

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



В. М. Рябенський

д.т.н., професор

« 19 » червня 2026 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

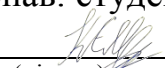
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Розробка інформаційно-вимірювальної системи лабораторного
стенду з сонячної енергетики

Виконав: студент

4321 групи

Є. М. Куліков


(підпис)

Керівник роботи:

доцент каф. ПЕЕТ, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

О. С. Дьяконов


(підпис)

м. Миколаїв – 2026 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 О. С. Дьяконов
(підпис)

«20» березня 2026 року

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

Студенту Кулікову Євгенію Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка інформаційно-вимірювальної системи лабораторного
стенду з сонячної енергетики

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

затверджені наказом ректора №286-УЧ від 22 квітня 2026 р..

2. Термін подання роботи: «09» червня 2026 року

3. Вихідні дані по роботі: вимірювані параметри – інсоляція,
температура сонячних панелей (4 од.), напруга та струм фотоелектричних ланцюгів
(2 од.); організація обміну даними – інтерфейс RS485 та протокол Modbus RTU;
мікроконтролерна плата – Arduino UNO/Nano, модуль індикації даних – GMG12864-
06D на базі контролера ST7565R.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів) _____

Опис лабораторного стенду та формування технічних вимог до інформаційно-вимірювальної системи; Розробка апаратної частини інформаційно-вимірювальної системи; Розробка програмної частини інформаційно-вимірювальної системи; Охорона праці під час експлуатації інформаційно-вимірювальної системи.

5. Перелік презентаційних матеріалів Мета та завдання роботи.

Технічні вимоги до розробки. Діючий лабораторний стенд.

Архітектура вимірювальної системи (схематично). Архітектура вимірювальної системи (реальний вигляд). Принципова схема модуля відображення інформації.

Дахове поле фотопанелей ФЕС. Датчики інсоляції та температури.

Алгоритм роботи контролера. Інтерфейс користувача.

Дослідження та усунення проблем. Охорона праці та безпека. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Тубальцев А. М., доцент каф екології та природоохоронних технологій		

7. Дата видачі завдання «23» квітня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір теми	Не пізніше 20 березня 2026	виконано
2.	Визначення мети, завдань, об'єкта та предмета дослідження	Березень 2026	виконано
3.	Підбір і опрацювання списку використаних джерел	Березень – квітень 2026	виконано
4.	Виконання кваліфікаційної роботи	Квітень – травень 2026	
	Вступ	30 квітня	виконано
	Розділ 1	11 травня	виконано
	Розділ 2	18 травня	виконано
	Розділ 3	25 травня	виконано
	Розділ 4 (Охорона праці)	5 червня	виконано
	Висновки	5 червня	виконано
5.	Оформлення кваліфікаційної роботи	Не пізніше 8 червня 2026	виконано
6.	Підготовка доповіді і презентації	Не пізніше 16 червня 2026	виконано
7.	Підготовка до захисту	Травень – червень 2026	
	Оформлення авторського договору та заяв	Травень 2026	виконано
	Передача роботи для перевірки на плагіат	Не пізніше 9 червня 2026	виконано
	Отримання відгуку наукового керівника	Не пізніше 16 червня 2026	виконано
	Попередній захист	Не пізніше 16 червня 2026	виконано
	Отримання рецензії	Не пізніше 18 червня 2026	виконано
	Отримання допуску до захисту (підпис завідуючого кафедри)	Не пізніше 22 червня 2026	виконано
8.	Захист кваліфікаційної роботи	23-24 червня 2026 – 171	виконано

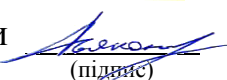
Студент


(підпис)

Є. М. Куліков

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

О. С. Дьяконов

(прізвище та ініціали)

Анотація

У кваліфікаційній роботі (проекті) розроблено інформаційно-вимірювальну систему лабораторного стенду фотоелектричної системи для дослідження режимів роботи сонячних електростанцій та систем резервного живлення. Розроблено принципову схему інформаційно-вимірювальної системи. Створено програмне забезпечення для мікроконтролера Arduino Nano, яке забезпечує збір, обробку та відображення даних через інтерфейс RS485 за протоколом Modbus RTU. Розроблена система дозволяє здійснювати вимірювання параметрів фотоелектричних модулів, температури та електричних характеристик фотоелектричних ланцюгів у режимі реального часу. Проведено аналіз умов охорони праці та розроблено заходи електробезпеки під час експлуатації лабораторного стенда. Результати роботи можуть бути використані у навчальному процесі для підготовки фахівців у галузі електроніки, енергетики та телекомунікацій.

Ключові слова: фотоелектрична система, сонячна енергетика, Modbus RTU, Arduino Nano, енергомоніторинг.

Abstract

In the qualification work (diploma project), an information and measurement system of the laboratory stand of the photovoltaic system was developed to study the operating modes of solar power plants and backup power systems. A schematic diagram of the information and measurement system has been developed. Software has been created for the Arduino Nano microcontroller, which provides data collection, processing and display via the RS485 interface using the Modbus RTU protocol. The developed system makes it possible to measure the parameters of photovoltaic modules, temperature and electrical characteristics of photovoltaic circuits in real time. The analysis of labor protection conditions is carried out and electrical safety measures are developed during the operation of the laboratory stand. The results of the work can be used in the educational process to train specialists in the field of electronics, energy and telecommunications.

Keywords: photovoltaic system, solar power, Modbus RTU, Arduino Nano, Energy Monitoring.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1. Опис лабораторного стенду та формування технічних вимог до інформаційно-вимірювальної системи	8
1.1. Основні технічні характеристики лабораторного стенду.....	8
1.2. Формування технічних вимог до інформаційно-вимірювальної системи.....	15
Розділ 2. Розробка апаратної частини інформаційно-вимірювальної системи	17
2.1. Архітектура інформаційно-вимірювальної системи.....	17
2.2. Монтаж датчиків температури на фотоелектричні модулі	21
2.3. Розробка модуля відображення інформації	23
Розділ 3. Розробка програмної частини інформаційно-вимірювальної системи	27
3.1. Загальна архітектура програми	27
3.2. Тестування програмного забезпечення	33
Розділ 4. Охорона праці під час експлуатації інформаційно-вимірювальної системи.....	41
4.1. Аналіз умов праці під час експлуатації лабораторного стенда	41
4.2. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	42
4.3. Заходи електробезпеки під час роботи з лабораторним стендом..	43
4.4. Забезпечення пожежної безпеки	44
4.5. Санітарно-гігієнічні вимоги до лабораторного приміщення	45
4.6. Розрахунок захисного заземлення лабораторного стенда.....	45
4.7. Заходи безпеки при експлуатації фотоелектричних систем	46
Висновки	48
Список використаних джерел	50
Додаток А.....	51
Код програми.....	51

ВСТУП

Сучасний розвиток відновлюваної енергетики супроводжується активним впровадженням фотоелектричних систем у побутовому, комерційному та промисловому секторах. Особливої актуальності набувають питання дослідження режимів роботи сонячних електростанцій, систем резервного живлення та систем енергомоніторингу. Для підготовки висококваліфікованих фахівців необхідним є створення сучасних лабораторних стендів, які дозволяють моделювати роботу реальних фотоелектричних систем та проводити експериментальні дослідження їх характеристик.

Об'єктом дослідження є процеси функціонування автономних, мережевих та гібридних фотоелектричних систем.

Предметом дослідження є методи побудови інформаційно-вимірювальної системи лабораторного стенда для дослідження параметрів фотоелектричних систем та засоби моніторингу їх режимів роботи.

Метою дипломного проєкту є розробка інформаційно-вимірювальної системи лабораторного стенда фотоелектричної системи з можливістю дослідження режимів роботи сонячних електростанцій, збору параметрів та їх відображення у режимі реального часу.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішувалися **такі задачі:**

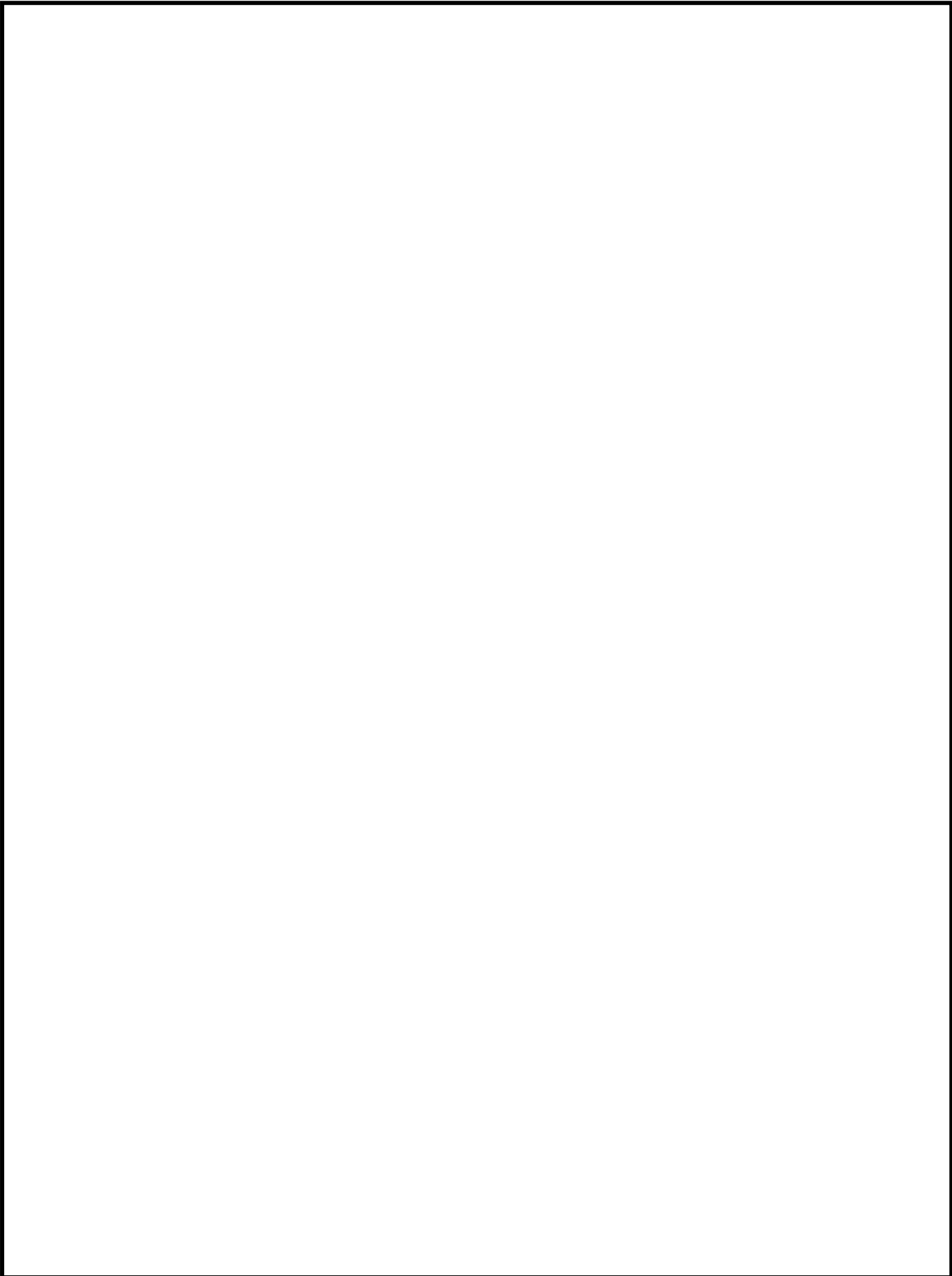
- аналіз побудови лабораторного стенду з сонячної енергетики;
- вибір компонентів інформаційно-вимірювальної системи лабораторного стенда;
- розробка електричних схем підключення обладнання;
- реалізація системи збору та обробки даних;
- створення програмного забезпечення для мікроконтролера;
- реалізація інтерфейсу відображення інформації;
- аналіз заходів охорони праці та електробезпеки.

					171.4321.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

У процесі виконання роботи використовувалися методи аналізу електричних кіл, методи цифрової обробки даних, технології Modbus RTU, методи мікроконтролерного програмування.

Практична цінність роботи полягає у створенні універсального лабораторного стенда, який може використовуватися для проведення навчальних та науково-дослідних робіт у галузі відновлюваної енергетики.

					171.4321.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



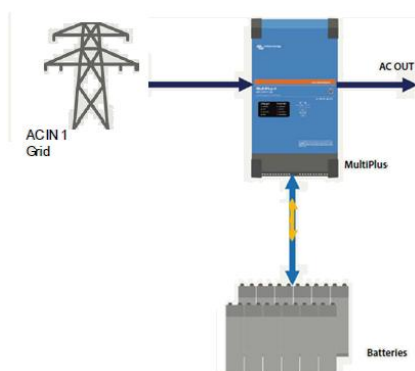
					171.4321.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Опис лабораторного стенду та формування технічних вимог до інформаційно- виміральної системи	Літ.	Арк.	Аркуші
Розробник		Куліков Є. М.		05.06.26				
Консультант							7	9
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Дьяконов О. С.		08.06.26				
Зав. каф.		Рябенський В. М.		08.06.26				

РОЗДІЛ 1. ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ТА ФОРМУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

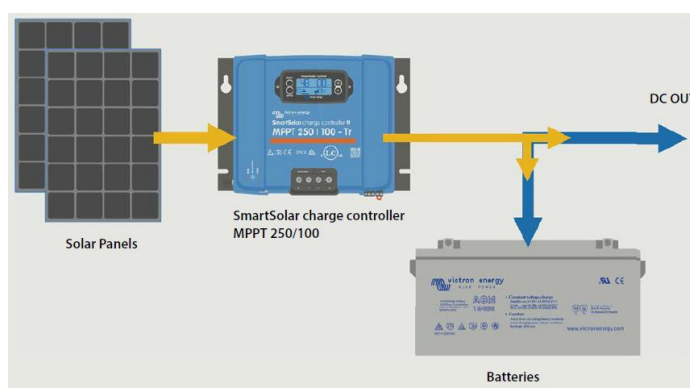
1.1. Основні технічні характеристики лабораторного стенду

Сонячна електростанція, що експлуатується на кафедрі ПЕЕТ, реалізована у вигляді лабораторного стенда, призначеного для дослідження та аналізу режимів роботи різних типів фотоелектричних систем, а саме:

- вольт-амперних характеристик фотоелектричних модулів при послідовному та паралельному з'єднанні;
- систем резервного електроживлення на базі акумуляторної батареї та інвертора MultiPlus (рис. 1.1, а);
- автономних фотоелектричних систем зі зв'язком по колу постійного струму: фотоелектричні модулі + контролер заряду + акумуляторна батарея (рис. 1, б);



а)



б)

Рисунок 1.1 – Система резервного живлення (а), автономна фотоелектрична система зі зв'язком за постійним струмом (б)

- фотоелектричні модулі + контролер заряду + акумуляторна батарея + інвертор MultiPlus (рис. 1.2, а);
- гібридних фотоелектричних систем зі зв'язком за постійним струмом: фотоелектричні модулі + контролер заряду + акумуляторна батарея + інвертор MultiPlus + електрична мережа (рис. 1.2, б);

					171.4321.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

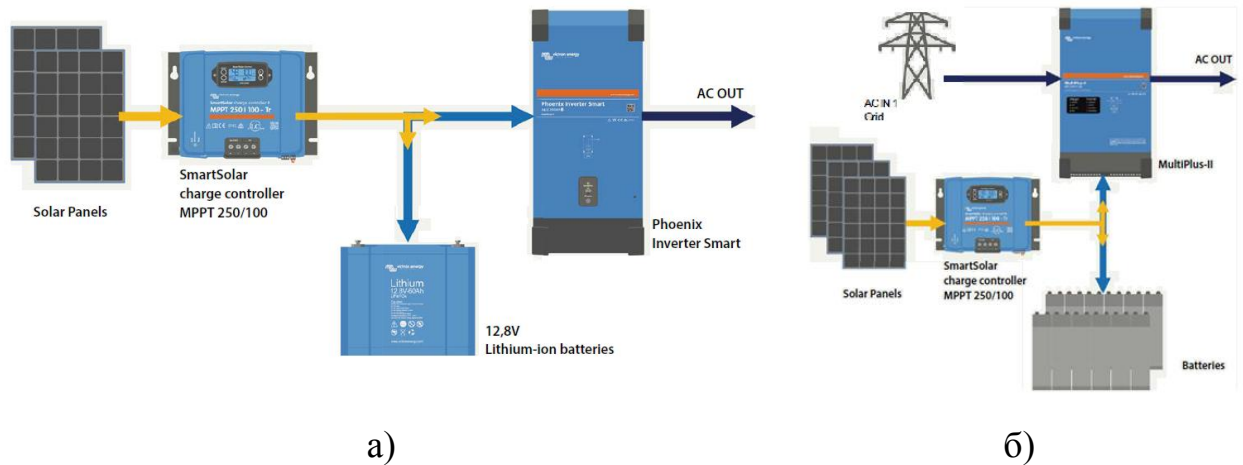


Рисунок 1.2 – Автономна фотоелектрична система зі зв'язком за постійним струмом та інвертором напруги, гібридна фотоелектрична система зі зв'язком за постійним струмом (б)

- мережевих фотоелектричних систем зі зв'язком за змінним струмом на базі мережевого інвертора Solis (рис. 1.3, а);
- фотоелектричних систем зі зв'язком за змінним струмом, що функціонують в острівному режимі: мережевий інвертор Solis + інвертор MultiPlus (рис. 1.3, б);
- мережевих фотоелектричних систем зі зв'язком за змінним струмом, що працюють паралельно з електричною мережею: мережевий інвертор Solis + інвертор MultiPlus + електрична мережа (рис. 1.3, в);
- систем локального та віддаленого моніторингу з використанням технічних засобів виробників Victron та Solis.

Зовнішній вигляд лабораторного стенда наведено на рис. 1.4. Стенд оснащений вимірювальними приладами для контролю напруги, струму, активної та реактивної потужності, а також коефіцієнта потужності. Конструкція стенда забезпечує можливість оперативної зміни топології досліджуваної фотоелектричної системи безпосередньо з лицьової панелі.

Крім того, передбачено можливість реєстрації осцилограм струмів і напруг. Вимірювання відповідних параметрів здійснюється за допомогою понижувальних вимірювальних трансформаторів струму та напруги. У верхній частині стенда розміщується обладнання виробників Victron та Solis,

що використовується для демонстрації принципів побудови сучасних фотоелектричних систем та систем енергомоніторингу.

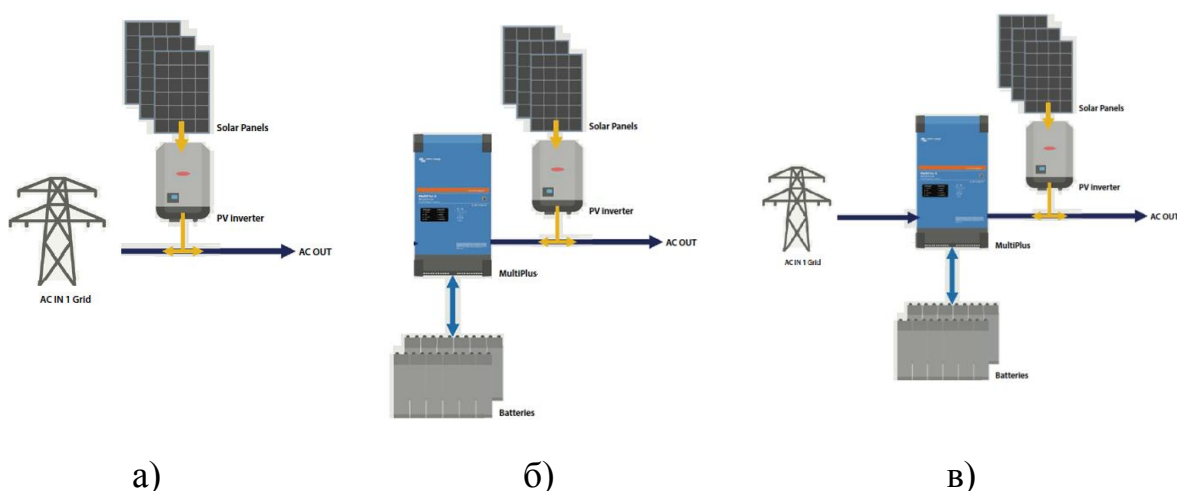


Рисунок 1.3 – Мережева фотоелектрична система зі зв'язком за змінним струмом (а), фотоелектрична система зі зв'язком за змінним струмом, що працює в острівному режимі, мережева фотоелектрична систем зі зв'язком за змінним струмом, що працює на мережу

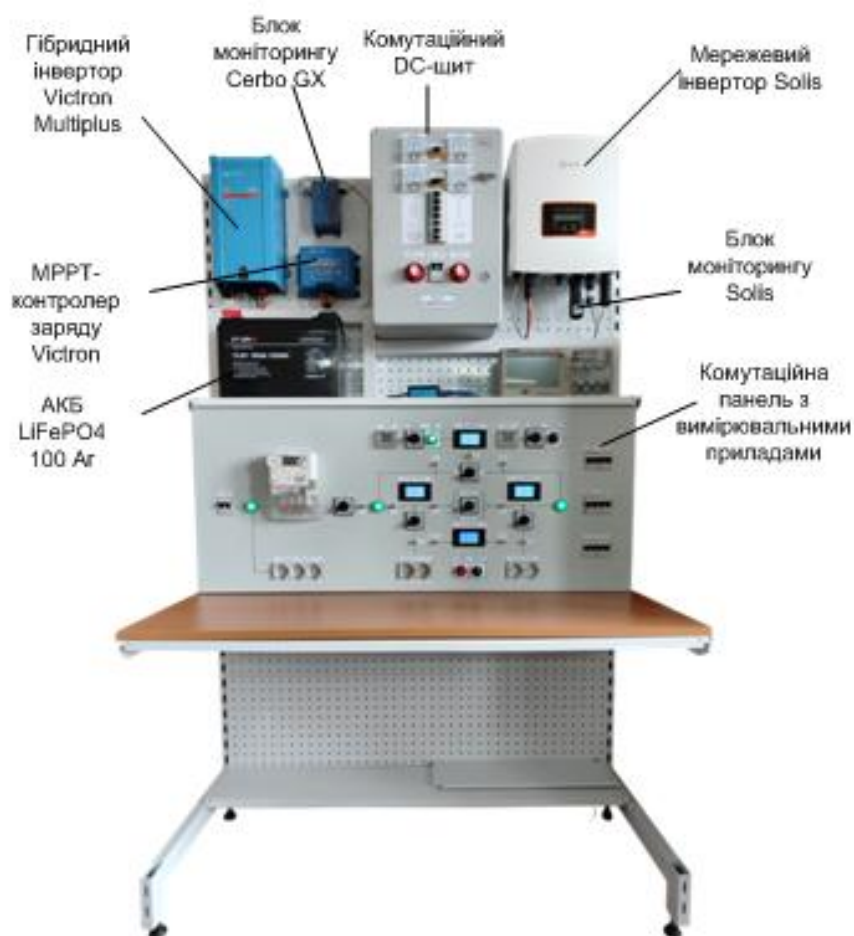


Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд лабораторного стенда

					171.4321.KP.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

До лабораторного стенда підключено два фотоелектричні ланцюги (стрінги), кожен з яких містить по дві послідовно з'єднані сонячні панелі потужністю 425 Вт типу LONGi LR5-54НТВ-425М (рис. 1.5). Комутаційний DC-щит забезпечує можливість перемикання стрінгів у послідовну або паралельну конфігурацію залежно від режиму дослідження.



Рисунок 1.5 – Розміщення фотоелектричних панелей на даху ННІАЕ

У разі послідовного з'єднання всіх фотоелектричних модулів вихідна напруга системи становить близько 130 В постійного струму, що є достатнім для роботи мережевого інвертора Solis. Для живлення низьковольтного MPPT-контролера заряду Victron MPPT фотоелектричні стрінги підключаються паралельно через діоди Шотткі. У такому режимі напруга живлення становить приблизно 65–70 В постійного струму.

Для дослідження впливу температури та рівня освітленості (інсоляції) на характеристики фотоелектричних модулів на кожній сонячній панелі

					171.4321.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

встановлено цифровий датчик температури DS18B20, а на конструкції кріплення панелей розміщено цифровий датчик інсоляції PIR-20.

DS18B20 - це поширений цифровий датчик температури (рис. 1.6), що використовує інтерфейс 1-Wire. Особливістю даного інтерфейсу є можливість підключення декількох датчиків до одного входу мікроконтролера, що спрощує побудову багатоточкових систем вимірювання температури.



Рисунок 1.6 – Датчик DS18B20 у корпусі із нержавіючої сталі

Датчик забезпечує вимірювання температури в діапазоні від -55 до $+125$ °C із типовою точністю $\pm 0,5$ °C у межах температур від -10 до $+85$ °C. Напруга живлення становить 3,0–5,5 В. Також підтримується режим «паразитного» живлення, при якому обмін даними та живлення здійснюються лише двома провідниками.

Слід враховувати, що значна частина датчиків DS18B20, представлених на популярних китайських торговельних майданчиках, є неоригінальними аналогами або підробками. Незважаючи на працездатність у простих системах, такі пристрої можуть спричиняти помилки обміну даними, особливо при великій довжині лінії зв'язку або підключенні значної кількості сенсорів до однієї шини 1-Wire.

					171.4321.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Цифровий датчик інсоляції (піранометр) PYR20, або датчик сонячного випромінювання (рис. 1.7), вимірює глобальне випромінювання як прямого, так і розсіяного сонячного випромінювання. Внутрішня температурна компенсація мінімізує похибку, спричинену нагріванням датчика. Кожен датчик калібрується за допомогою спектрального піранометра Eppley Precision Spectral Pyranometer та забезпечує чудову точність і стабільність. Датчик застосовується для наукових досліджень, сонячної енергетики, теплиць, метеостанцій тощо.

Основні характеристики даного датчика:

- діапазон вимірювання до 2000 Вт/м², спектральний діапазон 400-1100 нм (рис. 1.8);
- вихідний інтерфейс - RS485;
- наявність температурної компенсації.



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд датчика інсоляції

					171.4321.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

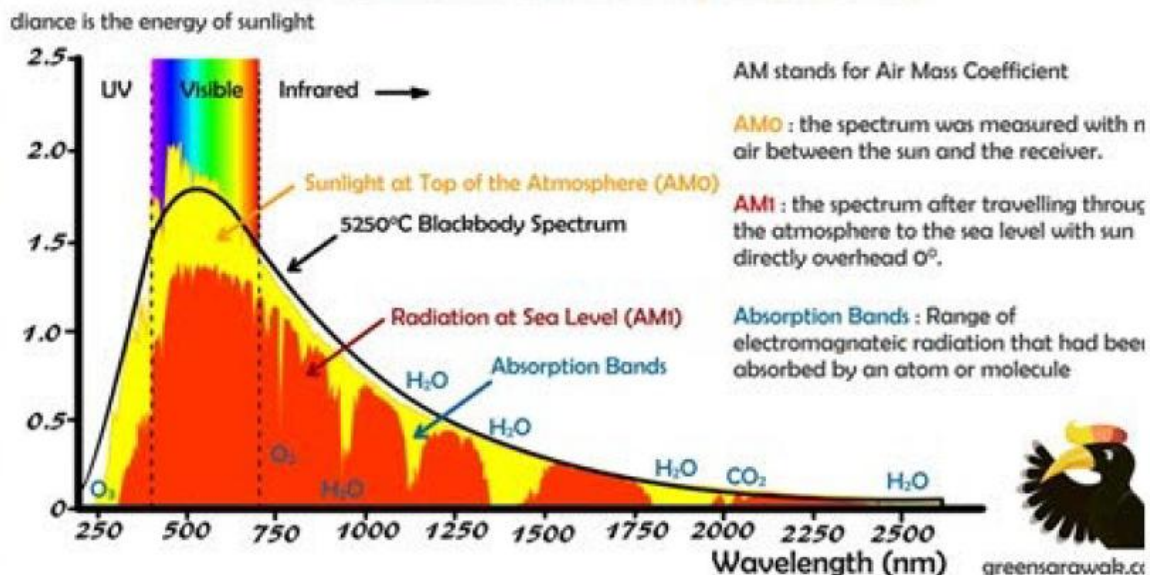


Рисунок 1.8 – Спектр сонячного випромінювання

У табл. 1.1 наведена карта Modbus-регістрів.

Таблиця 1.1 – Карта Modbus-регістрів піранометра PYR20

Параметр	Адреса регістру (HEX/DEC)	Тип даних	Код функції Modbus (DEC)	Діапазон вимірювання
Solar Radiation	0x0000 /0	UINT16 RO	3/4	0-2000 для 0-2000W/m ²
SLAVEADDRESS	0x0200 /512	UINT16 R/W	3/6/16	0-255
BAUDRATE	0x0201 /513	UINT16 R/W	3/6/16	0-6 0:1200bps 1:2400bps 2:4800bps 3:9600bps 4:19200bps 5:38400bps
PROTOCOL	0x0202 /514	UINT16 R/W	3/6/16	0 0:Modbus RTU
PARITY	0x0203 /515	UINT16 R/W	3/6/16	0-2 0:None 1:Even 2:Odd
DATABITS	0x0204 /516	UINT16 R/W	3/6/16	1 1:8 databits
STOPBITS	0x0205 /517	UINT16 R/W	3/6/16	0-1 0:1 stopbit 1:2 stopbits

Параметр	Адреса регістру (HEX/DEC)	Тип даних	Код функції Modbus (DEC)	Діапазон вимірювання
RESPONSEDELAY	0x0206 /518	UINT16 R/W	3/6/16	0-255 for 0-2550 milliseconds
ACTIVEOUTPUTIN TERVAL	0x0207 /519	UINT16 R/W	3/6/16	0-255 for 0-255 seconds.

1.2. Формування технічних вимог до інформаційно-вимірювальної системи

Розроблювана інформаційно-вимірювальна система лабораторного стенду повинна:

- мати людино-машинний інтерфейс для відображення вимірювальної інформації;
- вимірювати поточну інсоляцію сонячних панелей у Вт/м²;
- вимірювати напругу та струм двох фотоелектричних ланцюгів;
- вимірювати температуру чотирьох сонячних панелей;
- система повинна мати компактний розмір для можливості встановлення на лабораторний стенд.

Висновки до першого розділу

У першому розділі розглянуто структуру та конструкцію лабораторного стенду з сонячної енергетики. Зазначено, що для здійснення лабораторних досліджень стенд необхідно доповнити інформаційно-вимірювальною системою, за допомогою якої можна вимірювати інсоляцію сонячних панелей, їхню температуру, струм та напругу двох фотоелектричних ланцюгів.

					171.4321.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					171.4321.КР.ПЗ.Р2			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Куліков Є. М.		05.06.26	Розробка апаратної частини інформаційно-вимірювальної системи	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							16	10
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Дьяконов О. С.		08.06.26				
Зав. каф.		Рябенський В. М.		08.06.26				

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Архітектура інформаційно-вимірювальної системи

Оскільки лабораторний стенд знаходиться в 30 метрах від місця встановлення фотоелектричних модулів, то для передачі даних логічно використовувати мережевий інтерфейс RS-485. Архітектура інформаційно-вимірювальної системи наведена на рис. 2.1.

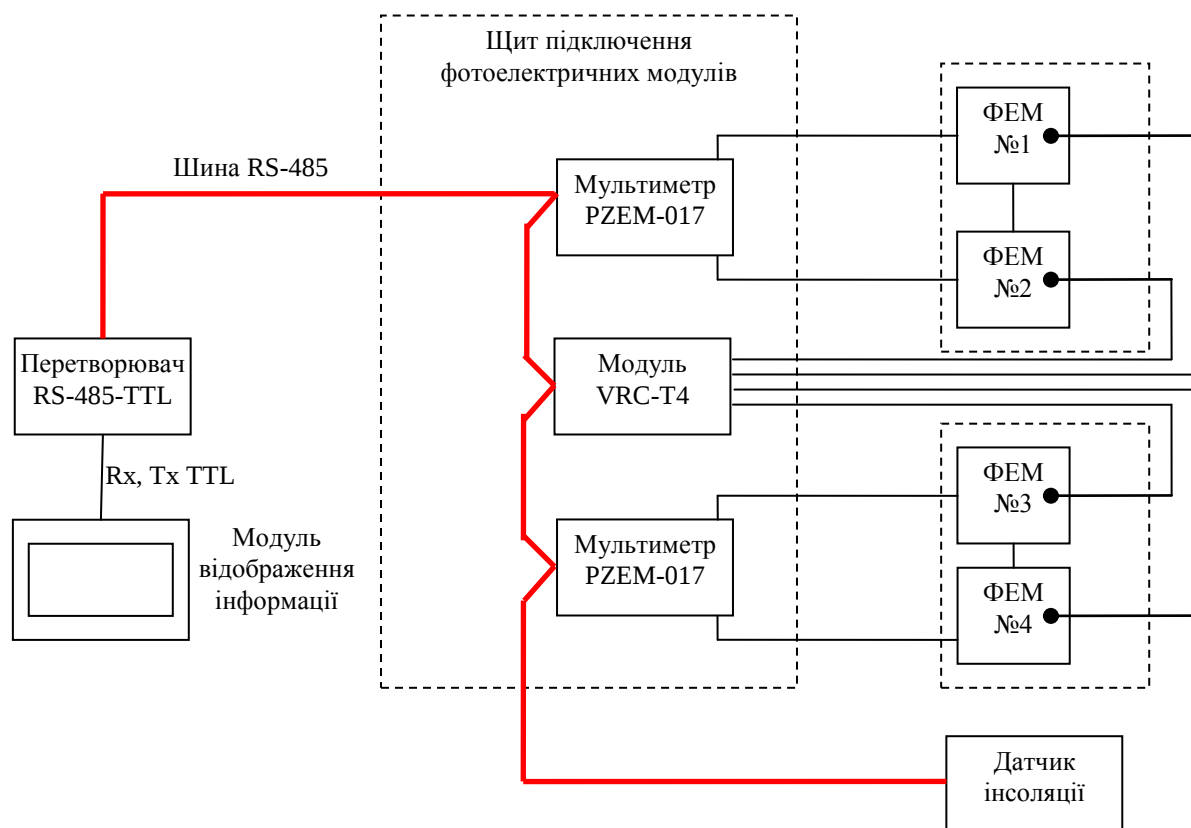


Рисунок 2.1 – Архітектура інформаційно-вимірювальної системи

Для вимірювання постійного струму та напруги фотоелектричних ланцюгів можна застосувати мультиметр PZEM-017 з підтримкою інтерфейсу RS-485 та протоколу Modbus RTU. Зовнішній вигляд мультиметра представлено на рис. 2.2. Мультиметр PZEM-017 за схемою підключення використовується з шунтом. Для нашого проєкту достатньо

обрати шунт на 50 А, оскільки струм фотоелектричного ланцюгу не буде перевищувати 15 А. Фрагмент карти Modbus-регістрів

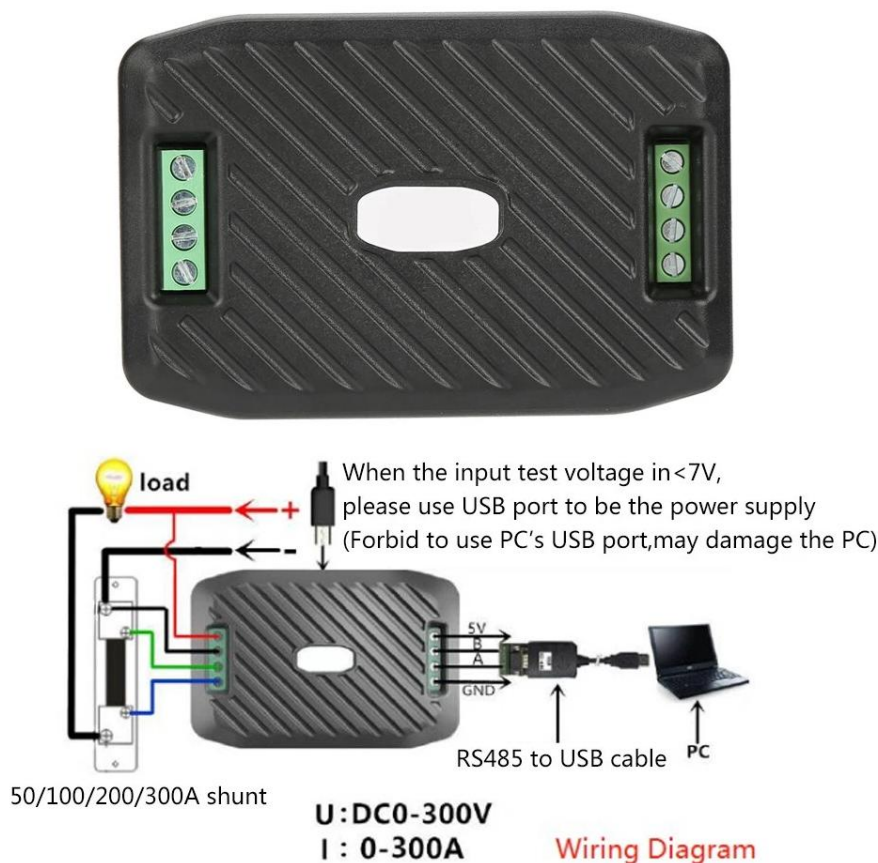


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд мультиметра PZEM-017 та типова схема підключення

Карта Modbus-регістрів мультиметра PZEM-017 наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Карта Modbus-регістрів мультиметра PZEM-017

Параметр	Адреса регістру (HEX/DEC)	Тип даних	Код функції Modbus (DEC)	Роздільна здатність
Voltage value	0x0000 /0	UINT16 RO	4	0.01 V
Current value	0x0001 /1	UINT16 RO	4	0.01 A

Для зчитування даних з чотирьох датчиків DS18B20 та передачі вимірюваних даних по протоколу Modbus RTU доцільно використовувати модуль VRC-T4 (рис. 2.3). Карта Modbus-регістрів модуля VRC-T4 наведена в табл. 2.2.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд вимірювального модуля VRC-T4

Таблиця 2.2 – Карта Modbus-регістрів модуля VRC-T4

Параметр	Адреса регістру (HEX/DEC)	Тип даних	Код функції Modbus (DEC)	Формат
T1 value	0x0000 /0	INT16 RO	4	DS18B20
T2 value	0x0001 /1	INT16 RO	4	DS18B20
T3 value	0x0002 /2	INT16 RO	4	DS18B20
T4 value	0x0003 /3	INT16 RO	4	DS18B20

Значення температури у форматі датчика DS18B20 це дані у вигляді 16 біт значення температури з точністю до 1/16 градуса та з відображенням негативної температури додатковим кодом.

Принципова схема щита підключення фотоелектричних модулів наведена на рис. 2.4. Для забезпечення гальванічної розв'язки по живленню інтерфейсу RS485 використовується блок живлення PS3. Блоки живлення PS1 та PS2 призначені для живлення мультиметрів PZEM-017. Варістори RV1 та RV2 та запобіжники FU1-FU4 захищають фотоелектричні ланцюги від перенапруг.

На рис. 2.5 представлений зовнішній вигляд щита підключення фотоелектричних модулів.

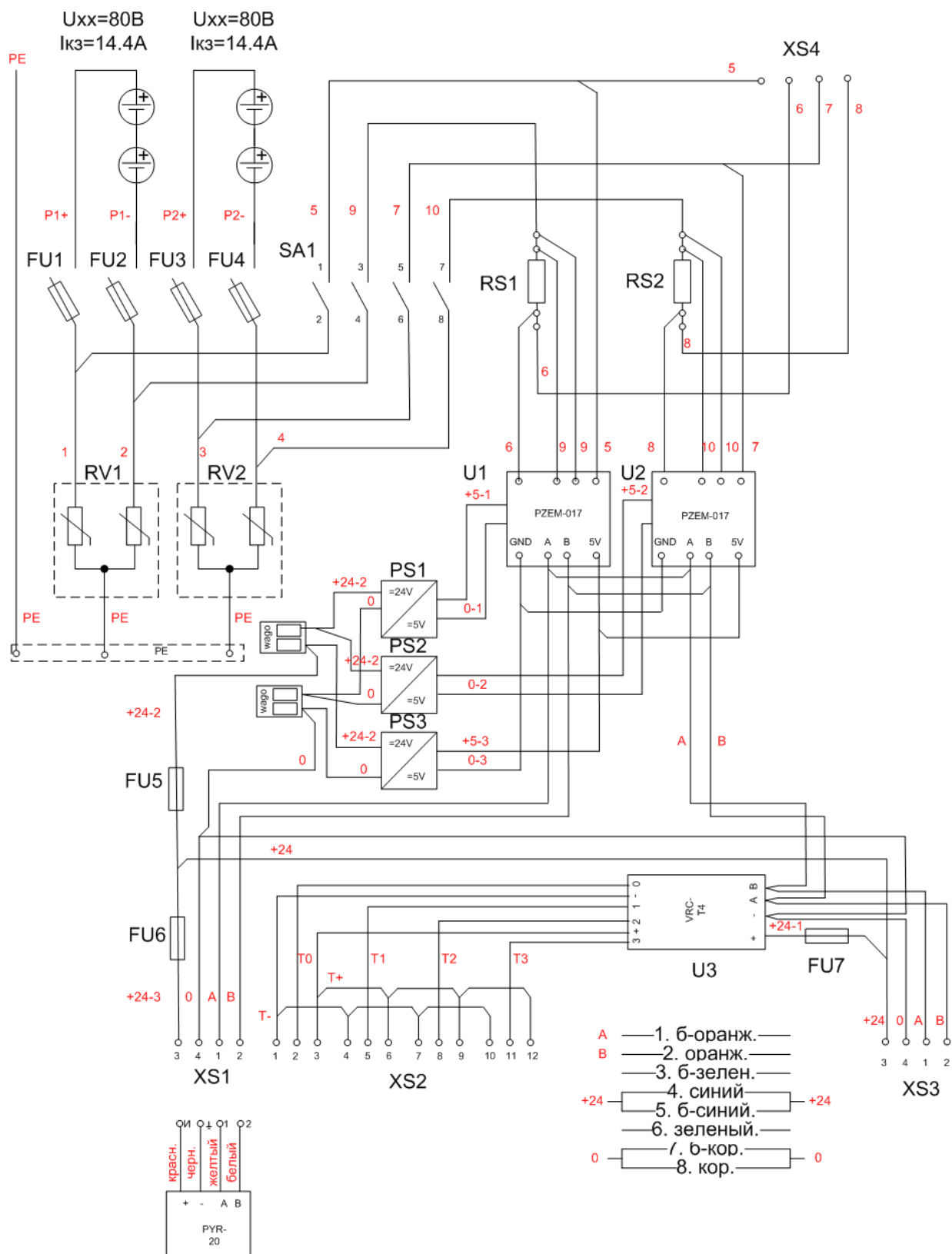


Рисунок 2.4 – Принципова схема щита підключення фотоелектричних модулів



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд щита підключення фотоелектричних модулів

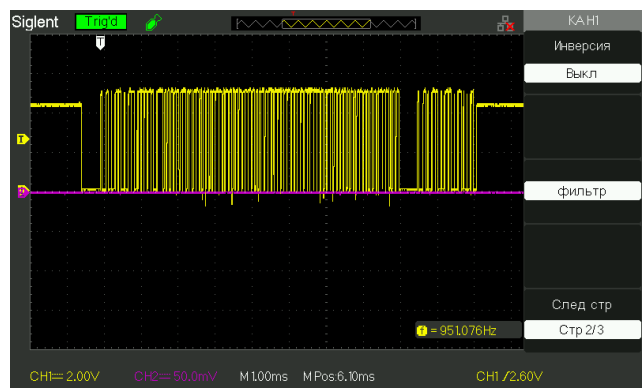
2.2. Монтаж датчиків температури на фотоелектричні модулі

Перед монтажем усі датчики температури були перевірені на працездатність у лабораторних умовах, при цьому кабельні лінії залишалися змотаними в бухти. Після встановлення датчиків на штатні місця було виявлено некоректну роботу датчика з адресою 28-41-F5-79-C0-23-07-57, підключеного до 0-го каналу вимірювального модуля VRC-T4. Даний датчик, який мав найдовшу кабельну лінію (близько 15 м), постійно передавав значення температури 85 °С.

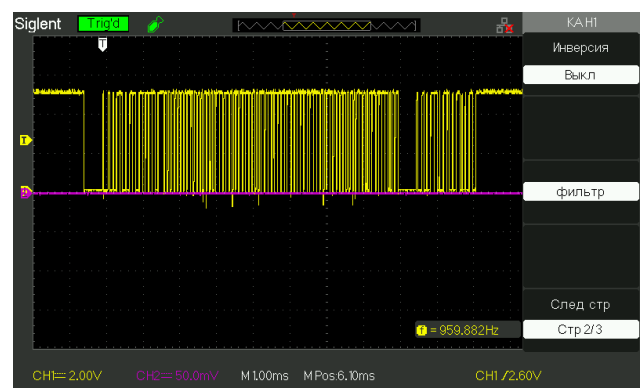
Для аналізу причин несправності були отримані осцилограми обміну даними на 0-му та 1-му каналах модуля VRC-T4 (рис. 2.4). Аналіз осцилограм показав, що у режимі очікування проблемний датчик формує рівень логічної «1» близько 4 В на інформаційній лінії, тоді як справний датчик забезпечує рівень близько 5 В. Це може свідчити про недостатній рівень сигналу на шині 1-Wire, що особливо проявляється при значній

					171.4321.KP.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		21

довжині кабельної лінії або використанні неоригінального датчика температури.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Осцилограми інформаційних сигналів з датчиків температури DS18B20 на входах модуля VRC-T4:
(а) 0-й канал (проблемний датчик), (б) 1-й канал

При підключенні датчиків температури з інших партій до кабельної лінії спостерігалось періодичне чергування коректно виміряного значення температури та фіксованого значення 85 °С. Така поведінка свідчила про нестабільну роботу датчика та його періодичну повторну ініціалізацію.

За допомогою осцилографа було виявлено наявність імпульсних перешкод у колі живлення безпосередньо поблизу датчика температури. Встановлено, що саме ці перешкоди спричиняли збої в роботі пристрою та повторний запуск процесу вимірювання.

Для усунення проблеми до лінії живлення датчика паралельно було підключено конденсатор ємністю 100 нФ. Використання конденсатора забезпечило фільтрацію імпульсних завад, стабілізацію напруги живлення та покращення якості сигналу, внаслідок чого робота датчика стала стабільною та коректною.

2.3. Розробка модуля відображення інформації

Модуль відображення інформації може бути зібраний на одній з плат Arduino, наприклад, Arduino UNO. У якості дисплея застосовується монохромний графічний модуль GMG12864-06D.

GMG12864-06D - це графічний модуль на основі монохромного рідкокристалічного дисплея з роздільною здатністю 128×64 пікселі, побудованого на контролері ST7565. Даний дисплей широко застосовується в електронних пристроях для відображення текстової та графічної інформації, зокрема іконок, графіків, діаграм і простих зображень.

Основні характеристики модуля:

- роздільна здатність дисплея - 128×64 пікселі, що забезпечує можливість відображення тексту та базових графічних елементів;
- тип дисплея - монохромний LCD-дисплей із синім світлодіодним підсвічуванням та світлими пікселями;
- напруга живлення – 3.3 В;
- наявність LED-підсвічування, яке забезпечує добру видимість інформації навіть за недостатнього освітлення та може регулюватися для зменшення енергоспоживання або зміни яскравості.

Для керування модулем використовуються такі сигнали:

- RS (Register Select) — вибір режиму передачі даних або команд;
- R/W (Read/Write) — вибір режиму читання або запису;
- E (Enable) — сигнал синхронізації передачі даних.

					171.4321.KP.ПЗ.P2	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Завдяки простоті підключення та достатній інформативності дисплей GMG12864-06D є зручним рішенням для побудови вбудованих систем моніторингу, вимірювання та відображення параметрів роботи електронних пристроїв.

По суті, контролер ST7565 працює з напругою 3,3 В, подача напруги 5 вольт може його пошкодити. Те саме стосується і РК-модуля, який використовується в цьому проєкті, нам слід використовувати напругу 3,3 В як для живлення, так і для сигналів керування. Підключення РК-дисплея до плати Arduino показано на рис. 2.6.

Інтерфейсний модуль RS485-TLL підключений до виводів Tx, Rx UART плати Arduino.

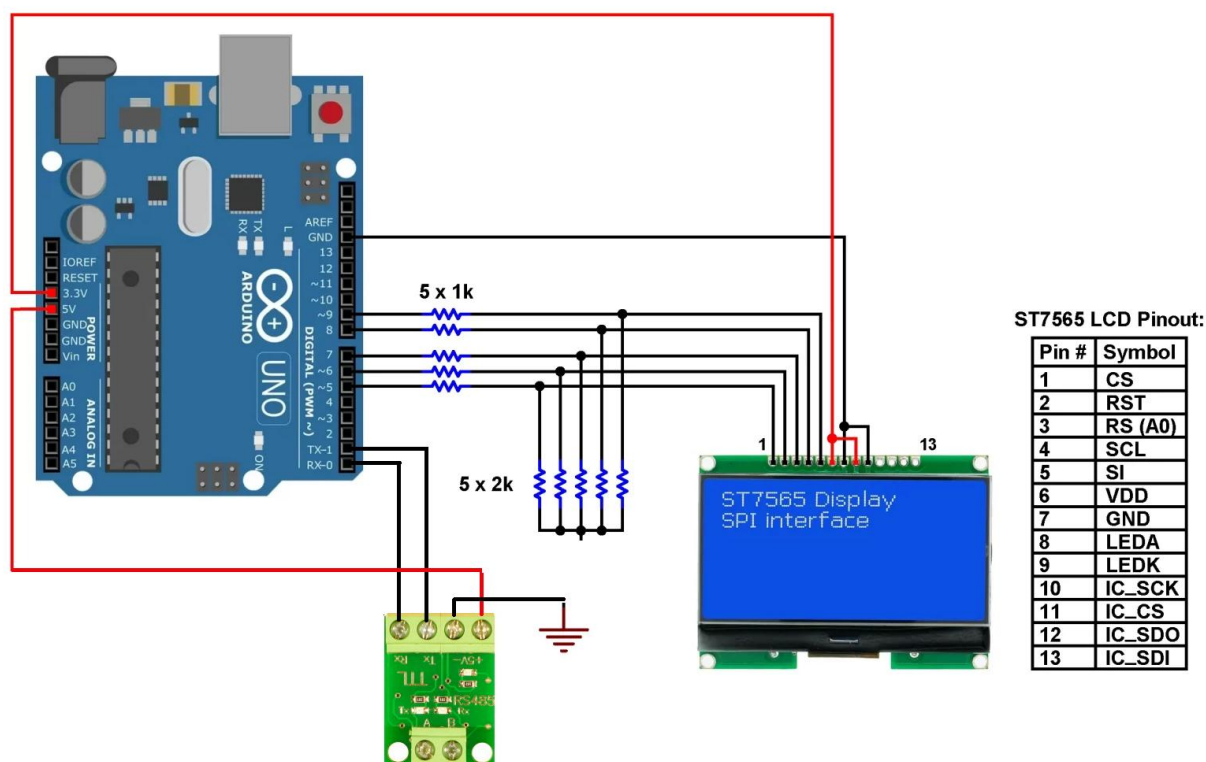


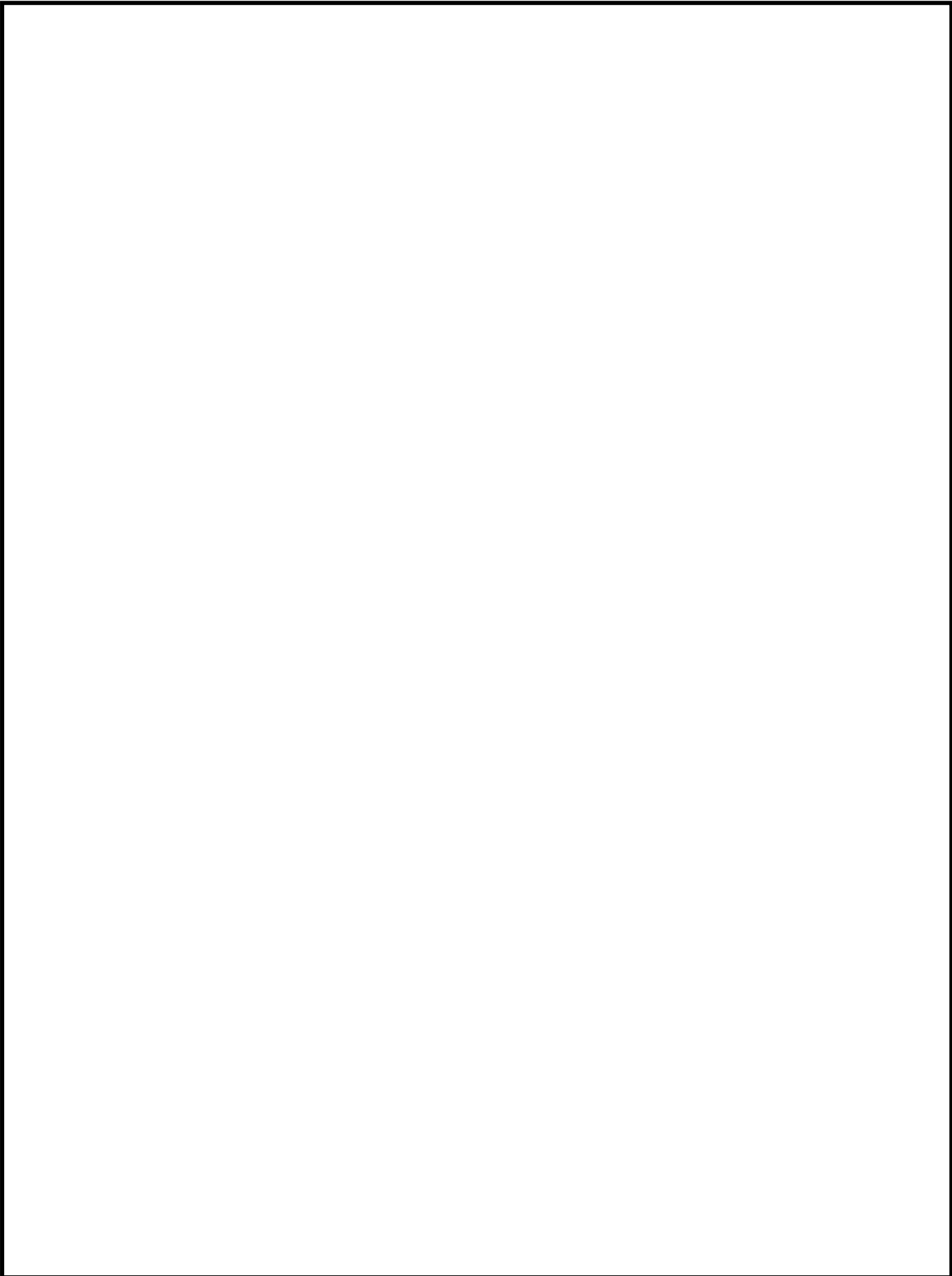
Рисунок 2.6 – Принципова схема модуля відображення інформації

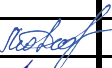
Плата Arduino UNO може отримувати живлення як по шині USB, так і від окремого блоку живлення.

Висновки до другого розділу

У другому розділі було розроблено структурну та електричну схеми інформаційно-вимірювальної системи для лабораторного стенду з сонячної енергетики. Розроблено принципову схему модуля відображення інформації на основі плати Arduino, графічного РКІ GMG12864-06D та плати перетворення інтерфейсів RS485-TTL для здійснення комунікації з вимірювальними модулями по протоколу Modbus RTU. Запропоновані технічні рішення забезпечують універсальність, масштабованість та безпечність експлуатації інформаційно-вимірювальної системи у складі лабораторного стенда.

					171.4321.KP.ПЗ.P2	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



					171.4321.КР.ПЗ.РЗ				
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Розробка програмної частини інформаційно-вимірювальної системи	Літ.		Арк.	Аркуші
Розробник		Куліков Є. М.		05.06.26				26	14
Консультант						НУК імені адмірала Макарова			
Н. контр.		Добрінова Л. П.							
Керівник		Дьяконов О. С.		08.06.26					
Зав. каф.		Рябенський В. М.		08.06.26					

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

3.1. Загальна архітектура програми

Програма для мікроконтролера Arduino Nano побудована за модульним принципом і складається з окремих функціональних блоків: ініціалізації обладнання, опитування Modbus-пристроїв, обробки отриманих даних та відображення інформації на графічному дисплеї. Основною задачею програми є циклічний збір даних із чотирьох пристроїв через інтерфейс RS485 за протоколом Modbus RTU та виведення результатів на LCD-дисплей GMG12864-06D. Для роботи з дисплеєм використовується драйвер ST7565R та бібліотека U8g2. Передача даних між контролером та зовнішніми модулями здійснюється через UART-інтерфейс зі швидкістю 9600 біт/с у форматі 8N1. Увесь код програми наведено у Додатку А.

Загальна блок-схема програми наведена на рис. 3.1.

Після запуску програми виконується функція `setup()`, у якій ініціалізуються послідовний порт, графічний дисплей та параметри Modbus RTU. Після завершення ініціалізації на дисплей виводиться стартове повідомлення. Основний цикл роботи реалізований у функції `loop()`, яка безперервно виконується під час роботи мікроконтролера. Для організації періодичного опитування використовується системний таймер `millis()`, що дозволяє уникнути застосування блокуючих затримок `delay()`.

Опитування пристроїв виконується кожні 250 мс відповідно до заданої часової послідовності. Загальна логіка опитування пристроїв продемонстрована на рис. 3.2. На першому етапі здійснюється опитування датчика інсоляції PIR-20 з Modbus-адресою 1 (рис. 3.3). Отримане значення інсоляції зберігається у змінній `insolValue`. На другому етапі виконується опитування модуля температурних датчиків VRC-T4 з адресою 2. Отримані значення температур у форматі DS18B20 перетворюються у градуси Цельсія та записуються у масив `temp[]`.

					171.4321.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

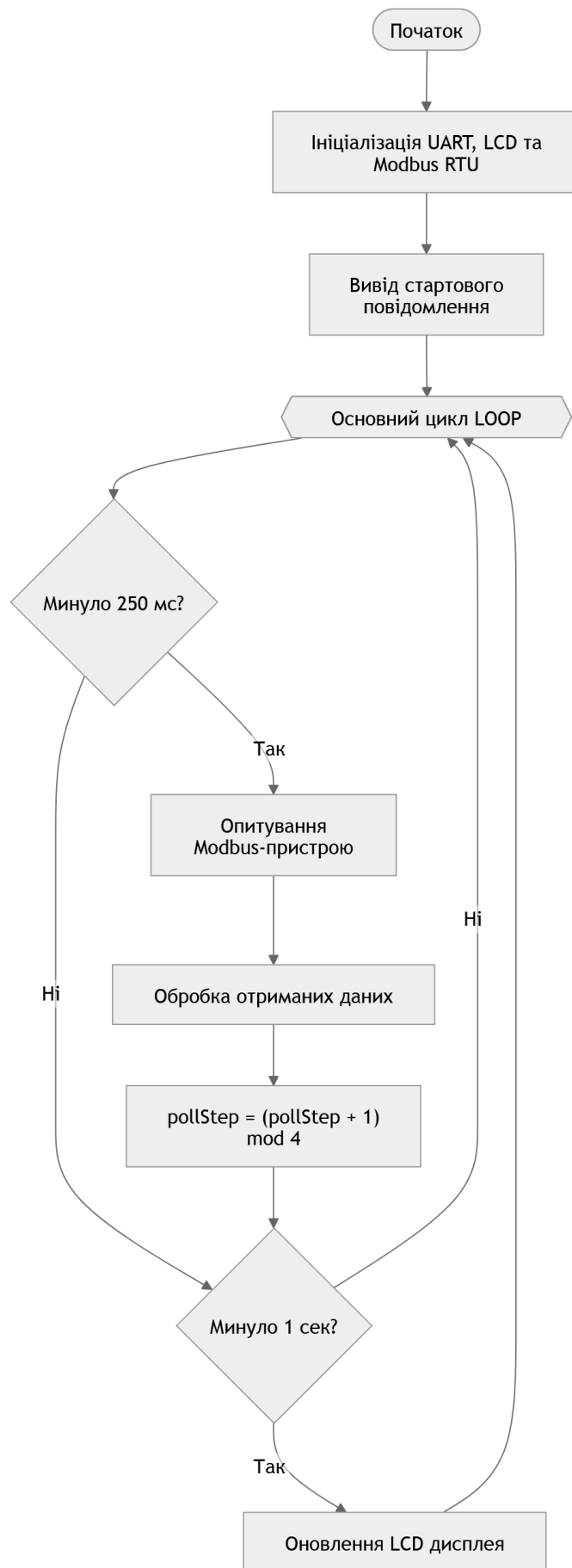


Рисунок 3.1 – Загальна блок-схема програми

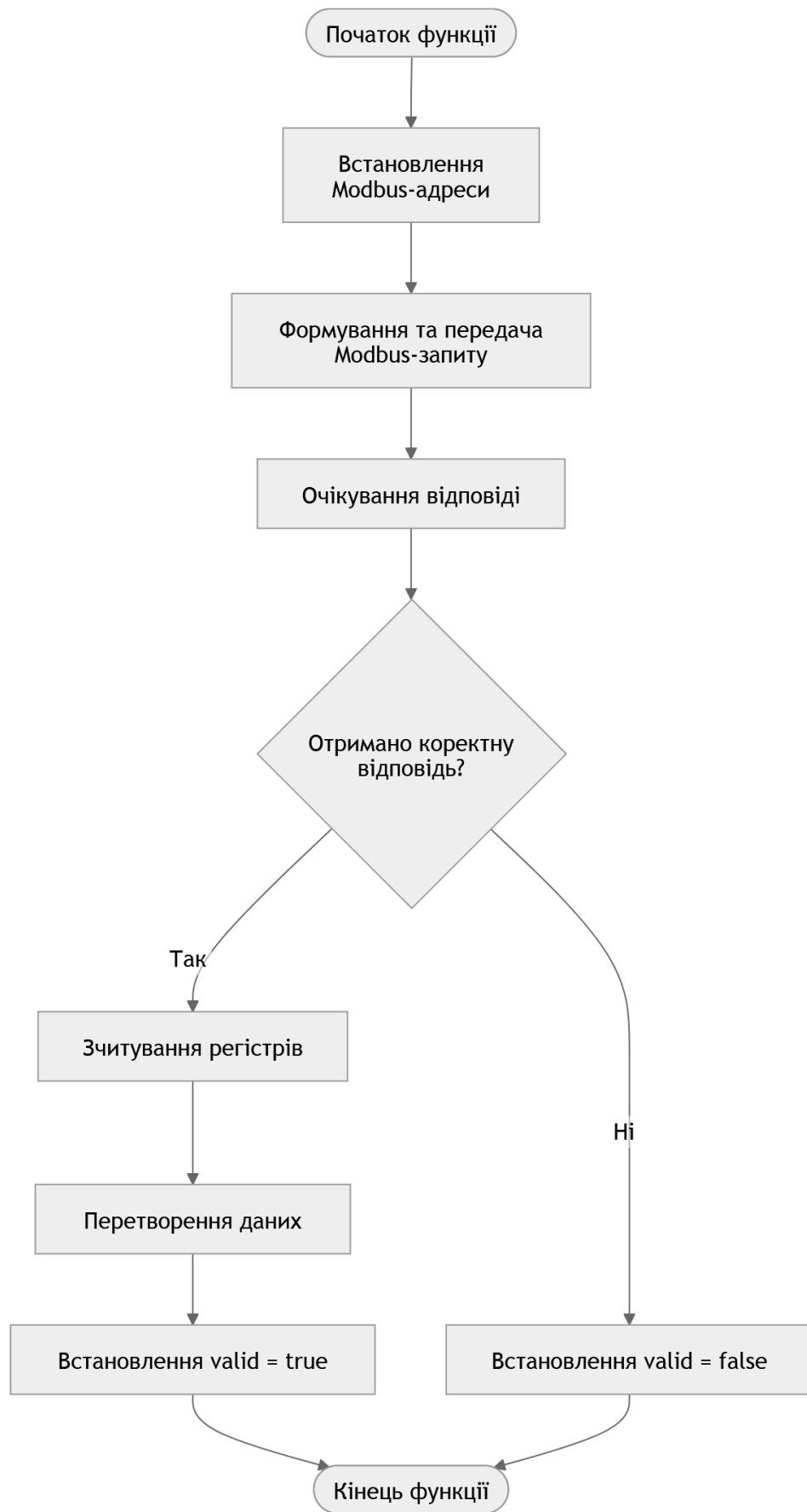


Рисунок 3.2 – Блок-схема функції опитування Modbus-пристрою

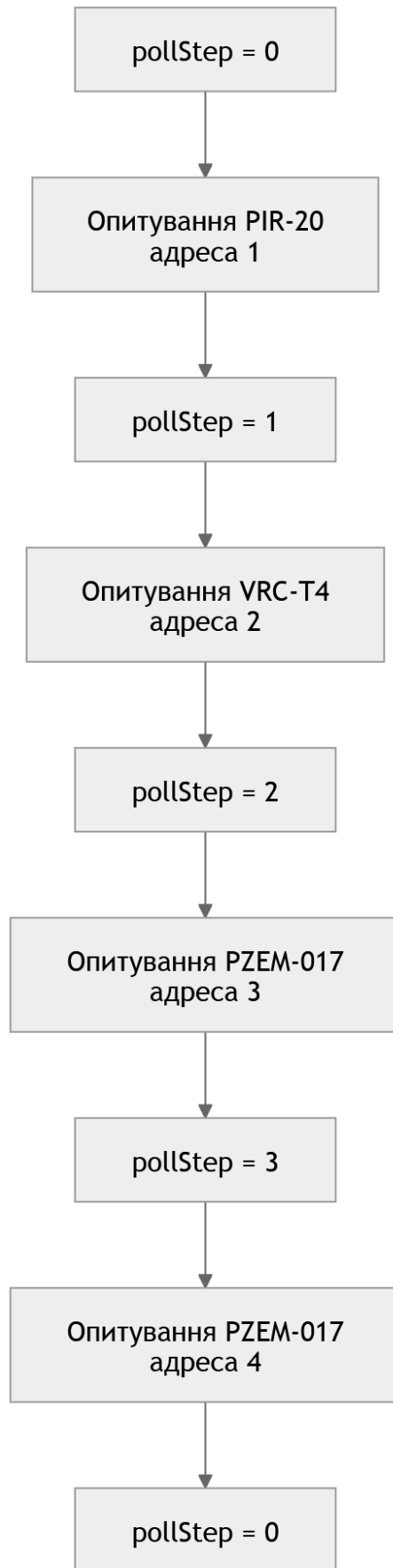


Рисунок 3.3 – Блок-схема циклу опитування пристроїв

Третій та четвертий етапи призначені для опитування двох модулів PZEM-017, які вимірюють параметри фотоелектричних стрінгів. З отриманих Modbus-регістрів обчислюються значення напруги та струму шляхом ділення на коефіцієнт масштабування 100. Усі отримані дані супроводжуються прапорцями достовірності (Valid), які вказують на успішність обміну даними. У разі виникнення таймауту або помилки Modbus відповідні прапорці скидаються, а на дисплей виводяться символи «----».

Оновлення інформації на дисплеї виконується один раз на секунду окремою функцією `drawDisplay()` – рис. 3.4. Такий підхід дозволяє зменшити навантаження на SPI-інтерфейс дисплея та підвищити стабільність роботи системи. Для форматування рядків використовується функція `sprintf()`. Значення температури завжди відображаються зі знаком, що дозволяє коректно показувати як додатні, так і від’ємні температури.

Архітектура програми побудована за принципом розподілу задач у часі, що забезпечує стабільне опитування Modbus-пристроїв без конфліктів на шині RS485. Окремі функції опитування спрощують модифікацію програми та додавання нових пристроїв у майбутньому. Застосування неблокуючих таймерів забезпечує високу швидкодію системи та стабільне оновлення інформації на дисплеї навіть при короткочасних збоях зв’язку.

					171.4321.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

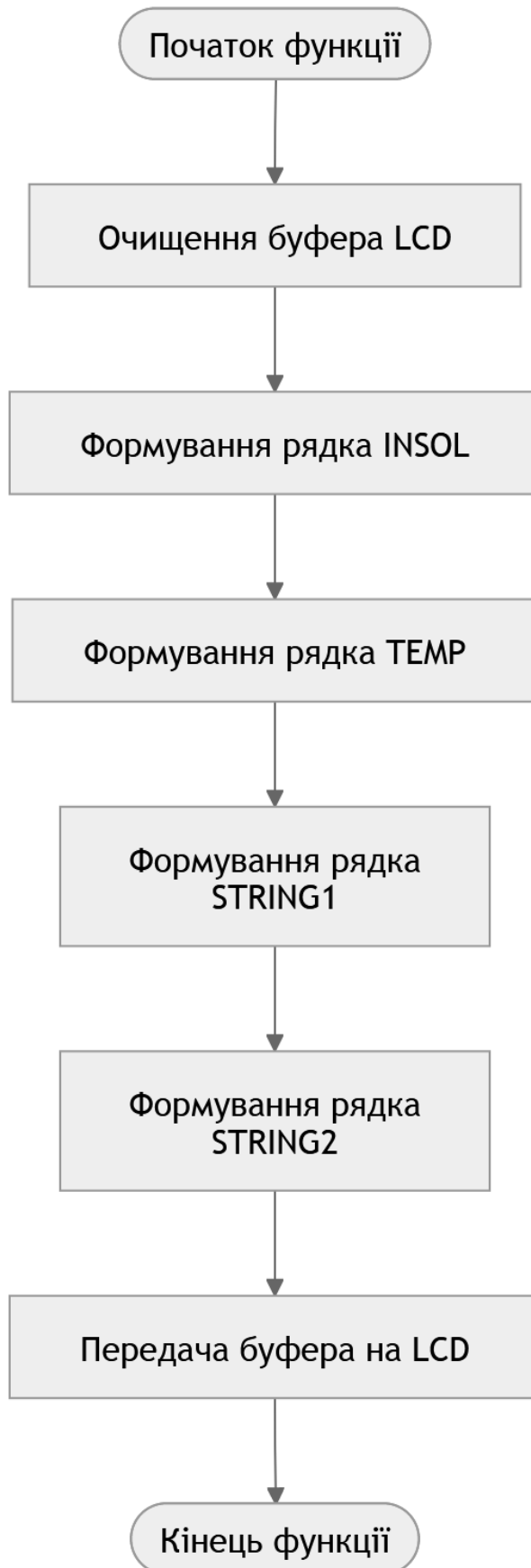


Рисунок 3.4 – Блок-схема функції drawDisplay()

3.2. Тестування програмного забезпечення

При компіляції розробленого скетчу для плати Arduino Nano виявилось, що при підключенні програмної бібліотеки U8g2lib.h та створенні об'єкту lcd типу U8G2_ST7565_ERC12864_F_4W_HW_SPI у SRAM резервується $128 \times 64 = 1$ кілобайт пам'яті (при 2 кілобайт загальної пам'яті Arduino Nano). Як результат – скетч неможливо завантажити у Arduino Nano внаслідок нестачі оперативної пам'яті. Водночас, скетч працює на платі Arduino Mega, але ця плата має великі розміри порівняно з платою Arduino Nano.

Для вирішення проблеми була перероблена як програмна, так і апаратна частина проекту. Графічний екран було замінено на символічний чотирьохрядковий рідкокристалічний індикатор типу LCD 1604.

Перероблена принципова схема зображена на рис. 3.5. Стабілізоване живлення +5 В забезпечує ізолюваний DC-DC-перетворювач U1 URB2405YMD-10WR потужністю 10 Вт. Діод Шоттки D1 1N5822 виконую захисну функцію DC-DC-перетворювача від переполюсовки зовнішнього джерела живлення.

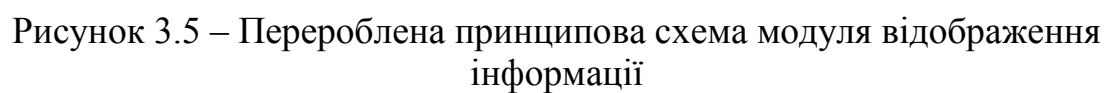
Для керування символічним РКІ використовується 4-бітна шина даних (піни D2-D5 плати Arduino Nano) та два входи керування E та RS, що підключені до пінів D11, D12 Arduino Nano відповідно. Контрастність дисплею регулюється резистором RV1. Перетворення рівнів напруг шини RS485 до рівня TTL здійснюється модулем U2 RS485-TLL Converter.

Розроблена у САПР KiCAD друкована плата зображена на рис. 3.6.

Що стосується програмної частини, то для підтримки обраного РКІ необхідно підключити до проекту бібліотеку <LiquidCrystal.h>. Наступний фрагмент коду демонструє створення об'єкту lcd та апаратну прив'язку пінів плати Arduino:

```
// LCD 1604 pins
// RS, E, D4, D5, D6, D7
//
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
```

					171.4321.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



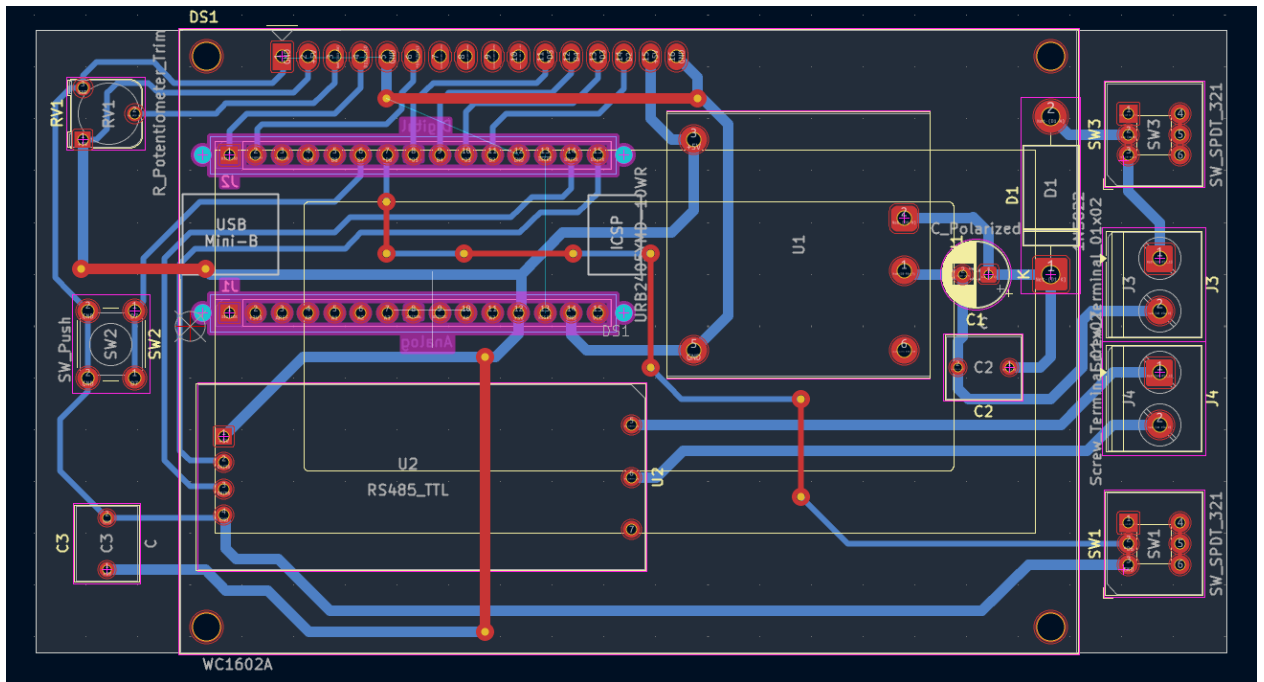


Рисунок 3.6 – Розроблена друкована плата у САПР KiCAD

Для відображення необхідної інформації доцільно використовувати дві сторінки, які перемикаються між собою при натисканні кнопки SW2.

Ескізи сторінок наведені на рис. 3.7.



а)

б)

Рисунок 3.7 – Ескізи сторінок РКІ: (а) – сторінка відображення рівня інсоляції, напруг та струмів фотоелектричних ланцюгів; (б) – сторінка відображення температур по панелях

Для ініціалізації РКІ використовується наступний код:

```
lcd.begin(16, 4);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(" SOLAR  MONITOR ");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("      VER  1.0      ");
```

Функція оновлення інформації на РКІ наведена у лістингу нижче:

```
void drawDisplay(bool snifferMode, bool page)
{
    char buf[32];

    lcd.clear();
    // Режим роботи
    // Page
    if (page == HIGH)
    {
        lcd.setCursor(0, 0);
        if (snifferMode)
            lcd.print("MODE: SNIFFER");
        else
            lcd.print("MODE: MASTER");

        // INSOL
        lcd.setCursor(0, 1);
        if (insolValid)
        {
            lcd.print("SOLAR: ");
            lcd.print(insolValue);
            lcd.print(" W/m2");
        }
        else
        {
            lcd.print("SOLAR: ---- W/m2");
        }

        // STRING1
        lcd.setCursor(0, 2);
        if (str1Valid)
        {
            formatValue(str1Voltage, formatValueBuffer1);
            formatValue(str1Current, formatValueBuffer2);
            lcd.print("1: ");
            lcd.print(formatValueBuffer1);
            lcd.print(" V ");
            lcd.print(formatValueBuffer2);
            lcd.print(" A");
        }
        else
        {
            lcd.print("1: --.--V --.--A");
        }

        // STRING2
        lcd.setCursor(0, 3);
        if (str2Valid)
```

					171.4321.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

        {
            formatValue(str2Voltage,formatValueBuffer1);
            formatValue(str2Current,formatValueBuffer2);
            lcd.print("2: ");
            lcd.print(formatValueBuffer1);
            lcd.print(" V ");
            lcd.print(formatValueBuffer2);
            lcd.print(" A");
        }
    else
    {
        lcd.print("2: --.--V --.--A");
    }
}
else
{
    //page 2

    // TEMP
    char t1[7], t2[7], t3[7], t4[7];

    for (int i = 0; i < 4; i++)
    {
        lcd.setCursor(0, i);
        char *ptr =
            (i == 0) ? t1 :
            (i == 1) ? t2 :
            (i == 2) ? t3 : t4;

        if (tempValid[i])
        {
            formatTemperature(temp[i],formatTemperatureBuffer);
            lcd.print("T");
            lcd.print(i);
            lcd.print(": ");
            lcd.print(formatTemperatureBuffer);
            lcd.print("C");
        }
        else
        {
            lcd.print("T");
            lcd.print(i);
            lcd.print(": ");
            lcd.print("----.- C");
        }
    }
}
}
}

```

Макетний зразок модуля відображення інформації під час тестування модифікованого програмного забезпечення наведено на рис. 3.7.

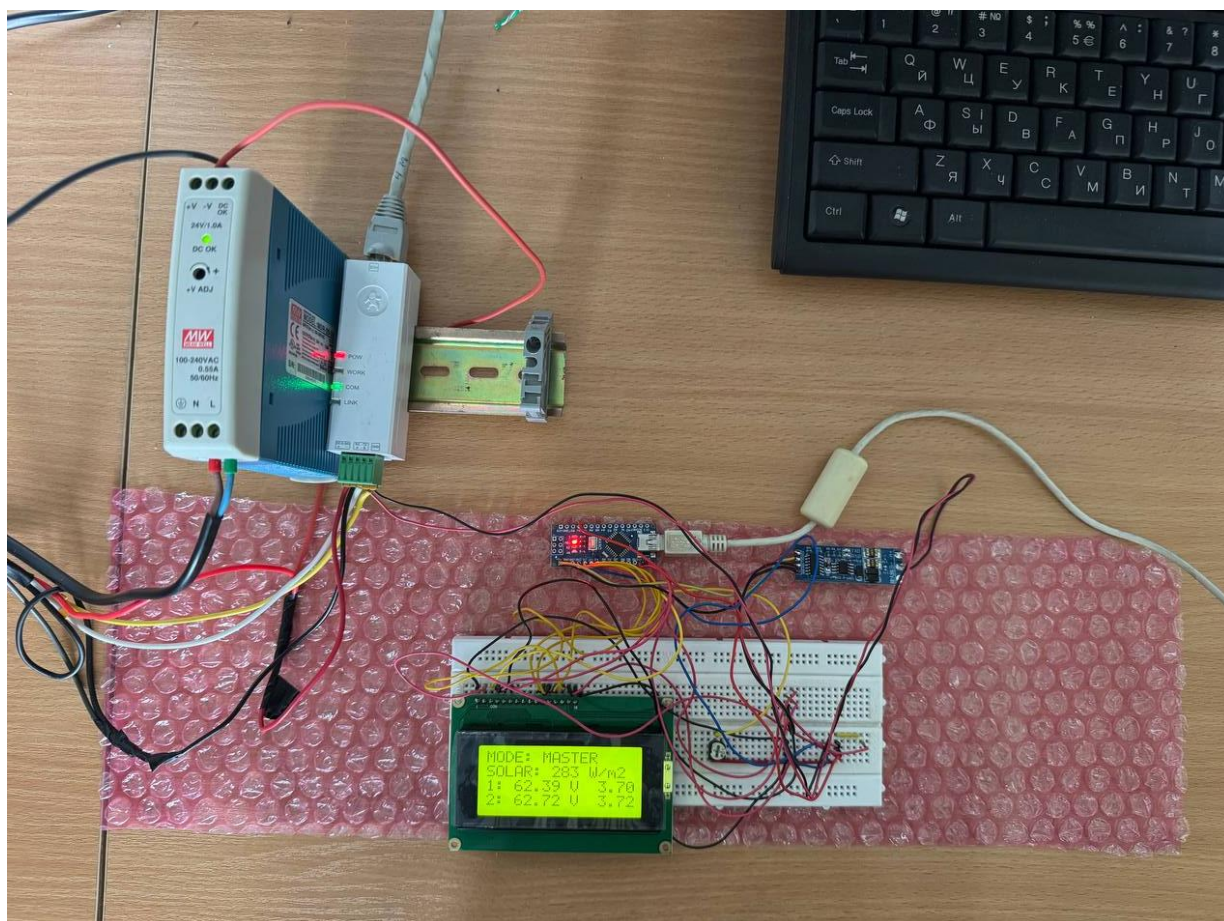


Рисунок 3.7 – Макетний зразок модуля відображення інформації

Висновки до третього розділу

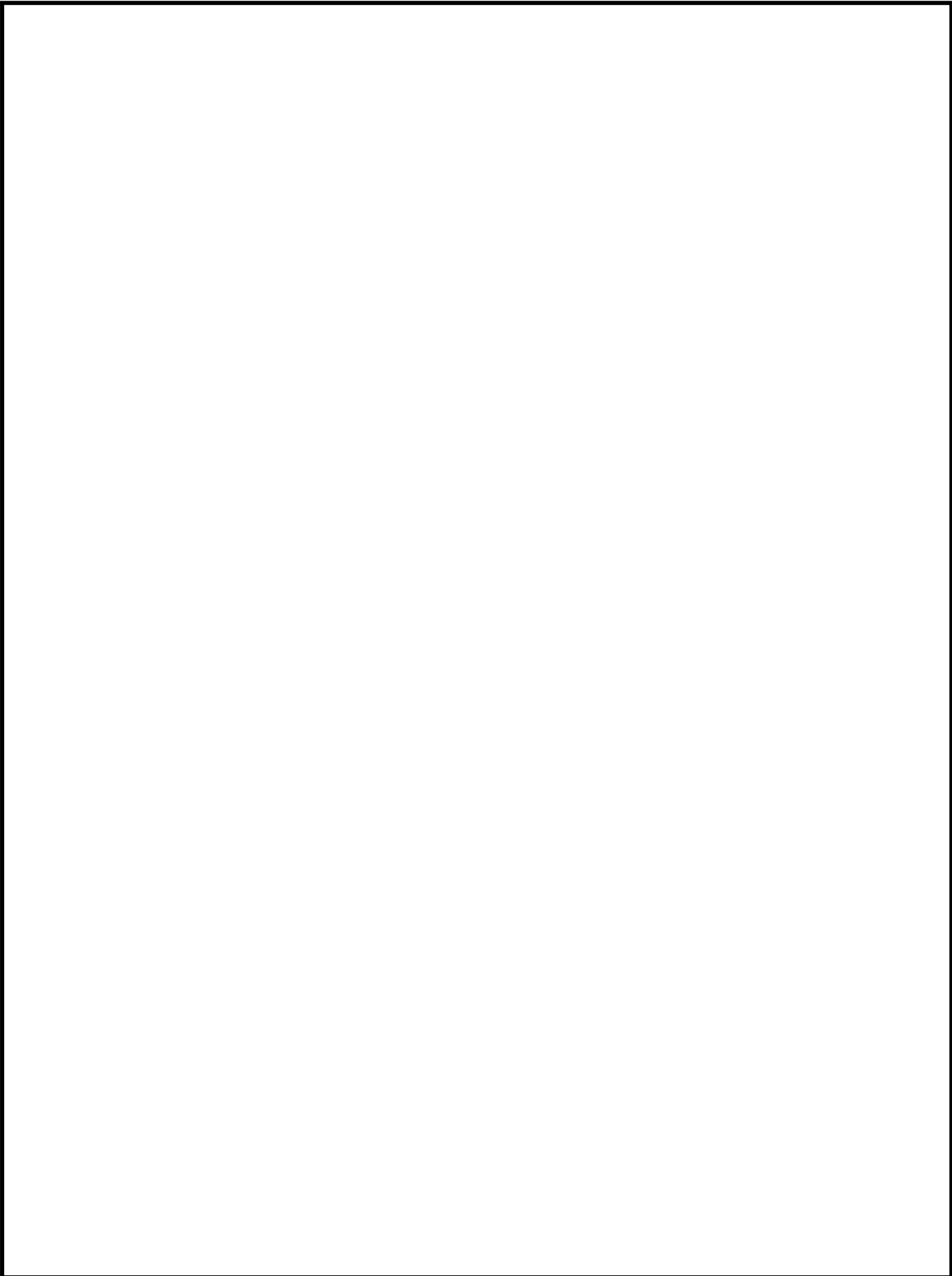
У результаті розробки програмного забезпечення було створено систему збору та відображення даних для лабораторного стенда з сонячної енергетики на базі мікроконтролера Arduino Nano/UNO. Реалізовано циклічне опитування зовнішніх пристроїв за протоколом Modbus RTU через інтерфейс RS485 із використанням неблокуючих таймерів, що забезпечило стабільну роботу програми без застосування затримок `delay()`. Програмний код забезпечує коректне отримання та обробку даних від датчика інсоляції PIR-20, температурного модуля VRC-T4 та вимірювальних модулів PZEM-017. Також реалізовано механізм контролю помилок обміну даними та

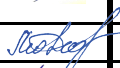
					171.4321.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

індикацію відсутності відповіді від пристроїв у випадку виникнення таймаутів.

Розроблена функція оновлення графічного дисплея забезпечує зручне та наочне відображення параметрів роботи фотоелектричної системи в режимі реального часу. Запропонована архітектура програмного забезпечення характеризується модульністю, простотою масштабування та можливістю подальшого розширення функціональних можливостей системи.

					171.4321.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



					171.4321.КР.ПЗ.Р4			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Охорона праці під час експлуатації інформаційно-вимірjuвальної системи	Літ.	Арк.	Аркуші
Розробник		Куліков Є. М.		05.06.26				
Консультант		Губальцев А. М.					40	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Дьяконов О. С.		08.06.26				
Зав. каф.		Рябенський В. М.		08.06.26				

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

4.1. Аналіз умов праці під час експлуатації лабораторного стенда

Лабораторний стенд з сонячної енергетики з встановленою на ньому інформаційно-вимірною системою призначений для проведення досліджень режимів роботи сонячних електростанцій, систем резервного живлення та систем енергомоніторингу. Експлуатація стенда здійснюється у спеціалізованому лабораторному приміщенні закладу вищої освіти, яке обладнане системами електропостачання, вентиляції та штучного освітлення.

Робоче місце оператора включає лабораторний стенд, персональний комп'ютер, вимірні прилади, мережеве та комутаційне обладнання. Основними елементами стенда є фотоелектричні модулі, інвертори, контролери заряду, акумуляторні батареї, модулі вимірювання електричних параметрів, а також система локального та віддаленого моніторингу.

Під час роботи зі стендом на персонал можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори. До основних небезпечних факторів належать: ураження електричним струмом, короткі замикання, нагрівання електротехнічного обладнання, небезпека займання акумуляторних батарей та силових кабелів. Шкідливими факторами є електромагнітні поля, підвищена температура обладнання, шум від вентиляторів охолодження та психоемоційне навантаження оператора.

Лабораторне приміщення належить до категорії приміщень без підвищеної небезпеки, оскільки відсутні струмопровідний пил, підвищена вологість та агресивні середовища. Водночас під час роботи зі стендом присутні кола постійного струму напругою понад 120 В, що потребує дотримання правил електробезпеки.

Робоче місце оператора повинно відповідати вимогам ергономіки. Висота робочого столу має забезпечувати зручне розташування обладнання

					171.4321.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

та вимірювальних приладів. Органи керування стендом повинні бути легкодоступними та мати чітке маркування. Важливим фактором є забезпечення достатнього рівня освітлення робочої поверхні.

Для живлення стенда використовується однофазна мережа змінного струму 220 В частотою 50 Гц. Усі металеві корпуси обладнання повинні бути заземлені. Силові кабелі мають бути надійно закріплені та ізольовані.

4.2. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації лабораторного стенда найбільш небезпечним фактором є електричний струм. У фотоелектричних системах навіть після відключення навантаження на виході сонячних панелей зберігається напруга постійного струму. Це створює небезпеку ураження персоналу електричним струмом під час монтажу та технічного обслуговування.

Особливістю фотоелектричних систем є наявність постійної напруги, яка складніше піддається гасінню під час виникнення електричної дуги. При короткому замиканні можливе значне нагрівання провідників, що може призвести до займання ізоляції кабелів.

Джерелом небезпеки є також акумуляторні батареї. У разі порушення режимів заряду або короткого замикання можливе виділення значної кількості тепла, займання або руйнування елементів акумулятора.

До шкідливих факторів належить вплив електромагнітних завад, які створюються імпульсними джерелами живлення, інверторами та комутаційними пристроями. Такі завади можуть впливати як на роботу обладнання, так і на самопочуття персоналу.

Під час роботи вентиляторів охолодження інверторів виникає шум. Хоча рівень шуму не перевищує допустимих норм, його тривалий вплив може спричинити втому оператора.

Важливим фактором є мікроклімат приміщення. Підвищення температури повітря призводить до перегріву обладнання та зниження ефективності роботи електронних компонентів.

					171.4321.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Для запобігання негативному впливу небезпечних факторів необхідно використовувати засоби захисту, дотримуватися правил експлуатації електроустановок та виконувати періодичний контроль стану обладнання.

4.3. Заходи електробезпеки під час роботи з лабораторним стендом

Для забезпечення електробезпеки лабораторний стенд повинен бути обладнаний системою захисного заземлення. Заземленню підлягають металеві корпуси інверторів, джерел живлення, вимірювальних приладів та інших елементів електрообладнання.

У колах живлення змінного струму повинні бути встановлені автоматичні вимикачі, які забезпечують захист від перевантаження та короткого замикання. У колах постійного струму необхідно застосовувати спеціалізовані DC-автомати та запобіжники.

Для захисту від перенапруг рекомендується використовувати пристрої захисту від імпульсних перенапруг. Особливо це актуально для фотоелектричних систем, де можливий вплив атмосферних перенапруг.

Комутаційні апарати повинні мати відповідний ступінь захисту та бути розрахованими на роботу з постійною напругою. Забороняється виконувати комутацію навантаження під струмом без використання спеціалізованих пристроїв.

Особливу увагу необхідно приділяти якості ізоляції кабелів. Провідники повинні мати достатній переріз, а місця з'єднань — надійний електричний контакт.

Під час роботи з лабораторним стендом персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, інструмент з ізольованими ручками та захисні окуляри.

Перед початком робіт необхідно виконати перевірку відсутності напруги на струмопровідних частинах. Усі ремонтні роботи повинні проводитися лише при відключеному живленні.

					171.4321.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для зниження ризику випадкового дотику до струмопровідних частин усі силові елементи стенда повинні бути закриті захисними панелями.

4.4. Забезпечення пожежної безпеки

Фотоелектричні системи належать до електротехнічних установок підвищеної пожежної небезпеки. Основними причинами виникнення пожеж можуть бути короткі замикання, перевантаження провідників, несправність акумуляторних батарей або порушення режимів експлуатації інверторів.

Особливу небезпеку становлять літєві акумуляторні батареї, які при механічному пошкодженні або перегріві можуть займатися. Для зменшення ризику виникнення пожежі акумулятори повинні експлуатуватися відповідно до рекомендацій виробника.

Лабораторне приміщення повинно бути обладнане первинними засобами пожежогасіння. Для гасіння електроустановок під напругою рекомендується використовувати вуглекислотні або порошкові вогнегасники.

Забороняється використовувати воду для гасіння електрообладнання, що перебуває під напругою. Це може призвести до ураження електричним струмом та пошкодження обладнання.

У приміщенні повинні бути розроблені та розміщені плани евакуації, а персонал має пройти інструктаж з правил пожежної безпеки.

Кабельні лінії повинні прокладатися з урахуванням вимог пожежної безпеки. Не допускається перевантаження розеток та використання пошкоджених кабелів.

Для забезпечення безпечної експлуатації стенда необхідно регулярно проводити огляд електричних з'єднань, очищення вентиляційних каналів та контроль температури обладнання.

					171.4321.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

4.5. Санітарно-гігієнічні вимоги до лабораторного приміщення

Санітарно-гігієнічні умови в лабораторному приміщенні повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів. Особливу увагу необхідно приділяти параметрам мікроклімату, освітленню та вентиляції.

Температура повітря у приміщенні повинна підтримуватися в межах 18-24 °С, а відносна вологість - 40–60 %. Недотримання цих параметрів може негативно впливати як на працездатність персоналу, так і на роботу електронного обладнання.

Для забезпечення комфортних умов праці необхідно використовувати систему вентиляції. Вентиляція забезпечує відведення тепла, яке виділяється інверторами, джерелами живлення та іншими електронними компонентами.

Освітлення робочого місця повинно відповідати нормам для приміщень з роботами середньої точності. Рекомендований рівень освітленості становить не менше 300 лк.

Робоче місце оператора повинно бути організоване з урахуванням ергономічних вимог. Дисплей та органи керування мають бути розташовані у зоні комфортного огляду.

Рівень шуму у приміщенні не повинен перевищувати допустимих значень. Для зниження шуму рекомендується використовувати обладнання з низьким рівнем акустичних завад.

Під час тривалої роботи оператору рекомендується робити технологічні перерви для зниження зорового та психоемоційного навантаження.

4.6. Розрахунок захисного заземлення лабораторного стенда

Одним із основних заходів електробезпеки є використання захисного заземлення. Метою заземлення є зниження напруги дотику до безпечного рівня у разі пошкодження ізоляції.

Для лабораторного стенда приймається система захисного заземлення з вертикальними сталевими електродами. Допустимий опір заземлювального пристрою для електроустановок до 1000 В не повинен перевищувати 4 Ом.

					171.4321.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Вихідні дані для розрахунку:

- питомий опір ґрунту — 100 Ом·м;
- довжина електрода — 2,5 м;
- діаметр електрода — 16 мм;
- глибина закладання — 0,8 м.

Опір одиночного вертикального заземлювача визначається за формулою:

$$R = (\rho / (2\pi L)) \cdot (\ln(2L/d) + 0,5),$$

де ρ - питомий опір ґрунту; L - довжина електрода; d — діаметр електрода.

Після підстановки значень отримуємо опір одного електрода приблизно 28 Ом. Для забезпечення нормативного значення опору необхідно використовувати декілька електродів, з'єднаних між собою сталеву смугою.

При використанні восьми вертикальних електродів загальний опір заземлення з урахуванням коефіцієнта використання становить приблизно 3,8 Ом, що відповідає вимогам нормативних документів.

Усі з'єднання заземлювального контуру повинні бути виконані зварюванням або болтовими з'єднаннями з антикорозійним захистом.

Періодично необхідно проводити перевірку опору заземлення та огляд стану заземлювального контуру.

4.7. Заходи безпеки при експлуатації фотоелектричних систем

Перед початком роботи з лабораторним стендом необхідно виконати зовнішній огляд обладнання, перевірити цілісність кабелів та наявність заземлення.

Підключення та відключення фотоелектричних модулів повинно виконуватися лише при відключеному навантаженні. Забороняється роз'єднання DC-конекторів під струмом.

Під час роботи зі стендом необхідно уникати торкання оголених струмопровідних частин. Для проведення вимірювань слід використовувати лише справні вимірювальні прилади.

					171.4321.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

При експлуатації акумуляторних батарей необхідно контролювати температуру, рівень заряду та відсутність механічних пошкоджень.

Технічне обслуговування стенда повинно виконуватися кваліфікованим персоналом, який має відповідну групу з електробезпеки.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно негайно відключити живлення стенда та повідомити відповідальну особу.

Для підвищення безпеки рекомендується використовувати попереджувальні написи та світлову індикацію наявності напруги.

Під час проведення лабораторних робіт студенти повинні пройти інструктаж з охорони праці та ознайомитися з правилами експлуатації обладнання.

Висновки до четвертого розділу

У даному розділі було проведено аналіз умов праці під час експлуатації лабораторного стенда фотоелектричної системи та визначено основні небезпечні й шкідливі виробничі фактори. Встановлено, що найбільшу небезпеку становлять ураження електричним струмом, короткі замикання та пожежна небезпека акумуляторних батарей.

Для забезпечення безпечної роботи стенда запропоновано комплекс організаційних та технічних заходів, зокрема використання захисного заземлення, автоматичних вимикачів, засобів індивідуального захисту та систем пожежогасіння.

Було розглянуто вимоги до мікроклімату, освітлення та ергономіки робочого місця, що дозволяє забезпечити комфортні умови праці оператора.

Виконаний розрахунок захисного заземлення підтвердив можливість забезпечення нормативного значення опору заземлювального пристрою.

Запропоновані заходи охорони праці та електробезпеки дозволяють забезпечити безпечну та надійну експлуатацію лабораторного стенда фотоелектричної системи в умовах навчальної лабораторії.

					171.4321.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У першому розділі було проаналізовано структуру та конструктивні особливості лабораторного стенда з сонячної енергетики. Визначено необхідність оснащення стенда інформаційно-вимірювальною системою, яка забезпечує контроль інсоляції фотоелектричних модулів, температури сонячних панелей, а також вимірювання струму й напруги двох фотоелектричних стрінгів.

У другому розділі розроблено структурну та принципову електричну схеми інформаційно-вимірювальної системи лабораторного стенда. Спроектовано модуль відображення інформації на базі мікроконтролерної плати Arduino Nano, графічного дисплея GMG12864-06D та перетворювача інтерфейсів RS485-TTL для організації обміну даними з вимірювальними модулями за протоколом Modbus RTU. Запропоновані технічні рішення забезпечують гнучкість конфігурації, можливість подальшого розширення системи та безпечну експлуатацію лабораторного обладнання.

У процесі розробки програмного забезпечення створено систему збору, обробки та відображення даних для лабораторного стенда на базі мікроконтролера Arduino Nano / Arduino UNO. Реалізовано циклічне опитування зовнішніх пристроїв через інтерфейс RS485 за протоколом Modbus RTU із застосуванням неблокуючих таймерів, що дозволило забезпечити стабільну роботу програмного забезпечення без використання функції delay(). Розроблений програмний код виконує коректне зчитування та обробку даних від датчика інсоляції PIR-20, температурного модуля VRC-T4 і вимірювальних модулів PZEM-017. Крім того, реалізовано механізми контролю помилок обміну даними та індикації втрати зв'язку з пристроями у випадку перевищення таймауту відповіді.

Розроблена підсистема оновлення графічного дисплея забезпечує зручне та наочне відображення параметрів роботи фотоелектричної системи у режимі реального часу. Архітектура програмного забезпечення побудована

					171.4321.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

за модульним принципом, що спрощує модернізацію системи, її масштабування та подальше розширення функціональних можливостей.

У розділі охорони праці проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, розроблено заходи електробезпеки та пожежної безпеки під час експлуатації лабораторного стенда. Виконано розрахунок системи захисного заземлення та визначено вимоги до організації робочого місця оператора.

Розроблена інформаційно-вимірювальна система лабораторного стенду може бути використана у навчальному процесі для проведення лабораторних робіт, дослідження режимів роботи фотоелектричних систем та підготовки фахівців у галузі електроніки, електроенергетики та телекомунікацій.

					171.4321.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підруч. / С.О.Кудря. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
2. Гуржій А. М. Основи автоматики та робототехніки: Навчальний посібник / А. М. Гуржій, А. Т. Нельга, В. М. Співак, О. С. Ітякін. – Дніпро: «Гарант СВ», 2021. - 243с.
3. Курак В.В., Андропова О.В., Дон Н.Л. К 93 Основи сонячної електроенергетики. Навчальний посібник для студентів спеціальності 141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка: навч. посіб. / В. В. Курак, О. В. Андропова, Н. Л. Дон. – Херсон: Книжкове вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2024. – 348 с.
4. ДСТУ EN 62446-1:2022 Фотоелектричні (PV) системи. Вимоги до тестування, документації та технічного обслуговування.
5. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). – Харків : Форт, 2017. – 760 с.
6. ДСТУ EN 61140:2015 Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання.
7. Messenger R., Ventre J. Photovoltaic Systems Engineering. – Boca Raton: CRC Press, 2017. – 694 p.
8. Masters G. Renewable and Efficient Electric Power Systems. – Hoboken : Wiley, 2013. – 676 p.
9. Patel M.R. Wind and Solar Power Systems. – Boca Raton: CRC Press, 2016. – 425 p.
10. Modbus Application Protocol Specification V1.1b3. – Modbus Organization, 2012.

					171.4321.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Код програми

Текст

```
/*
=====
Лабораторний вимірювальний комплекс для фотоелектричної
системи
Arduino Nano + LCD GMG12864-06D (ST7565R)
Modbus RTU через RS485
=====

Інтерфейс RS485:
  RX  -> D0
  TX  -> D1

Дисплей ST7565R:
  Використовується бібліотека U8g2

Швидкість Modbus:
  9600 бод
  8N1
  Таймаут 500 мс

Період опитування:
  кожні 250 мс

*/

#include <U8g2lib.h>
#include <ModbusMaster.h>
#include <SPI.h>

// =====
// НАЛАШТУВАННЯ LCD ST7565R
// =====

// SPI:
// CS  -> D10
// A0  -> D9
// RST -> D8

U8G2_ST7565_ERC12864_F_4W_HW_SPI lcd(
  U8G2_R0,
  10,    // CS
  9,     // A0/DC
  8      // RESET
);
```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

// =====
// MODBUS
// =====

ModbusMaster node;

// =====
// ЗМІННИ ДАНИХ
// =====

// Дані PIR-20
uint16_t insolValue = 0;
bool insolValid = false;

// Дані температур
float temp[4];
bool tempValid[4] = {false, false, false, false};

// Дані STRING1
float str1Voltage = 0;
float str1Current = 0;
bool str1Valid = false;

// Дані STRING2
float str2Voltage = 0;
float str2Current = 0;
bool str2Valid = false;

// =====
// ТАЙМЕРИ
// =====

unsigned long pollTimer = 0;
unsigned long lcdTimer = 0;

uint8_t pollStep = 0;

// =====
// CRC / ПЕРЕТВОРЕННЯ DS18B20
// =====

// Перетворення формату DS18B20 у температуру
float ds18b20ToCelsius(uint16_t raw)
{
    int16_t value = (int16_t)raw;
    return value / 16.0;
}

// =====
// ОПИТУВАННЯ PIR-20
// =====

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

void pollPYR20()
{
    node.begin(1, Serial);

    uint8_t result = node.readInputRegisters(0, 1);

    if (result == node.ku8MBSuccess)
    {
        insolValue = node.getResponseBuffer(0);
        insolValid = true;
    }
    else
    {
        insolValid = false;
    }
}

// =====
// ОПИТУВАННЯ VRC-T4
// =====

void pollVRCT4()
{
    node.begin(2, Serial);

    uint8_t result = node.readInputRegisters(0, 4);

    if (result == node.ku8MBSuccess)
    {
        for (int i = 0; i < 4; i++)
        {
            uint16_t raw = node.getResponseBuffer(i);

            temp[i] = ds18b20ToCelsius(raw);
            tempValid[i] = true;
        }
    }
    else
    {
        for (int i = 0; i < 4; i++)
        {
            tempValid[i] = false;
        }
    }
}

// =====
// ОПИТУВАННЯ PZEM-017 (АДРЕСА 3)
// =====

void pollPZEM1()
{

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

node.begin(3, Serial);

uint8_t result = node.readInputRegisters(0, 2);

if (result == node.ku8MBSuccess)
{
    str1Voltage = node.getResponseBuffer(0) / 100.0;
    str1Current = node.getResponseBuffer(1) / 100.0;

    str1Valid = true;
}
else
{
    str1Valid = false;
}
}

// =====
// ОПИТУВАННЯ PZEM-017 (АДРЕСА 4)
// =====

void pollPZEM2()
{
    node.begin(4, Serial);

    uint8_t result = node.readInputRegisters(0, 2);

    if (result == node.ku8MBSuccess)
    {
        str2Voltage = node.getResponseBuffer(0) / 100.0;
        str2Current = node.getResponseBuffer(1) / 100.0;

        str2Valid = true;
    }
    else
    {
        str2Valid = false;
    }
}

// =====
// ВИВІД НА LCD
// =====

void drawDisplay()
{
    char buf[32];

    lcd.clearBuffer();

    lcd.setFont(u8g2_font_6x12_tf);

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

// -----
// INSOL
// -----

if (insolValid)
{
    sprintf(buf, "INSOL: %4u W/m2", insolValue);
}
else
{
    sprintf(buf, "INSOL: ---- W/m2");
}

lcd.drawStr(0, 12, buf);

// -----
// TEMP
// -----

char t1[8], t2[8], t3[8], t4[8];

for (int i = 0; i < 4; i++)
{
    if (tempValid[i])
    {
        sprintf(
            (i == 0) ? t1 :
            (i == 1) ? t2 :
            (i == 2) ? t3 : t4,
            "%+05.1f",
            temp[i]
        );
    }
    else
    {
        strcpy(
            (i == 0) ? t1 :
            (i == 1) ? t2 :
            (i == 2) ? t3 : t4,
            "----.-"
        );
    }
}

sprintf(buf, "T:%s %s", t1, t2);
lcd.drawStr(0, 28, buf);

sprintf(buf, "  %s %s", t3, t4);
lcd.drawStr(0, 40, buf);

// -----
// STRING1

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

// -----

if (str1Valid)
{
    sprintf(
        buf,
        "S1:%5.1fV %5.1fA",
        str1Voltage,
        str1Current
    );
}
else
{
    sprintf(buf, "S1: ----.- ----.-");
}

lcd.drawStr(0, 52, buf);

// -----
// STRING2
// -----

if (str2Valid)
{
    sprintf(
        buf,
        "S2:%5.1fV %5.1fA",
        str2Voltage,
        str2Current
    );
}
else
{
    sprintf(buf, "S2: ----.- ----.-");
}

lcd.drawStr(0, 64, buf);

lcd.sendBuffer();
}

// =====
// SETUP
// =====

void setup()
{
    // Ініціалізація UART
    Serial.begin(9600);

    // Таймаут Modbus
    node.setTimeout(500);
}

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

// Ініціалізація LCD
lcd.begin();

lcd.clearBuffer();
lcd.setFont(u8g2_font_6x12_tf);
lcd.drawStr(10, 30, "PV MONITOR START");
lcd.sendBuffer();

delay(1000);
}

// =====
// LOOP
// =====

void loop()
{
    unsigned long now = millis();

    // -----
    // Опитування Modbus кожні 250 мс
    // -----

    if (now - pollTimer >= 250)
    {
        pollTimer = now;

        switch (pollStep)
        {
            case 0:
                pollPYR20();
                break;

            case 1:
                pollVRCT4();
                break;

            case 2:
                pollPZEM1();
                break;

            case 3:
                pollPZEM2();
                break;
        }

        pollStep++;

        if (pollStep >= 4)
            pollStep = 0;
    }
}

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

// -----
// Оновлення LCD раз на секунду
// -----

if (now - lcdTimer >= 1000)
{
    lcdTimer = now;

    drawDisplay();
}
}

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		