

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



В. М. Рябенський

д.т.н., професор

« 16 » червня 2025 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

Розробка проекту сонячної електростанції

Виконав: студент 4327ст групи

Е. Ф. Ібрагімов



(підпис)

Керівник роботи:

доцент каф. ПЕЕТ, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



О. С. Дьяконов

(підпис)

м. Миколаїв – 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра	програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Спеціальність	171 «Електроніка»
Освітня програма	Електронні системи

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 О. С. Дьяконов
(підпис)

« 14 » квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» (освітньо-кваліфікаційний рівень)

Студенту Ібрагімову Емілю Фікретовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка проекту сонячної електростанції

керівник роботи Дьяконов Олексій Сергійович, доцент каф. ПЕЕТ, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора № УЧ-343 від «23» квітня 2025 року.

2. Термін подання роботи: червень 2025 р.

3. Вихідні дані по роботі: Вихідна потужність гібридного інвертору Victron – 800 ВА, вихідна потужність мережевого інвертору Solis – 1 кВт, кількість фотоелектричних модулів (ФЕМ) – 4 од., потужність ФЕМ ~ 420 – 530 Вт.

Місце встановлення ФЕМ – дах корпусу ННІАЕ.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів) Автономні, резервні та острівні сонячні системи; формування вихідних технічних вимог до сонячної електростанції; розробка схемотехнічних рішень сонячної електростанції; програмна конфігурація обладнання; охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів Огляд існуючих схем побудови сонячних електростанцій; формування технічних вимог до стенду; ескіз лицьової панелі стенду; блок комутації сонячних панелей; принципова схема частини постійного струму; конфігурація інвертору Victron MultiPlus

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
5	Тубальцев А.М.		

7. Дата видачі завдання « 24 » квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літератури за темою роботи	10.02.25 – 03.03.25	виконано
2.	Особливості побудови автономних, резервних та острівних сонячних систем	03.03.25 – 17.03.25	виконано
3.	Розробка вихідних технічних вимог до сонячної електростанції	17.03.25 – 14.04.25	виконано
4.	Розробка схемотехнічних рішень сонячної електростанції	14.04.25 – 12.05.25	виконано
5.	Програмна конфігурація обладнання	12.05.25 – 19.05.25	виконано
6.	Питання охорони праці	12.05.25 – 09.06.25	виконано

Студент

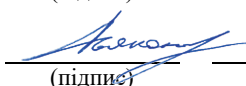


(підпис)

Е. Ф. Ібрагімов

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

О. С. Дьяконов

(прізвище та ініціали)

Анотація

Кваліфікаційна робота присвячена розробці сонячної електростанції у вигляді лабораторного стенду, що буде розміщений у приміщенні кафедри ПЕЕТ ННІАЕ. У роботі розроблені вихідні технічні вимоги до лабораторного стенду та проєктна документація – набір принципів схем. Наведено рекомендації щодо оновлення вбудованого програмного забезпечення та налаштування інверторного обладнання фірми Victron. Надані рекомендації щодо організаційних питань з охорони праці при виготовленні лабораторного стенду.

Ключові слова: сонячна електростанція, фотоелектричні модулі (ФЕМ), Victron, Solis, мережевий інвертор, гібридний інвертор.

Abstract

The qualification work is devoted to the development of a solar power plant in the form of a laboratory stand, which will be placed in the premises of the Department of PEET NNIAE. The paper develops initial technical requirements for the laboratory stand and project documentation – a set of schematic diagrams. Recommendations for updating the firmware and configuring Victron inverter equipment are provided. Recommendations on organizational issues related to labor protection in the manufacture of a laboratory stand are given.

Keywords: solar power plant, photovoltaic modules (Fem), Victron, Solis, network inverter, hybrid inverter.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів..	6
Вступ.....	7
Розділ 1. Автономні, резервні та острівні сонячні системи	9
1.1. Введення в проектування резервних (backup) і автономних систем (off-grid).....	9
1.2. Системи резервного живлення.....	9
1.3. Системи накопичення енергії.....	9
1.4. Системи автономного живлення.....	10
1.5. Різниця між системою резервного живлення, системою накопичення енергії і системою автономного електропостачання	11
1.6. Фотоелектричні системи зі зв'язком за постійним струмом.....	11
1.7. Фотоелектричні системи зі зв'язком за змінним струмом	14
Розділ 2. Формування вихідних технічних вимог до сонячної електростанції.....	21
2.1. Призначення сонячної електростанції	21
2.2. Виконання стенду	24
2.3. Розміщення стенду	24
2.4. Розміщення фотоелектричних модулів.....	25
2.5. Схема з'єднання фотоелектричних модулів.....	25
2.6. Загальне компонування стенду	26
Розділ 3. Розробка схемотехнічних рішень сонячної електростанції .	32
3.1. Розробка принципової схеми частини постійного струму.....	32
3.2. Розробка принципової схеми частини змінного струму	36
Розділ 4. Програмна конфігурація обладнання	41
4.1. Оновлення прошивки інвертора Victron MultiPlus	41
4.2. Конфігурація інвертора Victron MultiPlus	44
Розділ 5. Охорона праці	51
5.1. Вимоги безпеки при виготовленні та монтажу сонячної електростанції	51
Висновки	54

Список використаних джерел	55
Додаток А.....	57
Креслення лицьової панелі стенду в AutoCAD	57

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ**

MPPT	- maximum power point tracking;
ФЕМ	- фотоелектричний модуль;
DC	- direct current;
AC	- alternating current.

					171.4327ст.КР.ПЗ.Скорочення	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВСТУП

В умовах стрімкого зросту попиту на відновлювальну зелену енергетику постає питання підготовки кваліфікованих спеціалістів для цієї галузі. Зазначимо, що окрім теоретичної підготовки, фахівці повинні опанувати практичними навичками роботи з сучасним промисловим обладнанням, що використовується при побудові сонячних електростанцій. Тому актуальною задачею є створення невеликої навчальної сонячної електростанції у вигляді лабораторного стенду, яка б дозволила проводити експерименти щодо вибору топології електростанції, налаштування інверторів, контролерів заряду тощо.

Проект даної станції заплановано ввести в дію на кафедрі програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій Навчально-наукового інституту автоматики та електротехніки НУК.

					171.4327ст.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата				
Розробник		Ібрагімов Е. Ф.			Автономні, резервні та острівні сонячні системи	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							8	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Дьяконов О. С.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 1.

АВТОНОМНІ, РЕЗЕРВНІ ТА ОСТРІВНІ СОНЯЧНІ СИСТЕМИ

1.1. Введення в проектування резервних (backup) і автономних систем (off-grid)

У деяких регіонах електромережа ненадійна. В інших місцях електромережі немає взагалі. На щастя, тепер є доступні і масштабовані рішення, які забезпечують безперебійне живлення. Великий асортимент інтелектуальних і гнучких продуктів сучасних фірм-виробників, таких як Victron, відповідає будь-яким вимогам по електропостачанню і може бути детально налаштований для задоволення потреб найвимогливіших клієнтів.

Розглянемо особливості проектування різних типів сонячних систем.

1.2. Системи резервного живлення

Системи резервного живлення живлять навантаження енергією з акумуляторної батареї під час вимушених відключень від мережі. Вони плавно переключаються з мережі, де сталося аварійне відключення електропостачання, на живлення від батареї. Перемикання відбувається так швидко, що більшість приладів навіть не помічають цього. Сонячна енергія може продовжити час безвідмовної автономної роботи. За необхідністю в систему можна легко інтегрувати генератор, автоматично мінімізуючи його використання за рахунок пріоритизації сонячної енергії.

1.3. Системи накопичення енергії

Система накопичення енергії зберігає сонячну енергію в акумуляторі протягом дня для використання в темний час доби або при відключенні мережі. Коли акумулятор повністю заряджений, надлишок сонячної енергії використовується для живлення навантажень, зарядки електромобілів, а в деяких областях вона може автоматично надходити (продаватися) назад у мережу. Коли в акумуляторі недостатньо енергії, система автоматично

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

споживає її з мережі. Аналіз поточного споживання енергії та сонячного вироблення дозволяє виконувати тонку настройку системи, щоб максимізувати споживання власної виробленої енергії.

1.4. Системи автономного живлення

В багатьох віддалених районах, де немає електромережі, історично для забезпечення енергією використовуються електричні генератори. Для функціонування такої системи потрібні регулярні поставки палива, усунення поломок генераторів і трудомісткі графіки технічного обслуговування. Використання сонячної енергії, а також енергії вітру, є надійною і стійкою альтернативою для організації автономного цілодобового електропостачання з генераторами меншої потужності, які забезпечують резервне живлення тільки при необхідності. В такому випадку витрати на паливо, технічне обслуговування та капітальні витрати істотно скорочуються (рис. 1.1, 1.2).

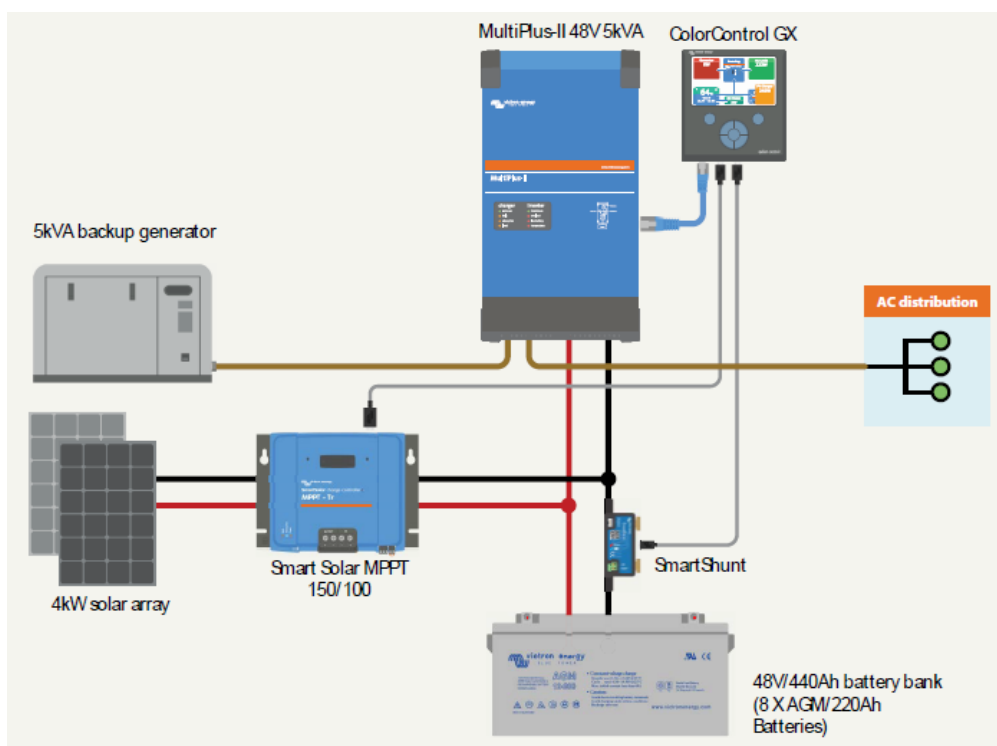


Рисунок 1.1 – Приклад побудови автономної сонячної системи з резервним дизель-генератором

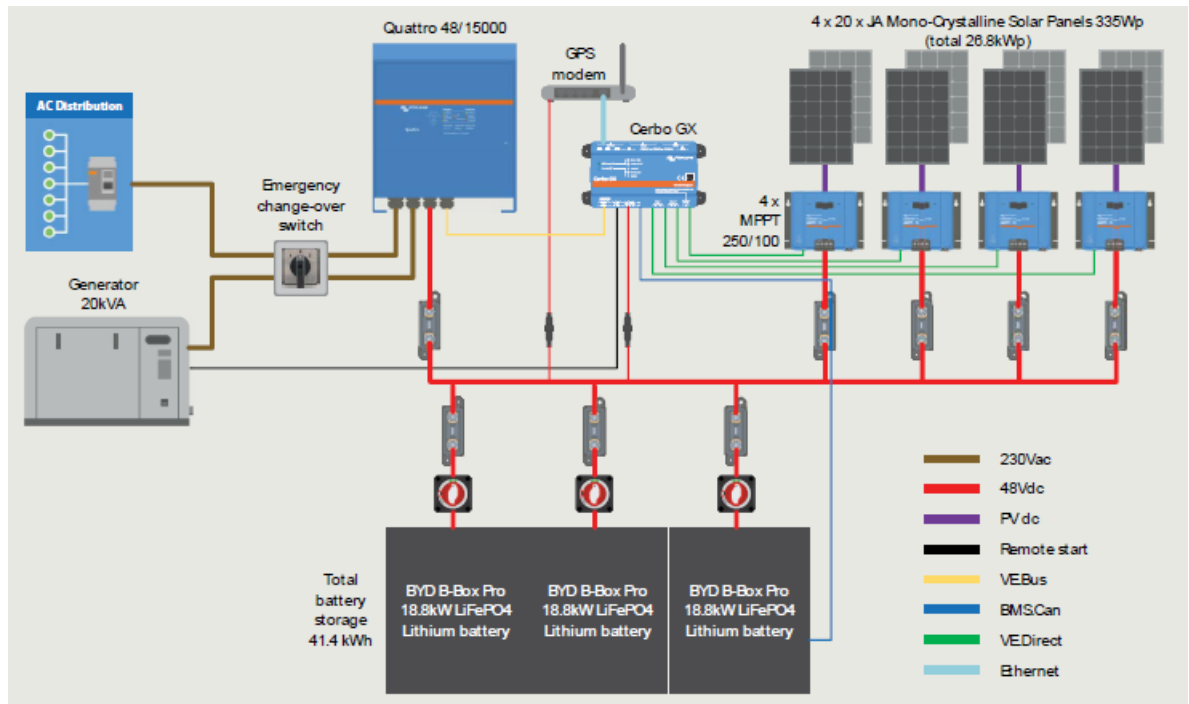


Рисунок 1.2 – Приклад побудови автономної сонячної системи з резервним дизель-генератором

1.5. Різниця між системою резервного живлення, системою накопичення енергії і системою автономного електропостачання

Система резервного живлення живить критичні навантаження на час очікуваного простою. Система зберігання енергії живить базову навантаження сонячною енергією протягом дня і зберігає надлишки сонячної енергії для харчування ввечері і вночі, забезпечуючи власне споживання, мережа допомагає жити споживачів в пікові періоди або в похмурі дні. Автономна система живить все навантаження 24/7 на основі найгірших сценаріїв, оскільки вона не має залежності від мережі.

1.6. Фотоелектричні системи зі зв'язком за постійним струмом

У фотоелектричних системах зі зв'язком за постійним струмом (DC coupled PV systems) сонячна енергія перетворюється в регульований постійний струм (DC). Отже, регульований постійний струм подається на акумуляторні батареї та споживачів (рис. 1.3). Інвертор живить всіх споживачів змінного струму, які підключені до системи постійного струму

(рис. 1.4). На відміну від систем зі зв'язком за постійним струмом, сонячна енергія безпосередньо перетворюється в змінний струм у фотоелектричних системах зі зв'язком за змінним струмом (AC coupled PV systems).

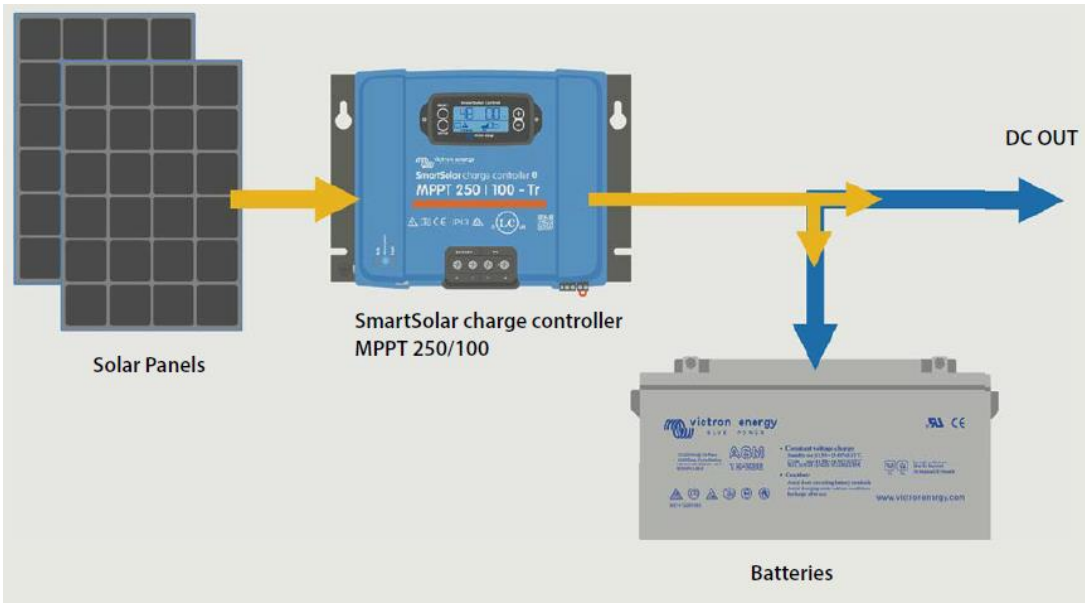


Рисунок 1.3 – Приклад фотоелектричної системи зі зв'язком за постійним струмом

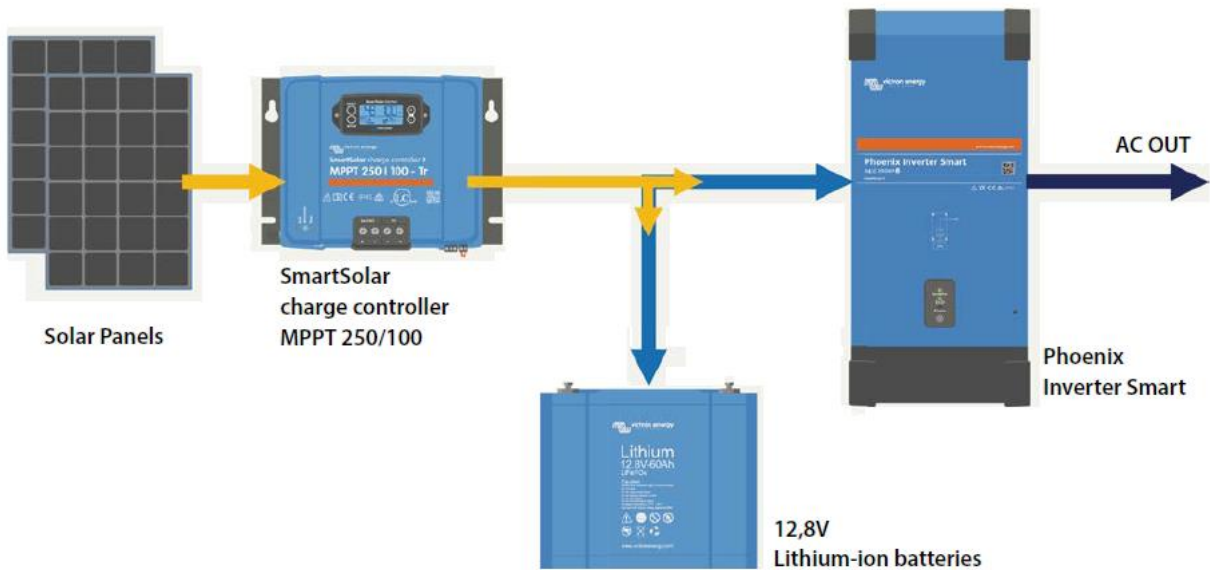


Рисунок 1.4 – Використання інвертора в фотоелектричній системі зі зв'язком за постійним струмом для живлення споживачів змінного струму

У прикладі на рис. 1.3 сонячна панель живить споживачів практично безпосередньо. Єдиним елементом між панеллю і споживачем енергії є

контролер заряду. Цей контролер заряду BlueSolar управляє напругою споживачів і акумуляторної батареї.

У прикладі на рис. 1.4 представлена фотоелектрична система зі зв'язком за струму з виходом 230 В для живлення споживачів змінного струму. У наведеному вище прикладі для цих цілей використовується інвертор Victron Phoenix.

При недостатній потужності сонячних панелей можна побудувати гібридну фотоелектричну систему (рис. 1.5).

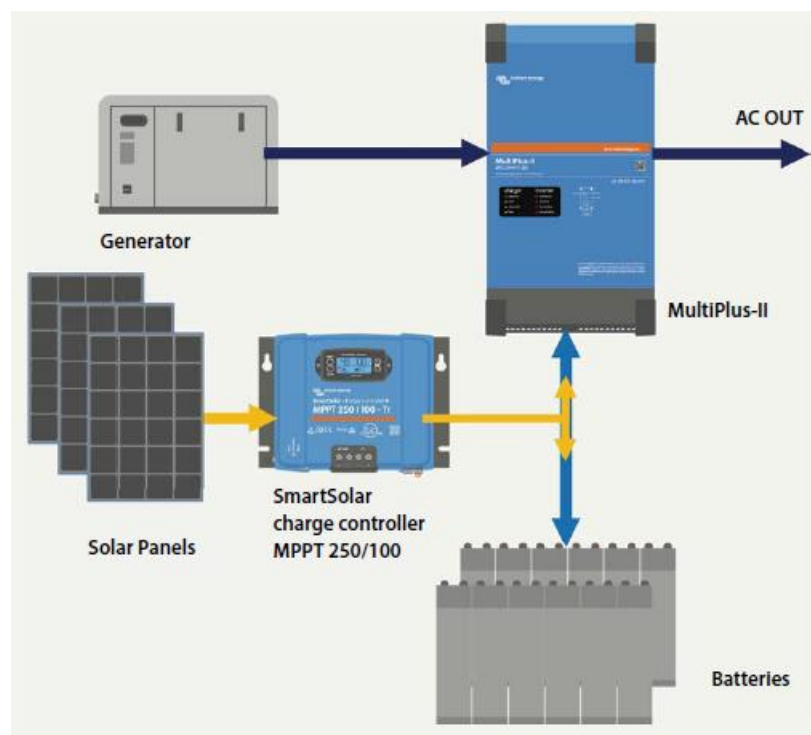


Рисунок 1.5 – Схема гібридної фотоелектричної системи

В даному прикладі в систему додається резервний генератор, а замість звичайного інвертора використовується інвертор серії MultiPlus або Quattro з вбудованою функцією зарядного пристрою. При нестачі або надлишку сонячної енергії MultiPlus або Quattro автоматично виконують пуск і зупинку резервного генератора для максимального використання сонячної енергії і забезпечення тривалого терміна служби акумуляторної батареї.

Інвертори серії MultiPlus або Quattro підтримують функцію PowerAssist. Функція PowerAssist дозволяє інвертору Victron збільшувати максимальну

потужність мережі або альтернативного джерела енергії (генератора). Таким чином, в момент перевантаження інвертор Victron може збільшити поточну споживану потужність на величину свого номіналу, використовуючи енергію акумуляторних батарей.

Слід зазначити, що функція PowerAssist застосовна для компенсації короточасних пікових перевантажень. У моменти часу відсутності перевантажень надлишкова енергія в системі буде використовуватися для підзарядки акумуляторної батареї. У розглянутій системі більше немає необхідності підбирати потужність генератора з урахуванням максимального пікового навантаження.

На рис. 1.6 показаний приклад організації системи резервного живлення. Особливістю побудови даної системи є те, що система підключена до мережі, в якій можливі часті перебої електропостачання, а також спостерігається недолік вироблення сонячної енергії. Зазвичай в таких системах передбачається додатковий резервний генератор. Для таких систем компанія Victron пропонує використовувати інвертори Quattro, що забезпечені перемикачем для підключення живлення, як з електромережі, так і з генератора. За допомогою інвертора Quattro можна повністю автоматизувати процес перемикання між мережею і генератором.

1.7. Фотоелектричні системи зі зв'язком за змінним струмом

Для більш великих сонячних систем, які зазвичай забезпечують споживачів змінного струму, більш ефективно безпосередньо перетворювати сонячну енергію в змінний струм. Як правило, такі системи називають «системами зі зв'язком за змінним струмом». Системи зі зв'язком за змінним струмом мають більш високу енергоефективність у порівнянні з системами зі зв'язком за постійним струмом. Фотоелектричний інвертор безпосередньо перетворює сонячну енергію в змінний струм. Для роботи такого інвертора необхідна мережа, яка забезпечується MultiPlus або Quattro. Вся надмірна

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

сонячна енергія, яка не використовується споживачами змінного струму, використовується для зарядки акумуляторних батарей.

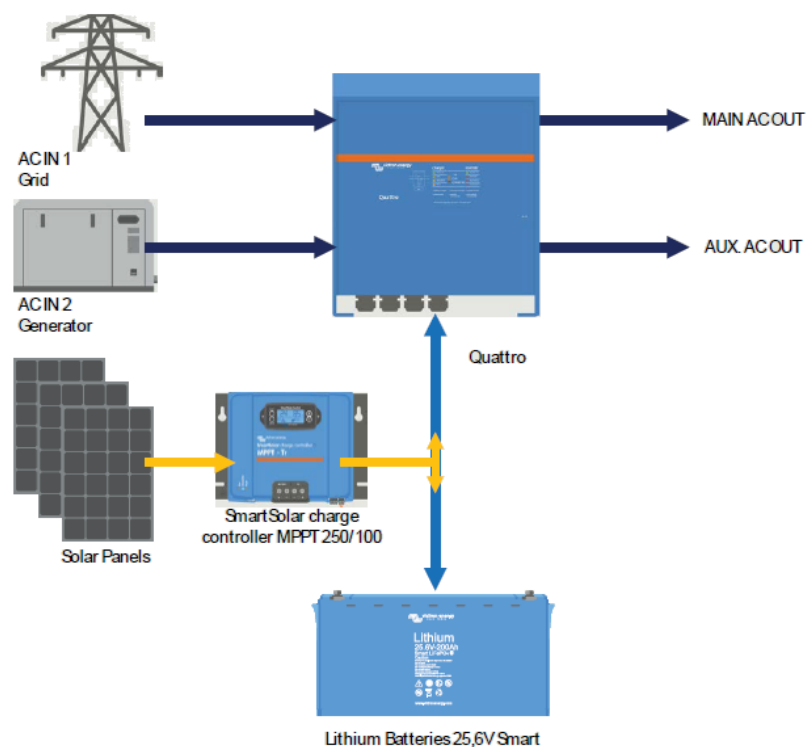


Рисунок 1.6 – Приклад організації резервного живлення з автоматичним перемиканням між мережею і генератором

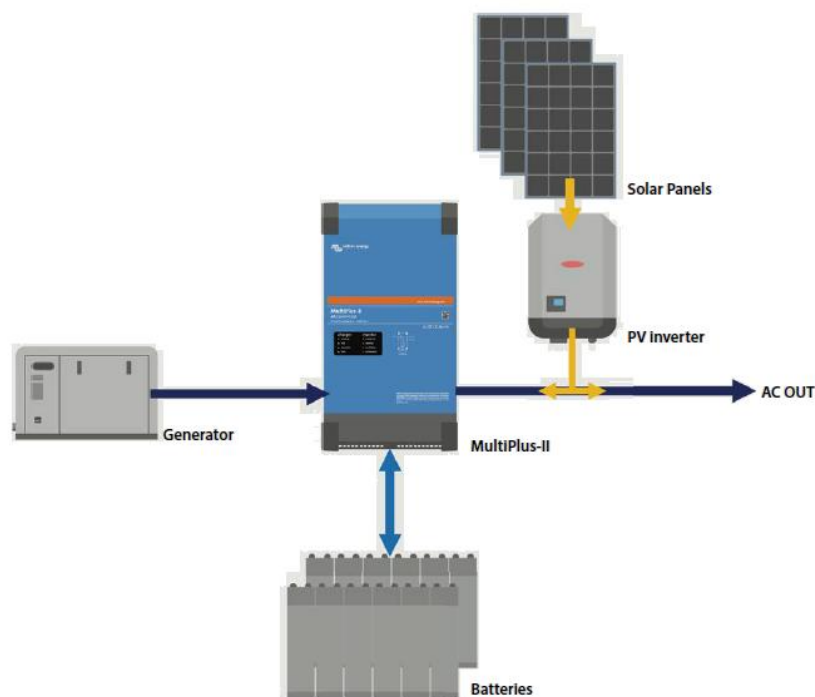


Рисунок 1.7 – Схема підключення фотоелектричного мережевого інвертора в автономній системі живлення

У цій системі резервного живлення, зображеної на рис. 1.8, змінний струм з мережі може доповнювати енергопостачання від сонячних панелей. І навпаки, енергія від сонячних панелей може покрити будь-який збій в мережі, який може в ній статися.

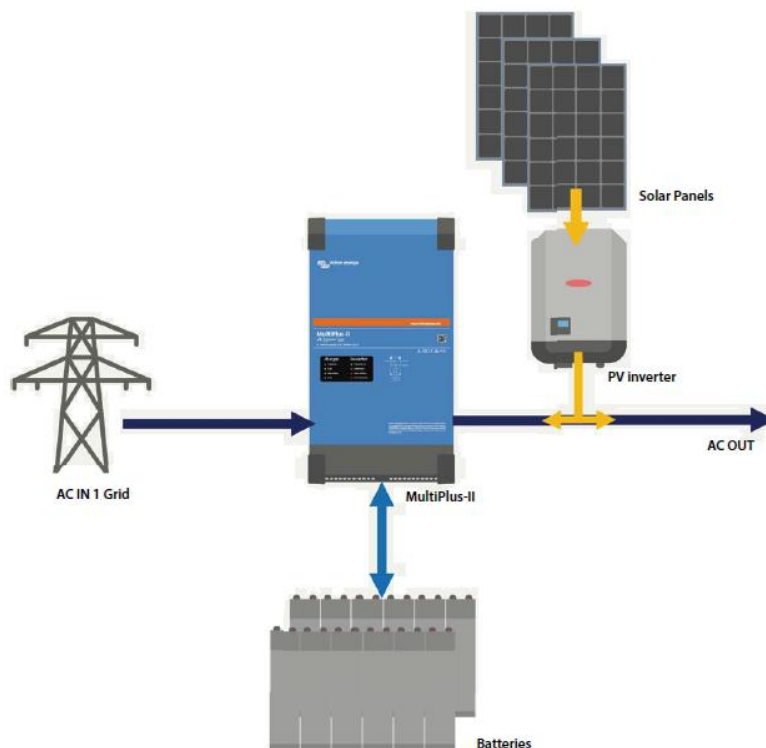


Рисунок 1.8 – Схема організації резервної системи живлення з фотоелектричним мережевим інвертором і мережею

Продукти MultiPlus і Quattro відіграють центральну роль в побудові фотоелектричних систем зі зв'язком по змінному та постійному струму. Вони обидва є потужними зарядними пристроями і інверторами в одному корпусі. Кількість доступних джерел змінного струму є вирішальним фактором при виборі між Quattro і Multi. Велика різниця в тому, що Quattro може використовувати два джерела змінного струму і перемикатися між ними на основі інтелектуальних правил. Для цих цілей он має вбудований перемикач.

MultiPlus може використовувати тільки одне джерело змінного струму. Система резервного живлення підвищеної надійності, що зображена на рис. 1.9, гарантує безперебійну подачу енергії. Якщо, наприклад, відбудеться збій в мережі, або акумуляторні батареї розрядяться і в той же час буде

доступна обмежена кількість сонячної енергії, інвертор/зарядний пристрій Quattro запустить генератор. Як тільки генератор більше не потрібний, він автоматично буде зупинений.

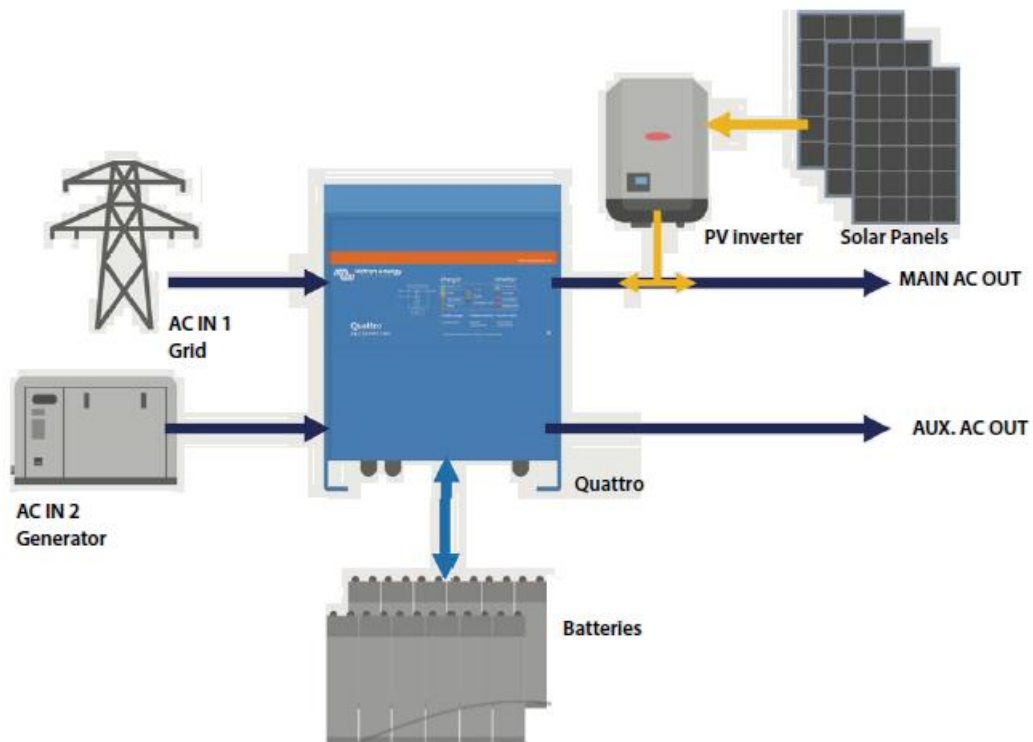


Рисунок 1.9 – Система резервного живлення підвищеної надійності з використанням інвертора Quattro

Для збільшення потужності інвертори MultiPlus і Quattro можуть бути підключені паралельно. Також за допомогою трьох однакових інверторів можна організувати трифазну систему, поєднавши інвертори за схемою «зірка».

На рис. 1.10 показаний приклад паралельного включення гібридних і мережевих інверторів.

Контролери заряду можна також з'єднувати паралельно, як показано на рис. 1.11.

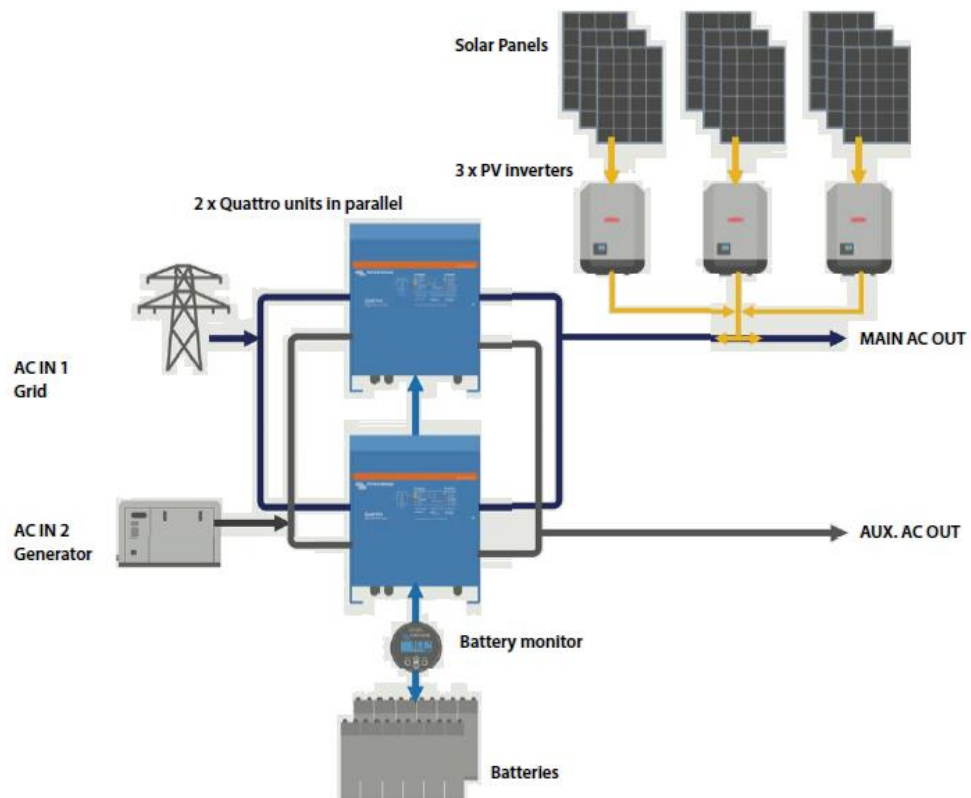


Рисунок 1.10 – Паралельне включення гібридних і мережевих інверторів

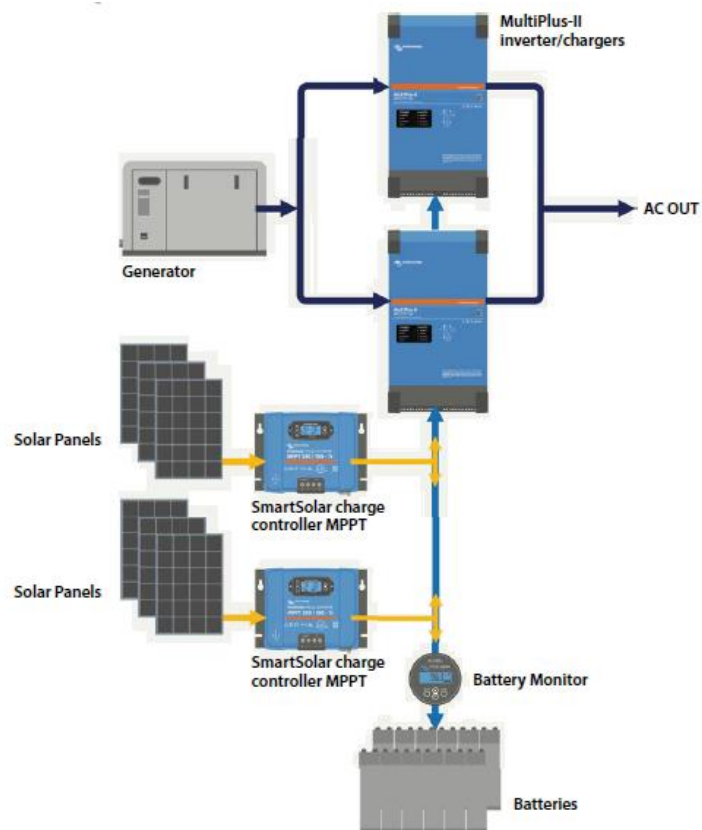


Рисунок 1.11 – Паралельне включення MPPT-контролерів заряду

Висновки до розділу

1. Сонячні системи можуть бути побудовані для експлуатації у складі автономних, резервних та острівних систем електропостачання.

2. За архітектурою побудови сонячні системи бувають двох типів: фотоелектричні системи зі зв'язком за постійним струмом та зі зв'язком за змінним струмом.

3. Системи зі зв'язком за змінним струмом мають більш високу енергоефективність у порівнянні з системами зі зв'язком за постійним струмом. Фотоелектричний інвертор безпосередньо перетворює сонячну енергію в змінний струм. Для роботи такого інвертора необхідна мережа.

4. Продукти MultiPlus і Quattro фірми Victron відіграють центральну роль в побудові фотоелектричних систем зі зв'язком по змінному та постійному струму. Вони обидва є потужними зарядними пристроями і інверторами в одному корпусі.

5. Отже, для проведення натурних експериментів з фотоелектричними системами необхідно розробити лабораторний стенд, на якому можна моделювати роботу фотоелектричних систем як зі зв'язком за постійним струмом, так і за зв'язком за змінним струмом.

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р2			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Ібрагімов Е. Ф.			Формування вихідних технічних вимог до сонячної електростанції	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							20	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Дьяконов О. С.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ ВИХІДНИХ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

2.1. Призначення сонячної електростанції

Сонячна електростанція проєктується як лабораторний стенд, що призначений для дослідження:

- вольтамперних характеристик фотоелектричних модулів при їхньому послідовному та паралельному включенні;
- систем резервного живлення (акумуляторна батарея + інвертор MultiPlus) – рис. 2.1.

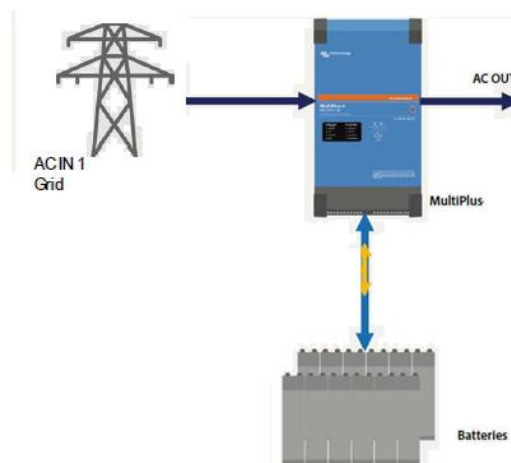


Рисунок 2.1

- автономних фотоелектричних систем зі зв'язком за постійним струмом (фотоелектричні модулі + контролер заряду + акумуляторна батарея – рис. 2.2; фотоелектричні модулі + контролер заряду + акумуляторна батарея + інвертор MultiPlus – рис. 2.3);

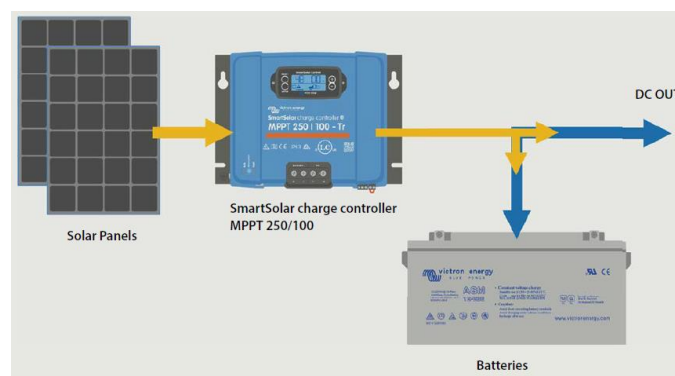


Рисунок 2.2

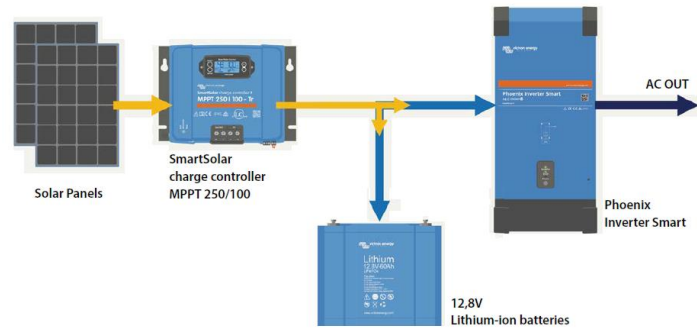


Рисунок 2.3

- гібридних фотоелектричних систем зі зв'язком за постійним струмом (фотоелектричні модулі + контролер заряду + акумулятор + інвертор MultiPlus + мережа) – рис. 2.4;

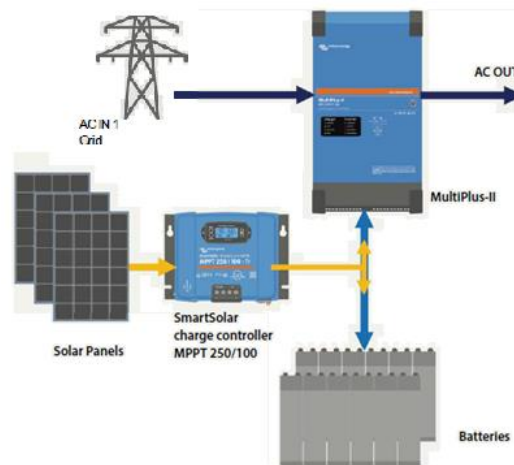


Рисунок 2.4

- мережевих фотоелектричних систем із зв'язком за змінним струмом (мережевий інвертор Solis + мережа) – рис. 2.5;



Рисунок 2.5

- мережевих фотоелектричних систем зі зв'язком за змінним струмом, що працюють у острівному режимі (мережевий інвертор Solis + інвертор MultiPlus) – рис. 2.6.

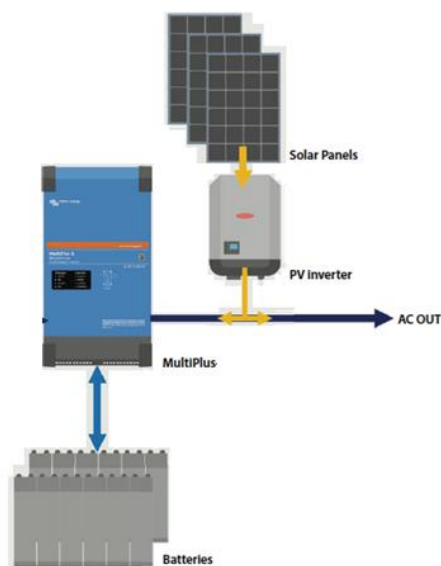


Рисунок 2.6

- мережевих фотоелектричних систем зі зв'язком за змінним струмом, що працюють на мережу (мережевий інвертор Solis + інвертор MultiPlus + мережа) – рис. 2.7.

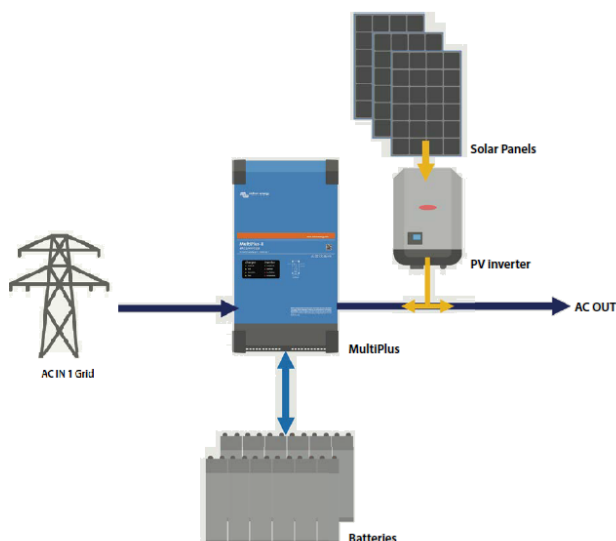


Рисунок 2.7

- побудови системи локального та віддаленого моніторингу за допомогою технічних засобів виробників Victron та Solis.

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2.2. Виконання стенду

Лабораторний стенд повинен мати напільну конструкцію зі стільницею, максимальна висота стенду – 2 м. Стенд повинен дозволяти змінювати з лицьової панелі топологію фотоелектричної системи, що досліджується, мати вимірювальні прилади для контролю напруги, струму, активної/реактивної потужності, коефіцієнта потужності. Також повинна бути передбачена можливість для зняття осцилограм кривих струмів та напруг (вимірювання повинно здійснюватися через понижувальні вимірювальні трансформатори струму та напруги).

У верхній частині стенду для демонстрації повинно розміщуватися обладнання Victron та Solis.

2.3. Розміщення стенду

Стенд повинен бути розміщений у лабораторії 410 (4-й поверх). Місце встановлення стенду зображено на рис. 2.8.

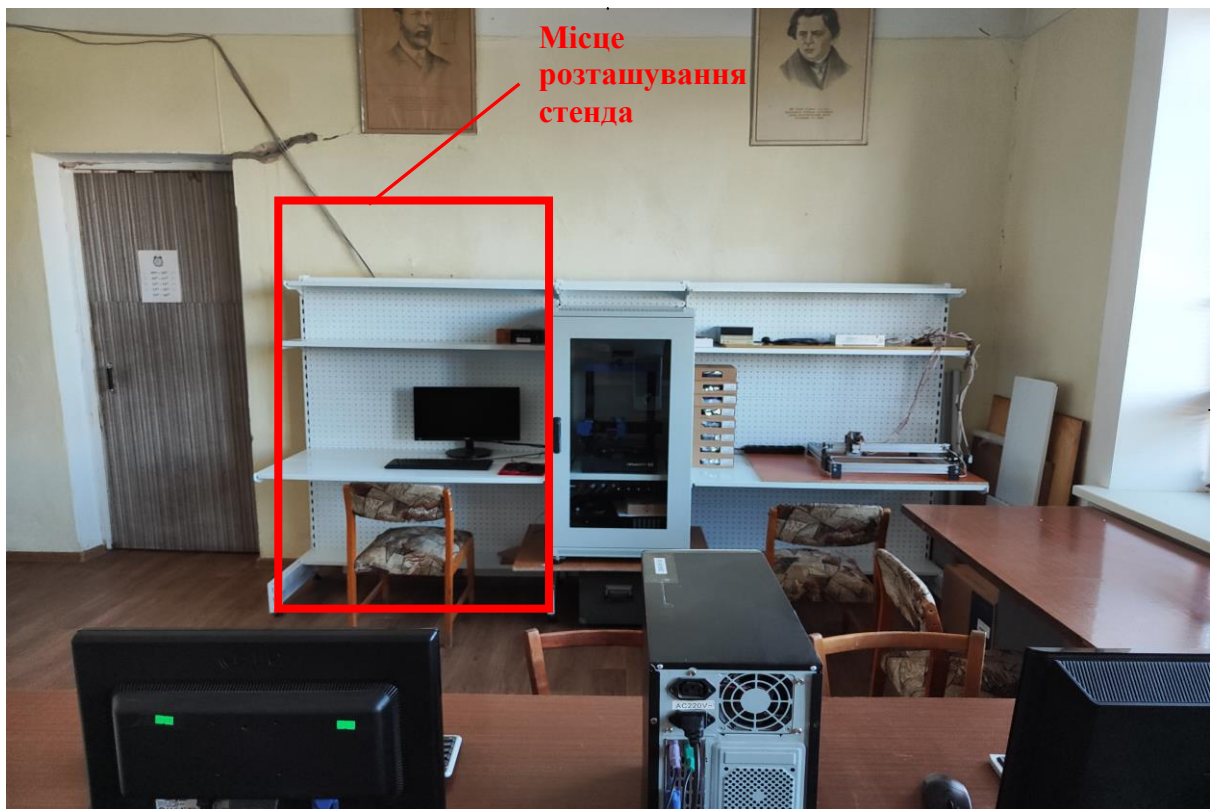


Рисунок 2.8 – Місце встановлення стенду

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		24

2.4. Розміщення фотоелектричних модулів

Фотоелектричні модулі потужністю $\sim 420 - 500$ Вт у кількості 4 од. планується розмістити на даху прибудови, що розташована на даху корпусу ННІАЕ. Покрівля розміром $4,00 \times 1,90$ м, шиферна, кут нахилу до горизонту – 30 градусів. Поряд с прибудовою розташований блискавковідвід. Шиферна покрівля прибудови за результатами обстеження потребує заміни.



Рисунок 2.9 – Місце розміщення фотоелектричних модулів

2.5. Схема з'єднання фотоелектричних модулів

Схема з'єднання фотоелектричних модулів представлена на рис. 2.10. Модулі з'єднуються послідовно по 2 од. з утворенням двох фотоелектричних ланцюгів (стрингів).

Стенд повинен бути обладнаний комутаційною апаратурою, що дозволяє проводити підключення фотоелектричних ланцюгів паралельно чи послідовно. Також повинна бути передбачена блокування подачі живлення

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		25

на вхід МРРТ-контролера при послідовному з'єднанні фотоелектричних ланцюгів.

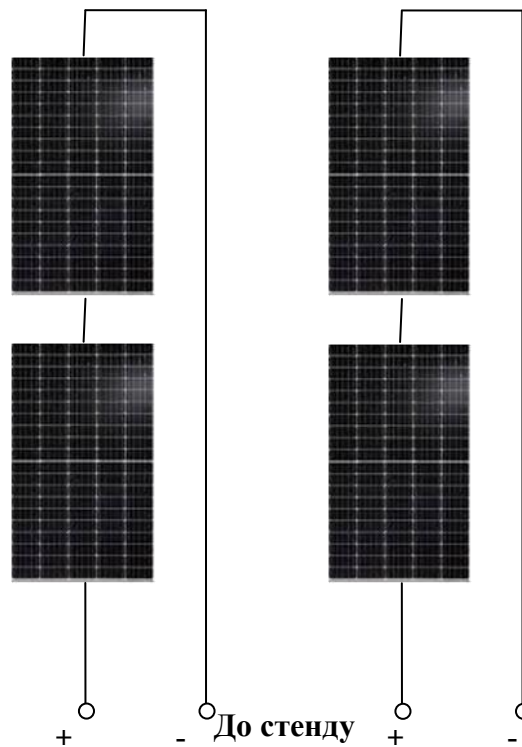


Рисунок 2.10 – Схема з'єднання фотоелектричних модулів

2.6. Загальне компонування стенду

На рис. 2.11 зображено загальне компонування стенду.

У верхній частині стенду розташовані:

- гібридний інвертор Victron MultiPlus 12|800|35-16 (0,8 кВА/0,7 кВт, 1 фаза, 230 В) – 1 од.;
- мережевий інвертор Solis S6-GR1P1K MINI 1 кВт (1 кВт, 1 фаза, 1 МРРТ) – 1 од.;
- модуль Wi-Fi для моніторингу інвертора Solis (Data Logging Stick Wi-Fi Solis) – 1 од.;
- щит прийому живлення з ФЕМ розміром 350 x 500 x 190 мм – 1 од.;
- блок моніторингу Cerbo GX MK3 Victron Energy – 1 од.;
- контролер заряду Victron Energy SmartSolar MPPT 100/50 – 1 од.;
- адаптер MK3 to USB – 1 од.;

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		26

- акумулятор LiFePO₄ 100 А•год Cyclen 12,8 В (44-00075) (\$LP440326) – 1 од.

Лицьова панель стенду містить мнемосхему, а також елементи комутації та вимірювальні прилади:

- мультиметр PZEM-018 однофазний (вимірювання активної потужності, струму, напруги, частоти та коефіцієнта потужності, активної енергії – без урахування перетікання) – 3 од.;
- мультиметр PZEM-015 із шунтом 100А/75мВ для вимірювання параметрів АКБ (напруга, струм, А•год, рівень заряду) – 1 од.;
- лічильник енергії однофазний з інтерфейсом RS-485 з можливістю визначення знаку перетікання активної потужності ACREL ACR10R-16TE з трансформатором струму 3000:1 (120А/40 мА) – 2 од.;
- лічильник електроенергії однофазний багатотарифний GAMA 100 – 1 од.;
- перемикач амперметра – 2 од.;
- перемикач навантаження двополюсний – 1 од.;
- перемикач навантаження чотирьохполюсний – 1 од.;
- кулачкові перемикачі – 3 од.

На рис. 2.11 представлений ескіз лицьової панелі стенду. На рис. 2.12 зображено ескіз лицьової панелі стенду.

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

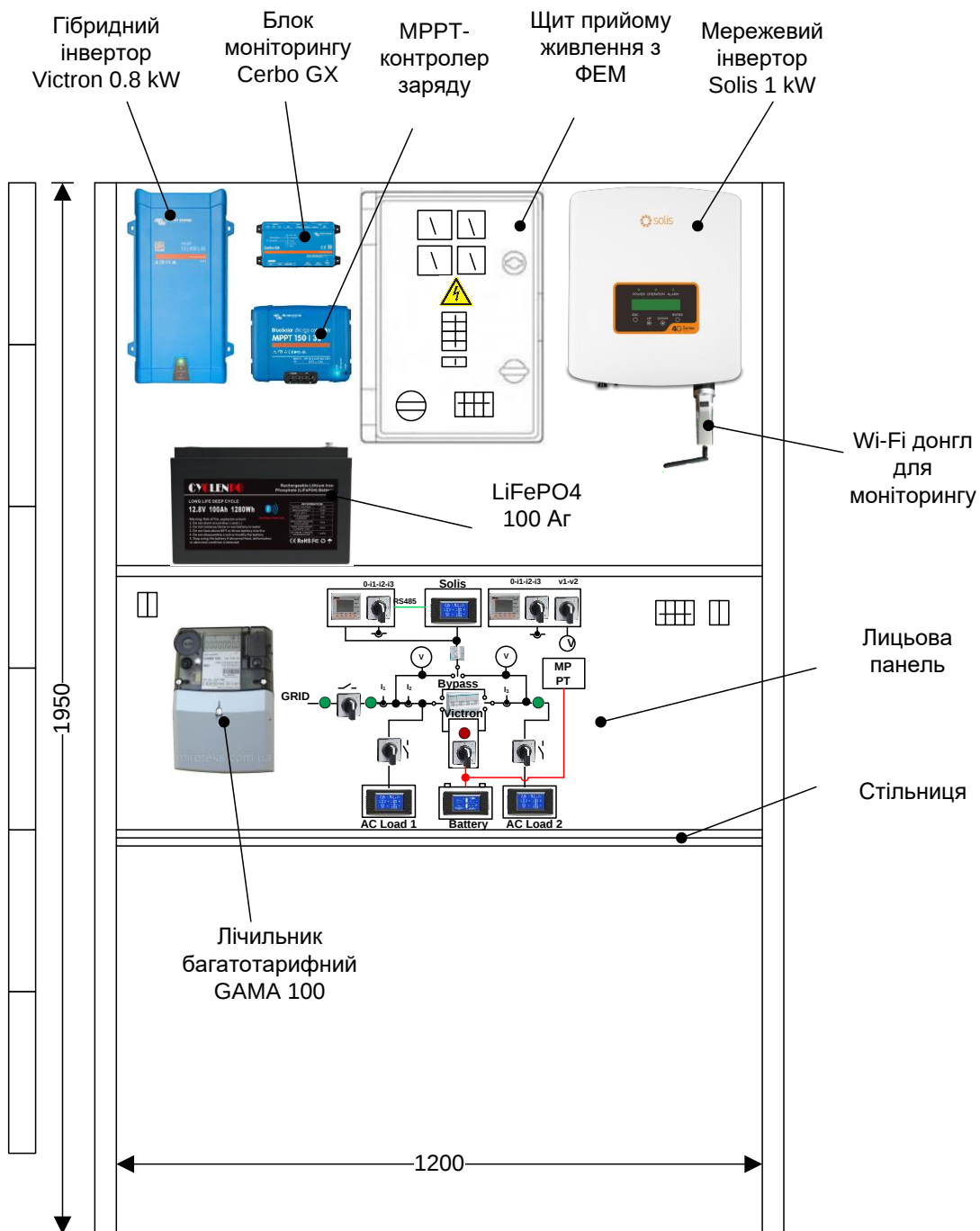


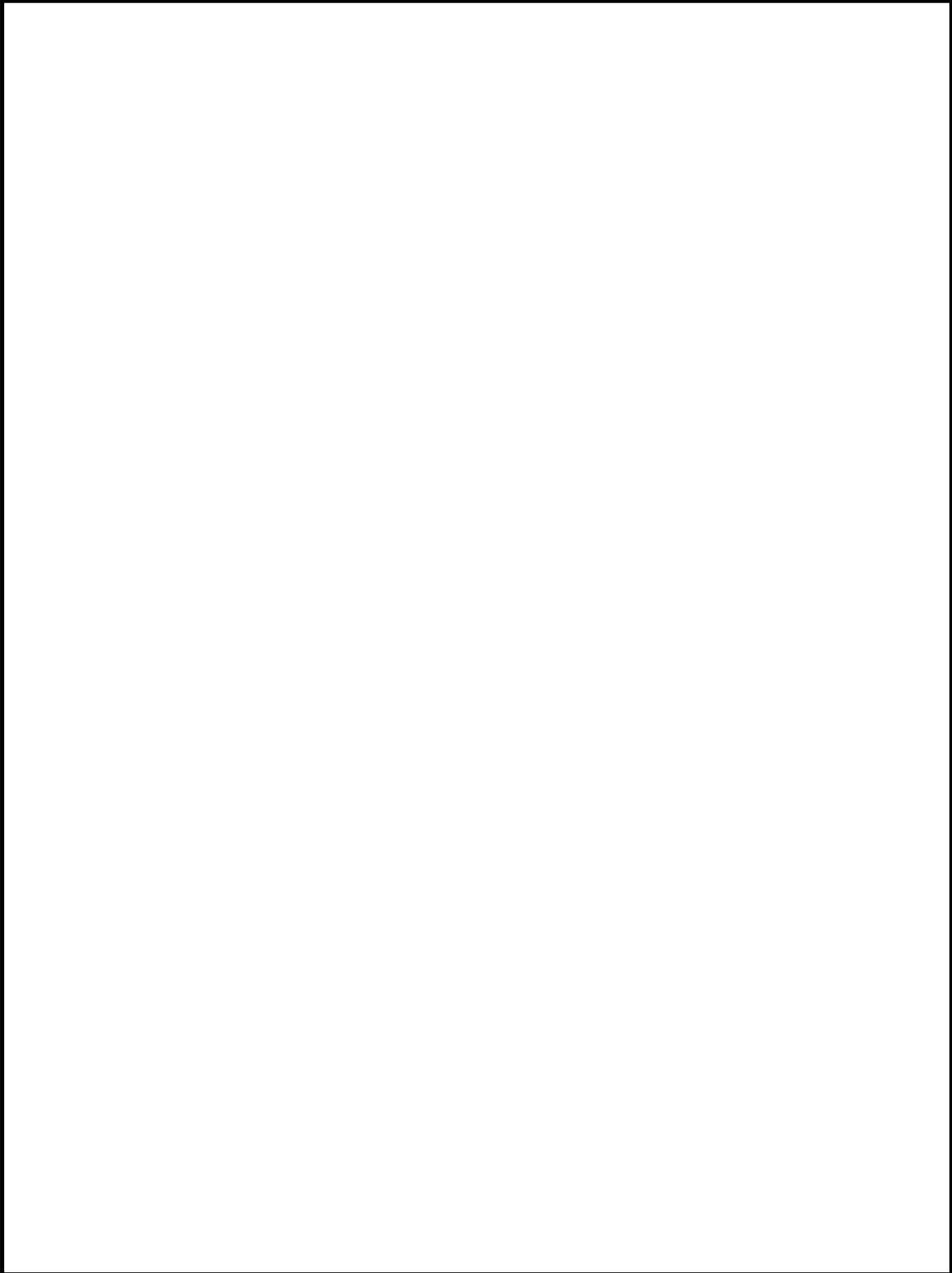
Рисунок 2.11 – Загальне компонування стенду

Висновки до розділу

На основі розроблених технічних вимог можна зробити висновок, що сонячна електростанція у вигляді лабораторного стенду дозволяє досліджувати різні топології побудови сонячних електростанцій.

Для аналізу електричних процесів запропоновано використовувати відповідні вимірювальні прилади.

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



					171.4327ст.КР.ПЗ.РЗ			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Ібрагімов Е. Ф.			Розробка схемотехнічних рішень сонячної електростанції	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							31	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Дьяконов О. С.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

У загальному вигляді схему сонячної електростанції можна поділити на дві складові частини:

- частина постійного струму (DC-part);
- частина змінного струму (AC-part).

3.1. Розробка принципової схеми частини постійного струму

Як було зазначено в розділі 2 частина постійного струму розміщується в щиту прийому живлення з ФЕМ. На рис. 3.1 представлена схема підключення фотоелектричних модулів до DC-входів MPPT-контролеру заряду Victron та інвертора Solis.

Захист ФЕМ організовано за допомогою двополюсних запобіжників FU1 та FU3. Кожний фотоелектричний ланцюг також має захист від перенапруги (використовуються варистори, які включені паралельно з ФЕМ). Для контролю струму та напруги у фотоелектричних ланцюгах використовуються вольтметри та амперметри постійного струму. Кожен вольтметр має додатковий захист від короткого замикання у вигляді послідовно підключеного запобіжника (FU2, FU4).

Для більшої гнучкості при проведенні досліджень при знятті вольт-амперних характеристик ФЕМ в схемі передбачені додаткові роз'єми (X1, X2).

Кожен фотоелектричний ланцюг з'єднується з блоком комутації сонячних панелей за допомогою роз'єднувача навантаження QS1, QS2.

Блок комутації сонячних панелей дозволяє з'єднувати фотоелектричні ланцюги як послідовно, так і паралельно. Також він дозволяє підключати до ФЕМ до MPPT-контролеру заряду Victron та інвертора Solis.

Принципова схема блоку комутації представлена на рис. 3.2.

					171.4327ст.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

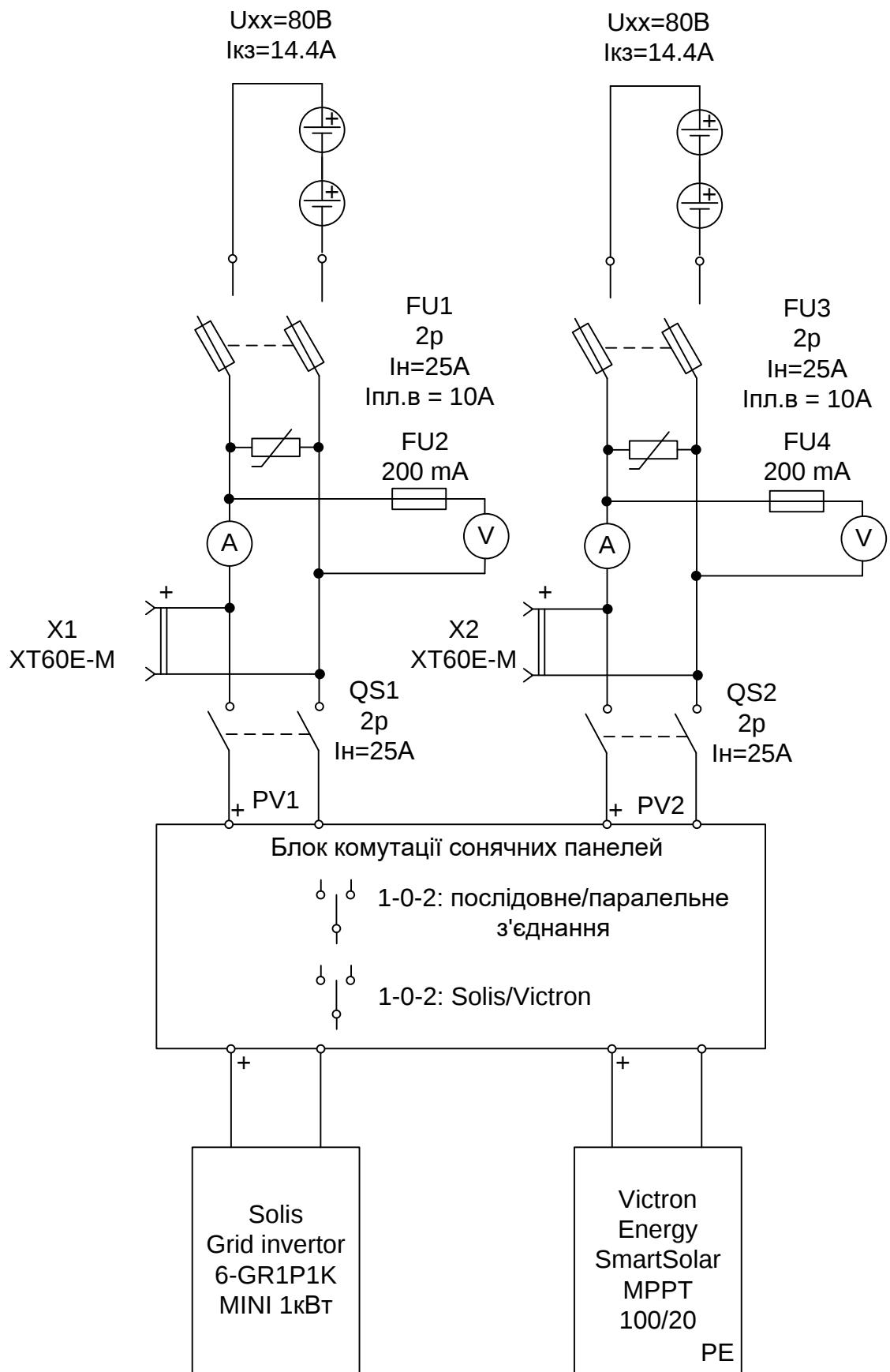


Рисунок 3.1 – Схема підключення ФЕМ до інверторів



Перемикачі S1.1 – S1.5 конструктивно механічно з'єднані між собою та перемикаються синхронно. При цьому можливе 0-положення, як зображено на схемі, коли комутація панелей не здійснюється. У такому положенні DC-входи MPPT-контролера Victron і інвертора Solis гальванічно не з'єднуються з ФЕМ.

Перемикачі S2.1 та S2.2 здійснюють комутацію сонячних панелей на DC-вхід MPPT-контролера Victron чи інвертора Solis. В нульовому

положенні цих перемикачів здійснюється гальванічна розв'язка DC-входів з ФЕМ.

На рис. 3.3 представлена принципова схема розподілення постійного струму.

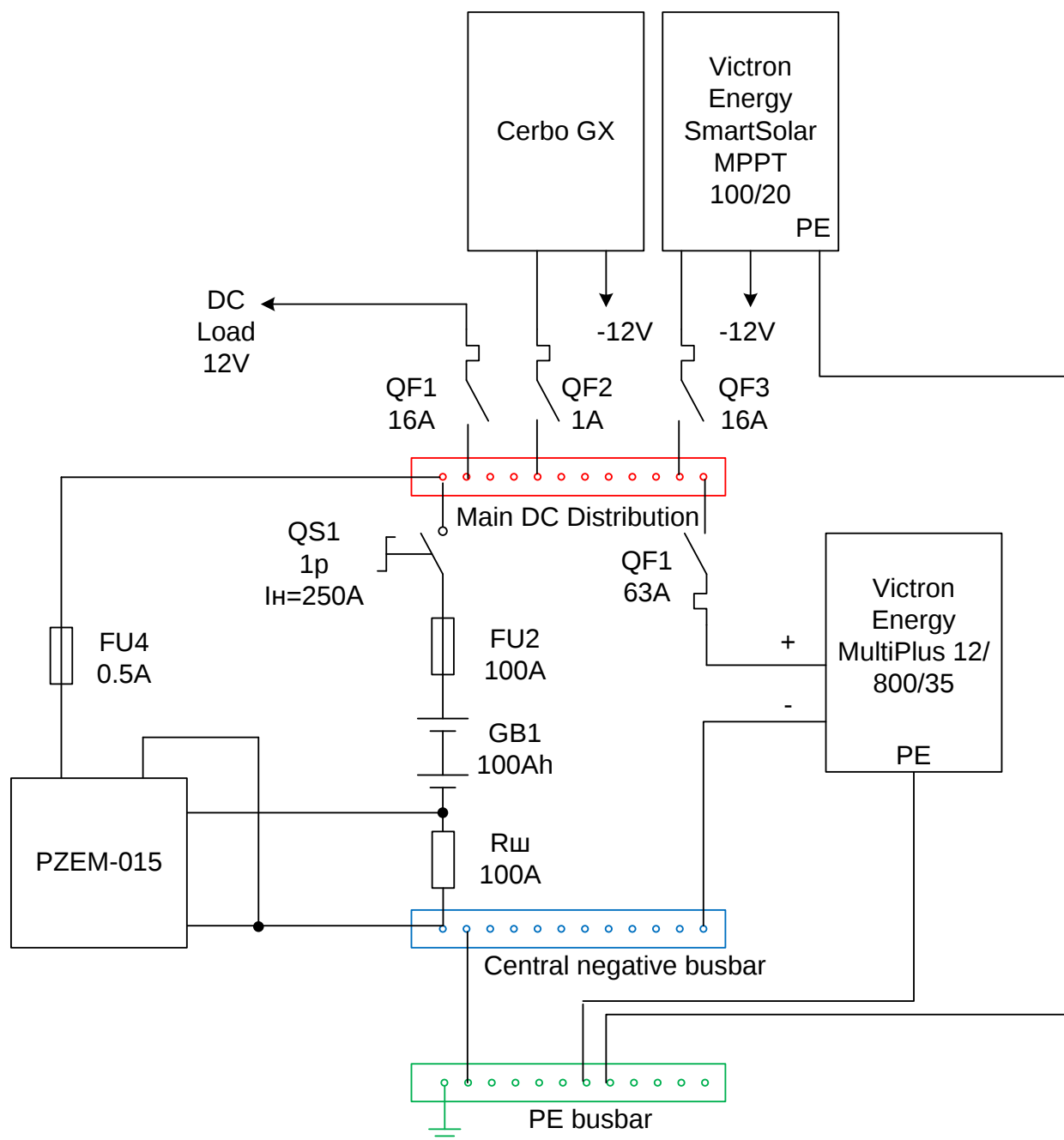


Рисунок 3.3 – Схема розподілення постійного струму

Схема розподілення має три силових шини:

- позитивна шина (Main DC Distribution Busbar);
- негативна шина (Central Negative Busbar);

- шина заземлення (PE Busbar).

Літій-залізо-фосфатний акумулятор ємністю 100 А•г до негативної шини підключений через шунт, розрахований на струм до 100 А, а до позитивної шини – через плавкий запобіжник FU2 на 100 А та однополюсний вимикач маси QS1. Вимикач маси дозволяє відключити акумулятор від сонячної електростанції для заміни чи здійснення його обслуговування.

Для моніторингу стану акумулятора використовується мультиметр PZEM-015. Він здійснює контроль струму через акумулятор та напруги на акумуляторі.

Зазначимо, що інвертор Victron MultiPlus має вбудований зарядний пристрій, тому акумулятор підключається до цього зарядного пристрою через автоматичний вимикач QF1, розрахований на струм замикання 63 А. Для коректної роботи двох зарядних пристроїв (Victron MultiPlus та Victron Energy SmartSolar MPPT) необхідно задати уставки в налаштуваннях цих приладів згідно з рекомендаціями виробника.

Модуль моніторингу Cerbo GX також живиться від акумулятору.

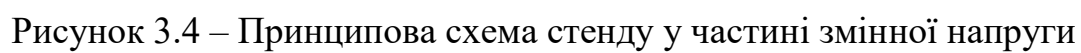
3.2. Розробка принципової схеми частини змінного струму

Принципова схема стенду у частині змінної напруги представлена на рис. 3.4.

Підключення стенду до мережі здійснюється за допомогою автоматичного вимикача QS1. Наявність напруги на відповідних шинах схеми індидується світлодіодними сигнальними лампами L1, L2 та L3. Облік виробленої та споживаної потужності проводиться електричним лічильником GAMA 100.

За допомогою перемикачів S3.1 та S3.2 організується байпасне включення інвертору Victron MultiPlus.

					171.4327ст.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



На стенді передбачено підключення двох навантажень:

- без резервування живлення (підключення до інвертору Victron MultiPlus – навантаження AC Load 1);
- з резервуванням живлення (підключення до інвертору Victron MultiPlus – навантаження AC Load 2).

Моніторинг електричних параметрів даних навантажень здійснюється за допомогою мультиметрів PZEM 018. Перемикачами SW2 та SW4 можна підключати та відключати відповідні навантаження. Захист навантажень від короткого замикання відбувається автоматичними вимикачами QS2, QS5.

Захист вхідних та вихідних ланцюгів інвертору Victron MultiPlus відбувається автоматичними вимикачами QS3, QS4.

Мережевий інвертор Solis може працювати разом з лічильником ACR10R-D16TE. В залежності від положення перемикача амперметру до лічильника може бути підключений один з трансформаторів струму: TA1.1, TA1.2 та TA1.3.

Другий лічильник ACR10R-D16TE призначений для оперативного контролю електричних параметрів схеми. Перемикач амперметру здійснює комутацію трансформаторів струму в такий же спосіб, як було зазначено вище.

В схемі також передбачені вимірювальні трансформатори напруги TV1 та TV2.

В місцях позначених на схемі стрілками встановлені вимірювальні трансформатори струму.

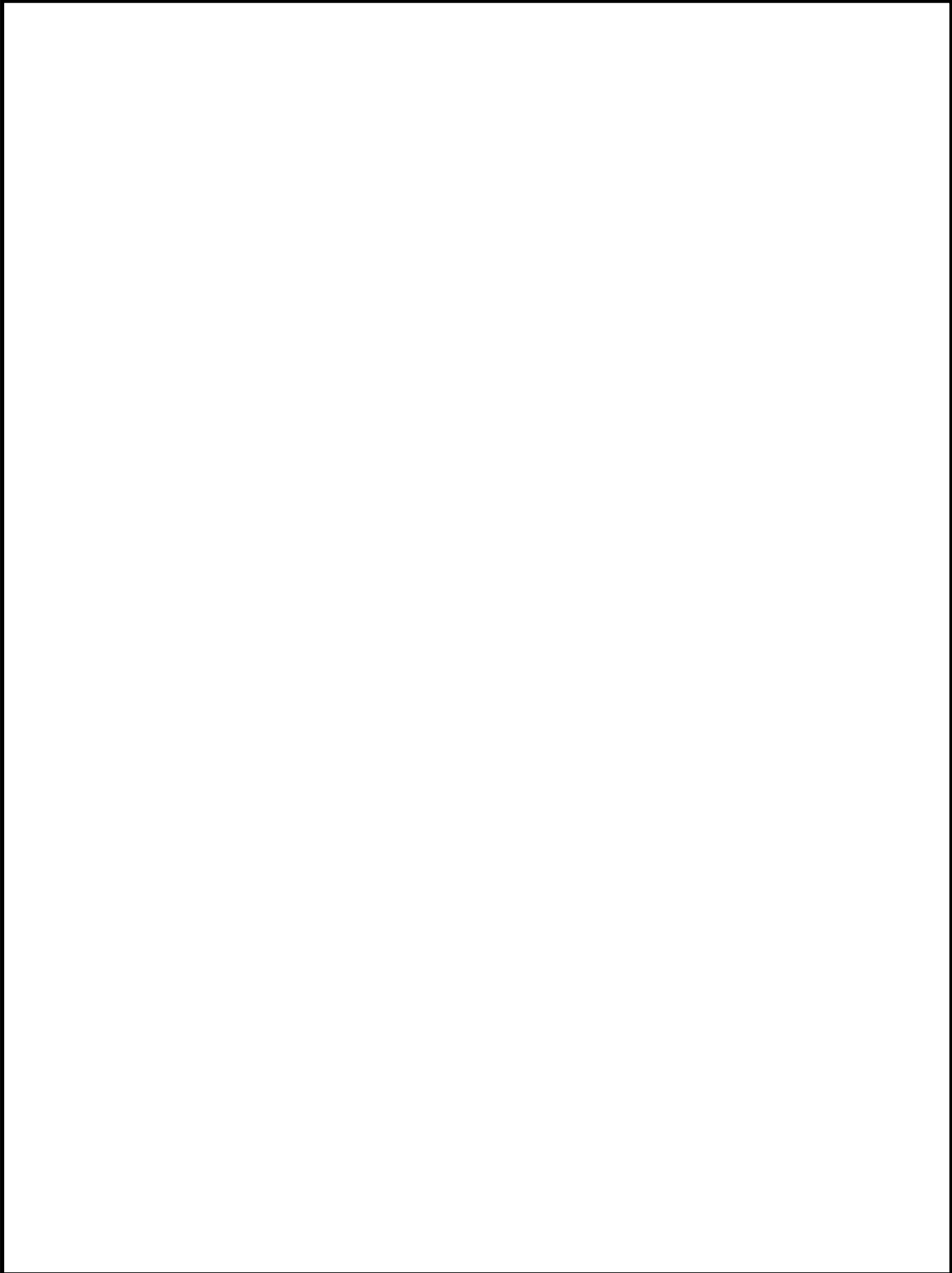
Наявність вимірювальних трансформаторів струму і напруги дозволяє досліджувати за допомогою осцилографу перехідні процеси у схемі сонячної електростанції.

					171.4327ст.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Висновки до розділу

У даному розділі проведено розробку принципової схеми сонячної електростанції у вигляді лабораторного стенду. Розроблена схема дозволяє з лицьової панелі оперативно змінювати топологію досліджуваної схеми, а також здійснювати поточний контроль за електричними параметрами всієї системи.

					171.4327ст.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



					171.4327ст.КР.ПЗ.Р4			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата	Програмна конфігурація обладнання	Літ.	Арк.	Аркуші
Розробник		Ібрагімов Е. Ф.						
Консультант		Губальцев А. М.					40	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Дьяконов О. С.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНА КОНФІГУРАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

4.1. Оновлення прошивки інвертора Victron MultiPlus

Для оновлення програмного забезпечення інвертору MultiPlus необхідно встановити сервісну програму VictronConnect (рис. 4.1).

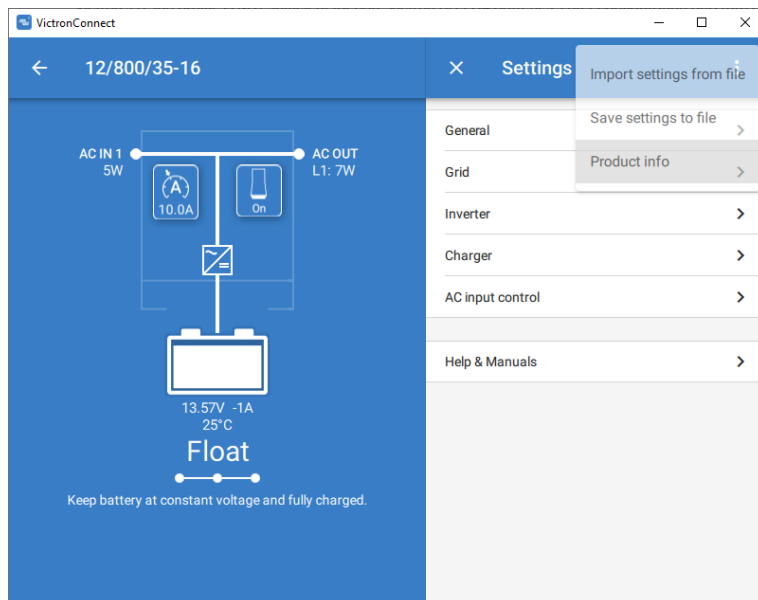


Рисунок 4.1 – Інтерфейс сервісної програми VictronConnect

Компанія Victron рекомендує здійснювати налаштування інверторів тільки фахівцям, які пройшли відповідне навчання. Доступ до налаштувань захищено паролем.

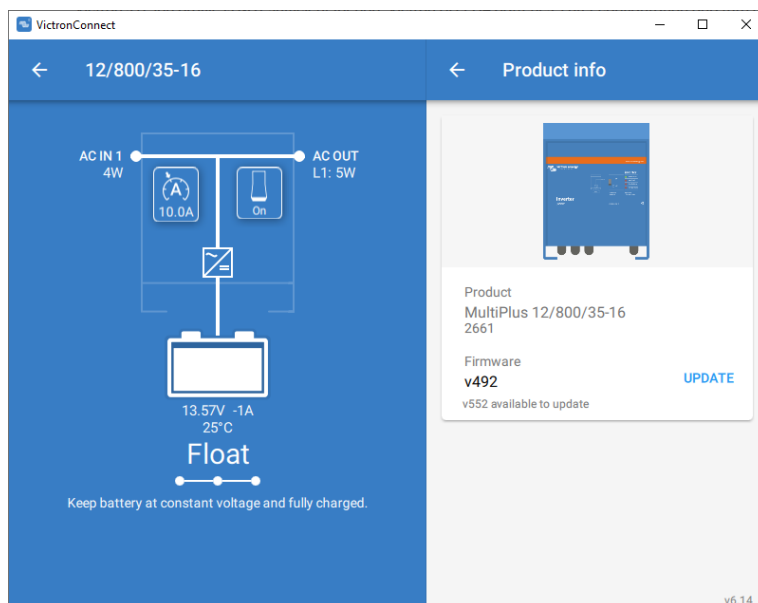


Рисунок 4.2 – Інформація про інвертор

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		41

Інформацію про інвертор та його поточну версію програмного забезпечення можна подивитися на вкладці «Product Info» (рис. 4.2). На цій же вкладці доступна кнопка «Update» та нова версія Firmware. Після натискання цієї кнопки необхідно підтвердити вибір файлу прошивки (рис. 4.3).

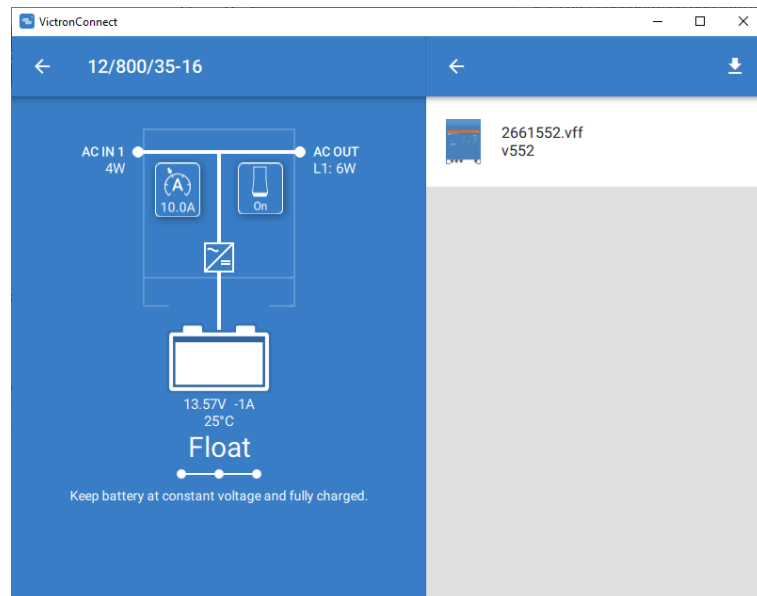


Рисунок 4.3 – Вибір файлу прошивки

На заключному етапі оновлення необхідно натиснути кнопку «Update» (рис. 4.4).

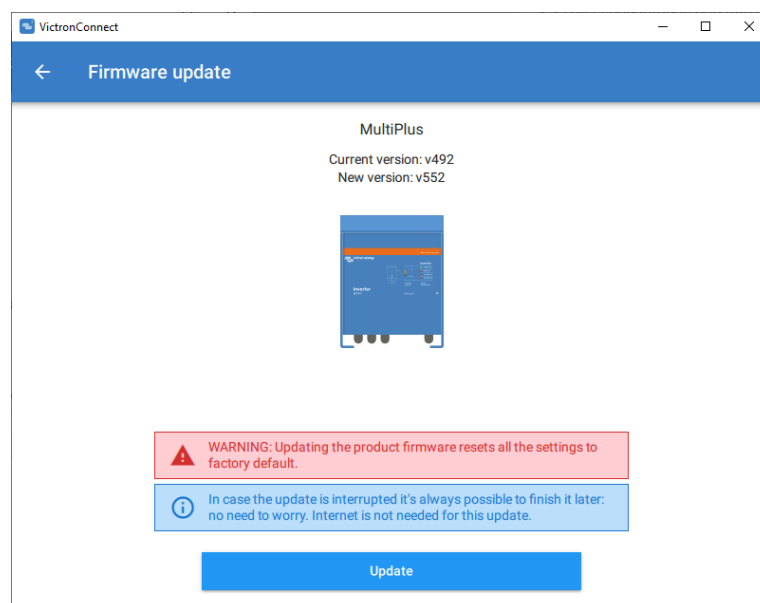


Рисунок 4.4 – Запуск процесу оновлення програмного забезпечення інвертору

Слід зазначити, що при оновленні прошивки поточні налаштування інвертора будуть видалені. Щоб зберегти ці налаштування у файлі, а потім встановити їх після оновлення Firmware можна обрати відповідну опцію «Restore settings after reboot» (рис. 4.5).

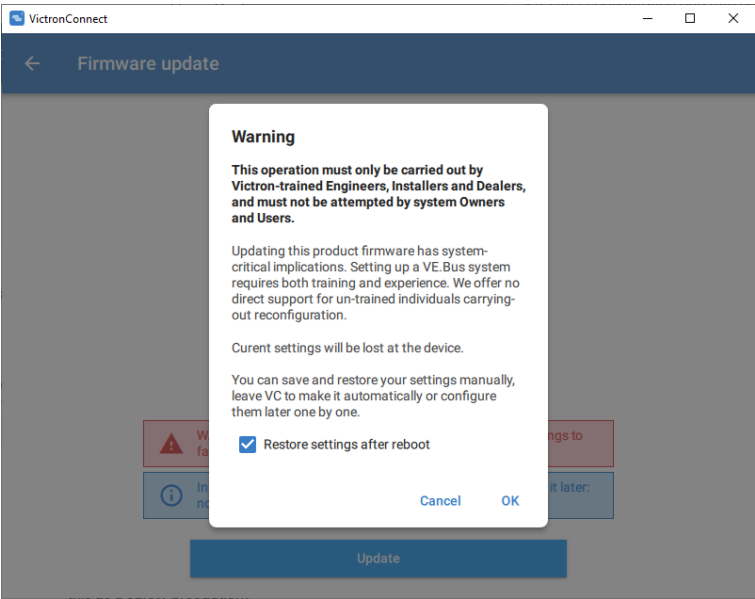


Рисунок 4.5 – Вибір опції відновлення попередніх налаштувань

При оновленні прошивки бажано не вимикати живлення інвертору (рис. 4.6).

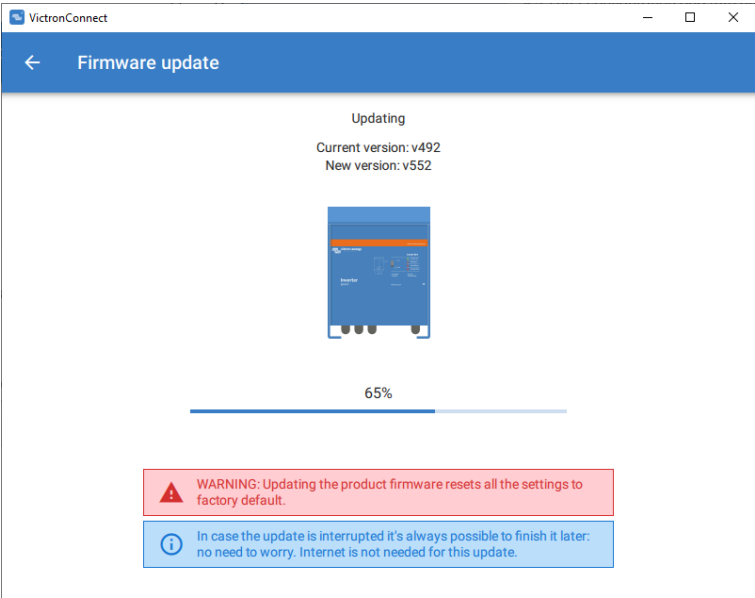


Рисунок 4.6 – Процес оновлення програмного забезпечення

Після вдалого процесу оновлення з'явиться інформаційне повідомлення (рис. 4.7).

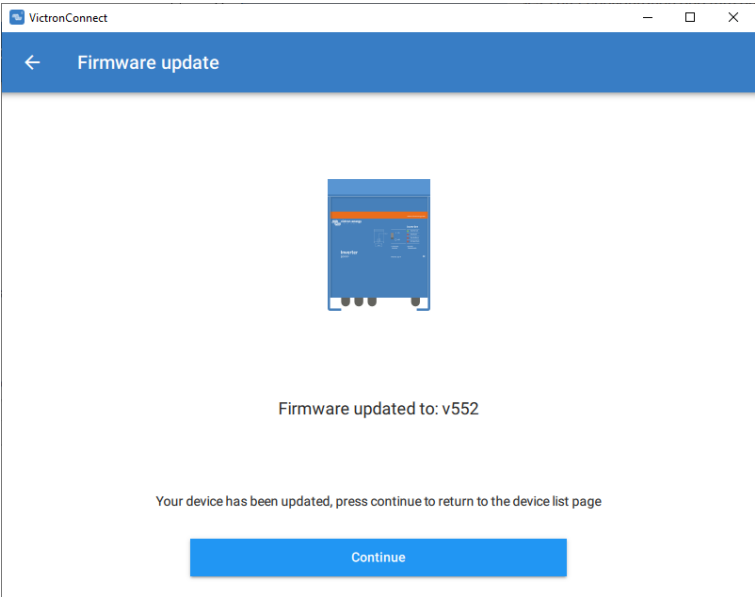


Рисунок 4.7 – Інформаційне повідомлення про вдале оновлення прошивки

4.2. Конфігурація інвертора Victron MultiPlus

Як і оновлення прошивки, конфігурація інвертору Victron здійснюється у програмі VictronConnect, на головному вікні якої можна подивитися поточний стан інвертору та основні електричні параметри (рис. 4.8).

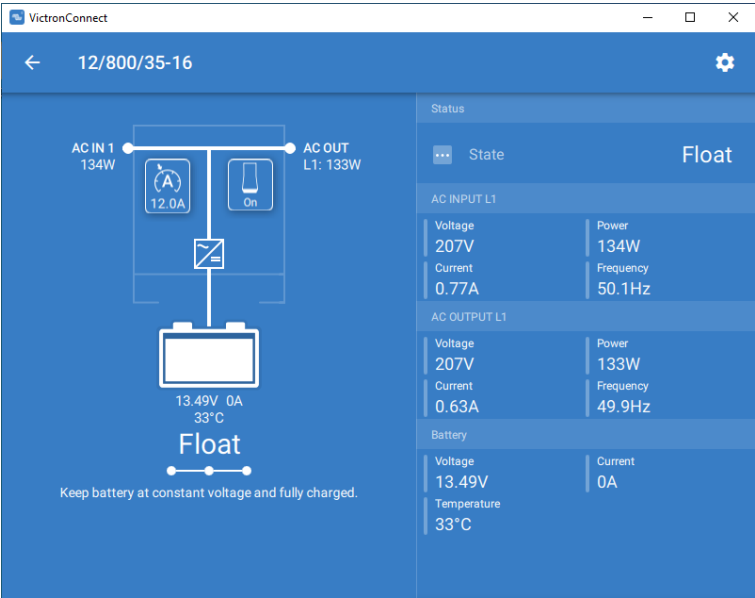


Рисунок 4.7 – Головне вікно програми VictronConnect

У програмі VictronConnect доступні наступні вкладки:

- General;
- Grid;
- Inverter;
- Charger;
- AC Input control;
- Advanced.

На вкладці «General» задаємо робочу частоту інвертору – 50 Гц та ліміт споживання струму по входу – 12 А (рис. 4.9).

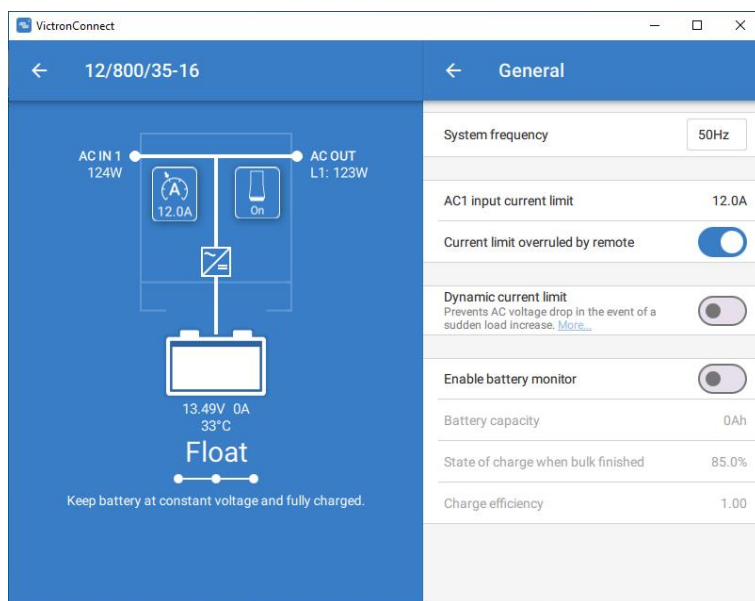


Рисунок 4.8 – Вкладка «General»

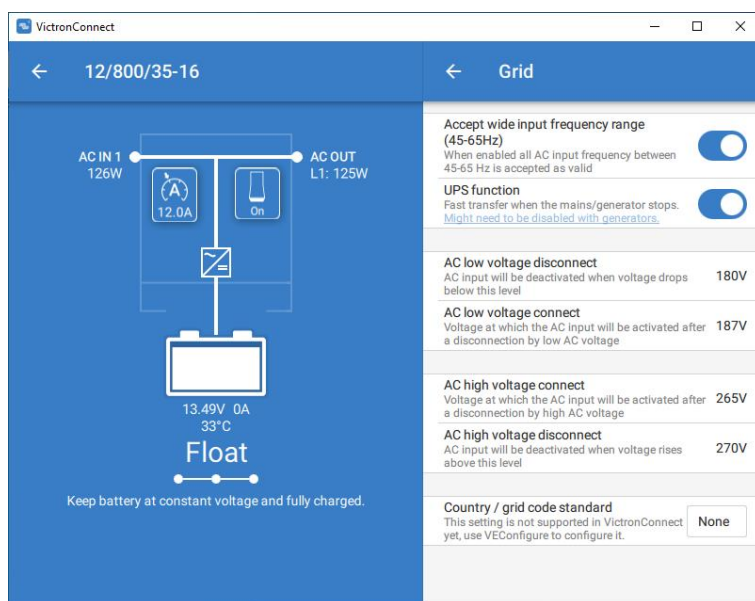


Рисунок 4.9 – Вкладка «Grid»

На вкладці «Grid» (мережа) задаємо порогові уставки вхідної напруги, при якій інвертор буде підключатися або відключатися від мережі. Дані налаштування зображені на рис. 4.10. Також необхідно активувати функцію безперебійного джерела живлення UPS.

Параметри інвертора задаються на вкладці «Inverter» (рис. 4.11). Встановлюємо вихідну напругу інвертора 230 В. Також важливими параметрами є уставки:

- DC input low-shutdown – мінімальна напруга акумулятору, при якій інвертор вимкнеться, щоб не допустити подальше розряд акумулятору (12,40 В);

- DC input low-restart – мінімальна напруга акумулятору, за якої інвертор перезапускається після вимкнення через низьку напругу. Щоб запобігти швидким коливанням між вимкненням та запуском, рекомендується встановити це значення щонайменше на один вольт вище, ніж напруга вимкнення через низький заряд акумулятора (12,80 В);

- DC input low pre-alarm. За допомогою цього налаштування можна визначити рівень, за якого спрацює попередня сигналізація низького рівня напруги акумулятора. Зверніть увагу, що насправді змінюваний параметр – це напруга зміщення відносно низького рівня перезапуску на вході постійного струму, який, у свою чергу, залежить від низького рівня вимкнення на вході постійного струму. Результатом цього є те, що при зміні будь-якого параметру – «DC input low-shutdown» чи «DC input low-restart» – параметр «DC input low pre-alarm» також змінюється! Чисельне значення цього параметру встановлено рівним 12.80 В.

На вкладці «Charger» задаються параметри зарядного пристрою, який вбудований в інвертор. Серед основних параметрів – це тип встановленого акумулятору – LiFePO₄, максимальний струм зарядки – 25 А (обирається в залежності від ємності акумулятора), напруга абсорбції, при якій здійснюється балансування комірок LiFePO₄-акумулятора вбудованою BMS

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– 14,20 В, плаваюча напруга – 13,50 В. Тип кривої заряду – фіксована (рис. 4.12).

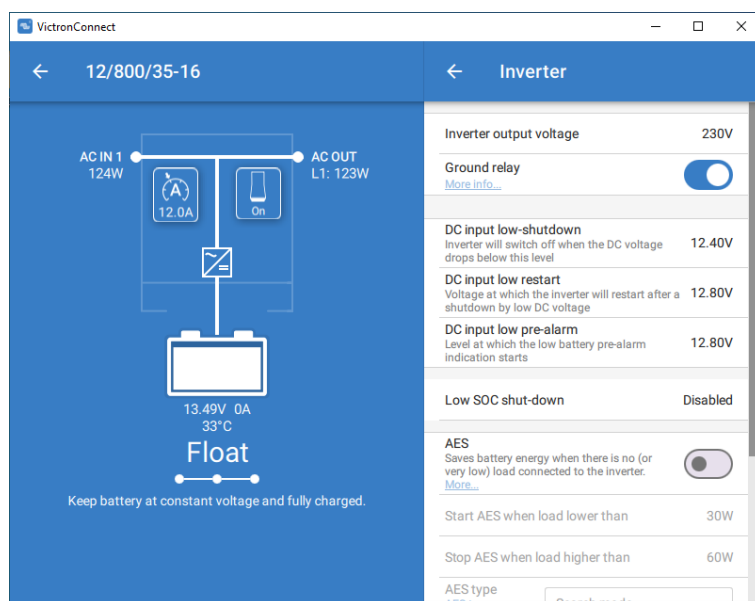


Рисунок 4.11 – Вкладка «Inverter»

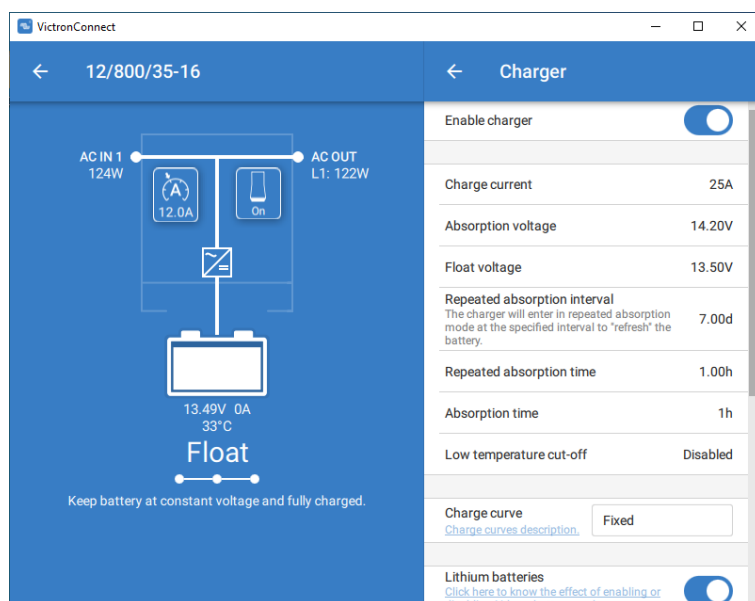


Рисунок 4.12 – Вкладка «Charger»

За необхідністю додаткові параметри можна встановити також на вкладках «AC input control» та «Advanced» – рис. 4.13, 4.14.

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

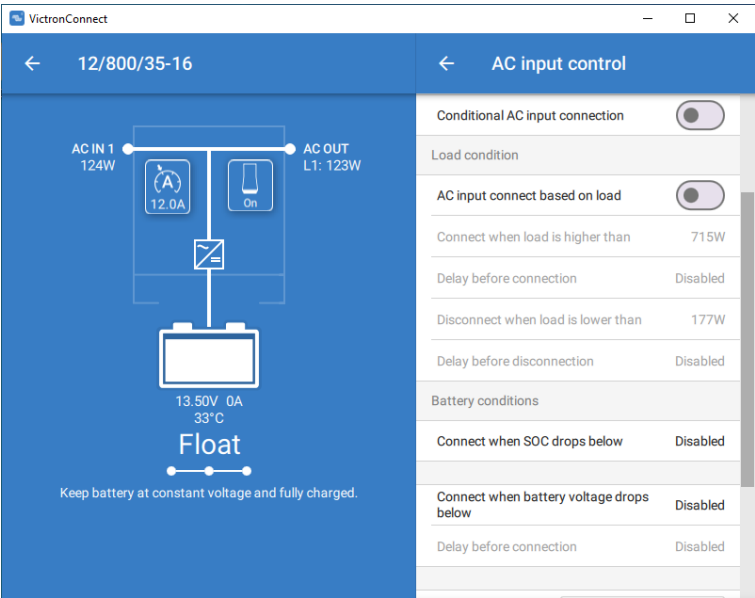


Рисунок 4.13 – Вкладка «AC input control»

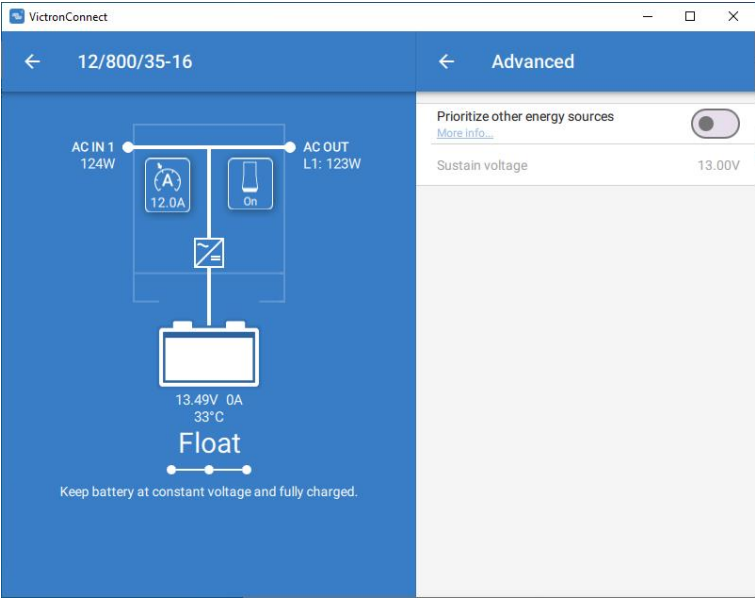


Рисунок 4.14 – Вкладка «Advanced»

Висновки до розділу

Інвертори фірми Victron дозволяють гнучко здійснювати налаштування системи резервного живлення. Крім того, завдяки порту VE.bus є можливість інтегрувати інвертор у загальну систему моніторингу з використанням, наприклад, Cerbo GX. Це дозволяє проводити оперативний моніторинг та здійснювати додаткові налаштування за потреби.

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р5			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата				
Розробник		Ібрагімов Е. Ф.			Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант		Губальцев А. М.					50	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Дьяконов О. С.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Вимоги безпеки при виготовленні та монтажу сонячної електростанції

5.1.1. Під час виробництва електротехнічних та панелей шаф необхідно дотримуватись організаційно-технічних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки, електростатичної іскро безпеки та промислової безпеки відповідно до вимог ДСТУ 3273, ДСТУ 7237, ДБН В.1.1-7, «Правила пожежної безпеки в Україні», НПАОП 28.0-1.32, НПАОП 28.52-1.31 та ПУЕ.

Все обладнання та інженерні комунікації повинні бути заземлені від статичної електрики відповідно до вимог ГОСТ 12.1.018.

Експлуатація електроустановок повинна відповідати вимогам ПУЕ, НПАОП 40.1-1.21

5.1.2. Виробничі будівлі повинні бути обладнані блискавкозахистом відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.5-38.

5.1.3. Виробничі будівлі та побутові приміщення на виробничій ділянці під час виготовлення шаф повинні відповідати вимогам ДБН В.2.2-28 та повинні бути забезпечені опаленням та припливно-витяжною та місцевою вентиляцією згідно з ГОСТ А.3.2-12, ДБН В.2.5-67, водопостачанням та водовідведенням згідно з ДСТУ Б А.3.2-14, ДБН В.2.5-64.

Категорія виробничих приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою визначається за ГОСТ В.1.1-36, а клас вибухонебезпечної зони приміщень визначається згідно з НПАОП 40.1-1.32.

Пожежна безпека забезпечується проведенням організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на запобігання пожежам, забезпечення безпеки людей, зменшення можливих майнових втрат і зменшення негативних екологічних наслідків у разі їх виникнення, створення умов для успішного гасіння пожежі відповідно до вимог ГОСТ 12.1.004 та «Правил пожежної безпеки в Україні».

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

До роботи у вибухонебезпечних та пожежонебезпечних зонах допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки відповідно до вимог ПКМ України від 26.06.2013 №444.

Оснащення виробничих і складських приміщень автоматичними установками пожежогасіння і (або) автоматичними установками пожежної сигналізації визначається відповідно до ДБН В.2.5-56.

Кількість і тип вогнегасників у приміщеннях та їх експлуатація та обслуговування згідно з ДСТУ 4297.

Пожежні щити (стенди) та засоби пожежогасіння фарбуються у відповідні кольори відповідно до ДСТУ ISO 6309.

5.1.4. Освітлення робочих місць повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28.

5.1.5. Виробничі приміщення повинні бути забезпечені питною водою ДСанПіН 2.2.4-171.

5.1.6. До роботи допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли інструктаж з техніки безпеки відповідно до НПАОП 0.00-4.12.

5.1.7. Особи, зайняті на виробництві, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до вимог ДСТУ 7238, ДСТУ 7239, ДСТУ EN 166, ГОСТ EN ISO 11611, НПАОП 0.00-1.04, НПАОП 0.00-4.01, НПАОП 31.0-3.01.

5.1.8. При виготовленні шаф працівники повинні проходити попередні та періодичні медичні огляди відповідно до наказу МОЗ України від 21.05.07 № 246. На робочому місці має бути аптечка з медикаментами для надання першої медичної допомоги.

5.1.9. Рівень шуму на робочих місцях під час виготовлення шаф не повинен перевищувати значень, встановлених ДСН 3.3.6.037.

5.1.10. Рівні вібрації на робочих місцях при виготовленні шаф повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.039.

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

5.1.11. Мікроклімат у виробничих приміщеннях, де виготовляються шафи, повинен відповідати ДСН 3.3.6.042.

5.1.12. Під час вантажно-розвантажувальних робіт дотримуються правил техніки безпеки відповідно до «Правил охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт», затверджених наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 19.01.2015 року. №21 (НПАОП 0.00-1.75-15).

					171.4327ст.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було:

- проаналізовано існуючі топології побудови сучасних сонячних електростанцій на прикладі елементної бази фірм Victron та Solis;
- розроблено технічне завдання на проєктування сонячної електростанції у вигляді лабораторного стенду;
- розроблено принципові схеми даного лабораторного стенду (для частини змінного та постійного струму);
- наведено рекомендації щодо оновлення вбудованого програмного забезпечення інвертору та кроки по налаштуванню інвертору під поточний проєкт;
- надані рекомендації, що стосуються дотримання вимог безпеки при виготовленні та монтажу сонячної електростанції.

					171.4327ст.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мисак Й. С. та ін. Сонячна енергетика: теорія та практика. Монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 340 с.
2. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії /О.І. Соловей, Ю.Г. Лега, В.П. Розен та ін. За заг. ред. О.І. Солов'я. – Черкаси: Вид. ЧДТУ, 2007.
3. Гарячевська І. В. Розрахунок окупності впровадження сонячної електростанції / І. В. Гарячевська, Д. Г. Сидоров // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон, 2018. – Вип. 3, т.1. – С. 245– 249.
4. Захист сонячних батарей від електричних перевантажень : монографія / О. С. Тонкошкур, О. В. Іванченко, Л. В. Накашидзе, С. В. Мазурик ; Дніпровський нац. ун–т ім. О. Гончара. – Дніпро : Акцент ПП, 2018. – 113 с.
5. Лежнюк П. Д. Фотоелектричні станції як елемент енергоефективного електропостачання / П. Д. Лежнюк, С. В. Кравчук, І. В. Котилко // Оптико–електронні інформаційно–енергетичні технології. – 2019. – № 2. – С. 100–106.
6. Мележик М. Обслуговування СЕС: типові види несправностей обладнання та заходи для їх уникнення / М. Мележик // Журнал головного енергетика. – 2020. – № 6. – С. 46–49.
7. Михненко С. Фотовольтаїка для аграріїв / С. Михненко, О. Омельченко // Air Water Therm. – 2018. – № 3. – С. 24–26.
8. Огляд малогабаритних та вартісних параметрів комерційних сонячних інверторів / Фесенко А., Гусев О., Чуб А.[та ін.] // Технічні науки та технології. – 2018. – № 4. – С.183–193.
9. Прилади фотоелектричні. Частина 2. Вимоги до базових фотоелектричних приладів : стандарт. – ДСТУ EN 60904–2:2018. – На заміну ДСТУ EN 60904–2:2009. – Чинний з 2020–01–01. – [Б. м. : б. в.]. – IV, 11 с.

					171.4327ст.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

10. Прилади фотоелектричні. Частина 4 Еталонні сонячні прилади. Процедури встановлення простежуваності калібрування : стандарт. – ДСТУ EN 60904–4:2018. – Чинний з 2020–01–01. – [Б. м. : б. в.]. – IV, 22 с.

11. Прилади фотоелектричні. Частина 5. Визначення еквівалентної температури методом вимірювання напруги холостого ходу : стандарт. – ДСТУ EN 60904–5:2018. – Чинний з 2020–01–01. – [Б. м. : б. в.]. – IV, 6 с.

12. Прилади фотоелектричні. Частина 9. Вимоги до характеристик імітаторів сонячного випромінювання : стандарт. – ДСТУ EN 60904–9:2018. – Чинний з 2020–01–01. – [Б. м. : б. в.]. – IV, 10 с.

13. Прилади фотоелектричні. Частина 10. Методи вимірювання лінійності характеристик : стандарт. – ДСТУ EN 60904–10:2018. – Чинний з 2020–01–01. – [Б. м. : б. в.]. – IV, 9 с.

14. Фізика сонячних елементів : лабораторний практикум / Чернівецький нац. ун-т імені Ю. Федьковича ; [уклад. Ілащук Марія Іванівна, Сльотов Олексій Михайлович]. – Чернівці : ЧНУ імені Юрія Федьковича, 2019. – 72 с.

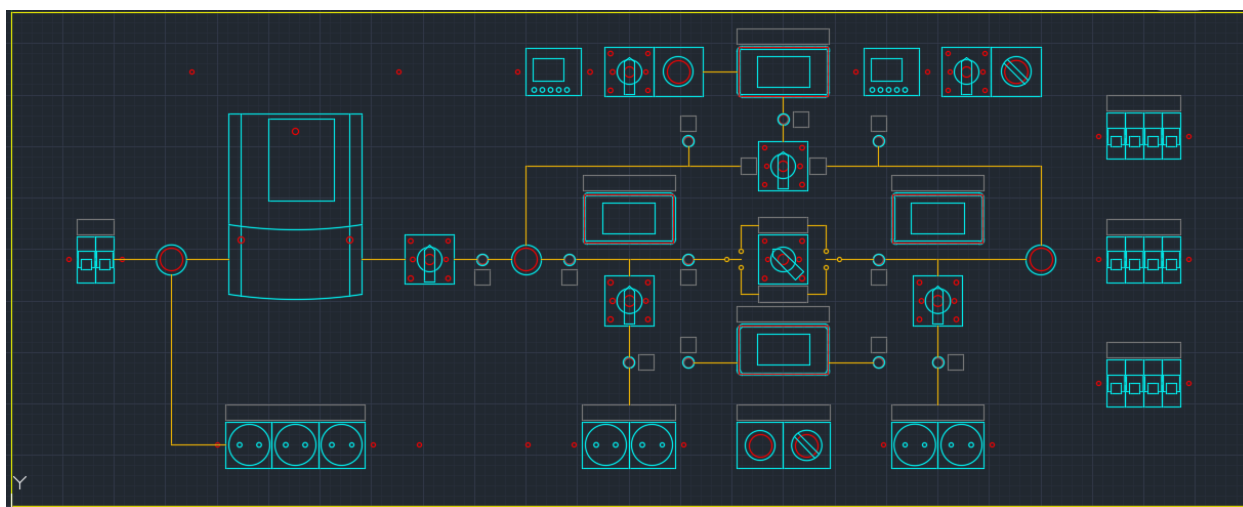
15. Victron MultiPlus manual. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Manual-MultiPlus-Compact-800-1200-1600-EN-NL-FR-DE-ES.pdf>

16. Solis S5-EH1P-L Hybrid Inverter. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://midsummerwholesale.co.uk/pdfs/solis-5g-dual-manual240221-min.pdf>

					171.4327ст.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Креслення лицьової панелі стенду в AutoCAD



					171.4327ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		57