

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
менеджменту

Пояснювальна записка
до магістерської дипломної роботи

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Розробка лабораторного стенду для дослідження ефективного
споживання електроенергії генерованої фотовольтаїчними панелями»

Виконав: студент 5 курсу, гр. ЕМ-19м

Спеціальність 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр, назва)

Освітня програма “Енергетичний менеджмент»

(шифр, назва)

Бондар О.Л.

(прізвище та ініціали)

Керівник доц. Кравець О.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2020 року

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту
Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр
Напрямок підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСЕЕМ
д.т.н., проф., Бурбело М.Й.

« ___ » _____ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ**

Бондару Олександрю Леонідовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка лабораторного стенду для дослідження ефективного споживання електроенергії генерованої фотовольтаїчними панелями
керівник роботи Кравець Олександр Миколайович, доцент,
затверджені наказом по ВНТУ від « ___ » _____ 20__ року, № _____

2. Строк подання студентом роботи « ___ » _____ 20__ року.

3. Вихідні дані: Напруга холостого ходу PV-панелі $V_{OS}=91,6$ В; номінальна потужність $P_{mp}=105$ Вт;
струм КЗ $I_{sc}=1,68$ А; Максимальний струм $I_{mp}=1,49$; Максимальна напруга $V_{mp}=70,5$; Вага $M=16,5$ кг

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

Анотація

Вступ

1 Загальні відомості про підприємство

2 Аналіз енергетичних показників і основні шляхи підвищення ефективності функціонування електротехнічних комплексів з фотоелектричними джерелами енергії

2.1 Сучасний стан і основні шляхи підвищення ефективності функціонування електротехнічних комплексів з фотоелектричними джерелами енергії та їх електромагнітної сумісності в Україні та в світі

2.2 Аналіз сучасних методів моделювання складних технічних систем з фотоелектричними джерелами генерації

3 Опис лабораторного стенду та експериментальні дослідження на базі стенду

3.1 Опис обладнання, що використовується у лабораторному стенді

3.2 Аналіз отриманих під час експерименту даних

4 Економічна частина

5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.3 Пожежна безпека

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу

- Схема електрична принципова системи стенду для дослідження енергетичних характеристик PV-панелей

- Схема електрична принципова системи стенду для дослідження енергоефективності використання PV-панелей на базі контролера заряду mppt

- Зовнішній вигляд стенду

- Скріншоти вікон програми Solar Station Monitor

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кравець О. М., доц. каф. ЕСЕМ		
Економічна частина	Шулле Ю. А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.пед.н., професор		
Нормоконтроль	Войтюк Ю.П., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		

7. Дата видачі завдання «__»_____ 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні відомості про підприємство	15.10-25.10	
2	Аналіз енергетичних показників і основні шляхи підвищення ефективності функціонування електротехнічних комплексів з фотоелектричними джерелами енергії	25.10-05.11	
3	Опис лабораторного стенду та експериментальні дослідження на базі стенду	05.11-15.11	
4	Економічна частина	15.11-25.11	
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	25.11-30.11	

Студент _____
(підпис)

Керівник магістерської
дипломної роботи _____
(підпис)

Бондар О.Л.
(прізвище та ініціали)

Кравець О.В.
(прізвище та ініціали)

УДК 621.31

АНОТАЦІЯ

Бондар О.Л. Розробка лабораторного стенду для дослідження ефективного споживання електроенергії генерованої фотовольтаїчними панелями. Магістерська робота. 6.050701 – електротехніка та електротехнології. ФЕЕЕМ. Кафедра ЕСЕЕМ. – Вінниця: ВНТУ, 2020 – 72с.

В роботі розглянуті питання ефективного використання електроенергії генерованої PV- панелями. Розроблено та виконано лабораторний стенд для досліджень енергетичних характеристик PV- панелей та аналізу ефективного перетворення отриманої енергії з використанням сучасної перетворювальної техніки.

В науково-дослідній частині роботи проведено досліди режимів роботи моделі сонячної станції та аналіз даних отриманих у програмі Solar Station Monitor.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: контролери заряду, дослідження, енергетичні характеристики, фотовольтаїчні панелі, сонячна енергія електричні мережі, електропостачання.

Рисунків – 28

Таблиць – 8

Бібліографій – 27

SUMMARY

Bondar O.L. development of a laboratory stand to study the effective consumption of electricity generated by photovoltaic panels. Master's degree work. 6.050701 – electrical engineering and electrotechnology. FEEEM. ESEEM Chair - Vinnitsa: VNTU, 2020 – 72p.

The paper considers the issues of efficient use of electricity generated by pv panels. The laboratory bench for research of energy characteristics of pv panels and analysis of the effective transformation of received energy with the use of modern transforming technology was developed and implemented.

In the research part of the work conducted experiments of the modes of operation of the solar station model and analysis of data obtained in the program solar station monitor.

The issues of occupational safety and security in emergency situations are considered.

Key words: charge controllers, research, power characteristics, photovoltaic panels, solar power electric networks, power supply.

Figures - 28

Tables - 8

Bibliographies - 27

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	6

2	АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ І ОСНОВНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ ДЖЕРЕЛЕМИ ЕНЕРГІЇ.....	9
2.1	Сучасний стан і основні шляхи підвищення ефективності функціонування електротехнічних комплексів з фотоелектричними джерелами енергії та їх електромагнітної сумісності в Україні та в світі.	9
2.2	Аналіз сучасних методів моделювання складних технічних систем з фотоелектричними джерелами генерації.....	17
2.3	Огляд існуючих технічних засобів збору даних про якість електричної енергії в мережах з ФЕС.....	29
3	ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НА БАЗІ СТЕНДУ.....	37
3.1	Опис обладнання, що використовується у лабораторному стенді.....	37
3.1.1	Контролер заряду із технологією MPP.....	37
3.1.2	Фотовольтаїчні панелі полікристалічного типу Q.SMART UF L 105	46
3.2	Аналіз отриманих під час експерименту даних	47
<u>3.2.1</u>	Робота станції в режимі холостого ходу	48
<u>3.2.2</u>	Робота станції з навантаженням	50
4	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	52
<u>4.1</u>	Перелік, кількість та ціни використаного устаткування	53
<u>4.2</u>	Перспективи збільшення генерованих потужностей на базі лабораторного стенду.	54
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	58
5.1	Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта	58
5.2	Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	59
<u>5.2.1</u>	Мікроклімат	59
<u>5.2.2</u>	Освітлення робочої зони.....	60
<u>5.2.3</u>	Виробничий шум	62
<u>5.2.4</u>	Вібрація	64
5.3	Пожежна безпека.....	65
5.4	Безпека у надзвичайних ситуаціях.....	66

5.4.1 Дослідження стійкості роботи лабораторного стенду в умовах дії загрозових чинників надзвичайних ситуацій.....	67
5.4.2 Дослідження стійкості роботи лабораторного стенду в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	67
5.4.3 Дослідження стійкості роботи лабораторного стенду в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	68
5.4.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи стенду в умовах надзвичайних ситуацій.....	68
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73

ВСТУП

Актуальність теми визначається особливим місцем відновлювальних джерел електроенергії у процесі забезпечення стабільного електропостачання як побутових споживачів, так і промислових. Стрімкий зріст у використанні зокрема у нашій країні останнім часом відбувається у застосуванні енергії Сонця.

З огляду на зазначене стає зрозумілим, що вивчення студентами електроенергетичних спеціальностей процесів генерації електроенергії сонячними фотовольтаїчними панелями, її оптимальне перетворення і та ефективне споживання є основоположним у вивченні питань підвищення енергоефективності фотовольтаїчних електрогенераторних комплексів з використанням сучасної перетворювальної електронної і мікропроцесорної бази.

Мета роботи: забезпечення студентів електроенергетичних спеціальностей сучасним лабораторним обладнанням для вивчення комплексу фотовольтаїчної генераторної установки.

Основними задачами даної роботи є висвітлення основних можливостей для дослідження фотовольтаїчної сонячної генераторної установки, що була розроблена на базі лабораторії енергозбереження кафедри ЕСЕЕСМ

Об'єктом магістерської роботи є навчальний процес студентів факультету електроенергетики та електромеханіки Вінницького національного технічного університету.

Предметом даної роботи є методи та засоби, що використовуються для якісної подачі навчальної інформації під час проведення лабораторних робіт із дисципліни «Основи енергозбереження»

Публікації. Основні положення роботи опубліковані у збірнику праць XLVIII науково-технічної конференції факультету електроенергетики та електромеханіки.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

Вінницький національний технічний університет - добре відомий навчальний заклад як в Україні, так і далеко за її межами, четвертого рівня акредитації. До складу ВНТУ входять 8 навчально-наукових факультетів, та сім Інтегральних інститутів, призначених для забезпечення навчального процесу. На стаціонарних відділеннях університету навчається шість тисяч студентів, на заочних - півтора тисячі, в аспірантурі та докторантурі - сто, на підготовчому факультеті - 1000.

Навчально-наукову діяльність в університеті здійснюють 47 кафедр, 26 із яких мають філії на підприємствах м. Вінниці та області, 36 очолюються докторами наук, професорами, біля 84% викладачів випускаючих кафедр та 72% викладачів університету мають наукові ступені та звання; 2% викладачів кафедр мають почесні звання "Заслужений", а 10% є академіками та членами кореспондентами державних галузевих та громадських Академій. Очолює університет з вересня 2010 р. д.т.н. професор Грабко Володимир Віталійович.

Університет має ефективну систему підготовки наукових кадрів вищої кваліфікації, яка не має аналогів. Підготовку науково-педагогічних кадрів здійснюють в аспірантурі з 19 спеціальностей і докторантурі з 4 спеціальностей, функціонують 5 спеціалізованих рад по захисту докторських та кандидатських дисертацій з 12 спеціальностей. За останні 10 років науковцями університету захищено 36 докторських і 255 кандидатських дисертацій.

Серед пріоритетів розвитку університету - створення сучасного інформаційного забезпечення навчального процесу шляхом розвитку ресурсів та нових технологій обслуговування в бібліотеці та активного запровадження інноваційних інформаційних технологій і ресурсів, телекомунікаційних технологій та технологій дистанційного навчання.

Генплан підприємства представлено на рисунку 1.1; відомості про електричні навантаження представлено у таблиці 1.1

Хмельницьке шосе

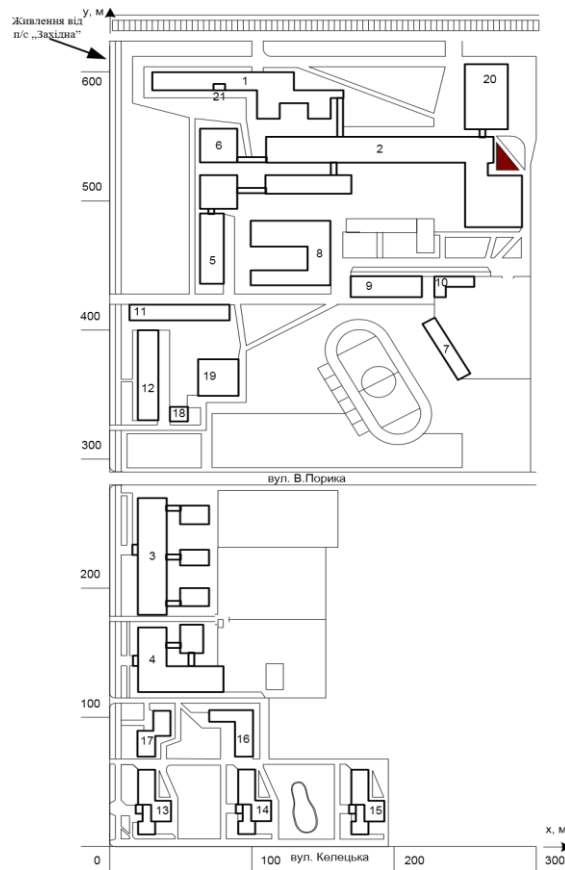


Рисунок 1.1 – Генплан Вінницького національного технічного університету

Таблиця 1.1 – Відомості про електричні навантаження

№ за планом	Назва корпусу	Рн, кВт	Категорія надійності за ПУЕ
1	Корпус №1	43	Друга
2	Корпус №2	200	Друга
3	Корпус №3 (ФБТЕГП)	86	Друга
4	Корпус №4 (ФЕЕЕМ)	95	Друга
5	Корпус №5 (ІнаЕКСУ)	62	Друга
6	РТФ	24	Друга
7	Корпус №6 (ІФФК)	36	Друга
8	Корпус №7	72	Друга
9	Корпус №8(ТМ)	16	Друга
10	Котельня	17	Перша
11	Гуртожиток №1	25	Друга
12	Гуртожиток №2	112	Друга
13	Гуртожиток №3	167	Друга
14	Гуртожиток №4	123	Друга
15	Гуртожиток №5	183	Друга
16	Гуртожиток №6	59	Друга

Продовження таблиці 1.1

17	Гуртожиток №7	157	Друга
18	Гуртожиток №8	13	Друга
19	Їдальня	136	Друга
20	ГУК	130	Друга

В даній роботі представлено розробку лабораторного стенду для дослідження ефективного споживання електроенергії генерованої фотовольтаїчними панелями, для виконання лабораторних робіт студентами спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка із дисципліни «Основи енергозбереження», що проводяться в аудиторії 313 енергетичного корпусу ВНТУ.

Робота студентів передбачає проведення наступних досліджень: аналіз найбільш вигідної позиції панелей по відношенню до сонячного випромінювання (панелі розміщені на рухомому каркасі); дослід холостого режиму роботи панелей із зняттям залежності напруги від рівня освітлення (для чого передбачений люксометр); дослід для зняття навантажувальної характеристики, що дає змогу в визначити точку максимальної потужності.

Особливу увагу слід звернути наданню змоги студентам отримати практичні вміння під час проведення експериментів, які б були максимально наближені до натурних. Фото стенду представлено у додатку В.

2 АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ І ОСНОВНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ ДЖЕРЕЛЕМИ ЕНЕРГІЇ

2.1 Сучасний стан і основні шляхи підвищення ефективності функціонування електротехнічних комплексів з фотоелектричними джерелами енергії та їх електромагнітної сумісності в Україні та в світі.

Енергооптимальне функціонування електротехнічних комплексів з відновлювальними джерелами, зокрема з фотоелектричними станціями, є досить актуальною науковою задачею, оскільки сумісна робота джерел відновлювальної енергетики з енергосистемою залежить від природних та часових факторів (час доби, хмарність, пора року). Поєднання окремих параметрів ЕТК може спричинити резонанс на частотах вищих гармонік та коливальні процеси обміну реактивною потужністю між інвертором та електромережею, що негативно впливає на функціонування електротехнічного обладнання, спричинюючи додаткові втрати активної потужності в його елементах, та зменшує термін його експлуатації.

Згідно з європейським стандартом EN50160 (IEC 50160) показники якості електроенергії, що передається в енергосистему, в більшості європейських країнах нормуються та контролюються операторами енергосистеми. Ще з початку 2012 року в Німеччині набрали чинності нові правила контролю живлення та споживання електроенергії. Комунальні підприємства тепер мають можливість вільного доступу до генерування електроенергії приватними електростанціями. Згідно з цими правилами використовується технологія особливого контролю для стабілізації роботи мережі. Крім того, значна увага приділяється можливості регулювання балансу реактивної потужності приватних джерел генерації. Зазвичай інвертор повинен підтримувати можливість керування реактивною потужністю. Багато приєднаних джерел генерування також вимагають наявності взаємного зворотнього зв'язку між ними та контролю за фактичними значеннями реактивної потужності всіх підключених джерел, що дозволяє стабілізувати режим роботи мережі. Функції керування живленням також можуть бути налаштованими таким чином, щоб певний відсоток потужності передавався в мережу, а інша частина електроенергії була доступна для промислового або побутового власного

споживання. Щоденне зведення даних допомагає керувати генеруванням з презентацією балансу виробництва та енергоспоживання, відображаючи виробництво, споживання і різницю споживаної потужності. Контроль балансу електроенергій виробництва та власного споживання особливо важливий в періоди пікових навантажень, що дозволяє зменшити навантаження на енергосистему. З метою перевірки можливості використання досвіду зарубіжних країн достатньо порівняти технічні вимоги стандартів EN 50160:2014 «Voltage Characteristics in Public Distribution Systems», що є чинним ДСТУ для України, та ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», що є базовим для енергетики країн СНД. Крім відхилень частоти та напруги, особлива увага приділена коефіцієнтам несиметрії, коефіцієнтам гармонічних складових та дозі флікеру. Дані показники слід віднести до показників електромагнітної сумісності, що регламентують: - ДСТУ ІЕС 60050-161:2003 Словник електротехнічних термінів. Глава 161, Електромагнітна сумісність; - ДСТУ EN 61000-2-2:2012 Електромагнітна сумісність. Частина 2. Електромагнітна обстановка. Рівні сумісності для низькочастотних кондуктивних завад і сигналів систем сигналізації в низьковольтних електропостачальних системах загальної призначеності, - ДСТУ EN 61000-3-3:2012 Електромагнітна сумісність. Частина 3-3.

Норми на рівні флуктуацій напруги та флікера в низьковольтних системах електроживлення для устаткування з номінальною силою струму до 16 А на фазу, не призначеного для підключення за певних умов, - ДСТУ ІЕС 61000-4-11:2007 Електромагнітна сумісність. Частина 4-11. Методики випробування та вимірювання.

Випробування на несприйнятливості до провалів напруги, короточасних переривань і змінень напруг, - ДСТУ ІЕС 61000-4-30:2010 Електромагнітна сумісність. Частина 4-30. Методи випробування та вимірювання. Вимірювання показників якості електричної енергії. Порівняльна характеристика вимог до показників якості електроенергії відповідно до наведених вище нормативних документів приведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вимоги відповідно нормативних документів до ФЕС, увімкнених в мережу для різних країн

Показник	ГОСТ 32144-2013	EN 50160	EN 61000 (низьковольтні мережі)
Відхилення напруги	Нормально допустиме відхилення напруги $\pm 5\%$, гранично допустиме $\pm 10\%$,	Нормально допустиме відхилення напруги $\pm 4\%$, гранично допустиме $\pm 6\%$,	Нормально допустиме відхилення напруги $\pm 5\%$, гранично допустиме $\pm 10\%$,
Відхилення частоти	Допустиме відхилення частоти $\pm 0,2$ Гц, граничне значення $\pm 0,4$ Гц	Відхилення частоти $\pm 2\%$	$\pm 1\%$ (49,5 – 50,5 Гц) 95 % часу тижня, максимальні відхилення (-6% до +4%) (47–52 Гц)
Коефіцієнти гармонічних спотворень	Від 0,2 % до 6 % від $U_{ном}$	6%-5а гармоніка, 5%-7а, 3.5%-11а, 3%-13а, THD <8%	5% - 3я, 6%- 5а, 5%- 7а, 1.5% 9-а, 3.5% 11-а, 3% 13-а, 0.3% 15а, 2% 17-а
Коефіцієнти несиметрії	$K0U \leq 2\%$ протягом 95% часу інтервалу, $K2U \leq 4\%$ протягом 95% часу інтервалу		
Флікер	Доза флікера - $P_{ST} < 1,38$; доза флікера $P_{LT} < 1,0$		Доза флікера при зміні напруги $PLT < 1$,

Контроль та вимірювання ПЯЕ та ЕМС у системах електропостачання може бути здійснений як для приєднання нових джерел генерування, так і для інтелектуального керування локальними мережами. Оператори електроенергетичної системи та локальних електричних мереж Європи та країн, в яких частка фотоелектричних станцій стрімко збільшується, висловили стурбованість з приводу збільшення впливу відновлювальних джерел енергії на надійність електричної мережі. У 2011 році Німеччина пережила проблеми зі стабільністю енергосистеми через високу частку фотоелектричних установок.

Було підраховано, що 315000 фотоелектричних перетворювачів в Німеччині повинні бути модернізовані за ціною приблизно 300 мільйонів доларів з метою вирішення проблем надійності через значне зростання фотоелектричної промисловості в останнє десятиліття. Крім того, в річному звіті перспектив в галузі енергетики, опублікованому Фондом Управління енергетичної інформації США (EIA) відзначено, що до 2040 року буде додано 77 ГВт потужностей відновлюваної генерації, з них 33,9 ГВт сонячної генерації, 31 ГВт, за прогнозами, становитиме потужність сонячних фотоелектричних установок.

Спільне дослідження, проведене Північно-Американською корпорацією по надійності електроенергії (NARE) і Незалежним системним оператором Каліфорнії (CAISO), аналізує надійність електричної системи з високою часткою відновлювальних джерел енергії. Дослідження показує, що напруга часто погіршується через відсутність її контролю на виході ФЕС. Інше дослідження, проведене в Національній лабораторії відновлювальних джерел енергії (NREL) розробило базу даних моделювання для проведення аналізу поведінки системи і взаємодії з високою кількістю фотоелектричних електростанцій в реальних умовах.

На підставі аналізу і спостереження, рекомендується проводити оцінювання впливу сонячних фотоелектричних систем на стадії проектування електричних систем.

Для того, щоб досягти межі 20 % електроенергії, що виробляється відновлювальними джерелами енергії, хорватський уряд прийняв рішення про впровадження системи стимулів для використання таких джерел енергії. Це спонукало підвищений інтерес з боку інвесторів до будівництва ФЕС (встановлена потужністю від 10 кВт до 1 МВт). Ціна виробленої електроенергії визначається регульованими

пільговими тарифами, які включають відповідні стимули. Для того, щоб отримати такий контракт, інвестор зобов'язаний зробити, крім визначених законодавством документів, три технічних дослідження. Першим з них є "Дослідження оптимального технічного рішення приєднання фотоелектричної електростанції до розподільної мережі", другим - "Дослідження впливу фотоелектричної електростанції на показники якості електроенергії в розподільчій мережі», а третім є - "Дослідження параметрів захисту і координації фотоелектричної електростанції і розподільної мережі". Перше дослідження стосується найкращого варіанту приєднання електростанції до мережі та містить розрахунок потужностей і напруг, а також надає аналіз стійкості напруги. Вище вказані дослідження проводяться як для максимального, так і для мінімального навантаження в розподільній мережі. Друге дослідження передбачає розрахунок і вимірювання параметрів якості електроенергії: сім днів до і через сім днів після приєднання електростанції до мережі. Результати досліджень повинні відповідати європейським та хорватському стандартам EN(HRN)50160:2012. Слід зазначити, що хорватський національний стандарт щодо гармонійних спотворень має більш обмежувальний характер, ніж стандарт HRN EN 50160/2013. Граничне значення THD напруги, зазначеного в хорватському стандарті, становить 2 %, тоді як в Стандарті EN 50160 - 8 %.

Варто відзначити роботу німецького вченого Свена Теске, який працює над роботою «Імітація режиму роботи енергосистеми з сонячними електростанціями», а саме над розробкою конкретного алгоритму «моделювання від низу до верху», який може бути адаптований до різних країн, регіонів або міст, щоб зв'язати енергетичний сценарій моделі з імітацією режимів мережі залежно від часу доби, періоду року та періоду імітації. Крім того, модель вводить специфічні фактори потужності за мінімальної потужності на виході електростанцій, що може призвести до дуже сильного впливу на економічні показники цих електростанцій з точністю в межах похибки 5 %. Економічний розрахунок модуля E 24/7 має надто великий обсяг даних для економічного розрахунку і призводить до розрахунку симуляції двох годин роботи енергосистеми протягом одного місяця. Ця слабкість програми, яка використовує 8 Гб оперативної пам'яті значно впливає на всю вартість системи аналізу на всіх рівнях мережі.

Країни, які мають високий відсоток використання відновлювальної енергії в енергосистемі, вже вкладають кошти в дослідження програм, таких як: «Ініціатива Smart-Grid від датського міністерства клімату» (програма Департаменту енергетики США (DOE) у співпраці з Тихоокеанською північно-західною лабораторією), «Енергетика і будівництво» (Міністерство економіки Німеччини та енергетики (BMWi) у співпраці з Німецьким агентством Енергетики (DENA), координується Європейським Союзом) та ін. Таким чином, численні моделі складних енергосистем використовуються в даний час, деякі з них знаходяться в стадії розроблення в багатьох країнах світу. Їх основними завданнями є планування передачі в енергосистему великих кількостей енергії, транспортування енергії відновлюваної енергетики середнього і великого масштабу та інтеграція генерування сонячної фотоелектричної енергії в розподільчі мережі.

Питанням підвищення енергоефективності роботи ФЕС присвячені роботи Jian Sun; Бекірова Е. А.; Базюка Т.М.; Денисюка С.П. і інших дослідників.

Дослідженням енергоефективних режимів роботи фотоелектричних електростанцій, та їх впливом на параметри електричної мережі присвячені роботи багатьох вітчизняних вчених Яндюльський О. С., Хоменко О. В., Марченко А. А.; Лежнюк П. Д.; Комар В. О.; Собчук Д. С.; Лежнюк П. Д.; Ковальчук А. О.; Деревянко Д. Г.; Кулик В. В., Бурикін О. Б., Малогулко Ю. В. та ін.), в яких окреслені основні умови оптимальності функціонування джерел відновлювальної енергетики, причини неефективних режимів та шляхи реалізації ефективного функціонування електротехнічних комплексів.

У роботі запропоновано ввести узагальнений показник якості електроенергії, який враховує сумісний вплив несиметрії та несинусоїдності напруги за умови їх одночасної дії для забезпечення електромагнітної сумісності обладнання.

Важливою проблемою при забезпеченні максимального прибутку від генерування електроенергії фотоелектричними електростанціями залишається збереження надійності та підвищення ефективності роботи основного технологічного обладнання. Для розв'язання задачі оптимальності генерації електроенергії в мережу авторами Малогулко Ю. В., Куликом В. В., Бурикіним О. Б. пропонується

використання комплексних критеріїв, які враховують прибуток від функціонування ВДЕ, показники якості електроенергії та втрати на її транспортування мережами.

За результатами аналізу вказаних робіт можна намітити такі шляхи енергозбереження: вибір оптимального приєднання; зміна керування режимами роботи ФЕС та електромережі; – застосування найбільш енергоефективних елементів мережі; забезпечення електромагнітної сумісності системи.

Автором проаналізовано основні чинники, що призводять до неефективних режимів роботи електротехнічних комплексів з фотоелектричними джерелами. Встановлено, що через збої в інверторах (налаштування на параметри мережі, неможливість віддати максимальну потужність з фотомодулів) можливе відімкнення частини інверторів ФЕС, коливання кількості генерованої електроенергії фотоелектричними електростанціями, що призводить до значних матеріальних витрат. Також значний вплив на ФЕС мають параметри електромережі, до якої підєднують такі електростанції. Більшість аварійних режимів виникають внаслідок порушення якості електроенергії у вузлі навантаження, а також при перехідних процесах, коротких замиканнях в системі, що зумовлює вимкнення груп інверторів і зменшує потужності ФЕС. Для збереження неперервності технологічного процесу при виникненні короткочасних перерв живлення необхідно врахувати вплив перехідних процесів, однак основна складність полягає в тому, що всі ці процеси часто проходять одночасно, ускладнюючи розрахунок всіх параметрів перехідних процесів.

Як первинні перетворювачі енергії з сонячної в електричну використовують фотомодулі різних фірм, які мають задані вольт-амперні характеристики (ВАХ). За формою ВАХ близька до режиму джерела струму, залежність напруги фотоперетворювача від величини сонячної інсоляції мінімальна. У випадку комутації струму фотомодулем і передачею в мережу з стандартним допуском напруги 5 %, режим роботи інвертора можна регулювати, змінюючи кут ввімкнення IGBT модулів, регулювання якого призводить до збільшення кількості вищих гармонік напруги. Лінія, яка з'єднує вихід інверторів та енергосистему, представляє собою сукупність активного і реактивного опору ліній електропередавання (Z_n) для гармонік n -го порядку. Гармонічний струм n -го порядку через опір Z_n створює напругу з гармонічними складовими, яка має більші спотворення за більшого опору системи. Як наслідок,

виникають перевантаження розподільчих мереж через збільшення діючого значення струму, перевантаження нульових провідників через додавання гармонік 3-го порядку, спотворення напруги, що в свою чергу зумовлює зниження робочого ресурсу чутливих споживачів, перевантаження, вібрацію і старіння ізоляції робочих електричних апаратів. Наявність коливань потужності ФЕС впливає на нелінійні параметри системи. При використанні методу симетричних складових для розрахунку параметрів системи можна зробити висновок, що при ємнісному характері навантаження опору мережі крива струму буде спотворюватися більше. Якщо потужності ФЕС будуть розмірні з потужностями традиційних джерел, то при коливаннях частоти за певних значень довжин ліній електропередавання можливе погіршення якості електроенергії. Тому досить актуальною є задача розробки методів прогнозування режимів роботи ФЕС та вплив параметрів мережі на сумісну роботу ФЕС з мережею.

Значний розвиток «зеленої енергетики» може призвести до збільшення впливу на окремі елементи систем електропостачання (СЕП). Результати численних експериментів показують необхідність аналізу впливу ФЕС на електромагнітну сумісність мережі та необхідність додаткового аналізу паралельної роботи фотоелектричних джерел з електромережею. Такі дослідження повинні містити складові комплексних опорів ФЕС, зміну параметрів нормального режиму роботи системи та їх вплив на резонанс струмів. Одним з інструментів при аналізі можливих резонансних режимів паралельної роботи ФЕС з мережею є вейвлет-аналіз, який дає можливість робити аналіз не тільки в частотних координатах, але й в амплітудно-часовому спектрі. Ці розрахунки дозволяють одержати результати за умови резонансу при заданих параметрах мережі, визначити неприпустимі умови роботи ФЕС та їх вплив на чутливі електроприймачі.

Сучасні дослідження електротехнічних комплексів з фотоелектричними генераторами є комплексним завданням значної технічної складності, що вимагає великої кількості експериментів, так як неусталені режими роботи системи характеризуються протіканням взаємозв'язаних електромагнітних перехідних процесів.

Огляд літератури підкреслює важливість створення стандарту і загальну модель для імітації сукупного впливу сонячних фотоелектричних панелей на системи передачі електроенергії. Проте, наскільки нам відомо, в даний час немає жодного дослідження,

яке аналізує вплив фотоелектричних електростанцій на взаємозалежні системи передачі електроенергії.

2.2 Аналіз сучасних методів моделювання складних технічних систем з фотоелектричними джерелами генерації

Під час аналізу режимів роботи складних електротехнічних комплексів застосовують дані експериментальних досліджень та методи фізичного чи математичного моделювання. Математичне моделювання впливу всіх можливих змін параметрів складних розгалужених систем в часі потребує використання складних моделей з врахуванням параметрів енергосистеми, які при досягненні певних значень в аварійних чи перехідних режимах призводять до порушення технологічного процесу.

Існуючі математичні моделі не враховують у достатньому обсязі зміни параметрів основних елементів електричної мережі в часі, їх вплив на інші елементи та не дозволяють визначити показники несинусоїдності струмів і напруг на затискачах окремих електроприймачів, приєднаних до мережі електропостачання.

Проаналізовані математичні моделі можна розділити на декілька класифікаційних видів, серед яких можна виділити індивідуальні математичні моделі фотомодулів та інверторів і комплексні математичні моделі, які описують роботу фотоелектричного джерела генерації в мережі.

Більшість ФЕС складаються з фотомодулів (рис.2.1.) та інверторів, для моделювання яких використовують параметричні рівняння, а також середовище програмного забезпечення Matlab Simulink. Вхідними даними для моделювання фотоелементів є інтенсивність сонячної інсоляції E та температура фотомодуля T , крім того задається вольт-амперна характеристика (ВАХ).



Рисунок 2.1 – Вхідні та вихідні дані для моделювання фотоелемента

Крайні точки ВАХ – це напруга неробочого ходу (напруга, за якої струм на виході фотомодуля дорівнює нулю) та струм короткого замикання (струм, за якого напруга на виході дорівнює нулю). Інвертори налаштовані так, щоб отримати від модуля максимальну потужність при заданих параметрах (MPPT).

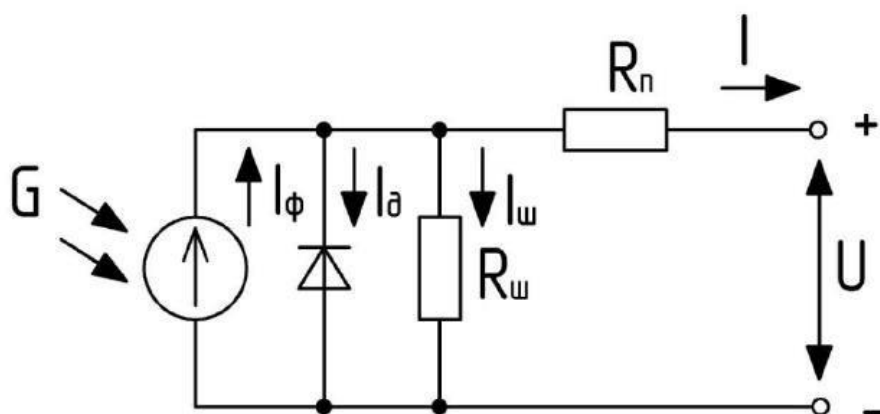


Рисунок 2.2 – Класична еквівалентна схема заміщення фотоелемента

Найпростішим і найшвидшим методом математичного моделювання роботи фотомодуля є застосування середовища Matlab Simulink, яке дозволяє отримати моделювання динамічних систем на рівні структурних та функціональних схем, а також охоплює широкую бібліотеку даних фотомодулів різних виробників.

Більш складнішим є математичне моделювання фотомодуля з допомогою генетичного алгоритму, що дає змогу за допомогою середовища MatLab показати залежність ефективності генерації фотопанелі в 3-Д середовищі, де більш детально зображена

залежність струму, напруги джерела, максимальної кількості згенерованої електроенергії від температури та інтенсивності сонячної інсоляції.

За допомогою генетичного алгоритму та штучних нейронних мереж хорватські вчені Марко Вукобратовіч, Срете Ніколовський та Предраг Маріч досліджують коливання напруги, втрати в мережі та зміну коефіцієнта потужності від часу приєднання та величини потужності джерела сонячної генерації до енергосистеми Хорватії.

У праці представлено модель фотоелектричного джерела з нелінійним і незбалансованим навантаженням, до якого приєднано інвертор.

Моделювання опору мережі для аналізу стабільності системи з ідеальним джерелом напруги, увімкненим з опором мережі, як правило, складаються з індуктивності з'єднаної послідовно з резистором. У цілому система інвертор- мережа може бути представлена за допомогою еквівалентної схеми, зображеної на рис. 2.3.

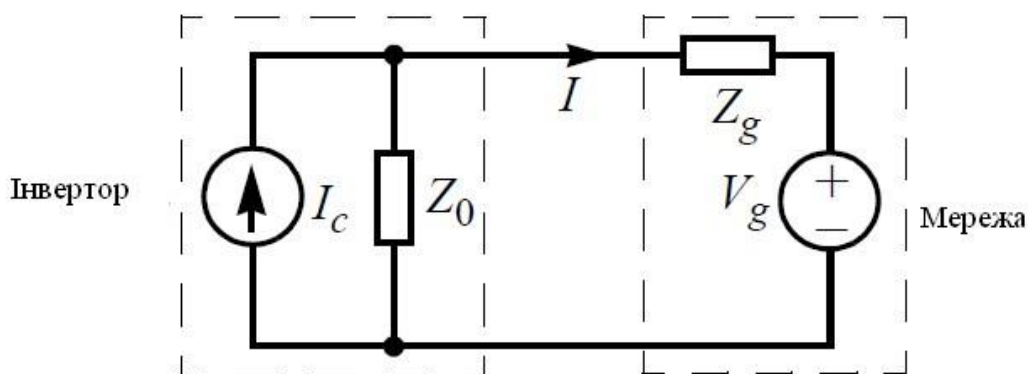


Рисунок 2.3 – Схема заміщення інвертора та мережі

Запропоновано розглядати еквівалентну схему як гібридну систему, що складається з джерела напруги і джерела струму.

На підставі еквівалентної схеми вихідний струм перетворювача:

$$I(s) = \frac{I_c(s)Z_0(s)}{Z_0(s) + Z_g(s)} - \frac{V_g(s)}{Z_0(s) + z_g(s)}, \quad (2.1)$$

який може бути записаний у вигляді:

$$I(s) = \left[I_c(s) - \frac{V_g(s)}{Z_0(s)} \right] * \frac{1}{1 + \frac{Z_g(s)}{Z_0(s)}}, \quad (2.2)$$

З врахуванням (1.2), приєднаний інвертор буде стабільно працювати, якщо відношення опорів мережі перетворювача $\frac{Z_g(s)}{z_0(s)}$ задовольняє критерію Найквіста.

У моделях, побудованих на основі порівняння імпедансів, для з'єднаних з мережею інверторів та іншої силової електроніка є недоліки. Оскільки моделі не можуть бути використані, щоб визначити вхідний і вихідний повний опір перетворювача, то вони не можуть бути застосовані в системі аналізу опорів. При домінуванні в мережі нелінійного навантаження дані рівняння не завжди адекватні і не можуть бути використані для аналізу резонансних та інших високочастотних явищ. Також даний «імпедансний метод» не може бути застосований для однофазних сонячних джерел локальної генерації, тому рекомендовано використовувати методи аналізу

сигналів «гармонійної лінеаризації»:

$$Z_p(s) = \frac{\frac{H_i(s)V_{dc} + sL}{2}}{1 - \frac{1}{2}T_{PLL}(s \pm j2\pi f_1) \left[H_i(s) \frac{V_{DS}}{V_1} \frac{I_1}{2} e^{j\phi} \right]}, \quad (2.3)$$

де $H_i(s)$ - передавальна функція ємнісного струму ,

L - вихідна індуктивність,

V_{dc} - напруга шини постійного струму,

T_{PLL} - коефіцієнт підсилення петлі фази автопідстроювання частоти (ФАПЧ), який використовують для синхронізації з мережею,

I_1, Φ - амплітуда і фазовий кут вихідного струму.

Для більш повного аналізу пропонується симулятор з експериментальними дослідженнями та можливістю моделювання режимів мережі із застосуванням генераторів гармонійних спотворень. Такі вимірювання дозволять відобразити наявні процеси за різних частот. Експерименти проводилися за допомогою фінансової

підтримки отриманої від Державного фонду Нью-Йорку з науки, технологій та Інновації (Nyrstar). Було розроблено «експериментальну Платформу для імітації різних режимів роботи системи». Тренажер складається з трьох однофазних сонячних інверторів потужністю по 3 кВт, кожен з яких може бути під'єднано або до програми імітації роботи фотомодуля з DSP платою керування, або до двадцяти сонячних панелей потужністю 200 Вт, кожна з яких оснащена мікроінвертором, вітрогенератором потужністю 15 кВт, локальною мережею з захистами для тестування, резистивними та ємнісними навантаженнями для симуляції та акумуляторної батареї. На цьому тренажері було досліджено різні режими роботи мережі зі змінним характером опору системи та інвертора, які вимірювалися на кожному етапі досліджень. Під час досліджень було виявлено стійку роботу системи з інвертором, крім випадку з додатковою величиною індуктивності 12,8 мГн та частотою близькою 420 Гц, що вказує, що гармоніки викликані незначним стійким резонансом між інвертором і мережею з відповідним імпедансом на цій частоті. Більш глибоке впровадження відновлювальних джерел енергії в розподільчу мережу буде також збільшувати частоту і величину локального, короткочасного коливання напруги у зв'язку з впливом ВДЕ.

Оскільки кількість ВДЕ збільшується, змінюються динамічні характеристики мережі, в тому числі її повний опір, який буде все більше залежати від впливу не тільки традиційних генераторів та електричних мереж, але й інверторів та інших перетворювачів. У таких випадках може виникнути резонанс між сусідніми перетворювачами. Більша концентрація ВДЕ в локальних мережах може також збільшувати частоту і величину локального, короткочасного коливання напруги внаслідок впливу параметрів інверторів. Це зумовить проблему з реактивною потужністю, оскільки однієї компенсації не буде достатньо через можливі коливання напруги навіть з швидким керуванням. Електронні пристрої, такі як комп'ютери, освітлювальні прилади, а також зарядні пристрої, які живляться від мережі через інтерфейси силової електроніки, повинні відповідати певним електромагнітним вимогам.

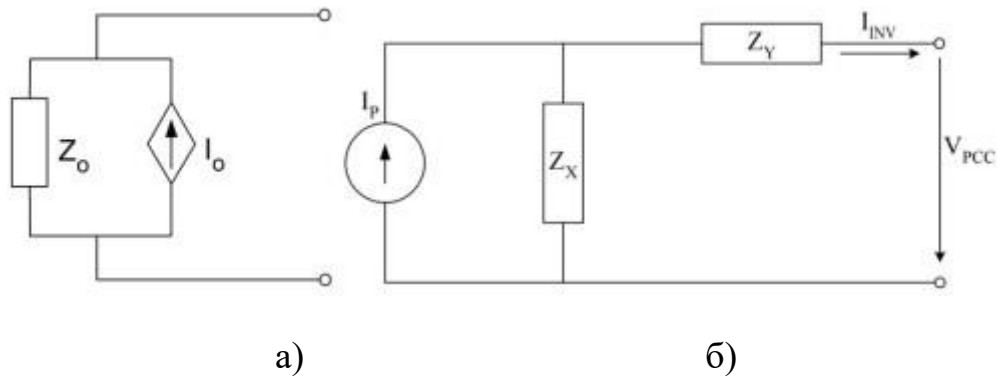
В роботі Ernauli Christine Aprilia для дослідження енергетичної системи використовують алгоритм Ньютона-Рафсона (рис.2.4), коли значення параметрів системи розраховують ітераційно за формулою:

$$[I_p(h)Z_x(h)] - [I_{INV}(h)Z_x(h)] - [I_{INV}(h)Z_y(h)] = V_{PCC}(h) \quad (2.4)$$

де $I_p(h)$ - гармонічні складові струму на вході інвертора,

I_{INV} - гармонічні складові струму на виході інвертора,

V_{PCC} - напруга в точці з'єднання між інвертором та системою.



всі вихідні імпеданси представлені Z_o

(а); вихідний конденсатор представлений опором Z_X , тоді як вихідний резистор і / або індуктивність представляють Z_Y (б)

Рисунок 2.4 – Модель Нортонів інвертора з фотоелементом:

Цей підхід використовує енергозатратний пошук (модель для кожної частоти буде інша), що не є прийнятним, оскільки для розв'язання трьох невідомих змінних з одного рівняння потрібна велика кількість ітерацій. Крім того, оскільки існують різні моделі для різних частот, а значення імпедансу не є певним елементом (ємність / індуктивність), неможливо оцінити резонансну частоту з цим підходом.

Простіше визначити значення параметрів кожного елемента шляхом вимірювання миттєвих значень напруги та струму в точці з'єднання інвертора та для розрахунку імпедансу на кожній частоті за допомогою рівняння:

$$Z_h = \frac{\sum V_h}{\sum I_h}, \quad (2.5)$$

де $\sum V_h$ - сума виміряних гармонічних складових напруг, $\sum I_h$ - сума виміряних гармонічних складових струмів.

Метод вимірювання та розрахунку струмів та напруг кожної гармоніки буде наведено у розділі 2.

Під час вимірювання сигналу миттєвих значень напруги та струму $U(t)$ та $i(t)$ аналіз рядів Фур'є проводиться пізніше для розкладання гармонічних та міжгармонічних спектрів напруги та струму. Важливим кроком для цього є вибір частотної роздільної здатності перетворення. Після отримання спектрів напруги та струму з вибраних частот, інша програма в LabView використовується для розрахунку імпедансу вибраних частот напруг та струмів.

Оскільки інвертор не завжди працює з номінальною потужністю, при роботі з частковим навантаженням та іншим спектром гармонійного випромінювання, очевидно, що на виході інвертора будуть не ідеальні гармонічні спотворення.

У роботі [30] проведено аналіз впливу фотоелектричних установок на напругу електричної системи з використанням програмного забезпечення Siemens PTI PSS для моделювання мережі. У даний час ведуться дослідження про вплив індивідуальних фотоелектричних станцій на мережу, але не проаналізовано сумарний вплив усіх ФЕС при динамічному режимі. Для цього запропоновано застосувати електричну модель розрахунку еквівалентних опорів між джерелом

ФЕС і шиною розподілу на кожній підстанції. Така модель враховує вплив довжини лінії та опору трансформатора на параметри режиму (рис.2.5).

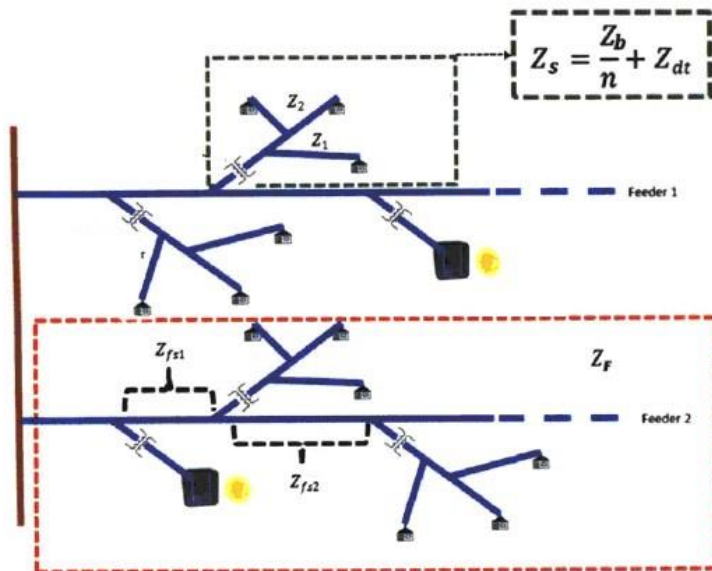


Рисунок 2.5 - Еквівалентна модель для мережі з розподіленою генерацією

Еквівалентна модель для мережі з розподіленою генерацією включає наступні параметри:

Z_b - еквівалентний опір кожної вітки розподілу, Z_{DT} - повний опір розподільного трансформатора, n - кількість ФЕС в мережі,

Z_{fs} - опір вітки між розподільчими трансформаторами, m - кількість розподільчих трансформаторів, k - кількість фідерів на розподільній шині підстанції.

Використання цієї моделі розподільчої мережі дає можливість одержати рівняння для основного джерела живлення локальної мережі, яке приєднане до шин розподілу на підстанції.

На першому етапі розрахунку мережі проводять еквівалентування розподільчої мережі. Розподіл мережі може бути представлений у вигляді паралельних віток сонячних установок, під'єднаних до того ж вузла, як показано на рис. 2.6.

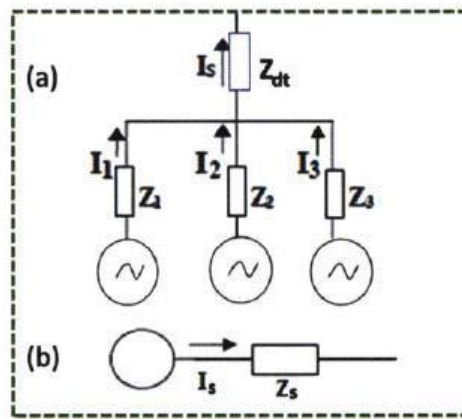


Рисунок 2.6 - Еквівалентна модель для розподіленої генерації

В усіх рівняннях, записаних нижче, змінні представлено у комплексному виді. Сумарний вихідний струм вторинної розподільної мережі розраховують як

$$I_s = I_1 + I_2 + I_3, \quad (2.6)$$

Втрати повної потужності в кожній вітці розраховують наступним чином:

$$\Delta S_{z1} = I_1 \cdot I_1^* \cdot Z_1 \quad (2.7)$$

$$\Delta S_{z2} = I_2 \cdot I_2^* \cdot Z_2 \quad (2.8)$$

$$\Delta S_{z3} = I_3 \cdot I_3^* \cdot Z_3 \quad (2.9)$$

$$\Delta S_{Zdt} = I_s \cdot I_s^* \cdot Z_{dt} \quad (2.10)$$

Сумарні втрати потужності:

$$\Delta S_{Zs} = I_s^2 \cdot Z_s \quad (2.11)$$

При цьому:

$$I_s^2 \cdot Z_s = I_1^2 \cdot Z_1 + I_2^2 \cdot Z_2 + \dots + I_n^2 \cdot Z_n \quad (2.12)$$

Для подальшого спрощення рівняння ми робимо наступні припущення:

1. Загальна генерація вторинної вітки розподілу рівномірно розподіляється серед всіх установок.
2. Струми генерації, що віддається кожною ФЕС, є однаковими за величиною і фазою.
3. Імпеданси від кожного генератора до точки з'єднання рівні.

З врахуванням названих припущень маємо:

$$I_s^2 \cdot Z_s = I_1^2 \cdot (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n), \quad (2.13)$$

$$I_s^2 \cdot Z_s = \left(\frac{I_s}{n}\right)^2 \cdot \sum_{m=1}^n Z_m + I_s^2 \cdot Z_{dt}, \quad (2.14)$$

$$Z_s = \frac{Z_b}{n} + Z_{dt}, \quad (2.15)$$

Виконаємо еквівалентування первинного приєднання суміжної мережі.

На цьому етапі використовуємо еквівалентний опір для вторинної розподільчої мережі, одержаної на кроці 2, щоб отримати еквівалентний опір одного фідера розподілу вітки. Джерело живлення розподілу вітки може бути представлене у вигляді комбінації послідовних і паралельних віток вторинної розподільчої мережі, як показано на рис. 2.7

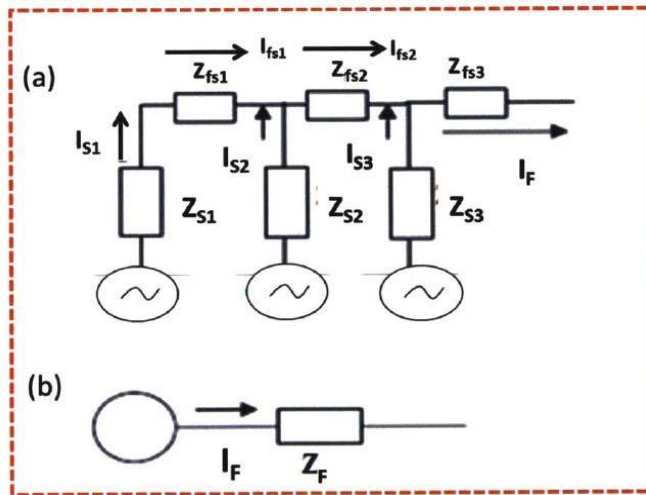


Рисунок 2.7 – Удосконалена еквівалентна модель для розподіленої генерації

На рис. 2.7 зображено такі елементи електричної мережі:

Z_F - опір між двома вторинними розподільчими вузлами,

I_S , Z_S - еквівалентний струм та імпеданс для вторинної розподільчої мережі, який розраховується, починаючи з кроку 2.

Для подальшого спрощення рівняння зробимо такі припущення:

1. Приєднані потужності до вторинної мережі рівні.
2. Кожен фідер розподілу може мати тільки один тип розподіленої генерації: або всі дахові сонячні електростанції до 30 кВт, або всі більш потужні джерела генерації понад 1 МВт.
3. Кожна вторинна розподільча мережа ідентична з погляду загального обсягу виробництва, кількість філій (n) і повного опору

$$Z_F = \frac{Z_s}{m} + \frac{(m+1)(2m+1)Z_{FS}}{6m} \quad (2.16)$$

де Z_F - еквівалентний опір кожного фідера розподілу вітки,

Z_S - опір мережі вторинного розподілу,

Z_{FS} - імпеданс віток розподілу між вторинними розподільчими мережами.

Для оцінки ЕМС на етапі проектування чи під час експлуатації СЕП навантаження слід досліджувати на точній математичній чи фізичній моделі тієї мережі, до якої вони будуть підключені. Очевидно, що це реалізація системного підходу, за якого моделюються як електроприймачі, так і електромагнітне середовище. У випадку електричних мереж з нелінійними споживачами модель повинна забезпечувати неперервну оцінку несинусоїдності струмів і напруг, а також інформування про неприпустимі рівні вищих гармонік з метою проведення необхідних заходів щодо їх зниження. Зрозуміло, що ускладнення математичних моделей внаслідок необхідності урахування нелінійності великої кількості електроприймачів мережі низької напруги обмежує можливості аналітичних методів. У зв'язку з цим виникає необхідність застосування методів імітаційного моделювання режимів низьковольтних мереж з нелінійними споживачами. Вказані методи дозволяють здійснювати чисельні рішення поставлених задач і проводити перевірку різних способів і засобів забезпечення ЕМС у порівняних умовах.

Відзначимо наступні основні переваги цих методів моделювання:

- структура моделі системи у формі багатополосників є ізоморфною із структурою реальної системи, що в свою чергу призводить до простого розуміння внутрішньої структури системи;
- синтезовані моделі багатополосників можна зберігати в комп'ютерних бібліотеках, що дає змогу створювати зразкові банки багатополосників загальних модулів багаторазового використання.

Подальше дослідження синтезованих моделей рекомендовано провести за допомогою пакету програм *SIMULINK* (розширення від *MATLAB*).

Для адекватного математичного моделювання динамічних режимів роботи локальних систем «ФЕС-мережа» необхідно одержати реальні параметри ЕТК, які можуть мати в своєму складі нелінійні елементи, а їх параметри змінюються у часі.

2.3 Огляд існуючих технічних засобів збору даних про якість електричної енергії в мережах з ФЕС

Технічне забезпечення експериментальних досліджень служить для одержання всіх даних, які необхідні для контролю енергетичних параметрів ФЕС та їх фіксацію на електронному носії інформації. При цьому апаратна частина технічного забезпечення повинна мати мінімальні вартість, масу та габарити при достатній точності вимірювань в процесі проведення експериментальних досліджень.

Сучасні аналізатори ПЯЕ за призначенням поділяють на три категорії, згідно з якими виконують такі функції:

- неперервний контроль (моніторинг) ПЯЕ;
- експрес-обстеження електромережі (в процесі енергоаудиту), щоб виявити стійкі аномалії, які проявляються за відносно короткої тривалості спостереження (десятки хвилин);
- обстеження електромережі з метою виявлення причин погіршення ПЯЕ

і розроблення обґрунтованих рекомендацій для їх покращення.

Аналізатори ПЯЕ можуть вимірювати велику кількість електричних параметрів мережі (фазні та лінійні напруги та струми, потужності, їх середнє, мінімальне, максимальне значення; коефіцієнт потужності; частоту напруги мережі; гармонічні спотворення напруги). Вартість аналізатора та програмного забезпечення становить близько 1000 у.о.

Для впровадження вартісних аналізаторів ПЯЕ в розподільчі пункти необхідне обґрунтування доцільності їх встановлення. Для ВДЕ малої потужності рекомендовано використання порівняно простих і недорогих портативних аналізаторів ПЯЕ, а вже для обстеження їх режимів роботи в електромережі з метою виявлення причин погіршення ПЯЕ необхідні надійні портативні, багатофункційні, прецизійні аналізатори.

Існує багато фірм, що виготовляють засоби вимірювання енергетичних параметрів електромереж, які можна віднести до засобів вимірювання ПЯЕ. Це спеціалізовані мультиметри, спектроаналізатори, реєстратори, вимірювальні системи, іноді й аналізатори електроспоживання. Найбільш відомими є такі фірми: Fluke (США),

Lem (Швейцарія), Voltech (Англія), Dranetz (США), Unipower (Швеція), Elcontrol Energy (Італія), SATEC (Ізраїль), Lovato (Італія), Socomec (Франція).

Для забезпечення експериментальних досліджень параметрів ЕМС та ПЯЕ в електромережах з локальними ВДЕ, виявлення причин їх погіршення та розроблення рекомендацій щодо покращення якості електроенергії та електромагнітної сумісності необхідною умовою є наявність портативного універсального апаратно-програмного комплексу для енергетичних обстежень електромереж, що відповідатиме таким основним вимогам:

- можливість використання в промислових умовах;
- можливість контролю трьох фазних напруг одночасно;
- додаткова можливість контролювати фазні струми;
- наявність реєструючих пристроїв; - надійність та ергономічність.

Розвиток інтелектуальних мереж Smart Grid поєднав властивості великих і малих енергетичних систем з пристроями силової електроніки та мікропроцесорних систем керування, що забезпечують відстеження стану об'єкта шляхом неперервного моніторингу параметрів процесів. Підтримання необхідного рівня вироблення електроенергії ВДЕ у режимі паралельної роботи з мережею є складним процесом і потребує узгодження багатьох параметрів електроенергії.

Оскільки вихідна потужність ФЕС залежить від екологічних факторів, таких як сонячна інсоляція і температура, потрібно розуміти, що продуктивність системи корелюється з вихідними метеологічними даними. З даних моніторингу користувачі можуть зрозуміти тенденції, які впливають на сонячну продуктивність та ефективність, і можуть використовувати ці дані для оптимізації роботи й технічного обслуговування.

Завдання моніторингу джерел сонячної генерації:

- діагностика проблем продуктивності фотоелементів або інвертора;
- оптимізація витрат на експлуатацію та технічне обслуговування ФЕС;
- оцінка довгострокової надійності системи та час напрацювання на відмову (тобто довгострокова надійність і продуктивність, інтенсивність відмов інвертора);

- оцінка впливу розташування фотоелементів ФЕС на продуктивність; - аудит виробництва електроенергії.

Сенсори освітленості дозволяють системі моніторингу вимірювати кількість сонячної інсоляції, яку одержують сонячні панелі. Важливим параметром моніторингу є відстеження температури сонячних фотоелементів, оскільки продуктивність виробництва електроенергії також залежить від цього параметра. Порівнюючи очікувану вихідну потужність системи та отриману потужність, обчислюють показники ефективності. Зменшення цих показників зазвичай вказує на проблему, яка повинна бути оцінена обслуговуючим персоналом ФЕС.

На рис.2.8 представлена блок-схема типової системи моніторингу генерування ФЕС, яка має у своєму складі сенсори, контролери заряду батареї та інвертора та ін.



Рисунок 2.8 – Блок-схема типової системи моніторингу ФЕС

Завдяки сучасним системам моніторингу оператори електростанції локальної генерації мають можливість не тільки виявити порушення, але й обчислити поточну потужність ФЕС, загальну кількість виробленої електроенергії для конкретного дня,

місяця або року, а також загальну кількість виробленої електроенергії всіма джерелами генерування власника. Програми звітності можуть показувати прибуток від джерела генерації в обраній валюті, на скільки викидів CO₂ було зменшено за допомогою сонячної генерації порівняно з тепловими електростанціями та інші екологічні показники. Для більшої зручності деякі реєстратори даних дозволяють приєднати пристрій моніторингу до Інтернету через модем або додаткову бездротову карту, а також для перегляду аналізу на великому екрані в домашніх умовах. Дані також можуть відображатися на домашній сторінці веб-сайту, а це означає, що інформація може бути доступна цілодобово з будь-якої точки світу. Програми для мобільних пристроїв, таких як айфони, доступні вже тепер. Онлайн перегляд може також показати температурні характеристики інвертора, сонячного фотомодуля та навколишнього середовища.

Велику роботу щодо розширення опцій контролю за роботою електротехнічних комплексів з відновлювальними джерелами виконує компанія National Instruments. Ця компанія використовує бездротові мережеві сенсори (WSN), вузли для контролю потоку сонячного випромінювання, сенсори температури навколишнього середовища, швидкості та напрямку вітру. Система моніторингу має також вбудовану функцію керування та збору інформації, виконує високошвидкісний аналіз напруги та струму на виході інвертора, акумуляторних батарей, аналізує сигнали навантажень. Вона також має в наявності модуль реле для управління навантаженням. Система CompactRIO працює в середовищі LabVIEW в реальному часі, збирає дані з бездротової сенсорної мережі, виконує облік електроенергії та аналіз якості, і відправляє дані оператору. Під час реєстрації даних модуль диспетчерського управління (LabVIEW DSC) виконує функцію реєстратора даних. Модуль DSC LabVIEW (рис.2.9) містить інструменти для запису бази даних в режимі реального часу та основних сигналів і подій керування в одну загальну систему.



Рисунок 2.9 – Система обліку параметрів генерації ФЕС в модулях LabVIEW DSC

Системи аналізу параметрів ФЕС можуть вимірювати значення постійного і змінного струмів, обчислити миттєву потужність (кВт) і загальний обсяг виробництва енергії (кВт·год). Спеціальними службовими програмами можна також здійснити моніторинг температури і сонячної інсоляції, визначити коефіцієнт потужності, перехідні характеристики в ненормальних режимах мережі, але для цього потрібно придбати за додаткові кошти підпрограми аналізу, або спробувати самим їх розробити в середовищі LabVIEW.

У випадку, якщо електротехнічний комплекс включає в себе акумуляторні батареї, система може також контролювати рівні напруг та струмів, температури і заряду батареї. Система екологічного моніторингу (табл.2.2) може також визначати напрям і швидкість вітру, вологість.

електровимірювальними приладами

Параметр вимірювання	Стандартний перетворювач	Типовий сигнал	Типове устаткування
Випромінювання сонячної інсоляції	Пірометр	Аналогова напруга	WSN-321x аналоговий вхід С-серії
Швидкість вітру	Анемометр	Імпульсний сигнал	WSN-321x аналоговий вхід С-серії
Напрямок вітру	Анемометр	Аналоговий опір	WSN-321x аналоговий вхід С-серії
Температура навколишнього середовища	Термопара	Аналогова напруга	WSN-321x аналоговий вхід С-серії
Температура панелей	Термопара	Аналогова напруга	WSN-321x аналоговий вхід С-серії

До найбільш вагомих чинників, які впливають на продуктивність ФЕС, відносяться сонячна інсоляція, температура, стан забруднення фотоелементів, сонячний спектральний хід і кут падіння сонячних променів. Аналіз параметрів роботи системи сонячної генерації може визначити причину погіршення продуктивності. Ці дані також можуть бути використані для економічного аналізу, наприклад, для аналізу витрат на піку потужності, які визначаються кінцевим співвідношенням отриманого доходу до величини потужності. Деякі типові заходи аналізу продуктивності, перераховані нижче. До показників ефективності системи належать: коефіцієнт використання встановленої потужності, ефективність системи, доступність, вартість, індекс продуктивності використання сонячного комплексу, вартість пікової потужності ($\$/WP$), «кінцевий вихід системи» або «питомий вихід», «індекс продуктивності». Додатковими чинниками моніторингу є сонячна доступність, температурний режим, забруднення та затінення, сонячний спектральний хід, кут падіння сонячних променів, ефективність інвертора, орієнтація панелей при монтажі, точність відстеження сонячних променів.

Моніторинг роботи ФЕС дозволяє операторам максимально реалізувати питання доходу і зниження витрат на експлуатацію та обслуговування електрообладнання. Програма моніторингу генерування електроенергії ФЕС переважно включає в себе стартовий комплект в середовищі LabVIEW, що передбачає програмний код, який за необхідності можна використовувати як відправну точку для побудови системи моніторингу з використанням бездротової мережі та National Instruments (WSN). У прикладі для додатка CompactRIO (рис.2.10) зображено один або кілька вузлів моніторингу сонячної інсоляції, температури панелі і погодних умов.



Рисунок 2.10 – Вузли моніторингу ФЕС компанії National Instruments

Для аналізу ефективності невеликої ФЕС для приватного будинку, системи моніторингу можуть забезпечити великий обсяг інформації, щоб допомогти отримати виробництво сонячної енергії з максимальною продуктивністю. Наприклад, спільною операційною проблемою для сонячних

сільськогосподарських електротехнічних комплексів є належне планування очищення сонячної панелі. Сонячна система моніторингу може виявити, коли забруднення з панелей, викликане пилом, брудом чи сміттям, зменшує кількість вироблення електроенергії. Це дозволяє операторам більш розумно планувати очищення апаратного комплексу.

Проте, часто менш потужні джерела генерації (наприклад, в приватних будинках потужністю менше 100 кВт) не потребують таких значних капіталовкладень в систему аналізу даних. Всю інформацію про вироблення електроенергії можна зчитати з системи ЛУЗОД та лічильника, який запломбований та до якого не має можливості доступу та

приєднання. Оператор має можливість бачити результати роботи обраного джерела генерації за допомогою доступних програм (наприклад, Енергоцентр), які дають можливість переглядати дані про споживання за різні проміжки часу (як у вигляді таблиць, так і у вигляді графіків), журнал подій в системі, редагувати інфраструктуру системи та формувати різноманітні звіти в середовищі Excel.

3 ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НА БАЗІ СТЕНДУ

3.1 Опис обладнання, що використовується у лабораторному стенді

3.1.1 Контролер заряду із технологією MPPT

Контролер заряду у системі сонячного альтернативного джерела електроенергії, що використовує PV – панелі, по суті виконує функцію контролю напруги чи струму зарядки акумуляторної батареї та призначений для захисту акумуляторних елементів від перезаряду, що може бути спричинений напругою сонячної панелі, вищою від номінального значення (див. рис.3.1).

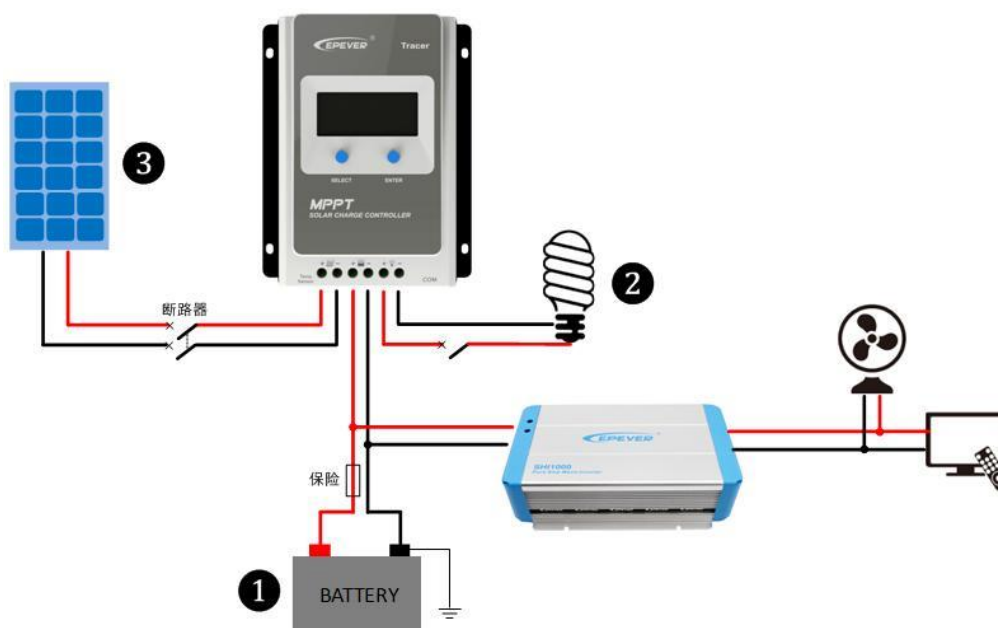


Рисунок 3.1 – Система із використанням контролера заряду PV- панелей

Існують три типи контролерів заряду:

- простий двоступеневий контролер
- контролер із широтно-імпульсною модуляцією (PWM)
- контролер із відслідковуванням точки максимальної потужності.

Контролер першого типу по суті відключає джерело електроенергії від акумуляторної батареї за допомогою шунтуючого транзистора, коли рівень напруги на ній досягає необхідного значення. При зниженні рівня напруги на акумуляторній батареї контролер знову підключає фотовольтаїчну панель і зарядка поновлюється.

При цьому максимальний рівень заряду не перевищує 70%, що призводить до сульфатації пластин і значного скорочення служби акумулятора. Головною їхньою перевагою, яка була причиною їхньої популярності є їхня непохитна якість. Оскільки для їхнього виробництва не використовується багато елементів – ламаються вони не часто. Однак через значний недолік, зазначений раніше, зараз вони майже не використовуються.

Найбільш вживаними у наш час є два типи контролерів: PWM і MPPT. Ці технології в основному використовуються у тих промислових системах, які не передбачають передачі енергії у зовнішні енергетичні мережі, і є хорошими варіантами, коли справа стосується ефективної зарядки акумулятора. При розгляді PWM і MPPT не варто говорити про те, який з них кращий за інший.

Що має бути визначено при виборі між PWM і MPPT - це тип, який найбільш придатний для вашої системи.

PWM-контролер по суті є перемикачем, який з'єднує сонячний масив з акумулятором. Результат такий, що напруга масиву буде перетворена до рівня акумулятора.

Контролер MPPT більш складний (і дорожчий): він налаштує свою вхідну напругу збирати максимальну потужність з сонячного масиву, а потім перетворювати цю потужність, що буде змінюватись відповідно до напруги батареї плюс навантаження. Таким чином, він істотно розв'язує масив панелей і напругу акумулятора.

Загальноприйнято, що MPPT буде перевершувати PWM в кліматі від холодного до помірного, в той час як обидва контролери покажуть приблизно однакову продуктивність в субтропічному чи тропічному кліматі.

Для того, щоб отримати максимум з сонячної панелі, регулятор заряду повинен мати можливість вибрати оптимальні співвідношення на кривій струму-напруги: максимальну точку потужності.

Вхідна напруга ШІМ-контролера, в принципі, дорівнює напрузі батареї, підключеної до його виходу (плюс втрати напруги в кабелях і контролері). Таким чином, сонячна панель у більшості випадків не використовується в точці максимальної потужності.

У лабораторній роботі використовується MPPT контролер EPEVER Tracer1210AN (див. рис. 3.2) із наступними паспортними значеннями: номінальний струм заряду 10 А; номінальна потужність 130 Вт (при 12 В акумуляторної батареї); максимальна потужність масиву PV - панелей 195 Вт; максимальна напруга холостого ходу PV – панелей 100 В (92 В при температурі 25 °С).

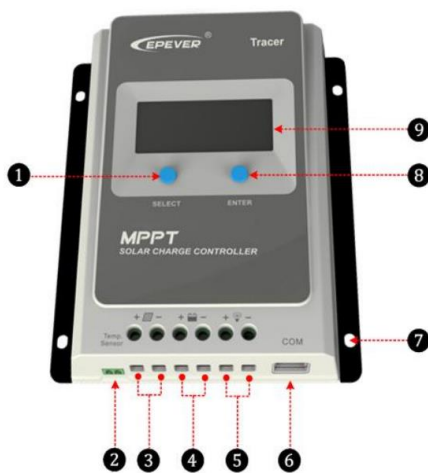


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд та позначення комунікативних терміналів MPPT: 1) кнопка вибору; 2) RTS – інтерфейс; 3) PV – термінал; 4) GB – термінал; 5) термінал навантаження; 6) RS-485 комунікаційний інтерфейс; 7) монтажні отвори; 8) кнопка вводу; 9) LCD

Контролер TRACER

Інноваційний алгоритм відстеження робочої точки для забезпечення максимальної ефективності налаштовує роботу сонячного модуля таким чином, щоб вони могли забезпечити максимально досягну потужність. Контролери TRACER призначені для автономних фотоелектричних систем; вони керують зарядом і розрядом акумулятора. Контролер оснащений «розумним» відстеженням точки максимальної потужності модуля, що підвищує вироблення енергії сонячними фотоелектричними модулями і прискорює заряд акумуляторної батареї (АБ). Функція відключення про низьку напругу на АКБ захищає батарею від глибокого розряду. Контролер оптимізує процес заряду, збільшуючи тривалість часу роботи батареї і підвищуючи продуктивність системи в цілому.

Комплексна самодіагностика та електронні функції захисту запобігають щодо збитків від можливих помилок установки або позаштатних режимів роботи системи. Крім того, контролер має інтерфейс RJ45, що дозволяє підключити модуль віддаленого моніторингу.

У даному контролері можливі 4 режими роботи:

- Встановлюється час включення ліхтаря після того як настала ніч (Таймер1) і перед світанком (Таймер2), в діапазоні від 1 до 15 годин.
- Включення ліхтаря через 10 хв після того, як зайшло сонце і до світанку.
- Включення / виключення живлення навантаження кнопкою в ручному режимі.
- Тестовий режим навантаження - включення навантаження після того як зайшло сонце і вимикання на світанку без затримки.

Номинальна напруга, (В)	12 / 24
Номинальний струм, (А)	10
Максимальна вхідна потужність сонячної панелі	130 Вт, для 12В
Максимальна вхідна потужність сонячної панелі	260 Вт, для 24В
Максимальна напруга на вході сонячних батарей	< 92 В
Напруга режимів заряду акумуляторів	Налаштовуємоє
Власне споживання, (мА)	< 16 мА (24В)
Режим заряду	режим MPPT
Температурна компенсація	-5mV/°C
Клемні колодки для максимального перетину проводу, (мм ²)	< 4
Робоча температура, (°C)	-35 ~ +55
Температура зберігання, (°C)	-35 ~ +80
Вологість	не більше 90%, без конденсації
Розміри, (мм)	172 x 134 x 44
Вага, (кг)	0,6

Особливості:

- відстеження точки максимальної потужності для оптимізації використання сонячної системи;
- унікальна подвійна функція таймера підвищує гнучкість системи;
- автоматичне прийняття параметрів температурної компенсації та корекції заряду, розряду і поліпшення часу роботи;

- захист від зворотної полярності.
- електронний захист від перезаряду, глибокого розряду, короткого замикання;
- підтримка гелевих, герметичних та заливних акумуляторних батарей.

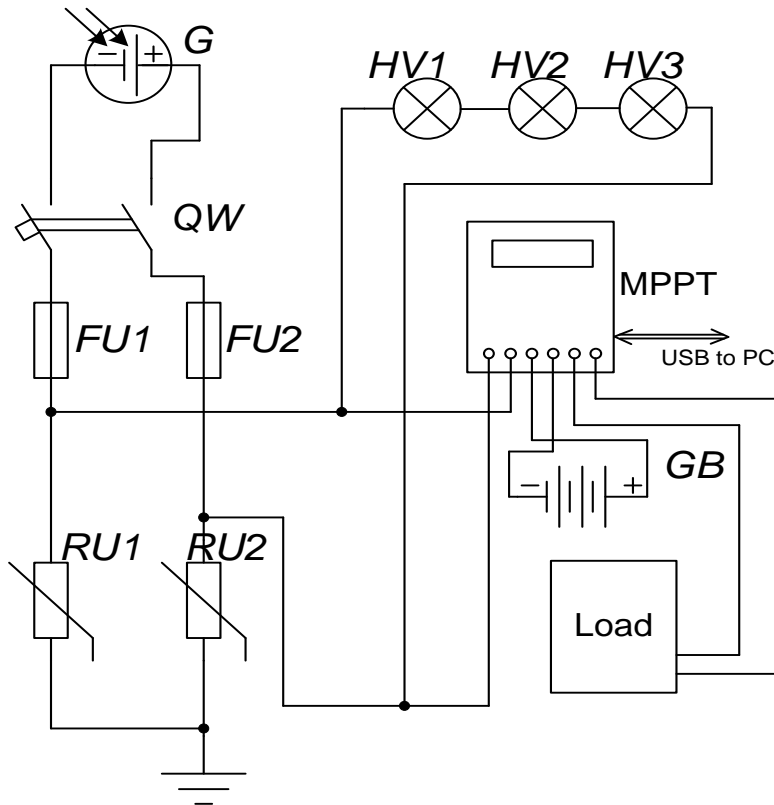


Рисунок 3.3 – Схема приєднання MPPT до PV- панелей

Технологія відстеження максимальної потужності

Завдяки нелінійним характеристикам сонячного масиву існує максимальна енергія вихідна точка (Max Power Point) на її кривій. Традиційні контролери, з перемикачем технології зарядки та технологія зарядки PWM, не можна заряджати акумулятор з максимальної точку потужності, тому не можна збирати максимальну доступну енергію PV-масиву, але сонячний контролер заряду з відстеженням максимальної потужності (MPPT). Технологія може зафіксувати на місці, щоб зібрати максимальну енергію і доставити її до акумулятора.

Алгоритм MPPT постійно порівнює і коригує пераційні точки, щоб спробувати визначити точку максимальної потужності масиву. Процес відстеження повністю автоматичний і не потребує коригування користувачем показано на малюнку 1-2, крива також є характеристичною кривою масиву.

Технологія MPPT «підвищить» струм заряду акумулятора через відстеження MPP.

Припускаючи 100% ефективність перетворення Сонячної системи, таким чином, встановлюється наступна пропорція: вхідна потужність (P_{PV}) = вихідна потужність (P_{Bat}). Вхідна напруга (V_{Mpp}) * вхідний струм (I_{PV}) = напруга батареї (V_{Bat}) * струм батареї (I_{Bat}). Як правило, V_{Mpp} завжди вище V_{Bat} , Завдяки принципу збереження енергії, I_{Bat} завжди вище, ніж I_{PV} . Чим більша розбіжність між ними V_{Mpp} & V_{Bat} , тим більше розбіжність між I_{PV} & I_{Bat} . Чим більше невідповідність між масивом і батареєю, чим більше скорочення конверсії ефективність системи, тому ефективність перетворення контролера є особливо важливою для фотоелектричної системи.

На рисунку 3.4 - крива максимальної потужності, зафарбована область - це зарядний діапазон традиційного сонячного контролера заряду (PWM режим зарядки), це очевидно діагностувати, що режим MPPT може покращити використання сонячної енергії. Відповідно до нашого тесту, контролер MPPT може підвищити на 20% -30% ефективність порівняно з ШІМ-контролером. (Значення може бути флуктуаційним через вплив навколишнього середовища та втрати енергії.)

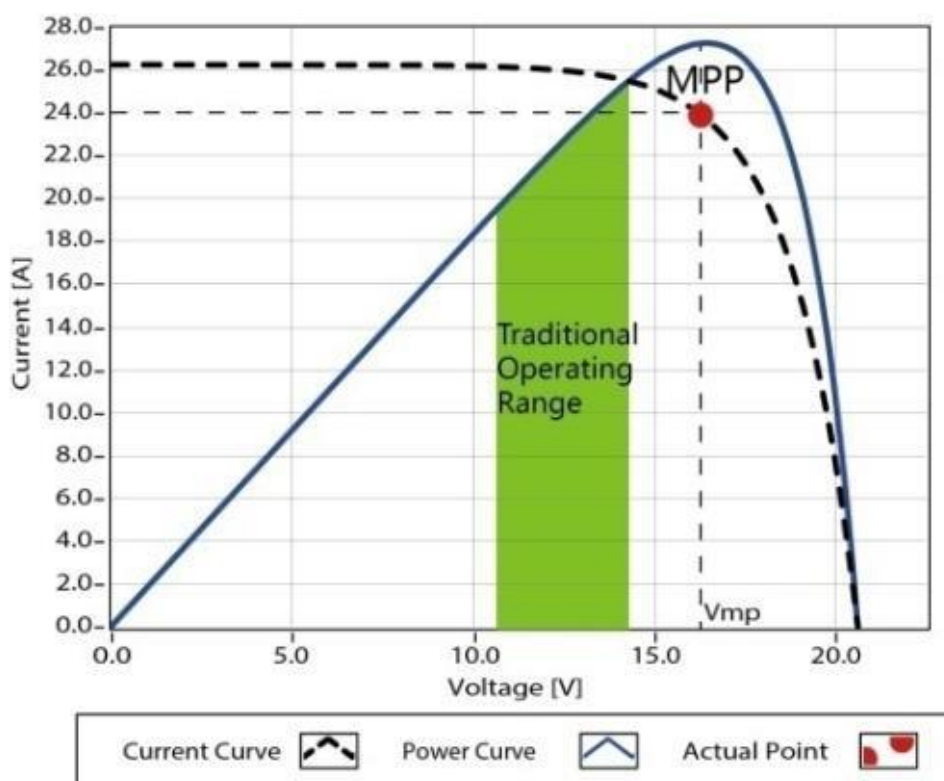


Рисунок 3.4 Крива максимальної потужності

У реальному застосуванні, від затіненні від хмари, дерева і снігу, з'являються Multi-MPP, але насправді є тільки одна реальна максимальна потужність. Як показано на рисунку 3.5

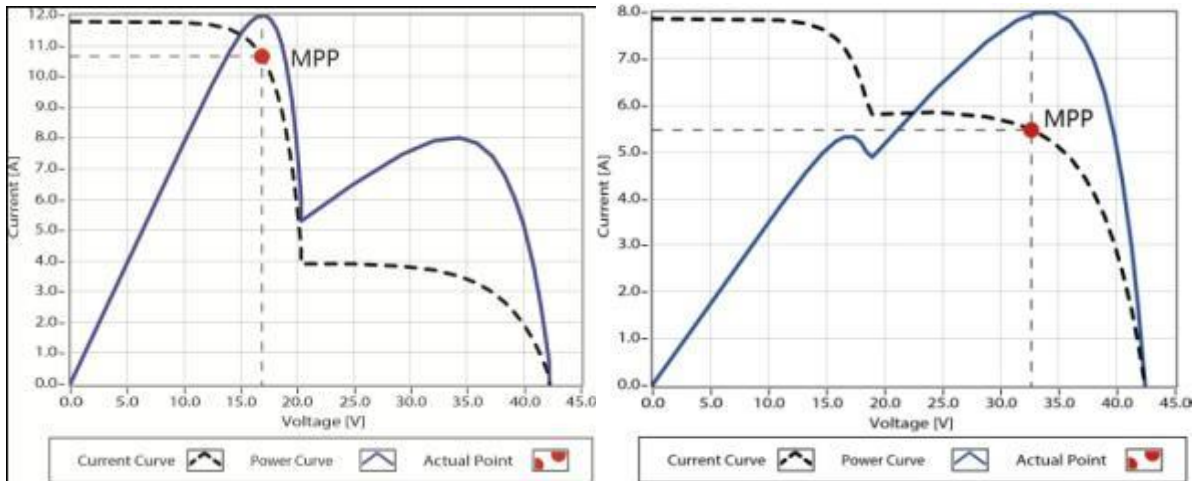


Рисунок 3.5 Крива Mutil-MPP

Якщо програма працює неправильно після появи Multi-MPP, система не зможе працювати на справжній точці максимальної потужності, яка може витратити більшу частину сонячної енергії і серйозно вплинути на нормальну роботу системи. Типовий MPPT Алгоритм може відстежувати реальний МПП швидко і акуратно покращить коефіцієнт використання масиву.

Етап заряджання акумулятора

Контролер має 3-ступінчастий алгоритм зарядки батареї (Bulk Charging, Constant, Зарядка та зарядка поплавців) для швидкої, ефективної та безпечної зарядки акумулятора.

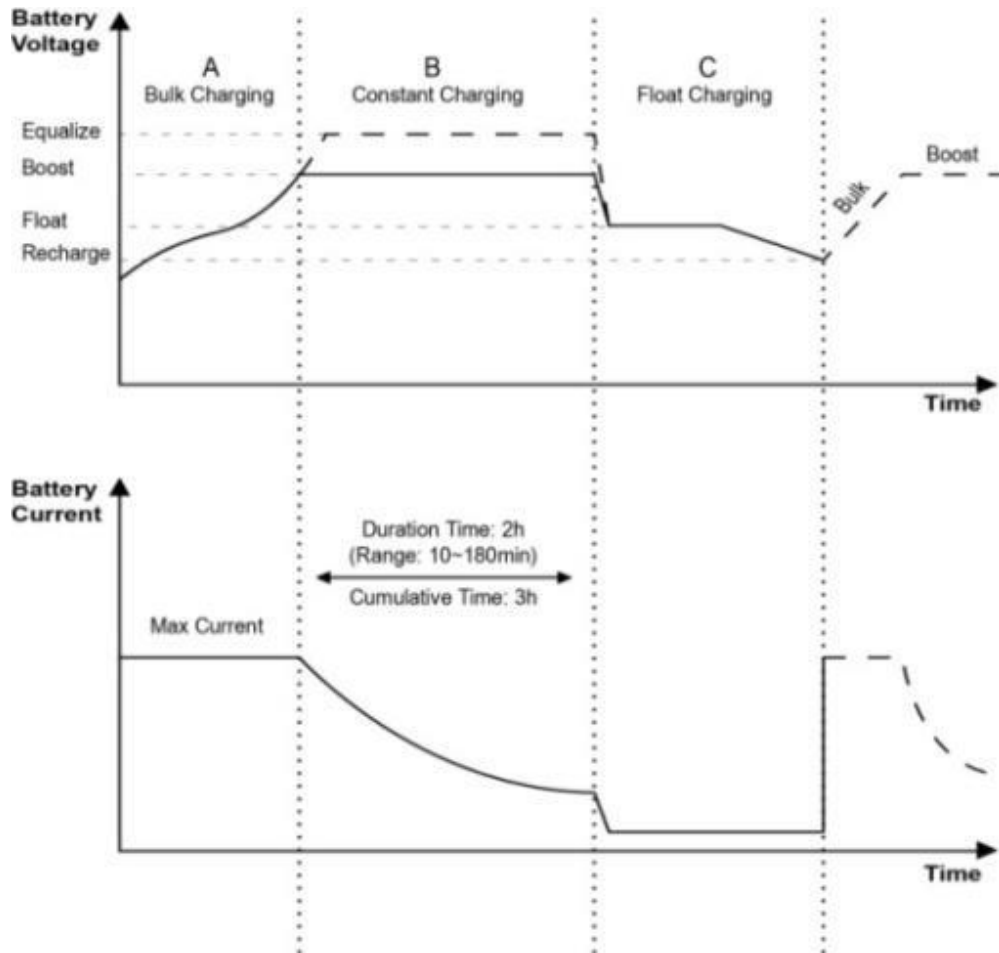


Рисунок 3.6 – Етапи зарядки акумуляторної батареї

А) Масове завантаження

На цьому етапі напруга батареї ще не досягла постійної напруги (Equalizing або Boost Voltage), контролер працює в режимі постійного струму, доставляючи його максимальний струм до батарей (MPPT зарядка).

В) Постійна зарядка

Коли напруга батареї досягає заданого значення постійної напруги, контролер буде працювати в режимі постійної зарядки, цей процес вже не MPPT зарядка, а тим часом зарядний струм поступово зменшиться процес не є зарядом MPPT. Постійна зарядка має 2 етапи, вирівнювання і підвищення. Ці два етапи не виконуються постійно в повному обсязі процес заповнення, щоб уникнути надмірного випадання газу або перегріву акумулятора.

Char Підвищення заряду

Функція «Boost» підтримує 2 години за замовчуванням, користувач може регулювати постійний час і задане значення напруги відповідно до попиту,

використовується для запобігання нагрівання та надмірного газів батареї.

3.1.2 Фотовольтаїчні панелі полікристалічного типу Q.SMART UF L 105

Лабораторний стенд виконаний на базі фотовольтаїчних панелей полікристалічного типу Q.SMART UF L 105 (див. табл. 3.2) у кількості трьох одиниць. Принцип роботи фотовольтаїчних панелей полягає у перетворенні енергії фотонів сонячного випромінювання у електричну енергію за допомогою фотовольтаїчного ефекту. Перетворення відбувається у фотовольтаїчному елементі (photovoltaic cell), що використовує напівпровідникову технологію. Зазвичай, для фотовольтаїчних елементів використовуються матеріали, що в своїй основі мають монокристалічний кремній, полікристалічний кремній, аморфний кремній, телурид кадмію а також селенід міді-індію.

Таблиця 3.2 – Характеристики PV- панелі Q.SMART UF L 105

Номінальна потужність	P_{pp}	Вт	105
Струм КЗ	I_{sc}	А	1,68
Напруга холостого ходу	V_{oc}	В	91,6
Максимальний струм	I_{mpp}	А	1,49
Максимальна напруга	V_{mpp}	В	70,5
Максимальна напруга системи	V_{sys}	В	1000 (IEC) 600(CSA/UL)
Вага	М	кг	16,5

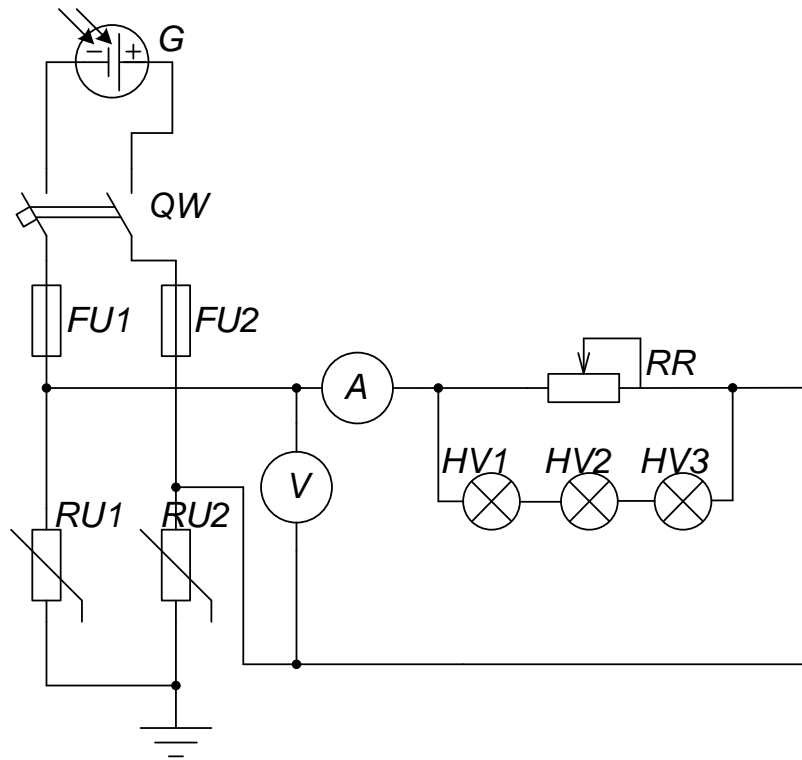


Рисунок 3.7 – Схема електрична принципова стенда по дослідженню енергетичних характеристик фотовольтаїчних панелей

3.2 Аналіз отриманих під час експерименту даних

Під час експериментальних досліджень використовувалось програмне забезпечення Solar Station Monitor. Дана програма дозволяє в режимі реального часу спостерігати електричні параметри, веде статистику показників відповідно заданому інтервалу у часі.

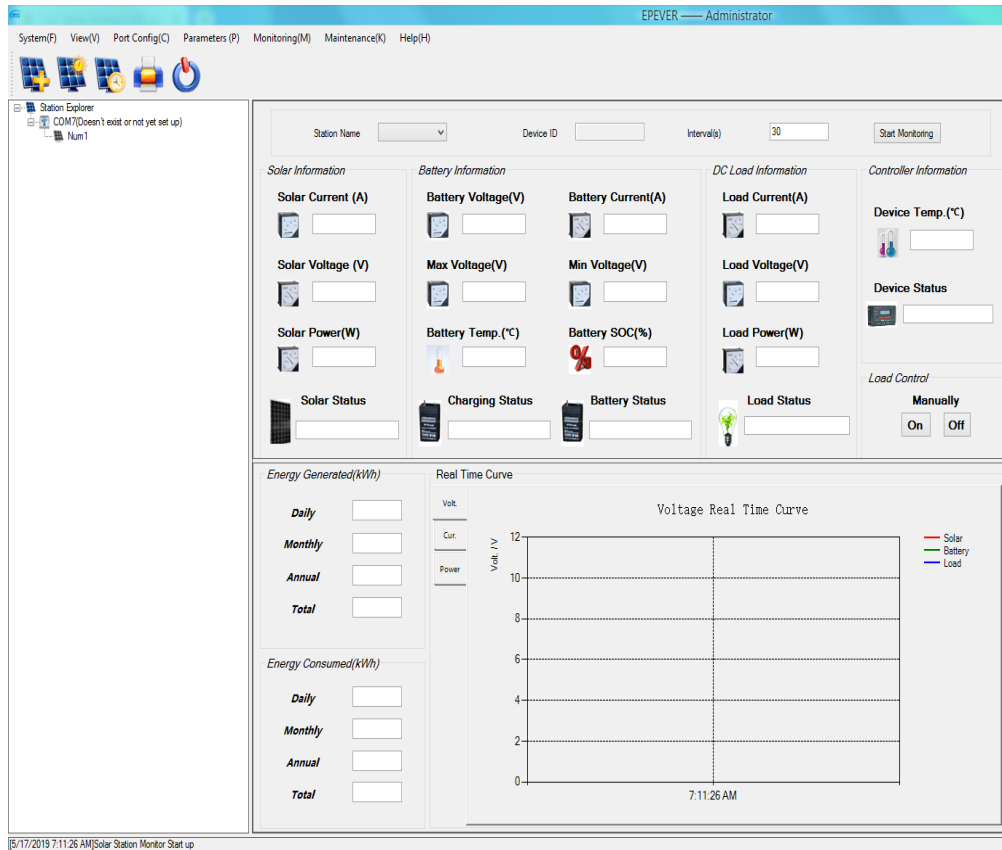


Рисунок 3.8 – Вікно налаштування моніторингу стану сонячної електростанції

3.2.1 Робота станції в режимі холостого ходу

Режим холостого ходу- це робота електротехнічного пристрою у ненавантаженому стані тобто, коли вихідне навантаження дорівнює нулю. Це загальне поняття, в електротехніці і такий термін означає стан будь-якого пристрою, при якому відсутнє навантаження на виході (опір електричного навантаження є нескінченно великим, через відсутність підключення навантаження до даного пристрою, відсутній крутний момент на вихідному валу електродвигуна тощо).

Комірки: «Load Current (A)»- Струм навантаження; «Load Voltage»- напруга навантаження; Load Power (W)- споживана потужність. Див. рис 3.9

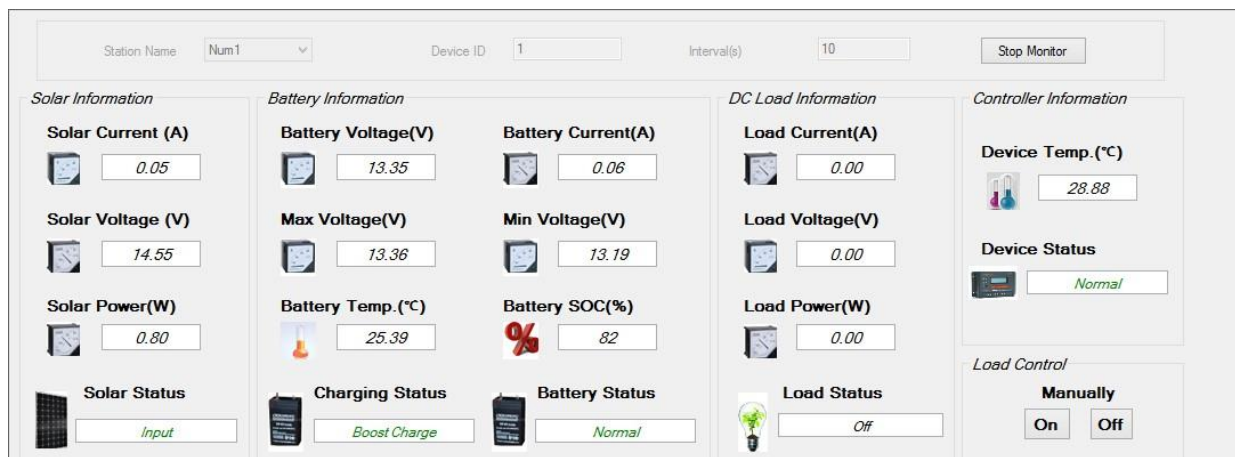


Рисунок 3.9 Параметри системи (в режимі холостого ходу)

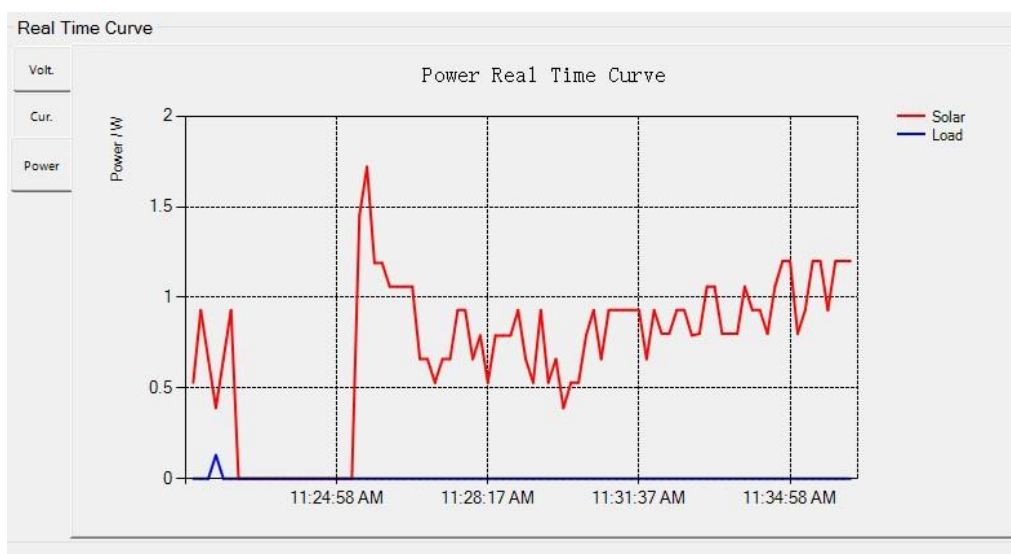


Рисунок 3.10- Крива потужності (в режимі холостого ходу)

На рис. 3.10 зображено фрагмент графіку роботи системи в реальному часі, а саме зміну показників сонячної активності. Навантаження відсутнє.

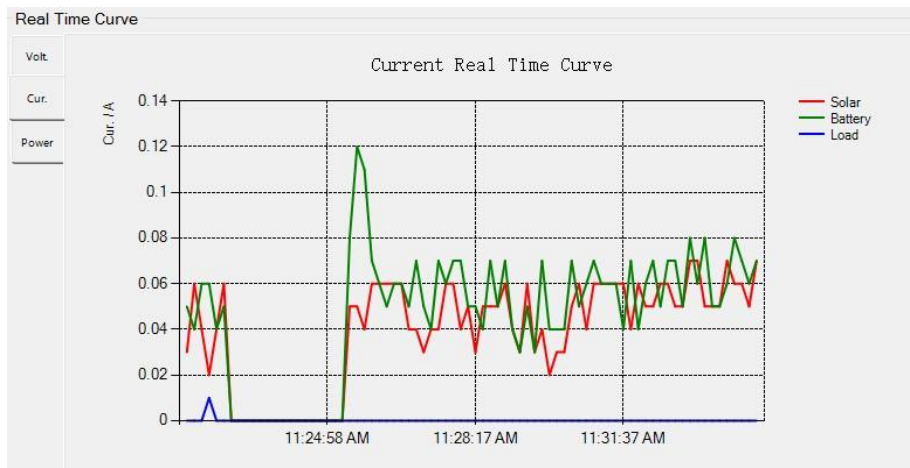


Рисунок 3.11- Крива струму (в режимі холостого ходу)

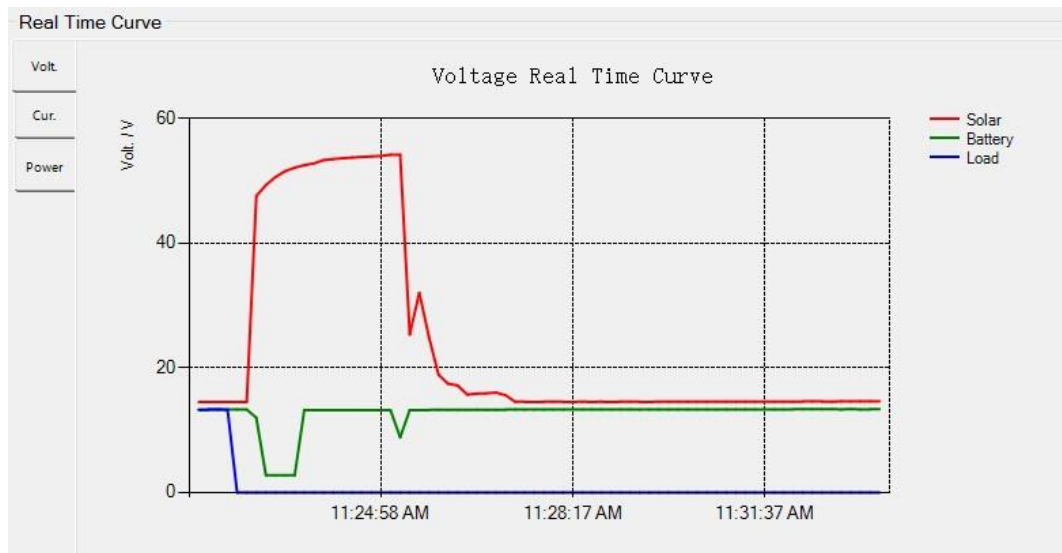


Рисунок 3.12- Крива напруги (в режимі холостого ходу)

3.2.2 Робота станції з навантаженням

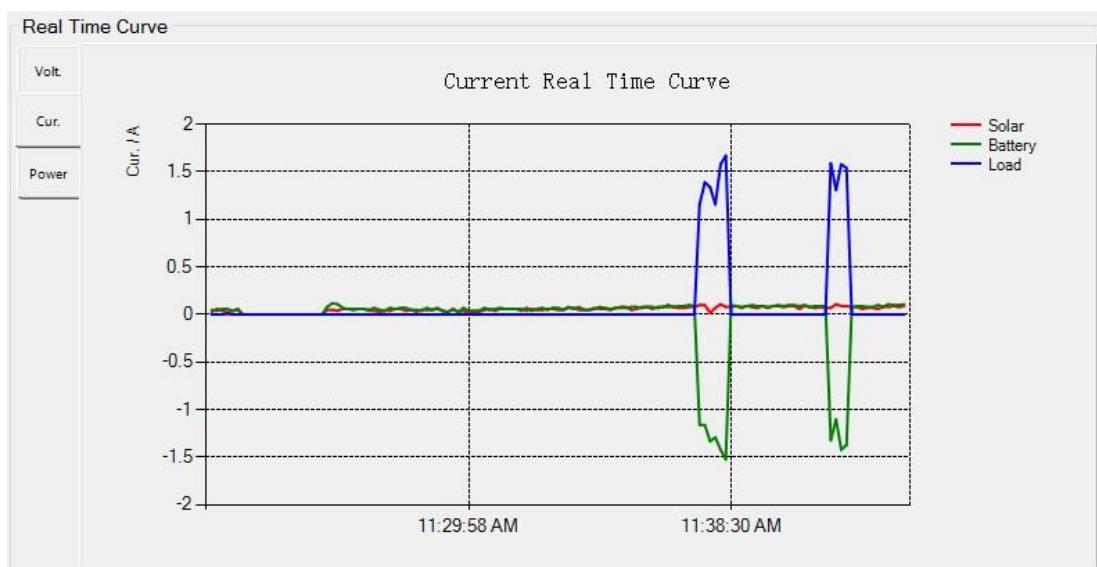


Рисунок 3.13- Крива струму (з навантаженням)

На рис. 3.13 показано фрагмент графіку роботи системи в реальному часі. Було два увімкнення- вимкнення навантаження. Майже симетрично навантаженню розряджається АКБ, так як сонячної активності замало, щоб покривати споживане навантаження. «Solar»- параметри сонячної активності, «Battery»- параметри АКБ, «Load»- параметри навантаження.

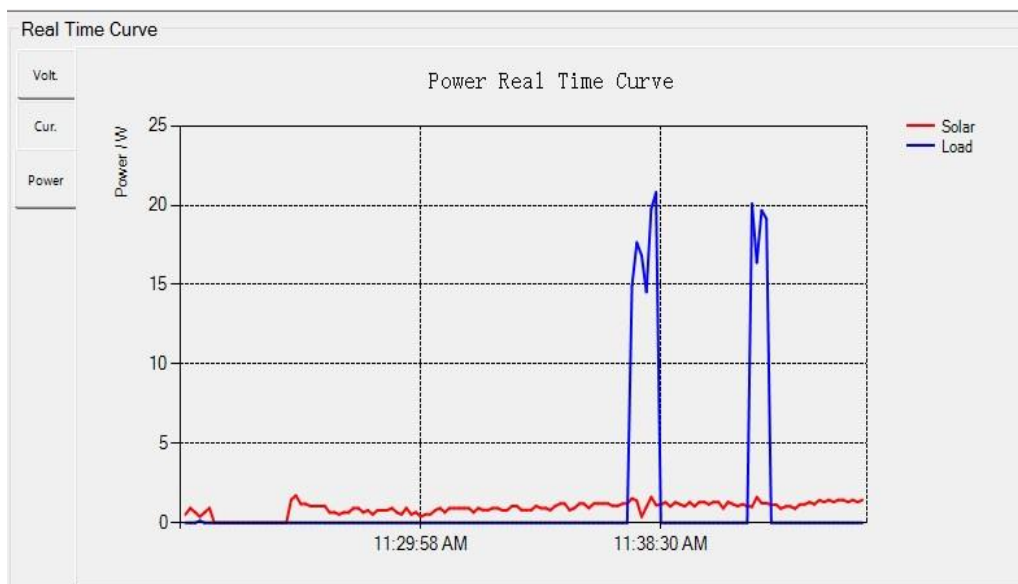


Рисунок 3.14- Крива потужності (з навантаженням)

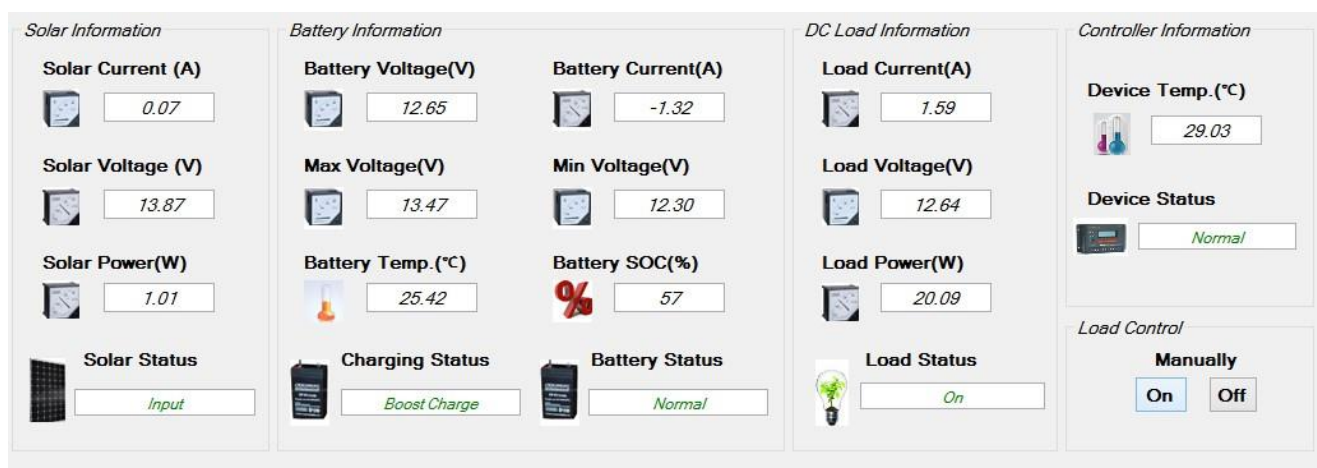


Рисунок 3.15- Параметри системи (з навантаженням)

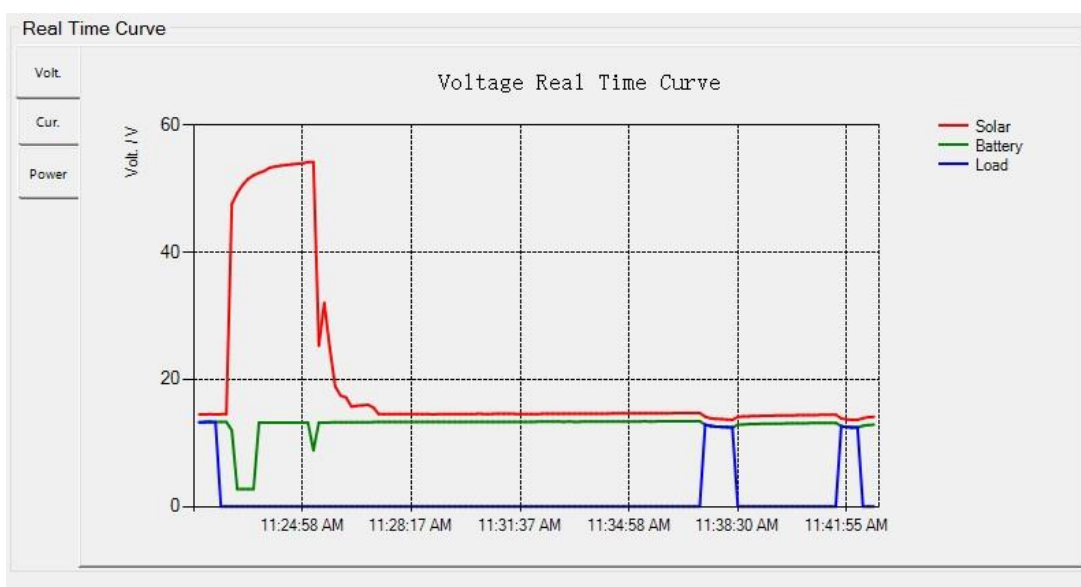


Рисунок 3.16- Крива напруги (з навантаженням)

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Перелік, кількість та ціни використаного устаткування

Ознакою сучасного підходу до проблеми енергозабезпечення виробничої і комунально-побутової сфери агропромислового комплексу є впровадження енергоощадних технологій та широке використання альтернативних джерел енергії. Фотовольтаїчні панелі – одні із генераторів альтернативних видів енергії, що перетворюють електромагнітне випромінювання в електричну енергію.

Розглянемо устаткування, яке необхідне для функціонування СЕС : – сонячні панелі. Служать для перетворення енергії сонця в електроенергію. Ця дія називається фотоелектричним ефектом. Напівпровідники (кремнієві пластини), які використовуються для виготовлення елементів, мають позитивно і негативно заряджені електрони. Зайві електрони під впливом сонячного світла вибиваються з шарів і займають порожні місця в іншому шарі. Це примушує вільні електрони постійно рухатися, переходячи з однієї пластини в іншу, виробляючи електрику; – інвертор.

Мережевий інвертор для сонячних батарей є одним з найважливіших елементів конструкції, за допомогою якого низька постійна напруга перетворюється у високу змінну напругу промислової частоти; – блок безперебійного живлення. Потрібний для устаткування та пристроїв, для яких небажане несподіване зникнення живлячої напруги. – опорна конструкція.

Конструкція з алюмінієвих профілей та елементів кріплення з нержавіючої сталі; – система моніторингу. Система моніторингу контролює параметри роботи усієї СЕС та її окремих компонентів. Допомагає виявляти несправності і запобігати нештатним ситуаціям. Система моніторингу доповнює інверторну систему і здійснює збір даних про роботу основних компонентів електростанції, ведення обліку обсягів генерації, споживання та контроль за відпуском електроенергії в загальну мережу, оперативне виявлення пошкоджень устаткування і відхилень від штатного режиму роботи, прогнозування вірогідності виникнення збоїв у роботі компонентів СЕС та пов'язаних з цим проблем, планування графіку сервісного обслуговування, ремонту та заміни обладнання, засноване на статистичних даних за минулі звітні періоди.

В даній роботі було використано оптимальне устаткування з перспективою збільшення потужностей генерації. Далі в табл. 4.1 представлено використані компоненти, їх кількість та ціни.

Таблиця 4.1- Використані компоненти, кількість та ціни

Назва	Кількість (шт/м)	Ціна (грн)	Сумма
МРРТ контроллер заряду Tracer 1210AN	1	2231	2231
Q.Smart UF L 105	3	510	1530
Труба профільна 30x20x1,2	5,6	20	112
Кутник сталевий 25x25x3	1,5	15	22,5
Комутаційне обладнання	7	50	350
Провідники	5	20	100
Електроди	15	3	45
Фарба	1	40	40
		Всього:	4430,5

4.2 Перспективи збільшення генерованих потужностей на базі лабораторного стенду.

Збільшення генерації вважається перспективним, тому що, в першу чергу повністю відповідає стратегічним напрямкам розвитку підприємства, а саме: — розробка та впровадження нових інноваційних технологічних проектів, які дозволяють підвищити ефективність виробничих процесів, знизити енергоспоживання; — раціональне та ефективне використання виробничих та допоміжних площ; — розроблення економніших методів виробництва продукції, зниження собівартості продукції на базі використання альтернативних джерел енергії. По-друге, сприятливі умови з боку країни, в якості стимулу використання альтернативної, відновлюваної енергетики – закупівля виробленої електроенергії за підвищеним «зеленим» тарифом. Зазначимо, що згідно Закону України про електроенергетику - «зелений» тариф спеціальний тариф, за яким закуповується

електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, у тому числі на введених в експлуатацію чергах будівництва електричних станцій (пускових комплексах), з альтернативних джерел енергії.

Мета інноваційного проекту – впровадження екологічно безпечної для навколишнього середовища сонячної електростанції з панелей підвищеної ефективності на поверхнях будівель, з ціллю отримання додаткового прибутку та скорочення операційних витрат. Основні напрямки інвестицій: оформлення відповідної документації, технічна оцінка об'єкту, придбання обладнання, будівельно – монтажні роботи тощо. Очікувані результати впровадження інноваційного проекту: – зниження використання невідновлюваних ресурсів; – зменшення викидів CO₂ в атмосферу; – раціональне споживання енергоресурсів та зменшення витрат на них.

Приклад станції на 8 кВт

Для розрахунків візьмемо стандарт класу Tier1. Для 8кВт станції, нам знадобляться панелі в кількості:

$$8000 \text{ Вт} / 275 \text{ Вт} / \text{шт} \approx 29,09 \text{ шт}$$

При округленні в більшу сторону вийде 30шт.

Фактична потужність станції складе:

$$275 \text{ Вт} / \text{шт.} \times 30 \text{ шт.} = 8250 \text{ Вт.}$$

З огляду на, що навіть влітку вона буде працювати на 50-60% від номіналу, різниця - не критична.

Розрахуємо площу покрівлі під електростанцію:

$$1,63 \text{ м}^2 / \text{шт.} \times 30 \text{ шт.} = 48,9 \text{ м}^2.$$

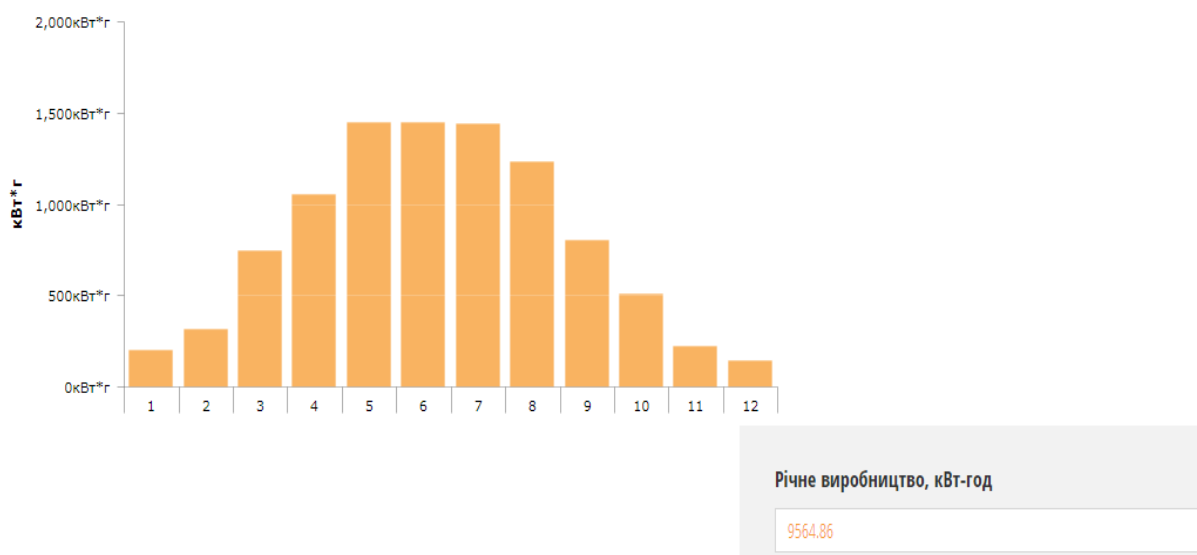


Рисунок 4.1 –Річна генерація потужності станцією 8,25кВт

Ставка «зеленого» тарифу на електричну енергію, вироблену з енергії сонячного випромінювання генеруючими установками до 30 кВт та які введені в експлуатацію: з 01 січня 2020 року по 31 грудня 2024 року. Таким чином, за кожен кіловат проданий в енергомережу потенційно можна було б отримати – 0,2 дол. США. Проте згідно національного законодавства на дану суму нараховуються податки: податок з доходів фізичних осіб – 18 %, військовий збір – 1,5 %В підсумку, на рахунок власнику «чистими» зараховується 0,163 дол. США., що в гривневому еквіваленті, станом на 20.11.2020 року, становить 4,61 грн за 1 кВт*год. Річний прибуток складе: $9564 * 4,61 = 44\ 000$ грн. Вартість СЕС на 8 кВт= $190\ 000$ грн. Термін окупності: $190\ 000 / 44\ 000 = 4.3$ років.

Джерела фінансування: проаналізувавши фінансові результати підприємства від основної діяльності за останні роки, підприємство здатне реалізувати інноваційний проект за власні кошти. Переваги поновлюваних джерел енергії в порівнянні з традиційними. Основним недоліком традиційних джерел енергії є те, що вони є невідновлюваними, а також у процесі своєї діяльності вони дуже сильно забруднюють навколишнє середовище. Сьогодні, коли екологічні проблеми стають однією з головних турбот людства, застосування різних альтернативних джерел енергії розглядається не тільки з точки зору їх потужності, вартості та економічності, а й впливу на навколишнє середовище, тому в наш час популярність набирає нетрадиційна енергетика, зокрема –

джерела альтернативної енергії. Відновлювані джерела енергетики екологічно чисті: при їх роботі практично немає відходів, викиду забруднюючих речовин в атмосферу або водойми.

Також у відновлюваних джерел енергії немає потреби у видобутку, переробці сировини та її транспортування. У більшості випадків СЕС легко автоматизуються і можуть працювати без прямої участі людини. Можливість зниження екологічного впливу на навколишнє середовище при збереженні стійкого економічного зростання крупних підприємств або країни може бути забезпечена за допомогою впровадження нових технологій альтернативної енергетики.

Висновки: у даному розділі було розглянуто техніко- економічні питання щодо створеного стенду та майбутніх перспектив розширення генерації потужностей на прикладі розрахунку станції 8кВт.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випускній кваліфікаційній роботі розробляється лабораторний стенд для дослідження ефективного споживання електроенергії, генерованої фотовольтаїчними панелями. На навчально-допоміжний персонал лабораторії, який здійснює монтаж та обслуговування фотовольтаїчних систем, згідно ГОСТ 12.0.003-74 впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1). фізичні:

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та знижена рухомість повітря;
- недостатнє природне освітлення;
- підвищений рівень вібрації;
- знижена вологість повітря;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може пройти через тіло людини;
- незахищені рухомі елементи виробничого обладнання.

2). психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

У приміщенні лабораторії, де буде встановлено стенд для дослідження фотовольтаїчні системи, для живлення споживачів використовується трифазна чотирьохпроводна мережа напругою 220 В. Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами без підвищеної небезпеки. Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при

нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

При роботі з електроустановками використовують основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмовимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Відповідно до [15] параметри мікроклімату, що нормуються: температура ($t^{\circ}\text{C}$) і відносна вологість повітря (W , %), швидкість його переміщення (м/с), потужність теплових випромінювань ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Допустимі параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт Пб) відповідно до [15] наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату відповідно до [15]

Період року	Категорія робіт	Допустима температура на робочих місцях, °C		Допустима відносна вологість на постійних та непостійних робочих місцях	Допустима швидкість руху кисню на постійних та непостійних робочих місцях, м/с
		Постійних	Непостійних		
Холодний	Середньої важкості Пб	15-21	13-23	75	не більш 0,4
Теплий	Середньої важкості Пб	16-27	15-29	70 при 25 °C	0,2-0,5

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату у приміщенні влаштовується припливно-витяжна вентиляція.

5.2.2 Освітлення робочої зони

Приміщення підстанції повинно бути забезпечене природнім освітленням, а в нічний час – електричним освітленням.

Місця, які з технічних причин не можна забезпечити природнім освітленням, повинні мати електричне освітлення. Освітленість повинна відповідати ДБН В.2.5-28-2006 “Природне та штучне освітлення”[17].

Крім робочого освітлення в підстанціях повинно бути аварійне електричне освітлення.

Робоче і аварійне освітлення, електричне устаткування і його заземлення повинні відповідати вимогам Правил улаштування електроустановок.

Характеристика зорової роботи – загальні спостереження за проведенням виробничого процесу (постійне).

Природне освітлення нормується коефіцієнтом природного освітлення – КПО
або e :

$$e = E_{\text{вн}} / E_{\text{зов}} \cdot 100\%,$$

де $E_{\text{вн}}$ – внутрішня природна освітленість у приміщенні в місці, що розглядається, лк;
 $E_{\text{зов}}$ – зовнішня природна освітленість дифузним світлом всього небосхилу, виміряна
одночасно з $E_{\text{вн}}$, лк.

Нормоване значення коефіцієнта природної освітленості визначається за
формулою:

$$e_N = e_H \cdot m_N$$

де e_N – значення КПО;

m_N – коефіцієнт теплового клімату;

N – номер групи забезпеченості природним світлом.

$$e_N = 2 \cdot 0,9 = 1,8\%$$

Характеристика зорової роботи оперативно-ремонтного персоналу – середньої
точності. Контраст об'єкту розпізнавання з фоном – середній, фон – світлий. Відповідно
до ДБН В.2.5-28-2006, розряд зорової роботи VI, підрозряд «г». При штучному
загальному освітленні освітленість – 150 лк, при комбінованому освітленні – освітленість –
300 лк.

Використовується природне освітлення верхнє і бокове. Штучне освітлення –
загальне і здійснюється за допомогою газорозрядних ламп.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним
чином, люмінесцентні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою
світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000
годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом
випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного

світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

Світильники з люмінесцентними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

Правильна експлуатація установок природного і штучного освітлення грає важливу роль для створення високого рівня освітленості в приміщеннях і економії електроенергії, що витрачається на штучне електричне освітлення.

Експлуатація електричних пристроїв включає [12]:

- регулярне очищення віконних проїм будівель від забруднень;
- своєчасну заміну перегорілих ламп і контроль за рівнем напруги в освітлювальній мережі;
- реалізацію заходів, що сприяють зменшенню забруднення скла, як, наприклад, покриття скла спеціальними прозорими плівками, що легко видаляються при очищенні тощо;
- підвищення загального рівня культури експлуатації будівель, що забезпечує чистоту повітря у приміщенні і відсутність викиду в атмосферу пилу, а також регулярне фарбування та побілку.

Очищення скла у приміщеннях, де ведуться роботи з незначними виділеннями пилу, провадяться не рідше одного разу в рік, а побілка стелі і стін приміщень не рідше одного разу в три роки [12].

Очистку світильників рекомендується проводити не рідше двох разів на місяць. Ця робота може бути доручена тільки електромонтерам і повинна провадитися при відключеній напрузі в електромережі.

5.2.3 Виробничий шум

Джерелом шуму в приміщенні лабораторії є шум від двигунів і вентиляторів.

В таблиці 4.2 наведено допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочому місці

Таблиця 5.2 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку на робочому місці.

Робоче місце	Рівні звуку тиску, в дБ в октавних полосах з середньгеометричними частотами, Гц								
	3 1 , 5	6 3	1 2 5	2 5 0	5 0 0	10 00	2000	4000	8000
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	1 0 7	9 5	8 7	8 2	7 8	75	7 3	7 1	6 9

Діючий рівень звуку в приміщенні становить 76 – 78 (А), що знаходиться в межах норми.

Захист від шуму повинен досягатись розробкою шумобезпечної техніки застосуванням засобів індивідуального захисту, а також будівельно-акустичними методами.

Основні технічні міри по зменшенню шуму:

- правильність проектування масивних фундаментів під віброактивне

обладнання (дробилки, сепаратори, нагнітачі) з урахуванням динамічних навантажень;

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

* В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами боротьби з вібрацією устаткування є зниження вібрації впливом на джерело збудження, відхилення від режиму резонансу, динамічне гасіння коливань. Для зменшення вібрації обладнання встановлюється на гумові віброізолятори.

Існують наступні методи боротьби з вібрацією[12]:

- віброізоляційний захист (зменшення передачі вібрації від джерела збудження за допомогою віброізоляторів);
- віброгасіння (зменшення рівня вібрації від джерела збудження за допомогою введення в систему додаткових реактивних опорів);
- вібропоглинання (застосовується для зменшення вібрації кожухів, коливання яких виникає в резонансовому режимі).

Вентилятори з електроприводом установлені поза будівлями на масивні фундаменти.

5.3 Пожежна безпека

Будівля електроенергетичного корпусу, де розташована лабораторія, в якій досліджуються фотовольтаїчні системи, відноситься до I ступеня вогнестійкості. До ступеня вогнестійкості I відносяться будівлі з несучими і відгороджувачими конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетона або залізобетона із застосуванням листових та плитних негорючих матеріалів. В покриттях будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій, год.(над ризикою) і максимальні межі розповсюдження вогню по ним, см. (під ризикою) [20]:

Стіни несучі і сходові клітини – 2.5/0;

Стіни самонесучі – 1.25/0;

Стіни зовнішні ненесучі (у тому числі з навісних панелей) – 0,5/0;

Стіни внутрішні ненесучі (перегородки) – 0,5/0;

Колони – 2.5/0;

Елементи покрить: плити, настили і прогони – 1/0;

Елементи покриття: балки, ферми, арки, рами – 0,5/0.

Відстань від найбільш віддаленого робочого місця до ближчого евакуаційного виходу із приміщення безпосередньо зовні чи в сходинокву клітину не обмежується незалежно від об'єму приміщення для категорії приміщення Д і ступені вогнестійкості будови І.

5.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях.

5.4.1 Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда для дослідження ефективного споживання електроенергії в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

Дія випромінювань на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища. Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання електронне обладнання. В начинні лабораторного стенду таким обладнанням є: блок живлення, тиристори, діоди. Через це в блоках стенду можливі замикання, а відповідно і загорання електропроводки. В результаті опромінення системи в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понижується напруга пробую і опір витоку, змінюється провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах змінюються такі параметри як електрична та діелектрична провідність.

Електромагнітний імпульс являє собою велику небезпеку для електронної апаратури. Слід пам'ятати про те, що захист апаратури від механічних пошкоджень не захищає від дії електромагнітного імпульсу. Апаратура, виконана на напівпровідникових і інтегральних схемах, що працюють на малих струмах і напругах особливо нестійка до ЕМІ. Це відбувається тому, що така апаратура схильна до впливу

зовнішніх полів. ЕМІ пробиває ізоляцію, випалює елементи електросхем радіоапаратури, викликає коротке замикання в радіо пристроях, іонізацію діелектриків.

Дія електромагнітного імпульсу на обладнання лабораторного стенду може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, зокрема транзисторів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання. Тому необхідно провести дослідження по стійкості стенда до цих двох вражаючих факторів.

5.4.2 Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда для дослідження ефективного споживання електроенергії в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій стійкості роботи стенда, що розробляється, приймається допустима доза $D_{дон}(P)$ або граничне значення рівня радіації $P_{гр}(P/200)$, при яких система стенда буде нормально працювати.

Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{грi}$, для елементної бази системи, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 5.3.

Таблиця 5.4.2 – Граничні значення експозиційних доз елементів лабораторного стенда для дослідження ефективного споживання електроенергії

Елементи РЕА	$D_{гр i}, P$	$D_{гр}, P$
Інтегральні схеми	5×10^5	10^4
Резистори	10^7	
Транзистори	10^4	
Напівпровідники	10^5	
Конденсатори	10^7	
Діоди	10^4	

По мінімальному значенню допустимої дози, при якій в елементній базі виникають необоротні зміни, визначаємо границю стійкості роботи елементної бази лабораторного стенду в цілому. Проаналізувавши дані таблиці 14.1, робимо висновок, що самим

уразливим елементом системи з мінімальною дозою $D_{ep}=10^4$ Р є транзистори та діоди.

Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{осл}}, \quad (14.1)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 5,76$ Р/год);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 131400$ год (15 років));

t_n – час початку опромінення ($t_n = 1$ год);

$K_{осл}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{осл} = 2$).

$$D_m = \frac{2 \cdot 5,76 (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{2} = 2082 \text{ (Р)}.$$

Оскільки $D_{ep} > D_m$, то дана система стійка до дії радіації.

Визначимо допустимий час роботи елементної бази лабораторного стенда в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \frac{D_{ep} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (14.2)$$

$$t_d = \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 5,76 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 5,76} = 603,16 \text{ (год)},$$

Можлива доза опромінення елементної бази $D_m = 2082$ Р, а допустима - 10^4 Р, отже, система лабораторного стенду є стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи лабораторного стенда в заданих умовах становить 603,16 год., при рівні радіації 5,76 Р/год.

5.4.3 Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда для дослідження ефективного споживання електроенергії в умовах дії електромагнітного імпульсу

При дослідженні впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) на струмопровідні елементи необхідно врахувати, що ЕМІ має горизонтальну та вертикальну складові напруженостей електричного поля і тому повинні визначатися значення напруг на вертикальних та горизонтальних ділянках ліній. Так як для живлення силового обладнання використовується мережа живлення змінної напруги 220 В, а кола управління – постійної 24 В, то проведемо розрахунок стійкості роботи для обох мереж живлення. Напряга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній частині:

$$U_z = E_g \cdot L_z, \quad (5.4)$$

де E_g – величина вертикальної складової напруженості електромагнітного поля ($E_g = 9,52 \cdot 10^3$ В/м);

L_z – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи ($L_z = 1,5$ м).

$$U_z = 9,52 \cdot 10^3 \cdot 1,5 = 14280 \text{ (В)}.$$

$$U_g = E_z \cdot L_g, \quad (5.4)$$

де E_z – величина вертикальної складової напруженості електромагнітного поля (В/м);

L_g – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи

($L_g = 2$ м).

Визначаємо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_z = E_g \cdot 10^{-3}, \quad (5.5)$$

$$E_z = 9,52 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 9,52 \text{ (В/м)},$$

$$U_g = 9,52 \cdot 2 = 19,04 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустиме коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_{\text{дон}} = U_{\text{жс}} + \frac{U_{\text{жс}}}{100} \cdot N, \quad (5.6)$$

де N – відсоток допуску ($N=5\%$).

Для силового кола ($U_{\text{жс}} = 220$ В), $U_{\text{дон}} = 242$ (В).

Для кола управління ($U_{\text{жс}} = 24$ В), $U_{\text{дон}} = 25,2$ (В).

Коефіцієнт безпеки визначається за формулою:

$$K\bar{b}_{z(\epsilon)} = 20 \lg \cdot \frac{U_{\text{дон}}}{U_{z(\epsilon)}} \geq 40 \text{ [дБ]}, \quad (5.7)$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кола управління ($U_{\text{жс}} = 24 \text{ В}$):

- вертикальної: $K\bar{b}_{\epsilon} = 5,64 \text{ (дБ)}$,
- горизонтальної: $K\bar{b}_{z} = -126,75 \text{ (дБ)}$.

Отримані дані заносимо в таблицю 14.2.

Таблиця 5.4.3 – Значення коефіцієнтів безпеки РЕА системи стенду

№	Найменування блоків	$K\bar{b}_{\epsilon}$	$K\bar{b}_{z}$	Результат дії
1	Силове коло, 220 В	60,89	-71,51	Нестійке
2	Коло управління, 24 В	5,64	-126,75	Нестійке

Отже діагностичний стенд для дослідження поршневого компресора є нестійким в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості роботи обладнання, слід застосувати екранування.

5.4.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи лабораторного стенда для дослідження ефективного споживання електроенергії в умовах надзвичайних ситуацій.

Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо перехідне затухання екрану:

$$A = K\bar{b}_{\text{ном}} - K\bar{b}_{\text{мін}}, \quad (5.8)$$

де $K\bar{b}_{\text{ном}}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($K\bar{b}_{\text{ном}} = 40 \text{ дБ}$);

$K\bar{b}_{\text{мін}}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки отриманий під час розрахунків.

Для силового кола ($U_{\text{жс}} = 220 \text{ В}$):

$$A_{220\text{В}} = 40 + 71,51 = 111,51 \text{ (дБ)}.$$

Для силового кола ($U_{\text{жс}} = 24 \text{ В}$):

$$A_{24B} = 40 + 126,75 = 166,75 \text{ (дБ)}.$$

Товщину захисного екрану знайдемо за формулою:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.9)$$

де A – перехідне згукання екрану;

f – найбільш характерна частота (15 кГц).

Отже, для обладнання силового кола товщина екрану

$$t_{220B} = \frac{111,51}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,175 \text{ (см)},$$

Для обладнання кола управління товщина екрану:

$$t_{24B} = \frac{166,75}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,261 \text{ (см)}.$$

Висновки Отже в результаті дослідження стійкості роботи лабораторного стенду в умовах дії іонізуючих випромінювань було розраховано можливу дозу опромінення елементної бази, яка по своїй величині значно менша від допустимої. Отже, в умовах дії іонізуючого випромінювання система лабораторного стенду залишається стійкою.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання магістерської дипломної роботи щодо розробки лабораторного стенду для дослідження ефективного споживання електроенергії генерованої фотовольтаїчними панелями проведених розрахунків прийняті наступні рішення:

Проведено аналіз енергетичних показників і основні шляхи підвищення ефективності функціонування електротехнічних комплексів з фотоелектричними джерелами енергії, сучасний стан і основні шляхи підвищення ефективності функціонування електротехнічних комплексів з фотоелектричними джерелами енергії та їх електромагнітної сумісності в Україні та в світі. Аналіз сучасних методів моделювання складних технічних систем з фотоелектричними джерелами генерації.

В науково-дослідній частині проведено досліди на базі стенду. А саме було проведено дослідження роботи системи на холостому ходу і з навантаженням, проведено її моделювання в Solar Station Monitor. Показано вплив навантажень на параметри системи.

В економічній частині надано інформацію про створений стенд та перспективи збільшення генерації на прикладі СЕС 8кВт.

При виконанні дипломної роботи були дотримані вимоги ПУЕ, ПТЕ та інших нормативних документів щодо надійності та якості електропостачання.

Проведені досліди та створений стенд максимально забезпечить студентів електроенергетичних спеціальностей сучасним лабораторним обладнанням для вивчення комплексу фотовольтаїчної генераторної установки.

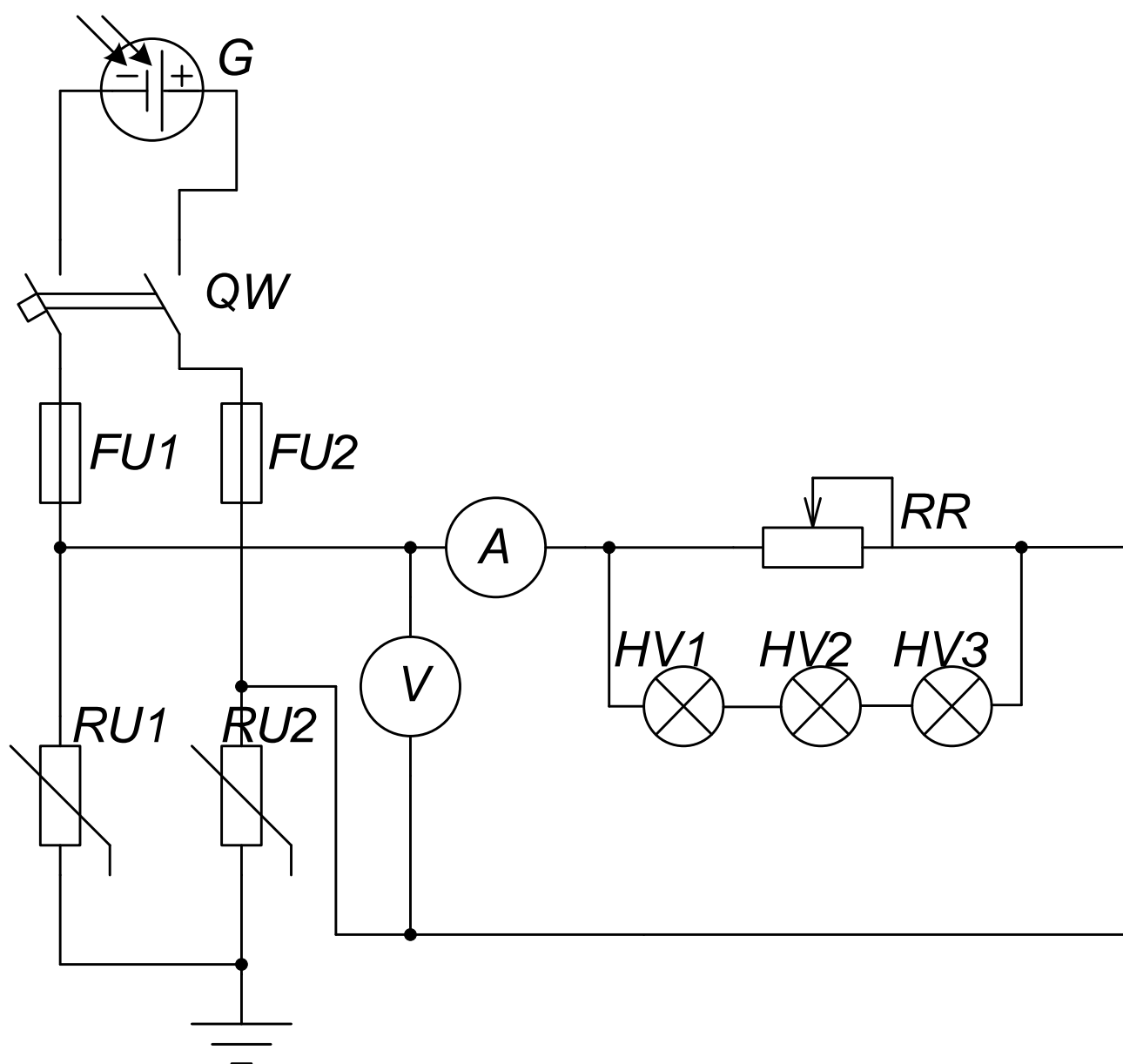
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. – 5–те вид., переробл. й доповн. – Х.: Міненерговугілля України, 2014.
2. ГОСТ 14209–97 «Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов».
3. ГОСТ 839–80 «Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия».
4. РД 153–34.0–15.501–00 «Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 1. Контроль качества электрической энергии».
5. М.Й. Бурбело «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків» Вінниця: ВНТУ, 2005р.
6. РТМ 36.18.32.4–92 – «Методика расчёта электрических нагрузок».
7. Электроснабжение: учебное пособие по дипломному проектированию / Л.С. Синенко, Т.П. Рубан, Ю.П. Попов.– Красноярск : ИПК СФУ, 2008.
8. ДСТУ ІЕС/TR 60909–4:2008 (ІЕС/TR 60909–4:2000, IDT) Національний стандарт України. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого замикання.
9. ГОСТ 12.0.003–74 – «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
10. ДНАОП 0.03–3.01–71 – «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий».
11. ГОСТ 12.1.008–83 – «Шум. Общие требования безопасности».
12. ГОСТ 12.1.012.–90 – «Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования».
13. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей /Уклад. О.В. Кобилянський, О.П. Терещенко – В.: ВНТУ, 2003.– 46 с.
14. ГОСТ 12.0.003 – 74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы.

15. ГОСТ 12.1.030 – 81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
16. ДСН 3.3.6.042–99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
17. ГОСТ 12.1.005–88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно–гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
18. ДБН В.2.5–28–2006. Природне і штучне освітлення.
19. Тарифи ПАТ "Вінницяобленерго" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.voe.com.ua/consumers/individuals/fees>
20. Кабельно–провідникова продукція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ibud.ua/ua/catalog/kabelno-provodnikovaya-produktsiya-1189>
21. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи». – ІваноФранківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2018. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2018.
22. Васильєв А.С., Боровиков Ю.С., Прохоров А.В. Спеціалізовані гібридні процесори для всережимного моделювання в реальному часі пристроїв FACTS / Енергетика очима молоді: Наукові праці III міжнародної науково-технічної конференції - Єкатеринбург, 22-26 жовтня 2012 р.
23. Hingorani N.G., Gyugyi L. "Understanding FACTS concepts and technology of flexible AC transmission systems". IEEE Pres. 1999.
24. Поссе А.В. Регулирование активной и реактивной мощности инвертора напряжения. - Известия, Энергетика, 2000.
25. MATLAB – высокоуровневых язык технических расчетов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://matlab.ru/products/matlab>
26. Н.П. Дорофеев, И.И. Карташев, В.Н. Тульский и др. Управление качеством энергии. МЭИ 2006 - 320 с.
27. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Основи енергозбереження» для студентів напряму підготовки: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Уклад. Ю. А. Лобатюк. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 43с.

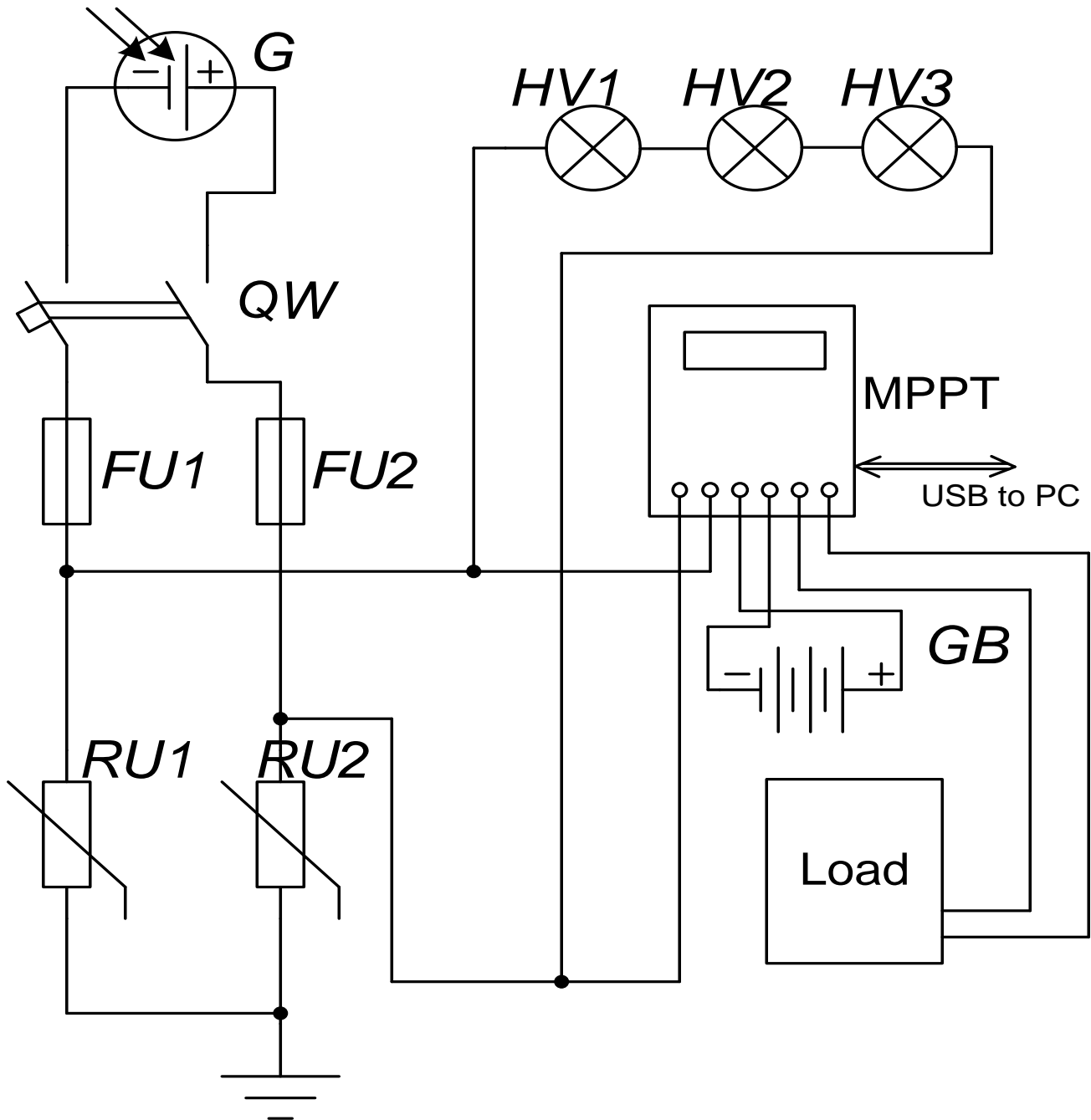
Додаток А

Схема електрична принципова стенда по дослідженню енергетичних характеристик фотовольтаїчних панелей



Додаток Б

Схема приєднання MPPT до PV- панелей



Додаток В
Фото стенду



Додаток Г

Вікно налаштування моніторингу стану сонячної електростанції та параметри системи (з навантаженням)

EPEVER — Administrator

System(F) View(V) Port Config(C) Parameters(P) Monitoring(M) Maintenance(K) Help(H)

Station Explorer
COM7(Doesn't exist or not yet set up)
Num1

Station Name: Device ID: Interval(s): Start Monitoring

Solar Information	Battery Information	DC Load Information	Controller Information
Solar Current (A) <input type="text"/>	Battery Voltage(V) <input type="text"/>	Battery Current(A) <input type="text"/>	Load Current(A) <input type="text"/>
Solar Voltage (V) <input type="text"/>	Max Voltage(V) <input type="text"/>	Min Voltage(V) <input type="text"/>	Load Voltage(V) <input type="text"/>
Solar Power(W) <input type="text"/>	Battery Temp.(°C) <input type="text"/>	Battery SOC(%) <input type="text"/>	Load Power(W) <input type="text"/>
Solar Status <input type="text"/>	Charging Status <input type="text"/>	Battery Status <input type="text"/>	Load Status <input type="text"/>
			Device Temp.(°C) <input type="text"/>
			Device Status <input type="text"/>
			Load Control Manually <input type="button" value="On"/> <input type="button" value="Off"/>

Energy Generated(kWh)

Daily
Monthly
Annual
Total

Energy Consumed(kWh)

Daily
Monthly
Annual
Total

Real Time Curve

Voltage Real Time Curve

Y-axis: Volt / V (0 to 12)
X-axis: 7:11:26 AM

Legend: Solar (Red), Battery (Green), Load (Blue)

[5/17/2019 7:11:26 AM]Solar Station Monitor Start up

Solar Information	Battery Information	DC Load Information	Controller Information
Solar Current (A) <input type="text" value="0.07"/>	Battery Voltage(V) <input type="text" value="12.65"/>	Battery Current(A) <input type="text" value="-1.32"/>	Load Current(A) <input type="text" value="1.59"/>
Solar Voltage (V) <input type="text" value="13.87"/>	Max Voltage(V) <input type="text" value="13.47"/>	Min Voltage(V) <input type="text" value="12.30"/>	Load Voltage(V) <input type="text" value="12.64"/>
Solar Power(W) <input type="text" value="1.01"/>	Battery Temp.(°C) <input type="text" value="25.42"/>	Battery SOC(%) <input type="text" value="57"/>	Load Power(W) <input type="text" value="20.09"/>
Solar Status <input type="text" value="Input"/>	Charging Status <input type="text" value="Boost Charge"/>	Battery Status <input type="text" value="Normal"/>	Load Status <input type="text" value="On"/>
			Device Temp.(°C) <input type="text" value="29.03"/>
			Device Status <input type="text" value="Normal"/>
			Load Control Manually <input type="button" value="On"/> <input type="button" value="Off"/>

