄ Charger (рисунок 3.4) з вхідною напругою 380В AC, що забезпечує випрямлену напругу регульовану в діапазоні від 178.5 до 297 В при струмі до 50 А і потужності до 5720 Вт.

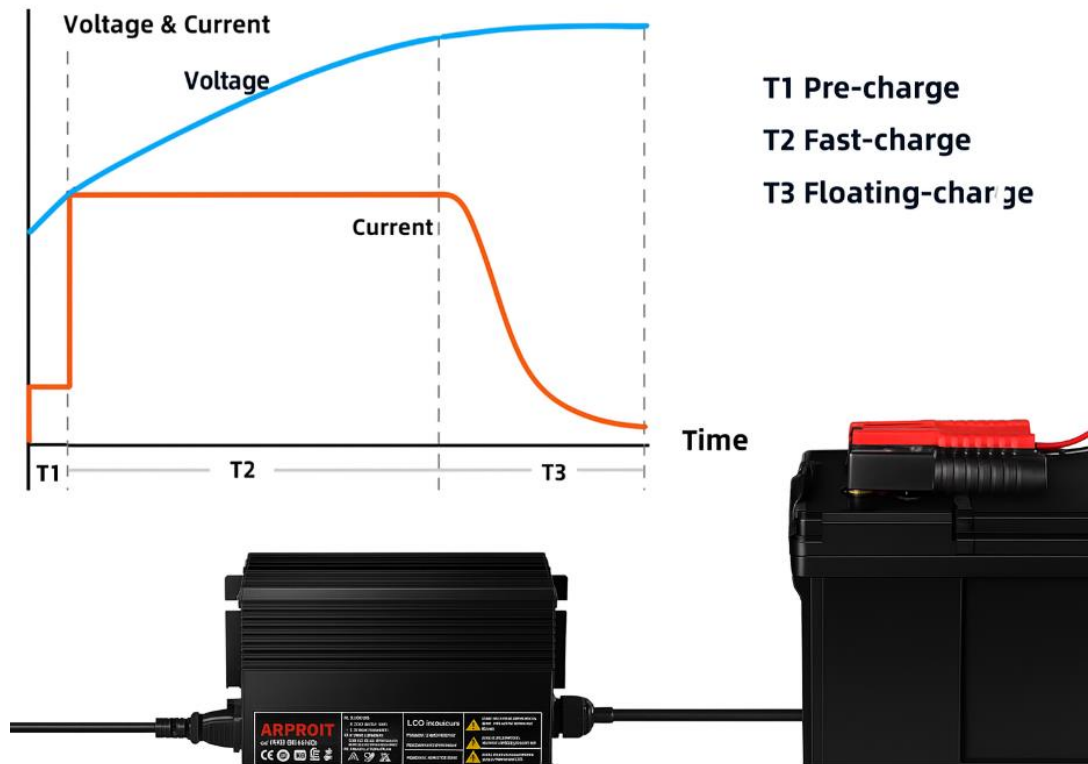


Рисунок 3.4 – Зарядний пристрій Ardroid 14,6 V 50 A LiFePO₄ Charger

Обраний зарядно-підзарядний пристрій Ardroid 14,6 V 50 A LiFePO₄ Charger має такі ключові технічні та функціональні особливості:

- наявність гальванічної ізоляції між мережею змінного струму (380 В AC) та виходом постійного струму, що підвищує безпеку експлуатації;
- індикація робочих параметрів за допомогою вбудованих світлодіодних елементів;
- інтелектуальне керування процесом заряду, з можливістю автоматичного перемикання між режимами швидкого (bulk), абсорбційного (absorption) та буферного (float) заряду в залежності від стану АКБ;
- адаптивна термокомпенсація, що дозволяє підтримувати оптимальний зарядний струм при зміні температури навколишнього середовища;

Вбудовані захисти:

- від перенапруги на виході,
- перевищення струму,
- короткого замикання,
- перегріву елементів;
- можливість роботи в паралелі з іншими зарядними модулями для збільшення сумарного зарядного струму;
- підтримка функції гарячої заміни (hot-swap) без переривання живлення;
- наявність інтерфейсу RS-485 для передавання параметрів заряду, моніторингу та інтеграції у SCADA або інші системи керування.

Цей зарядний пристрій повністю сумісний з LiFePO_4 АКБ типу Pylontech RT12100G31 та дозволяє максимально реалізувати їх ресурсні та динамічні характеристики у складі системи СОПС.

Для швидкого заряду нової АБ (за умови вимкнених споживачів) допускається заряджання у два етапи:

На першому етапі методом постійного струму обмеженого на рівні $0,1 \cdot C_b = 10$ А (constant current, CC) для запобігання сульфатації пластин необхідно слідкувати щоб зарядна напруга ЗПП не перевищувала величину:

$$U_{\text{зар}} = n \cdot 14,8 + (2 \div 3) = 17 \cdot 14,8 + (2 \div 3) = 253 \text{ (В)}.$$

де n – повне число акумуляторів батареї.

Максимальна напруга ЗПП 286 В дозволяє виконати цю умову:

$$U_{\text{max ЗП}} \geq U_{\text{зар}}.$$

Другий етап заряджання – інтелектуальний заряд (intelligent charging). Цей режим використовує мікропроцесор зарядного пристрою для контролю процесу заряду та автоматичного регулювання напруги та струму. При цьому максимально оптимізується заряд для конкретного акумулятора, запобігається перезаряду, сульфатації та пошкодженню.

При підзаряді АБ та живленні споживачів в нормальному режимі зарядний пристрій забезпечує заряджання свинцево-кислотної акумуляторної батареї (АБ) в трьох режимах: режим зарядки постійним струмом, режим насичення та режим підтримання заряду. При цьому забезпечується вихідна напруга не більше 231 В. Згідно з паспортними даними АБ, оптимальний заряд батареї досягається при напрузі постійної підзарядки 13,6 В на кожному з 17 елементів. Таким чином, загальна напруга на всіх елементах складає:

$$13,6 \text{ В} \times 17 = 231,2 \text{ (В)}.$$

що задовольняє вимогам про максимально допустиме відхилення напруги постійного оперативного струму на пристроях РЗА +5 % від номінальної :

$$1,05 \times U_{\text{ном}} = 1,05 \times 220 \text{ В} = 231 \text{ (В)}.$$

де $U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга мережі постійного струму на ПС.

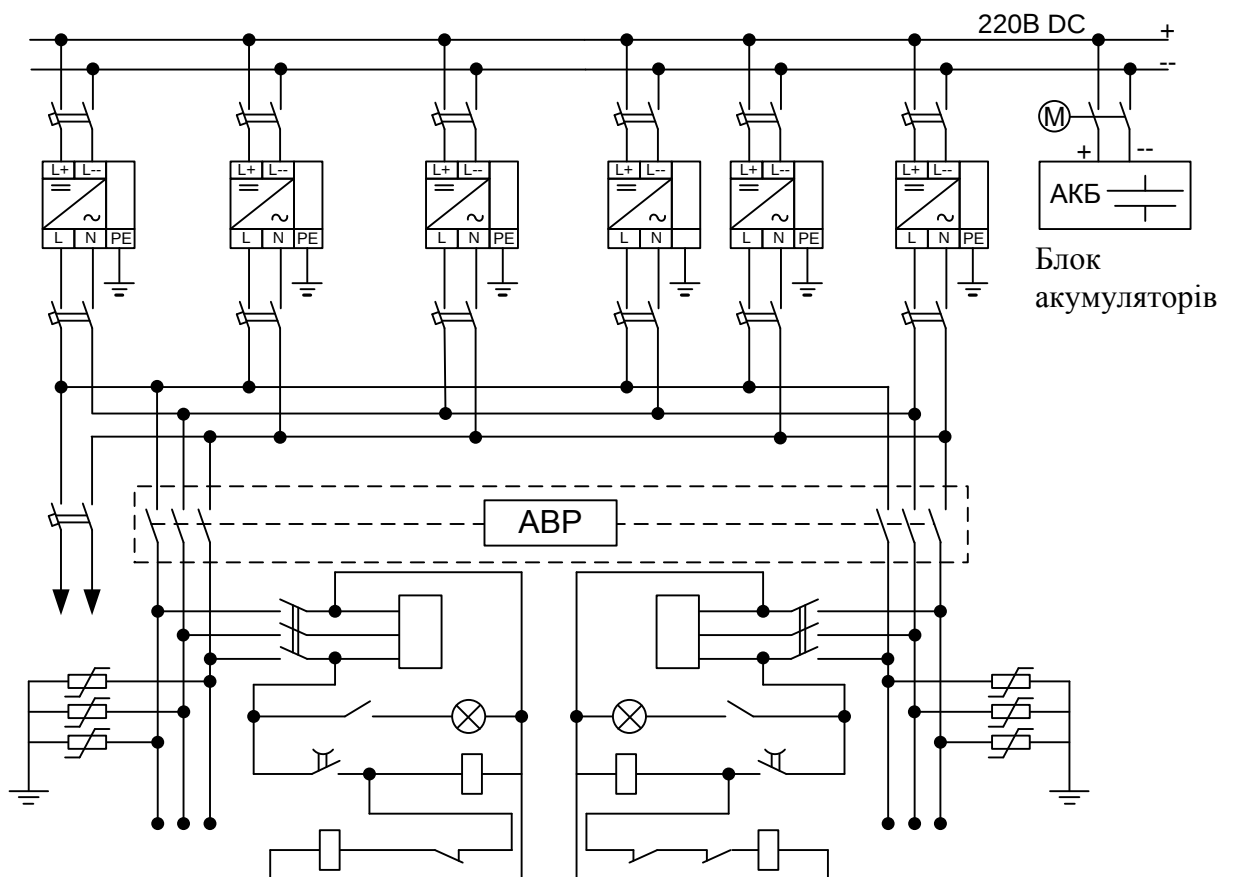


Рисунок 3.5 – Схема підключення ЗПП до шини постійного струму

До складу системи входить шість випрямлячів, кожен з номінальним вихідним струмом 10 А. Всі випрямлячі працюють паралельно, утворюючи об'єднану лінію живлення з можливістю сумарного навантаження до 60 А. Така кількість модулів забезпечує високу гнучкість і надійність, у разі відмови одного з випрямлячів система продовжує працювати без перерви, що підвищує загальну надійність системи. Випрямлячі не лише живлять оперативні споживачі, а й підтримують акумуляторну батарею у повністю зарядженому стані.

Співвідношення між кількістю випрямлячів (6 шт.) та акумуляторних батарей (17 шт.) не є випадковим. Шість випрямлячів забезпечують необхідний струм для живлення навантаження та одночасного заряджання АКБ з резервом на відмову одного-двох модулів. У той час як 17 послідовно з'єднаних батарей формують оптимальну напругу постійного струму для роботи всієї системи з урахуванням падіння напруги при розряді, втрат у лініях, елементів діодного захисту та реле перемикавання. Така структура забезпечує баланс між резервуванням, стабільністю напруги та тривалістю автономної роботи системи.

3.4 Розробка АВР

Враховуючи вимоги до надійності електропостачання об'єктів I категорії, до яких належить система власних потреб підстанції, доцільно передбачити застосування автоматичного введення резерву (АВР) для забезпечення безперервного живлення ланцюгів постійного оперативного струму. Як один із технічно та економічно обґрунтованих варіантів пропонується використання введених автоматичних вимикачів типу EB2 125/3S 63A у шафах 0,4 кВ, які дообладнуються моторизованими приводами для забезпечення дистанційного або автоматизованого перемикавання між джерелами живлення.

Для попереднього технічного моделювання та підбору конфігурації АВР використано онлайн-конфігуратор пристроїв автоматичного резервування живлення від компанії ETI [10], що дозволяє оптимізувати вибір комутаційної апаратури з

урахуванням номіналів струму, типу навантаження та умов експлуатації на підстанції.

Конфігуратор пристроїв АВР

Програмне забезпечення для розрахунку конфігурацій систем АВР на базі контакторів (СЕМ, СЕС, СЕС, СЕВ), автоматичних вимикачів (ЕВ2, ED2, EB2R) або перемикачів з мотор-приводом (MLBS CO).

Конфігурація

/ Тип АВР

EB2

/ Кількість полюсів

3

Ввід № 1

/ Номінальний струм, А

63

/ Серія обладнання

S - Standard

/ Номінальний струм

= 63 А

Ввід № 2

/ Номінальний струм, А

63

/ Серія обладнання

H - High

/ Номінальний струм

= 63 А

СПИСОК ПРОДУ...

ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА

№	Мітка	Артикул	Найменування	К-сть
1	-Q1	004671044	EB2 125/3S 63A 3р	1
2	-Q2	004672104	EB2 125/3H 63A 3P	1
3	-Q1,-Q2	004671141	PS2 125-1600AF	4
4	/	004671177	MW 125	2
5	-Q1,-Q2	004671144	SS2 125-1600AF	2
6	/	004671178	MW cable 1m	1
7	-M1,-M2	004671165	MO2 125 AC230-240V	2
8	-K1,-K2	002473005	ERM2-230ACL	2
9	/	002473012	ERB2-T	2
10	-K3	002473011	ERM4-230ACL	1
11	/	002473014	ERB4-T	1
12	-S4	004661922	ATSC25	1

ЗАВАНТАЖИТИ СПИ...

КОПІЮВАТИ

Рисунок 3.6 – Діалогове вікно онлайн конфігуратора пристроїв АВР

Даний сервіс автоматично генерує схему та необхідне обладнання для реалізації АВР.

Таблиця 3.2 – Таблиця обладнання АВР

№	Мітка	Артикул	Найменування	К-сть
1	-Q1	004671044	EB2 125/3S 63A 3р	1
2	-Q2	004672104	EB2 125/3H 63A 3P	1
3	-Q1,-Q2	004671141	PS2 125-1600AF	4
4	/	004671177	MW 125	2
5	-Q1,-Q2	004671144	SS2 125-1600AF	2
6	/	004671178	MW cable 1m	1
7	-M1,-M2	004671165	MO2 125 AC230-240V	2
8	-K1,-K2	002473005	ERM2-230ACL	2
9	/	002473012	ERB2-T	2
10	-K3	002473011	ERM4-230ACL	1
11	/	002473014	ERB4-T	1
12	-S4	004661922	ATSC25	1

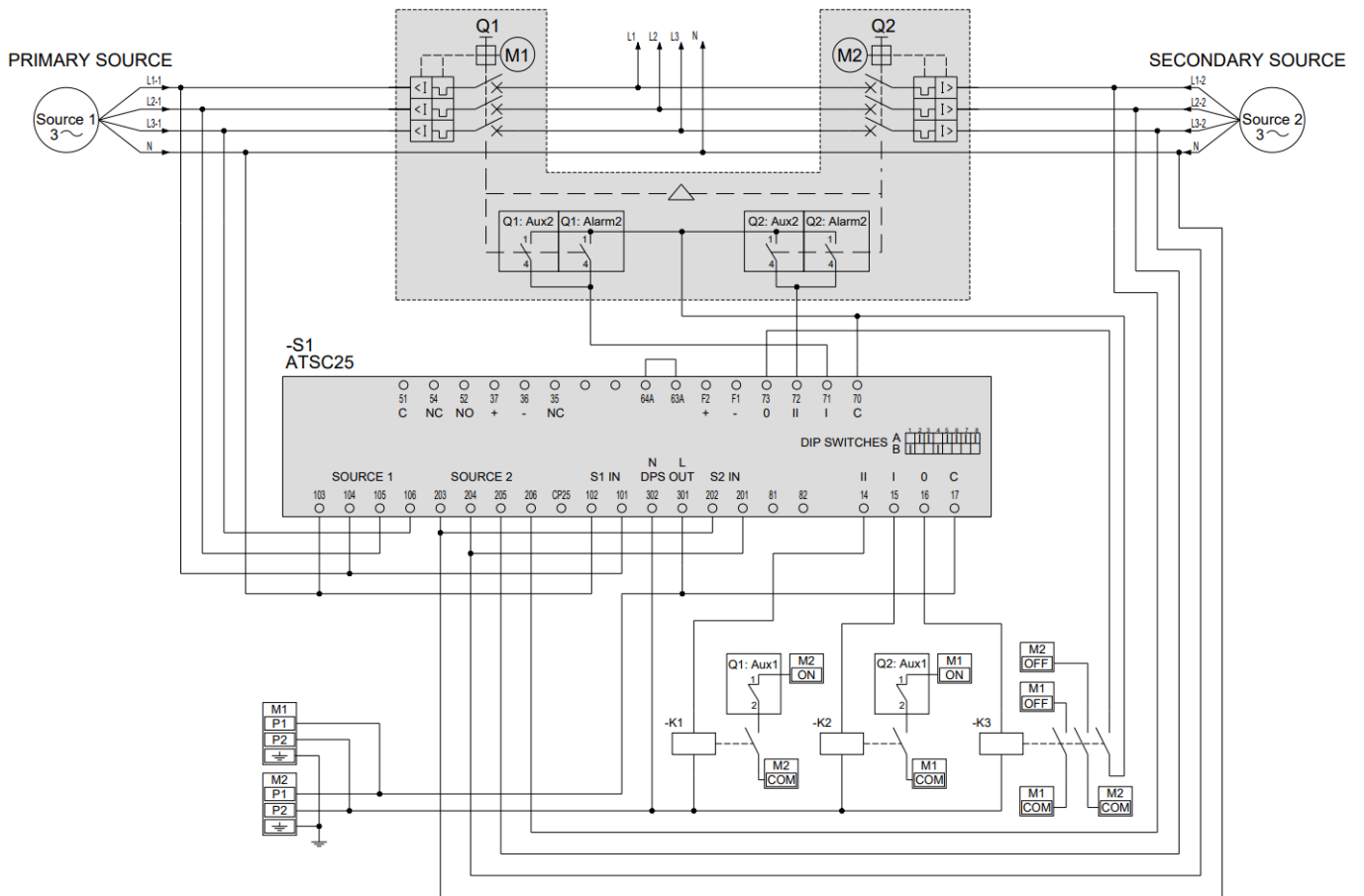


Рисунок 3.7 – Схема АВР

У новій конфігурації система СОПС забезпечує підтримку стабільної напруги 220 В DC при струмових навантаженнях до 104,5 А у піковому (кидковому) режимі та 23,3 А в сталому режимі протягом щонайменше трьох годин. Така модернізація дозволяє повністю реалізувати потенціал акумуляторних батарей, зокрема LiFePO₄ - акумуляторів Pylontech RT12100G31 (17 шт. по 12 В, 100 А·год), у поєднанні з шістьма зарядними пристроями Adroit 14,6 В 50 А LiFePO₄ Charger.

Використання цієї системи забезпечує стабільне живлення пристроїв релейного захисту, автоматики, телемеханіки та інших критичних споживачів, мінімізує ризики хибного або несвоєчасного спрацювання захистів і гарантує безперебійну роботу підстанції навіть в умовах повного знеструмлення. Це, в свою чергу, сприяє зниженню рівня аварійності, підвищенню технологічної стійкості об'єкта та відповідності його функціонування до вимог об'єктів I категорії надійності.

3.5 Оптимальний алгоритм управління заряду та розряду акумуляторних батарей

Після вибору сучасного обладнання для СОПС підстанції доцільно визначити оптимальний алгоритм керування процесами заряду та розряду акумуляторних батарей. На рисунку 3.8 представлено блок-схему логіки керування підключенням АКБ до зарядного пристрою в залежності від стану заряду.

Умовні позначення:

$S = 0$ – зберігається поточний стан (нічого не перемикає);

$S = 1$ – підключення до ЗПП акумулятора №1 та відключення №2;

$S = 2$ – підключення до ЗПП акумулятора №2 та відключення №1;

$S3$ – змінна вибору активної АКБ (1 або 2);

U_1 , U_2 – напруги на першій і другій АКБ відповідно;

$U_{\max}$ – максимальна допустима напруга заряду LiFePO_4 елемента ($\approx 14,6$ В).

Згідно з алгоритмом, при встановленні $S3 = 1$ виконується перевірка напруги на АКБ №1. Якщо $U_1 > U_{\max}$, вважається, що батарея повністю заряджена, і вона відключається від ЗПП, а керуючий сигнал $S = 0$ зберігає поточний стан. Якщо $U_1 < U_{\max}$, але U_2 має недостатній заряд (менше $U_{\max}$), перемикання здійснюється за умовами алгоритму.

Для $S3 = 2$ аналогічно перевіряється АКБ №2, а перемикання відбувається за логікою, подібною до гілки №1.

Такий підхід дозволяє керувати зарядом у двобатарейній конфігурації з урахуванням стану напруги та без порушення режимів глибокого заряду або перезаряду.

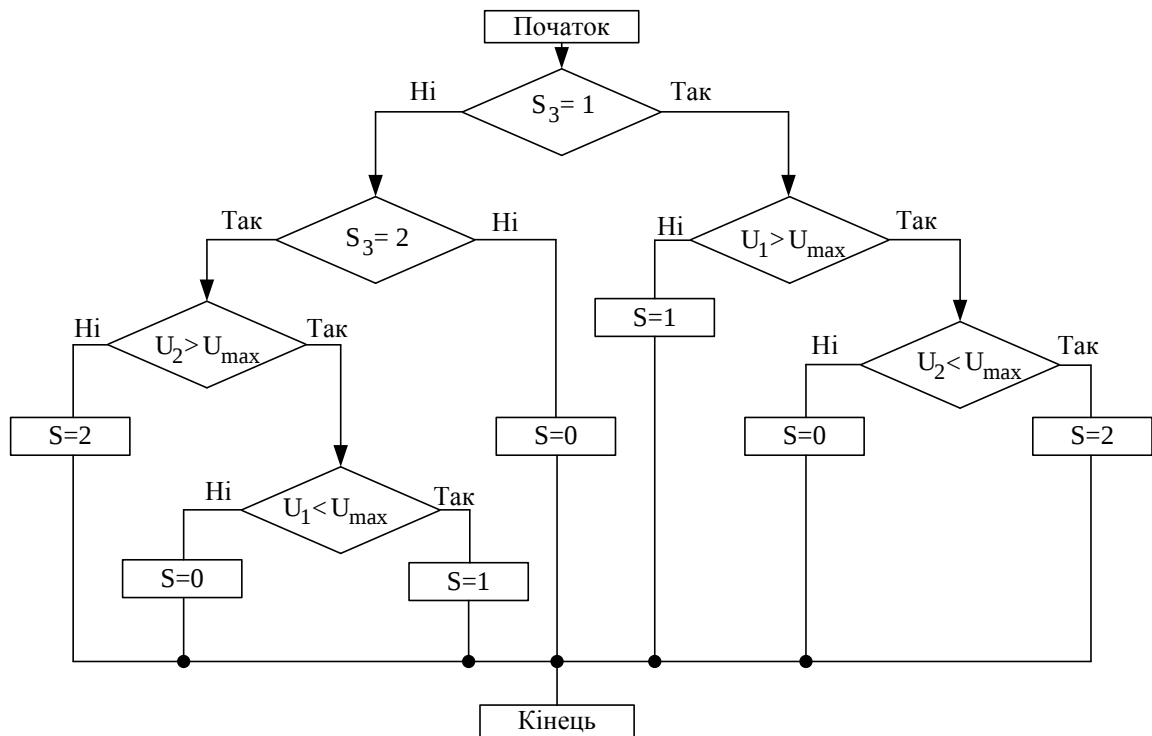


Рисунок 3.8 – Блок-схема алгоритму заряду акумуляторних батарей

Окремо реалізується інтелектуальний алгоритм заряджання LiFePO_4 батарей (рисунок 3.9), який враховує специфіку хімії елементів та рекомендації виробника Pylontech.

Процес заряду складається з таких фаз:

Стадія ініціалізації – встановлення постійного струму заряджання до номінального рівня (наприклад, 50 А).

Стадія нарощування напруги – напруга поступово зростає до рівня абсорбції (~14,4–14,6 В на елемент).

Фаза абсорбції – підтримується стабільна напруга, при цьому струм заряду поступово знижується.

Фаза рівноваги – зарядний пристрій підтримує напругу рівноваги (~13,6 В), що запобігає перезаряду, перегріву та зберігає ресурс АКБ.

Такий режим реалізується зарядними пристроями Ardroid із вбудованим BMS-сумісним керуванням, забезпечуючи ефективне заряджання без небезпеки деградації елементів.

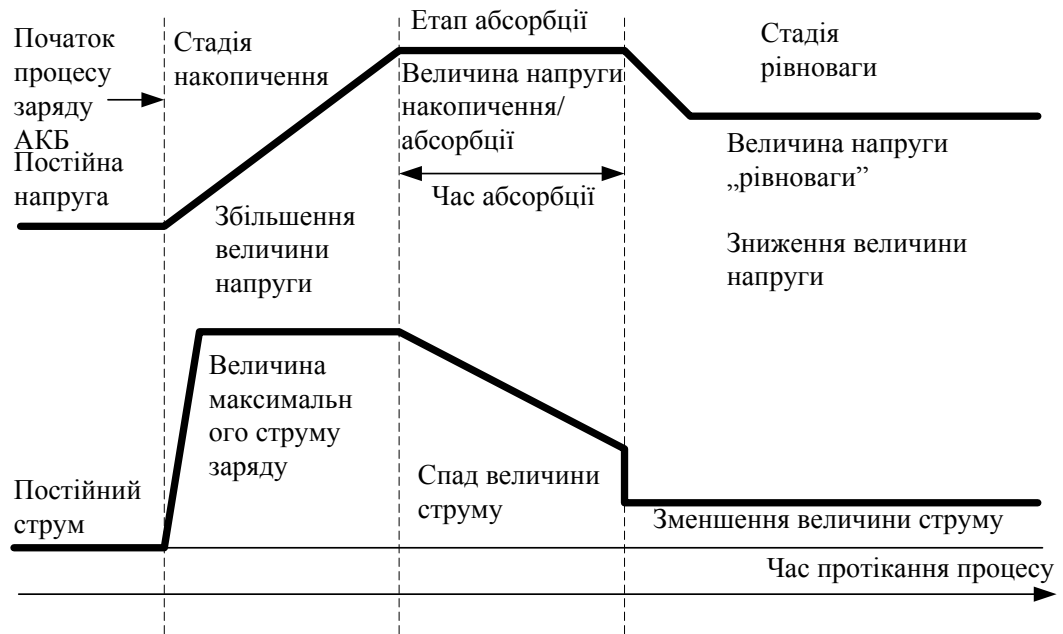


Рисунок 3.9 – Графік інтелектуального заряду АКБ

Таким чином, реалізована схема автоматизованого управління заряду/розряду забезпечує:

- повну зарядку АКБ до 100% SOC;
- захист від перегріву, перенапруги й глибокого розряду;
- плавне перемикання між АКБ з урахуванням їхнього стану;
- інтеграцію з ПЛК та можливість SCADA-моніторингу.

Після досягнення певного значення напруги на акумуляторній батареї, ПЛК починає поступово знижувати струм заряду, щоб запобігти перегріву, спалаху або закипанню акумуляторів, в той час як заряд батареї продовжується для досягнення максимального заряду. До того ж, час заряду скорочується. Результат - ККД процесу заряду збільшується, більш повно та швидко заряджена батарея.

Висновки по розділу 3.

У третьому розділі бакалаврської дипломної роботи розглянуто технічні та організаційні рішення, спрямовані на підвищення надійності роботи підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка» шляхом модернізації системи оперативного постійного струму СОПС.

1. Обґрунтовано актуальність переходу на новітні LiFePO_4 акумуляторні батареї та сучасні зарядно-підзарядні пристрої. Проведено порівняльний аналіз технологій АКБ, що підтвердив переваги Li-ion над свинцево-кислотними за критеріями ресурсу, щільності енергії, температурної стійкості та безпеки.

2. Вибрано акумуляторні батареї Pylontech RT12100G31 (12 В, 100 А•год) у кількості 17 шт., які формують необхідну напругу 220 В DC для живлення системи СОПС. На основі розрахунку струмового навантаження обґрунтовано вибір шести зарядно-підзарядних пристроїв Ardroid 14,6 В 50 А, які забезпечують повну підтримку режимів заряду/підзаряду з резервом на відмову одного-двох модулів. Така комбінація дозволяє досягти балансу між резервуванням, стабільністю напруги та тривалістю автономної роботи. Послідовне з'єднання 17 АКБ формує оптимальну напругу постійного струму з урахуванням втрат у лініях, елементах захисту та комутації, що гарантує стабільну роботу системи навіть за критичних умов.

2. Розроблено систему автоматичного введення резерву (ABP) на стороні 0,4 кВ із використанням автоматичних вимикачів EB2 125/3S 63А з моторизованими приводами. За допомогою онлайн-конфігуратора ЕТІ сформовано повну специфікацію обладнання.

3. Досліджено оптимальний алгоритм заряду АКБ, який забезпечує надійне управління процесами заряджання та підтримання рівня заряду з урахуванням специфіки LiFePO_4 . Алгоритм реалізовано на основі автоматизованого контролю напруги та струму кожного елемента за допомогою інтелектуальних функцій ЗПП і логіки перемикання. Це дозволяє уникати глибоких розрядів, перенапруги та перегріву і підтримує акумулятори в оптимальному режимі заряду. Завдяки адаптивному керуванню режимами CC–CV та фазовому зниженню струму на завершальних етапах заряду АКБ, підвищується ефективність заряду і подовжується ресурс експлуатації системи.

Модернізована система СОПС підвищує надійність та довговічність внутрішнього енергоживлення, що прямо впливає на стійкість і безпеку роботи підстанції в цілому, особливо в умовах аварійних ситуацій і повного знеструмлення.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розробляються заходи з охорони праці в процесі обслуговування електричної частини підстанції з електрохімічним накопичувачем електричної енергії. Отже, на оперативно-ремонтний персонал, що здійснює експлуатацію обладнання підстанції, впливають такі шкідливі виробничі фактори [13,14]: фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил); фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Роботи в діючих електроустановках слід проводити за нарядом, розпорядженням та в порядку поточної експлуатації. Роботи, які виконують в порядку поточної експлуатації працівники на закріплених за ними електроустановках, проводять без оформлення наряду або розпорядження. Перелік робіт, які виконують у порядку поточної експлуатації, затверджує керівництво підприємства. За нарядами слід виконувати всі роботи, які не ввійшли до переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації та за розпорядженням.

Забороняється самовільне проведення робіт, а також розширення робочих місць та обсягу завдання, визначених нарядом або розпорядженням.

Виконання робіт в електроустановках в зоні дії іншого наряду слід узгоджувати з працівником, який видав попередній наряд. Узгодження оформлюється до підготовки робочого місця записом на полях наряду (біля таблиці 2) "Узгоджено" та за підписом працівника, який узгоджує.

Ремонт електроустановок із застосуванням вантажопідіймальних машин, механізмів або великогабаритних пристроїв, за винятком ямобурів і телескопічних пристроїв для піднімання людей, слід виконувати за технологічними картами або ППР.

В електроустановках до 1000 В електростанцій, підстанцій і на КЛ під час виконання роботи під напругою необхідно:

- відгородити розташовані поблизу робочого місця струмопровідні частини, що перебувають під напругою, до яких можливий випадковий дотик;
- працювати в діелектричних калошах, ботах або стоячи на ізолювальній підставці чи на гумовому діелектричному килимку;
- застосовувати інструмент з ізолювальними рукоятками (у викрутот повинен бути ізольований стрижень). У разі відсутності такого інструменту слід користуватись діелектричними рукавичками.

Забороняється працювати в одязі з короткими або закоченими рукавами, користуватись ножівками, металевими метрами тощо.

В електроустановках понад 1000 В під час проведення робіт на струмопровідних частинах, що перебувають під напругою, за допомогою захисних ізолювальних засобів необхідно:

- користуватись тільки випробуваними сухими та чистими ізолювальними засобами з непошкодженим лаковим покриттям;
- тримати ізолювальні засоби за ручки-захвати не далі обмежувального кільця;
- розмістити ізолювальні засоби так, щоб не виникала небезпека перекриття між фазами або фази на землю.

Під час виконання роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги, електровимірювальні штанги та кліщі, покажчики напруги)

допускається наближатись людині до струмопровідних частин на відстань, визначену довжиною їхньої ізолювальної частини.

Забороняється в електроустановках працювати в зігнутому положенні, якщо у разі випрямлення відстань до струмопровідних частин буде менша за зазначену в інструкціях з ОП. Забороняється в електроустановках електростанцій та підстанцій 6-110 кВ під час роботи біля неогороджених струмопровідних частин розміщуватись так, щоб вони були позаду або з обох боків.

На ПЛ, за винятком зовнішніх введів 0,4 кВ до будівель, та ПЛЗ перед розриванням або з'єднанням електрично сполучених складників (проводів, тросів) необхідно встановлювати заземлення з обох боків розриву (передбачуваного розриву).

В темний період доби ділянки робіт, робочі місця, проїзди і підходи до них слід освітлювати. Забороняється працювати в неосвітлених місцях.

У випадку наближення грози слід припинити всі роботи на ПЛ, ПЛЗ; у ВРУ, ЗРУ на виводах та лінійних роз'єднувачах ПЛ; на КЛ, під'єднаних до ділянок ПЛ, а також на вводах ПЛЗ в приміщеннях вузлів зв'язку та на антенно-щоголових спорудах.

Всі працівники, які перебувають в діючих електроустановках (за винятком щитів керування, приміщень з релейними панелями та їм подібних), в колодязях, тунелях, траншеях, повинні користуватись захисними касками.

Працівникам підприємств, інших організацій, направлених у відрядження, одноособово можна записувати покази лічильників та інших вимірювальних приладів, встановлених на щитах керування і в РУ. У разі наявності місцевих оперативних працівників відряджені працівники повинні мати групу II, а у разі відсутності місцевих оперативних працівників - групу III. Працівники, які обслуговують компресорні установки та повітрозбірники, електролізні установки, акумуляторні батареї та зарядні пристрої, повинні мати групу III.

4.1.2 Електробезпека

Основні технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) виконання технічних заходів під час підготовки робочого місця,
- 2) застосування під час обслуговування електроустановок електрозахисних засобів.

1) Під час підготовки робочого місця для роботи, яка вимагає знімання напруги, слід виконати у зазначеній послідовності такі технічні заходи:

- провести необхідні вимкнення і вжити заходів щодо запобігання помилковому або самочинному вмиканню комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. За необхідності струмопровідні частини слід огорожувати;
- приєднати до "землі" переносні заземлення;
- перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, на які слід встановити заземлення. Якщо переносні заземлення планується ставити поблизу струмопровідних частин, що не входять в зону робочого місця, то їх огороження слід встановити до перевірки відсутності напруги та заземлення;
- встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, приєднати до вимкнених струмопровідних частин переносні заземлення) безпосередньо після перевірки відсутності напруги та вивісити плакати "Заземлено" на приводах вимикальних комутаційних апаратів;
- огорожити, у разі необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишились під напругою, і вивісити на огороженнях плакати безпеки. Залежно від місцевих умов струмопровідні частини огорожують до або після їх заземлення.

2) Під час обслуговування електроустановок повинні застосовуватись засоби захисту від ураження електричним струмом, від впливу електричного поля, а також засоби індивідуального та колективного захисту. Ізолювальні електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові. До основних ізолювальних електрозахисних засобів, які повинні застосовуватись в електроустановках напругою понад 1000 В, відносяться: ізолювальні штанги всіх видів, ізолювальні кліщі, електровимірювальні

кліщі, показчики напруги, пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів та ін.); до додаткових – діелектричні рукавички, діелектричне взуття, діелектричні килими, ізолювальні підставки, ізолювальні накладки, ізолювальні ковпаки, штанги для перенесення та вирівнювання потенціалу, сигналізатори напруги, захисні огороження (щити, ширми), переносні заземлення, плакати та знаки безпеки та інші засоби захисту.

Крім наведених вище засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ: захисні каски – для захисту голови; захисні окуляри і щитки – для захисту очей і обличчя; протигази і респіратори – для захисту органів дихання; рукавиці – для захисту рук; запобіжні пояси та страхувальні канати.

Вибір необхідних електрозахисних засобів, засобів захисту від дії ЕП, а також ЗІЗ регламентується [3], а також іншими відповідними нормативними документами (НД) з урахуванням місцевих умов. У разі застосування основних ізолювальних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб, крім випадків, що обумовлені в цих Правилах. У разі необхідності захисту працівника від напруги кроку дозволяється використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів захисту.

За безпечність конструкції, правильність вибору матеріалів, якість виготовлення, а також за відповідність засобів захисту чинним в Україні нормативним документам повинні нести відповідальність керівники підприємств, установ, організацій (незалежно від форми власності), що виготовляють ці засоби захисту, орган, який видав сертифікат на виробництво та на реалізацію захисних засобів, в тому числі і засобів захисту зарубіжного виробництва.

4.2. Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1. Мікроклімат

Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 4.1.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдува;
- провітрювання приміщення.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	ІІб	15-29	70 при 25°C	0,2-0,5
Холодний	ІІб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

4.2. Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4
Вуглець (ІІ) оксиду	20		4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

- провітрювання приміщення;
- цілісність вікон для перешкодження попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;
- встановлення пиловловлюючих засобів.

4.3. Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт під час експлуатації електрообладнання – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Малої точності	Від 1,0 до 5 включно	V	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	3	1,8

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

4.4. Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки» (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Проектом передбачені засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

4.3. Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги». Типові правила пожежної безпеки для промислових підприємств і інструкції на окремих об'єктах.

Приміщення підстанції за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-III (місця, де зберігаються тверді горючі речовини). Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується III ступенем вогнестійкості.

До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними

матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Сту-пінь вог-не- стій- кості бу- дин-ків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло- ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між по- верхові (у т.ч. горищні та над підва- лами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходо- вих кліток	само- несучі	зов- ніш-ні не- несу-чі	внут- рішні не- несучі (пере- город-ки				пли- ти, насти- ли, прого- ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвилинах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.7 (знаменник).

Таблиця 4.7 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, сільськогосподарських будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
III	8/9	8/12	10/15

Найбільшу відстань до евакуаційного виходу визначаємо за об'ємом приміщення та ступені вогнестійкості будівлі.

В приміщенні, відстань при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м² наступна: до 1 – 100 м².

На території підстанції встановлено 12 вогнегасників ВП-5.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської дипломної роботи що до підвищення надійності підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка» шляхом встановлення акумуляторної батареї отримано наступні результати:

1. Проведено аналіз стану підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка», яка відіграє важливу роль у структурі регіональної електричної мережі ПАТ «Вінницяобленерго». Охарактеризовано основні елементи електротехнічної структури підстанції, включаючи силові трансформатори, розподільчі пристрої, допоміжні системи та схему живлення власних потреб. Встановлено, що безперебійне функціонування системи оперативного постійного струму є критичним чинником забезпечення надійності релейного захисту, автоматики та дистанційного керування. Обґрунтовано доцільність модернізації СОПС як одного з ключових напрямків підвищення стійкості підстанції до зовнішніх і внутрішніх впливів.

2. Проаналізовано стан існуючої системи оперативного постійного струму, яка формально відповідає вимогам до об'єктів I категорії надійності, однак зазнала морального й технічного зношення через вичерпання ресурсу акумуляторних батарей. Аргументовано необхідність переходу на сучасні літій-залізо-фосфатні АКБ, які характеризуються кращими показниками за терміном служби, глибинами циклів, температурною стійкістю та вищим рівнем безпеки. Показано, що така модернізація дозволить знизити експлуатаційні витрати та підвищити стабільність функціонування критичних елементів СОПС у надзвичайних ситуаціях.

3. У проектній частині дипломної роботи виконано обґрунтування та розробку СОПС, яка складається з 17 літій-іонних акумуляторів Pylontech RT12100G31 (12 В, 100 А·год), що забезпечують напругу 220 В DC у СОПС. Проведено розрахунок навантаження й підібрано шість зарядно-підзарядних пристроїв Ardroid 14,6 В 50 А, які дозволяють підтримувати надійний режим заряду з урахуванням резерву на відмову одного-двох модулів. Досліджено оптимальний алгоритм заряду АКБ з урахуванням характеристик LiFePO_4 , що базується на етапному зниженні струму, адаптивному керуванні та балансуванні елементів. Це забезпечує надійний заряд без перезаряду або перегріву АКБ. Також запропоновано реалізацію системи АВР на

стороні 0,4 кВ з використанням вимикачів EB2 125/3S 63A з моторними приводами та конфігурацією на базі рішень ETI.

Запропоноване технічне рішення щодо модернізації системи оперативного постійного струму підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка» повністю відповідає вимогам надійності, резервування та довговічності, що висуваються до об'єктів критичної інфраструктури. Заміна застарілих свинцево-кислотних АКБ на сучасні літій-залізо-фосфатні батареї Pylontech RT12100G31, впровадження шести зарядно-підзарядних пристроїв Ardroid 14,6 V 50 A та реалізація алгоритму оптимального керування зарядом дозволяють значно підвищити надійність роботи СОПС в умовах повного знеструмлення.

Результати роботи повністю розкривають поставлену тему, демонструючи, що підвищення надійності джерела постійного оперативного живлення напряму підвищує загальну надійність функціонування всієї підстанції. Запропоновані рішення можуть бути використані як типова модель при модернізації систем СОПС на інших енергетичних об'єктах з підвищеними вимогами до безпеки та стійкості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017, 617 с.
2. Лежнюк П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій: навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с
3. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021. Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах. Київ : НЕК «Укренерго», 2021. 316 с.
4. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електроенергії в системах розподілу загального користування. – [Чинний від 2015-01-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 35 с.
5. Малогулко, Ю. В., Бурикін, О. Б., Кацадзе, Т. Л., & Нетребський, В. В. (2022). Електричні системи і мережі. Частина 3 : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс]. Вінниця: ВНТУ. 172 с.
6. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: підручник. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2015. – 540 с.
7. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
8. Бурбело, М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 123 с.
9. СОУ-Н.ЕЕ 40.1-00100227-101:2014. Норми технологічного проектування енергетичних систем та електричних мереж 35 кВ та вище. – Київ : Мінпаливенерго України, 2014. – 92 с.
10. Ягуп В. Г., Ягуп К. В. Моделювання та оптимізація режимів систем енергопостачання та електроспоживання : навч. посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 183 с.

11. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими: За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с.
12. Конфігуратор пристроїв АВР компанії ETI [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ats.eti-support.eu/uk>
13. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
14. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
15. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.
16. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
17. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.
18. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1> електрохімі972.
19. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
20. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
21. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infravzuku-nor4878.html>.

22. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.
23. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
24. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.
25. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.
26. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.
27. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.
28. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

ДОДАТКИ

Додаток А ВИХІДНІ ДАННІ

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДСТАНЦІЇ 110/35/10 КВ «КАЛИНІВКА»
ШЛЯХОМ ВСТАНОВЛЕННЯ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ**



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд комплектної шафи ШОТ1М

Таблиця 1 – Технічні параметри шафи ШОТ1М

Параметр	Значення / Опис
Назва та тип шафи	ШОТ1М-220-12-17-180-6-16-21УХЛ4 (SOT-01-01 / ШОС-А-055)
Призначення	Система оперативного живлення 220 В пост. струму з батареями та випрямлячами
Габаритні розміри	2200 × 600 × 600
Напруга живлення змінного струму	3×380 В, 50 Гц
Номінальна вихідна напруга DC	220 В
Діапазон стабілізації напруги DC	229–231 В
Тип випрямлячів (ЗУ)	SG3, по 10 А кожен; кількість – 6 модулів; сумарний струм – до 60 А
Тип АКБ	Герметизовані свинцево-кислотні, AGM, 12 В на один АКБ
Кількість батарей	17 АКБ по 12 В, підключених послідовно
Номінальна ємність АКБ	55–110 А·год (залежно від модифікації)
Мін. напруга АКБ при розряді	≈183–184 В (~1,8 В на АКБ)
Обігрів шафи АКБ (ШОС АБ)	RH1, RH3: автоматичний/ручний режим; підтримання робочої температури
Система сигналізації	Контроль: «земля», «глибокий розряд», «втрата SG3», «перегрів», SCADA-виходи
Середній час безвідмовної роботи	≥100 000 год
Ступінь захисту	IP54
Гарантійний строк експлуатації	12 місяців; довготривале зберігання – до 1 року; при заміні АКБ – ресурс шафи ≥25 років

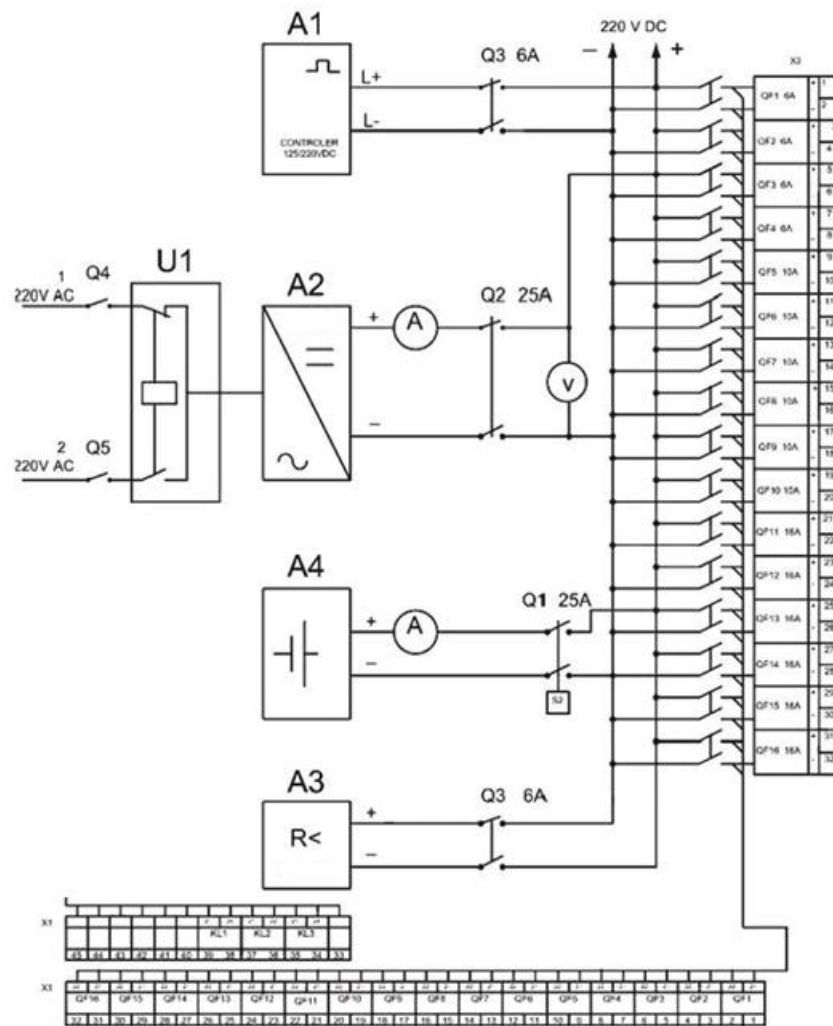


Рисунок 2 – Схеми електрична принципова ШОТ1М

На рисунку 2: U1 - АВР; A1 - блок управління та контролю; A2 - зарядний пристрій/випрямляч напруги; A3 – блок контролю ізоляції; A4 – блок акумуляторів.

Додаток Б ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДСТАНЦІЇ 110/35/10 КВ «КАЛИНІВКА»
ШЛЯХОМ ВСТАНОВЛЕННЯ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ**

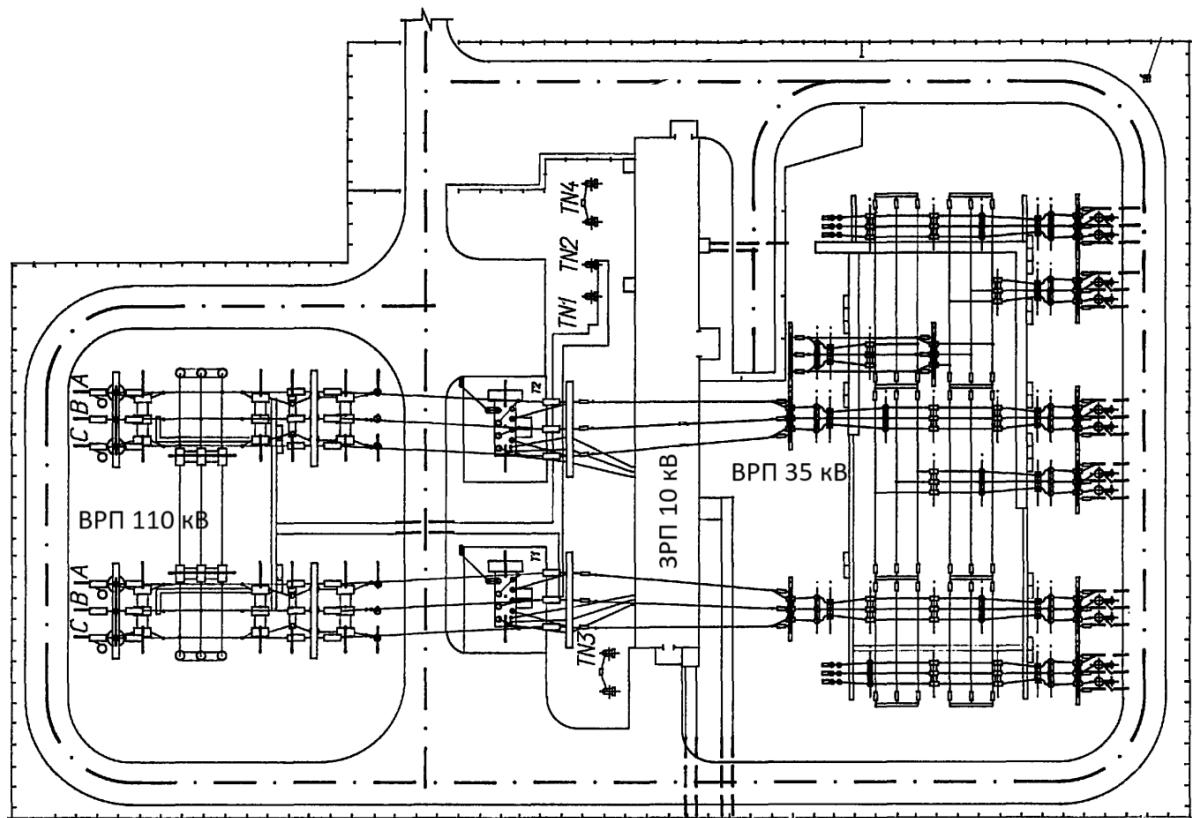


Рисунок 1 – План підстанції 110/35/10 кВ

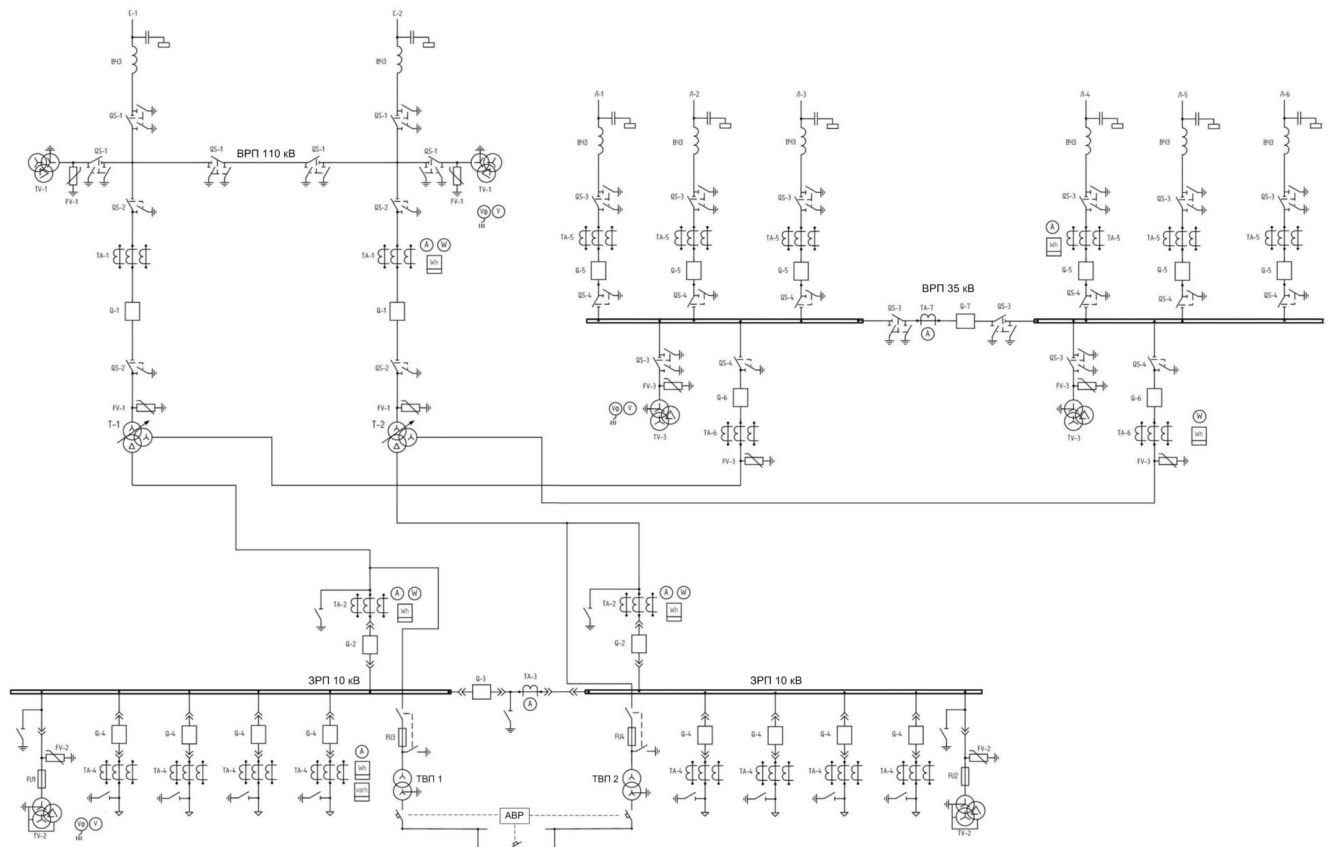


Рисунок 2 – Однолінійна схема ПС 110/35/10 кВ «Калинівка»

Характеристики



Бренд:	Pylontech
Висота, см:	22,6
Ширина, см:	32,5
Глибина, см:	17,35
Гарантія:	60
Вологозахист, IP:	67
Вага, кг:	13
Діапазон робочих температур, °C:	-20°C до +60°C
Напруга акумулятора, В:	12,8
Країна виробник:	Чехія

Рисунок 3 – Технічні характеристики LiFePO₄ 1,28 кВт/год 12 В Pylontech RT12100G31 + BMS

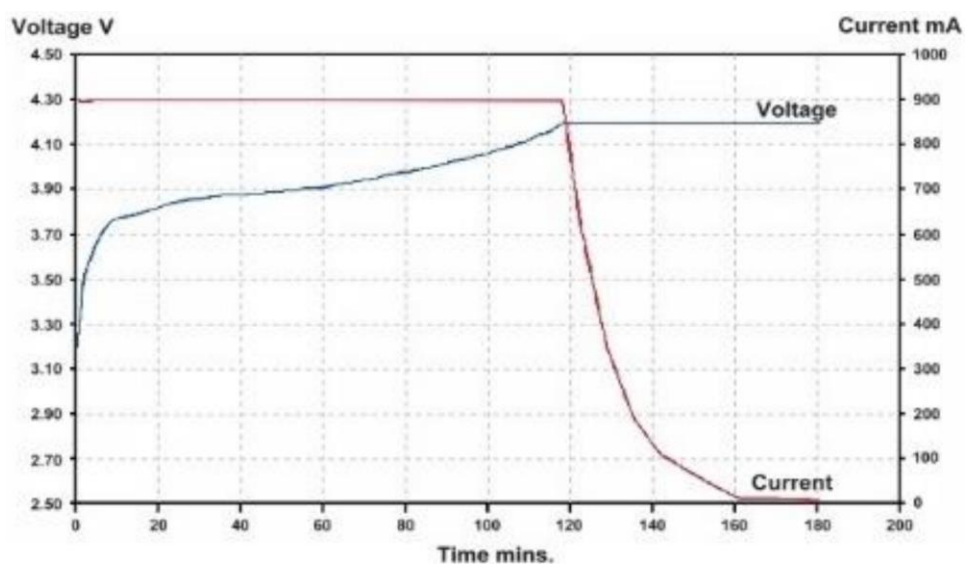


Рисунок 4 – Графік зарядки одного Li-ion акумулятора

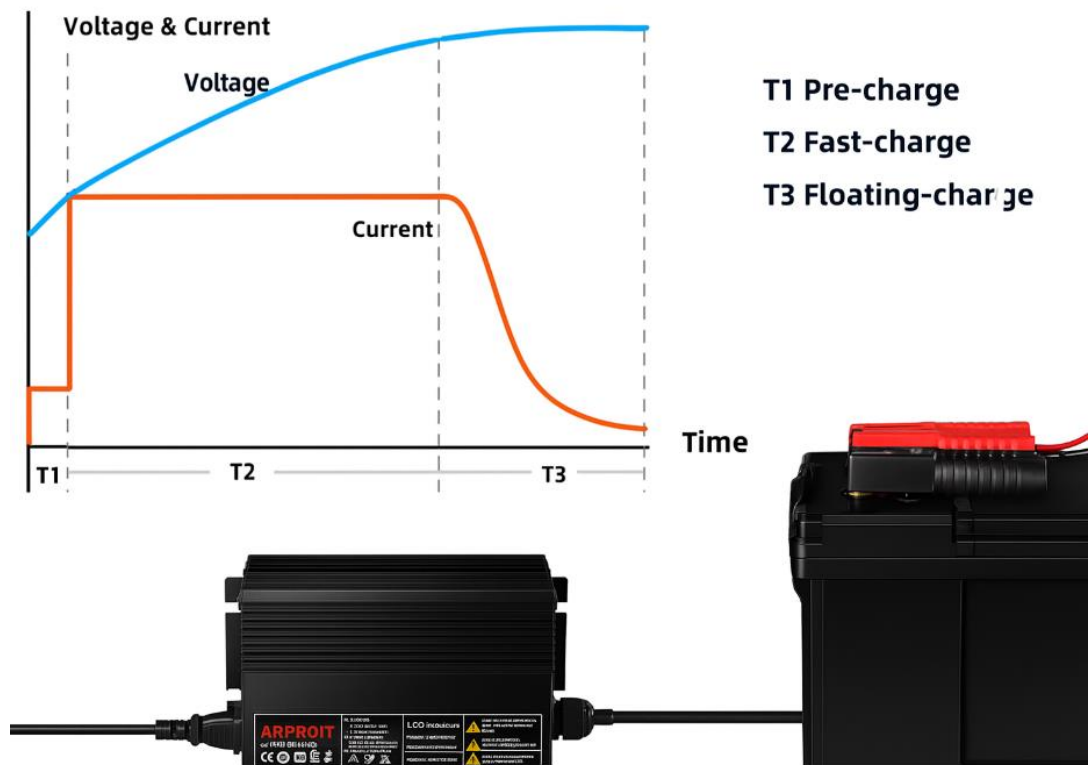


Рисунок 5 – Зарядний пристрій Ardroit 14,6 V 50 A LiFePO₄ Charger

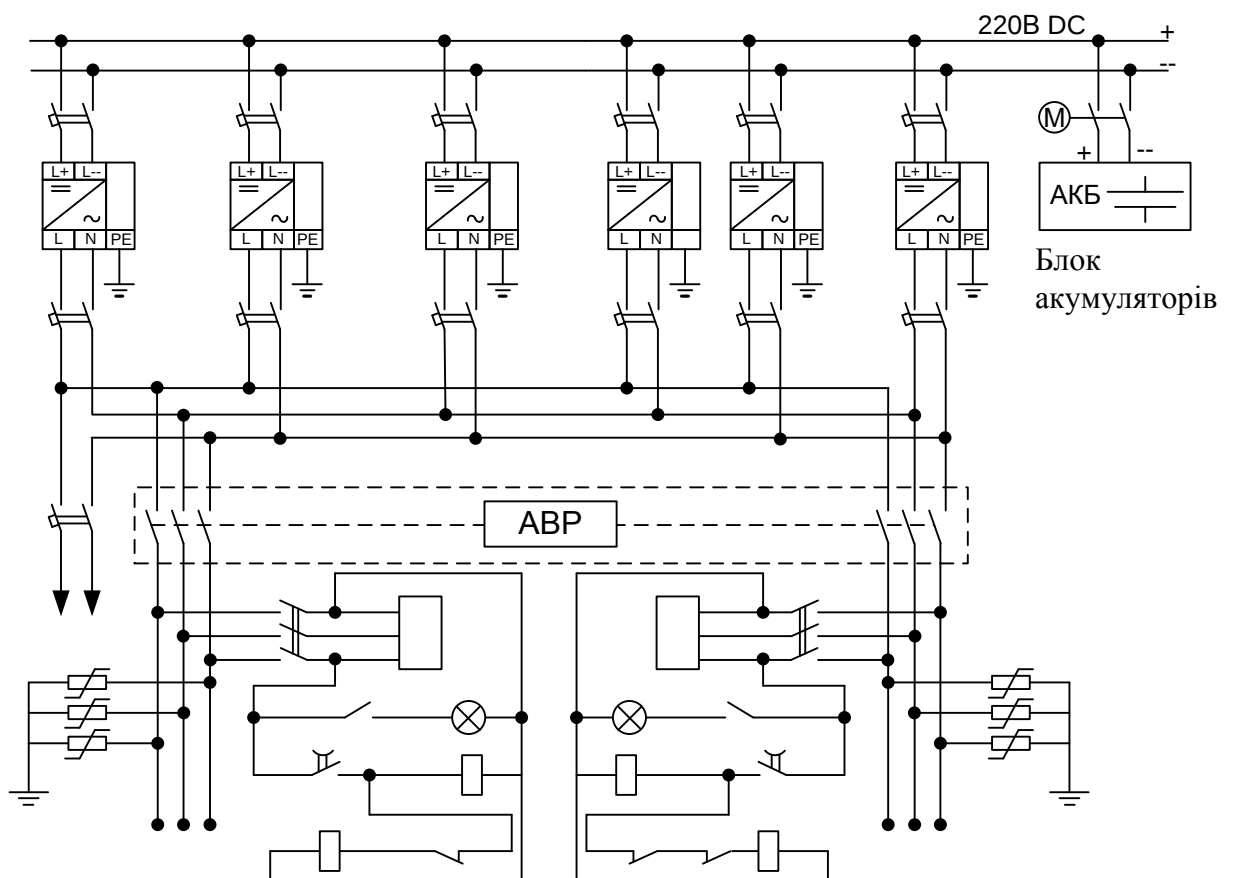


Рисунок 6 – Схема підключення ЗПП до шини постійного струму

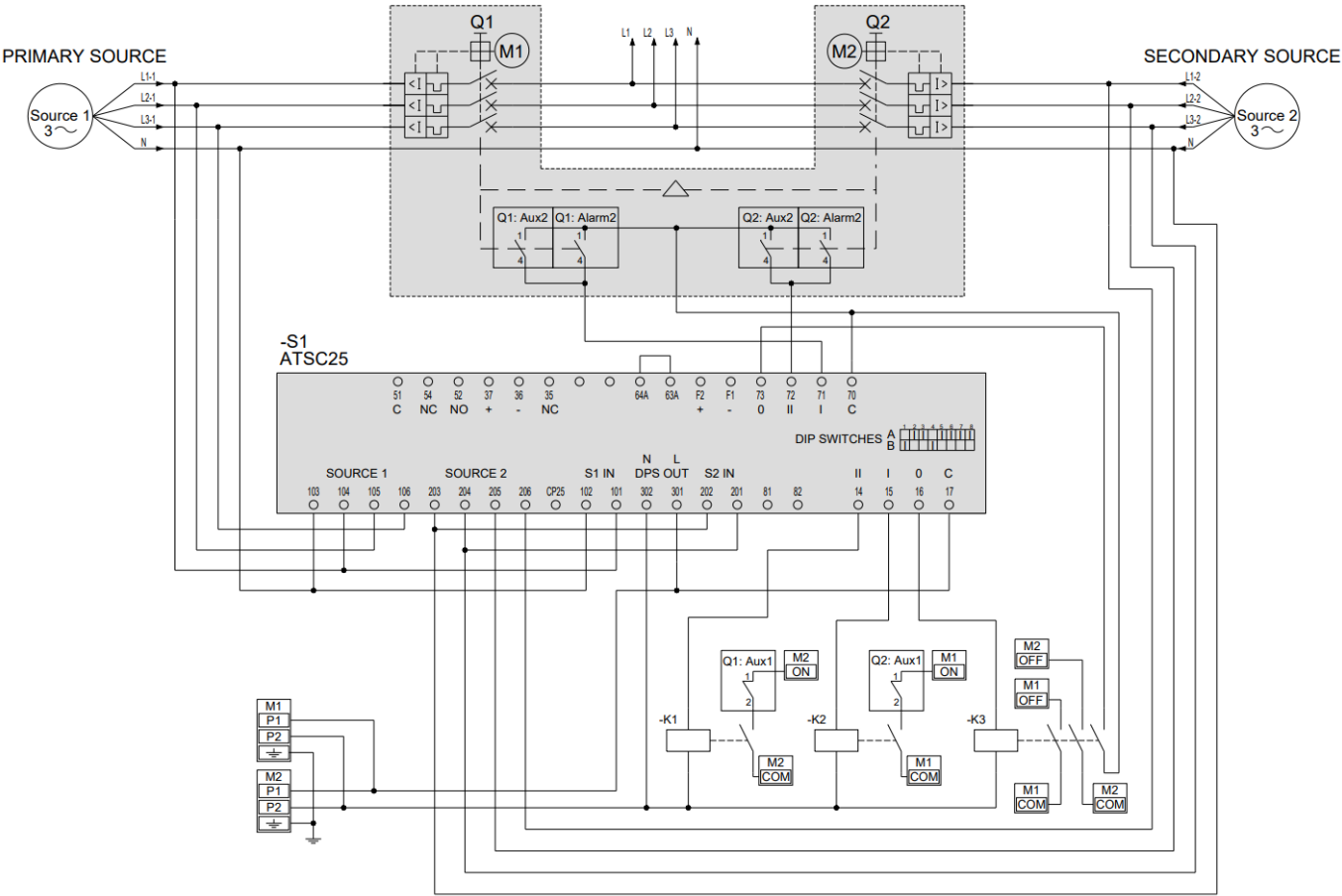


Рисунок 7 – Схема АВР

Конфігуратор пристроїв АВР

Програмне забезпечення для розрахунку конфігурацій систем АВР на базі контакторів (CEM, CES, CEC, CEB), автоматичних вимикачів (EB2, ED2, EB2R) або перемикачів з мотор-приводом (MLBS CO).

Конфігурація

/ Тип АВР **EB2**

/ Кількість полюсів **3**

Ввід № 1

/ Номінальний струм, А **63**

/ Серія обладнання **S - Standard**

/ Номінальний струм **= 63 А**

Ввід № 2

/ Номінальний струм, А **63**

/ Серія обладнання **H - High**

/ Номінальний струм **= 63 А**

СПИСОК ПРОДУ...			ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА	
№	Мітка	Артикул	Найменування	К-сть
1	-Q1	004671044	EB2 125/3S 63A 3р	1
2	-Q2	004672104	EB2 125/3H 63A 3P	1
3	-Q1,-Q2	004671141	PS2 125-1600AF	4
4	/	004671177	MW 125	2
5	-Q1,-Q2	004671144	SS2 125-1600AF	2
6	/	004671178	MW cable 1m	1
7	-M1,-M2	004671165	MO2 125 AC230-240V	2
8	-K1,-K2	002473005	ERM2-230ACL	2
9	/	002473012	ERB2-T	2
10	-K3	002473011	ERM4-230ACL	1
11	/	002473014	ERB4-T	1
12	-S4	004661922	ATSC25	1

ЗАВАНТАЖИТИ СПИ... КОПІЮВАТИ

Рисунок 8 – Таблиця обладнання АВР

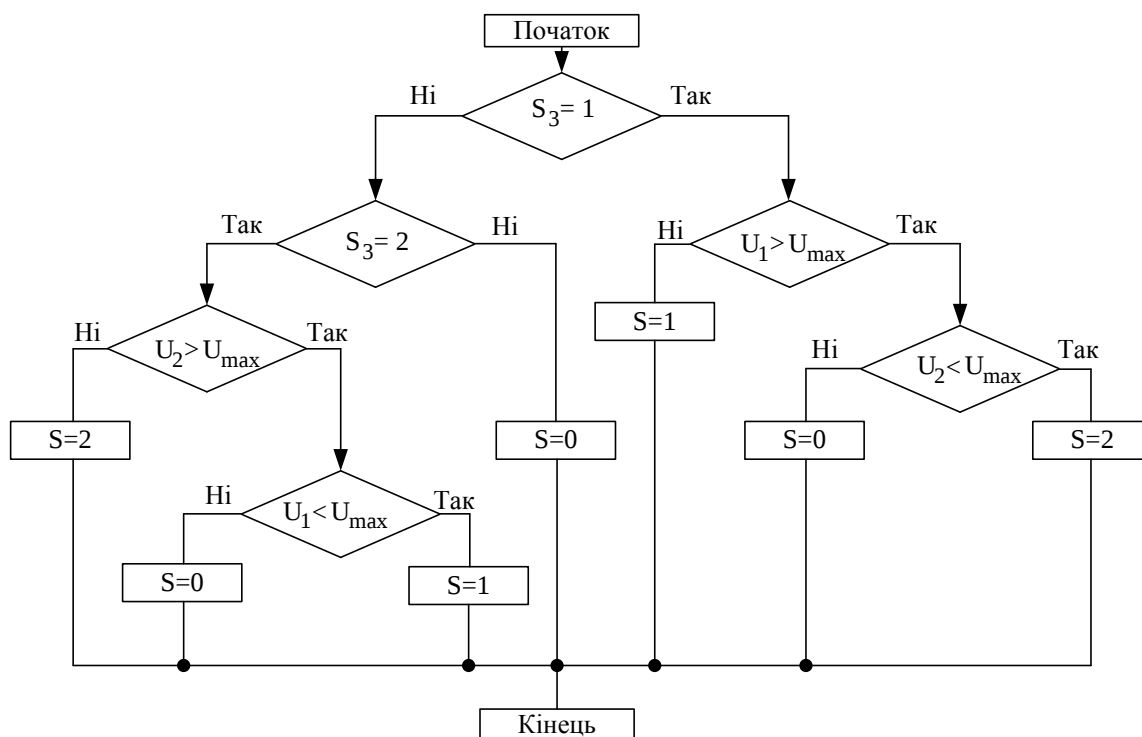


Рисунок 9 – Блок-схема алгоритму заряду акумуляторних батарей

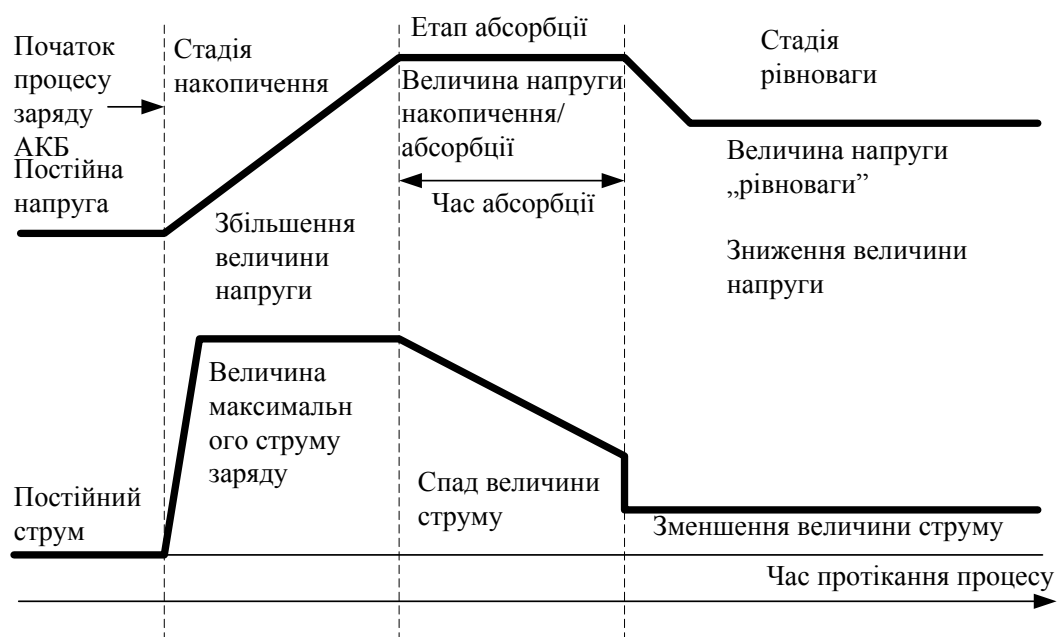


Рисунок 10 – Графік інтелектуального заряду АКБ

Додаток В

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Аналіз надійності підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка»

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ Кафедра ЕСЕМ, ФЕЕМ, Е-23мсз

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 4,7 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Бурбело М. Й., завідувач кафедри ЕСЕМ

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Бабенко О. В., доцент кафедри ЕСЕМ

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)Лобода Ю. В.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____

(підпис)

Бурбело М.Й.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____

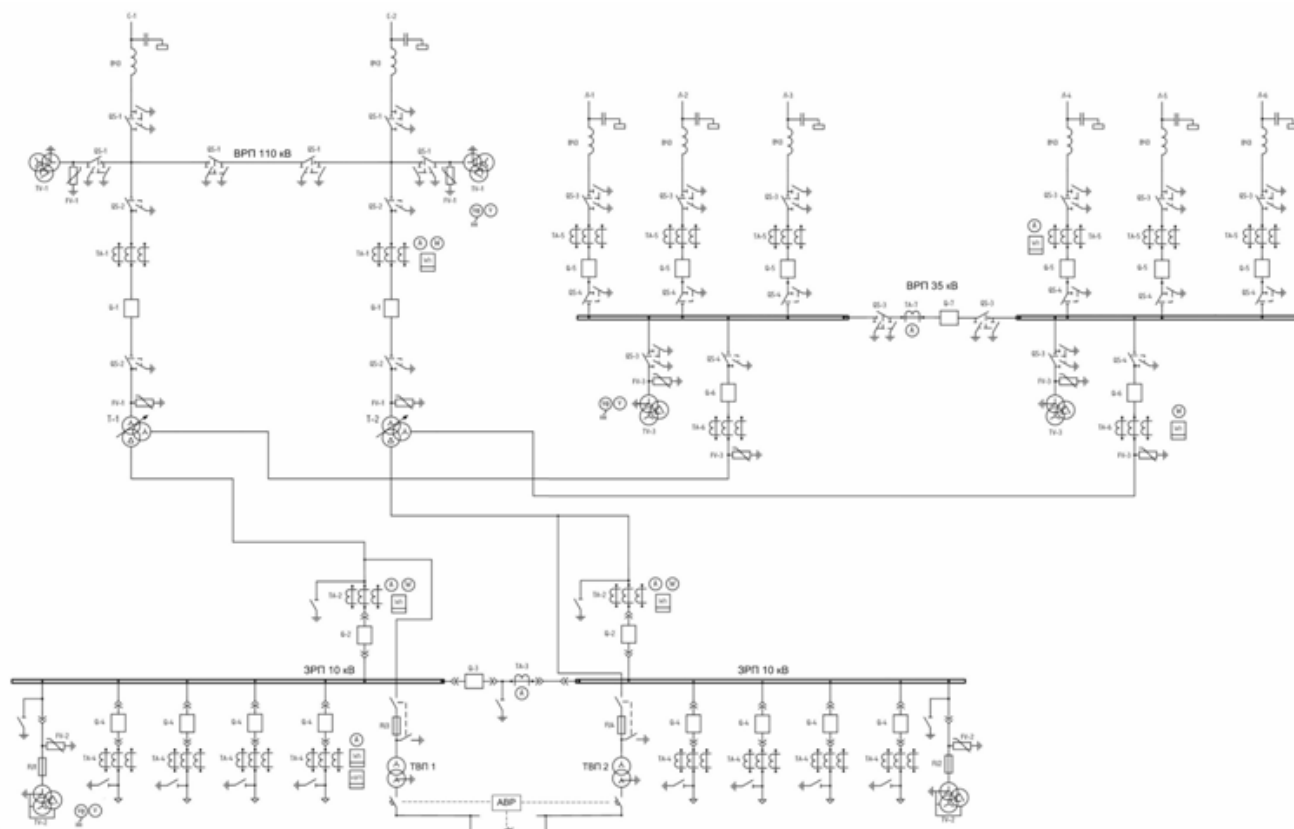
(підпис)

Гуліватий В.О.

(прізвище, ініціали)

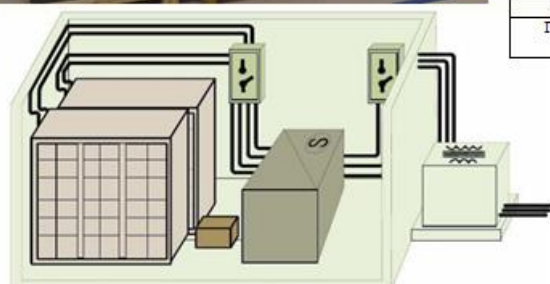
Однолінійна схема ПС 110/35/10 кВ «Калинівка»

3



Технічні параметри шафи ШОТ1М

4



Параметр	Значення / Опис
Назва та тип шафи	ШОТ1М-220-12-17-180-6-16-21У/ХЛ4 (ШОТ-01-01 / ШОС-А-055)
Призначення	Система оперативного живлення 220 В пост. струму з батарей та випрямлячами
Габаритні розміри	2200 × 600 × 600
Напруга живлення змінного струму	3×380 В, 50 Гц
Номінальна вихідна напруга DC	220 В
Діапазон стабілізації напруги DC	229–231 В
Тип випрямлячів (ЗУ)	SG3, по 10 А кожний; кількість – 6 модулів; сумарний струм – до 60 А
Тип АКБ	Герметизовані свинцево-кислотні, AGM, 12 В на один АКБ
Кількість батарей	17 АКБ по 12 В, підключених послідовно
Номінальна ємність АКБ	55–110 А·год (залежно від модифікації)
Мін. напруга АКБ при розряді	≈183–184 В (≈1,8 В на АКБ)
Обігрів шафи АКБ (ШОС АБ)	RH1, RH3: автоматичний/ручний режим; підтримання робочої температури
Система сигналізації	Контроль: «земля», «глибокий розряд», «втрата SG3», «перегрів», SCADA-виходи
Середній час безвідмовної роботи	≥100 000 год
Ступінь захисту	IP54
Гарантійний строк експлуатації	12 місяців; довг. отримав зберігання – до 1 року; при заміні АКБ – ресурс шафи ≥25 років

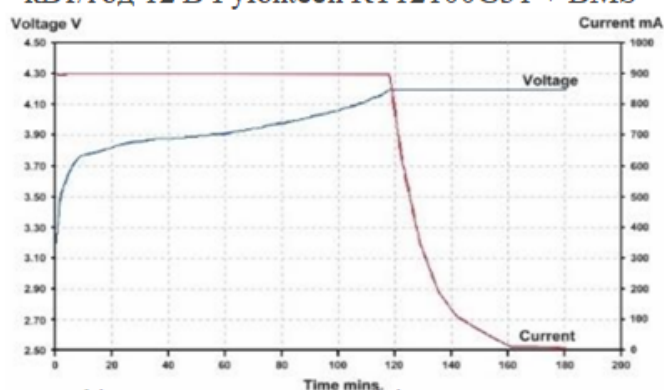
Загальний вигляд системи оперативного постійного струму

Порівняльний аналіз Акумуляторних батарей

5



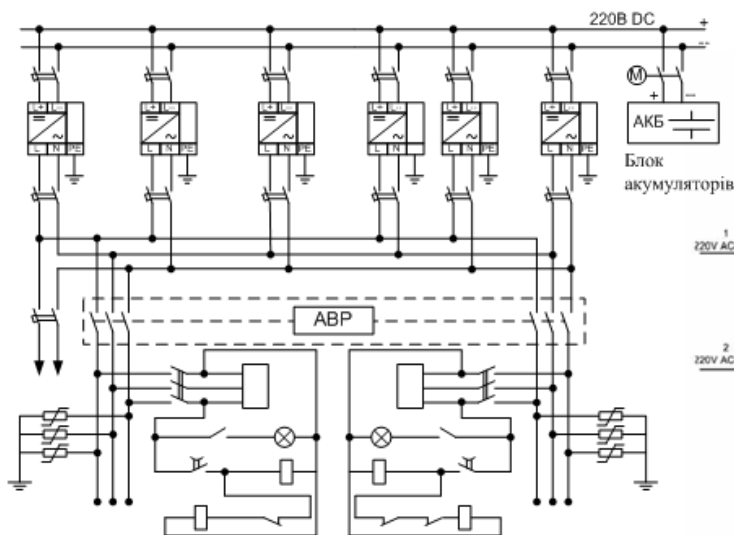
Технічні характеристики LiFePO₄ 1,28 кВт/год 12 В Pylontech RT12100G31 + BMS



Графік зарядки одного Li-іон акумулятора

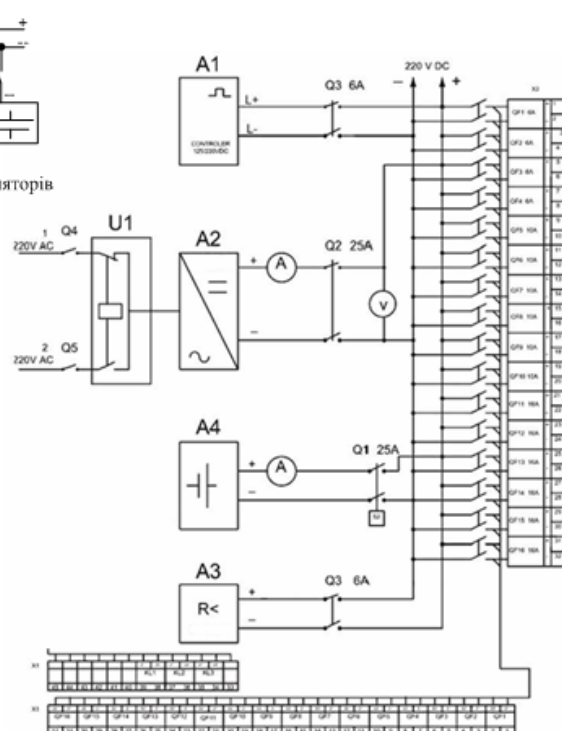
Схема підключення ЗПП до шини постійного струму

6



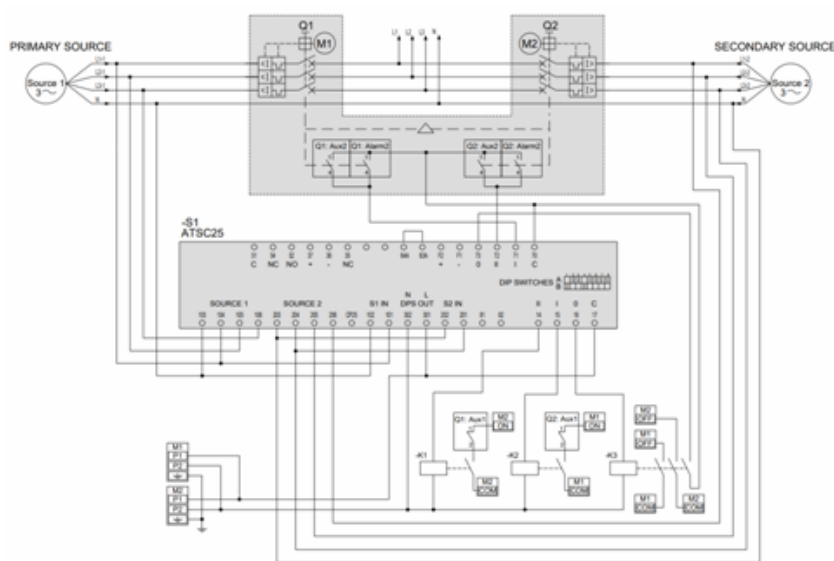
U1 - АВР; A1 - блок управління та контролю; A2 - зарядний пристрій/випрямляч напруги; A3 – блок контролю ізоляції; A4 – блок акумуляторів.

Параметр	Свинцево-кислотні АКБ	Li-ion АКБ
ККД (віддача при заряді)	Зазвичай 80–85 %	Приблизно 95 % і вище
Глибина розряду (DoD)	~50–60 %, глибоке розрядження погіршує термін служби; понад 100 % – недоцільне	~80–90 % регулярний DoD; деякі типи допускають 100 %
Кількість циклів	~300–500 циклів на повний DoD; на 40 % DoD може бути до 500	~2000–5000 циклів (для LFP – до 6000–12 000)
Енергетична щільність	30–50 Wh/кг (у практиці близько 30–40 Wh/кг)	100–250 Wh/кг, в залежності від хімії; LFP ~100–150 Wh/кг; NMC ~150–250 Wh/кг
Саморозряд	3–20 % на місяць	Близько 0.35–2.5 % на міс
Час заряду	За CC/CV до 5–16 год (повільний режим зарядки)	Швидша зарядка – у 2–4 рази швидше; 2–4 год
Циклічний термін життя (роки)	~3–5 років активної експлуатації	~5–10 років (LFP може і більше)
Температурний діапазон	Мінімум –35 °C, максимум +45 °C; але ефективність падає на морозі	Краща поведінка при –20 ... +60 °C, але заряд при низьких температур – специфічний
Маса (енерг./мешада)	В ~100 А·год при 12 В (~1.2 кВт·год) – ~35–40 кг	Така ж ємність – 40–60 % від ваги свинцевої, тобто ~15–25 кг



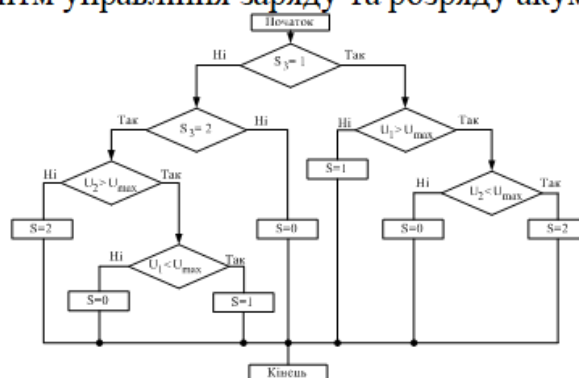
Схеми електрична принципова ШОТ1М

Розробка системи АВР



№	Мітка	Артикул	Найменування	К-сть
1	-Q1	004671044	EB2 125/3S 63 A 3p	1
2	-Q2	004672104	EB2 125/3H 63 A 3P	1
3	-Q1,-Q2	004671141	PS2 125-1600 AF	4
4	/	004671177	MW 125	2
5	-Q1,-Q2	004671144	SS2 125-1600 AF	2
6	/	004671178	MW cable 1m	1
7	-M1,-M2	004671165	MO2 125 AC230-240V	2
8	-K1,-K2	002473005	ERM2-230ACL	2
9	/	002473012	ERB2-T	2
10	-K3	002473011	ERM4-230ACL	1
11	/	002473014	ERB4-T	1
12	-S4	004661922	ATSC25	1

Оптимальний алгоритм управління заряду та розряду акумуляторних батарей 8



Блок-схема алгоритму заряду акумуляторних батарей



Графік інтелектуального заряду АКБ

Висновки по роботі

Основні наукові та практичні результати полягають у наступному:

Проаналізовано стан існуючої системи оперативного постійного струму, яка формально відповідає вимогам до об'єктів I категорії надійності, однак зазната морального й технічного зношення через вичерпання ресурсу акумуляторних батарей. Аргументовано необхідність переходу на сучасні літій-залізо-фосфатні АКБ, які характеризуються кращими показниками за терміном служби, глибинами циклів, температурною стійкістю та вищим рівнем безпеки. Показано, що така модернізація дозволить знизити експлуатаційні витрати та підвищити стабільність функціонування критичних елементів СОПС у надзвичайних ситуаціях.

У проектній частині дипломної роботи виконано обґрунтування та розробку СОПС, яка складається з 17 літій-іонних акумуляторів Pylontech RT12100G31 (12 В, 100 А·год), що забезпечують напругу 220 В DC у СОПС. Проведено розрахунок навантаження й підібрано шість зарядно-підзарядних пристроїв Ardroid 14,6 V 50 A, які дозволяють підтримувати надійний режим заряду з урахуванням резерву на відмову одного-двох модулів. Досліджено оптимальний алгоритм заряду АКБ з урахуванням характеристик LiFePO_4 , що базується на етапному зниженні струму, адаптивному керуванні та балансуванні елементів. Це забезпечує надійний заряд без перезаряду або перегріву АКБ. Також запропоновано реалізацію системи АВР на стороні 0,4 кВ з використанням вимикачів EB2 125/3S 63A з моторними приводами та конфігурацією на базі рішень ETI.

Запропоноване технічне рішення щодо модернізації системи оперативного постійного струму підстанції 110/35/10 кВ «Калинівка» повністю відповідає вимогам надійності, резервування та довговічності, що висуваються до об'єктів критичної інфраструктури. Заміна застарілих свинцево-кислотних АКБ на сучасні літій-залізо-фосфатні батареї Pylontech RT12100G31, впровадження шести зарядно-підзарядних пристроїв Ardroid 14,6 V 50 A та реалізація алгоритму оптимального керування зарядом дозволяють значно підвищити надійність роботи СОПС в умовах повного знеструмлення.