

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Розробка автоматизованої системи контролю живлення приватного
будинку»
(тема роботи)

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1АКІТР-23м
спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка

Богдан ПОПОВ

Керівник: к.т.н., доцент каф. АІІТ

Ярослав КУЛИК

« 12 » грудня 2024 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. КН

Володимир ОЗЕРАНСЬКИЙ

« 13 » грудня 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АІІТ ВНТУ

д.т.н., проф. Олег БІСІКАЛО

« 16 » 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій
Рівень вищої освіти II-ий (магістерський)
Галузь знань – 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність - 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
Освітньо-професійна програма - Інтелектуальні комп'ютерні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АПТ

д.т.н., проф. Олег БІСІКАЛО

“ 19 ” Вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Попову Богдану Олександровичу

1. Тема роботи: «Розробка автоматизованої системи контролю живлення приватного будинку»

керівник роботи: доцент каф. АПТ Ярослав КУЛИК

затверджено наказом ВНТУ від “ 17 ” Вересня 2024 року № 310

2. Строк подання студентом роботи до 12 грудня 2024 року

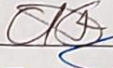
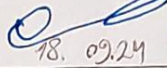
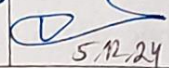
3. Вихідні дані до роботи:

структурна схема пристрою, пристрій захисту акумулятора 21,6 вольт – 29,6 вольт, максимальний струм 80 ампер, пристрій балансування на 8 комірок, струм балансування 0,5 ампера, вимірювання 24 аналогових та 16 дискретних каналів, регульоване електронне навантаження з максимальним струмом до 40 ампер, автоматична перевірка плат балансування та захисту акумулятора.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Загальна характеристика об'єкта досліджень. Проектування системи контролю живлення. Практична реалізація автоматичного тестувального пристрою. Перевірка та створення плати автоматичного тестувального пристрою. Економічний розділ. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік ілюстративного (або графічного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових закреслень): Схеми електричні принципові всіх частин тестувального стенду. Структурна схема системи. Схеми трасування плати.

6. Консультанти розділів магістерської кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4	Ярослав КУЛИК; доцент каф. АІТ	18.09.24 	12.12.24 
5	Володимир КОЗЛОВСЬКИЙ к.е.н., доцент каф. ЕПтаВМ	 18.09.24	 5.12.24

7. Дата видачі завдання 18 Вересня

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір, узгодження та затвердження теми МКР	10.09.24-20.09.24	
2	Аналіз технічного завдання, оцінка поточного стану проблеми	20.09.24-25.09.24	
3	Дослідження існуючих рішень заданого пристрою	25.09.24-01.10.24	
4	Розробка структурної схеми	01.10.24-03.10.24	
5	Розробка принципової схеми та плати стенду	03.10.24-17.10.24	
6	Розробка коду стенду	17.10.24-28.10.24	
7	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	01.11.24-27.11.24	
8	Перевірка ПЗ на відповідність вимогам	27.11.24-28.11.24	
9	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	29.11.24-01.12.24	
10	Оформлення економічної частини	02.12.24-15.12.24	
11	Захист МКР	17.12.24-17.12.24	

Студент

(підпис)

Богдан ПОПОВ

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Ярослав КУЛИК

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.314.5

Магістерська кваліфікаційна робота складається з 131 сторінки формату А4, з урахуванням додатків, на яких є 7 рисунків, список використаних джерел містить 33 найменування.

Метою даної роботи є покращення технічних параметрів напруги в мережі та підвищення контролю живлення побутових пристроїв шляхом розробки гнучкої інтелектуальної системи контролю стану живлення електричних пристроїв, яка може бути використана для різних потреб.

Проведено огляд різних пристроїв захисту та контролю електроживлення світових виробників. Визначено кращі представники з таких сфер, як безперебійне живлення, стабілізація напруги та дискретне керування навантаженням, розглянуто особливості роботи акумуляторних збірок, необхідність використання пристроїв контролю стану акумулятора та балансування комірок. Визначено принцип функціонування, види та специфіку таких пристроїв.

Спроековано схему тестувального стенду на основі мікроконтролера STM32G070CBT6 з підключеним Wi-Fi контролером ESP-12F, розроблено механізм розширеного вимірювання з використання мультіплексорів та зсувних регістрів, що керуються за допомогою інтерфейсу SPI.

Ключові слова: джерело безперебійного живлення, пристрій захисту акумулятора, балансування акумуляторів, мультіплексор, мікроконтролер, комутація, операційна система, бездротова передача.

ABSTRACT

The master thesis consists of 131 pages of A4 format, including applications, on which there are 7 figures, the list of used sources contains 33 names.

The purpose of this work is to improve the technical parameters of the voltage in the network and increase the power control of household devices by developing a flexible intelligent system for monitoring the power status of electrical devices, which can be used for various needs.

A review of various power supply protection and control devices from world manufacturers was conducted. The best representatives from such areas as uninterruptible power supply, voltage stabilization and discrete load control were identified, the features of the operation of battery assemblies, the need to use battery status monitoring devices and cell balancing were considered. The principle of operation, types and specifics of such devices were determined.

A test bench circuit was designed based on the STM32G070CBT6 microcontroller with a connected ESP-12F Wi-Fi controller, and an extended measurement mechanism was developed using multiplexers and shift registers controlled via the SPI interface.

Keywords: uninterruptible power supply, battery management system, battery balancing, multiplexer, microcontroller, switching, operating system, wireless transmission.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	6
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1 Опис об’єкта досліджень	9
1.2 Актуальність пристрою	10
1.3 Огляд існуючих пристроїв	11
1.4 Станції автономного живлення.....	15
1.5 Проблематика правильної експлуатації акумулятора	17
1.5.1 Пристрій контролю стану акумулятора	17
1.5.2 Пристрій балансування акумуляторних комірок	20
1.6 Підсумки першого розділу	21
2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЖИВЛЕННЯ	23
2.1 Опис функціональних частин	23
2.1.1 Загальне функціонування системи.....	25
2.2 Вибір акумулятора	26
2.2.1 Визначення потужності та ємності акумулятора.	28
2.3 Проектування системи автоматичного перемикання	29
2.3.1 Проблема ізоляції мережі будинку	31
2.4 Проектування пристрою захисту та балансування акумулятора	32
2.4.1 Вибір мікроконтролера	33
2.4.2 Концепція пристрою BMS	34
2.4.3 Проблема налаштування пристрою BMS.....	38

	3
2.5 Створення концепції тестувального стенду	39
2.5.1 Вибір мікроконтролерів	40
2.5.2 Вибір бібліотек для роботи з периферійними пристроями	43
2.5.3 Організація коду програми	45
2.5.4 Вибір протоколу зв'язку	46
2.6 Підсумки другого розділу	48
3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЧНОГО	
ТЕСТУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ.....	50
3.1 Розробка електричної принципової схеми стенду	50
3.1.1 Схеми живлення та імітації комірок.....	50
3.1.2 Вимірювальні ланцюги	52
3.1.3 Ланцюги дискретної перевірки	54
3.1.4 Схема регульованого навантаження.....	55
3.1.5 Схема комутації	59
3.1.6 Схеми під'єднання мікроконтролерів	60
3.1.7 Схеми інтерфейсів передачі даних	61
3.1.8 Механізм розширеного вимірювання.....	62
3.2 Програмна реалізація стенду	65
3.3 Підсумок третього розділу	68
4 ПЕРЕВІРКА СХЕМИ ТА СТВОРЕННЯ ПЛАТИ	
АВТОМАТИЧНОГО ТЕСТУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ.....	70
4.1 Тестування ключових частин схеми	70
4.1.1 Схема електронного навантаження	70
4.1.2 Схема аналізатора балансувальних ключів	73
4.2 Створення друкованої плати стенду	75

4.3 Виведення документації	4 79
4.4 Підсумок четвертого розділу	80
5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	81
5.1 Технологічний аудит розробленої системи налаштування плат BMS	81
5.2 Розрахунок витрат на розроблення тестувального стенду	87
5.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки.....	91
ВИСНОВКИ	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	101
Додатки.....	105
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.....	106
Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина	109
Додаток В (обов'язковий) Лістинг програми ініціалізації мікроконтролера автоматичного стенду плат BMS	117
Додаток Г (обов'язковий) Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	125

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДБЖ	– джерела безперебійного живлення
ЕРС	– електрорушійна сила
АЦП	– аналого-цифрове перетворення
ШИМ	– широто-імпульсна модуляція
ОСРЧ (RTOS)	– операційні системи реального часу (Real-time operating system)
AC	– alternating current
DC	– direct current
BMS	– battery management system
SOC	– state of charge
SOH	– state of health
CC	– constant current
CV	– constant voltage
CP	– constant power
SLA	– Sealed Lead Acid
MOSFET	– metal-oxide-semiconductor field-effect transistor
UART	– Universal asynchronous receiver/transmitter
RS485	– Recommended Standard 485
Ni-Cd	– nickel-cadmium
LiFePO ₄ /LFP	– lithium iron phosphate
SPI	– Serial Peripheral Interface
I ² C	– Inter-Integrated Circuit
BQ76952	– microcontroller by Texas Instrument
ARM	– Advanced RISC Machine
SPL	– standard peripheral library
HAL	– Hardware Abstraction Layer
CMSIS	– Common Microcontroller Software Interface Standard

ВСТУП

Електроспоживання різного роду пристроїв потребує особливого контролю таких показників як струм, напруга, температура і подібних. Для цього існує різне електронне устаткування, яке слідкує за цими параметрами і тримає їх в нормі, або ж від'єднує пристрої від мережі. Необхідно створити багатофункціональну систему, яка об'єднає різні рішення таких задач в єдиний блок. В зв'язку з можливим відключенням світла, така система повинна мати власний акумулятор, тобто бути станцією автономного живлення що в наш час особливо **актуально**.

Метою роботи є покращення технічних параметрів напруги в мережі та підвищення контролю живлення побутових пристроїв шляхом розробки гнучкої інтелектуальної системи контролю стану живлення електричних пристроїв, яка може бути використана для різних потреб, особливо в житлових будинках при наявності та відсутності мережевої напруги з можливістю управління за допомогою смартфона або зручного інтерфейсу.

Потрібно створити власну систему «розумних» електронних модулів, яка б могла виконувати переважну більшість побутових задач, необхідних для безпечного живлення електроприладів різного роду та з різними характеристиками, була гнучкою у використанні та конкурентоспроможною на вітчизняному ринку. Для цього сформульовані наступні **задачі**:

- оцінити стан головних лідерів на ринку за цим напрямком, визначити їх основні недоліки та переваги;
- спроектувати власну систему, яка буде включати рішення для різних потреб, зможе виконувати комплекс завдань, таких, як стабілізація, обмеження по напрузі, контроль споживання, віддалене управління, буде відносно дешевою та сучасною (головною перевагою має бути застосування новітніх технологій). Підібрати потрібні інструменти та комплектуючі на основі та за допомогою яких буде проектуватися дана розробка;

- розробити загальну схему системи, структурні схеми окремих модулів, а також детально оглянути модуль захисту та балансування акумулятора та розробити для нього систему налаштування та перевірки, скласти електричну принципову схему даної системи, та написати програму роботи;

- спроектувати плату пристрою автоматичної перевірки плат захисту та балансування акумулятора, протестувати основні вузли схеми даного пристрою;

- дослідити економічну доцільність та встановити комерційний потенціал розробленого пристрою.

Процес розробки системи контрольованого живлення буде складатися з таких кроків:

- визначення необхідних функцій системи;
- проектування загальної концепції приладу;
- опрацювання модулів системи;
- детальний огляд модуля BMS;
- проектування системи автоматичного налаштування та перевірки модуля BMS;
- підбір необхідних електронних компонентів;
- вибір мікроконтролера або спеціалізованої мікросхеми для модуля;
- створення електричної принципової схеми;
- проектування друкованої плати;
- створення алгоритму роботи та програми модуля;
- аналіз собівартості, техніко-економічне обґрунтування, визначення шляхів вдосконалення.

Об'єктом роботи є процес перетворення, комутації та вимірювання електричної енергії в джерелах та пристроях споживання, а також процес управління збірками акумуляторних батарей в джерелах безперебійного живлення.

Предметом роботи є мікропроцесорна система автоматичного стенду плат BMS.

Методи дослідження. У роботі використано методи вимірювання змінної напруги, змінного струму, управління величиною постійного струму, комутації низьковольтної постійної напруги, розширення функціональних можливостей мікроконтролерів.

Основним **науково-технічним результатом** буде розроблений пристрій для автоматичного налаштування та перевірки плат BMS з використанням особливих схемотехнічних рішень.

Практична цінність даної розробки полягає в поєднанні різних технологій аналізу та керування мережевою напругою на базі одного пристрою, який буде складатися із групи виконавчих блоків різного призначення, це повноцінна система контролю живлення будинку, яка слідкує за параметрами мережі та автоматично виправляє їх при виникненні відхилень.

Апробація наукової роботи: тези доповідей на конференцію з описом даного пристрою оприлюднено на LIII Всеукраїнській науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету [1].

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Опис об'єкта досліджень

Об'єкт, що розробляється це система вимірювання електричних показників, таких як номінальне і критичне значення вхідної та вихідної напруги, струму, їх форми, температури, аналізу даних параметрів, автоматизованого управління системою безперебійного живлення для забезпечення постійного, надійного та тривалого електропостачання в приватні будинки та невеликі підприємства, потужністю до десяти кіловат. Початкова функціональна схема представлена на рисунку 1.1.

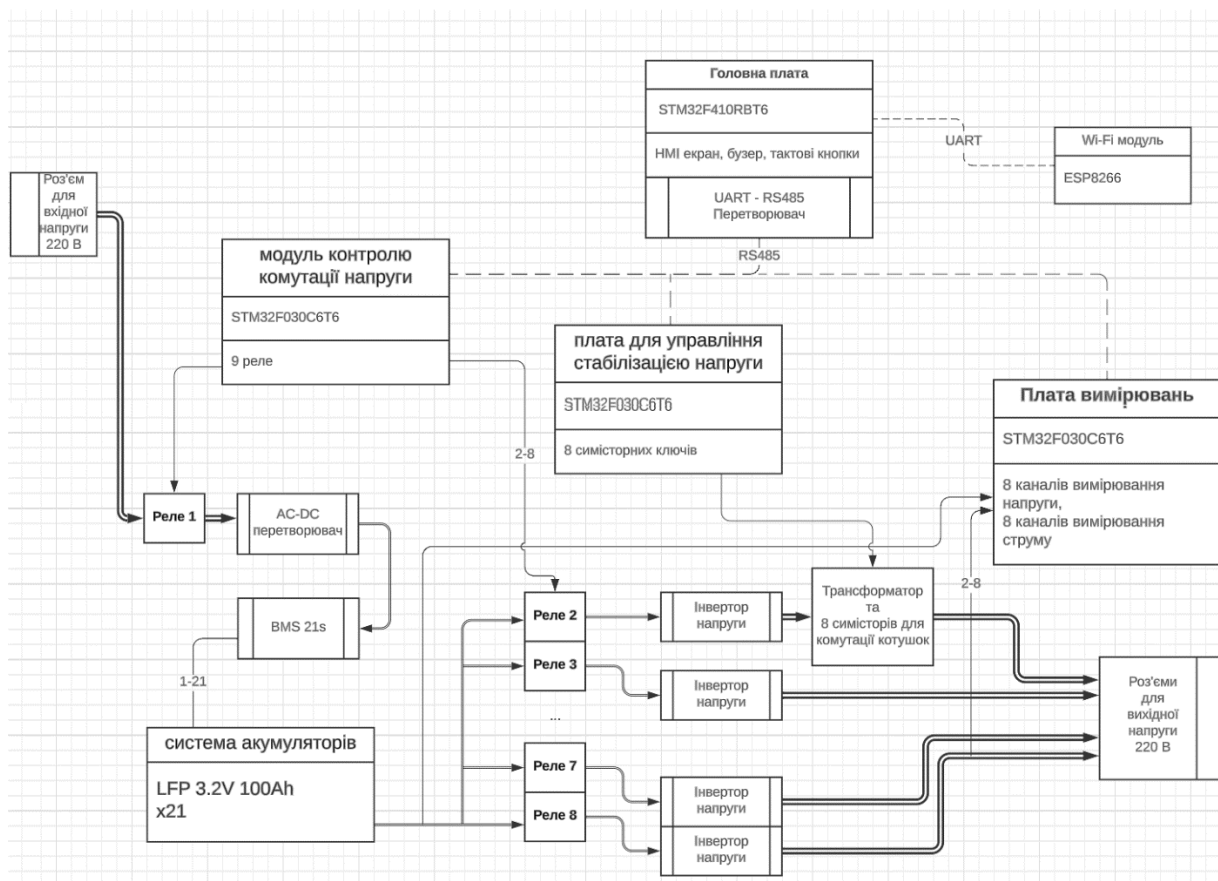


Рисунок 1.1 – Функціональна схема пристрою

1.2 Актуальність пристрою

Захист побутових електричних приладів від різних негативних факторів а також управління живленням таких приладів займає важливе місце при їх користуванні. Якісне захисне обладнання забезпечує нормальну їх роботу, запобігає виходу із ладу через високу напругу та інші нетипові ситуації.

До такого обладнання можна віднести:

- реле напруги – пристрої, які відключають ділянку електричного кола у разі виходу значення напруги поза встановлені межі;
- автоматичні вимикачі – відключають споживання у разі перевищення струму;
- стабілізатори – підтримують напругу у вузькому діапазоні, навіть коли значення вхідної напруги сильно коливається;
- димери – змінюють величину заповнення змінної напруги, таким чином регулюючи кількість енергії, яка надходить в навантаження.

Враховуючи імовірність частого відключення електропостачання, до лінійки пристроїв захисту електроприладів, необхідно додати пристрої резервного живлення.

ДБЖ на основі інверторів і акумуляторів - надійний і ефективний спосіб забезпечення безперебійного живлення різних пристроїв у разі тимчасового відключення основного джерела живлення, наприклад, електромережі. Комплект резервного живлення складається з інвертора та акумулятора [18]. Такі комплекти можна використовувати як для житлових, так і для комерційних цілей, щоб забезпечити додатковий захист від перебоїв з електропостачанням і забезпечити безперебійну роботу систем, чутливих до втрати електроенергії.

Важливу роль відіграє функція автоматичного переходу в автономний режим роботи і навпаки. Це означає, що в разі збою живлення система автоматично вмикається і починає запитувати зарядку акумулятора від підключеного обладнання. Після відновлення живлення система повертається до

основного джерела живлення, не вимагаючи від користувача жодних додаткових дій [19].

Крім того, акумуляторні системи безперебійного живлення мають вбудовану стабілізацію напруги та захист від короткого замикання. Це дозволяє уникнути можливого пошкодження електрообладнання в разі непередбачених ситуацій, таких як перепади напруги або короткі замикання.

Проте розробка складної габаритної системи, яка буде складатися з набору статичних елементів є недоцільною, оскільки дуже часто користувач використовує лише частину можливих функцій, при цьому система займає багато місця, є незручною. Набагато кращим є варіант розбірного пристрою, який можна комплектувати відповідно до необхідних задач. Приклад алгоритму роботи одного з модулів такого пристрою наведено на рисунку 1.2.

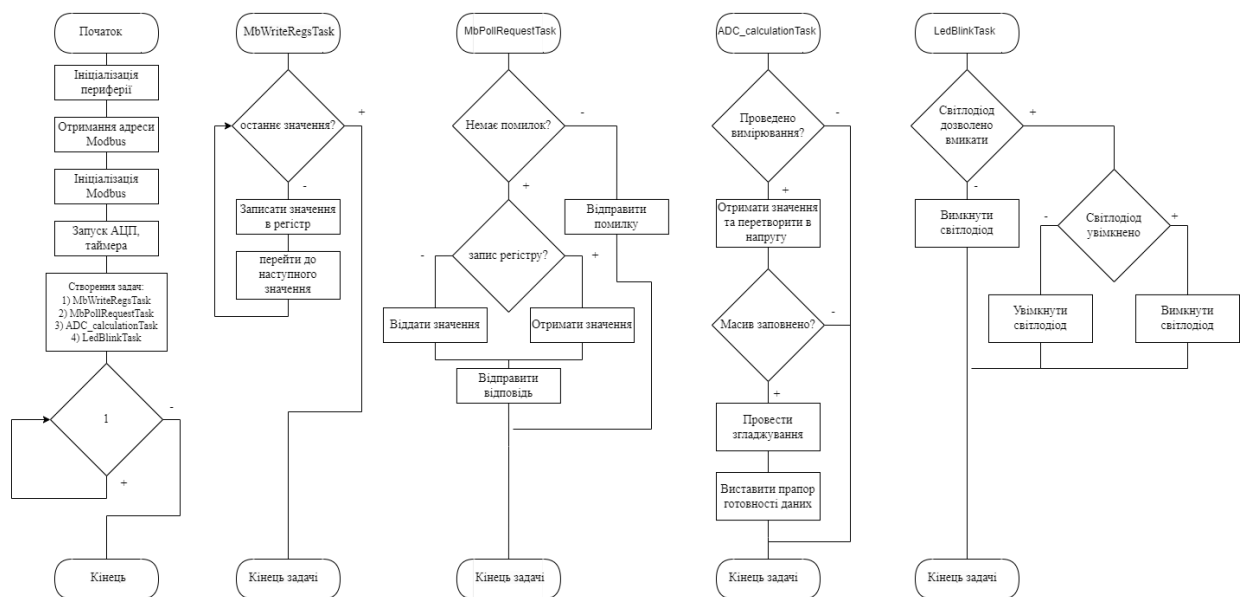


Рисунок 1.2 – Блок-схема роботи одного з модулів

1.3 Огляд існуючих пристроїв

Розглянемо деякі популярні варіанти пристроїв захисту та резервного живлення електрообладнання, представлених на світовому ринку.

а) Комплект резервного живлення LuxPower.

LuxPower SNA5000 Wide PV – однофазний інвертор для сонячних електростанцій компанії LuxPower. Даний інвертор дозволяє побудувати надійну та ефективну систему повного або резервного енергозабезпечення об'єкта завдяки наявності двох MPP трекерів, широкого діапазону напруг і можливості об'єднувати кілька інверторів в єдину систему, з можливістю вибору фінальної потужності станції. Загальна потужність може бути збільшена до 30 кВт в однофазній або трифазній системі, залежно від потреб. Також в комплект входить інтернет-моніторинг, через який можна як просто стежити за роботою станції, так і проводити віддалені налаштування та діагностику.

Літій-залізо-фосфатний акумулятор Dyness A48100 ємністю 4,8 кВт×год створений для роботи із сонячними станціями. Розрахований на 6000 циклів заряду/розряду із глибиною розряду 90%[2].

Переваги:

- сучасний, ергономічний дизайн; висока ефективність;
- широкий діапазон робочої температури (-20 +50°C);
- різні варіанти установки - підлогові, настінні та штабельовані;
- можливість розширення – до 40 пристроїв паралельно;
- велика кількість циклів заряду/розряду.

Технічні характеристики:

- інтерфейс для підключення зовнішніх пристроїв: RS485, USB;
- тип ДБЖ: MPPT;
- тип акумулятора: LiFePO₄;
- струм заряду: 100 А;
- частота струму: 50 Гц;
- мінімальна вхідна напруга: 145 В;
- максимальна вхідна напруга: 275 В;
- форма вихідної напруги: правильна синусоїда;
- допустима пікова потужність: 10000 Вт;
- максимальна потужність: 5000 Вт;

- ККД: 93 %;
- час перемикання: 4 мс.

б) Стабілізатор напруги однофазний високої точності широкого діапазону дії Awattom MHPVS(W) 27,5 kW.

Регулятор напруги Snorts з широким діапазоном робочої напруги від 80 В до 305 вольт з точністю стабілізації вихідної напруги 220 вольт – 5 відсотків[3].

Технічні характеристики:

- вхідна робоча напруга: 100-305 В;
- вихідна напруга: 220 В;
- частота мережі: 50 Гц;
- номінальна потужність при $U_{вх}$ 220В: 27,5 кВт;
- максимальна потужність при $U_{вх}$ 80В: 10,0 кВт;
- максимальна потужність при $U_{вх}$ 304В: 38,0 кВт;
- мінімальна вхідна напруга: 100 В;
- максимальна вхідна напруга: 305 В;
- максимально допустимий струм, не більше 30 секунд: 160 А;
- відхилення вихідної напруги від номінальної при вхідній 90-295В: 5%;
- час реакції на зміну вхідної напруги: 14 мс;
- габаритно установкові розміри: 830х360х290 мм.

в) Schneider – АСТІ 9 STD – лінійка управління освітленням, часом і енергією.

1) Димер дистанційного регулювання потужністю.

Пристрій дозволяє змінювати яскравість лампи розжарювання, галогенної лампи, або ступінь нагрівання тенів шляхом зрізування частини синусоїдальної напруги.

Технічні характеристики:

- максимальна потужність: 1000Вт;
- тип керування: місцеве управління, дистанційне керування;
- споживана потужність: 0,8 Вт;
- теплові втрати: 3 В;

- тип входу: натискання кнопки;
- номінальна робоча напруга: 230 В, 50 Гц;
- тип захисту: «electronic over temperature protection», «electronic overvoltage protection», «single shot thermal fuse», «electronic overload protection»;
- додаткове підключення: максимально 25 додаткових перемикачів без мережевої індикації до 50 метрів;
- додаткові елементи: 5 кнопок зі світловою індикацією;
- робоча температура навколишнього середовища: 0...70 °С.

2) Електронне реле часу Acti9 MINr з регулюванням від 0,5 до 60 хвилин.

Електронний пристрій короткочасного увімкнення освітлення Acti 9 MINr. Пристрій замикає, потім розмикає контакт через визначений час. Забезпечує попередження про те, що освітлення ось-ось вимкнеться мерехтінням світла лампи (попередження про вимкнення). Час затримки регулюється від 0,5 до 20 хв. Функції: три режими роботи, які вибираються перемикачем на передній панелі:

- режим таймера з вбудованою функцією попередження про вимкнення – лампа блимає за 40 і 30 секунд до закінчення часу витримки;
- режим таймера без функції попередження про вимкнення;
- режим постійного освітлення[4].

Технічні характеристики:

- номінальна напруга: 230 В;
- споживання пристрою: 6 Вт;
- робоча температура: -25°C +50°C;
- габаритні розміри: 18x89x66;
- клас ізоляції: II;
- ступінь захисту: IP20B;
- номінальна потужність вихідного контакту: 16 А;
- час затримки (увімкнення та вимкнення): 0,5 - 20 хв;
- кількість каналів: 1;
- монтажна опора: DIN-рейка;

- кількість модулів: 2;
- клеми підключення: Гвинтові затискачі 6 мм²;
- маса: 103 г.

1.4 Станції автономного живлення

Джерело безперебійного живлення — це пристрій, який дозволяє побутовій техніці продовжувати працювати принаймні короткий час у разі припинення вхідного живлення. Якщо енергія надходить, вона також поповнює та підтримує накопичення енергії.

Енергія може зберігатися різними способами. Найпоширенішими є акумуляторні батареї. Однак кінетична енергія також може зберігатися у важких обертових маховиках або у вигляді палива.

Чим більше накопичено енергії, тим довше можна підтримувати резервне живлення, з практичними обмеженнями, які обговорюватимуться пізніше. Відмінності між системами ДБЖ полягають у технології, яка дозволяє їм виконувати свою роботу [5].

Принцип роботи ДБЖ:

Перетворення змінного струму на постійний відбувається за допомогою автотрансформатора, двонапівхвильового випрямлення та фільтрації. Вхід AC-DC має схему плавного запуску, яка може добре уникнути негативних впливів від запуску на мережу.

Інвертор DC-AC – схема повного мостового інвертора з великим запасом потужності. У межах динамічного вихідного діапазону вихідний опір дуже малий. Оскільки використовується технологія обмеження струму високочастотної модуляції та технологія швидкого захисту від короткого замикання, інвертор може безпечно та надійно працювати як під час перехідної зміни напруги джерела живлення, так і під впливом навантаження чи короткого замикання.

Керування приводом – є основою завершення функціонального керування. Забезпечення, захисту, синхронізації, перемикання та відображення сигналів приводу. Динамічний зворотний зв'язок подвійної напруги використовується для значного покращення динамічних характеристик і стабільності інвертора[6].

При наявності живильної мережі вихід станції точно такий же, як і вхід. ДБЖ втручається лише за відсутності вхідної напруги та живить навантаження за допомогою інвертора, який, у свою чергу, живиться від батарей.

Основними функціональними блоками ДБЖ є:

- перемикач: загалом, електромеханічного типу з часом спрацювання від 5 до 10 мс;

- інвертор: перетворювач потужності, який перетворює пряму напругу акумулятора на змінну. Рівень складності та продуктивності цього інвертора може відрізнятися залежно від моделі та потужності, тоді як генерована напруга може бути псевдосинусоїдальною або синусоїдальною з більш або менш інтенсивним вмістом гармонік;

- зарядний пристрій: перетворювач, який перетворює змінну вхідну напругу в постійну для заряджання акумуляторів, коли ДБЖ працює від напруги мережі. Ця схема може бути більш-менш складною та мати вищі або нижчі рівні продуктивності залежно від моделі та потужності.

Джерела безперебійного живлення захищають від:

- знеструмлення;
- просадки напруги > 10 мс;
- коливання напруги < 16 мс;
- перенапруги 4-16 мс [7].

Режими роботи:

Автоматичний запуск/вимкнення. Поєднавши ДБЖ із програмним забезпеченням керування джерелом живлення, можна належним чином вимкнути комп'ютери та інші пристрої, під'єднані до ДБЖ, у разі відключення електроенергії. Крім того, після відновлення живлення комп'ютери, які були

автоматично зупинені під час відключення електроенергії, можуть бути автоматично запущені знову.

ДБЖ в режимі очікування. Система, у якій зазвичай джерело змінного струму (живлення від мережі) подається на під'єднані пристрої, а коли виявляється збій живлення або виявляється аномальна напруга, інвертор починає житися, використовуючи живлення від батарей.

Гібридний ДБЖ. Ця система складається з трьох режимів: режим подвійного перетворення, економічний режим і режим активного фільтра. ДБЖ автоматично вибирає режим подачі електроенергії відповідно до ситуації живлення та умов навантаження [8].

1.5 Проблематика правильної експлуатації акумулятора

Область застосування акумуляторів постійно розширюється і вимоги до них постійно зростають. Щоб задовольнити необхідні вимоги та забезпечити нормальну роботу акумулятора потрібно правильно слідкувати та керувати його станом, у пристроях з акумулятором системи керування батареями є обов'язковими.

Основним завданням системи керування батареєю є захист окремих елементів батареї та збільшення терміну служби, а також кількості циклів. Це особливо важливо для літій-іонної технології, де батареї повинні бути захищені від перезаряду та перегрівання, щоб запобігти руйнуванню елемента. Необхідні характеристики нових акумуляторів можуть бути досягнуті тільки за допомогою інтелектуальних систем управління батареями.

1.5.1 Пристрій контролю стану акумулятора

BMS — це технологія, призначена для нагляду за акумуляторною батареєю, яка являє собою збірку елементів батареї, електрично організованих у

матричну конфігурацію рядок-стовпець, щоб забезпечити доставку цільового діапазону напруги та струму протягом певного часу при очікуваному сценарії навантаження.

Існує багато конструктивних особливостей BMS, причому керування захистом акумуляторної батареї та керування ємністю є двома основними функціями. Тут ми обговоримо, як працюють ці дві функції. Управління захистом акумуляторної батареї має дві ключові сфери: електричний захист, який передбачає недопущення пошкодження батареї і тепловий захист, який передбачає пасивний та/або активний контроль температури [9].

Запобігання перезарядженню та надмірному розрядженню: система керування батареєю гарантує, що кожен елемент акумуляторної батареї підтримується в безпечних межах напруги, таким чином запобігаючи ситуаціям, які можуть призвести до перегріву або передчасної деградації елементів.

Моніторинг напруги та температури: BMS постійно контролює напругу та температуру елементів батареї, надаючи завчасне попередження про потенційні проблеми з безпекою.

Запобігання стресовим ситуаціям: підтримуючи акумулятор в оптимальних робочих умовах, система керування акумулятором запобігає стресовим умовам, які можуть призвести до передчасного «старіння» акумулятора.

Оптимізація робочих умов: шляхом моніторингу та регулювання таких параметрів, як температура та керування навантаженням, система керування батареєю може забезпечити ефективну роботу батареї, забезпечуючи найкращу продуктивність.

Оцінка стану заряду (SOC) і працездатності (SOH): BMS розраховує та повідомляє SOC і SOH батареї, які мають вирішальне значення для розуміння доступної енергії та загального стану батареї відповідно [10].

Завдання систем керування батареєю – забезпечити оптимальне використання залишкової енергії, наявної в батареї. Щоб уникнути навантаження на батареї, системи BMS захищають батареї від глибокого розряду

та перенапруги, які є результатом надзвичайно швидкого заряду та надзвичайно високого струму розряду [11].

SOC значно впливає на термін служби батареї. Кожна батарея має певну кількість циклів заряджання та розряджання залежно від використовуваної хімії та залежно від діапазонів SOC, у яких використовується батарея. BMS має перевірити найефективніший спосіб заряджання та розряджання. Крім того, BMS має підтримувати належний SOC, щоб термін служби батареї був максимальним. Для забезпечення управління в цій області BMS виконує наступні завдання: контролює зарядний струм, вмикає/вимикає активні перемикачі між блоком і навантаженням/зарядним пристроєм, запускає послідовність попереднього заряджання. Літієві акумулятори зазвичай заряджають за підходом постійного струму-постійної напруги (CC-CV) – рисунок 1.3, або постійної потужності-постійної напруги (CP-CV). Це найпопулярніші підходи в практичному застосуванні. Однак через тривалий час заряджання та унікальні характеристики кожної фази заряджання потрібно знайти оптимізований профіль заряджання [12].

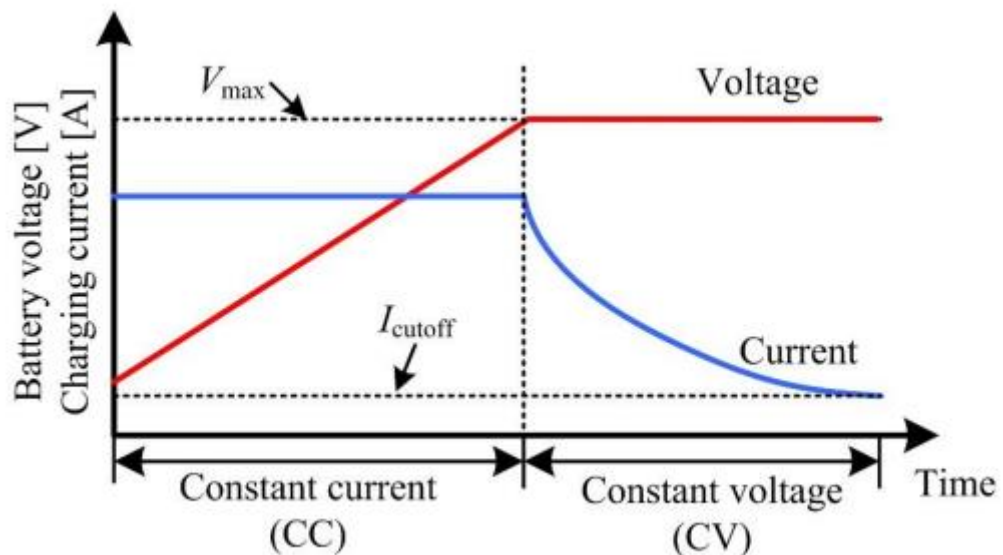


Рисунок 1.3 – Періоди заряду акумулятора

1.5.2 Пристрій балансування акумуляторних комірок

Балансування покращує стан заряду (SOC) акумулятора. Дисбаланс створюється, коли кожна комірка підключеної серії акумуляторної батареї зображує різний SOC. Балансування елементів батареї також означає перерозподіл батареї, щоб покращити загальний потенціал акумуляторної батареї та підкреслити довговічність кожного елемента.

Дисбаланс призводить до того, що загальна ємність акумулятора дорівнює найслабшому елементу в акумуляторному блоку.

Однак, щоб оптимізувати термін служби батареї, потрібно забезпечити балансування елементів, щоб вирівняти загальний заряд батареї кожного елемента в упаковці [13].

Причини дисбалансу між елементами всередині акумуляторної батареї під час циклічного заряджання та розряджання виникають через комбінацію факторів. Незначні відмінності в складі матеріалу, розмірі та збірці можуть вплинути на продуктивність і ємність кожної комірки. Крім того, властиві характеристики літійових елементів, які включають їх хімічний склад і те, як вони старіють з часом, сприяють розбіжностям у поведінці комірок. Критичним фактором, що посилює дисбаланс, є зміна внутрішнього опору всередині кожної комірки та опору між комірками, відомого як опір шини. Ці опори впливають на те, наскільки легко електрони протікають через комірки та сполучний матеріал, що призводить до нерівномірного заряду та розряду між комірками. Оскільки деякі елементи можуть заряджатися або розряджатися швидше, ніж інші, ця невідповідність може призвести до дисбалансу в акумуляторі [14].

Щоб запобігти надмірному розрядженню елементів і, як наслідок, пошкодженню, система керування батареєю припинить розряд, якщо будь-який з елементів досягне порогу низької напруги. Напруга завершення на основі комірок зазвичай встановлюється на нижче значення, ніж порогове значення на основі пакета, поділене на кількість послідовних комірок, так що різниця може

дозволити невеликий дисбаланс. Для літій-іонних акумуляторів воно змінюється від 2,7 до 2,2 В залежно від типової швидкості розряду [15].

Існує два можливі методи балансування клітин:

Пасивне – цей метод передбачає розсіювання додаткового заряду елемента, який перезаряджений в акумуляторній батареї, через резистор. Хоча цю техніку відносно легко реалізувати, вона дуже неефективна, оскільки додатковий заряд у комірці просто витрачається даремно [16]. Більше того, цей заряд, проходячи через резистор, генерує тепло, яке є небажаним, оскільки це може бути небезпечним і в довгостроковій перспективі може вплинути на стан блоку елементів.

Активне – у цій техніці додатковий заряд надмірно зарядженої клітини передається на клітини, які відносно недозаряджені. Завдяки чому теоретично енергія взагалі не розсіюється, що робить його набагато ефективнішим, ніж техніка пасивного балансування клітин. Оскільки енергія не розсіюється, виділяється менше тепла, що забезпечує більшу передачу заряду, що фактично робить процес балансування клітин набагато швидшим. Але реалізувати це відносно складно [17].

1.6 Підсумки першого розділу

Розглянуто різні пристрої захисту та контролю електроживлення світових виробників, зокрема від Schneider Electric. Визначено кращі представники з таких сфер, як безперебійне живлення, стабілізація напруги та дискретне керування навантаженням. Проаналізувавши їхні технічні характеристики зроблено наступні висновки.

LuxPower SNA5000 Wide PV – надійний блок живлення потужністю 5 кіловат, з можливістю розширення (збільшення потужності) та управлінням через інтернет. До недоліків можна віднести масо-габаритні властивості, та ціну, яка складає сто дев'ять тисяч гривень.

Awattom MHPVS(W) 27,5kW – стабілізатор напруги з широким діапазоном вхідної напруги (80-305 вольт) та великою потужністю (38 кіловат). Який проте також доволі громіздкий, дорогий (65550 гривень) і призначений для використання переважно на підприємствах.

Schneider ACTI 9 STD – лінійка управління освітленням, часом і енергією на основі релейної комутації. Стандартизований набір пристроїв для побутового та промислового використання, зрозумілих для налаштування, проте з досить невеликим набором змінних параметрів та високою ціною (4820 гривень за один пристрій).

Параметри всіх розглянутих пристроїв наведено в таблиці 1.1. Окрім цього встановлено, що всі розглянуті продукти, включаючи товари від Schneider Electric, працюють як окремі пристрої, або групи пристроїв, та ніяк не пов'язані між собою. Задача ж даного проекту створити систему змінних взаємозамінних модулів подібного призначення, які будуть взаємодіяти і працювати як єдиний механізм при різному їх наборі та параметрах системи.

Таблиця 1.1 Порівняльна характеристика пристроїв

Назва	Тип пристрою	Максимальна напруга (В)	Максимальна потужність (Вт)	Робоча температура (°C)	Управління
LuxPower	Інвертор	275	5000	72	Напівручне
Awattom MHPVS	Стабілізатор	305	27500	80	Напівручне
ACTI 9 STD	Димер, реле	230	1000	70	Ручне
Дана система управління	ДБЖ	360	10000	80	Автоматизоване

Також розглянуто особливості роботи акумуляторних збірок, необхідність використання пристроїв контролю стану акумулятора та балансування комірок. Визначено принцип функціонування, види та специфіку таких пристроїв.

2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЖИВЛЕННЯ

2.1 Опис функціональних частин

Система, що розробляється буде складатися з наступних частин:

- джерело живлення. Потрібно використовувати плату BMS з технологією балансування, яка буде перевіряти стан кожної з комірок акумулятора та вирівнювати їхню напругу, а також не дасть акумулятору перезарядитися та розрядитися нижче норми, оскільки це шкідливо для акумулятора;

- модуль безперебійної комутації. Він буде складатися пристроїв вимірювання параметрів електричної напруги (форма, номінальне та дійсне значення), а також двофазних трипозиційних електромагнітних перемикачів для зміни напрямку струму від мережі будинку до системи та навпаки, а також для повного відключення системи від мережі;

- модуль зарядки. Це понижуючий AC-DC перетворювач, який випрямить та зменшить напругу мережі до необхідних 48 чи 24 вольт;

- інвертор напруги з сонячним контролером. Схема сонячного інвертора використовує сонячну панель. В якості зарядного пристрою буде використовуватися стабілізатор позитивної напруги з трьома полюсами зі змінними налаштуваннями. Акумулятор SLA отримує кінцевий вихід регулятора, який діє як зміщення постійного струму для схеми інвертора. Імпульс перемикання буде вироблятися мультівібратором, який працює на низькій потужності. Кожен вихідний контакт забезпечує робочий цикл 50%. Перемикання пристроїв буде за допомогою драйвера MOSFET. Основним компонентом сонячного інвертора є вихідний каскад, трансформатор використовується в зворотному напрямку. Металооксидний варистор захищає підключене електронне обладнання. Вихідна напруга від сонячної панелі подається в ланцюг позитивного регулятора. Батарея підключена до цього зміщення за допомогою діода Шотткі. Інтегральна схема підключена та налаштована як нестабільний мультівібратор у цій схемі сонячного інвертора.

Коли перемикач увімкнено, контур починає коливатися. Вторинна обмотка трансформатора керується вихідними сигналами, які безпосередньо подаються на комутаційний силовий MOSFET. Тут поточний потік відбувається протягом певної тривалості, але не протягом певного періоду. У результаті котушка первинної обмотки та змінна електромагнітно-індукована ЕРС створюють вихід змінного струму. Вихідна напруга та частота змінюються залежно від кількості обмоток і частоти комутації;

- модуль стабілізації. Основна блок-схема ДБЖ з подвійним перетворенням показана на рисунку 2.1. У нормальному режимі роботи навантаження подається через випрямляч-інвертор. Випрямляч перетворює вхідний змінний струм в регульований постійний, забезпечуючи подачу постійного струму до інвертора під час заряджання акумулятора. Інвертор перетворює постійну напругу в регульований вихід змінного струму, де напруга та частота повністю контролюються та не залежать від якості входу змінного струму. У разі збою в мережі інвертор отримує живлення від акумулятора. Також присутній статичний байпас, що дозволяє працювати в режимі живлення безпосередньо від вхідної мережі змінного струму, хоча такий режим роботи обмежений. В даній системі буде використано однофазний повномостовий інвертор джерела напруги з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією;

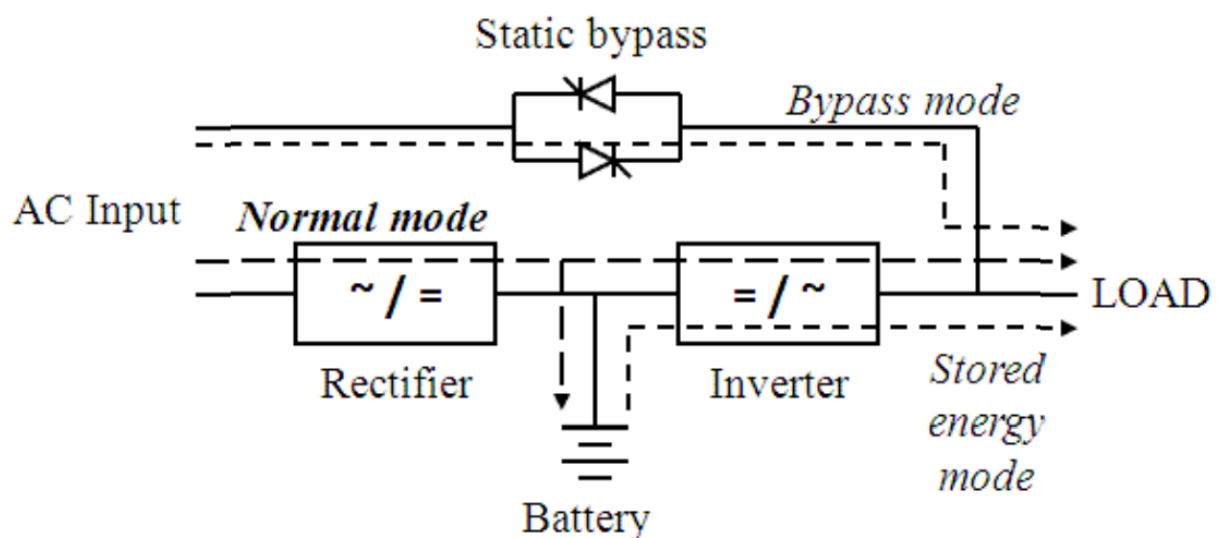


Рисунок 2.1 – Блок-схема стабілізатора із подвійним перетворенням

- модуль ручної комутації. Буде керувати електромеханічними реле для увімкнення/вимкнення зарядки акумулятора, а також перемикання кожного з виходів пристрою;

- плата контролю. Головна плата на основі мікроконтролера STM32F410RBT6 з підключеним сенсорним екраном, тактовими кнопками та динаміком, яка буде отримувати інформацію від користувача, контролювати всі інші модулі і виводити поточні дані на екран. В неї буде записано програму роботи всієї системи. Також на ній буде присутній перетворювач сигналу UART-RS485;

- модуль віддаленого доступу. Плата Wi-Fi модуля ESP8266, під'єднана до головної плати за допомогою інтерфейсу UART, яка буде працювати в режимі точки доступу, вона буде приймати та відображати інформацію про стан пристрою на веб-сторінці.

2.1.1 Загальне функціонування системи

Всі модулі будуть контролюватися головною платою за допомогою інтерфейсу RS485 та протоколу Modbus.

Принцип дії модулів у загальному під'єднанні наступний. Вхідна мережева напруга через утримуюче електромеханічне реле подається на перетворювач змінного струму в постійний, на виході якого отримуємо напругу сорок вісім вольт, яка, через систему BMS-21s подається на акумулятор. Система BMS обладнана функцією балансування, тому контролювати стан акумулятора не потрібно, вона сама перевіряє напругу на кожній з комірок, виконує балансування та функцію захисту акумулятора від перезаряду і надмірного розрядження.

Вихідна напруга з акумулятора подається на інвертори напруги, які перетворюють її на синус-подібну зі значенням двісті двадцять вольт. З інверторів напруга через перекидні реле може подаватися на вихід для живлення необхідних пристроїв.

Окрім цього є інша лінія живлення пристроїв. Вона перемикається за допомогою утримуючого реле з двома контактами, яке при увімкненні пропускає струм для заряджання акумулятора, а також на вхід автотрансформатора. Вимикається дане реле при відсутності вхідної напруги. Модуль стабілізації стабілізує мережеву напругу таким чином, щоб на виході отримувати напругу значенням двісті двадцять вольт з похибкою два відсотки. Вихід стабілізатора під'єднаний до тих же реле, що й інвертори.

Таким чином, при відсутності напруги в мережі пристрої будуть живитися від акумулятора через інвертори, в іншому випадку живлення буде відбуватися від мережі через систему стабілізації. За допомогою перекидних реле можна керувати (подавати живлення) окремо кожним з підключених пристроїв.

Вимірювання напруги та струму відбувається на виході акумулятора та всієї системи, завдяки цьому є можливість слідкувати не тільки за номінальним значенням напруги в системі, але й за потужністю, яку споживає кожен з підключених пристроїв. Зв'язки між елементами системи наведено на рисунку 2.2.

2.2 Вибір акумулятора

Літій-іонна (Li-ion) батарея – це вдосконалена технологія батареї, яка використовує іони літію як ключовий компонент своєї електрохімії. Під час циклу розряду атоми літію в аноді іонізуються та відокремлюються від своїх електронів. Іони літію рухаються від анода та проходять через електроліт, поки не досягнуть катода, де вони рекомбінують зі своїми електронами та електрично нейтралізуються. Іони літію досить малі, щоб проходити через мікропроникний сепаратор між анодом і катодом [22]. Частково через малий розмір літію (третє місце після водню та гелію) літій-іонні батареї здатні мати дуже високу напругу та запас заряду на одиницю маси та одиницю об'єму.

Незважаючи на технологічні перспективи, літій-іонні батареї мають ряд недоліків, зокрема щодо безпеки. Літій-іонні батареї мають властивість перегріватися і можуть вийти з ладу під дією високої напруги. У деяких випадках це може призвести до перегріву та горіння. Літій-іонні батареї потребують механізмів безпеки для обмеження напруги та внутрішнього тиску, що в деяких випадках може збільшити вагу та обмежити продуктивність. Літій-іонні батареї також схильні до старіння, що означає, що вони можуть втрачати ємність і часто виходити з ладу через кілька років. Іншим фактором, що обмежує їх широке впровадження, є їх вартість, яка приблизно на 40% вища, ніж Ni-Cd. Вирішення цих проблем є ключовим компонентом поточних досліджень технології.

Літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO₄ або LFP) мають багато переваг перед літій-іонними акумуляторами інших конструкцій і старими свинцево-кислотними (LA) акумуляторами. Вони важать менше, не потребують технічного обслуговування, мають кращі характеристики заряду та розряду, а також мають набагато довший термін служби, що робить їх одними з найкращих електричних силових установок для живлення різних пристроїв [30].

Інші ключові переваги LiFePO₄ включають високий номінальний струм, довший термін служби, нульовий ризик витоку та пожежі та стійкість до неоптимальних циклів заряджання та розряджання [29].

Конструкції акумуляторів LiFePO₄ мають покращену ефективність розряду та заряду, а також здатність до глибокого циклу, зберігаючи продуктивність, чого не можуть зрівняти хімії LA та інші конструкції літієвих акумуляторів. Літій-залізо-фосфатні акумулятори мають довший термін служби, ніж літій-іонні, вони не потребують обслуговування, надзвичайно безпечні, легкі [10].

Одним із найпоширеніших є призматичний акумулятор LFP 3.2V 100Ah. Його технічні характеристики представлені нижче:

- номінальна напруга: 3,2 В;
- номінальна ємність: 100Ah (розряд 0,2С);
- розмір: 36 x 130 x 220 мм;

- вага: приблизно 2,50 кг;
- складений тип: послідовний і паралельний;
- максимальна напруга захисту заряду: 3,80 В;
- струм зарядки: 0.2С;
- час зарядки: 1-5 годин;
- спосіб заряджання: CC-CV;
- максимальний струм розряду: 3,65 В;
- термін служби циклу перезарядки: більше 2000 циклів;
- робоча температура: розрядка – 20~60°C;
- функції захисту: перезаряд, перерозряд, перенавантаження, коротке замикання [11].

2.2.1 Визначення потужності та ємності акумулятора.

В середньому для комфортного життя людей в будинку необхідно жити такі прилади, як ноутбук, телефон, холодильник, чайник, електроплита, лампа. Кожен з приладів має свою потужність та приблизний час експлуатації протягом доби:

Ноутбук – 100 ват – три години.

Телефон (три штуки) – 60 ват – одна година.

Холодильник – 500 ват – чотири години.

Чайник – 500 ват – пів години.

Електроплита (дві штуки) – 1000 ват – три години.

Лампа (п'ять штук) – 100 ват – шість годин.

У випадку повного відключення світла протягом дня необхідно жити всі ці пристрої від акумулятора, відповідно ємність акумуляторної збірки для даної задачі повинна становити не менше 6210 ват/годин.

Оскільки обраний тип акумулятора (літій-залізо-фосфат) видає напругу 3.2 вольти при ємності 100 ампер/годин, необхідно розрахувати кількість

аккумуляторних блоків у збірці для того, щоб задовольнити вищеписані вимоги, для цього спершу потрібно визначити ємність аккумулятора за формулою 2.1.

$$W = C * U, \quad (2.1)$$

де W – ємність аккумулятора у ват-годинах,

C – ємність аккумулятора в ампер-годинах,

U – напруга аккумуляторного блоку.

$$W = 100 * 3.2 = 302(\text{ват/год.}).$$

Тепер можна розрахувати кількість аккумуляторів за формулою 2.2.

$$n = \frac{Wn}{W}, \quad (2.2)$$

де n – кількість аккумуляторів,

Wn – задана ємність,

W – ємність одного аккумуляторного блоку.

$$n = \frac{6210}{302} = 20.56 (\text{блоків}).$$

Необхідно 21 аккумуляторний блок, який при послідовно-паралельному з'єднанні буде мати ємність більшу, ніж задана – 6210 ват.

2.3 Проектування системи автоматичного перемикавання

Випрямляч або зарядний пристрій перетворює змінний струм на постійний і спрямовує його для живлення інвертора або для зарядки аккумулятора. Інвертор перетворює електроенергію постійного струму на змінну.

Блок управління керує та координує функції ДБЖ, включаючи моніторинг стану системи, перемикавання між джерелами живлення та регулювання вихідної напруги та частоти.

ДБЖ підключається до розетки змінного струму та активується, коли виявляє відключення електроенергії, падіння напруги, стрибок або коливання

частоти. У разі відключення ДБЖ майже миттєво перемикається на акумулятор — досить швидко, щоб не пошкодити електричне обладнання. З цього моменту акумулятор діє як постійне аварійне джерело живлення, доки не використає всю свою потужність.

Задача полягає у створенні модуля комутації, який буде «повертати» напрямок протікання змінного струму до та від зарядної станції. На рисунку 2.2 він позначений як «Модуль безперебійної комутації».

Дане ДБЖ буде підключатися до мережі будинку лише за допомогою одного роз'єму. Під час наявності мережевої напруги пристрій споживає енергію для заряджання внутрішнього акумулятора, в такому режимі модуль перемикає роз'єм, що під'єднаний до мережі на вхід АС-DC перетворювача. Електроенергія перетворюється на постійну і подається на вхід модуля зарядки, після чого на акумулятор через плату BMS.

Коли ж напруга в мережі зникає, пристрій, виявивши це перемикає за допомогою модуля комутації мережевий роз'єм з входу перетворювача на вихід інвертора. Таким чином, дріт, по якому струм спрямовувався з мережі в станцію тепер передає його в зворотньому напрямку для живлення мережі від станції.

Особливості даного підходу:

- такий принцип дозволяє використовувати станцію в повністю автономному режимі, з автоматичним увімкненням при зникненні електропостачання без будь-якого втручання користувача;
- під час наявності мережевої напруги енергія використовується тільки для заряджання акумулятора;
- станція не обмежує потужність споживання електропристроїв і не впливає на мережу, оскільки підключена до неї паралельно а не послідовно, як звичайний ДБЖ;
- мережа будинку стає незалежною від загальної мережі електропостачання.

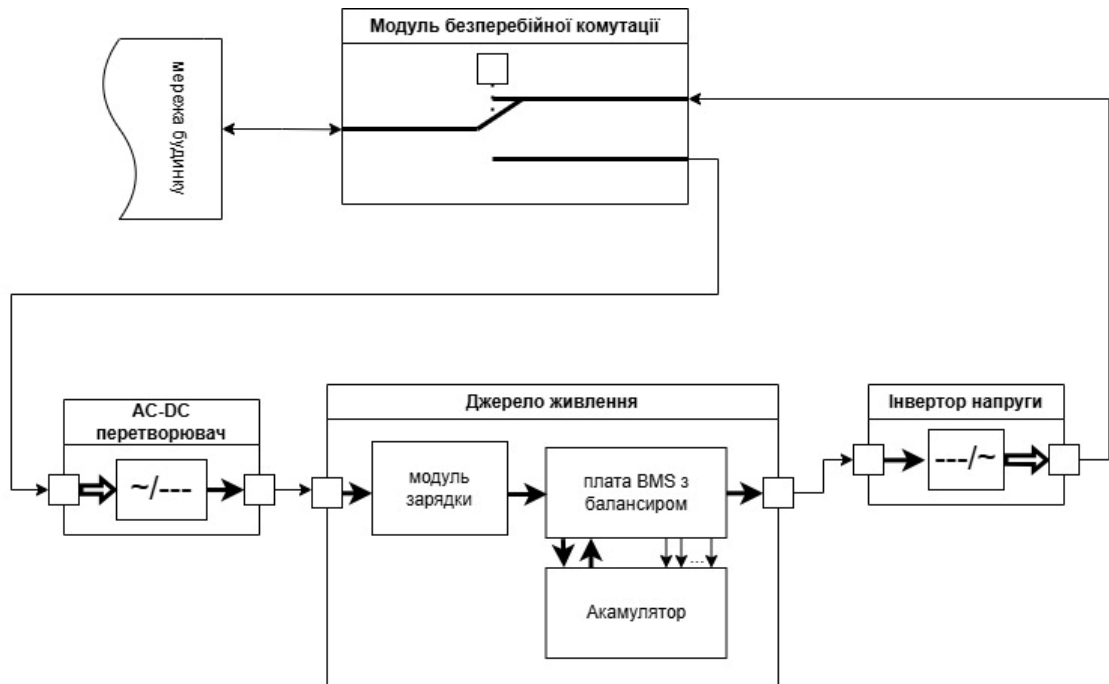


Рисунок 2.2 – Спрощена схема системи автоматичного перемикавання

2.3.1 Проблема ізоляції мережі будинку

При реалізації даної концепції виникає проблема неможливості передбачення відновлення електропостачання. Мережа будинку, яка живиться від станції у момент, коли буде знову подане зовнішня електроенергія стає точкою зіткнення двох джерел змінного струму, які, звичайно, не синхронізовані за фазою, частотою та амплітудою. Відповідно виникне розбіжність потенціалів, що призведе до виходу з ладу станції, та пошкодження побутових пристроїв.

Тому необхідно ізолювати мережу будинку від зовнішньої мережі. Для цього можна використати реле напруги, яке буде «граничним пунктом» на межі двох мереж. Під час наявності живлення реле замикається і мережа будинку живиться від зовнішньої мережі. В іншому випадку реле розмикається і живлення відбувається за допомогою станції. При цьому, після відновлення електропостачання, станція спочатку зробить перемикавання мережевого роз'єму з виходу інвертора на вхід зарядного пристрою, а вже тоді замкнеться реле і будинок під'єднається до зовнішньої мережі.

Необхідно розуміти, що дана система буде «безперебійною» умовно, оскільки на зміну напрямку струму потрібен деякий час.

По перше, припинення електропостачання не відбувається миттєво, оскільки в будь-якій мережі присутня ємнісна, та індуктивна складова, які впливають на швидкість «затухання» напруги.

По друге, вимірювання напруги пов'язане з перерахунком значення середньоквадратичного значення (формула 2.3):

$$V_{trms} = \sqrt{\frac{\sum_{N=1}^W V_n^2}{W}}, \quad (2.3)$$

де V_{trms} – середньоквадратичне значення змінної напруги;

V_n – миттєве (виміряне) значення напруги,

W – величина вибірки.

Для точного вимірювання необхідно брати вибірку близько двадцяти вимірювань на період. Оскільки період становить п'ятдесят мілісекунд, час між вимірюваннями буде (формула 2.4):

$$t_{meas} = \frac{0.05}{20} = 0.0025, \quad (2.4)$$

де t_{meas} – час між вимірюваннями.

При такому вимірюванні, для виявлення відсутності напруги потрібно близько п'яти періодів.

До того ж, досить багато часу займає електромеханічна комутація. Період перемикання може становити відсотень мікросекунд до десятків мілісекунд, в залежності від типу перекидного елемента.

2.4 Проектування пристрою захисту та балансування акумулятора

Експлуатація акумуляторів на літєвій основі є неможлива без додаткових пристроїв захисту, які постійно слідкують за станом батареї. Точний моніторинг

забезпечує більш ефективне використання батареї, що призводить до довшого часу роботи та зменшення вірогідності виходу з ладу батареї. Монітори та балансери забезпечують точні зчитування в режимі реального часу напруги, температури та струму елементів батареї в різноманітних системах керування. Балансування комірок, що вирівнює напругу на них дозволяють збірці працювати довше.

Балансування батареї окремої комірки полягає у ввімкненні інтегрованого перемикача на польовому транзисторі в осередку балансування. Струм визначається значенням резисторів вхідного фільтра, обраних при використанні внутрішнього балансування.

Коли один із внутрішніх польових транзисторів балансу ввімкнено, внутрішній польовий транзистор з'єднає виходи цієї комірки для пропускання струму через навантажувальні резистори для цієї комірки. Рекомендоване мінімальне значення вхідного фільтра резисторів при використанні внутрішнього балансування становить 20 Ом. Це значення максимізує балансовий струм. Максимальне рекомендоване значення резисторів вхідного фільтра становить 100 Ом.

2.4.1 Вибір мікроконтролера

Для даної задачі необхіден спеціалізований контролер, з функціями вимірювання напруги на комірках, загальної напруги, струму, можливістю керувати силовими та балансувальними ключами.

Одним із таких є мікроконтролер BQ76952 від компанії Texas Instruments. Це високоінтегрований, високоточний монітор батареї і протектор для літій-іонних, ліполімерних і літій-залізофосфатних акумуляторів. Пристрій містить високоточну систему моніторингу, а також підсистему захисту з широкими можливостями налаштування та підтримки для автономного або керованого балансування комірок. Інтеграція включає драйвери польових транзисторів з високим потенціалом заряду, подвійний програмований LDO для зовнішньої

системи використання та підтримку периферійного пристрою зв'язку. Спрощена схема побудови плати BMS з балансуванням представлена на рисунку 2.3.

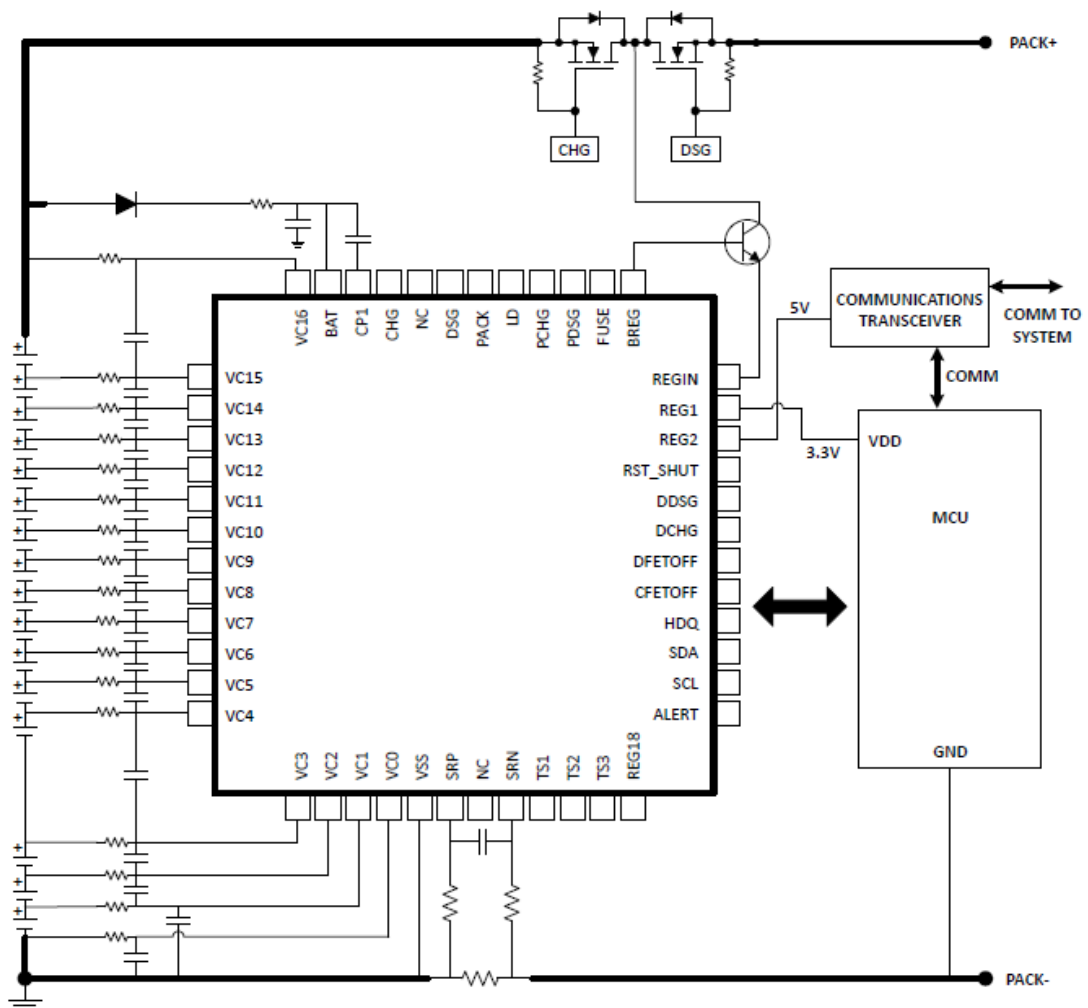


Рисунок 2.3 – Спрощена схема пристрою BMS на основі BQ76952

Окрім спеціалізованого контролера схема також містить мікроконтролер, що ним керує. Зв'язок може відбуватися по лініях SPI, I2C, чи one-wire.

2.4.2 Концепція пристрою BMS

Типова батарея має один набір клем як для зарядки, так і для розрядки. Струм проходить через польові транзистори зарядки та розрядки, розташовані послідовно. Оскільки струм протікає через обидва польових транзистора, розмір

і кількість транзисторів, що використовуються для заряду та розряду однакові. Типова схема з польовими транзисторами показана на рисунку 2.4.

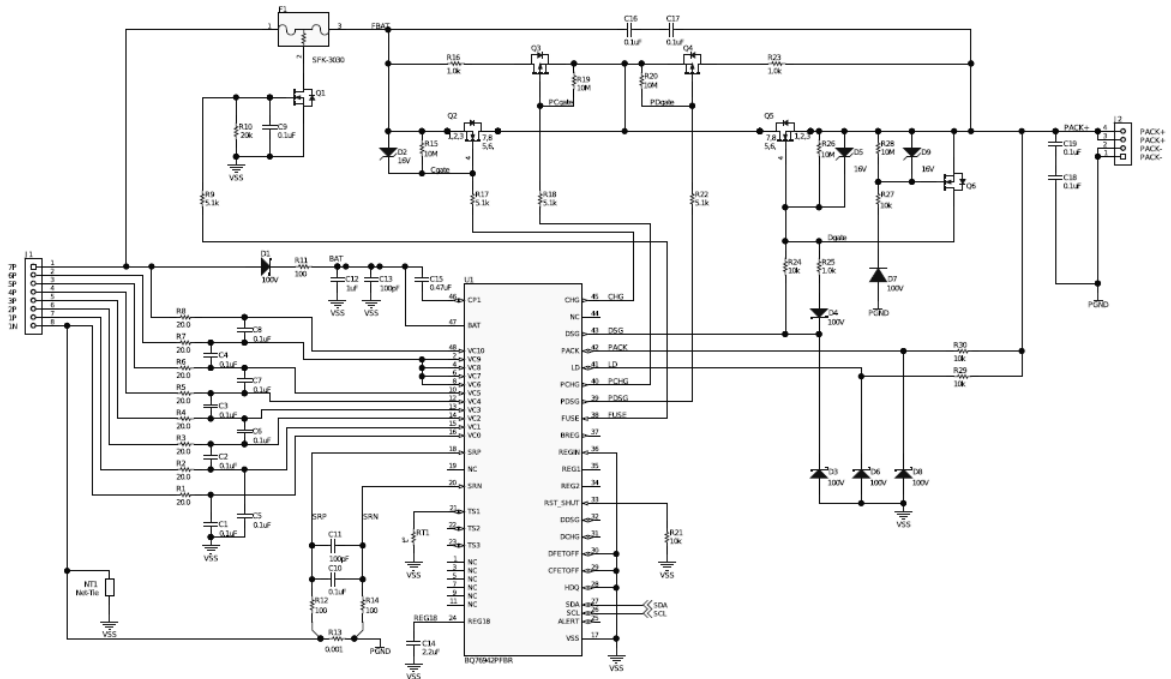


Рисунок 2.4 – Схема BMS для акумулятора з семи комірок

Схема призначена для 7-елементної реалізації та містить польові транзистори попереднього заряду і попереднього розряду. Лінія попереднього заряджання використовується для обмеження струму в батарею від зарядного пристрою з фіксованою напругою коли акумулятор глибоко розряджений. Лінія попереднього розряду використовується для зарядки високих ємнісних навантажень без високого стрибка струму. У послідовних польових транзисторах є можливість зарядки через відключений польовий транзистор розрядки та розряджати через відключений зарядний польовий транзистор. Струм через корпус діода закритого польового транзистора може виробляти значне нагрівання, тому пристрої BQ76952 використовують функцію захисту діодного корпусу щоб увімкнути польовий транзистор, коли струм тече в незахищеному напрямку.

При використанні схеми без зовнішніх польових транзисторів (рис. 2.5) струм балансування обмежується параметрами внутрішніх транзисторів.

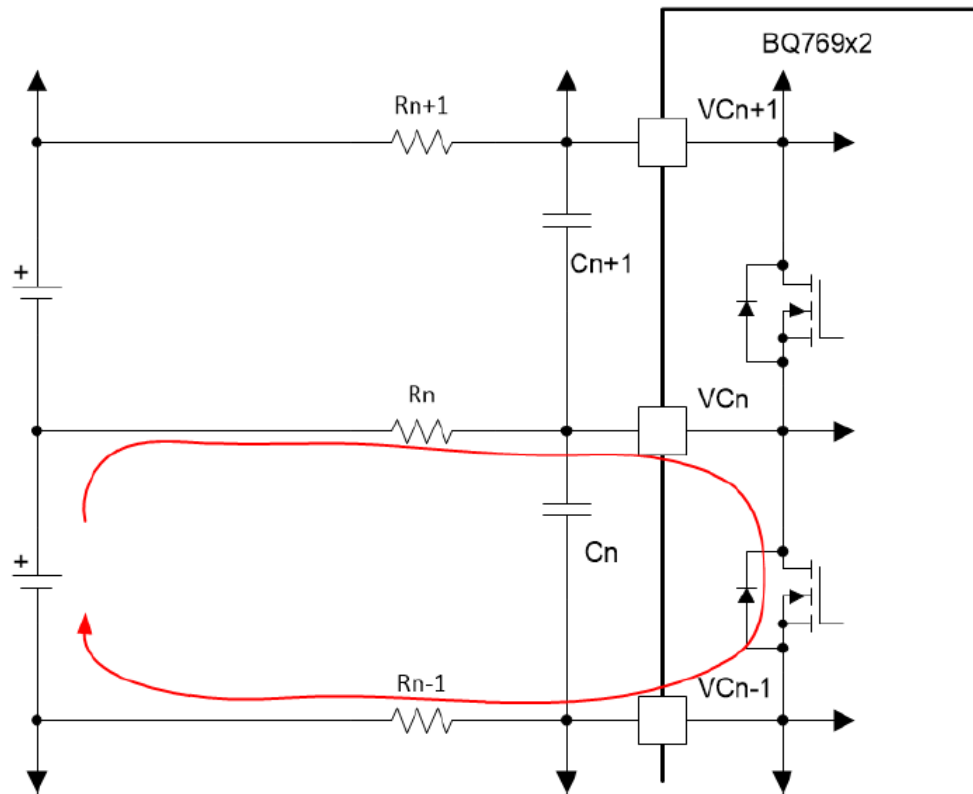


Рисунок 2.5 – Схема балансування без зовнішніх транзисторів

Коли один із внутрішніх польових транзисторів балансу ввімкнено, внутрішній польовий транзистор з'єднає виходи цієї комірки для пропускання струму через входні резистори для цієї комірки, струм, що буде протікати в такому ланцюзі визначається відповідно до формули 2.5.

$$I_{balance} = \frac{V_{cell}}{2R_n + R_{CB}}, \quad (2.5)$$

де R_n – опір резистора балансування для даної комірки;

R_{CB} – опір стік-витік внутрішнього польового транзистора.

Рекомендоване мінімальне значення входного фільтра резисторів при використанні внутрішнього балансування становить 20 Ом. Це значення максимізує балансовий струм, зберігаючи його та знаходиться в межах абсолютного максимального струму балансування комірки у внутрішньому діапазоні транзистора. Максимальне рекомендоване значення резисторів входного фільтра становить 100 Ом. Типовий опір балансування внутрішнього елемента становить 25 Ом, опір транзистора становить близько 14 Ом. Для

$$I_{balance} = \frac{4,2}{2 \times 25 + 14} = 0,065(A) = 65(mA).$$

Це постійний струм, якщо перемикач увімкнено безперервно, то середній струм балансування буде нижчим.

Для забезпечення вищого струму балансування комірки, потрібно використати зовнішні польові транзистори. При цьому вхідні резистори комірок можна збільшити до максимального рекомендованого значення 100 Ом. Збільшення опору резистора допоможе забезпечити достатню напругу на затворі польового транзистора. На рисунку 2.6 показано схему підключення зовнішнього польового транзистора, при цьому струм балансування буде складатися зі струму, що протікає через зовнішній транзистор, резистор R_n , а також діод та резистор R_{n+1} та через резистор R_{n-1} .

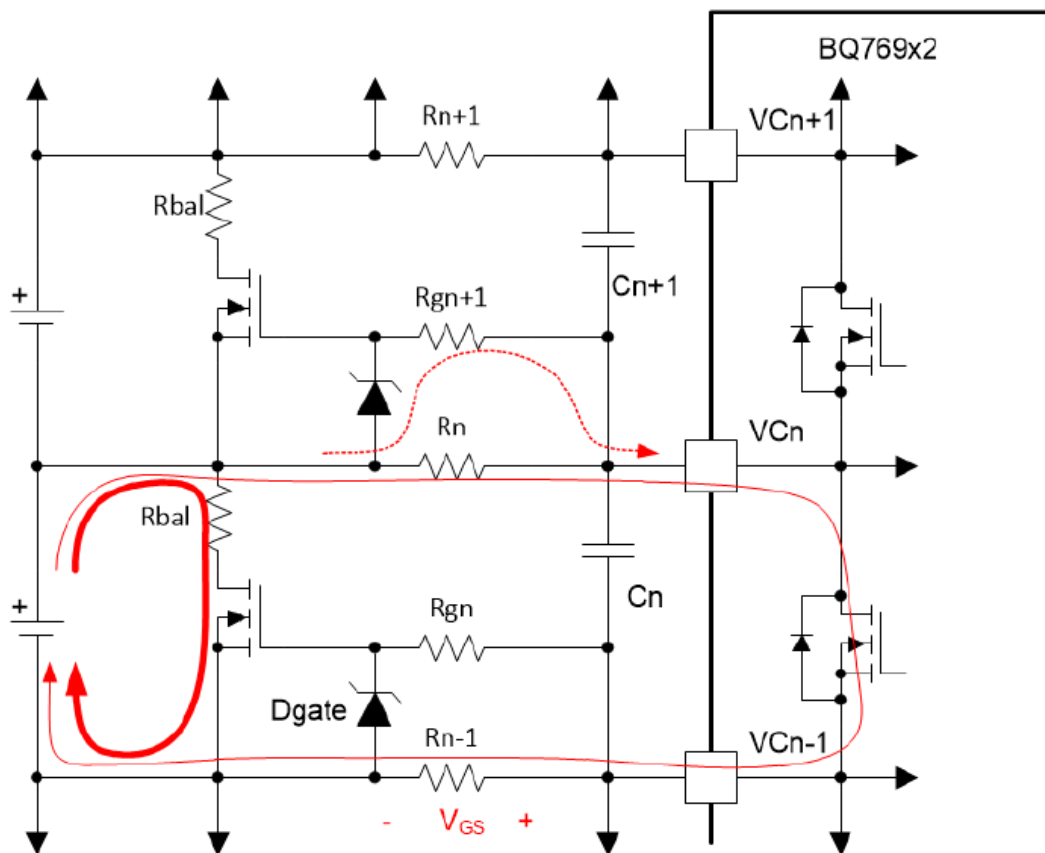


Рисунок 2.6 – Схема балансування з підключеним зовнішнім N-канальним транзистором

2.4.3 Проблема налаштування пристрою BMS

В процесі масового виробництва даних плат виникає велика імовірність дефектів, які можуть погіршити естетичні якості, продуктивність, довговічність і безпеку виробу. Оскільки клієнти очікують, що їхні придбані товари виглядатимуть і функціонуватимуть так, як обіцяно, для виробників життєво важливо мінімізувати ризик того, що дефектні продукти потраплять до споживача.

Виробничі дефекти викликані помилками, допущеними під час виробничого процесу. Це можуть бути неточності при виготовленні плати, розстановці елементів, подряпини, вм'ятини, недоліки матеріалів, неналежне запаювання, погана якість елементів елементів, проблеми з лаком чи іншим покриттям та будь-які інші відхилення від еталонного стану, які виникли на різних етапах виробництва.

Окрім цього, дана плата потребує налаштування ряду параметрів, а саме:

- калібрування струмовимірювального ланцюга;
- калібрування ланцюгів вимірювання напруги;
- налаштування датчика температури.

BQ769x2 має команди, які підтримують необроблені показання АЦП для підтримки калібрування напруги, струму і показання температури. Існують спеціальні команди та підкоманди, необхідні для кожного з показань, і параметри в постійній пам'яті контролера, де можуть зберігатися дані калібрування.

Для вирішення даних задач необхідно розробити пристрій автоматичного тестування та калібрування плат BMS.

2.5 Створення концепції тестувального стенду

Існує кілька варіантів, які слід розглянути під час впровадження калібрування на виробництві залежно від необхідності точності і продуктивності тестового обладнання та часу тестування.

Існує кілька різних варіантів калібрування, починаючи від найменш до найбільш точних:

- без виробничого калібрування, використовуючи значення за замовчуванням;
- калібрування на фіксованій кількості пристроїв і використання середніх значень параметрів калібрування для всіх збірок. Це може бути хорошим варіантом, якщо варіація, що спостерігається від збірки до збірки, невелика;
- калібрування кожного пристрою окремо під час виробництва, застосовуючи єдину точну напругу, що подається на вхід, наприклад 3,5 В. Усереднення вимірювання за кількома показаннями може ще більше підвищити точність;
- калібрування кожного пристрою окремо під час виробництва, застосовувавши дві точні напруги постійного струму до входу комірки, наприклад 2,5 В і 4,5 В. Усереднення кожного вимірювання за кількома показаннями може ще більше покращити точність.

Кілька контактів пристрою можна налаштувати як вхід АЦП загального призначення. Якщо жоден із контактів не налаштовано як аналоговий вхід АЦП, тоді немає необхідності калібрувати підсилення АЦП.

Лічильник кулона АЦП вимірює різницю напруги між виводами SRP і SRN для обчислення системного струму. Це значення можна регулювати на основі значення резистора вимірювання в системі, відповідно до формули 2.6.

$$CC\ Gain = \frac{7,4768}{R_{sense}}, \quad (2.6)$$

де R_{sense} – опір резистора в міліомах для калібрування струмовимірювального ланцюга.

Вимірювання внутрішньої та зовнішньої температури можна відкалібрувати на виробничій лінії шляхом збереження зсуву значення, яке додається до обчисленого вимірювання. Окреме зміщення для кожної температури вимірювання можна зберігати в регістрах конфігурації. Команда для кожного вимірювання температури міститься в регістрах конфігурації для даного контролера.

2.5.1 Вибір мікроконтролерів

а) мікроконтролер ARM.

Основою схеми буде мікроконтролер STM32G070CBT6. Він підходить для даної задачі через невелику вартість, достатню кількість модулів аналого-цифрового перетворення, керуючих виходів, інтерфейсів передачі даних та швидкість опрацювання.

Контролер побудований на процесорі ARM — це сімейство центральних процесорів, засноване на архітектурі комп'ютера зі скороченим набором інструкцій (RISC) [27]. Архітектура ARM представляє інший підхід до розробки апаратного забезпечення системи порівняно з більш звичними серверними архітектурами, такими як x86. Контролер має ядро Arm Cortex-M0+ [20].

На рисунку 2.7 представлено схематичну будову ARM мікроконтролера STM32G070CBT6.

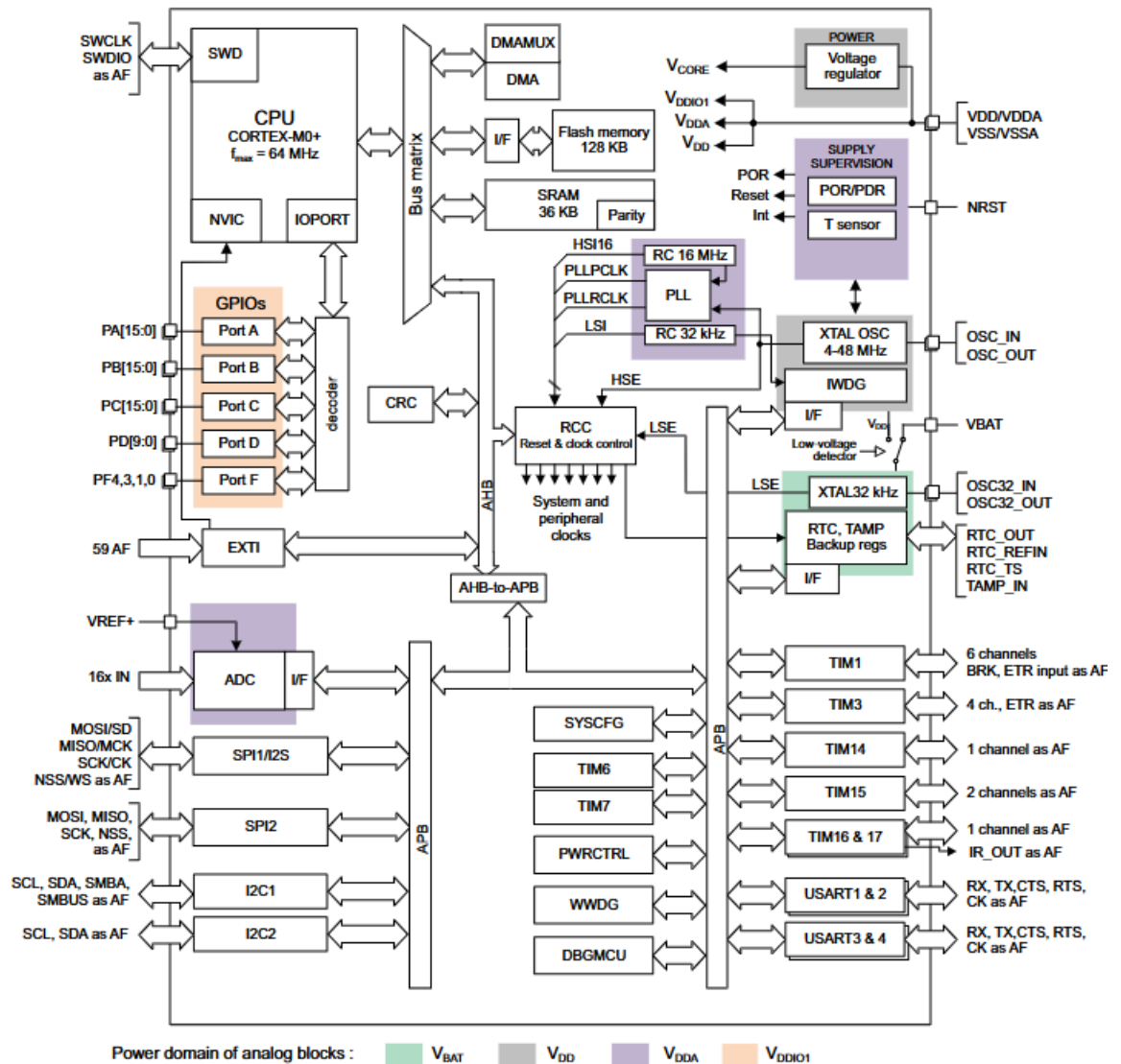


Рисунок 2.7 – Внутрішня будова мікроконтролера STM32G070CBT6

Технічні характеристики мікроконтролера STM32G070CBT6:

- тип: 32 розрядний мікроконтролер;
- ядро: ARM Cortex-M0+;
- тактова частота: 64 МГц;
- інтерфейси: I²C, SPI, UART/USART;
- периферія: DMA, PWM, WDT;
- розмір пам'яті програм: 128 КБ;
- розмір пам'яті даних: 36 КБ;
- кіль-ть таймерів: 11 по 16 біт;
- кіль-ть АЦП каналів: 16 по 12 біт;

- тип генератора: внутрішній;
- напруга на цифрових входах/виходах: 2,4 - 3,6 В;
- напруга на аналогових виходах: 3,6;
- робоча Температура: 0-70°C [23].

б) мікроконтролер ESP.

Необхідний для взаємодії пристрою з користувачем. Всі налаштування, запуск, відображення результатів будуть відбуватися за допомогою інтерфейсу веб-сторінки, побудованої на основі даного контролера. Дані, які вводить користувач, та ті, що мають бути представлені йому будуть передаватися з веб-сторінки до головного мікроконтролера за допомогою інтерфейсу UART та в зворотньому напрямку, відповідно.

ESP32 побудований на чіпі (SoC) з можливостями Wi-Fi і дворежимного Bluetooth! Сімейство ESP32 включає мікросхеми ESP32-D0WDQ6 (і ESP32-D0WD), ESP32-D2WD, ESP32-S0WD і систему в корпусі (SiP) ESP32-PICO-D4 [21]. Основа – двоядерний або одноподерний мікропроцесор Tensilica Xtensa LX6 з тактовою частотою до 240 МГц. ESP32 добре інтегрований із вбудованими перемикачами антени, радіочастотним балуном, підсилювачем потужності, малошумним приймальним підсилювачем, фільтрами та модулями керування живленням. Розроблений для мобільних пристроїв, переносної електроніки та додатків Інтернету речей, ESP32 досягає наднизького енергоспоживання завдяки функціям енергозбереження.

Серед мікроконтролерів ESP8266 є наступні. ESP-01 має 1 Мб флеш-пам'яті, працюють із ESPEasy-2.x. ESP-07 – має керамічну антену, окрім антенного штекера. Оскільки він має лише флеш-пам'ять розміром 512 КБ, він застарілий і непридатний для ESPEasy-2.X. ESP-201 технічно майже не відрізняється від ESP-07, але збирається з окремих частин на платі без кришки. Зручний для макета, але застарілий через розмір флеш-пам'яті 512 КБ. ESP-07S – сучасний наступник ESP-07. Присутня невелика антена на друкованій платі, яку можна приклеїти до внутрішньої частини корпусу, або роз'єм SMA pigtail для використання зовнішньої антени, встановленої на корпусі [28]. Має 4 МБ

флеш-пам'яті та підходить для ESPEasy-2.x. ESP-12E та ESP-12F є універсальними. Єдина відмінність полягає в розташуванні антени на друкованій платі. ESP12F має оптимізовану антену, тому саме він буде використовуватися при проектуванні.

2.5.2 Вибір бібліотек для роботи з периферійними пристроями

Для початку потрібно обрати бібліотеку, яка буде використовуватись для полегшення взаємодії з периферією та налаштування ядра контролера.

а) стандартна бібліотека периферійних пристроїв (SPL) - вона охоплює 3 рівні абстракції та включає:

- повне відображення адрес регістру з усіма бітами, бітовими полями та регістрами, оголошеними в C. Це дозволяє уникнути громіздкого завдання і, що більш важливо, воно забезпечує переваги файлу відображення посилання без помилок, прискорюючи ранню фазу проекту [25];

- набір процедур і структур даних, який охоплює всі периферійні функції. Його можна безпосередньо використовувати як еталонну структуру, оскільки він також містить макроси для підтримки пов'язаних із ядром властивостей і загальних констант і визначення типів даних;

- набір прикладів, що охоплюють усі доступні периферійні пристрої з шаблонними проектами для найпоширеніших інструментів розробки. З відповідною платою оцінки апаратного забезпечення це дозволяє розпочати роботу з абсолютно новою мікросхемою протягом кількох годин.

б) Hardware Abstraction Layer (HAL) - вбудоване програмне забезпечення рівня абстракції STM32, що забезпечує максимальну переносимість мікроконтролера STM32. HAL доступний для всіх периферійних пристроїв.

HAL пропонує високорівневі та орієнтовані на особливості API з високим рівнем переносимості. Вони приховують мікроконтроллер і периферійну складність для кінцевого користувача [26].

Вихідний код драйверів HAL розроблено в строгому стандарті ANSI-C, що робить його незалежним від інструментів розробки. Він повністю задокументований.

Використання драйверів пристроїв STM32 HAL може бути корисним у багатьох ситуаціях і допомогти скоротити час розробки. Особливо для проектів, які підпадають під категорію «підтвердження концепції».

Однак API високого рівня, які надає HAL, можуть мати додаткові функції, що може не використовуватися в деяких ситуаціях. Таким чином, буде використано більше пам'яті та виконання деяких завдань буде відбуватися повільніше через накладні витрати на функції, вбудовані в бібліотеки.

в) стандарт загального програмного інтерфейсу мікроконтролерів (CMSIS) — це незалежний від постачальника рівень абстракції для мікроконтролерів, які базуються на процесорах Arm Cortex. CMSIS визначає загальні інтерфейси інструментів і забезпечує послідовну підтримку пристроїв.

CMSIS забезпечує інтерфейси для процесора та периферійних пристроїв, операційних систем реального часу та компонентів проміжного програмного забезпечення. CMSIS містить механізм контролю для пристроїв, плат і програмного забезпечення, а також дозволяє поєднувати компоненти програмного забезпечення від багатьох постачальників.

Переваги CMSIS:

- послідовні інтерфейси програмного забезпечення покращують портативність програмного забезпечення та можливість повторного використання. Загальні програмні бібліотеки та інтерфейси забезпечують узгоджену структуру програмного забезпечення;
- він дозволяє використовувати компілятор на ваш вибір, оскільки він не залежить від компілятора і тому підтримується основними компіляторами;
- покращує налагодження програми за допомогою периферійної інформації для налагоджувачів і каналів ITM для виведення у стилі printf;

- поставляється у форматі CMSIS-Pack, який забезпечує швидку доставку програмного забезпечення, спрощує оновлення та забезпечує послідовну інтеграцію в інструменти розробки;

- CMSIS-Zone спростить системні ресурси та розділення, оскільки він керує конфігурацією кількох процесорів, областей пам'яті та периферійних пристроїв.

- CMSIS-Build підтримує ці робочі процеси та полегшує постійне тестування та перевірку.

Отже, оскільки бібліотека HAL досить важкою в плані обсягу флеш-пам'яті, вона буде використовуватись виключно для конфігурації виходів та ініціалізації ядра і всієї периферії мікроконтролера. Всі інші операції, такі, як запуск перетворення АЦП, обробка переривань, зміна стану напруги на виходах, запуск таймера і подібні, які виконуються в процесі роботи контролера будуть реалізовані за допомогою бібліотеки CMSIS.

2.5.3 Організація коду програми

Тепер потрібно визначитися із організацією порядку виконання програми, так, щоб всі операції з периферійними пристроями, обчислення, перетворення, передача даних і подібні виконувались синхронно, без затримок, накладань при можливості роботи зі спільними даними. Для цього ідеально підходить технологія операційної системи реального часу.

Операційна система реального часу (RTOS) — це операційна система з двома ключовими характеристиками: передбачуваністю та детермінованістю. У RTOS повторювані завдання виконуються в стислі часові межі, тоді як в операційній системі загального призначення це не обов'язково так. Передбачуваність і детермінізм у цьому випадку йдуть рука об руку: ми знаємо, скільки часу займе виконання завдання, і що воно завжди дасть однаковий результат.

ОСРЧ поділяються на «м'які» системи реального часу та «жорсткі». М'які системи реального часу працюють протягом кількох сотень мілісекунд у масштабі реакції людини. Однак жорсткі системи реального часу забезпечують передбачувані відповіді протягом десятків мілісекунд або менше.

FreeRTOS — це операційна система реального часу (RTOS) з відкритим кодом для вбудованих систем. FreeRTOS підтримує багато різних архітектур і ланцюжків інструментів компілятора, і розроблена, щоб бути простою і легкою у використанні, а також не витрачати велику кількість ресурсів контролера [31].

Апаратно-незалежний рівень FreeRTOS знаходиться поверх апаратно-залежного рівня. Цей апаратно-залежний рівень знає, як спілкуватися з будь-якою архітектурою мікросхеми, яку потрібно вибрати.

FreeRTOS постачається з усім апаратно-незалежним і апаратно-залежним кодом, який знадобиться для запуску системи. Він підтримує багато компіляторів (CodeWarrior, GCC, IAR тощо), а також багато процесорних архітектур (ARM7, ARM Cortex-M3, різні PIC, Silicon Labs 8051, x86 тощо).

FreeRTOS надає методи для кількох потоків або завдань, м'ютекси, семафори та програмні таймери. Для додатків з низьким енергоспоживанням передбачений безперервний режим. Підтримуються пріоритети потоків. Програми FreeRTOS можна розподіляти статично, але об'єкти також можна розподіляти динамічно за допомогою п'яти схем управління пам'яттю (розподілу).

2.5.4 Вибір протоколу зв'язку

Оскільки дана система буде складатися з декількох модулів, кожен з яких контролюватиметься власним мікроконтролером, потрібно реалізувати взаємодію між цими контролерами, тобто обрати і налаштувати інтерфейс зв'язку та протокол, який буде описувати всю взаємодію.

На початку проектування розглядалась розробка власного протоколу, але, оскільки особливих вимог до передачі даних між модулями немає, цілком раціональним буде використання вже існуючого.

Вирішено використовувати протокол Modbus, як універсальний, надійний та простий варіант реалізації, що цілком підходить для поставлених задач.

Протокол Modbus — це структура обміну повідомленнями, яка широко використовується для встановлення зв'язку за принципом «головний-підлеглий» між інтелектуальними пристроями. Повідомлення, надіслане від головного до підлеглого, містить адресу підлеглого, «команду» (наприклад, «читати реєстр» або «записувати реєстр»), дані та контрольну суму (LRC або CRC) [32].

Оскільки протокол Modbus є лише структурою обміну повідомленнями, він не залежить від основного фізичного рівня. Традиційно реалізується за допомогою RS232, RS422 або RS485.

Протокол буде налаштовано в режим RTU (Remote Terminal Unit), в такому режимі кожен восьмибітний байт у повідомленні містить два чотирибітні шістнадцяткові символи. Основна перевага цього режиму полягає в тому, що більша щільність символів забезпечує кращу пропускну здатність, ніж ASCII, за тієї самої швидкості передачі даних. Кожне повідомлення має передаватися безперервним потоком.

У режимі RTU повідомлення починаються з інтервалу мовчання довжиною щонайменше 3,5 символів. Це найпростіше реалізувати як кратне число символів на швидкості передачі, яка використовується в мережі. Перше поле, яке потім передається, є адресою пристрою.

Після останнього переданого символу аналогічний інтервал принаймні 3,5 символів позначає кінець повідомлення. Нове повідомлення може початися після цього інтервалу.

Коли режим RTU використовується для кадрування символів, поле перевірки помилок містить 16-бітне значення, реалізоване як два восьмибітні байти. Значення перевірки помилки є результатом обчислення перевірки

циклічної надлишковості, виконаного для вмісту повідомлення. Поле CRC додається до повідомлення як останнє поле в повідомленні.

2.6 Підсумки другого розділу

Особливість вищеописаної системи полягає у можливості використання станції в повністю автономному режимі, з автоматичним перемиканням, перевагами є те, що під час наявності мережевої напруги станція споживає енергію тільки для заряджання акумулятора, станція не обмежує потужність споживання електропристроїв і не впливає на мережу, оскільки підключена до неї паралельно а не послідовно, як звичайний ДБЖ, а мережа будинку стає незалежною від загальної мережі електропостачання.

Система, що розробляється буде складатися з інвертора напруги з сонячним контролером, модулів безперебійної комутації, зарядки, стабілізації, ручної комутації, плат контролю та віддаленого доступу.

Одним із основних елементів є джерело живлення, яке буде використовуватися разом з платою BMS з технологією балансування. Особливості проектування даної плати розглянуто вище. Основою є мікроконтролер BQ76952, призначений для створення плат захисту та балансування акумуляторів середньої потужності, це високоінтегрований, високоточний монітор батареї і протектор для літій-іонних, ліполімерних і літій-залізофосфатних акумуляторів від компанії Texas Instruments.

Оскільки плати захисту та балансування потребують налаштування внутрішніх параметрів та калібрування, а також, при їх серійному виготовленні виникає велика імовірність браку через недосконалість компонентів, пристроїв виготовлення та інших факторів, вирішено створити пристрій автоматичної перевірки та налаштування даних плат. Основою схеми буде мікроконтролер STM32G070CBT6. Він підходить для даної задачі через невелику вартість, достатню кількість модулів аналого-цифрового перетворення, керуючих

виходів, інтерфейсів передачі даних та швидкість опрацювання. Для взаємодії пристрою з користувачем буде використовуватись мікроконтролер ESP-12F. Всі налаштування, запуск, відображення результатів будуть відбуватися за допомогою інтерфейсу веб-сторінки, побудованої на основі даного контролера.

Проект програми буде створено за допомогою бібліотек HAL та CMSIS, для організації виконання програми обрано ОСРЧ FreeRTOS, для передачі даних між пристроями – інтерфейси UART та SPI, а також протокол Modbus. Процес безпосереднього створення пристрою буде описано в наступному розділі.

З ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЧНОГО ТЕСТУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

3.1 Розробка електричної принципової схеми стенду

Електрична принципова схема буде створюватись у середовищі розробки Altium Designer. Елементну базу було взято з локальної бібліотеки елементів, структуру якої наведено на рисунку 3.1.

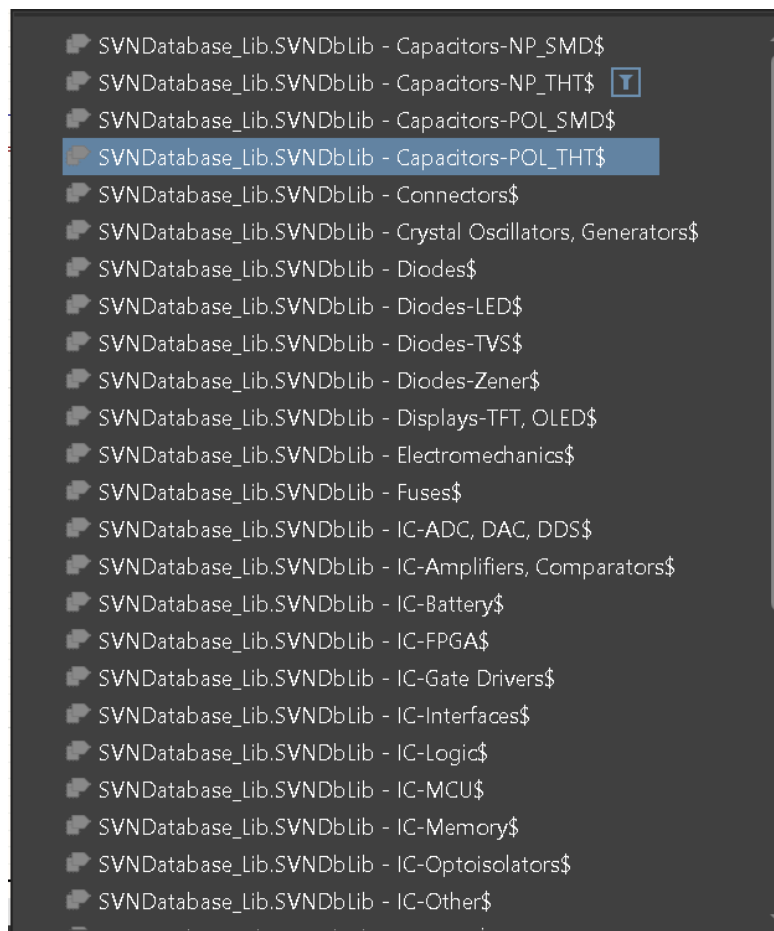


Рисунок 3.1 – Бібліотека компонентів для створення схеми

3.1.1 Схеми живлення та імітації комірок

Спершу спроектовано систему живлення схеми. На плату надходить постійна напруга п'ять вольт, контролер живиться від напруги 3.3 вольт, а деякі

елементи потребують напруги 5 вольт, проте ізольованих від вхідної напруги. Для цього вирішено використати конвертер B0505S-1W, це однополярний DC/DC перетворювач живлення з вихідною потужністю 1 ват, у SIP корпусі. Діапазон вхідної напруги постійного струму становить від 4.5 до 5.5 вольт. Вихідна напруга постійного струму 5 вольт та гальванічна розв'язка від входу 1000 вольт. Цей конвертер живлення не має стабілізації вихідної напруги, має короточасний захист від короткого замикання. Також використано мікросхему AMS1117_3.3, для отримання опорної напруги 3.3 вольт. В даний ланцюг додано керамічні конденсатори ємністю 22 мікрофаради 100 нанофарад для згладжування можливих завад. Землю прив'язано до негативного виходу конвертора. Схема блоку живлення показана на рисунку 3.2.

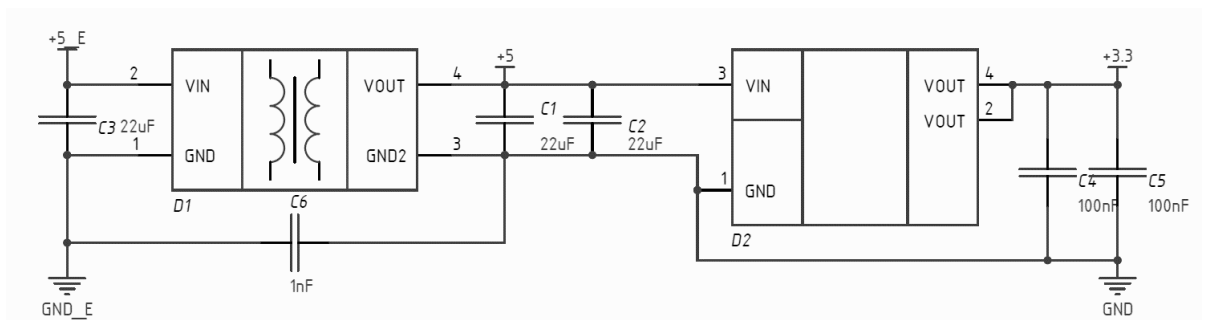


Рисунок 3.2 – Схема блоку живлення плати

Для перевірки балансувальних ключів необхідно зробити імітацію послідовно з'єднаних акумуляторних комірок. Для цього складено подібні схеми з використанням гальванічно розв'язаного конвертора B0505S-1W та мікросхеми AMS1117_3.3, проте виходи кожної з цих схем не прив'язуються до землі. Таким чином отримано незалежні джерела постійної напруги, які можна послідовно з'єднувати без виникнення короткого замикання. Схема послідовного з'єднання джерел (power_cell) представлена на рисунку 3.3.

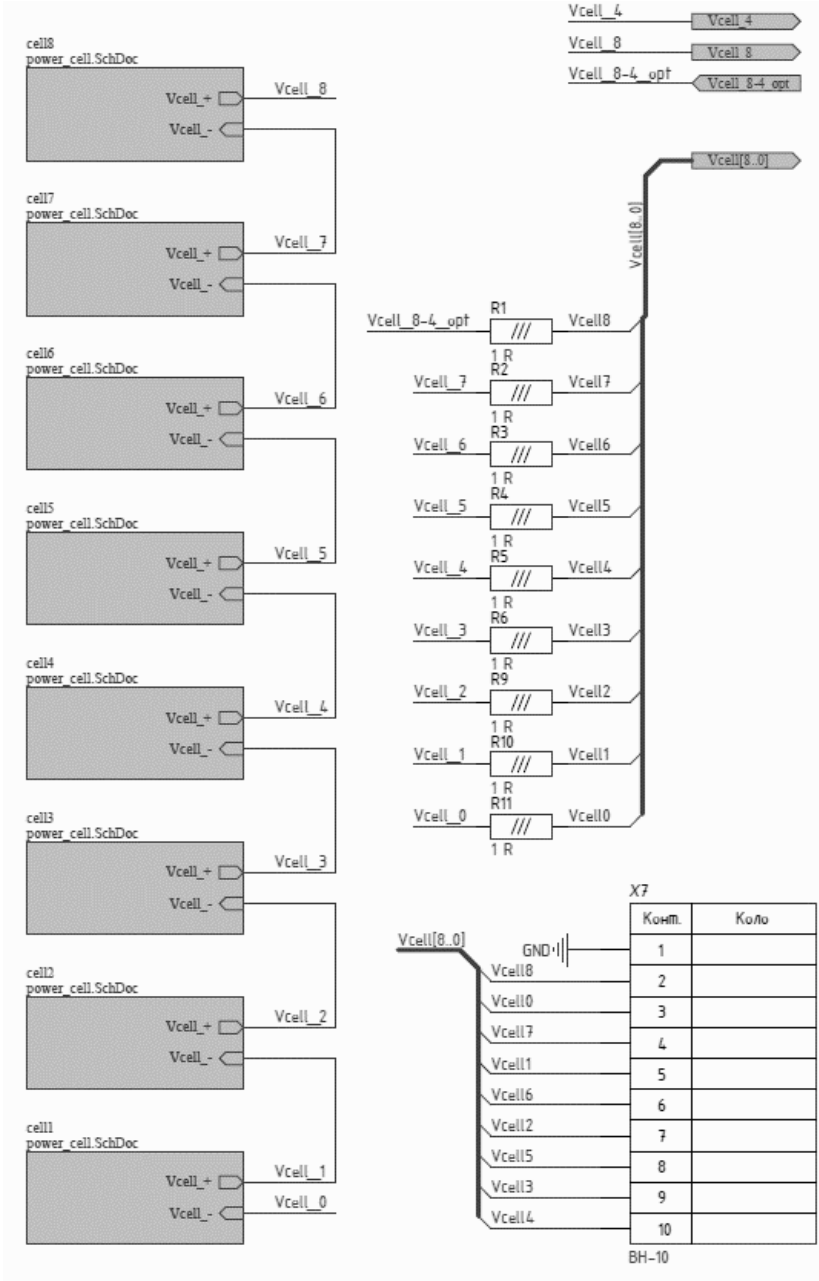


Рисунок 3.3 – Послідовне з’єднання «комірок»

3.1.2 Вимірювальні ланцюги

Оскільки вимірювання буде проводитись різниці напруг кожного з каналів, необхідно скласти схему на основі операційного підсилювача в диференційному включенні. Диференціальний підсилювач — це схема віднімання напруги, яка створює вихідну напругу, пропорційну різниці напруг двох вхідних сигналів, що подаються на входи інвертуючих і неінвертуючих клем операційного підсилювача. При підключенні одного сигналу напруги до однієї вхідної клем

та іншого сигналу напруги до іншої вхідної клеми результуюча вихідна напруга буде пропорційна «різниці» між двома вхідними сигналами напруги. Диференціальний підсилювач підсилює різницю між двома напругами відповідно до резисторів, які до нього підключені.

Оскільки вимірювана напруга сильно перевищує поріг вимірювань АЦП, перед операційним підсилювачем вона буде знижуватись за рахунок резисторів номіналом 10 кілоом. В якості операційного підсилювача обрано мікросхему LMV324DIR, яка має чотири канали працює в діапазоні 2.5-5.5 вольт, що повністю відповідає діапазону вимірювань АЦП контролера STM32G070CBT6.

Вимірювання струму буде проводитись по аналогічній схемі, але без використання потужних понижуючих резисторів, та з додаванням резистора на 0.001 Ома, який буде використовуватися як шунт, на якому можна буде вимірювати падіння напруги і знаходити струм за законом Ома. Перетворені сигнали з виходів операційних підсилювачів через обмежуючі струм резистори надходять на порти АЦП контролера. Схему перетворення сигналу для аналогового вимірювання показано на рисунку 3.4.

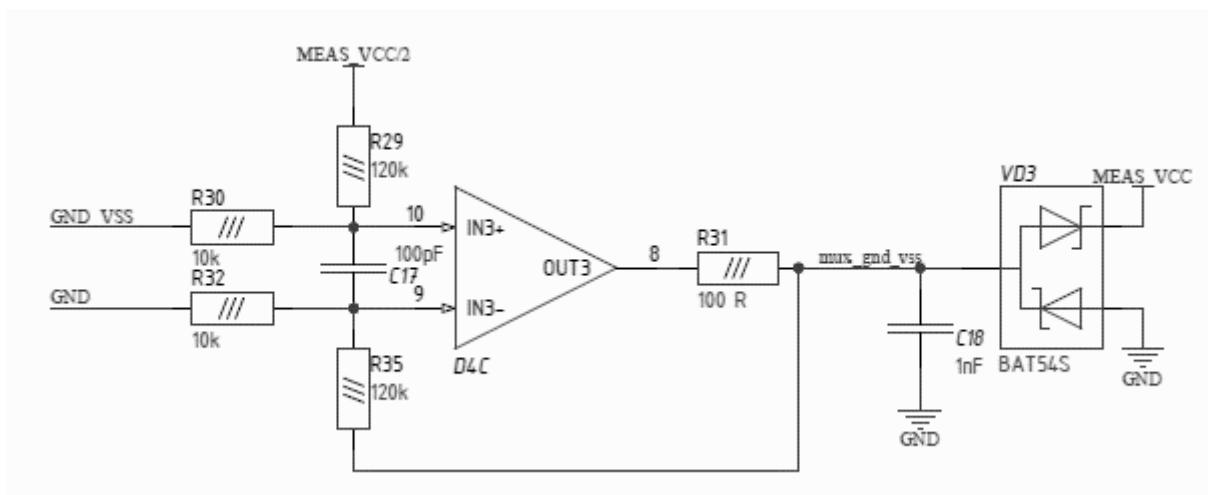


Рисунок 3.4 – Схема аналогового вимірювання

Для менш точного вимірювання напруги в точках, які не потрібно «відв'язувати» від землі використано подільник напруги. Для вимірювання

температури в нижньому плечі підільника встановлено терморезистор, рисунок 3.5.

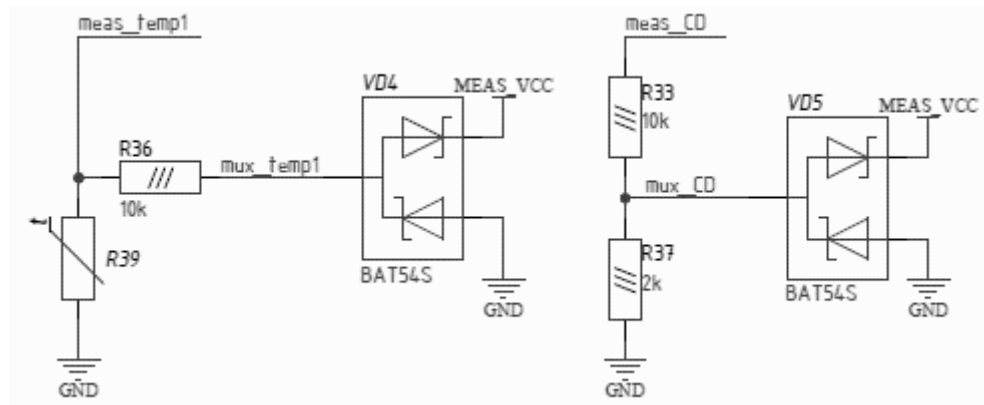


Рисунок 3.5 – Подільники напруги

В обох випадках на вихід ланцюгів встановлено діодну збірку BAT54S з бар'єром Шотткі з інтегрованим захисним кільцем для захисту від надмірної напруги.

3.1.3 Ланцюги дискретної перевірки

При перевірці балансувальних ключів необхідно перевіряти, чи відкриваються вони у потрібний момент. Оскільки закритий польовий транзистор має опір стік-витік кілька мегаом, а при відкритті його опір зменшується до міліом, можна виділити два дискретних стани: відкритий та закритий. Для перевірки цих станів до стоку та витіку транзисторів під'єднуються діодні виходи оптопар, у відкритому стані транзистора падіння напруги на ній буде близьке до нуля, а у закритому – 0.7 вольт, відповідно діод відкриється і на виході оптопар з'явиться низький потенціал, який пересилить по струму потенціал підтяжки. Схема дискретного аналізатора показана на рисунку 3.6.

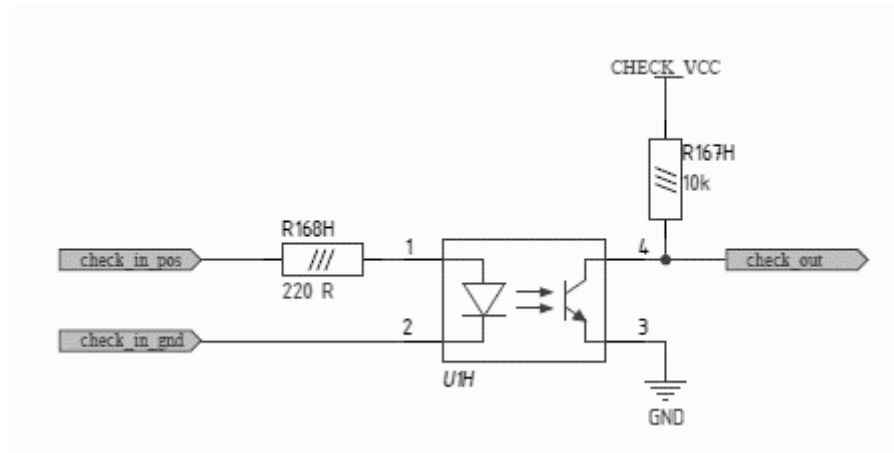


Рисунок 3.6 – Схема дискретного аналізатора

Така схема дублюється і під'єднується до кожного з балансувальних ключів, на витік та стік а також ще раз на затвор та витік для перевірки того, чи приходить від драйвера мікросхеми BQ сигнал на відкриття ключа.

3.1.4 Схема регульованого навантаження

Схема складається з чотирьох частин.

Оскільки навантаження буде живитися від іншого джерела струму, необхідно його повністю ізолювати від основної схеми. Для цього знову використано конвертер B0505S-1W, таким чином створено ізольовану напругу живлення. Схему гальванічної розв'язки представлено на рисунку 3.7.

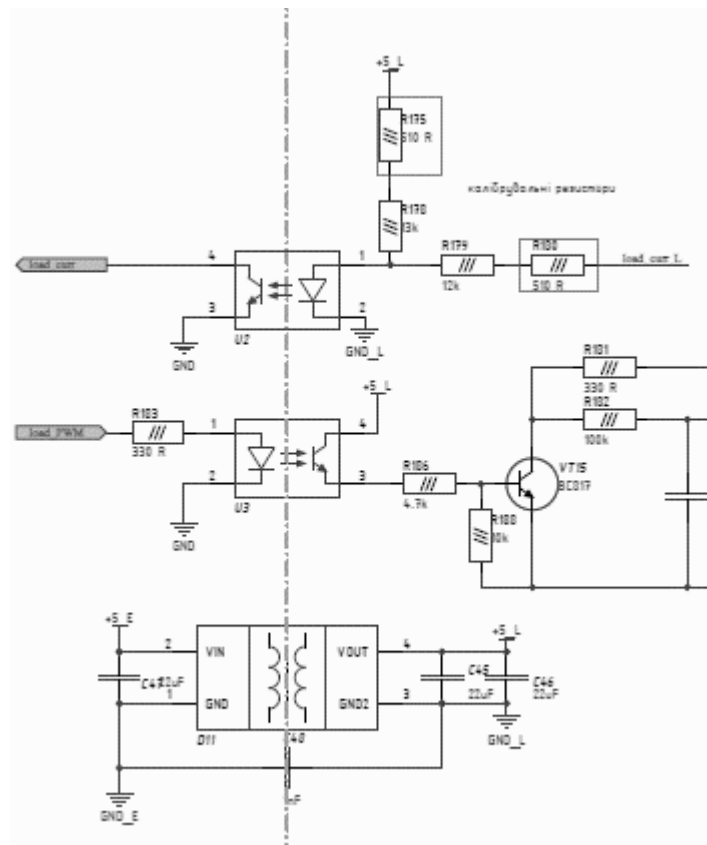


Рисунок 3.7 – Гальванічна роз'вязка схеми навантаження

Навантаженням є резистор з опором 1,2 Ом та потужністю 120 ват. Струм навантаженням буде регулюватися за допомогою транзистора IRFP22N50A. Це MOSFET транзистор з типом каналу керування N, його максимальна розсіювана потужність становить 277 Вт, максимальна напруга стік-витік – 500 вольт, максимальна напруга затвор-витік – 30 вольт, максимальна порогова напруга затвора – 4 вольти, максимальний струм стоку – 22 ампер, максимальний опір у відкритому стані стік-витік – 0,23 Ом, відповідно, відкриваючи його на різну величину, можна регулювати опір від 0,23 Ом до кількох мегаом, та пропускати через нього струм до 22 ампер. Але потрібно змінювати напругу на затворі транзистора в межах його лінійної області роботи, тобто коли опір стік-витік практично лінійно залежить від потенціалу затвора. Залежність між напругою на затворі та струмом, що проходить через стік транзистора показано на рисунку 3.8.

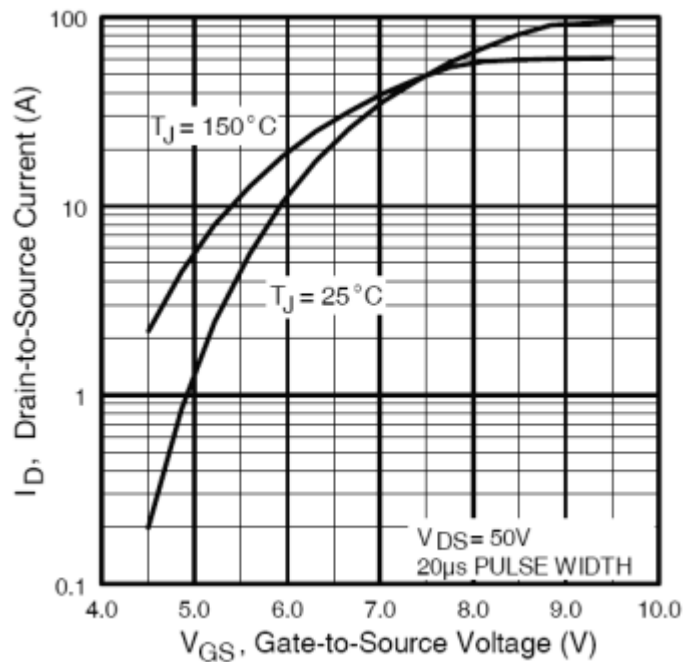


Рисунок 3.8 – Область відкриття транзистора

Керування транзистором відбувається за допомогою операційного підсилювача LMV358, це подвійний операційний підсилювач низької напруги (від 2,7 В до 5,5 В). Особливостями цього підсилювача є розширений діапазон робочої напруги, Rail-to-rail вхід і вихід та низький струм живлення (145 мкА).

Перша частина підсилювача створює зворотній зв'язок по струму. Струм вимірюється за допомогою шунта – резистора номіналом 0.01 Ом, падіння напруги на цьому резисторі вимірюється за допомогою операційного підсилювача в диференціальному включенні, виміряна різниця подається на інвертуючий вхід іншого операційного підсилювача, а на неінвертуючий його вхід подається сигнал керування, рисунок 3.9. Таким чином, коли струм досягає заданого, сигнал на виході диференціальної схеми, утворений з падіння напруги на шунті, досягає рівня керуючого сигналу на позитивному вході другого підсилювача, відповідно на виході підсилювача потенціал перестає збільшуватися і залишається в межах установленого, а силовий транзистор залишається відкритим таким чином, що струм, який протікає через нього, доходить до заданого рівня і практично не змінюється.

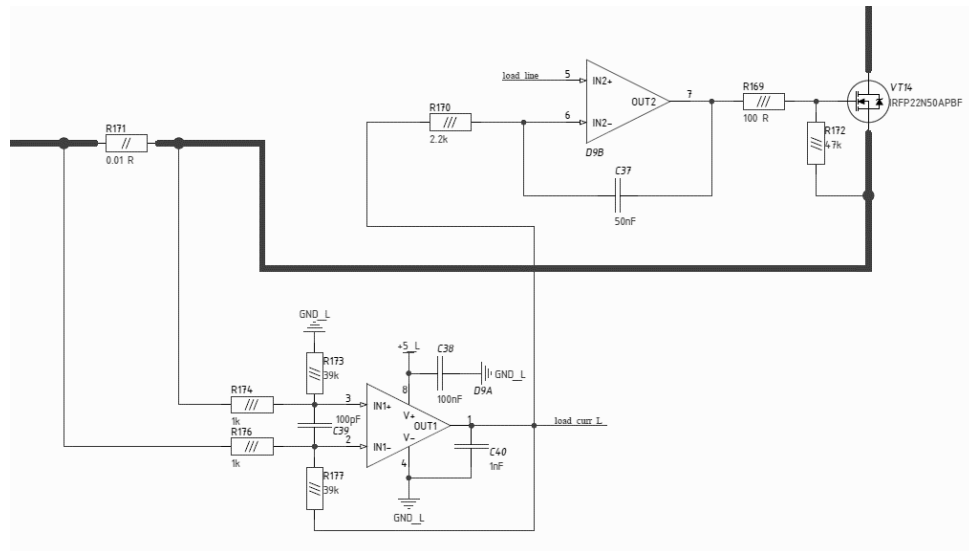


Рисунок 3.9 – Керування струмом

Сигнал для встановлення струму, що надходить на неінвертуючий вхід підсилювача має бути аналоговим, проте в мікроконтролері STM32G070CBT6 немає цифро-аналогових перетворювачів. Для вирішення цієї проблеми необхідно створити схему перетворення цифрового сигналу ШІМ, який може генерувати мікроконтролер на аналоговий сигнал. Основою даної схеми є інтегральний фільтр другого порядку, схема якого зображена на рисунку 3.10.

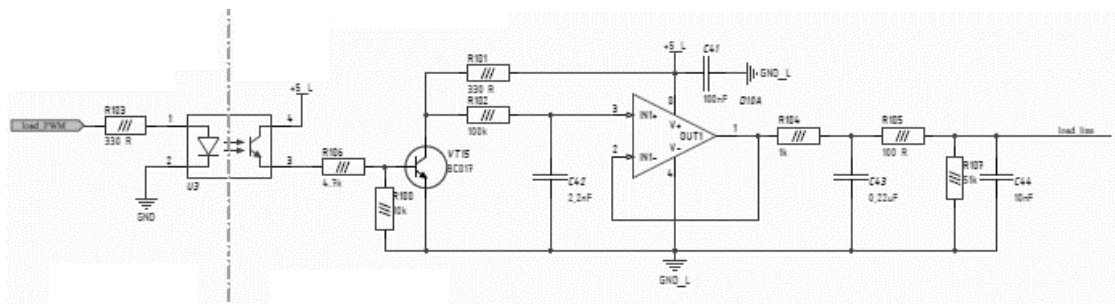


Рисунок 3.10 – Перетворювач ШІМ-сигналу на аналоговий

Спершу відбувається інвертування сигналу та підсилення напруги за допомогою біполярного транзистора BC817, після чого сигнал типу меандр перетворюється на пилоподібний, операційний підсилювач створює підсилення по струму, а дві ланки фільтра перетворюють пилоподібний сигнал на лінійний.

Керуючий ШІМ-сигнал ізольовано за допомогою оптопари, а сигнал зворотнього зв'язку з виходу першого підсилювача, також ізольовано через оптопару (рис. 3.7), подається на аналоговий вхід мікроконтролера для визначення величини струму.

3.1.5 Схема комутації

Плати BMS можуть бути створені для збірки з восьми або чотирьох акумуляторних комірок, відповідно сумарна напруга на збірці може бути або в межах 16,8 вольт, або 33,6 вольт, тому потрібно робити комутацію загальної напруги з четвертої або восьмої імітованої комірки. Для цього використовується реле MER2-005DC.

Для перевірки силових ключів на платі BMS необхідно пропускати через них струм в двох напрямках, оскільки польовий транзистор може пропускати струм в зворотньому напрямку навіть в закритому стані через внутрішній діод. Для цього в схему комутації додано ще два реле, контакти яких з'єднано дзеркально-паралельно.

Для задання керуючого сигналу перезапуску та увімкнення контролера BQ використовуються польові транзистори 2N7002. Схема комутації представлена на рисунку 3.11.

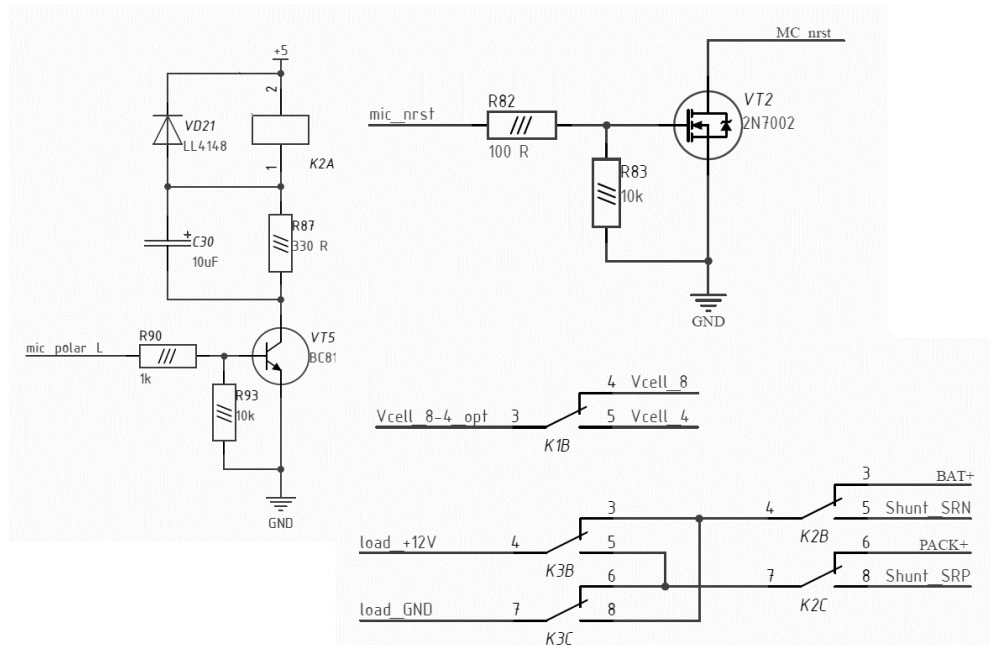


Рисунок 3.11 – Основна схема комутації

3.1.6 Схеми під'єднання мікроконтролерів

Живлення контролера STM32G070CBT6 відбувається від джерела опорної напруги з використанням згладжувальних конденсаторів. Всі виходи контролера під'єднано до потрібних точок схеми за допомогою мереж зв'язків.

Зв'язок між STM32G070CBT6 та ESP-12F налаштовано по лініях даних UART. Для підтяжки незадіяних виходів контролерів використано резистори номіналом 10 кілоом, показано на рисунку 3.12.

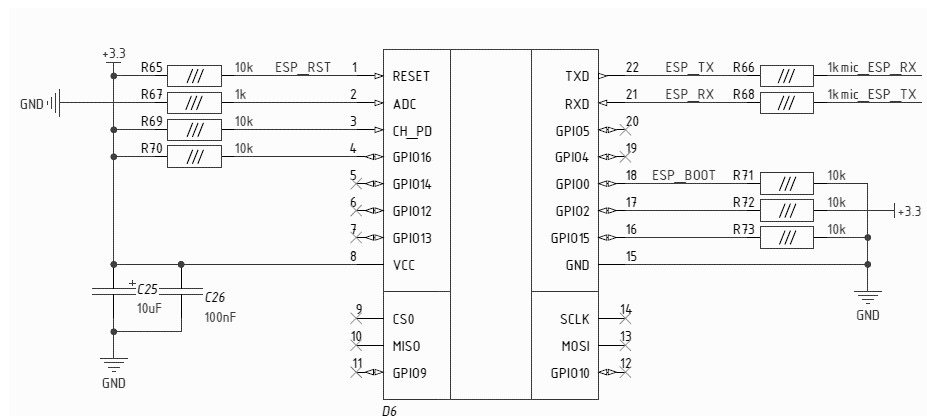


Рисунок 3.12 – Під'єднання мікроконтролера ESP-12F

Для простої взаємодії з користувачем без використання веб-сторінки на схему додано чотири світлодіода, два з яких для службового використання, вони будуть показувати наявність напруги живлення 5 та 3.3 вольт, кнопку у стандартному включенні та буюер зі снаберним ланцюгом, схема елементів взаємодії з користувачем показана на рисунку 3.13.

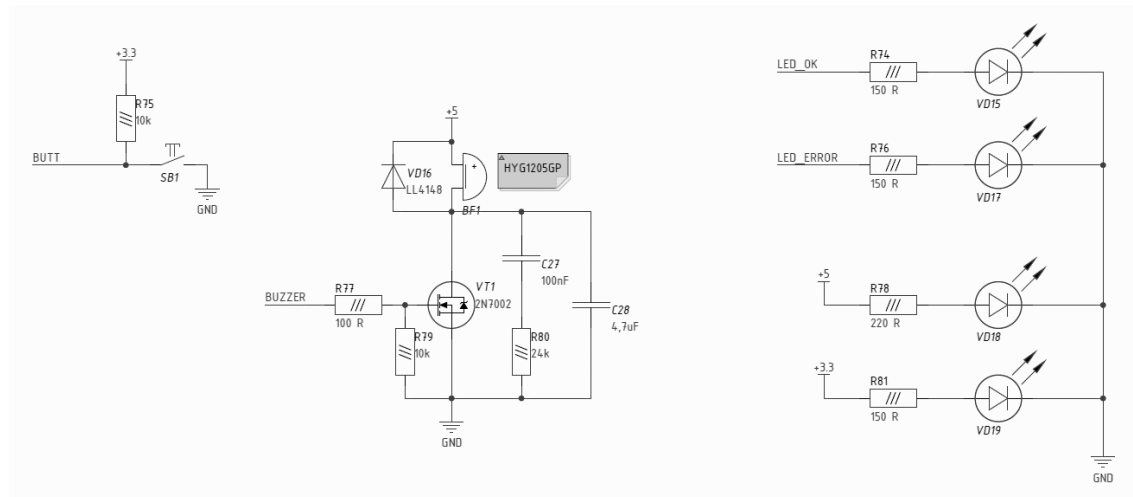


Рисунок 3.13 – Схема простого інтерфейсу користувача

3.1.7 Схеми інтерфейсів передачі даних

Оскільки всі інтерфейси передачі даних у контролері BQ побудовані на п'ятивольтовій логіці, потрібно знизити її до рівня 3.3 вольти за допомогою подільників напруги та діодних збірок (рис. 3.5).

Для перетворення сигналу з UART в RS485, використано перетворювач інтерфейсів ST3485. Підсилюється сигнал за допомогою двох послідовно з'єднаних польових транзисторів 2N7002, таким чином сигнал не інвертується. Для захисту від шкідливих імпульсів на диференціальній лінії RS485 стоїть збірка TVS діодів SM712. Схему перетворення інтерфейсів зображено на рисунку 3.14.

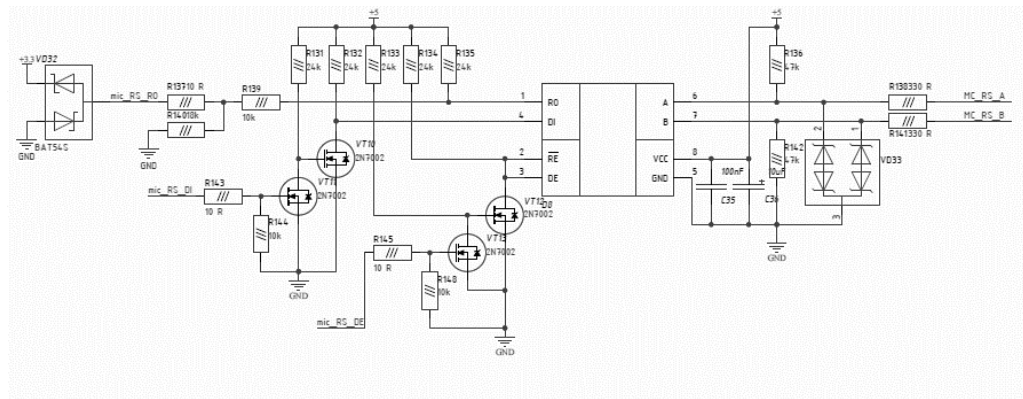


Рисунок 3.14 – Схема перетворювача інтерфейсів

3.1.8 Механізм розширеного вимірювання

Сумарна кількість тестових точок, напругу яких потрібно контролювати – 40. З них 24 – дискретні, тобто такі, в яких потрібно визначати лише два рівні напруги (низький потенціал або високий) та 16 аналогових, в яких необхідно за допомогою АЦП вимірювати рівень напруги. Проте у мікроконтролері STM32G070CBT6 недостатньо входів для кожної точки, тому необхідно зробити механізм розширення методом почергового підключення до необхідної точки входом мікроконтролера. Для цього використано мультиалексор 74HC4051 це високошвидкісний CMOS 8-канальний аналоговий мультиплексор з трьома цифровими входами вибору (S0 до S2), активним входом LOW (E), вісьмома незалежними входами (Y0 до Y7) і загальним виходом (Z). Діапазон VCC до GND становить від 2 до 10 вольт для. Для роботи як цифрового мультиплексора VEE підключається до GND.

Тестові точки під'єднані до входів мультиплексора, а спільний вихід та входи вибору під'єднуються до мікроконтролера. Оскільки мультиплексор буде вимірювати сигнал діапазону 0 – 5 вольт, то живитися він буде від напруги 5 вольт, входи вибору під'єднані через польові транзистори 2N7002 з підтяжкою до напруги живлення у режимі інвертованого сигналу, а сигнал з виходу подається на мікроконтролер через резисторний подільник. Схема підключення мультиплексора зображена на рисунку 3.15.

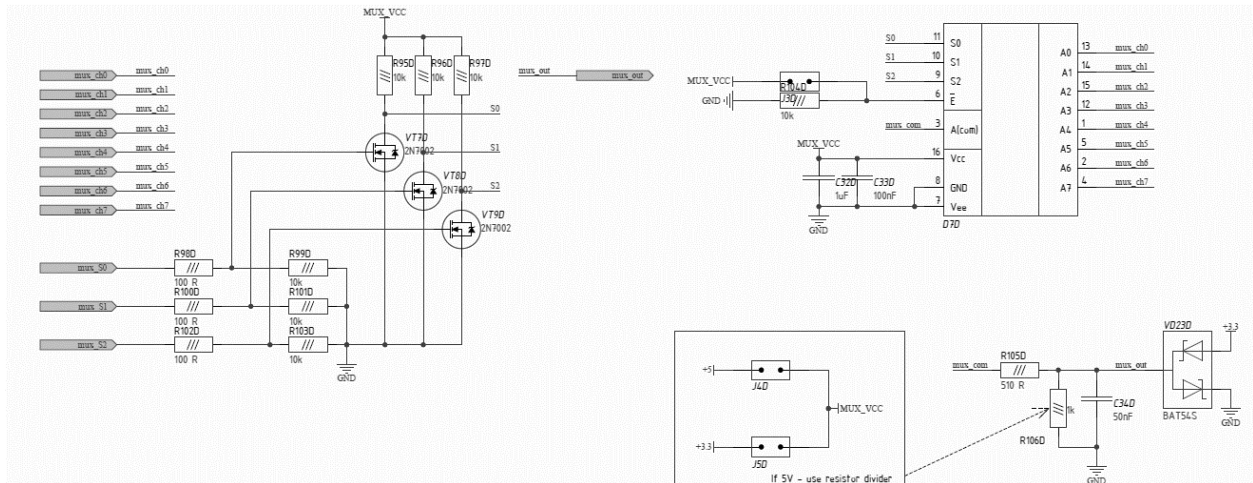


Рисунок 3.15 – Схема під'єднання мультиплексора

Таким чином кількість необхідних входів та виходів скоротилась у рази до шістнадцяти, з них чотири – входи та дванадцять виходів керування, проте у мікроконтролері немає такої кількості виходів, оскільки вони задіяні для інших задач, в основному для інтерфейсів передачі даних, тому потрібно розширити керувальну властивість за рахунок регістрів зсуву.

В якості зсувного регістра використано 74HC595, що містить 8-розрядний послідовний вхід, це регістр паралельного виходу. Регістр має три входи керування, якими можна керувати за допомогою передачі по інтерфейсу SPI. Це прямий вхід із перевизначенням очищення (SRCLR), послідовний (SER) вхід і послідовні виходи для каскадування. Коли на вході дозволу виходу (OE) високий рівень, виходи мають стан високого опору. Схема під'єднання регістра зображена на рисунку 3.16.

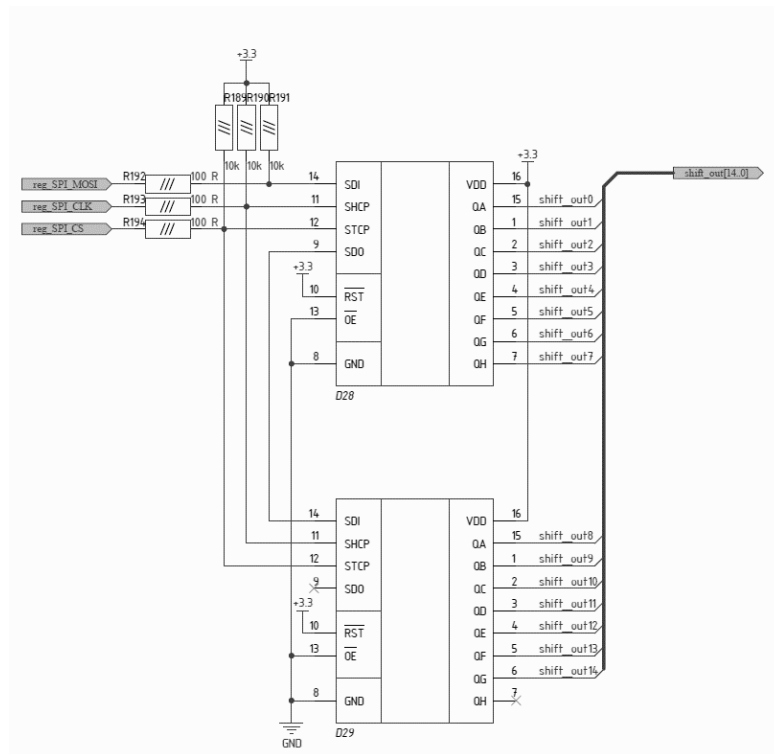


Рисунок 3.16 – Схема підключення зсувного регістра

74HC595 — це високошвидкісний CMOS-пристрій.

Восьмирозрядний регістр зсуву приймає дані з послідовного входу (DS) під час кожного позитивного переходу тактового сигналу регістра зсуву (SHCP). Низькорівнева функція скидання (MR) встановлює значення всіх регістрів зсуву на нуль не залежно від усіх тактових сигналів.

Дані з вхідного послідовного регістра зсуву поміщаються у вихідний регістр із наростаючим імпульсом на тактовій частоті накопичувача (STCP).

Усі регістри фіксують дані за наростаючим фронтом і змінюють вихід на спадаючий край. Якщо обидва лічильники з'єднані разом, вхідний сигнал зсувається і вхідний регістр завжди на один такт випереджає вихідний регістр.

Таким чином, при паралельному підключенні шин SPI до регістрів, можна лише з трьох виходів контролера керувати по чергово всіма мультиплексорами.

Електричну принципову схему тестувального стенду представлено в додатку А.

3.2 Програмна реалізація стенду

Створюється програмна частина модуля за допомогою середовищ розробки CubeIDE [24] та CubeMX. Для цього встановлено пакети підтримки мікроконтролера STM32 серії G070.

Ініціалізацію мікроконтролера проведено в середовищі CubeMX. Перш за все налаштовано частоту тактування контролера.

За замовчуванням, генератор на STM32G0 налаштовано на частоту 8 мегагерц. Цього достатньо для нескладних задач, але, в даному випадку, необхідно збільшити частоту.

У STM32G070 є 3 різні джерела тактування system clock (SYSCLK):

Оскільки не підключено зовнішній кварцевий резонатор, використовуємо внутрішній для тактування.

HSI джерело сигналу може бути використаний безпосередньо як система тактування, або поділений на 2 до використання як PLL введення.

Частоту тактування кожного з периферійних пристроїв налаштовано на 64 MHz. Схему тактування периферії контролера показано на рисунку 3.17.

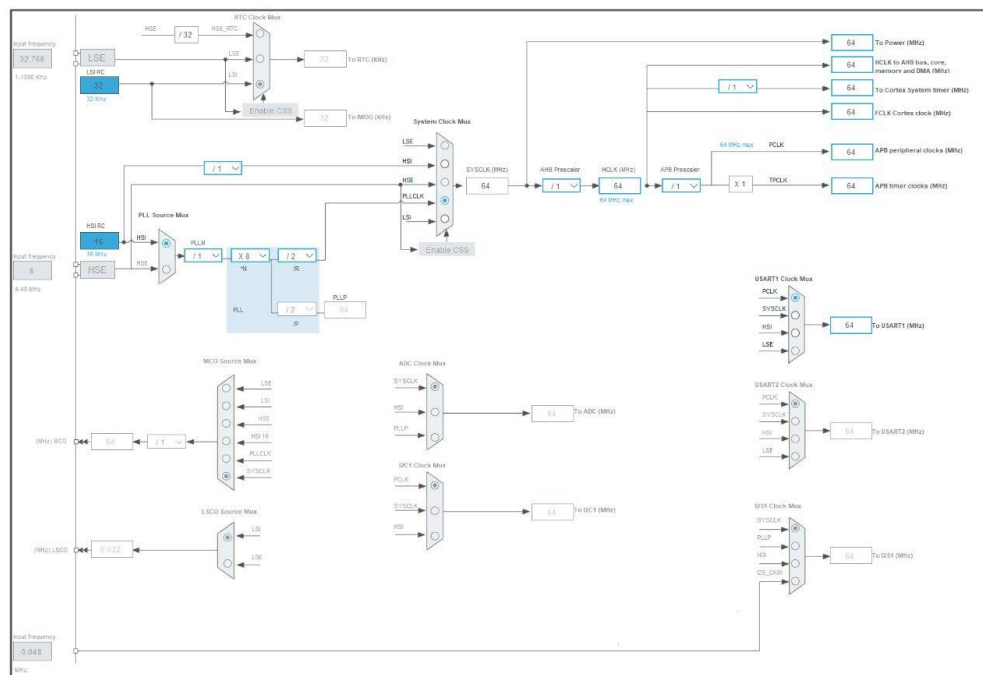


Рисунок 3.17 – Схема тактування контролера

Для вимірювання задіяно шість каналів АЦП номер один. Глобальні переривання для АЦП вимкнено. АЦП налаштовано в незалежному режимі, вирівнювання по правому фронту, увімкнено режим сканування каналів по списку. Безперервні перетворення вимкнено, оскільки нам необхідно точно знати, коли відбулось завершення перетворення останнього каналу, для того, щоб правильно записувати отримані дані, а також, щоб запускати наступну послідовність перетворень з потрібною частотою. Кожен з каналів АЦП налаштовано на півтора цикла, це дозволить конденсатору, на якому проводяться вимірювання зарядитися, і при цьому швидкість перетворення залишиться достатньо високою – рисунок 3.18.

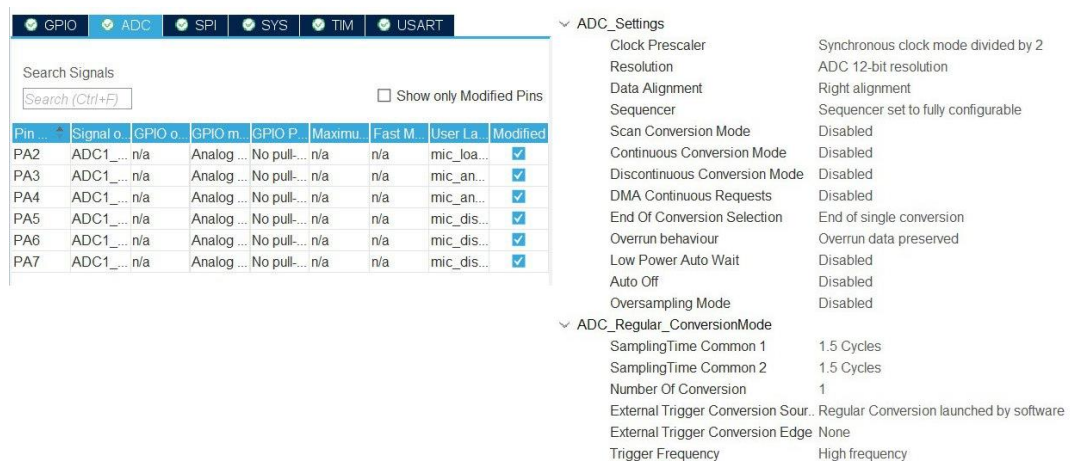


Рисунок 3.18 – Налаштування АЦП

Задіяно два таймера (Tim3, TIM14). Обидва тактуються від джерела внутрішнього тактування. Подільники не встановлено, таким чином таймери будуть лічити з частотою 64 мегагерци. Порядок лічби прямий, період перевантаження – 65535 одиниць, автоматичне перезавантаження вимкнено. Для обох таймерів вимкнено глобальне переривання – рисунок 3.19.

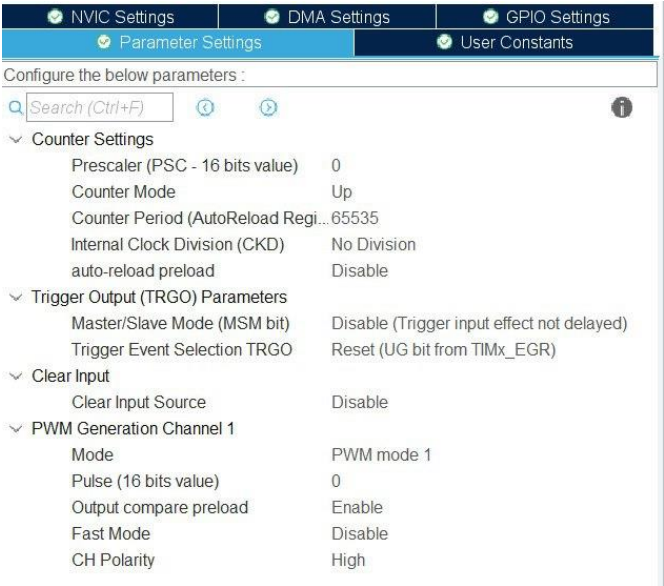


Рисунок 3.19 – Налаштування таймерів

З інтерфейсів задіяно SPI1, SPI2, USART1, USART3, USART4. Швидкість USART налаштовано на 9600 біт за секунду (бод), довжина слова – вісім біт, один стоп-біт. Напрямок – прийом та передача. Вимкнено глобальне переривання USART. Режим передавання – асинхронний, оскільки не потрібно задіювати окрему лінію тактування – рисунок 3.20.

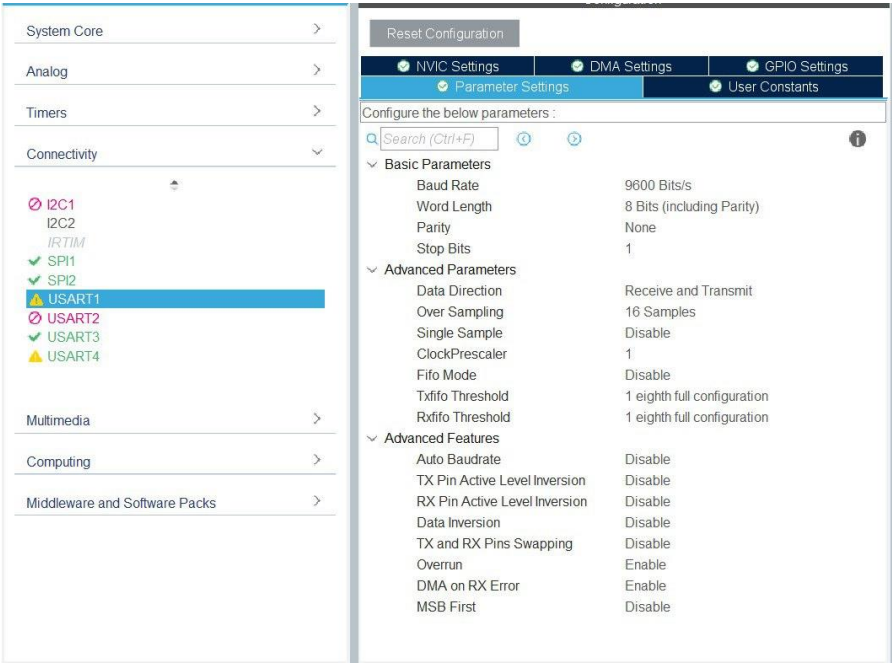


Рисунок 3.20 – Налаштування інтерфейсів

Запис прошивки та відлагодження коду реалізовано за допомогою Serial Wire.

Задіяно також переривання, які встановлюються за замовчуванням, серед них необхідно виділити Hard fault interrupt - переривання, в яке потрапляє контролер при помилці роботи з пам'яттю.

В якості цифрових виходів задіяно порти PB5-PB9, PC13, PC14, без внутрішньої програмної підтяжки, оскільки вона виконана схемотехнічно.

Порт PC15 налаштовано як цифровий вхід без підтягування до живлення.

Порти PB4, PB10-PB12, PC7, PD0-PD3, PF0, PF1 не використовуються (вони зарезервовані для можливого використання в майбутньому).

Конфігурацію портів контролера показано на рисунку 3.21.

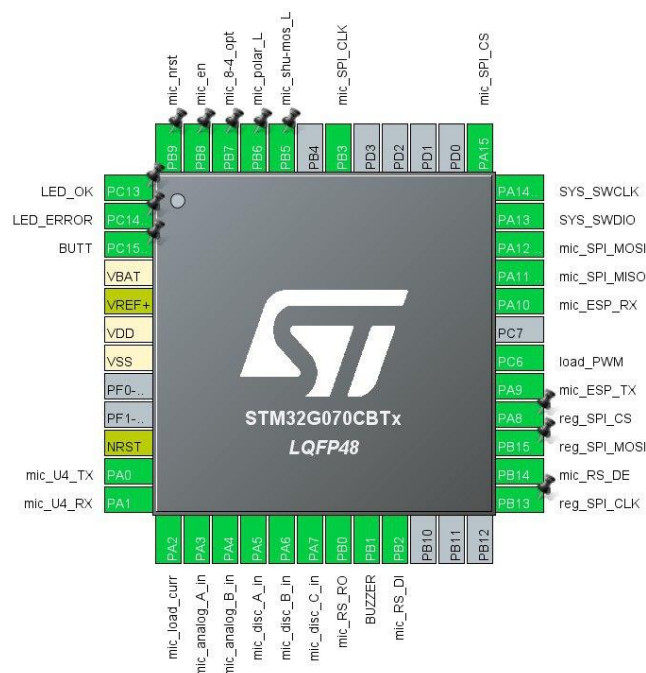


Рисунок 3.21 – Конфігурація портів контролера

3.3 Підсумок третього розділу

Спроековано схему тестувального стенду на основі мікроконтролера STM32G070CBT6 з підключеним Wi-Fi контролером ESP-12F, який буде

працювати в режимі точки доступу та відображати інформацію про стан тестування на веб-сторінці.

Розроблено механізм розширеного вимірювання з використання мультіплексорів та зсувних регістрів, що керуються за допомогою інтерфейсу SPI, який допоможе збільшити кількість каналів вимірювання контролера за рахунок послідовного підключення.

Проініціалізовано мікроконтролер STM32G070CBT6 з використанням аналогового вимірювання на основі 12-розрядного АЦП, передачею даних по інтерфейсах USART та SPI. Задіяно таймери для управління роботою контролера.

4 ПЕРЕВІРКА СХЕМИ ТА СТВОРЕННЯ ПЛАТИ АВТОМАТИЧНОГО ТЕСТУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

4.1 Тестування ключових частин схеми

Для перевірки працездатності схеми до створення та замовлення плати, основні її частини було складено та протестовано в програмному середовищі NI Multisim 14.3.

4.1.1 Схема електронного навантаження

Схему електронного навантаження зібрано з елементів стандартної бібліотеки, замість оптопари PC-817 використано ACPL-C61L з подібними характеристиками. Схема симуляції представлена на рисунку 4.1.

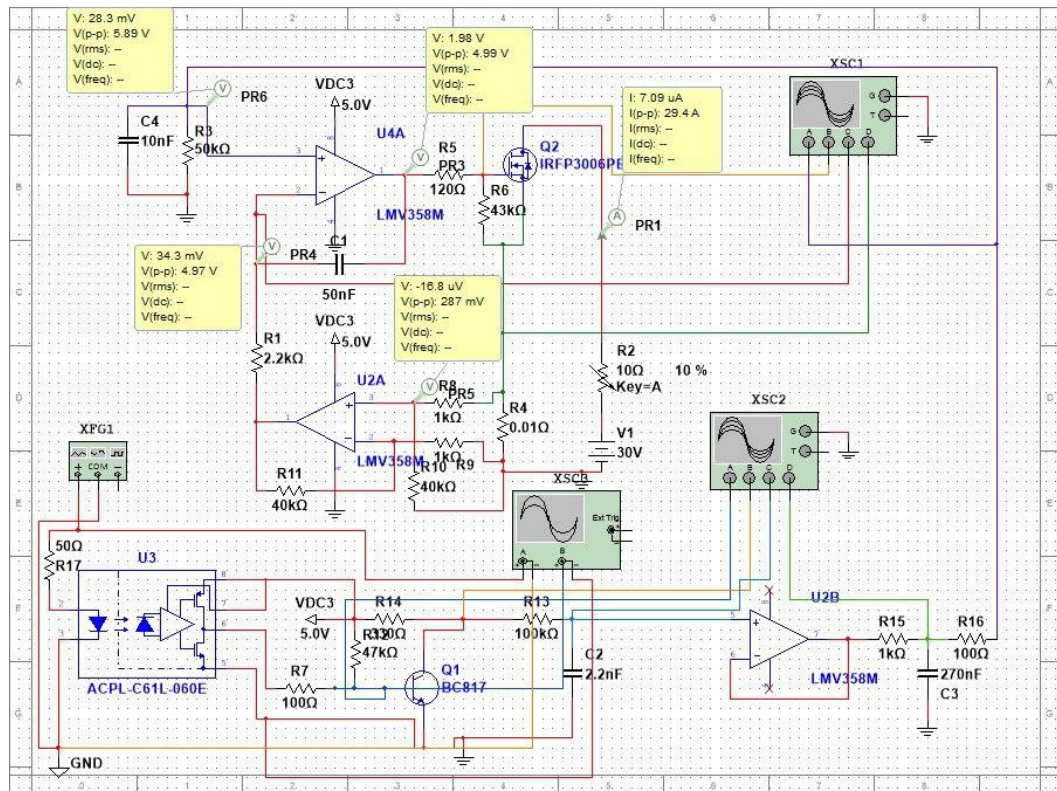


Рисунок 4.1 – Симуляція схеми електронного навантаження

Першою складовою схеми є генератор прямокутних імпульсів зі змінною скважністю. На рисунку 4.2 зображено осцилограму, зняту з виходу самого генератора (червоним) та після оптопари (синім).

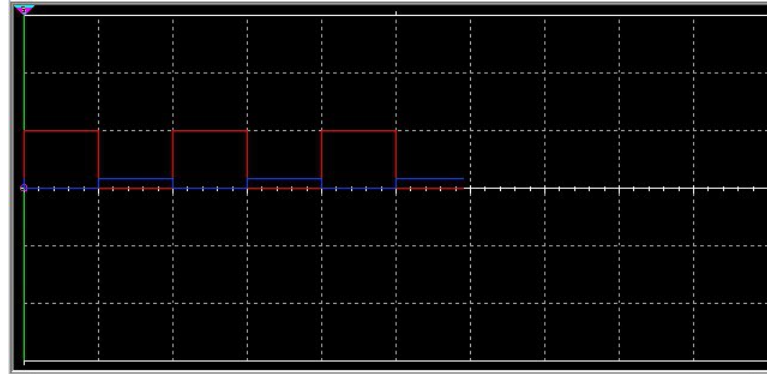


Рисунок 4.2 – Осцилограма ШІМ-сигналу

Далі розташований інтегральний фільтр другого порядку, його осцилограма зображена на рисунку 4.3. Синім кольором показано сигнал після оптопари, що приходить на базу транзистора BC817 – тактові імпульси, оранжевим – цей же сигнал, підсилений по напрузі транзистором. Голубим кольором показано пилкоподібний сигнал після першого фільтра, а зеленим – синусоподібний після операційного підсилювача та другого фільтра.

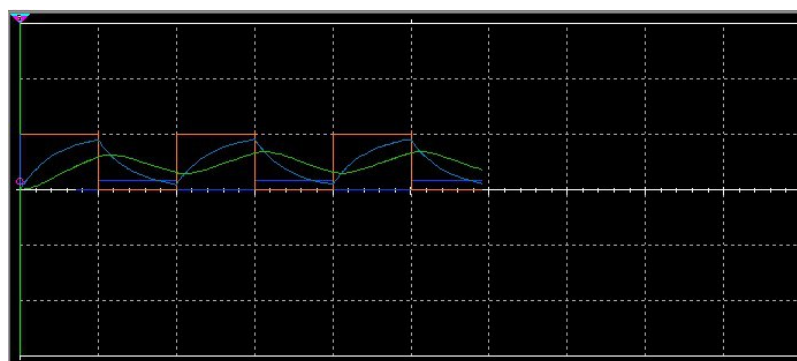


Рисунок 4.3 – Осцилограма інтегрального фільтра

На рисунку 4.4 показано осцилограму керування струмом. На ній видно керуючий сигнал, що приходить з фільтра (синій), він відповідає сигналу зворотнього зв'язку після диференціального каскаду (червоний), оранжевим

показано напругу на затворі силового MOSFET транзистора, вона практично лінійна, а зеленим – падіння напруги на шунті, що пропорційне струму в колі. З осцилограми видно, що струм коливається в межах заданого, оскільки операційний підсилювач постійно намагається його зрівняти, відповідно до керуючого сигналу та зворотнього зв'язку.

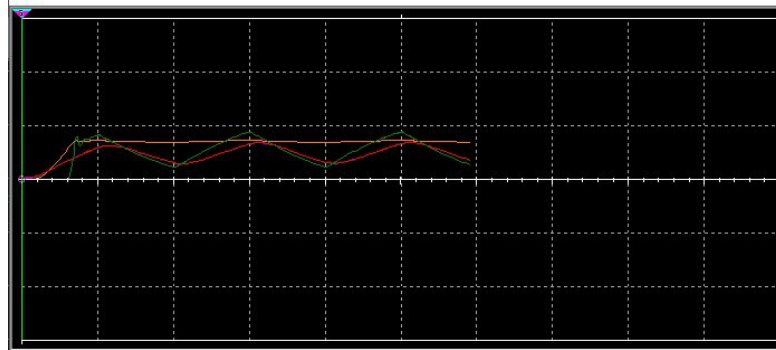


Рисунок 4.4 – Осцилограма регулювання струму

Для перевірки регулювання струму було змінено заповненість ШІМ-сигналу в генераторі, на рисунку 4.5 показано зняті при цьому осцилограми. Зеленою лінією на нижньому графіку показано струм, який протікає в колі польового транзистора. На 1 частині осцилограми заповненість імпульсів 50 відсотків, після перехідного процесу струм наближається до п'яти ампер, на другій, при 10-відсотковій заповненості – до одного ампера, на третій, при заповненості 90 відсотків – до десяти ампер. Відповідно, схема працює належним чином.

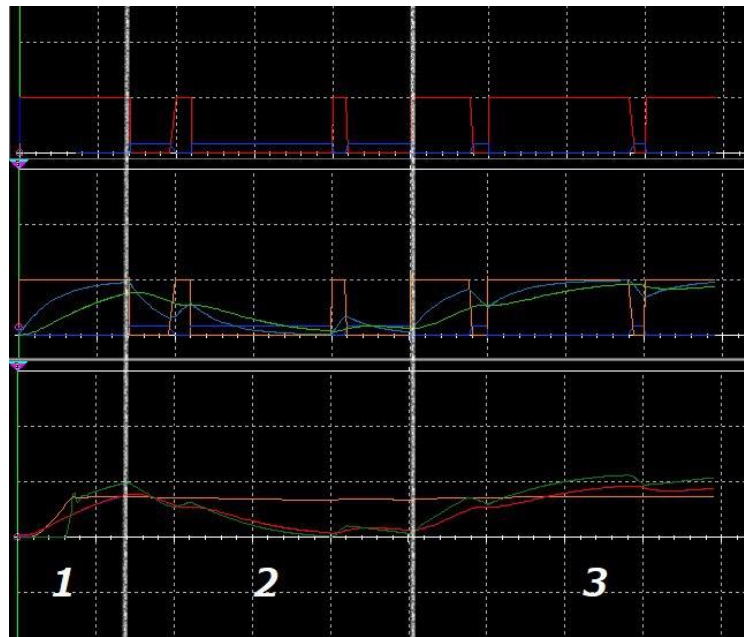


Рисунок 4.5 – Осцилограма тестування схеми регульованого навантаження

4.1.2 Схема аналізатора балансувальних ключів

Для перевірки схеми дискретних аналізаторів в симуляторі складено імітацію комірок акумулятора за допомогою резисторів номіналом 0.5 Ома. Імітацію балансувальних ключів складено з польових транзисторів 2SK3135 та Si2302DS, а також діода BZV55-C10. Аналіз відбувається за допомогою оптопар, оскільки вони не потребують прив'язки до певної точки напруги, з підтяжкою виходу до напруги живлення. Схема аналізатора балансувального каскаду представлена на рисунку 4.6.

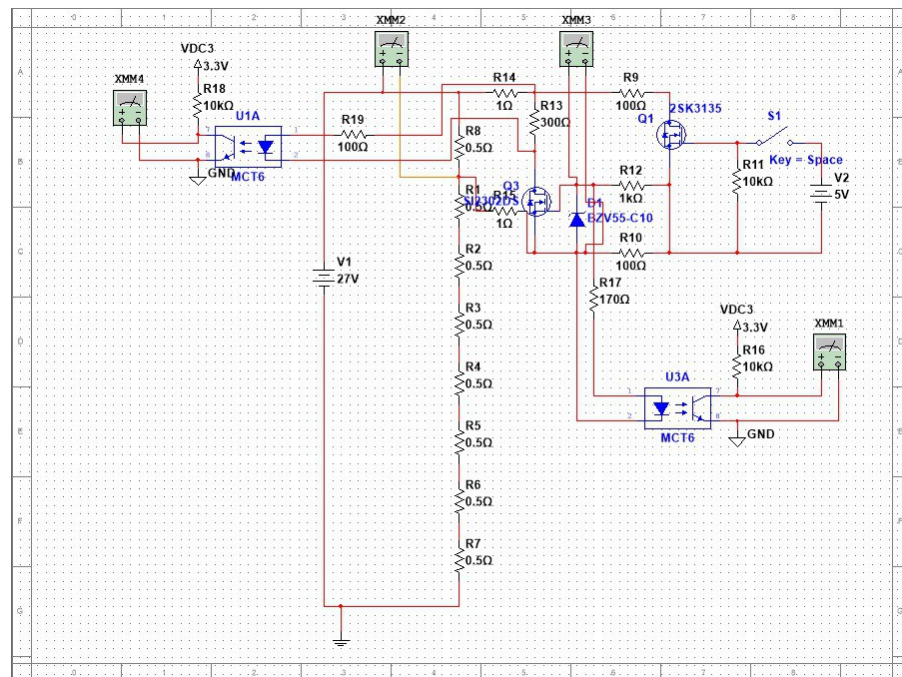


Рисунок 4.6 – Схема тестування балансувальних ключів

При закритому стані ключів струм через них не протікає, падіння напруги на діоді D1 та на балансувальному резисторі R13 близьке до нуля, відповідно на виходах оптопар присутня напруга живлення – рисунок 4.7.

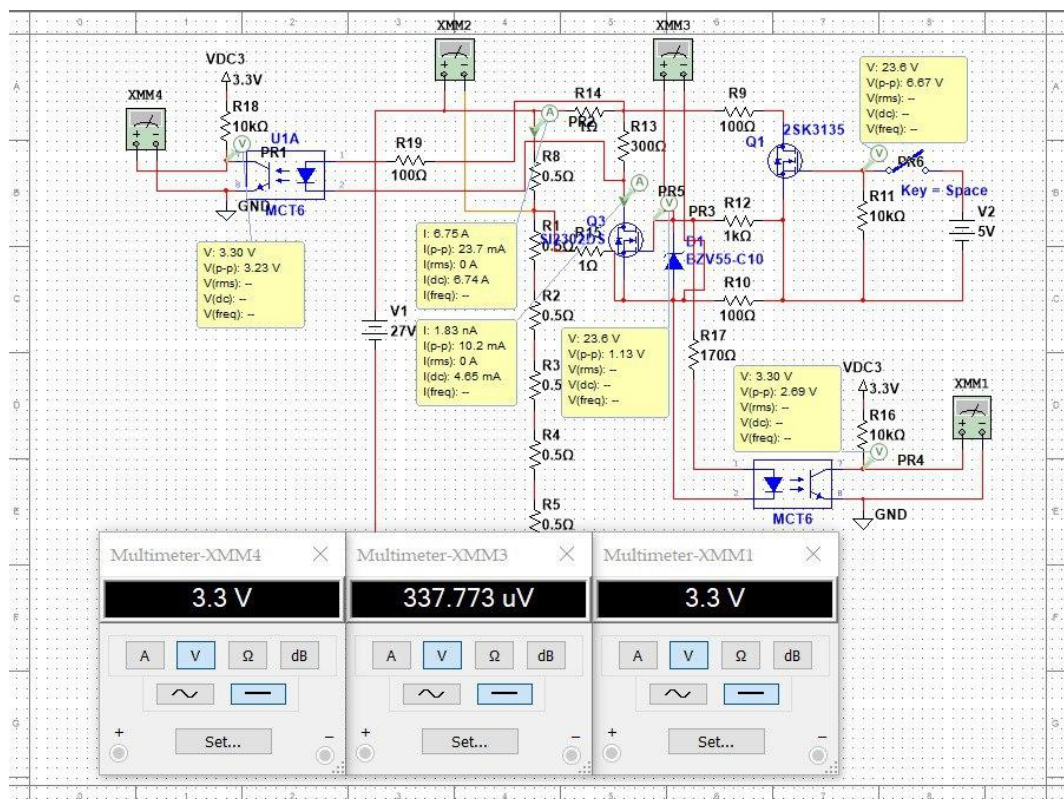


Рисунок 4.7 – Стан схеми при закритих ключах

Коли ключі відкриті, через балансувальний резистор протікає струм, на ньому відбувається падіння напруги, а також на діоді, оскільки він приєднаний паралельно затвору та витоку транзистора Q3, тому на виходах оптопар потенціал близький до нуля – рисунок 4.8. Отже схема працює коректно.

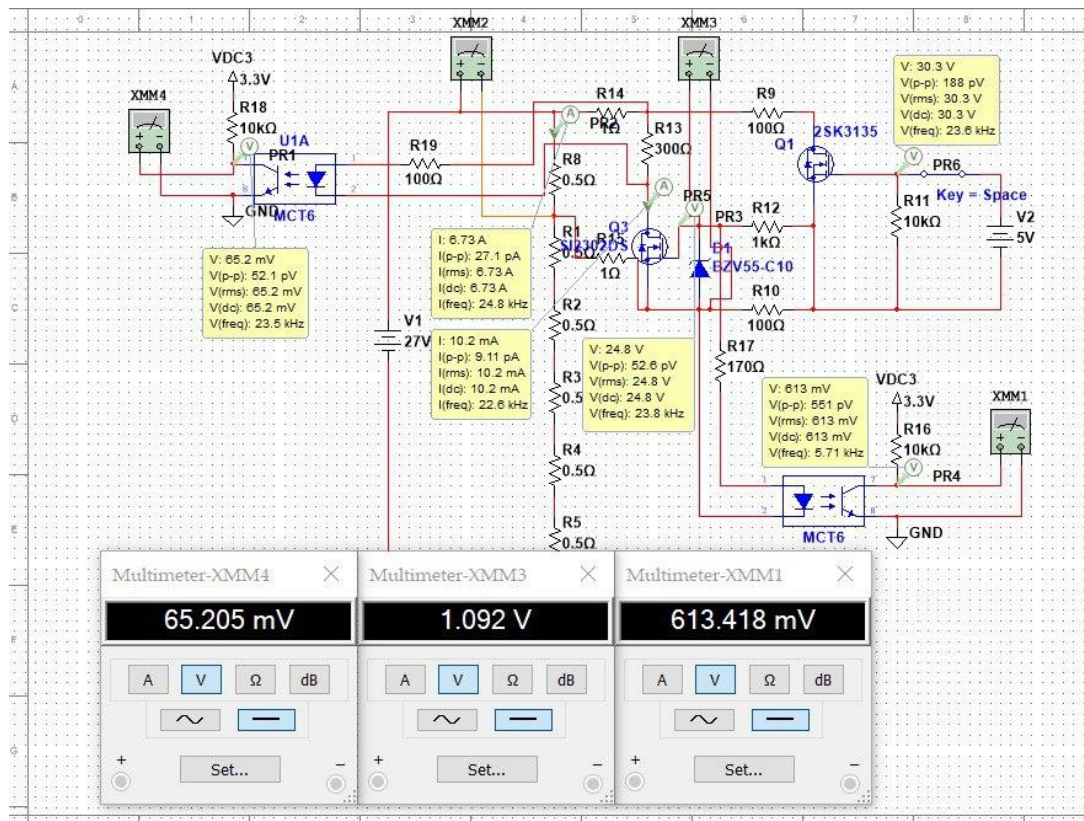


Рисунок 4.8 – Стан схеми при відкритих ключах

4.2 Створення друкованої плати стенду

Спочатку необхідно зробити розмітку для розташування плати, яка буде тестуватися на стенді таким чином, щоб кожна тестова точка співпадала з відповідним роз'ємом на стенді, а розміри стенду дозволяли закріпити плату на ньому. Розмітка стенду зображена на рисунку 4.9.

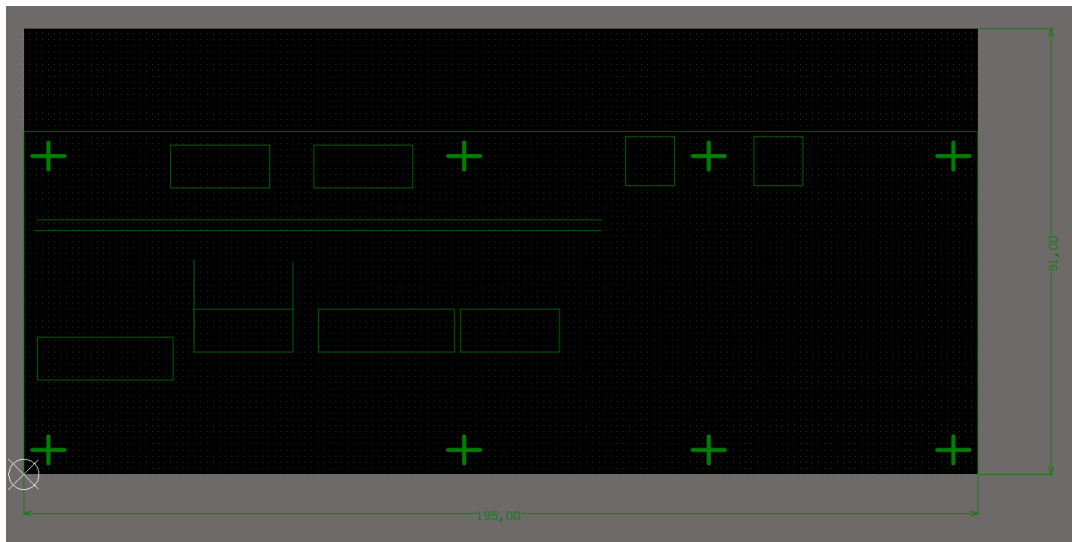


Рисунок 4.9 – Розмітка плати стенду

Контури плати було створено обравши інструмент «лінія» намалювавши границі, та встановивши їх за допомогою функції «Define board from selected object».

Всі елементи електричної схеми перенесено на місце майбутньої плати у файлі з розширенням .PcbDoc. Завдяки виставленій мережі зв'язків, всі з'єднання перенеслися у даний файл. Після цього, з увімкненим режимом Cross Selected Mode, виділяючи фрагменти схеми, та підсвічуючи необхідні компоненти, їх було перенесено та розташовано на полігоні, відповідно до того, до якої частини належить елемент.

Оскільки багато частин схеми повторюються, для зручності їх розташування використано функцію «кімната» – це примітивний дизайнерський об'єкт, область, яка допомагає в розміщенні компонентів. Багатокутні кімнати розташовано на верхньому шарі дошки. Кімнати ортогональної та прямокутної форми створюються автоматично на основі вибраних компонентів у просторі дизайну. Розташувавши кімнату навколо одного чи кількох компонентів так, щоб вони повністю потрапляли в її межі, компоненти автоматично асоціюються з кімнатою. Область або запит, створений для правила визначення кімнати, залежить від того, чи є всі компоненти частиною існуючого класу компонентів чи ні. Якщо вони є, тоді використовуватиметься цей клас компонентів. Якщо ні,

створюється новий клас компонентів із цими компонентами як його членами. Таким чином, було створено кілька кімнат, кожна з областю, яка націлена на певний клас компонентів і має один або більше спільних членів компонентів між цими класами, що показано на рисунку 4.10.

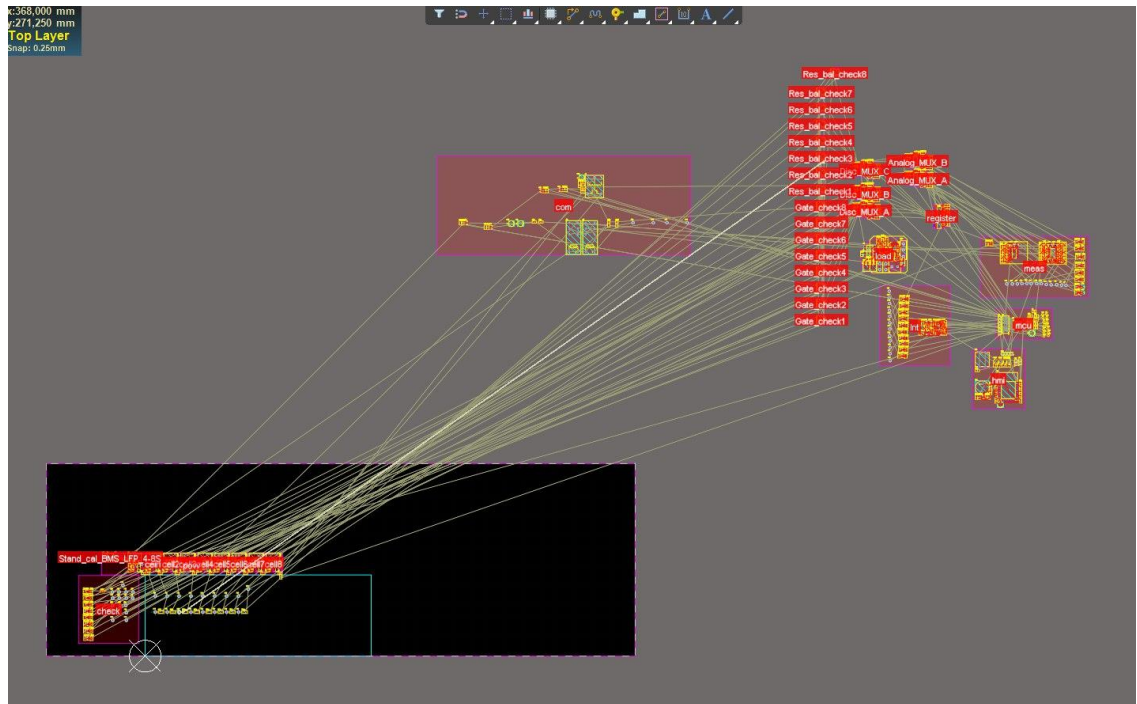


Рисунок 4.10 – Створення кімнат з елементами схеми

Всі з'єднання проводились з використанням інструменту Interactive Route та Auto Route, де це можливо для пришвидшення трасування. Місця напруги живлення проведено доріжками товщиною 1 міліметр, всі інші з'єднання – товщиною 0.2 міліметри. Більшість елементів розташовано з однієї сторони плати, проте, оскільки утворилось багато перехрещень зв'язків, які неможливо реалізувати на двох рівнях, у плату було додано ще два внутрішніх шари для проведення додаткових з'єднувальних ліній. Всі шари плати показано на рисунку 4.11.

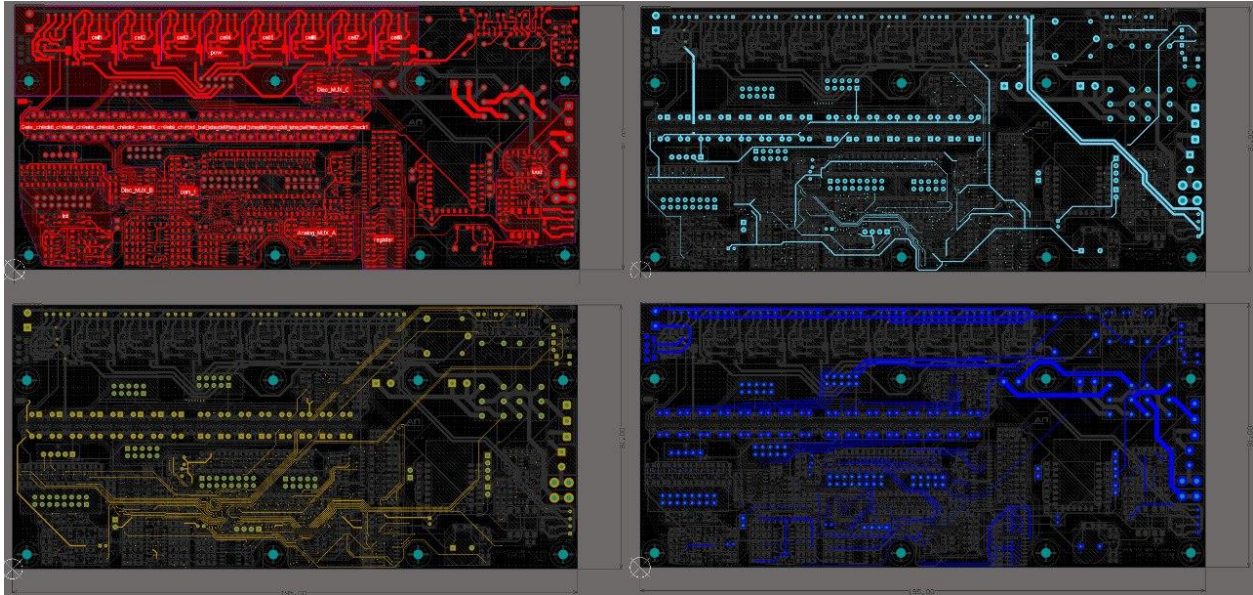


Рисунок 4.11 – Шари плати з доріжками

Необхідно правильно налаштувати параметри шарів для максимальної простоти виготовлення, надійності та працездатності плати. Параметри створених шарів плати показано на рисунку 4.12.

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk	Df
	Top Overlay		Overlay				
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01mm	3.5	
1	Top Layer		Signal	1oz	0.036mm		
	Dielectric 1	PP-006	Core		0.11mm	4.1	0.02
2	Layer 1	CF-004	Signal	1oz	0.035mm		
	Dielectric 2	FR-4	Prepreg		1.2mm	3.96	
3	Layer 2	CF-004	Signal	1oz	0.035mm		
	Dielectric 3	PP-006	Core		0.11mm	4.1	0.02
4	Bottom Layer		Signal	1oz	0.036mm		
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01mm	3.5	
	Bottom Overlay		Overlay				

Рисунок 4.12 – Таблиця параметрів шарів плати

Вибір конструкції ламінату значно впливає як на вартість, так і на продуктивність. Очевидно, одношарова конструкція, представляє економію коштів порівняно з багатошаровою конструкцією. Величина цих заощаджень залежатиме від конкретного стилю скла, що використовується, та безлічі інших параметрів. Одношарові конструкції часто мають менший вміст смоли. Використовуючи одношарову конструкцію, можна досягти більш жорстких допусків по товщині.

Плату з усіма елементами та доріжками переведено в 3-D модель для візуального огляду та перевірки, а також для розуміння розмірів та форми плати для продумування закріплення її в корпусі пристрою з максимальною надійністю та компактністю. Віртуальну тривимірну модель плати представлено на рисунку 4.13.

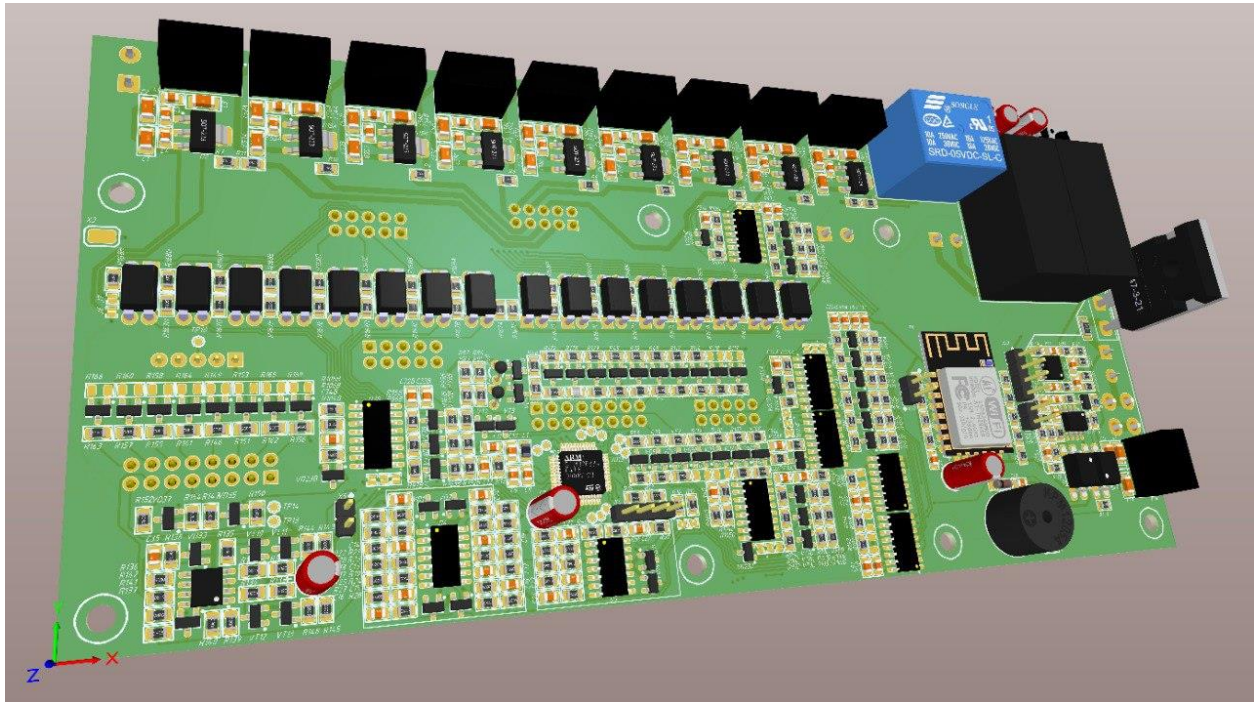


Рисунок 4.13 – Тривимірна модель плати

4.3 Виведення документації

Після цього налаштовано параметри виведення всієї необхідної документації для масового виробництва, інструктування, закупівлі компонентів, замовлення плати, створення конструкторських креслень у файлі з розширенням .PCBDwfl, виведення технологічних креслень показано на рисунку 4.14.

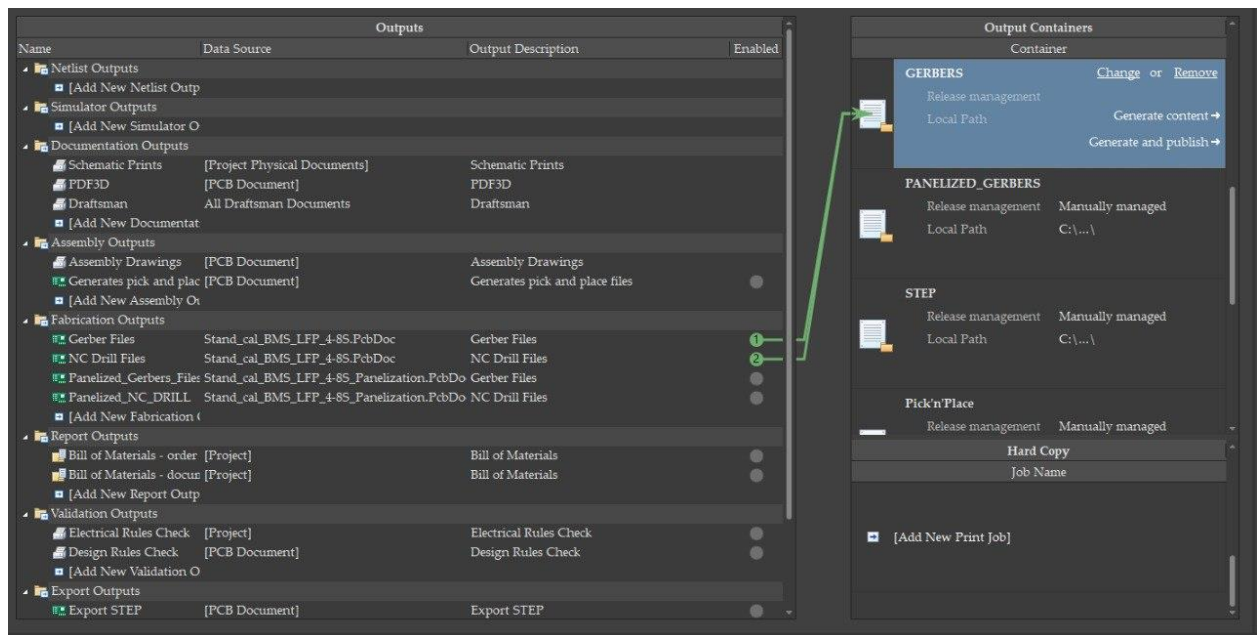


Рисунок 4.14 – Створення документації для плати

В такому вигляді плата готова до масового виробництва. Присутні всі необхідні документи, такі, як перелік елементів, графічні креслення, схеми з'єднань, файли gerber та drill для замовлення плат, тривимірна модель.

4.4 Підсумок четвертого розділу

За допомогою програмного середовища NI Multisim складено та перевірено на працездатність основні елементи схеми, а саме систему керованого електронного навантаження та дискретного аналізатора балансувальних ключів.

Створено друковану плату стенду, та виведено всі необхідні документи, такі, як перелік елементів, графічні креслення, схеми з'єднань та файли (gerber, drill для замовлення плат, тривимірна модель) до неї.

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Технологічний аудит розробленої системи налаштування плат BMS

Як було зазначено раніше, захист побутових електричних приладів від різних негативних факторів а також управління живленням таких приладів займає важливе місце при їх використанні. Якісне захисне обладнання забезпечує нормальну їх роботу, запобігає виходу із ладу через високу напругу та інші нетипові ситуації. Проте купівля складної габаритної системи, яка буде складатися з набору статичних елементів є недоцільною, оскільки дуже часто користувач використовує лише частину можливих функцій, при цьому система займає багато місця, є незручною та високовартісною. Набагато кращим є варіант розбірного пристрою, який можна комплектувати відповідно до необхідних задач.

У зв'язку з цим, метою виконаної магістерської кваліфікаційної роботи було пропонування покращення технічних параметрів напруги в мережі та підвищення контролю живлення побутових пристроїв шляхом розробки гнучкої інтелектуальної системи контролю стану живлення електричних пристроїв, яка може бути використана для різних потреб, особливо в житлових будинках при наявності та відсутності мережевої напруги, при цьому ціна такого пристрою буде тільки за необхідні функції та параметри. Експлуатація акумуляторів на літієвій основі є неможлива без додаткових пристроїв захисту та балансування комірок, що вирівнюють напругу на них та дозволяють збірці працювати довше. Дані плати розглянуто в роботі та визначено які параметри відіграють основну роль при визначенні ціни виробу.

В процесі масового виробництва даних плат виникає велика імовірність дефектів, які можуть погіршити технічні якості, продуктивність, довговічність і безпеку виробу, тому в результаті виконання роботи було запропоновано пристрій автоматичного тестування та калібрування плат BMS, а також механізм

розширеного вимірювання з використання мультіплексорів та зсувних регістрів, що керуються за допомогою інтерфейсу SPI, який допоможе збільшити кількість каналів вимірювання контролера за рахунок послідовного підключення.

Для встановлення комерційного потенціалу розробленого принципу тестування плат BMS було запрошено 3-х експертів, працівників ТОВ «Промавтоматика» – інженера-програміста Іваніщенко С.П., інженера-схемотехніка Бахнівського А.В. та інженера-конструктора Бондара Д.В.

Встановлення комерційного потенціалу розробленого методу тестування та розширеного вимірювання здійснювалося за загально визнаними критеріями, які наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу будь-якої розробки і їх бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренції немає

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідно незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Запрошені експерти оцінили розроблену систему наступним чином (таблиця 5.2):

Таблиця 5.2 – Результати технологічного аудиту розробленого пристрою тестування плат BMS (за шкалою оцінювання 0-1-2-3-4)

Критерії	Прізвище, ініціали експертів		
	Іваніщенко С.П.	Бахнівський А.В.	Бондар Д. В.
	Бали, що їх виставили експерти:		
1	4	4	4
2	4	3	4
3	3	3	3
4	3	3	4
5	2	3	2
6	4	4	4
7	3	3	3
8	3	3	3
9	3	4	4
10	4	4	4
11	4	4	3
12	4	3	4
Сума балів	СБ ₁ = 41	СБ ₂ = 41	СБ ₃ = 42
Середньоарифметична сума балів СБ	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{41+41+42}{3} = 41,3$		

Встановлення комерційного потенціалу розробленого пристрою буде здійснюватися на основі рекомендацій, наведених в таблиці 5.3 [33].

Таблиця 5.3 – Рівні комерційного потенціалу будь-якої наукової розробки

Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 48	Високий

Оскільки середньоарифметична сума балів, що їх виставили експерти, складає 41,3 бали, то це свідчить про те, що розроблена концепція тестувального стенду має рівень комерційного потенціалу, який вважається «високий».

Це пояснюється тим, що розроблена концепція поки не має аналогів на ринку, досить проста для реалізації і може бути використаний для масового виробництва систем захисту та балансування акумуляторів.

5.2 Розрахунок витрат на розроблення тестувального стенду

При розробленні тестувального були зроблені певні витрати. Зокрема:

а). Основна заробітна плата Z_o розробників, яка визначається за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ грн}, \quad (5.1)$$

де M – місячний посадовий оклад розробника, грн; прийmemo, що M дорівнює (12000...40000) грн/місяць;

T_p – число робочих днів в місяці; прийmemo $T_p = 20$ днів;

t – число днів роботи розробників.

Зроблені розрахунки зведемо до таблиці 5.4:

Таблиця 5.4 – Основна заробітна плата розробників

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн
1. Науковий керівник магістерської роботи	25000	1250	20 години	≈ 3125
2. Магістрант-студент-виконавець	15000 грн	500	82	≈ 41000
3. Консультант з економічної частини	20000	1000	1,5 години	≈ 250 (при 6-годинному робочому дні)
Загалом				$Z_o = 44375$ грн

б). Додаткова заробітна плата Z_d розробників розраховується як $(10...12)\%$ від величини їх основної заробітної плати, тобто:

$$Z_d = \alpha \cdot Z_o = (0,1...0,12) \cdot Z_o. \quad (5.2)$$

Прийmemo, що $\alpha = 0,1$. Тоді для нашого випадку отримаємо:

$$Z_d = 0,1 \times 44375 = 4437,5 \text{ грн.}$$

в). Нарахування на заробітну плату $HЗП_{зп}$ розробників (дослідників) розраховуються за формулою:

$$HЗП_{зп} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100}, \quad (5.3)$$

де β – ставка обов'язкового єдиного внеску на державне соціальне страхування, $\%.$ $\beta = 22\%$. Тоді:

$$HЗП_{зп} = (44375 + 4437,5) \times 0,22 = 10738,75 \text{ грн.}$$

г). Амортизація основних засобів A , які використовувались під час виконання цієї роботи:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12} \text{ грн,} \quad (5.4)$$

де $Ц$ – загальна балансова вартість основних засобів, грн;

H_a – річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що $H_a = (2,5...20)\%$;

T – термін використання основних засобів, місяці.

Зроблені розрахунки зведено в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання, приміщень тощо	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, місяці	Величина амортизаційних відрахувань, грн
1. Комп'ютерна техніка, обладнання, принтери тощо	61000	20	3,5 (при 80% використанні)	3558,33 $\approx$ 3558
2. Офісне приміщення	88000	2,5	3,5 при 40% використанні	641,67 $\approx$ 642
Всього				A = 4200 грн

Д). Витрати на матеріали М розраховуються за формулою:

$$M = \sum_{i=1}^n H_i \cdot \Pi_i \cdot K_i - \sum_{i=1}^n B_i \cdot \Pi_b \text{ грн.}, \quad (5.5)$$

де H_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг; Π_i – вартість матеріалу i -го найменування; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$; B_i – маса відходів матеріалу i -го найменування; Π_b – ціна відходів матеріалу i -го найменування; n – кількість видів матеріалів.

Е). Витрати на комплектуючі К розраховуються за формулою:

$$K = \sum_{i=1}^n H_i \cdot \Pi_i \cdot K_i \text{ грн.}, \quad (5.6)$$

де H_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.; Π_i – ціна комплектуючих i -го виду; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$; n – кількість видів комплектуючих.

Під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи загальні витрати на матеріали та комплектуючі склали приблизно 13000 грн.

Ж). Витрати на силову електроенергію V_e розраховуються за формулою:

$$B_e = \frac{B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d}, \quad (5.7)$$

де B – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2024 р. $B \approx 4,5$ грн/кВт;

Π – установлена потужність обладнання, кВт; $\Pi = 1,0$ кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

Прийmemo, що $\Phi = 310$ годин;

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності; $K_{\Pi} < 1 = 0,86$.

K_d – коефіцієнт корисної дії, $K_d = 0,79$.

Тоді витрати на силову електроенергію будуть дорівнювати:

$$B_e = \frac{B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d} = \frac{4,5 \cdot 1,0 \cdot 310 \cdot 0,86}{0,79} = 1518,51 \approx 1519 \text{ грн.}$$

И). Інші витрати $B_{\text{інш}}$ можна прийняти як (50...300)% від основної заробітної плати розробників, тобто:

$$B_{\text{інш}} = (0,5 \dots 3) \times 3_o. \quad (5.8)$$

Для нашого випадку отримаємо:

$$B_{\text{інш}} = 0,9 \times 44375 = 39937,5 \text{ грн.}$$

К). Сума всіх попередніх статей витрат складає витрати на виконання роботи безпосередньо розробником-магістрантом – B .

$$B = 44375 + 4437,5 + 10738,75 + 4200 + 13000 + 1519 + 39937,5 = 118207,75 \text{ грн.}$$

Л). Загальні витрати на розробку тестувального стенду $B_{\text{заг}}$ розраховуються за формулою:

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{\beta}, \quad (5.9)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання цієї роботи.

Можна прийняти, що, $\beta \approx 0,95$ [33]. Тоді:

$$B_{\text{заг}} = \frac{118207,75}{0,95} = 124429,21 \text{ грн або приблизно } 124 \text{ тисячі грн.}$$

Тобто прогнозовані загальні витрати на розробку модифікованого методу стиснення зображень становлять приблизно 124 тисячі грн.

5.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки

Економічний ефект від впровадження та можливої комерціалізації розробленого тестувального стенду пояснюється його широкими функціональними можливостями. Тому нашу розробку можна реалізовувати на ринку з досить високою вартістю.

Аналіз місткості ринку показує, що на сьогодні в Україні кількість потенційних споживачів розробленого калібрувального стенду може становити приблизно 300 осіб. Це, насамперед, виробники зарядних станцій, акумуляторних збірок, резервних джерел живлення, електроустаткування та інші потенційні споживачі. Тому можна очікувати зростання попиту на нашу розробку принаймні протягом 2-х років після її впровадження.

Тобто, якщо наша розробка буде впроваджена з 1 січня 2025 року, то її результати будуть виявлятися протягом 2025-го та 2026-го років.

Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

- а) 2025 р. – приблизно +20 шт. до базового року;
- б) 2026 р. – +25 шт. до базового року;

Можливе збільшення чистого прибутку $\Delta\Pi_i$, що його може отримати потенційний інвестор від комерціалізації нашої розробки, тобто виведення нашої розробки на ринок, становитиме:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right), \quad (5.10)$$

де $\Delta \Pi_0$ – покращення основного якісного показника від впровадження результатів нашої розробки у цьому році. Для нашого випадку це є збільшення ціни реалізації нашої розробки $\Delta \Pi_0 = (150 - 124) = + 26$ (24) тисяч грн;

N – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у році до впровадження результатів розробки; $N = 100$ шт.;

ΔN – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки. Таке покращення становитиме по роках, відповідно: у 2025 році – +20 шт., у 2026 році +25 шт. (відносно базового 2024 року);

Π_0 – основний якісний показник (тобто ціна), який визначає обсяг діяльності у році після впровадження результатів розробки, грн; $\Pi_0 = 150$ тисяч грн;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки; для нашого випадку $n = 2$;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість; $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати $\rho = (0,2...0,5)$; візьмемо $\rho = 0,45$;

v – ставка податку на прибуток. У 2024 $v = 18\%$. У 2025 році і в наступних роках також очікуємо ставку $v = 18\%$.

Тоді можливе зростання чистого прибутку $\Delta \Pi_1$ для потенційного інвестора протягом першого року від можливого впровадження (комерціалізації) нашої розробки (2025 р.) складе:

$$\Delta \Pi_1 = (26 * 100 + 150 * 20) * 0,8333 * 0,45 * \left(1 - \frac{18}{100}\right) \\ \approx 1,722 \text{ (830) млн. грн.}$$

Можливе зростання чистого прибутку $\Delta \Pi_2$ для потенційного інвестора від можливого впровадження (комерціалізації) нашої розробки протягом другого (2026 р.) року складе:

$$\Delta\Pi_2 = (26 * 100 + 150 * 25) * 0,8333 * 0,45 * \left(1 - \frac{18}{100}\right) \\ \approx 1,952(1,891) \text{ млн. грн.}$$

Приведена вартість зростання всіх чистих прибутків потенційного інвестора від можливого впровадження розробки становитиме:

$$\text{ПП} = \sum_1^t \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.11)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої роботи, грн;

t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої роботи, роки. Для нашого випадку $t = 2$ роки;

τ – ставка дисконтування. Прийmemo $\tau = 0,10$ (10%);

t – період часу від моменту початку розроблення модифікованого методу стиснення зображень до моменту отримання можливих чистих прибутків потенційним інвестором.

Тоді приведена вартість зростання всіх можливих чистих прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від комерціалізації нашої розробки, складе:

$$\text{ПП}^{10\%} = \frac{1722}{(1 + 0,1)^1} + \frac{1952}{(1 + 0,1)^2} = 1565,45 + 1613,22 \approx 3,179 \text{ млн. грн.}$$

Теперішня вартість інвестицій PV , що можуть бути вкладені для реалізації нашої розробки: $PV = (1,0 \dots 5) \times B_{\text{заг.}}$

Для нашого випадку прийmemo:

$$PV = (1,0 \dots 5) \times 124 = 5 \times 124 = 620 \text{ тис. грн.}$$

Розраховуємо абсолютний ефект від можливих вкладених інвестицій $E_{\text{абс.}}$

$$E_{\text{абс}} = \text{ПП} - PV, \quad (5.12)$$

де ПП – приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження нашої розробки, грн;

PV – теперішня вартість інвестицій PV = 620 тис. грн.

Абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки (при прогнозованому ринку збуту) за три роки складе:

$$E_{абс} = 3179 - 620 = 2559 \text{ тис. грн.}$$

Оскільки $E_{абс} > 0$, то комерціалізація нашої розробки може бути доцільною.

Далі розрахуємо внутрішню дохідність E_v вкладених інвестицій:

$$E_v = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (5.13)$$

де $E_{абс}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{абс} = 2559$ тис. грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій PV = 620 тис. грн;

$T_{ж}$ – життєвий цикл розробки, роки.

$T_{ж} = 2$ роки (2025-й, 2026-й роки)

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_v = \sqrt[2]{1 + \frac{2559}{620}} - 1 = 1,264 = 126,4\%.$$

Далі визначимо ту мінімальну дохідність, нижче за яку потенційному інвестору не вигідно буде займатися комерціалізацією нашої розробки.

Мінімальна дохідність або мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування $\tau_{мін}$ визначається за формулою

$$\tau_{мін} = d + f, \quad (5.14)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = (0,15...0,19)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; $f = (0,05...0,40)$.

Для нашого випадку отримаємо:

$$\tau_{\min} = 0,15 + 0,35 = 0,50 \text{ або } \tau_{\min} = 50\%.$$

Оскільки величина $E_B = 126,4\% > \tau_{\min} = 50\%$, то потенційний інвестор у принципі може бути зацікавлений у фінансуванні та комерціалізації розробленого калібрувального стенду.

Далі розраховуємо термін окупності коштів, вкладених у можливу комерціалізацію розробленого пристрою.

Термін окупності $T_{ок}$ розраховується за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_B}. \quad (5.15)$$

Для нашого випадку термін окупності $T_{ок}$ коштів (інвестицій) становитиме:

$$T_{ок} = \frac{1}{1,264} = 0,7911 < 2 \text{ роки,}$$

Що свідчить про потенційну доцільність комерціалізації розробленого пристрою.

Далі проведено моделювання залежності величини внутрішньої дохідності вкладених потенційних інвестицій від рівня інфляції в країні (який в умовах війни, на жаль, може зростати).

Прийнявши рівень інфляції у 20%, отримаємо:

$$ПП^{20\%} = \frac{1722}{(1 + 0,2)^1} + \frac{1952}{(1 + 0,2)^2} = 1435 + 1355,56 \approx 2,79 \text{ млн. грн.}$$

Тоді абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки за три роки складе:

$$E_{абс} = 2791 - 620 = 2171 \text{ тис. грн.}$$

Внутрішня дохідність E_B вкладених інвестицій становитиме:

$$E_B = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1,$$

де $E_{абс}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{абс} = 2171$ тис. грн;

PV – вартість початкових інвестицій $PV = 620$ тис. грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_B = \sqrt[2]{1 + \frac{2171}{620}} - 1 = 1,1217 = 112,17\%.$$

Оскільки величина $E_B = 112,17\% > \tau_{\min} = 50\%$, то потенційний інвестор може бути досить зацікавленим у фінансуванні та комерціалізації розробленого пристрою.

Прийнявши рівень інфляції у 30%, отримаємо:

$$ПП^{30\%} = \frac{1722}{(1 + 0,3)^1} + \frac{1952}{(1 + 0,3)^2} = 1\,324,61 + 1\,155,03 \approx 2\,479,64 \text{ млн. грн.}$$

Тоді абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки за три роки складе:

$$E_{\text{абс}} = 2479,64 - 620 = 1859,64 \text{ тис. грн.}$$

Внутрішня дохідність E_B вкладених інвестицій становитиме:

$$E_B = \sqrt[T_{\text{ж}}]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1,$$

де $E_{\text{абс}}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{\text{абс}} = 1859,64$ тисяч грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій $PV = 620$ тисяч грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_B = \sqrt[2]{1 + \frac{1859,64}{620}} - 1 = 0,9998 = 99,8\%.$$

Оскільки величина $E_B = 99,8\% > \tau_{\min} = 50\%$, то потенційний інвестор навіть при тридцятивідсотковій інфляції може бути зацікавлений у фінансуванні та комерціалізації розробленого пристрою.

Зроблені розрахунки у вигляді графіків наведено на рис. 5.1.

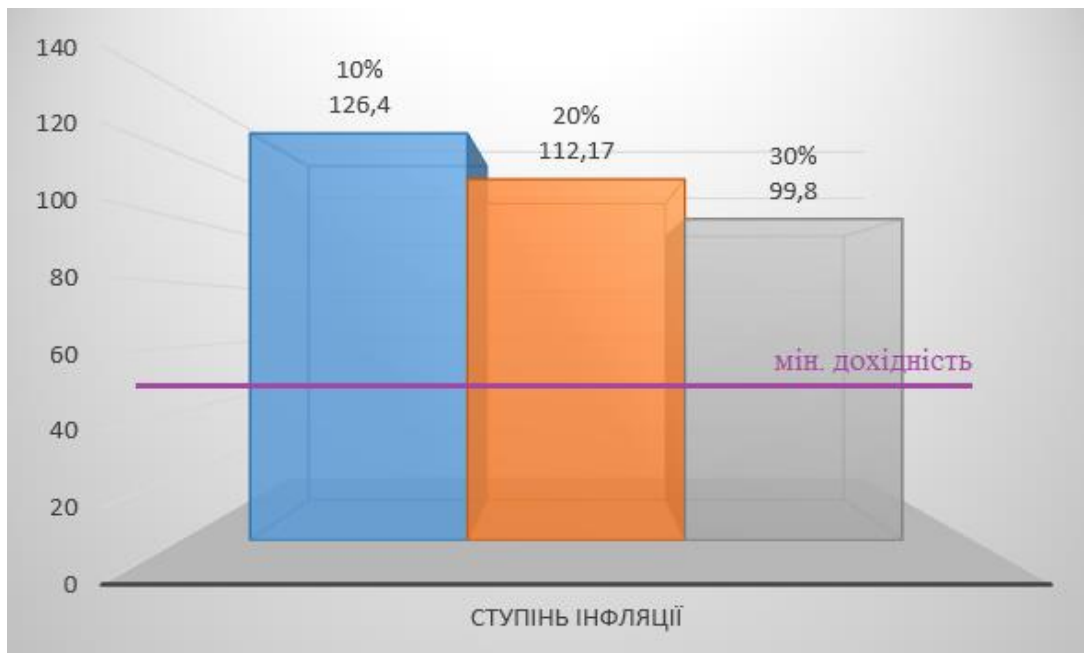


Рисунок 5.1 – Моделювання залежності величини внутрішньої дохідності потенційних інвестицій, вкладених у комерціалізацію розробленого пристрою від рівня інфляції в країні

Аналіз графіка на рис 5.1 показує, що при рівні інфляції в 10% величина внутрішньої дохідності потенційних інвестицій, вкладених у комерціалізацію розробленого пристрою, може становити $E_v = 126,4\%$, при рівні інфляції в 20% $E_v = 112,17\%$, при 30% $E_v = 99,8\%$, що більше порогового значення $\tau_{\min} = 50\%$, і тому комерціалізація розробки може бути доцільною у всіх трьох випадках.

Результати виконаної економічної частини магістерської кваліфікаційної роботи зведено у таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Результати економічної частини

Показники	Задані у ТЗ	Досягнуті у магістерській кваліфікаційній роботі	Висновок
1. Витрати на розробку модифікованого методу	Приблизно 140 тис. грн	126 тис. грн.	досягнуто
2. Абсолютний ефект від впровадження розробки, тисяч грн	В межах 175 тисяч грн (за два роки)	2559 тисяч грн	Досягнуто
3. Внутрішня дохідність потенційних інвестицій, %	не менше 50%	126,4%	Досягнуто
4. Термін окупності інвестицій, роки	до 2-ох років	0,7911 років	Виконано

Таким чином, основні техніко-економічні показники розробленого нами модифікованого методу стиснення зображень, визначені у технічному завданні, виконані.

ВИСНОВКИ

В процесі виконання кваліфікаційної роботи було проведено огляд існуючих пристроїв захисту та контролю електроживлення світових виробників, визначено кращі представники з таких сфер, як безперебійне живлення, стабілізація напруги та дискретне керування навантаженням. Визначено, що всі розглянуті продукти працюють як окремі пристрої, або групи пристроїв, та ніяк не пов'язані між собою. Вирішено створити систему модулів подібного призначення, що працюють як єдиний механізм.

Розроблена система складається з інвертора напруги з сонячним контролером, модулів безперебійної комутації, зарядки, стабілізації, ручної комутації, плат контролю та віддаленого доступу.

Особливість вищеописаної системи полягає у можливості використання станції в повністю автономному режимі, з автоматичним перемиканням, перевагами є те, що під час наявності мережевої напруги станція споживає енергію тільки для заряджання акумулятора, станція не обмежує потужність споживання електропристроїв і не впливає на мережу, оскільки підключена до неї паралельно а не послідовно, як звичайний ДБЖ, а мережа будинку стає незалежною від загальної мережі електропостачання.

Обраний тип акумулятора (літій-залізо-фосфат) при напрузі 3.2 вольти при ємності 100 ампер/годин буде мати потужність 302 Ватт-години. Для даної розробки необхідно акумулятор потужністю 6210 Ватт, тому система буде складатися з 21 акумуляторного блоку.

Відповідно до роботи акумуляторних збірок, для яких необхідно використання пристроїв контролю стану акумулятора та балансування комірок, визначено принцип функціонування, види та специфіку таких пристроїв на прикладі схеми BMS, основою якої є мікроконтролер BQ76952, призначений для створення плат захисту та балансування акумуляторів середньої потужності.

Перерахунок середньоквадратичного значення змінної напруги буде здійснюватися з вибіркою близько двадцяти вимірювань на період. Оскільки

період становить п'ятдесят мілісекунд, час між вимірюваннями буде становити 2,5 мілісекунд, при такому вимірюванні, для виявлення відсутності напруги потрібно близько п'яти періодів.

При балансуванні акумуляторів, мінімальне значення опору балансувальних резисторів становить 20 Ом, максимальне значення – 100 Ом, типове – 25 Ом, опір транзистора становить близько 14 Ом. Для типового літій-іонного елемента із напругою повного заряду 4,2 В, це призводить до балансуєчого струму приблизно 65 мА.

Оскільки плати захисту та балансування потребують налаштування внутрішніх параметрів та калібрування, вирішено створити пристрій автоматичної перевірки та налаштування даних плат. В третьому розділі описано розробку електричної принципової схеми стенду та перевірку його основних частин в програмному середовищі. Створено друковану плату стенду, та виведено всі необхідні документи а також проведено ініціалізацію мікроконтролера.

Сумарна кількість тестових точок, напругу яких потрібно контролювати – 40. З них 24 – дискретні та 16 аналогових, для розширення вимірювальних властивостей контролера використано мультиплексор 74НС4051. Таким чином кількість необхідних входів та виходів скоротилась до шістнадцяти, з них чотири входи та дванадцять виходів керування. Керувальна властивість мікроконтролера розширена за рахунок регістрів зсуву.

Проведено розрахунок економічних показників та доведено, що навіть при інфляції до тридцяти відсотків, розроблений пристрій може бути цікавим потенційним інвесторам, а термін окупності пристрою складає 1 рік і 3 місяці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Попов Б. О. Розробка багатофункціональної інтелектуальної системи контролю живлення: 2024 рік : матеріали наук.-техн. конф., 22 березня 2024 р. Вінниця: ВНТУ, 2024.
2. Гібридний інвертор Lux Power SNA5000. 2023. URL: <https://luxpowertek.com/> (дата звернення 24.12.2023).
3. Однофазний стабілізатор напруги Awattom MHPVS(W). 2023. URL: <https://awattom.com.ua/en/odnofaznye-s-shirokim-diapazonom-raboty-po-naprjazheniju-/58-odnofaznyj-stabilizator-naprjazhenija-rackmount-snopt-0-5-kvt.html> (дата звернення 23.12.2023).
4. Лінійка управління освітленням, часом і енергією Schneider ACTI9 STD. 2023. URL: <https://www.se.com/il/en/product/A9C15419/acti-9-time-delay-iatet/> (дата звернення 24.12.2023).
5. Battery Cell Balancing: What to Balance and How. Yevgen Barsukov, Texas Instruments. 2020. URL: <https://www.ti.com/download/trng/docs/seminar/Topic%20%20-%20Battery%20Cell%20Balancing%20-%20What%20to%20Balance%20and%20How.pdf> (дата звернення: 23.12.2023).
6. What is the Working Principle of UPS? URL: <https://www.upspowersupply.net/what-is-the-working-principle-of-ups.html>. 2024. (дата звернення: 19.11.2024).
7. UPS STATIC UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLIES URL: <https://ups.legrand.com/media/document/ups-technical-guide-en.pdf>. 2021. (дата звернення: 21.11.2024).
8. Uninterruptible Power Supply (UPS) URL: https://www.sanyodenki.com/archive/document/corporatedata/technicalreport/2015/TR40E_p09_Pdiv_4th.pdf. 2015. (дата звернення: 17.11.2024).

9. What is a Battery Management System? URL: <https://www.synopsys.com/glossary/what-is-a-battery-management-system.html>. 2024. (дата звернення: 15.10.2024).
10. Battery Management System (BMS) URL: <https://www.mathworks.com/discovery/battery-management-system.html>. 2024. (дата звернення: 10.10.2024).
11. Battery management systems (BMS) URL: <https://www.infineon.com/cms/en/applications/solutions/battery-management-system/>. 2024. (дата звернення: 10.10.2024).
12. Battery-Management-Systems URL: <https://www.vde.com/resource/blob/2105544/731ed20695f9fbf2f66423407554d1c5/fact-sheet-battery-management-system-pdf-file-data.pdf>. 2021. (дата звернення: 08.11.2024).
13. Everything You Need To Know About Cell Balancing URL: <https://bacancysystems.com/blog/cell-balancing-and-its-types>. 2024. (дата звернення: 20.10.2024).
14. BMS Theory | Cell Balancing URL: <https://www.solar-electric.com/learning-center/bms-theory-cell-balancing/>. 2024. (дата звернення: 06.10.2024).
15. Battery Cell Balancing: What to Balance and How URL: <https://www.ti.com/download/trng/docs/seminar/Topic%20%20-%20Battery%20Cell%20Balancing%20-%20What%20to%20Balance%20and%20How.pdf>. 2015. (дата звернення: 12.11.2024).
16. Active Cell Balancing In Battery Management System URL: https://atharvacoe.ac.in/wp-content/uploads/ELEC_BE_SYNOPSIS_SAMPLE-1.pdf. 2022. (дата звернення: 10.10.2024).
17. UPS STATIC UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLIES URL: <https://ups.legrand.com/media/document/ups-technical-guide-en.pdf>. 2021. (дата звернення: 21.11.2024).

18. ICL88xx flyback design guide. For high power factor flyback converter with constant voltage output, Infineon. 2021. URL: [https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-](https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Design_guide_Lighting_ICs_ACDC_LED_Driver_ICs_ICL88xx-ApplicationNotes-v01_01-EN.pdf?fileId=5546d4627a5b3d08017a65d6b742038d)

[Design_guide_Lighting_ICs_ACDC_LED_Driver_ICs_ICL88xx-ApplicationNotes-v01_01-EN.pdf?fileId=5546d4627a5b3d08017a65d6b742038d](https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Design_guide_Lighting_ICs_ACDC_LED_Driver_ICs_ICL88xx-ApplicationNotes-v01_01-EN.pdf?fileId=5546d4627a5b3d08017a65d6b742038d)

19. AN5335. Application note. 35W transition-mode flyback converter with ultra-low THD based on HVLED007, ST Life augmented. 2019. URL: https://www.st.com/resource/en/application_note/an5335-35w-transitionmode-flyback-converter-with-ultralow-thd-based-on-hvled007---stmicroelectronics.pdf

20. An Introduction to ARM Architecture with Each Module's Working Principle. 2021. URL: <https://www.watelectronics.com/arm-processor-architecture-working/>. (дата звернення: 19.12.2023).

21. esp8266-module-family. 2021. URL: <https://www.esp8266.com/wiki/doku.php?id=esp8266-module-family>. (дата звернення: 15.12.2023).

22. 3.2V 100Ah LITHIUM LiFePO4 CELL FREY36130290-100PF. Datasheet. 2021. (дата звернення: 18.12.2023).

23. Integrated Development Environment for STM32. URL: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>. 2023. (дата звернення: 15.12.2023).

24. STM32CubeIDE. Integrated Development Environment for STM32. URL: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>. 2023. (дата звернення: 21.12.2023).

25. STM32 Standard Peripheral Libraries. URL: <https://www.st.com/en/embedded-software/stm32-standard-peripheral-libraries.html>. 2023. (дата звернення: 10.12.2023).

26. STM32 HAL Library Tutorial. URL: <https://deepbluembedded.com/stm32-hal-library-tutorial-examples/>. 2021. (дата звернення: 22.12.2023).

27. An Introduction to ARM Architecture with Each Module's Working Principle. 2021. URL: <https://www.watelectronics.com/arm-processor-architecture-working/>. (дата звернення: 19.05.2023).

28. esp8266-module-family. 2021. URL: <https://www.esp8266.com/wiki/doku.php?id=esp8266-module-family>. (дата звернення: 15.05.2023).

39. Літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePo4) URL: <https://voltmarket.ua/litievye-akkumulyatory/filter/tehnologiya-litij-zhelezo-fosfatnyy-lifepo4>. 2023. (дата звернення: 22.05.2023).

30. 3.2V 100Ah LITHIUM LiFePO4 CELL FREY36130290-100PF. Datasheet. 2021. (дата звернення: 18.05.2023).

31. Mastering the FreeRTOS Real Time Kernel. URL: https://www.freertos.org/fr-content-src/uploads/2018/07/161204_Mastering_the_FreeRTOS_Real_Time_Kernel-A_Hands-On_Tutorial_Guide.pdf. 2016. (дата звернення: 20.05.2023).

32. Modbus tools for test, simulation and programming. Protocol Description. URL: <https://www.modbustools.com/modbus.html>. 2023. (дата звернення: 23.05.2023).

33. В.О. Козловський, О.Й. Лесько, В.В. Кавецький. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт: Вінниця : ВНТУ, 2021. 42 с. (дата звернення: 12.12.2024).

Додатки

Додаток А
(обов'язковий)

Технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АІТ

_____ д.т.н., проф. Олег БІСІКАЛО

« ____ » _____ 2024 року

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на магістерську кваліфікаційну роботу
РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЖИВЛЕННЯ
ПРИВАТНОГО БУДИНКУ
08-31.МКР.004.02.000 ТЗ

Керівник: к.т.н., доц. каф. АІТ

_____ Ярослав КУЛИК

« ____ » _____ 2024 р.

Розробив студент гр. 1АКІТР-23м

_____ Богдан ПОПОВ

« ____ » _____ 2024 р.

Вінниця 2024

1. Назва та галузь застосування

У даній роботі розробляється система вимірювання електричних показників, таких як номінальне і критичне значення вхідної та вихідної напруги, струму, їх форми, температури, аналізу даних параметрів та автоматизованого управління джерелом безперебійного живлення. Сферою застосування є приватні будинки та невеликі підприємства, потужністю до десяти кіловат для забезпечення постійного, надійного та тривалого електропостачання в них. Потрібно створити власну систему «розумних» електронних модулів, яка б могла виконувати переважну більшість побутових задач, необхідних для безпечного живлення електроприладів різного роду та з різними характеристиками, була гнучкою у використанні та конкурентоспроможною на вітчизняному ринку.

2. Підстави для проведення робіт

Підставою для виконання роботи є наказ №__ по ВНТУ від «__» _____ 2024р., та індивідуальне завдання на МКР, складене і затверджене кафедрою АІТ.

3. Мета та призначення роботи

Метою роботи є покращення технічних параметрів напруги в мережі та підвищення контролю живлення побутових пристроїв шляхом розробки гнучкої інтелектуальної системи контролю стану живлення електричних пристроїв, яка може бути використана для різних потреб, особливо в житлових будинках при наявності та відсутності мережевої напруги з можливістю управління за допомогою смартфона або зручного інтерфейсу.

4. Джерела розробки

4.1 Battery Management System (BMS) URL: <https://www.mathworks.com/discovery/battery-management-system.html>. 2024. (дата звернення: 10.10.2024).

4.2 Battery Cell Balancing: What to Balance and How. Yevgen Barsukov, Texas Instruments. 2020. URL: <https://www.ti.com/download/trng/docs/seminar/Topic%20%20-%20Battery%20Cell%20Balancing%20-%20What%20to%20Balance%20and%20How.pdf> (дата звернення: 23.12.2023).

4.3 Active Cell Balancing In Battery Management System URL: https://atharvacoe.ac.in/wp-content/uploads/ELEC_BE_SYNOPSIS_SAMPLE-1.pdf. 2022. (дата звернення: 10.10.2024).

5. Вимоги до розробки

5.1 Вихідні дані: інформація про стан мережі всередині приватного будинку, звіт помилок, результат перевірки систем захисту та балансування акумуляторів.

5.2 Перелік головних функцій:

- контроль мережі, контроль стану акумулятора;

- перевірка справності системи захисту та балансування акумуляторів;
- автоматичне налаштування параметрів системи.

5.3 Складові розробки:

- структурна схема пристрою;
- пристрій захисту акумулятора 21,6 вольт – 29,6 вольт, максимальний струм 80 ампер;
- пристрій балансування на 8 комірок, струм балансування 0,5 ампера;
- вимірювання 24 аналогових та 16 дискретних каналів;
- регульоване електронне навантаження з максимальним струмом до 40 ампер;
- автоматична перевірка плат балансування та захисту акумулятора

6. Економічні показники

До економічних показників входять:

- витрати на розробку – 140000 грн.;
- приведена вартість прибутку за 2 роки – 175000 грн.;
- мінімальна дохідність – 35000 грн.;
- термін окупності – 2 роки.

7. Стадії та етапи розробки:

7.1 розділ 1 «Загальна характеристика об'єкта досліджень» має бути виконаний до 01.10.2024;

7.2 розділ 2 «Проектування системи контролю живлення» має бути виконаний до 03.10.2024;

7.3 розділ 3 «Практична реалізація автоматичного тестувального пристрою» має бути виконаний до 28.10.2024;

7.4 розділ 4 «Перевірка та створення плати автоматичного тестувального пристрою» має бути виконаний до 01.11.2024;

7.5 економічний розділ має бути виконаний до 15.12.2024.

8. Порядок контролю та приймання

8.1 хід виконання роботи контролюється керівником роботи. Рубіжний контроль провести до 18.11.2024;

8.2 атестація МКР здійснюється на попередньому захисті. Попередній захист провести до 03.12.2024;

8.3 підсумкове рішення щодо оцінки якості виконання роботи приймається на засіданні ЕК. Захист МКР провести до 18.12.2024.

Додаток Б
(обов'язковий)
Ілюстративна частина

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ
ЖИВЛЕННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ

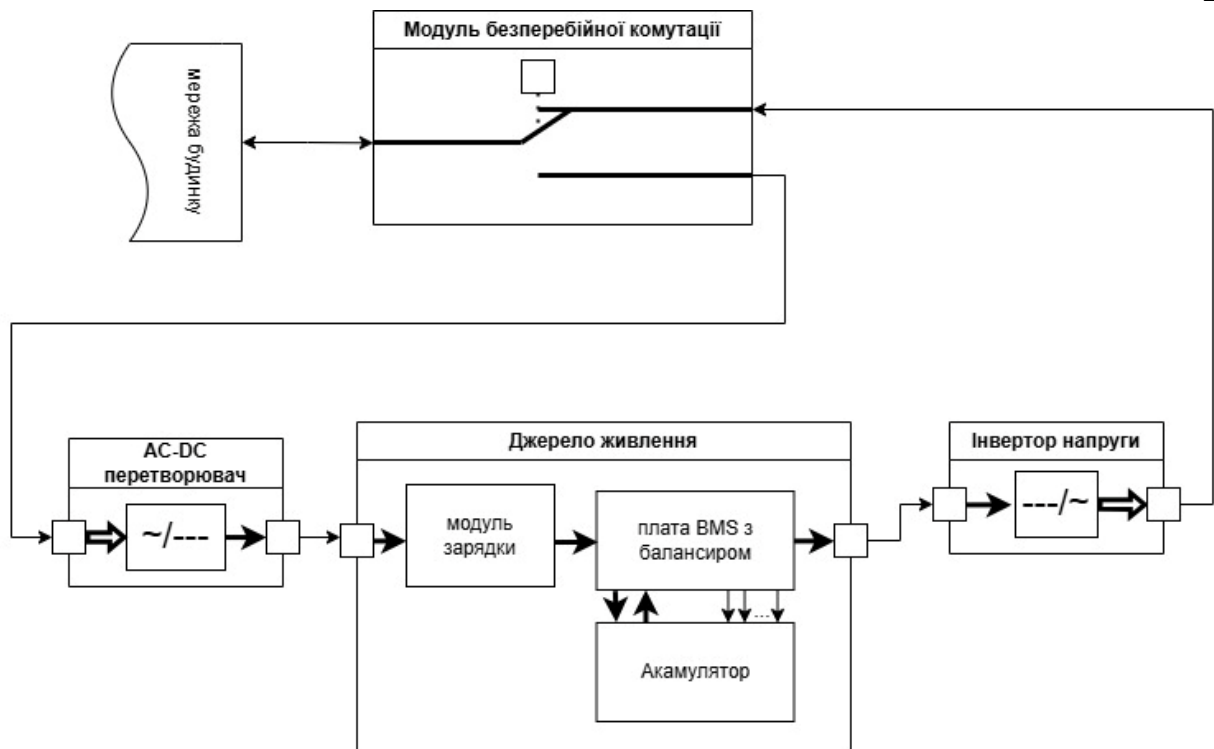
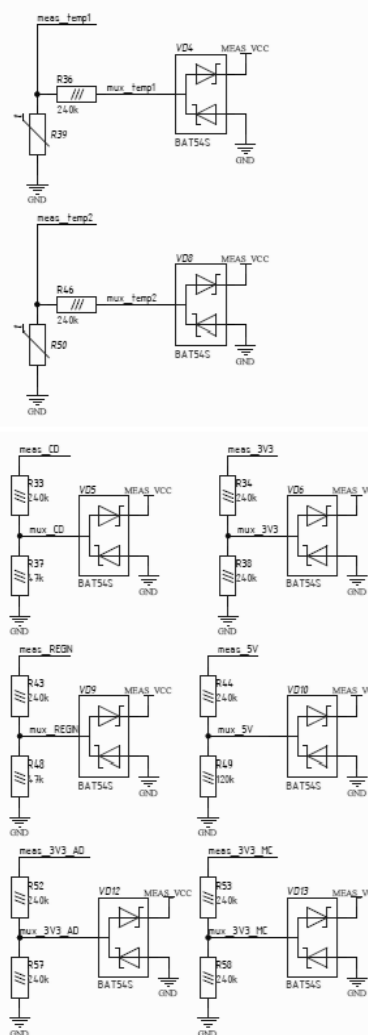
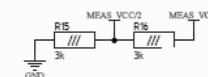
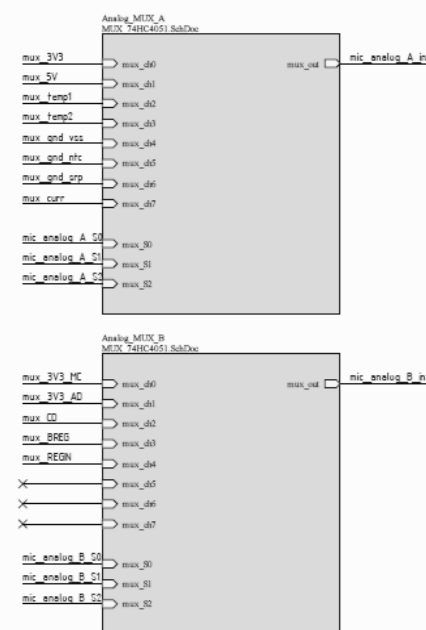
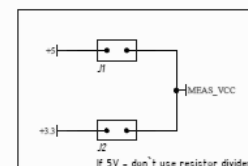
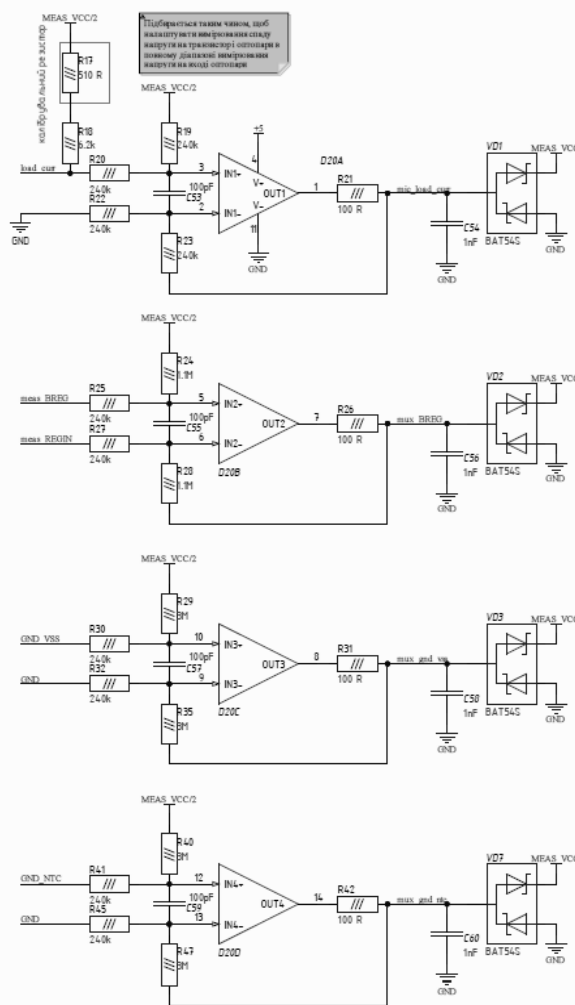
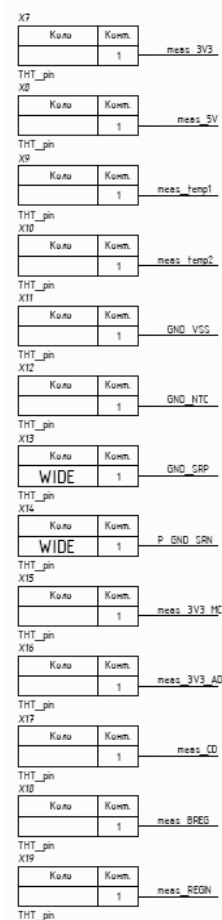


Рисунок Б.1 – Загальна схема системи



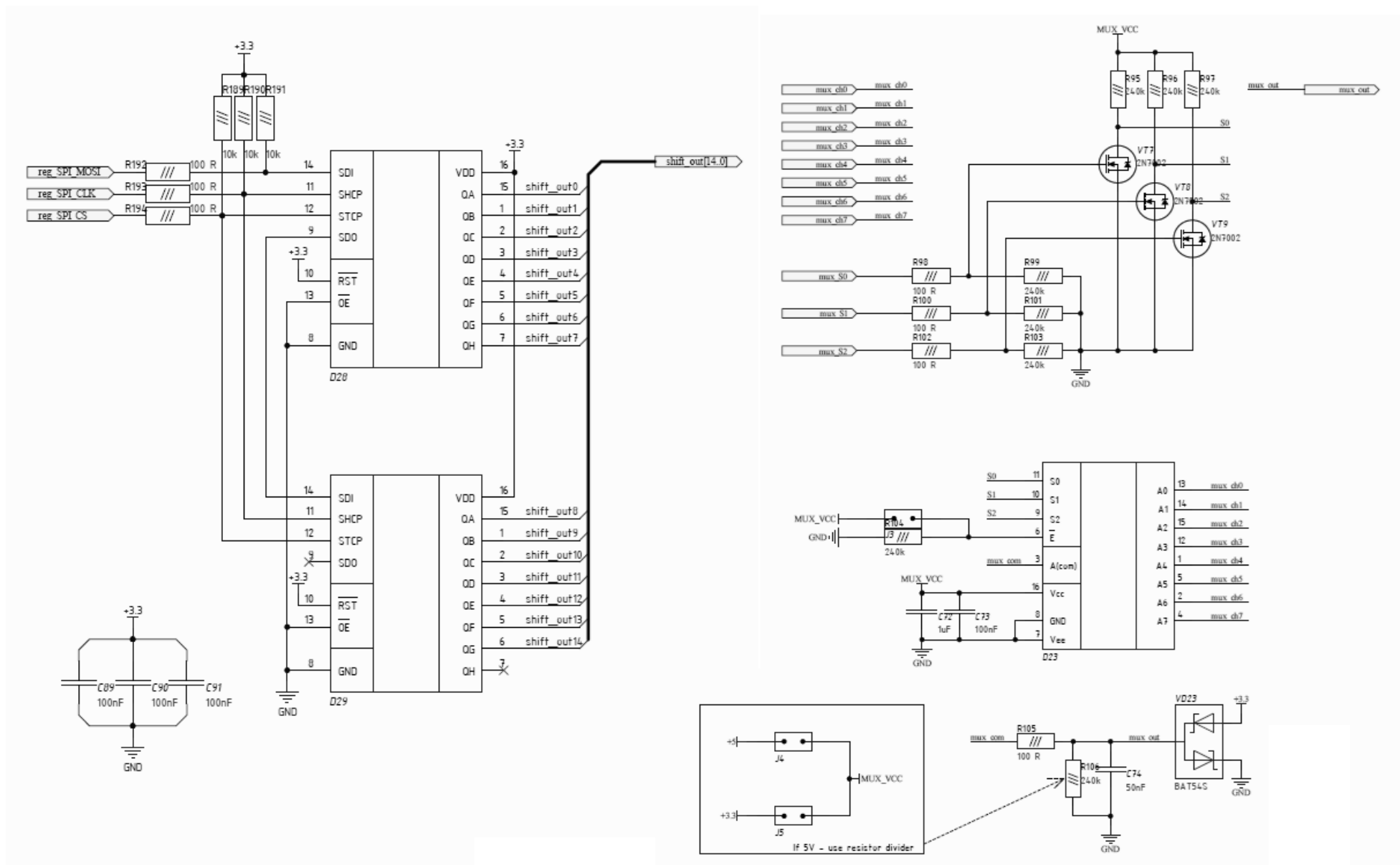


Рисунок Б.3 – Електрична принципова схема розширеного вимірювання тестувального стенду

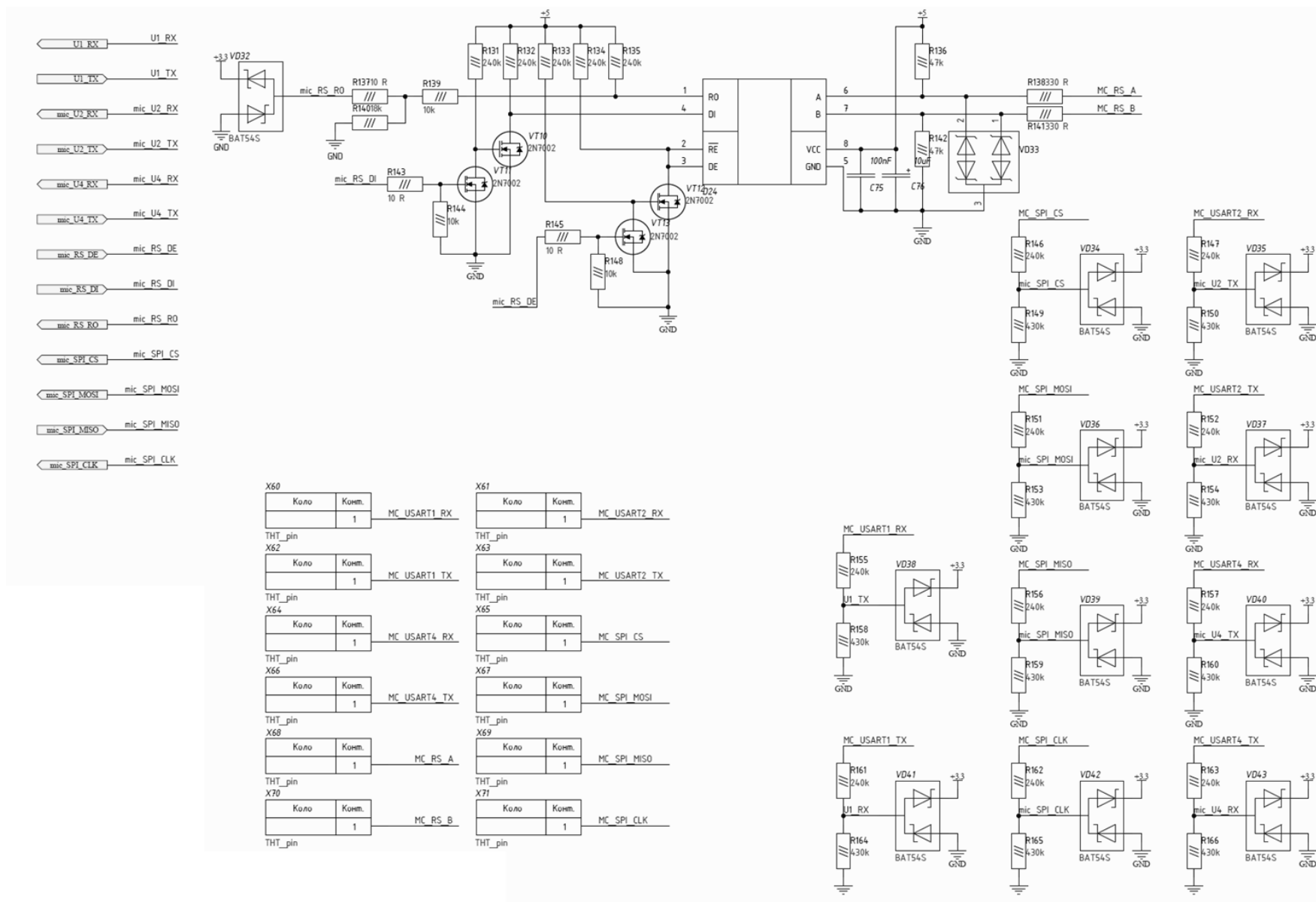


Рисунок Б.5 – Електрична принципова схема інтерфейсів передачі даних тестувального стенду

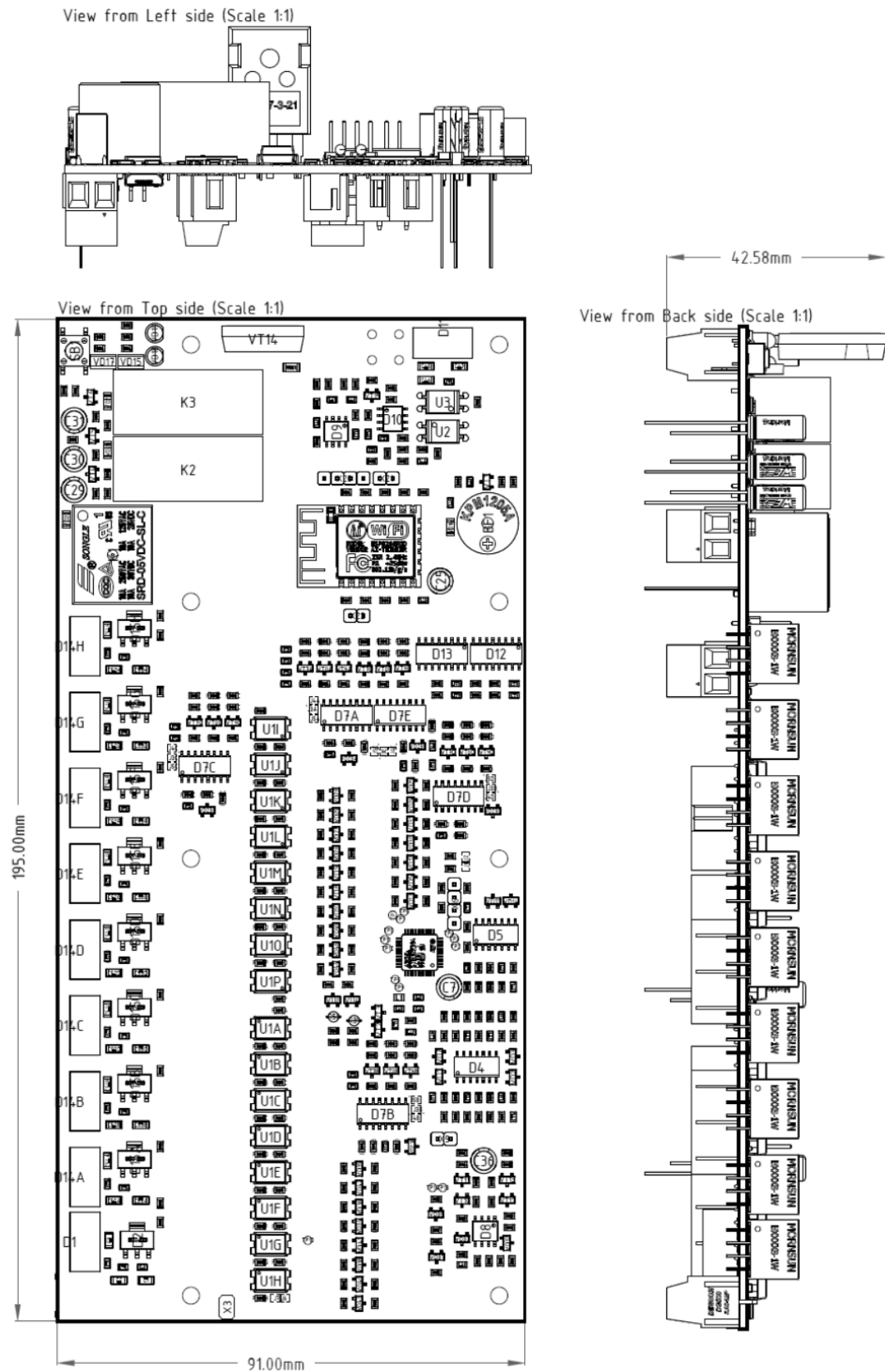


Рисунок Б.6 – Креслення плати тестувального станду

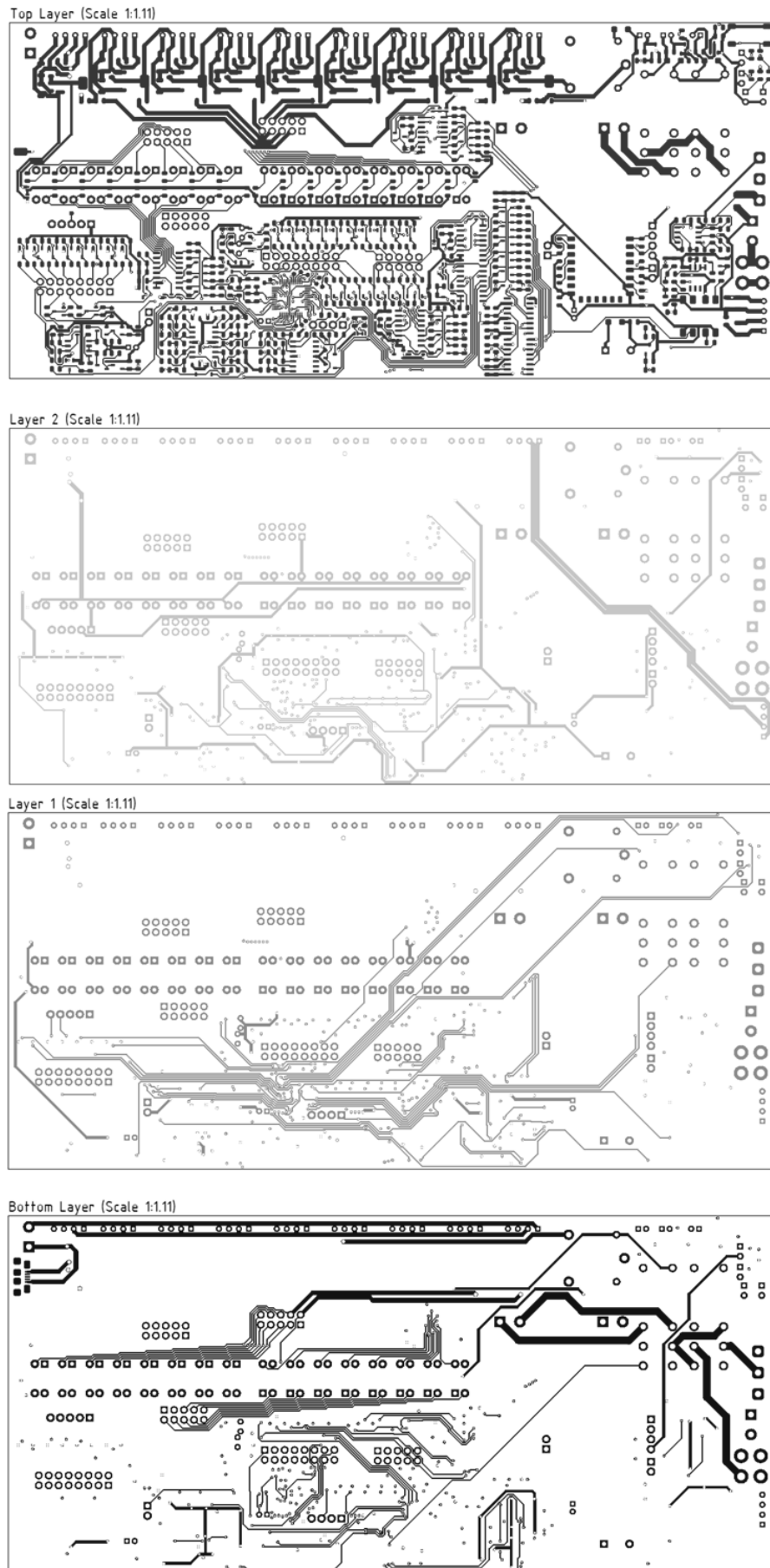


Рисунок Б.7 – Креслення доріжок на шарах плати тестувального стенду

Додаток В
(обов'язковий)

Лістинг програми ініціалізації мікроконтролера автоматичного стенду плат
BMS

```
#include "main.h"

ADC_HandleTypeDef hadc1;
SPI_HandleTypeDef hspi1;
SPI_HandleTypeDef hspi2;
TIM_HandleTypeDef htim3;
TIM_HandleTypeDef htim14;
UART_HandleTypeDef huart1;
UART_HandleTypeDef huart3;
UART_HandleTypeDef huart4;

void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_ADC1_Init(void);
static void MX_SPI1_Init(void);
static void MX_SPI2_Init(void);
static void MX_USART1_UART_Init(void);
static void MX_USART3_UART_Init(void);
static void MX_USART4_UART_Init(void);
static void MX_TIM3_Init(void);
static void MX_TIM14_Init(void);

int main(void)
{
    HAL_Init();
    SystemClock_Config();
    MX_GPIO_Init();
    MX_ADC1_Init();
    MX_SPI1_Init();
    MX_SPI2_Init();
    MX_USART1_UART_Init();
    MX_USART3_UART_Init();
    MX_USART4_UART_Init();
    MX_TIM3_Init();
    MX_TIM14_Init();
    while (1){ }
}
```

```

void SystemClock_Config(void)
{
    RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct = {0};
    RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct = {0};

    HAL_PWREx_ControlVoltageScaling(PWR_REGULATOR_VOLTAGE_SCALE1)
;

    RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSI;
    RCC_OscInitStruct.HSIState = RCC_HSI_ON;
    RCC_OscInitStruct.HSIDiv = RCC_HSI_DIV1;
    RCC_OscInitStruct.HSICalibrationValue = RCC_HSICALIBRATION_DEFAULT;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSI;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLM = RCC_PLLM_DIV1;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLN = 8;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLP = RCC_PLLP_DIV2;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLR = RCC_PLLR_DIV2;
    if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }

    RCC_ClkInitStruct.ClockType =
    RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_CLOCKTYPE_SYSCLK|RCC_CLOCKTYPE_P
    CLK1;
    RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
    RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV1;
    RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;

    if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_2) !=
    HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}

static void MX_ADC1_Init(void)
{
    ADC_ChannelConfTypeDef sConfig = {0};
    hadc1.Instance = ADC1;
    hadc1.Init.ClockPrescaler = ADC_CLOCK_SYNC_PCLK_DIV2;
    hadc1.Init.Resolution = ADC_RESOLUTION_12B;
    hadc1.Init.DataAlign = ADC_DATAALIGN_RIGHT;
    hadc1.Init.ScanConvMode = ADC_SCAN_DISABLE;

```

```

hadc1.Init.EOCSelection = ADC_EOC_SINGLE_CONV;
hadc1.Init.LowPowerAutoWait = DISABLE;
hadc1.Init.LowPowerAutoPowerOff = DISABLE;
hadc1.Init.ContinuousConvMode = DISABLE;
hadc1.Init.NbrOfConversion = 1;
hadc1.Init.DiscontinuousConvMode = DISABLE;
hadc1.Init.ExternalTrigConv = ADC_SOFTWARE_START;
hadc1.Init.ExternalTrigConvEdge =
ADC_EXTERNALTRIGCONVEDGE_NONE;
hadc1.Init.DMAContinuousRequests = DISABLE;
hadc1.Init.Overrun = ADC_OVR_DATA_PRESERVED;
hadc1.Init.SamplingTimeCommon1 = ADC_SAMPLETIME_1CYCLE_5;
hadc1.Init.SamplingTimeCommon2 = ADC_SAMPLETIME_1CYCLE_5;
hadc1.Init.OversamplingMode = DISABLE;
hadc1.Init.TriggerFrequencyMode = ADC_TRIGGER_FREQ_HIGH;
if (HAL_ADC_Init(&hadc1) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}

sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_2;
sConfig.Rank = ADC_REGULAR_RANK_1;
sConfig.SamplingTime = ADC_SAMPLINGTIME_COMMON_1;
if (HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
}

static void MX_SPI1_Init(void)
{
    hspi1.Instance = SPI1;
    hspi1.Init.Mode = SPI_MODE_SLAVE;
    hspi1.Init.Direction = SPI_DIRECTION_2LINES;
    hspi1.Init.DataSize = SPI_DATASIZE_4BIT;
    hspi1.Init.CLKPolarity = SPI_POLARITY_LOW;
    hspi1.Init.CLKPhase = SPI_PHASE_1EDGE;
    hspi1.Init.NSS = SPI_NSS_HARD_INPUT;
    hspi1.Init.FirstBit = SPI_FIRSTBIT_MSB;
    hspi1.Init.TIMode = SPI_TIMODE_DISABLE;
    hspi1.Init.CRCCalculation = SPI_CRCCALCULATION_DISABLE;
    hspi1.Init.CRCPolynomial = 7;
    hspi1.Init.CRCLength = SPI_CRC_LENGTH_DATASIZE;
    hspi1.Init.NSSPMode = SPI_NSS_PULSE_DISABLE;
    if (HAL_SPI_Init(&hspi1) != HAL_OK)

```

```

{
    Error_Handler();
}
}

```

```
static void MX_SPI2_Init(void)
```

```

{
    hspi2.Instance = SPI2;
    hspi2.Init.Mode = SPI_MODE_MASTER;
    hspi2.Init.Direction = SPI_DIRECTION_2LINES;
    hspi2.Init.DataSize = SPI_DATASIZE_4BIT;
    hspi2.Init.CLKPolarity = SPI_POLARITY_LOW;
    hspi2.Init.CLKPhase = SPI_PHASE_1EDGE;
    hspi2.Init.NSS = SPI_NSS_HARD_OUTPUT;
    hspi2.Init.BaudRatePrescaler = SPI_BAUDRATEPRESCALER_2;
    hspi2.Init.FirstBit = SPI_FIRSTBIT_MSB;
    hspi2.Init.TIMode = SPI_TIMODE_DISABLE;
    hspi2.Init.CRCCalculation = SPI_CRCCALCULATION_DISABLE;
    hspi2.Init.CRCPolynomial = 7;
    hspi2.Init.CRCLength = SPI_CRC_LENGTH_DATASIZE;
    hspi2.Init.NSSPMode = SPI_NSS_PULSE_ENABLE;
    if (HAL_SPI_Init(&hspi2) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}

```

```
static void MX_TIM3_Init(void)
```

```

{
    TIM_MasterConfigTypeDef sMasterConfig = {0};
    TIM_OC_InitTypeDef sConfigOC = {0};
    htim3.Instance = TIM3;
    htim3.Init.Prescaler = 0;
    htim3.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
    htim3.Init.Period = 65535;
    htim3.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
    htim3.Init.AutoReloadPreload = TIM_AUTORELOAD_PRELOAD_DISABLE;
    if (HAL_TIM_PWM_Init(&htim3) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TIM_TRGO_RESET;
    sMasterConfig.MasterSlaveMode = TIM_MASTERSLAVEMODE_DISABLE;
    if (HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization(&htim3, &sMasterConfig) !=
    HAL_OK)

```

```

{
    Error_Handler();
}
sConfigOC.OCMode = TIM_OCMode_PWM1;
sConfigOC.Pulse = 0;
sConfigOC.OCpolarity = TIM_OCPOLARITY_HIGH;
sConfigOC.OCFastMode = TIM_OCFAST_DISABLE;
if (HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim3, &sConfigOC, TIM_CHANNEL_1)
!= HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
HAL_TIM_MspPostInit(&htim3);

}

static void MX_TIM14_Init(void)
{
    TIM_OC_InitTypeDef sConfigOC = {0};
    htim14.Instance = TIM14;
    htim14.Init.Prescaler = 0;
    htim14.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
    htim14.Init.Period = 65535;
    htim14.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
    htim14.Init.AutoReloadPreload = TIM_AUTORELOAD_PRELOAD_DISABLE;
    if (HAL_TIM_Base_Init(&htim14) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    if (HAL_TIM_PWM_Init(&htim14) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    sConfigOC.OCMode = TIM_OCMode_PWM1;
    sConfigOC.Pulse = 0;
    sConfigOC.OCpolarity = TIM_OCPOLARITY_HIGH;
    sConfigOC.OCFastMode = TIM_OCFAST_DISABLE;
    if (HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim14, &sConfigOC, TIM_CHANNEL_1)
!= HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    HAL_TIM_MspPostInit(&htim14);

}

```

```

static void MX_USART1_UART_Init(void)
{
    huart1.Instance = USART1;
    huart1.Init.BaudRate = 9600;
    huart1.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
    huart1.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
    huart1.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
    huart1.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
    huart1.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
    huart1.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
    huart1.Init.OneBitSampling = UART_ONE_BIT_SAMPLE_DISABLE;
    huart1.Init.ClockPrescaler = UART_PRESCALER_DIV1;
    huart1.AdvancedInit.AdvFeatureInit = UART_ADVFEATURE_NO_INIT;
    if (HAL_UART_Init(&huart1) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    if (HAL_UARTEx_SetTxFifoThreshold(&huart1,
    UART_TXFIFO_THRESHOLD_1_8) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    if (HAL_UARTEx_SetRxFifoThreshold(&huart1,
    UART_RXFIFO_THRESHOLD_1_8) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    if (HAL_UARTEx_DisableFifoMode(&huart1) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}

static void MX_USART3_UART_Init(void)
{
    huart3.Instance = USART3;
    huart3.Init.BaudRate = 9600;
    huart3.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
    huart3.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
    huart3.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
    huart3.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
    huart3.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
    huart3.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
    huart3.Init.OneBitSampling = UART_ONE_BIT_SAMPLE_DISABLE;
    huart3.Init.ClockPrescaler = UART_PRESCALER_DIV1;

```

```

    huart3.AdvancedInit.AdvFeatureInit = UART_ADVFEATURE_NO_INIT;
    if (HAL_RS485Ex_Init(&huart3, UART_DE_POLARITY_HIGH, 0, 0) !=
    HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}

```

```

static void MX_USART4_UART_Init(void)
{
    huart4.Instance = USART4;
    huart4.Init.BaudRate = 9600;
    huart4.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
    huart4.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
    huart4.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
    huart4.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
    huart4.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
    huart4.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
    huart4.Init.OneBitSampling = UART_ONE_BIT_SAMPLE_DISABLE;
    huart4.Init.ClockPrescaler = UART_PRESCALER_DIV1;
    huart4.AdvancedInit.AdvFeatureInit = UART_ADVFEATURE_NO_INIT;
    if (HAL_UART_Init(&huart4) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}

```

```

static void MX_GPIO_Init(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};
    __HAL_RCC_GPIOC_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();

    HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, LED_OK_Pin|LED_ERROR_Pin,
    GPIO_PIN_RESET);

    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,
    mic_shu_mos_L_Pin|mic_polar_L_Pin|mic_8_4_opt_Pin|mic_en_Pin
    |mic_nrst_Pin, GPIO_PIN_RESET);

    GPIO_InitStruct.Pin = LED_OK_Pin|LED_ERROR_Pin;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
    GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
    GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;

```

```

HAL_GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStruct);

GPIO_InitStruct.Pin = BUTT_Pin;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_INPUT;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
HAL_GPIO_Init(BUTT_GPIO_Port, &GPIO_InitStruct);

GPIO_InitStruct.Pin =
mic_shu_mos_L_Pin|mic_polar_L_Pin|mic_8_4_opt_Pin|mic_en_Pin
    |mic_nrst_Pin;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
HAL_GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStruct);
}

void Error_Handler(void)
{
    __disable_irq();
    while (1){}
}

#ifdef USE_FULL_ASSERT
void assert_failed(uint8_t *file, uint32_t line){}
#endif /* USE_FULL_ASSERT */

```

Додаток Г
(обов'язковий)
Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи на наявність
текстових запозичень

Назва роботи: «Розробка автоматизованої системи контролю живлення приватного будинку»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра АПТ, ФПТА, 1АКІТР-23м

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 90 % Схожість 10 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень

Особа, відповідальна за перевірку _____ Роман МАСЛІЙ
(підпис)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____ Богдан ПОПОВ
(підпис)

Керівник роботи _____ Ярослав КУЛИК
(підпис)