

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ « Ужгородський національний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра електронних систем

кваліфікаційна робота магістра

На тему: Контролер високої напруги та високого струму з інтегрованим USB інтерфейсом для заряджання акумуляторів.

Студента 2 курсу

Магула Михайло Юрійович

(прізвищета ініціали)

(підпис)

Керівник д.ф.-м.н. проф. Рубіш В.М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвищета ініціали)

(підпис)

Голова ЕК:

Ремета Є.Ю. - д.ф.-м.н. ІЕФ НАНУ

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

(підпис)

Заяць Т.М. – к.ф.-м.н. доц. кафедри ЕС

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

(підпис)

Юркін І.М. – к.ф.-м.н, доц. кафедри ЕС

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра електронних систем

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедрою,
доц. _____ (Заяць Т. М.)
“ ____ ” _____ 2024 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

На кваліфікаційну роботу магістра

на тему:

**КОТРОЛЕР ВИСОКОЇ НАПРУГИ ТА ВИСОКОГО СТРУМУ З
ІНТЕГРОВАНИМ USB ІНТЕРФЕЙСОМ ДЛЯ ЗАРЯДЖАННЯ АКУМУЛЯТОРІВ**

Студента групи ЕС: Михайла МАГУЛИ ()

Керівник: доктор. фіз.-мат. наук, проф. кафедри ЕС ()

Василь РУБІШ ()

Ужгород - 2024

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедрою,
доц. _____ (Заяць Т. М.)
“ 3 ” жовтня 2023 року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу магістра студента

Михайла Магули Юрійовича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра: **Контролер високої напруги та високого струму з інтегрованим USB інтерфейсом для заряджання акумуляторів.**
Затверджена на засіданні кафедри (протокол № 3 від 03. жовтня 2023 року).
2. Термін закінчення студентом дипломного проекту: 15 грудня 2024 року.
3. Вихідні дані до роботи:
Спроекувати контролер напруги та струму, який задовольняє наступним параметрам: вхідна напруга живлення – номінальна 15В, максимальна 60В, зарядна напруга: 3.6–60 В (регульована), зарядний струм: до 10 А (регульований). Температурний діапазон: від -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):
 - 1) Вступ. Огляд та аналіз аналогів об'єкту проектування .
 - 2) Синтез та аналіз структурної та функціональної схеми об'єкту проектування та її опис.
 - 3) Технічна пропозиція та її обґрунтування і опис.
 - 4) Розрахунок електричних параметрів окремих фрагментів принципової схеми та дослідження дискретних елементів при необхідності.
 - 5) Синтез друкованої плати
 - 6) Визначення розмірів контактних площадок та друкованих провідників.
 - 7) Вибір варіантів встановлення радіоелементів на друкованій платі.
 - 8) Тепловий розрахунок пристрою.
 - 9) Розрахунок теплових режимів пристрою.
 - 10) Розрахунок характеристик надійності пристрою.
 - 11) Економічна частина організації виробництва.
 - 12) Охорона праці.
 - 13) Висновки.

5. Консультанти дипломної роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Заяць Т. М.		
Нормоконтроль	Папп О. В.	Папп О.В.	Магула М. Ю.

Дата видачі завдання 23 листопада 2023 року.

Керівник роботи _____ (доц. Заяць Т.М.)
(підпис)

Завдання прийняв на виконання _____ (Магула М. Ю.)
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів	Примітки
1.	Пошук та аналіз аналогів об'єкта досліджень.	до 05.09.2024 року	
2.	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції.	до 25.09.2024 року	
3.	Розрахунок окремих блоків пристрою.	до 10.10.2024 року	
4.	Розрахунок теплових режимів пристрою та характеристик надійності пристрою.	до 20.10.2024 року	
5.	Робота над техніко-економічним розділом та розділом по охороні праці.	до 15.11.2024 року	
6.	Оформлення дипломного проекту та конструкторської документації.	до 10.12.2024 року	
7.	Захист на державній екзаменаційній комісії.	Згідно з графіком захисту	

Студент _____ (М.Ю. Магула)

Керівник дипломної роботи _____ (проф. Рубіш В.М.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему «Контролер високої напруги та високого струму з інтегрованим USB інтерфейсом для заряджання акумуляторів.» / УжНУ;
Керівник Рубіш В. М.; Студент Магула М. Ю., група ЕС.

Пояснювальна записка: 66 сторінки, 16 рисунків, 15 джерел, 5 додатків.

Графічна частина: 4 листів формату А1.

Об'єкт проектування – контролер напруги та струму для заряджання акумуляторів.

Мета дослідження – проектування, розрахунки, виготовлення, графічної документації із застосуванням програмних проектно-конструкторського пакету “AutoCAD та Altium Designer”.

Проект включає у себе літературний огляд і аналіз схем контролерів напруги та струму, та загальні принципи їх побудови. На основі цих даних і вимог технічного завдання розроблено структурну схему. Проектно-конструкторський розділ містить критерії вибору елементної бази, детальну розробку принципової електричної схеми, розрахунок основних функціональних блоків. В конструкторсько-технологічному розділі розглянуто основні технологічні процеси виготовлення пристрою, проведено розрахунок надійності пристрою, теплові розрахунки та конструкцію друкованої плати. Економічна частина містить розрахунок кошторису витрат та економічної ефективності. Також розглянуто питання охорони праці та навколишнього середовища при виробництві спроектованого пристрою.

Ключові слова:

КОНТРОЛЕР СТРУМУ, КОНТРОЛЕР НАПРУГИ, BUCK INVERTER,
ЗАРЯДНИЙ ПРИСТРІЙ, ESP32

ABSTRACT

Diploma project of the “Magister” degree: « High Voltage and High Current Controller with Integrated USB Interface for Battery Charging » / UzhNU; Supervisor: Rubish V. M.;

Student: Magula M. Yu., ES group.

Explanatory note: 66 pages, 16 figures, 15 sources, 5 appendices.

Graphic part: 4 A1 sheets.

Project Object - High voltage and current controller for battery charging.

Research Objective: Design, calculations, manufacturing, and preparation of graphical documentation using the “AutoCAD” and “Altium Designer” software packages.

The project includes a literature review and analysis of current and voltage controller circuits, as well as the general principles of their construction. Based on this data and the requirements of the technical task, a structural diagram was developed. The design section contains criteria for the selection of the element base, detailed development of the basic electrical circuit, and calculation of the main functional blocks.

In the design and technology section, the main technological processes of device manufacturing are considered, including reliability calculations, thermal analysis, and printed circuit board design. The economic section contains a cost estimate and an assessment of economic efficiency. The project also addresses issues of labor safety and environmental protection during the production of the designed device.

Keywords:

CURRENT CONTROLLER, VOLTAGE CONTROLLER, BUCK INVERTER, BATTERY CHARGER, ESP32

ЗМІСТ

1.	Вступ.....	9
2.	Загальні відомості	
2.1.	Контролери струму та напруги для заряджання акумуляторів	10
2.2.	Детальний алгоритм роботи	11
2.3.	Опис та принцип роботи LiFePO ₄ акумуляторів	13
2.4.	Порівняння LiFePO ₄ із Li-Pol акумуляторами	15
3.	Огляд схемних рішень	
3.1.	Texas Instruments BQ24650.....	17
3.2.	Analog Devices LTC4015.....	19
3.3.	Microchip MCP73123.....	21
3.4.	STMicroelectronics STC4054.....	22
3.5.	Renesas ISL78692.....	24
4.	Проектно-конструкторський розділ	
4.1.	Структурна схема пристрою.....	25
4.2.	DC/DC перетворювач.....	26
4.3.	Контролер напруги та струму LTC4000	31
4.4.	Вибір цифрового мікроконтролера (ESP32)	37
4.5.	Вибір та реалізація зовнішнього інтерфейсу (USB).....	40
5.	Конструкторсько-технологічний розділ	
5.1.	Визначення номінального діаметра отворів.....	41
5.2.	Визначення діаметра контактної майданчика.....	41
5.3.	Визначення мінімальної ширини провідника	42
5.4.	Тепловий розрахунок.....	46
5.5.	Розрахунок надійності.....	47
6.	Економічна частина	
6.1.	Розрахунок собівартості спроектованого приладу	53
6.2.	Розрахунок кількості та вартості матеріалів	54
6.3.	Розрахунок кількості й вартості покупних комплектуючих	55

					<i>КРМ.ЕС. 11287157.01 ПЗ</i>			
Ви	Арк.	№ докум.	Підпис		Контролер високої напруги та високого струму з інтегрованим USB інтерфейсом для заряджання акумуляторів ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Магула М.Ю			Н		7	66	
Перевіри	Рубіш В.М.							
Реценз								
Н.Контр.	Папп О.В.							
Затв.	Заяць Т.М.						<i>УжНУ, ІТФ, ІІ курс, гр. ЕС</i>	

7. Заходи по охороні праці та захисту навколишнього середовища	
7.1. Охорона праці	57
7.2. Основні заходи безпеки та захист від шкідливих факторів	58
7.3. Розрахунок повітряного обміну для вентиляції	60
7.4. Захист навколишнього середовища	62
8. Висновки	64
9. Список використаної літератури	65

Додатки

Схема електрична структурна

Схема електрична принципова

Креслення друкованої плати

Складальне креслення

Специфікація

Перелік елементів

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП

Сучасний розвиток електронних систем значно розширює можливості автономного живлення завдяки впровадженню новітніх технологій у сфері заряджання акумуляторів. Літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO₄) є одним із найперспективніших рішень завдяки їх високій ємності, довговічності, термічній стабільності та безпечності. Однак, для забезпечення їх максимальної ефективності та надійності потрібні високоточні контролери струму та напруги, які враховують особливості хімії даного типу батарей.

Ця робота присвячена розробці контролера струму та напруги для заряджання трьох LiFePO₄ акумуляторів у послідовному з'єднанні. Контролер створений на основі мікроконтролера ESP32 та спеціалізованої мікросхеми LTC4000, що забезпечує інтелектуальне управління процесом заряджання. Завдяки використанню LTC4000 реалізовано автоматичний перехід між режимами постійного струму (CC) та постійної напруги (CV), моніторинг стану акумуляторів, захист від перенапруги, короткого замикання та перевантаження по струму.

ESP32 використовується як основний обчислювальний модуль для забезпечення інтерактивного управління зарядним пристроєм через інтерфейси USB та бездротові з'єднання. Це дозволяє не лише здійснювати заряджання, а й моніторити стан акумуляторів у режимі реального часу, а також інтегрувати контролер у сучасні IoT-системи.

Метою роботи є проектування та реалізація ефективного, надійного та економічно вигідного зарядного пристрою з можливістю інтерактивного управління, який відповідатиме сучасним вимогам до електронних систем енергозабезпечення.

Робота включає аналіз існуючих рішень, розробку структурної та електричної схеми пристрою, вибір елементної бази, теплові та економічні розрахунки, а також виготовлення і тестування прототипу.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Контролери струму та напруги для заряджання акумуляторів.

Заряджання акумуляторів є ключовим процесом, що впливає на їх довговічність, ефективність та безпеку. Контролери струму та напруги відіграють центральну роль у забезпеченні оптимальних умов заряджання, зокрема, для сучасних типів акумуляторів, таких як літій-іонні (Li-ion) та літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄). Ці пристрої керують струмом і напругою у відповідності до характеристик акумуляторів, запобігаючи їх перегріванню, перенапрузі чи перезаряду.

Основна функція контролерів струму та напруги полягає у забезпеченні динамічного регулювання процесу заряджання відповідно до стану батареї. Для цього використовуються два основні режими:

1. **Постійний струм (CC, constant current)** – застосовується на початкових етапах заряджання, коли батарея потребує максимального струму для швидкого відновлення енергії.
2. **Постійна напруга (CV, constant voltage)** – активується, коли напруга акумулятора досягає певного рівня, забезпечуючи стабільність та зниження струму до повного заряджання.

Сучасні контролери можуть інтегрувати додаткові функції, такі як моніторинг температури, контроль залишкової ємності та підтримка протоколів швидкого заряджання. Наприклад, контролери на основі ІС, такі як **LTC4000** від Analog Devices, дозволяють використовувати високоефективні алгоритми регулювання струму і напруги, що оптимізують процес заряджання та зменшують втрати енергії.

Важливо зазначити, що ефективність заряджання значною мірою залежить від правильного вибору схеми зарядного пристрою. Зокрема, для акумуляторів високої ємності популярними є топології із використанням понижувальних (buck) перетворювачів, таких як **LT3845**, які забезпечують високу точність регулювання при значному зниженні теплових втрат [1].

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

2.2 Детальний алгоритм роботи.

Контролери струму та напруги забезпечують заряджання акумуляторів відповідно до їхніх хімічних характеристик. Давайте розглянемо детально алгоритм роботи типового контролера. Основні етапи роботи контролера можна розділити на три фази:

- **Аналіз стану акумулятора**
- **Регулювання процесу заряджання**
- **Завершення заряджання та моніторинг**

1. Аналіз стану акумулятора

На початковому етапі контролер перевіряє:

- **Напругу на клеммах акумулятора** для визначення його рівня заряду.
- **Температуру** за допомогою датчика для запобігання перегріву.
- **Опір батареї**, який може вказувати на деградацію або коротке замикання.

Ці параметри визначають стратегію заряджання. Наприклад, якщо напруга дуже низька, контролер може активувати попереднє заряджання невеликим струмом для безпечного відновлення ємності.

2. Регулювання процесу заряджання

Основний етап заряджання складається з двох ключових режимів:

2.1 Режим стабілізації струму (CC)

На цьому етапі:

- Контролер подає струм фіксованого значення (наприклад, 1C для Li-ion або 0.5C для LiFePO₄).
- Напруга батареї поступово зростає до порогового значення (максимальної напруги заряджання).

Різниця для Li-ion і LiFePO₄:

- Для **Li-ion** порогова напруга заряджання зазвичай складає **4.2 В на елемент**.
- Для **LiFePO₄** порогова напруга нижча — **3.6 В на елемент**, що дозволяє зменшити ризик перегріву.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

2.2 Режим стабілізації напруги (CV)

Після досягнення порогової напруги:

- Контролер утримує напругу на рівні V_{max} .
- Струм поступово зменшується до значення нижче порогового (зазвичай $0.05C$).

Різниця для Li-ion і LiFePO₄:

- Для **Li-ion** струм продовжує зменшуватися повільніше через необхідність стабільного насичення батареї.
- Для **LiFePO₄** цей етап коротший через плоску криву заряджання (мінімальна зміна напруги в кінці заряду).

3. Завершення заряджання та моніторинг

Коли струм падає до заданого мінімуму:

- Контролер припиняє заряджання, щоб уникнути перезарядження.
- Вмикається режим моніторингу, під час якого контролер перевіряє рівень заряду, температуру та можливу розрядку.

Різниця для Li-ion і LiFePO₄:

- Для **Li-ion** може бути увімкнений режим балансування для забезпечення рівномірного заряду осередків.
- Для **LiFePO₄** балансування менш критичне через природну хімічну стабільність.

Додаткові функції контролерів

1. **Захист від перевантаження:** Автоматичне вимкнення заряджання при перевищенні температури, напруги або струму.
2. **Балансування:** Забезпечує рівномірний заряд між осередками в пакеті (особливо важливо для Li-ion).
3. **Швидке заряджання:** Для Li-ion можливе використання протоколів швидкого заряджання (QC або PD).

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Таким чином можна відвести ризику між відмінностями у алгоритмах для основних 2-х типів акумуляторів: **Li-ion** та **LiFePO₄**. Порівняння приведені у таблиці 1. [2]

Таблиця 1. Ключові відмінності між алгоритмами Li-ion та LiFePO₄

Характеристика	Li-ion	LiFePO ₄
Напруга заряджання на елемент	4.2 В	3.6 В
Максимальний струм заряджання	1С (звичайно)	0.5–1С (нижчий при 0.5С)
Балансування осередків	Критично важливо	Менш важливо
Температурний контроль	Висока чутливість до перегріву	Стійкий до підвищення температури
Профіль заряджання	Повільне завершення (CV)	Швидке завершення (CV)

2.3 Опис та принцип роботи LiFePO₄ акумуляторів

Літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO₄) є одним із найпопулярніших типів літійових акумуляторів завдяки своїй високій безпеці, тривалому терміну служби та стабільності. Вони широко використовуються в електротранспорті, стаціонарних системах зберігання енергії та промислового обладнанні. Розглянемо детальніше їх принцип роботи.

LiFePO₄ акумулятори працюють на основі літійових іонів, які переміщуються між катодом і анодом під час заряджання та розряджання. Основні компоненти:

- Катод:** Виконаний із літій-залізо-фосфату (LiFePO₄). Цей матеріал забезпечує високу стабільність та безпеку.
- Анод:** Зазвичай виготовляється з графіту, що забезпечує високу ємність і низький внутрішній опір.
- Електроліт:** Органічний розчин із солями літію, що забезпечує перенесення іонів між анодом і катодом.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

4. **Сепаратор:** Виконує функцію ізоляції між анодом і катодом, запобігаючи короткому замиканню.

Роботу акумуляторної батареї можна поділити на два етапи:

- **Зарядження:** Літій-іони переміщуються з катода (LiFePO_4) до анода (графіту) через електроліт. У цей момент електрони проходять через зовнішнє коло, накопичуючи енергію.
- **Розрядження:** Літій-іони повертаються з анода до катода, виділяючи електрони у зовнішнє коло для живлення пристроїв.

Характеристики LiFePO_4

1. **Номінальна напруга:** 3.2 В на осередок.
2. **Максимальна напруга зарядження:** 3.6 В.
3. **Термін служби:** 2000-5000 циклів (залежно від умов використання).
4. **Енергетична щільність:** $\sim 90-120$ Вт·год/кг.
5. **Температурний діапазон:** -20°C до $+60^\circ\text{C}$ (декілька модифікацій працюють і в ширших межах).

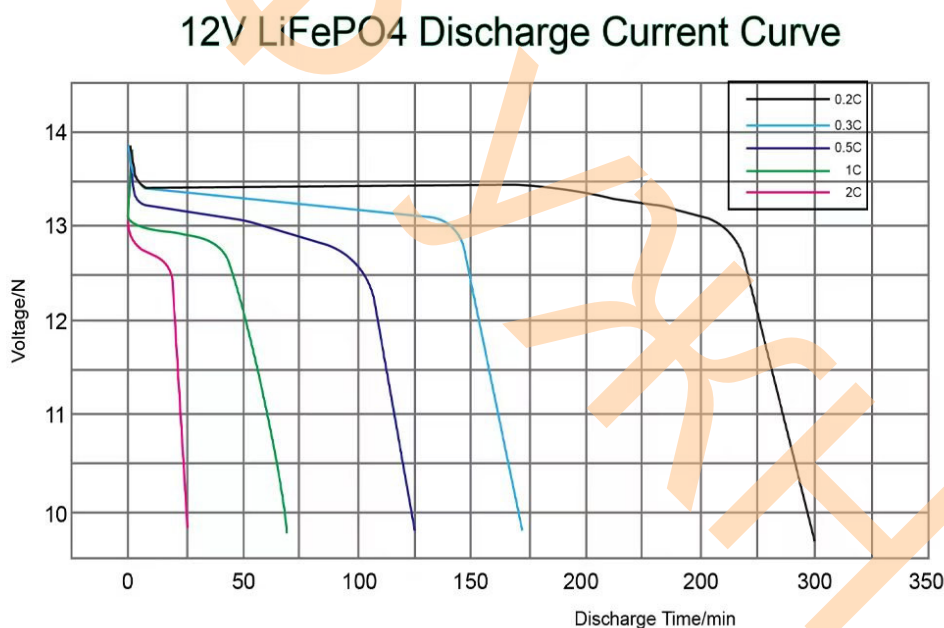


Рис.2.1 Типова розрядна характеристика літій-залізо-фосфатної батареї [3].

2.4 Порівняння LiFePO_4 із Li-Pol акумуляторами.

Порівняння акумуляторів LiFePO_4 із Li-Pol приведено у таблиці 2.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Серед переваг LiFePO₄ над Li-Pol можна виділити наступні:

1. **Безпека:** LiFePO₄ стабільніші за високих температур і механічних пошкоджень. Вони не виділяють кисню під час розрядження, що знижує ризик займання.
2. **Тривалий термін служби:** LiFePO₄ можуть витримувати до 5000 циклів заряджання-розрядження без значної втрати ємності, що робить їх більш економічними у довгостроковій перспективі.
3. **Стійкість до екстремальних умов:** LiFePO₄ працюють у ширшому температурному діапазоні, що особливо важливо для промислових застосувань і електротранспорту.
4. **Екологічність:** LiFePO₄ є більш безпечними для навколишнього середовища, оскільки не містять токсичних елементів, таких як кобальт.

До недоліків можна віднести:

1. **Низька енергетична щільність:** LiFePO₄ мають нижчу ємність при однаковій вазі, що робить їх менш придатними для компактних пристроїв, таких як смартфони або планшети.
2. **Вища вартість:** Хоча ціна LiFePO₄ поступово знижується, вона все ще вища, ніж у стандартних Li-Pol.
3. **Низька номінальна напруга:** Через нижчу напругу (3.2 В) потрібна більша кількість осередків у батареї для досягнення високої напруги, що може збільшити розміри [2].

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 2. Порівняння акумуляторів LiFePO₄ із Li-Pol

Характеристика	LiFePO ₄	Li-Pol (літій-полімер)
Хімічний склад	Літій-залізо-фосфат	Літій-кобальт-оксид або літій-нікель-кобальт
Напруга	Номінальна 3.2 В; заряджання 3.6 В	Номінальна 3.7 В; заряджання 4.2 В
Енергетична щільність	Низька (90-120 Вт·год/кг)	Висока (150-250 Вт·год/кг)
Циклічна довговічність	2000-5000 циклів	500-1000 циклів
Безпека	Дуже висока: термічно стабільний, низький ризик займання	Середня: може перегрітися або загорітися при пошкодженні
Температурний діапазон	Широкий (-20°C до +60°C)	Обмежений (0°C до +45°C)
Саморозряд	Низький	Трохи вищий, ніж у LiFePO ₄
Термін служби	10-15 років	2-5 років
Вартість	Вища	Дешевша
Застосування	Електротранспорт, зберігання енергії, промислові системи	Смартфони, ноутбуки, дрони

LiFePO₄ акумулятори є чудовим вибором для застосувань, де пріоритетом є безпека, довговічність і стабільність роботи за екстремальних умов. Вони ідеально підходять для електротранспорту, зберігання енергії та промислового використання. Однак для компактних пристроїв, таких як смартфони або дрони, Li-Pol залишаються кращим вибором завдяки їхній високій енергетичній щільності та нижчій вартості.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

3. ОГЛЯД СХЕМНИХ РІШЕНЬ КОНТРОЛЛЕРІВ НАПРУГИ ТА СТРУМУ ДЛЯ ЗАРЯДКИ АКУМУЛЯТОРІВ.

Літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO₄) є популярним вибором для багатьох застосувань завдяки їх високій надійності, тривалому терміну служби та безпечності у порівнянні з іншими літійовими акумуляторами. Оскільки ці акумулятори мають специфічні вимоги до заряджання, існує чимало спеціалізованих мікросхем (IC) та модулів, розроблених для ефективного й безпечного заряджання LiFePO₄ елементів.

Загальні принципи заряджання LiFePO₄ акумуляторів були розглянуті у попередньому розділі. Звідти зрозуміло, що соновний критерій є вибір контролера, який працює у двох режимах – стабілізації напруги, та стабілізації струму. Цей метод забезпечує надійне заряджання без ризику перегріву чи перевантаження акумулятора, що особливо важливо для тривалого терміну служби LiFePO₄ елементів.

Розглянемо деякі популярні мікросхеми для заряджання LiFePO₄ акумуляторів:

3.1 Texas Instruments BQ24650

BQ24650 — це високоригований контролер заряджання акумуляторів у режимі перемикання. Він забезпечує регулювання вхідної напруги, яке знижує струм заряджання, коли вхідна напруга падає нижче запрограмованого рівня. Коли джерелом живлення є сонячна панель, петля регулювання вхідної напруги зменшує струм заряджання, дозволяючи сонячній панелі забезпечувати максимальну вихідну потужність.

BQ24650 пропонує синхронний ШІМ-контролер із постійною частотою, високою точністю регулювання струму і напруги, попереднім кондиціонуванням заряду, завершенням заряду та моніторингом статусу заряду.

BQ24650 заряджає акумулятор у три етапи: попереднє кондиціонування, постійний струм та постійна напруга. Зарядження завершується, коли струм досягає 1/10 від швидкості швидкого заряджання. Таймер попереднього заряджання фіксований і становить 30 хвилин. BQ24650 автоматично перезапускає

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

3.2 Analog Devices LTC4015

LTC®4015 — це повнофункціональний синхронний контролер/зарядний пристрій зі схемами заряджання та алгоритмами завершення, що вибираються за допомогою виводів для конкретних хімічних складів акумуляторів. LTC4015 може заряджати акумулятори Li-Ion/Polymer, LiFePO₄ або свинцево-кислотні акумулятори. Напруга заряджання акумулятора вибирається за допомогою виводів і налаштовується через інтерфейс I2C. Обмеження вхідного струму та зарядного струму можуть бути точно задані за допомогою шунтових резисторів і індивідуально налаштовуватися через серійний порт I2C.

Цифрова телеметрична система контролює всі параметри енергосистеми. Для літєвих акумуляторів підтримуються алгоритми захисту, такі як таймер безпеки та завершення заряджання за струмом. LTC4015 також включає функції автоматичного повторного заряджання, попереднього заряджання (для Li-Ion) і захисту за допомогою NTC-термістора.

Порт I2C LTC4015 дозволяє користувачеві налаштовувати алгоритми заряджання, отримувати інформацію про стан зарядного пристрою, конфігурувати маски і програмовані оповіщення, а також використовувати й налаштовувати лічильник кулонів. Пристрій доступний у корпусі QFN із 38 виводами розміром 5 × 7 мм.

- **Особливості:** Це контролер з інтегрованим моніторингом стану батареї. Він підтримує балансування осередків і оптимізований для LiFePO₄.
- **Переваги:** Високий рівень точності вимірювання напруги, струму і температури, що забезпечує безпечне заряджання.
- **Застосування:** Ідеальний для складних багатоярусних систем, де необхідний моніторинг кожного осередку батареї.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

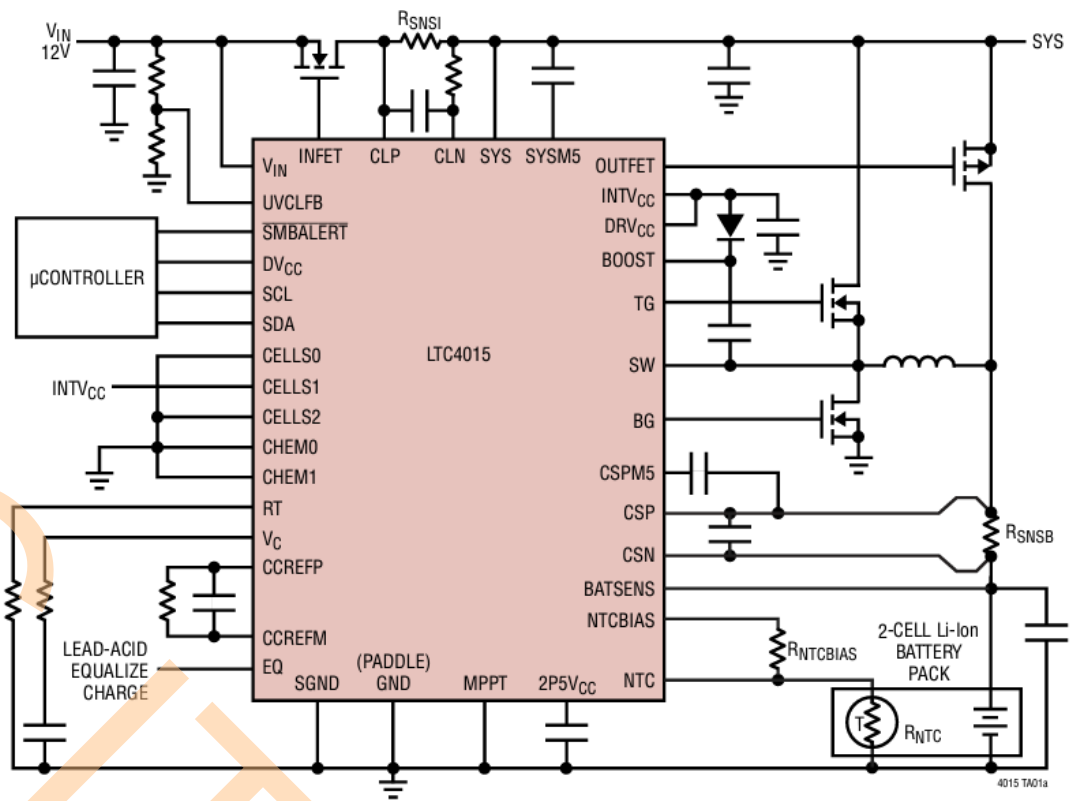


Рис3.2 Типова схема використання LTC4015 [6].

3.3 Microchip MCP73123

MCP73123/223 — це висококоригований контролер управління зарядженням акумуляторів на основі літій-залізо-фосфату (LiFePO₄), призначений для застосувань з обмеженим простором і чутливістю до витрат. MCP73123/223 забезпечує спеціалізовані алгоритми зарядження для акумуляторів LiFePO₄, щоб досягти оптимальної ємності та безпеки за мінімальний час зарядження. Завдяки своїм компактним розмірам і малій кількості зовнішніх компонентів, MCP73123/223 ідеально підходить для різноманітних додатків.

Абсолютно максимальна напруга до 18 В дозволяє використовувати MCP73123/223 в умовах суворого середовища, наприклад, із недорогими адаптерами змінного струму або при стрибках напруги через підключення/відключення пристроїв. MCP73123/223 застосовує алгоритм зарядження з постійним струмом/постійною напругою. Попередньо встановлена напруга 3.6 В на елемент спрощує проектування із порогом попереднього кондиціонування 2 В. Швидке зарядження з постійним струмом налаштовується за допомогою одного зовнішнього резистора в діапазоні від 130 мА до 1100 мА.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

MCP73123/223 також обмежує струм заряджання залежно від температури кристала під час роботи у високопотужних або високотемпературних умовах. Це термічне регулювання оптимізує час циклу заряджання, зберігаючи надійність пристрою. Вивід PROG MCP73123/223 також служить виводом ввімкнення. Коли на нього подається високий імпеданс, MCP73123/223 переходить у режим очікування.

MCP73123/223 повністю характеризується в діапазоні температур навколишнього середовища від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$ і доступний у 10-вивідному корпусі DFN.

- **Особливості:** Ця мікросхема є одноканальним зарядним контролером, який спеціалізується на LiFePO₄ і інших літєвих акумуляторах.
- **Переваги:** Проста в інтеграції, підтримує малопотужні системи завдяки низькому споживанню енергії.
- **Застосування:** Використовується в компактних пристроях, портативних гаджетах і медичному обладнанні.

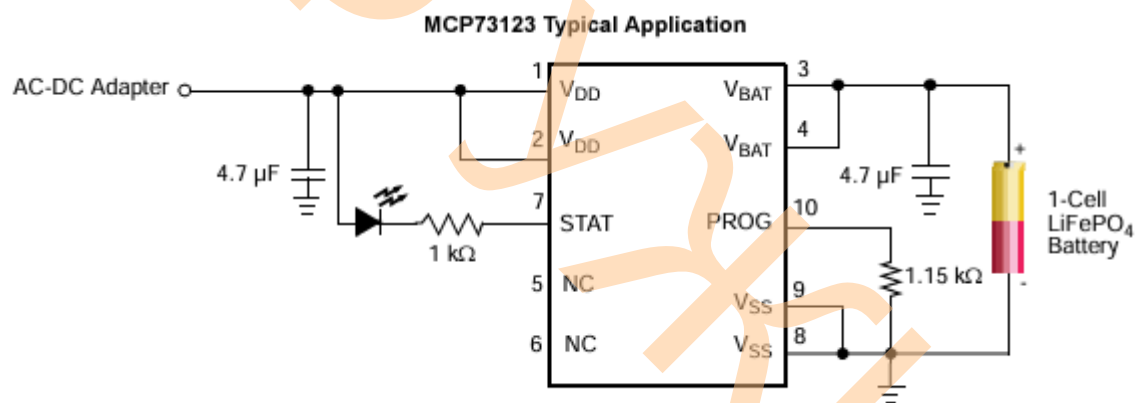


Рис3.3 Типова схема використання MCP73123/223 [7].

3.4 STMicroelectronics STC4054

STC4054 розроблений для роботи відповідно до специфікацій живлення USB. Вбудований блок регулює струм при підвищенні температури переходу, щоб захистити пристрій під час роботи у високопотужних або високотемпературних умовах. Напруга заряджання фіксована на рівні 4.2 В, а обмеження зарядного

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

струму можна налаштувати за допомогою одного резистора, підключеного між виводом PROG і GND.

Цикл заряджання автоматично завершується, коли струм, що подається на акумулятор, становить 1/10 запрограмованого значення. Якщо зовнішній адаптер видаляється, STC4054 вимикається, і з акумулятора до пристрою може протікати струм 2 μA . Пристрій може бути переведений у режим вимкнення, що знижує струм живлення до 25 μA .

STC4054 також має монітор струму заряджання, захист від зниження напруги (UVLO), автоматичне повторне заряджання. Пристрій доступний у корпусі TSOT23-5L.

- **Особливості:** STC4054 є лінійним зарядним контролером, оптимізованим для LiFePO₄ батарей.
- **Переваги:** Проста схема з мінімальною кількістю зовнішніх компонентів, вбудовані функції безпеки, такі як захист від короткого замикання та перевантаження.
- **Застосування:** Використовується в простих додатках, де не потрібно великого заряду струму, наприклад у побутовій електроніці.

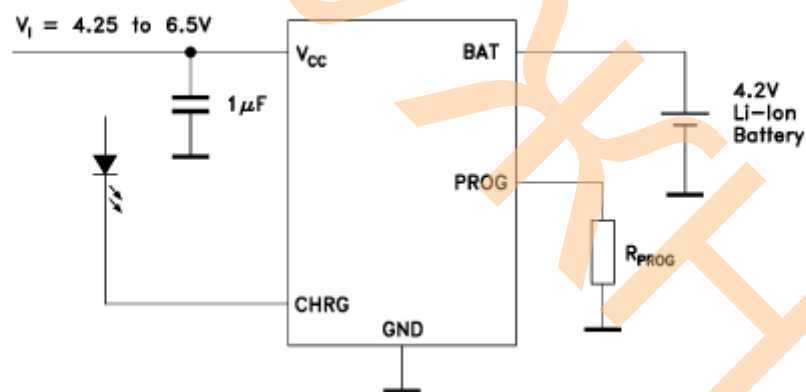


Рис3.4 Типова схема використання STC4054 [8].

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

3.5 Renesas ISL78692

ISL78692 — це інтегрований зарядний пристрій для однокоміркових акумуляторів Li-ion або Li-polymer, здатний працювати при вхідній напрузі до 2.65 В (в умовах низької напруги, наприклад, cold crank case). Цей зарядний пристрій розроблений для роботи з різними типами адаптерів змінного струму або USB-портами.

ISL78692 працює як лінійний зарядний пристрій, коли адаптер змінного струму є джерелом напруги. Зарядження акумулятора здійснюється за профілем CC/CV (постійний струм/постійна напруга). Зарядний струм програмується за допомогою зовнішнього резистора до 1 А. ISL78692 також може працювати з адаптером, що має обмеження по струму, для мінімізації теплових втрат.

ISL78692 має функцію зниження струму зарядження при нагріванні (thermal foldback), що гарантує безпечну роботу за умов обмеженого теплового розсіювання друкованої плати через обмежений простір. Додаткові функції включають попереднє зарядження розрядженого акумулятора, інтерфейс NTC-термістора для зарядження акумулятора в безпечному діапазоні температур і автоматичне повторне зарядження.

Пристрій розрахований на роботу при температурі навколишнього середовища від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$ і доступний у термічно покращеному корпусі DFN розміром 3x3 мм.

- **Особливості:** Ця мікросхема була спеціально розроблена для автомобільних застосувань з високими вимогами до безпеки.
- **Переваги:** Підтримує зарядження LiFePO₄ з високою точністю і надійністю, має функції захисту, які відповідають стандартам автомобільної індустрії.
- **Застосування:** Використовується в автомобільній електроніці, де потрібна висока надійність і безпека.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

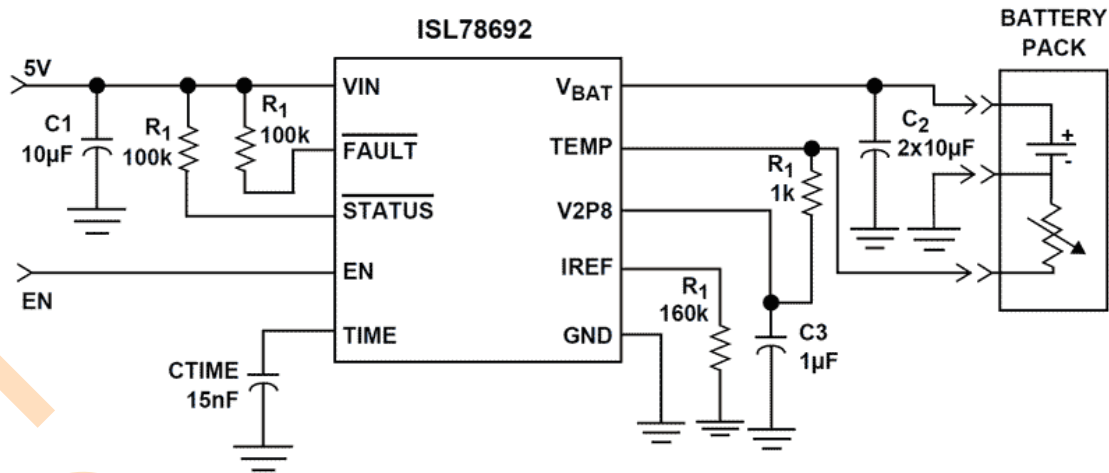


Рис3.5 Типова схема використання ISL78692 [9].

3. Порівняння та вибір оптимальної мікросхеми

При виборі мікросхеми для заряджання LiFePO₄ акумуляторів важливо враховувати такі фактори:

- **Максимальний зарядний струм** – обирається залежно від ємності акумулятора.
- **Доступність захистів** – наявність захисту від короткого замикання, перегріву та перевантаження є критично важливими для забезпечення безпечної експлуатації.
- **Точність вимірювань** – для забезпечення довговічності акумулятора важливо, щоб мікросхема підтримувала точне вимірювання параметрів заряджання.

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ

Арк.

24

4. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1. Структурна схема пристрою

Згідно з завданням необхідно спроектувати контролер напруги та струму який буде відповідати всім необхідним вимогам, що до безпеки експлуатації LiFePO₄ акумуляторів, а також зможе заряджати до 4-х акумуляторів.

Необідною умовою є наявність DC/DC перетворювача, який забезпечить належне живлення контролера струму. Відповідно до поставлених вимог, та огляду наявних рішень, було вибрано мікросхему LTC4000.

У парі з buck перетворювачем LM3845 даний контролер зможе забезпечувати струм на виході до 15А. Даний макет буде розраховуватись до номінального струму 5А. Це пов'язане з тим, що при вищих навантаженнях, потрібно виконувати проектування корпусу з відповідними вимогами до охолодження.

Передбачається, що даний пристрій буде мати мікроконтролер, який буде могти контролювати стан роботи пристрою та буде мати можливість використовуватись у сучасних системах IoT.

У якості контролера вибрано ESP32 який має бездротові інтерфейси на борту та дають безліч можливостей у застосуванні.

Структурна схема пристрою зображена на Рис. 4.1.

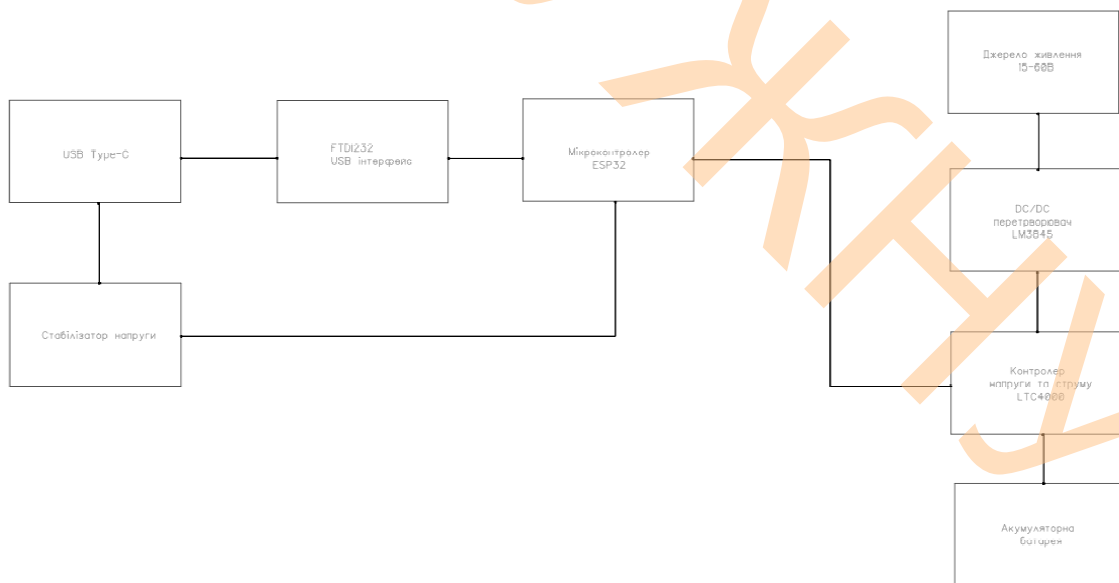


Рис. 4.1. Структурна схема контролеру струму та напруги.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

1. USB Type-C
2. Стабілізатор напруги;
3. FTDI232;
4. Мікроконтроллер ESP32;
5. Джерело напруги від 15В до 60В;
6. DC/DC перетворювач;
7. Контролер напруги та струму;
8. Акумуляторна батарея;

4.2. DC/DC перетворювач

Для зручності **Buck Converter** (знижуючий перетворювач) — це тип імпульсного DC-DC перетворювача, який знижує вхідну напругу до заданого рівня, зберігаючи полярність виходу. Buck конвертер широко використовується в електронних пристроях для живлення мікросхем, двигунів, акумуляторів та інших компонентів, які потребують стабільної напруги, нижчої за вхідну.

Принцип роботи Buck конвертер базується на комутації елементів, таких як:

1. **Вхідний джерело напруги (VIN):** Постійна напруга, яка подається на вхід конвертера.
2. **Ключовий елемент (зазвичай MOSFET):** Контролює проходження струму до навантаження.
3. **Діод:** Забезпечує шлях для струму, коли ключ вимкнений.
4. **Індуктивність (L):** Згладжує імпульси струму та накопичує енергію.
5. **Конденсатор (C):** Забезпечує фільтрацію вихідної напруги, згладжуючи пульсації.

Режими роботи:

- **Режим постійного струму (Continuous Conduction Mode, CCM):** Індуктивність зберігає заряд під час всієї фази роботи.
- **Режим переривчастого струму (Discontinuous Conduction Mode, DCM):** Струм через індуктивність падає до нуля на деяких етапах.

Етапи роботи

1. **Фаза ввімкнення ключа:**

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

- Ключовий елемент (MOSFET) увімкнено.
- Струм тече через індуктивність до навантаження.
- Індуктивність накопичує енергію, а напруга на навантаженні збільшується.

2. Фаза вимкнення ключа:

- Ключовий елемент вимкнений.
- Індуктивність розряджається через діод, забезпечуючи живлення навантаження.
- Вихідна напруга стабілізується за допомогою конденсатора.

LT[®]3845 — це високовольтний, синхронний, контролер у режимі струму, призначений для середньо- та високопотужних, високоефективних джерел живлення. Він забезпечує широкий діапазон вхідної напруги від 4В до 60В (мінімальна напруга запуску — 7.5В). Вбудований регулятор спрощує вимоги до зміщення, забезпечуючи живлення мікросхеми безпосередньо від VIN.

Режим Burst Mode[®] підтримує високу ефективність при малих навантаженнях, знижуючи споживання мікросхеми до 120 мкА. Ефективність при малих навантаженнях також покращується завдяки функції блокування реверсного струму індуктора, яка підтримує дискретну роботу.

Додаткові функції включають регульовану фіксовану робочу частоту, яку можна синхронізувати із зовнішнім тактовим сигналом для застосувань, чутливих до шуму, драйвери затворів, здатні керувати великими N-канальними MOSFET, точний захист від недостатньої напруги, струм споживання у вимкненому стані 10 мкА, захист від короткого замикання та програмований плавний старт.

LT3845 доступний у 16-вивідному корпусі TSSOP з термічним захистом та 16-вивідному наскрізному корпусі N.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

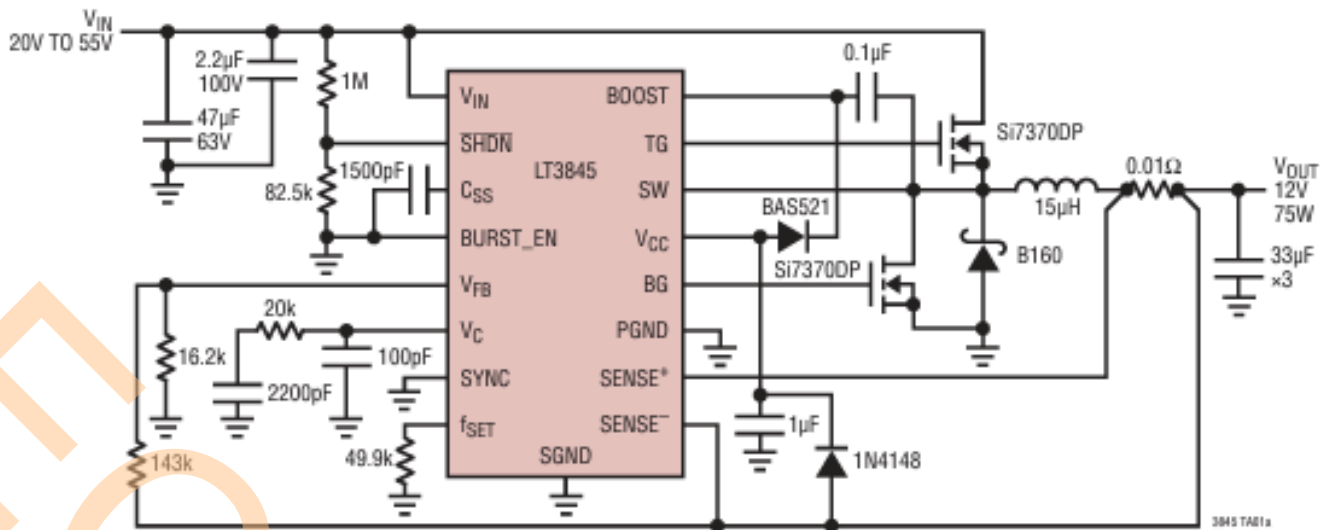


Рис. 4.2. Типова схема використання LM3845 [10].

Для зручності роботи, кожен сучасний пристрій повинен мати інтерфейс.

Розрахуємо максимальний ESR

Для виконання вимог щодо пульсацій вихідної напруги (ΔV_{out}) система має відповідати наступній формулі:

$$ESR_{MAX} = \frac{\Delta V_{out} * (V_{out} * (1 - \frac{V_{out}}{V_{inmax}}))}{L * f} \quad (4.1)$$

- Діапазон вхідної напруги (V_{in}): 15В–60В.
- Вихідна напруга (V_{out}): 12В.
- Вихідний струм (I_{out}): 10А.
- Індуктивність (L): 10µГн (типове значення для такого рівня потужності).
- Частота перемикання (f): 250 кГц
- Максимально допустима пульсація напруги (ΔV_{out}): 100мВ (0.1В).

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Знайдемо пульсаційну компоненту:

Максимальна пульсація напруги виникає при $V_{inmax} = 60V$:

$$1 - \frac{V_{in}}{V_{inmax}} = 1 - \frac{12}{60} = 1 - 0.2 = 0.8 \quad (4.2)$$

Підставимо значення у формулу:

$$ESR_{MAX} = \frac{0.1 \cdot (12 \cdot 0.8)}{10 \times 10^{-6} \cdot 250 \times 10^3} \quad (4.3)$$

Спростивши чисельник та знаменник отримаємо наступне:

$$ESR_{MAX} = \frac{0,96}{2,5} = 0,384\Omega \quad (4.4)$$

Розрахуємо подільник каналу зворонього зв'язку для режиму 12В. Напруга задається двома резисторами R1 та R2 [10].

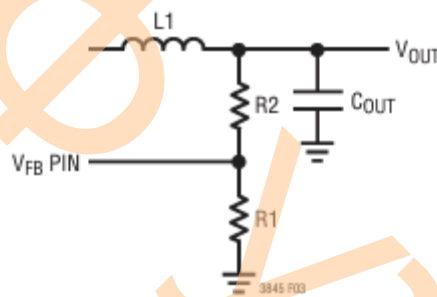


Рис. 4.3. Схема каналу зворотнього зв'язку.

Значення резистора R2 визначається за формулою:

$$R_2 = R_2 \left(\frac{V_{out}}{1.231V} - 1 \right) \quad (4.5)$$

Знаючи, що вихідна напруга $V_{out} = 12V$, а значення резистора $R_1 = 10k\Omega$ вирахуємо значення R2:

$$R_2 = R_2 \left(\frac{12V}{1.231V} - 1 \right) = 87.48 k\Omega \quad (4.6)$$

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Відповідно до стандартних номіналів виберемо 86,6кОм 1%.

Вивід **SHDN** має точний поріг напруги з гістерезисом, який можна використовувати як поріг блокування при низькій напрузі (UVLO) для джерела живлення. Блокування при низькій напрузі утримує LT3845 у вимкненому стані до тих пір, поки вхідна напруга джерела живлення не перевищить певне значення, задане користувачем. Гістерезисна напруга запобігає хибному спрацьовуванню UVLO через шуми.

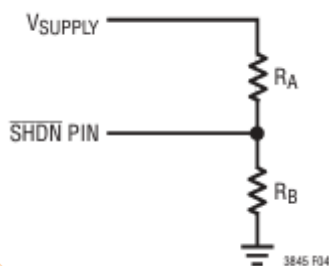


Рис. 4.4. Схема підключення сигналу **SHDN**.

Резистори вибираються наступним чином: спочатку обирається R_B . Потім розраховується:

$$R_A = R_B \frac{V_{supply(on)}}{1.35V-1} \quad (4.7)$$

$V_{SUPPLY(ON)}$ – це вхідна напруга, при якій блокування при низькій напрузі вимикається, і джерело живлення вмикається. При $R_B = 49.9$ кОм:

$$R_A = 49.9 \text{кОм} \frac{14.5V}{1.35V-1} = 486.1 \text{кОм} \quad (4.8)$$

Відповідно до стандартних номіналів обираємо – 499Ом.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

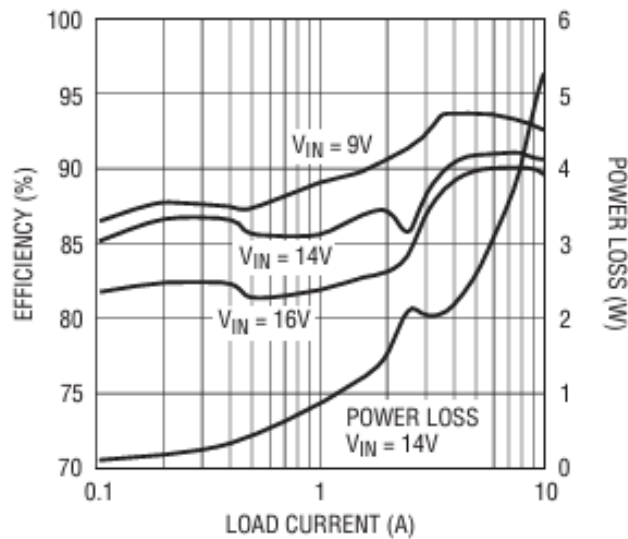


Рис. 4.5. Характеристика втрат ефективності перетворювача [10].

Виходячи із характеристики ефективності перетворювача, зображеної на Рис. 4.5. можемо визначити приблизні втрати при навантаженні у 5А. Зрозуміло, що 2,5Вт буде виділятися у вигляді тепла і буде враховано при розрахунках теплонавантаженні.

4.3. Контролер напруги та струму LTC4000

LTC®4000 — це високовольтний, високопродуктивний контролер, який перетворює багато зовнішніх компенсованих джерел живлення DC/DC у зарядні пристрої з повним набором функцій [11].

Особливості зарядного пристрою LTC4000 включають:

- Точну програмовану напругу заряджання (з точністю $\pm 0,25\%$),
- Вибір завершення заряджання за таймером або струмом,
- Температурно-кваліфіковане заряджання за допомогою термістора NTC,
- Автоматичне відновлення заряджання,
- Підтримку заряджання малим струмом (C/10) для сильно розряджених осередків,
- Виявлення несправних акумуляторів та виходи індикаторів стану.

Зарядний пристрій також має прецизійний контроль струму, що дозволяє використовувати низькі напруги на шунті для застосувань із високими струмами.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

LTC4000 підтримує інтелектуальне управління PowerPath.

Зовнішній PFET забезпечує захист від реверсного струму з низькими втратами. Ще один зовнішній PFET забезпечує заряджання або розряджання акумулятора з низькими втратами. Цей другий PFET також дозволяє реалізувати функцію миттєвого увімкнення, яка забезпечує живлення системи навіть при підключенні до сильно розрядженого або короткозамкненого акумулятора.

LTC4000 доступний у низькопрофільних корпусах QFN на 28 виводів розміром 4 мм × 5 мм та SSOP.

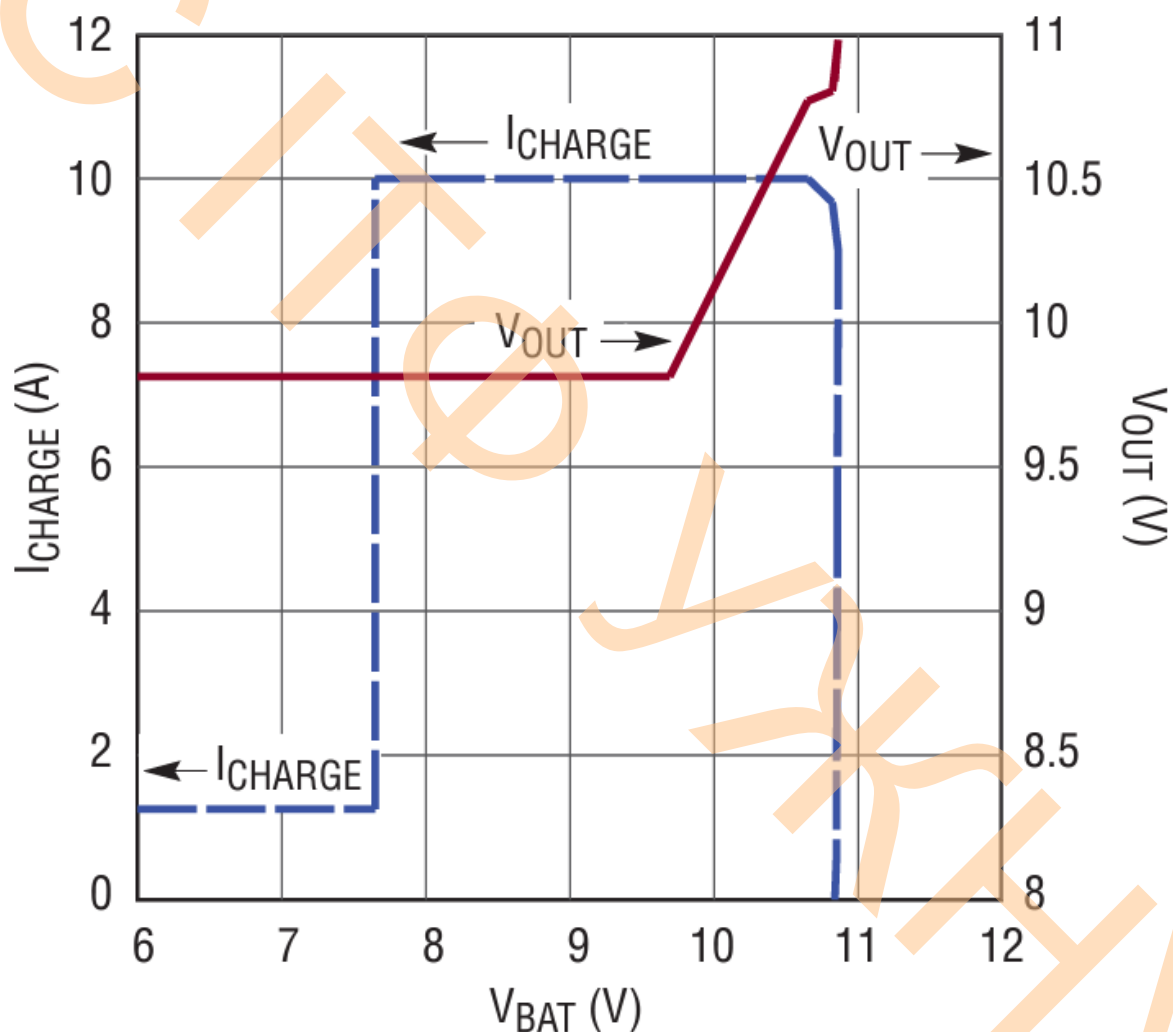


Рис. 4.6. Характеристика струму зарядки та вихідної напруги відповідно [11].

Розглянемо детальніше структуру контролера напруги і струму, та розрахуємо основні його елементи. Потібно вказати на те, що деякі значення зовнішніх елементів будуть взяті з опису виробника, так як являються

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

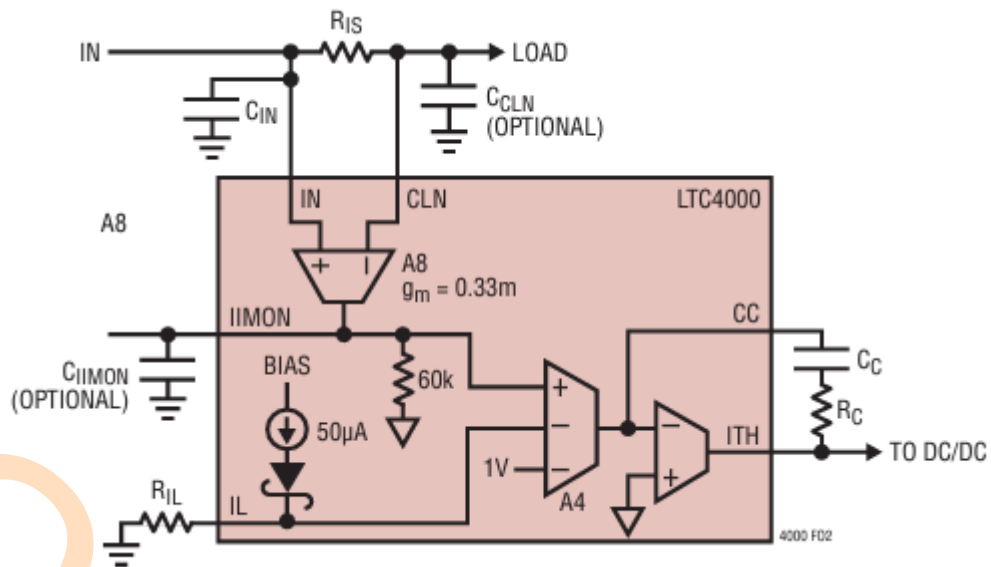


Рис.4.8. Функціональна внутрішня схема каскаду контролю вихідного струму.

Окрім контуру регулювання вхідного струму, LTC4000 також регулює зарядний струм, напругу акумулятора та вихідну напругу.

Коли починається цикл заряджання акумулятора, зарядний пристрій спочатку визначає, чи акумулятор надмірно розряджений. Якщо напруга зворотного зв'язку акумулятора нижче **VLOBAT**, функція автоматичного заряджання малим струмом (trickle charge) використовує контур регулювання зарядного струму для встановлення зарядного струму акумулятора на рівні 10% від заданого повного значення. Якщо вивід **TMR** підключений до конденсатора або залишається відкритим, таймер визначення несправного акумулятора активується.

Якщо цей таймер завершується, а напруга акумулятора все ще нижча за **VLOBAT**, зарядний пристрій автоматично припиняє заряджання і через виводи **FLT** та **CHRG** вказує, що акумулятор не реагує на зарядний струм. Після того як напруга акумулятора перевищить **VLOBAT**, контур регулювання зарядного струму починає заряджання в режимі постійного струму повної потужності. У цьому випадку заданий струм заряджання визначається резистором на виводі **CL**.

Залежно від доступної вхідної потужності та зовнішніх навантажень зарядний пристрій може не забезпечувати заряджання на повному запрограмованому рівні. Зовнішнє навантаження завжди має пріоритет над зарядним струмом акумулятора. Завжди дотримується заданий ліміт вхідного струму, а для заряджання

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

акумулятора використовується лише додаткова потужність. Якщо системне навантаження незначне, зарядний струм акумулятора максимізується.

Коли досягається напруга підтримки (float voltage), контур регулювання напруги підтримки бере на себе управління від контуру регулювання зарядного струму і ініціює заряджання в режимі постійної напруги. У цьому режимі зарядний струм поступово зменшується.

Завершення заряджання можна налаштувати кількома способами через вивід **TMR**:

1. Якщо вивід **TMR** підключений до **BIAS**, активується завершення **C/X**. У цьому випадку заряджання припиняється, коли струм заряджання при постійній напрузі зменшується до рівня **C/X**, заданого на виводі **CX**.

2. Підключення конденсатора до виводу **TMR** активує завершення заряджання за таймером, який запускається на початку заряджання в режимі постійної напруги. Заряджання припиняється після завершення таймера.

3. Якщо потрібне безперервне заряджання при напрузі підтримки, вивід **TMR** слід підключити до землі (**GND**), щоб відключити завершення.

Після завершення заряджання підключений до виводу **BGATE** PMOS працює як ідеальний діод між виводами **BAT** і **CSN**. Ця функція діода запобігає зарядному струму, але забезпечує подачу струму на системне навантаження за потреби. Якщо системне навантаження може повністю житися від вхідного джерела, PMOS акумулятора вимикається.

У стані завершення заряджання, якщо ліміт вхідного струму не регулюється, контур регулювання вихідної напруги бере на себе управління, щоб забезпечити контроль напруги на виводі **CSP**. Контур регулювання вихідної напруги підтримує напругу на виводі **CSP**, таку щоб напруга зворотного зв'язку на виводі **OVB** становила **1.193В**.

Відповідно до опису виробника [11] розрахуємо додаткові елементи.

Поріг зниження напруги монітора вхідної напруги встановлюється на рівні 14.3 В відповідно до наступної формули:

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$R_{VM1} = \left(\frac{14.3V}{1.193V} - 1 \right) \cdot 100k\Omega \approx 1.10M\Omega \quad (4.9)$$

Вивід **IL** залишається відкритим, щоб напруга на цьому виводі була $>1,05$ В. Напруга регулювання на виводі **PMON** обмежена на рівні 1,0 В за допомогою точного внутрішнього еталона. Таким чином, ліміт вхідного струму встановлюється на рівні 10 А відповідно до наступної формули:

$$R_{IS} = \frac{0.050V}{10A} = 5m\Omega \quad (4.10)$$

Резистор **RCL** встановлений на рівні 24.9k Ω таким чином, щоб напруга на виводі **CL** дорівнювала 1.25В. Подібно до виводу **PMON**, напруга регулювання на виводі **IBMON** обмежена на рівні 1В за допомогою точного внутрішнього еталона. Таким чином, ліміт зарядного струму встановлюється на рівні 10А відповідно до наступної формули:

$$I_{CLIM(MAX)} = \frac{0.050V}{R_{CS}} = \frac{0.050V}{5m\Omega} = 10A \quad (4.11)$$

Рівень струму попереднього заряджання (trickle charge) встановлюється на рівні 1.25А відповідно до наступної формули:

$$I_{CLIM(TRKL)} = 0.25\mu A \cdot \frac{24.9k\Omega}{5m\Omega} = 1.25A \quad (4.12)$$

Напруга підтримки акумулятора (float voltage) встановлюється на рівні 10.8В відповідно до наступної формули:

$$R_{VFB1} = \left(\frac{10.8}{1.136} - 1 \right) \cdot 133k\Omega \approx 1.13M\Omega \quad (4.13)$$

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Час виявлення несправного акумулятора встановлюється на рівні 43 хвилини відповідно до наступної формули:

$$C_{TMR}(nF) = t_{BADBAT}(h) \cdot 138.5 = \frac{43}{60} \cdot 138.5 = 100nF \quad (4.14)$$

4.4. Вибір цифрового мікроконтролера (ESP32)

Для можливості віддаленого керування пристроєм, та наявності гнучкого вузла автоматизації, пропонується використати цифровий модуль ESP32. Даний модуль є закінченим вузлом, та легко інтегрується на друковану плату. ESP32 є багатофункціональною платформою для створення IoT-проектів, завдяки своїм потужним характеристикам, низькому енергоспоживанню та підтримці сучасних бездротових технологій.

ESP32 — це високопродуктивний мікроконтролер із інтегрованим модулем Wi-Fi та Bluetooth, розроблений компанією **Espressif Systems**. Цей чип є популярним вибором для IoT-проектів, завдяки своїй гнучкості, низькому енергоспоживанню та доступності [12].

Основні характеристики ESP32

- **Обчислювальна потужність:**
 - Два ядра **Xtensa LX6** з тактовою частотою до 240 МГц.
 - Інтегрований цифровий сигналовий процесор (DSP) для обробки даних у реальному часі.
- **Пам'ять:**
 - До **520 КБ оперативної пам'яті (SRAM)**.
 - Підтримка зовнішньої пам'яті через SPI/SDIO інтерфейси (до 4 МБ).
- **Комунікаційні можливості:**
 - **Wi-Fi (802.11 b/g/n)** з підтримкою одночасного режиму точка доступу/станція.
 - **Bluetooth 4.2** та **Bluetooth Low Energy (BLE)** для бездротової передачі даних.
 - Підтримка Ethernet через зовнішні PHY модуля.
- **Інтерфейси вводу/виводу:**

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- До **36 GPIO** з підтримкою багатофункціональних периферійних функцій.
- SPI, I2C, I2S, UART, PWM, ADC (12-біт, 18 каналів), DAC.

➤ **Живлення:**

- Робоча напруга від **2.3 В до 3.6 В**.
- Вбудовані режими низького енергоспоживання (Deep Sleep) зі споживанням лише **2.5 мкА**.

➤ **Функції безпеки:**

- Шифрування AES, SHA-2, RSA.
- Підтримка захищеного завантаження та OTP-пам'яті для ключів.

[12]

Переваги ESP32

- **Багатофункціональність:** Завдяки інтеграції Wi-Fi, Bluetooth та обчислювальних модулів, ESP32 може виконувати одразу кілька завдань, включаючи бездротову передачу даних, обробку сигналів та управління пристроями.
- **Низьке енергоспоживання:** ESP32 підтримує кілька режимів енергозбереження (Light Sleep, Deep Sleep), що робить його ідеальним для автономних пристроїв із живленням від батареї.
- **Висока продуктивність:** Завдяки двоядерному процесору та DSP, ESP32 може обробляти складні алгоритми в реальному часі.
- **Широка екосистема:**
 - Підтримка популярних фреймворків, таких як Arduino IDE, PlatformIO та Espressif IDF.
 - Багато готових бібліотек для сенсорів, дисплеїв, комунікаційних протоколів тощо.
- **Доступність:** Відносно низька вартість у порівнянні з іншими IoT-платформами аналогічного класу.
- **Надійність:** Інтегровані функції безпеки дозволяють використовувати ESP32 у критично важливих застосуваннях, таких як промисловий IoT [12].

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Застосування ESP32

1. **IoT-пристрої:** ESP32 є ідеальним вибором для створення розумних пристроїв, таких як датчики, освітлення, термостати.
2. **Системи автоматизації:** Використовується у побутових, промислових та сільськогосподарських системах для збору даних і управління.
3. **Мультимедійні проєкти:** Завдяки підтримці I2S та DAC, ESP32 може працювати з аудіо- та відеообладнанням.
4. **Прототипування:** Висока гнучкість і підтримка багатьох інтерфейсів дозволяють використовувати ESP32 для тестування різних ідей.

Джерело: Hackaday

Для зручності роботи, кожен сучасний пристрій повинен мати інтерфейс, через який можна виконувати

Для забезпечення стабільного живлення ESP32, яке працює на напрузі 3.3 В, може бути використано вхідну напругу від USB (5 В). Оскільки USB забезпечує напругу, яка перевищує необхідну для ESP32, стабілізатор напруги LM1117 буде застосовуватися для зниження напруги до потрібного рівня.

LM1117 — це лінійний стабілізатор напруги із низьким падінням напруги (LDO), який перетворює вхідну напругу на стабільну вихідну напругу. Модель LM1117-3.3 забезпечує фіксовану напругу на виході 3.3 В, яка відповідає вимогам ESP32 [13].

Основні характеристики LM1117:

1. **Вхідна напруга:** 4.75–12 В (для забезпечення стабільної роботи при вихідній напрузі 3.3 В).
2. **Вихідна напруга:** 3.3 В (фіксована для версії LM1117-3.3).
3. **Максимальний вихідний струм:** До 800 мА.
4. **Падіння напруги:** Близько 1.1 В при максимальному струмі.
5. **Захист:** Вбудовані захисти від перевантаження по струму та перегріву.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

4.5. Вибір та реалізація зовнішнього цифрового інтерфейсу (USB).

Для зручності роботи, кожен сучасний пристрій повинен мати інтерфейс, через який можна виконувати програмування, діагностування та налаштування. Для даного пристрою вибрано сучасний зруний інтерфейс USB type-C. Конектор Type-C можна підключати будь-якою стороною вгору, що значно спрощує процес підключення пристроїв і знижує ризик пошкодження портів. Інтерфейс USB Type-C підтримує передачу живлення до 5 В при 1.5 А або 3 А залежно від конфігурації кабелю. Це дозволяє використовувати Type-C для живлення даного пристрою.

Відповідно максимальна потужність приладу яку він зможе отримати виключно через type-c (без додаткового живлення):

$$P_{MAX} = 5V * 3A = 15Вт. \quad (4.15)$$

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

5. КОНСТРУКТОРСЬКО – ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Визначення номінального діаметра отворів

$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{мо}} + r$, (4.4) де $d_{\text{ве}}$ – діаметр вивода елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору (МО);

Δd – нижнє граничне відхилення від номінального діаметра МО,
 $\Delta d_{\text{мо}}=0,1$ мм;

r – різниця між мінімальним діаметром МО і максимальним діаметром вивода елемента, $r=0,1 \dots 0,2$ мм.

$$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{мо}} + r = 0,5 + 0,1 + 0,2 = 0,8 \text{ мм}$$

5.2 Визначення діаметра контактного майданчика (КМ)

$$D_{\text{max}} = D_{\text{minI}} + 1,5 * h_{\text{ф}} + 0,03, \quad (5.1)$$

де D_{minI} – мінімальний ефективний діаметр КМ, мм;

$h_{\text{ф}}$ – товщина фольги, $h_{\text{ф}} = 0,035$ мм. Коефіцієнт $1,5 h_{\text{ф}}$ враховує підрівнювання фольги друкованого провідника в ширину.

0,03 – КМ виготовляють комбінованим позитивним методом.

$$D_{\text{minI}} = 2 \left(b_{\text{ПО}} + \frac{d_{\text{max}}}{2} + \delta_0 + \delta_{\text{КМ}} \right) \quad (5.2)$$

де d_{max} – максимальний діаметр просвердленого отвору в ДП, мм;

$b_{\text{ПО}}$ – ширина пояска КМ, $b_{\text{ПО}}=0,05$ мм (табл.3.2);

δ_0 – похибка розташування центру отвору щодо вузла КС, $\delta_0=0,07$ мм (табл.3.3);

$\delta_{\text{КМ}}$ – похибка розташування центру КМ щодо вузла КС, $\delta_{\text{КМ}}=0,05$ (табл.3.3).

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (5.3)$$

де d – номінальний діаметр МО, мм;

Δd – допуск на діаметр отвору, $\Delta d=0,05$ мм;

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) = 0,8 + 0,05 + 0,1 = 0,95 \text{ мм.}$$

$$D_{minl} = 2 \left(b_{\text{ПО}} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_0 + \delta_{\text{КМ}} \right) = 2 \left(0,05 + \frac{0,95}{2} + 0,07 + 0,05 \right) = 1,29$$

$$D_{max} = D_{minl} + 1,5 * h_{\phi} + 0,03 = 1,29 + 1,5 * 0,035 + 0,03 = 1,37 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр КМ:

$$D_{max} = D_{min} + 0,02$$

$$D_{max} = 1,37 + 0,02 = 1,39 \text{ мм}$$

5.3 Визначення мінімальної ширини провідника

$$b_{min} = b_{\text{гпр}} + 1,5 * h_{\phi} + 0,03 \quad (5.4)$$

де $b_{\text{гпр}}$ – мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності (табл.3.2). Для 4-го класу точності ДМ $b_{\text{гпр}} 0,15$ мм;

$$b_{min} = b_{\text{гпр}} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,23 \text{ мм}$$

Звідси визначимо максимальну ширину :

$$b_{max} = b_{min} + 0,02 \quad (5.5)$$

$$b_{max} = 0,23 + 0,02 = 0,25 \text{ мм}$$

Розміщення ЕРЕ на платі регламентується умовно координатною сіткою із взаємо перпендикулярних систем паралельних ліній, розташованих на однаковій відстані одна від одної.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Кроком координатної сітки вибираємо 1,25 мм.

Для пірофосфатного електроліту $\gamma=0,25$, тому $D_{пер}=1,5*0,25=0,3$

Клас густини рисунка вибирається по ГОСТу, я обирав другий. Ширина провідників для цього класу рівне $t_{min}=0,25$ мм, а відстань між провідниками теж рівне 0,25 мм.

Визначимо товщину шини живлення. Знаючи, що сила струму рівне 0,35 А, враховуючи, що перетин провідника рівне 50мкм, і що густина струму не може бути більшою як 25 А/мм², ширина провідника буде рівним:

$$t=I_{зар}/(h * p_1)=5.00/(0.05*25)=6,25 \quad (5.6)$$

Шина землі буде виконана у якості полігонів, а також, оскільки плата має 4 слої то 2 внутрішні слої будуть використані як шина землі. Також вони будуть відігравати слоєм відводу тепла.

Розрахунок проведено із урахуванням, що максимальний струм, який при проходженні по доріжці викликає її перегрів на температуру 25°C.

#	Name	Type	Thickness	#	Thru 1:4
	Top Overlay	Overlay			
	Top Solder	Solder Mask	0.01016mm		
1	Top Layer	Signal	0.03556mm	1	
	Dielectric 2	Prepreg	0.07112mm		
2	Layer 1	Signal	0.035mm	2	
	Dielectric 1	Dielectric	1.2mm		
3	Layer 2	Signal	0.035mm	3	
	Dielectric 3	Prepreg	0.07112mm		
4	Bottom Layer	Signal	0.03556mm	4	
	Bottom Solder	Solder Mask	0.01016mm		
	Bottom Overlay	Overlay			

Рис. 5.1. Топологія друкованої плати.

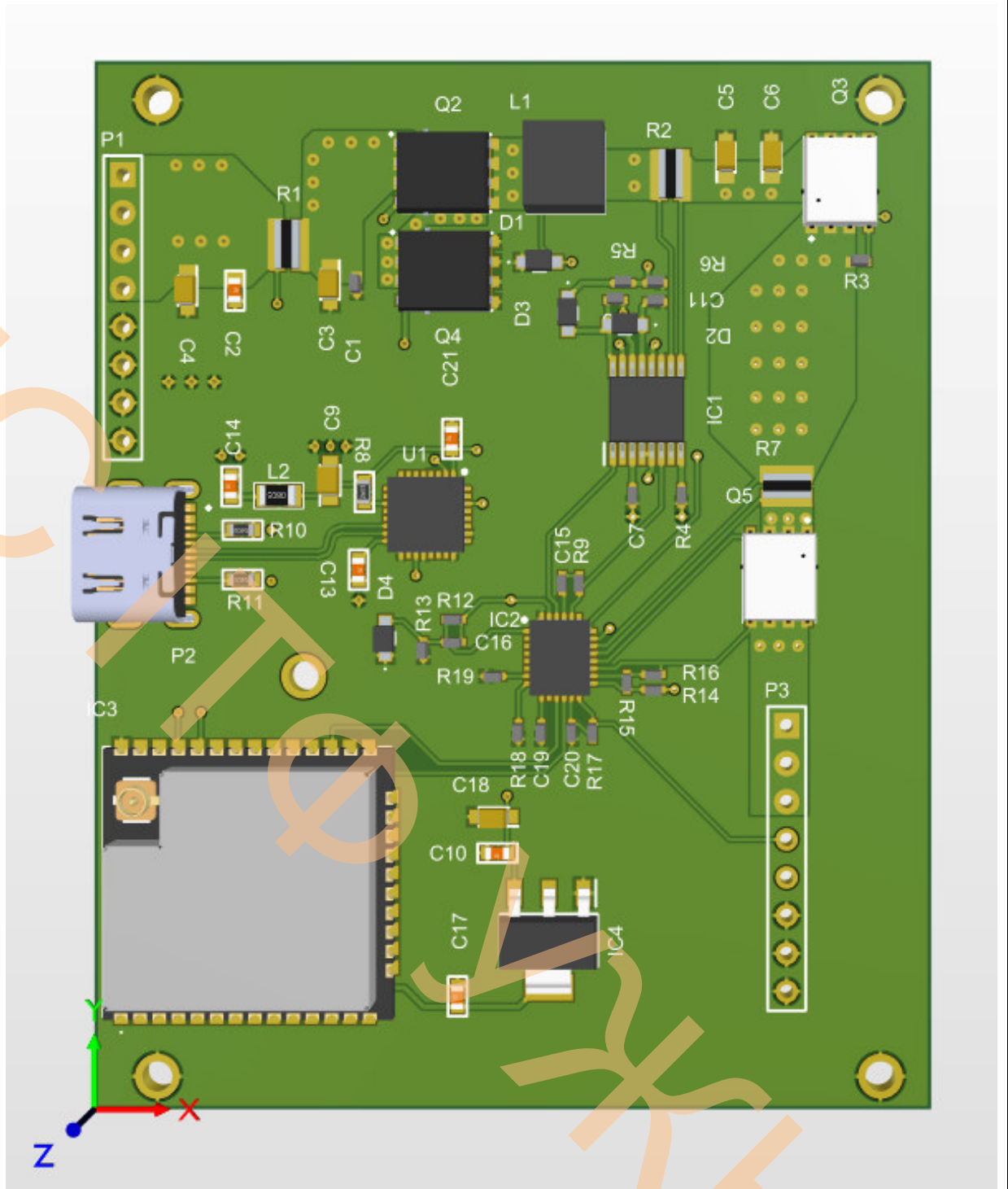


Рис. 5.2. Зовнішній вигляд спроектованої плати у середовищі проєкування.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					44
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.4. Тепловий розрахунок

Тепловий режим апаратури характеризується залежністю температури нагріву відносно навколишнього середовища від розсіювання потужності джерела енергії.

Температура навколишнього середовища дуже впливає на надійність пристрою. Цей вплив пояснюється максимально допустимою температурою інтегральних мікросхем.

Використовуючи дані, отримані у попередньому розділі проведемо аналіз потужностей розсіювання на елементах пристрою (елементи на яких за теоретичними розрахунками потужність розсіювання буде дуже малою – знехтувані).

1. Перетворювач LT3845

Втрати на польовому транзисторі:

$$P_{cond} = I_{\{charge\}}^2 \times R_{\{DS(on)\}} \times D = 52 \times 0.005 \times 0.45 = \mathbf{0.05625\ W}$$

Втрати на польовому транзисторі при переключенні:

$$P_{sw} = 0.5 \times V_{in} \times I_{charge} \times (t_{on} + t_{off}) \times f_{sw}$$

Відповідно розрахуємо:

$$P_{sw} = 0.5 \times 24 \times 5 \times 50 \times 10^{-9} \times 250 \times 10^3 = \mathbf{0.75\ W}$$

Втрати на дроселі:

$$P_{ind} = I_{charge}^2 \times R_L = 52 \times 0.01 = \mathbf{0.25\ W}$$

Втрати на діоді:

$$P_{diode} = I_{charge} \times V_f \times (1 - D)$$

$$P_{diode} = 5 \times 0.7 \times (1 - 0.45) = \mathbf{1.925\ W}$$

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Втрати на вихідному драйвері польових транзисторів:

$$P_{driver} = Qg \times V_{gate} \times f_{sw}$$

$$P_{driver} = 50 \times 10^{-9} \times 10 \times 250 \times 10^3 = \mathbf{0.125\ W}$$

Розрахуємо загальні втрати потужності на даному вузлі:

$$P = 0.05625 + 0.75 + 0.25 + 1.925 + 0.125 = \mathbf{3.10625\ W}$$

2. Контролер струму LT4000

Власне споживання контролера:

$$P_{diss_{LTC4000}} = VCC \times ICC$$

$$P_{diss_{LTC4000}} = 10.8 \times 0.005 = \mathbf{0.054\ W}$$

Отже можемо оцінити тепловантаженість плати:

Розміри плати: 50 мм×70 мм.

Матеріал: FR-4.

Кількість шарів: 4.

Товщина мідного шару: 35μм.

Загальна розсіювана потужність: $P_{total}=3.16\text{Вт}$

Площа плати – $A = 50\text{мм} \times 70\text{мм} = 3500\text{мм}^2 = 35\text{см}^2$

$$q = \frac{P_{total}}{A} = \frac{3.16\ \text{Вт}}{35\text{см}^2} = 0,09\ \text{Вт/см}^2$$

Номінальне значення теплового навантаження: Для друкованих плат з матеріалу FR-4 з активним охолодженням (вентилятори, радіатори) теплове навантаження до **0.1 Вт/см²** вважається прийнятним. Враховуючи, що у платі 2 внутрішні слої являють собою тепловідвід, то дана плата може працювати без додаткового активного охолодження при умові, що максимальний струм контролера не буде перевищувати 5А.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

5.5. Розрахунок надійності

Надійність друкованого вузлу визначається надійністю всіх елементів, що встановлюються на ДП, власне самою ДП та пайкою елементів. Відмова одного чи декількох елементів веде до відмови всієї складної ЕОА, при чому ці елементи фактично є невідновлюваними. Тому найбільш точною кількісною мірою надійності кожного конструктивного елемента є час напрацювання його до відмови. Оскільки для повної характеристики надійності необхідна густина розподілу часу безвідмовної роботи даного типу конструктивного елемента $f(t)$ та інтенсивність відмов $\lambda(t)$, то маючи ці залежності можна визначити імовірність відмови, середній час безвідмовної роботи.

Інтенсивність відмов електрорадіоелементів являється експериментальною величиною і залежить від ряду факторів – температури навколишнього середовища, теплових ударів, вологості, режиму роботи і т.д.

Для розрахунку інтенсивності відмов елемента будемо використовувати базову інтенсивність відмов λ_0 – тобто при нормальних умовах. Ця величина є експериментальною і наведена у довідниках для різних елементів. Будемо використовувати дані із джерела. Також необхідно врахувати режим роботи елементів, температурний режим та зовнішні впливи. Для цього для врахування режиму роботи елемента будемо використовувати коефіцієнт навантаження K_H , для врахування температурного режиму будемо використовувати поправочний коефіцієнт температурного режиму α_t , для врахування зовнішніх впливів - α_e . Останні два також є довідниковими значеннями, тому значення для α_t і α_e будемо використовувати із джерела.

Оскільки коефіцієнт навантаження є недовідниковим значенням, тому розрахуємо його для кожного з типів конструктивних елементів. Він визначається як відношення навантаження в робочому режимі до навантаження номінального.

$$K_H = \frac{N_{роб}}{N_{ном}} \quad (5.7)$$

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Резистори. Для резисторів $K_{н.р}$ визначається за потужністю, що розсіюється на резисторі. Цілком логічно, що найбільша потужність буде виділятися на тому з резисторів, через який протікає струм, а струм, що протікає через резистор, обернено пропорційний його опорю(чим більший опір, тим менший струм), тому розглянемо резистор з найменшим номінальним опором в приладі (1 кОм) як найгірший випадок, оскільки для інший, більших, опорів коефіцієнт навантаження буде меншим, тому взявши для всіх резисторів коефіцієнт навантаження в найгіршому випадку, ми таким чином отримаємо гірші показники, але це краще для конструкторського розрахунку, оскільки створюватиме певний запас по надійності.

$$K_{н.р} = \frac{P_{роб}}{P_{НОМ}} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{НОМ}} \quad (5.8)$$

Розраховуємо коефіцієнти навантаження:

$$K_{н.р} = \frac{P_{роб}}{P_{НОМ}} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{НОМ}} = \frac{5^2}{1000 \times 0,1} = 0,25 \quad (5.9)$$

де $U_{роб}^2$ – напруга живлення;

$P_{НОМ}$ – потужність;

R_{min} - найменший з опорів для резисторів.

Для діодів: в нашому випадку розраховуватимемо $K_{н}$ для діодів за струмом, оскільки струми, за яких працюють ці елементи, значно ближчі до максимальних значень, ніж у випадку напруги, тому вибираємо гірший випадок:

$$K_{н.р} = \frac{I_{роб}}{I_{НОМ}} = \frac{80}{150} = 0,5 \quad (5.10)$$

Транзистори: в нашому випадку максимальний струм через

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

транзистори в схемі буде рівний 50 мА, а номінальний струм транзисторів 500 мА. Оскільки напруга на транзисторі буде всього лиш 5 В, то потужність розсіювана транзисторами буде малою, тому визначаємо K_n через струми:

$$K_{н.р} = \frac{I_{роб}}{I_{ном}} = \frac{50}{500} = 0,1$$

Для конденсаторів: напруга пробою керамічних конденсаторів обраних для пристрою становить 50 В, тому розраховуємо коефіцієнт,

$$K_{н.с} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} = \frac{5}{50} = 0,1$$

де $U_{роб}$ – напруга живлення (максимальна можлива на елементі);

$U_{ном}$ – номінальна напруга пробою конденсатора.

Кварцовий резонатор: вибираємо K_n рівний 0,7, оскільки даний елемент є критично важливим для функціонування мікроконтролера, тому необхідний певний запас по надійності.

Решта елементів: для усіх інших елементів вибираємо $K_n=1$. Інтенсивність відмов друкованої плати визначатимемо як інтенсивність відмов металізованих отворів. Мікросхеми: вибираємо K_n рівний 1, оскільки мікросхеми були вибрані такими, щоб забезпечувати повне функціонування схеми, припускаючи що всі мікросхеми працюють у відповідних режимах при струмах та напругах, що забезпечують стабільне функціонування їх протягом довгого часу як гарантує даташит на кожному з мікросхем.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Дані для розрахунку часу напрацювання до першої відмови занесені до таблиці 5.3. Кліматичне виконання приладу УХЛ1.1, диктує максимальну температуру роботи в +40 °С.

Даний друкований вузол відноситься до наземної рухомої електрорадіоапаратури, тому вибираємо $\epsilon = 15$.

У Таблиці 5.3:

α_e – поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх впливів (для переносної апаратури $\alpha_e = 15$),

α_t – поправочний температурний коефіцієнт.

Показники інтенсивності відмов, що наведені в таблиці, дещо завищені, що дає змогу виконати розрахунок для «найгіршого випадку».

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів [4]

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}, \quad (5.11)$$

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					50
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.3 – Інтенсивність відмов всіх компонентів

Компонент	N	$\lambda_{oe} \cdot 10^{-8},$ год ⁻¹	K_H	a_t	a_e	$N \cdot \lambda_{oe} \cdot$ $K_H \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^{-6}$
Конденсатори	22	0,022	0,1	0,6	15	0,436
Транзистор	4	0,044	0,1	0,9	15	0,238
Резистори	15	0,044	0,25	0,6	15	1,485
Кварцевий резонатор	1	0,03	0,7	1	15	0,315
Мікросхеми	4	0,025	1	1	15	1,500
Пайка виводу	202	0,000069	1	1	15	0,209
Перехідні отвори	36	0,0375	1	1	15	20,250
Контакти роз'ємів	3	0,015	1	1	15	0,675
Друкована плата	1	0,001	1	1	15	0,015
Сумарна інтенсивність поступових відмов друкованого вузлу						31,59

Показники інтенсивності відмов взяті для найгіршого випадку, для запасу надійності.

Знайдемо результуючу інтенсивність відмов:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \approx 31,59 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1} \quad (5.12)$$

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{31,59 \cdot 10^{-6}} = 31650 \text{ год} \quad (5.13)$$

Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року:

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-31,59 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,76 \quad (5.14)$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$Q = 1 - P = 1 - 0,76 = 0,24 \quad (5.15)$$

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					52
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Перехід народного господарства на ринкові відносини має на меті створення економичних важелів для ефективного діючого виробництва як з точки зору раціонального використання ресурсів, так і з точки зору невинного прискорення науково – технічного прогресу і повного задоволення потреб виробників і споживачів.

Основним результатом постановлених задач повинно стати підвищення якості усіх видів продукції й забезпечення її конкурентноздатністю

Практичне припинення за останні роки приладобудівного виробництва, в тому числі й приладів аналітичної техніки, робить неможливи здійснити об'єктивний розрахунок економічної ефективності розробки приладу, тому її розрахунок носить оціночий характер.

Рівень якості конструкції характеризується системою техніко-економічних показників, номенклатура яких залежить від виду і призначення продукції. Для оцінки рівня якості спроектованої техніки необхідно витрати базового взірця (аналога), розрахувати показники технологічності для спроектованого приладу, заставити їх з показниками аналога. До показників технологічності відносять коефіцієнт матеріаломісткості виробу, коефіцієнт стандартизації виробу, уніфікації, коефіцієнт повторюваності складових частин, коефіцієнт збіжності.

6.1. Розрахунок собівартості виготовлення спроектованого приладу

Собівартість продукції – це витрати на її виробництво і реалізацію, що включають в себе вартість витрачених сировини і матеріалів, заробітну плату працівників, витрати по утриманню й експлуатації устаткування та інші поточні витрати.

Проведемо розрахунок собівартості виготовлення спроектованого приладу у вигляді калькуляції. Оскільки даний пристрій макет не планується для серійного виробництва, а буде виготовлятися кафедрою тільки під

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

замовлення інститутів та університетів то у даному розділі буде наведена тільки калькуляція собівартості спроектованого приладу не враховуючи витрати на заробітні плати чи інше.

Табл. 6.1.1 Калькуляція собівартості спроектованого приладу

№ п/п	Стаття Витрат	Сума, грн
1	Основні матеріали	26,24
2	Покупні комплектуючі вироби і напівфабрикати	1 255,50
3	Інші виробничі витрати	0,51

6.2. Розрахунок кількості та вартості матеріалів

Розрахунок кількості і вартості матеріалів представлений у вигляді таблиці 6.1.

Табл 6.1.2 Розрахунок кількості і вартості матеріалів що витрачаються на виготовлення спроектованого приладу

№ п/п	Найменування, матеріалу	Профіль, сорт, марка, розмір, ГОСТ, ДСТУ, ТУ	Одиниця вимірювання	Кількість, кг	Ціна за одиницю, грн	Сума
1	Мідь	Фольга, товщина 35 мкм	кг	0.00483	400	1,93
2	Текстоліт FR-4	Товщина 1.5 мм	кг	0.0107	280	2,99
3	Золото (покриття ENIG)	Товщина 0.05 мкм	кг	0.0000074	60	4,44
4	Інші витратні матеріали (свердління, травлення, паяльна маска, маркування)	-	шт	1	6.00	6.00
	Разом					15,36
	Зворотні відходи (1-5% від вартості матеріалів)					1,14
	Транспортно-заготівельні витрати (7-10% від загальної вартості матеріалів)					2,28
	Разом					26,24

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

6.3. Розрахунок кількості й вартості покупних комплектуючих

Розрахунок кількості і вартості покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів представлений у вигляді табл 6.3.1

Табл 6.3.1 Розрахунок кількості і вартості покупних комплектуючих виробів напівфабрикатів на виготовлення спроектованого приладу

№ п/п	Компонент, найменування, тип	Quantity	Ціна за одиницю, ГРН	Загальна сума, ГРН
1	ESP32-WROOM-32UE-N8	1	105.00	105.00
2	LTC4000EUFD-1#PBF	1	440.00	440.00
3	4.7µF Capacitor	7	2.00	14.00
4	0.1µF Capacitor	6	1,50	9.00
5	10µF 63V Capacitor	4	3.00	12.00
6	1.5nF Capacitor	1	1,50	1,50
7	47µF Capacitor	1	5.00	5.00
8	0.01µF Capacitor	1	1,50	1,50
9	10µF 6V Capacitor	1	3.00	3.00
10	Diode 11DQ03	2	2.00	4.00
11	Default Diode	2	1,50	3.00
12	SP0503BAHTG	1	10.00	10.00
13	LT3845IFE#PBF	1	350.00	350.00
14	Integrated Circuit	1	50.00	50.00
15	LM1117IMP-3.3_NOPB	1	20.00	20.00
16	Inductor	1	15.00	15.00
17	BLM21PG221SN1D	1	5.00	5.00
18	Header 8-Pin	2	2.00	4.00
19	USB Type C Connector	1	20.00	20.00
20	SI2300-TP MOSFET	4	3.00	12.00
21	1kΩ Resistor	1	1.00	1.00

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

22	3mΩ Resistor	2	1,50	3.00
23	10MΩ Resistor	1	1.00	1.00
24	1kΩ Resistor	3	1.00	3.00
25	182kΩ Resistor	1	1.00	1.00
26	16.2kΩ Resistor	1	1.00	1.00
27	10kΩ 1% Resistor	1	1,50	1,50
28	5.1kΩ 1% Resistor	2	1,50	3.00
29	1.1MΩ Resistor	1	1.00	1.00
30	100kΩ Resistor	1	1.00	1.00
31	127kΩ Resistor	1	1.00	1.00
32	133kΩ Resistor	1	1.00	1.00
33	1.13MΩ Resistor	1	1.00	1.00
34	24.9kΩ Resistor	1	1.00	1.00
35	22.1kΩ Resistor	1	1.00	1.00
36	FT232RQ	1	150.00	150.00
			Всього	1 255,50

Таблиця 6.3.2

	Разом				1 255,50
	Транспортно – заготівельні витрати (7-10% від загальної вартості покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів)				125,5
	Разом				1381,5

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					56
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. ЗАХОДИ ПО ОХОРОНІ ПРАЦІ ТА ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

7.1. Охорона праці.

Після обробки поверхонь деталей механічними методами (шліфовка, різка і т.д.) часто використовують ефективні хімічні методи очистки поверхні (знежирення, травлення і т.д.) - при цьому використовують небезпечні і отруйні речовини, їх вплив залежить від функціональних властивостей, агрегатного стану, класу шкідливості, часу і характеру впливу, засобів загального та індивідуального захисту.

При знежиренні використовують їдкі луги, горючі розчинники (бензин, ацетон, трихлоретан, толуол, бензол, спирти).

При травленні небезпечними є сірчана, азотна, ортофосфорна кислоти. Виникає загроза ентерального отруєння, хімічних опіків, отруєння в наслідок вдихання парів цих кислот. Процеси гальванічної обробки супроводжуються виділенням з поверхні ванн водню та кисню, що захвачують за собою пари електроліту, окиси металів, солі, органічні сполуки. Останні сильно забруднюють повітря гальванічного цеху.

Все це відповідає нормативному акту з питань охорони праці (НАОП) 1.4.32-2.63-77 (ОСТ4ГО.091.228-77): "Вимоги до ступеню очищення вентиляційних викидів з гальванічних цехів"; НАОП 1.4.32-2.58-78 (ОСТ114ГО.0.91.249-78): "Легкозаймисті, горючі, хімічно-небезпечні та шкідливі речовини. Вимоги безпеки при зберіганні, транспортуванні та використанні". Монтаж електричних схем приладів, радіоапаратури ведеться з застосуванням різних видів пайки. Кожному різновиду пайки характерні певні шкідливі і небезпечні фізичні фактори, що відрізняються як кількістю так і якістю характеристик. При цьому деякі види пайки продукують декілька таких фізичних факторів, що ведуть до погіршення здоров'я працівників, підвищення травматизму, погіршення умов праці, виникнення пожеж і вибухів. Такими

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

потенційно-шкідливими є: запиленість і загазованість повітря робочої зони; інфрачервоне випромінювання від розплавленого припою; високочастотне електромагнітне випромінювання; ультразвукове випромінювання від паяльника при пайці хвилею; дія електростатичного заряду; неоптимальна освітленість робочих зон; незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні; вплив бризг капель розплавленого припою; ураження електричним струмом.

Враховуючи не абияку шкідливість вихідних компонентів, до приміщення, де виконується паяння пред'являють особливі вимоги: НАОП 1.4.32-2.87-81 (ОСТ 25 2191-81); "Паяння свинцево олов'яними припоями. Вимоги безпеки"; НАОП 1.4.32-2.82-84 (ОСТ 25 1159-84): "виробництво друкованих плат. Вимоги безпеки".

7.2. Основні заходи безпеки та захист від шкідливих факторів

Для створення безпечних умов праці необхідно виконання відповідних заходів у відповідності з ГОСТ 12.3.008-75.

Основні вимоги безпеки технологічних процесів включають наступні аспекти:

- усунення безпосереднього контакту працюючих з матеріалами, що мають шкідливий вплив;
- заміна небезпечних і шкідливих технологічних процесів і операцій на менш небезпечні, чи зовсім безпечні;
- використання комплексної механізації і автоматизації виробництва, дистанційне управління особливо шкідливими процесами і операціями;
- раціональна організація праці і відпочинку;
- впровадження систем контролю і управління технологічними процесами, що забезпечують захист працівників (аварійне відключення виробничого обладнання);
- своєчасне видалення і знешкодження шкідливих відходів виробництва.

Важлива і обов'язкова умова забезпечення безпеки - викладення умов

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

безпеки в технологічній документації. Повнота викладу контролюється методичними вказівками: "РД 50-134-78".

Існує ряд загальних стандартів, якими треба користуватися:

-для приміщень: "Будівельні норми і правила":

- для обладнання - ГОСТ 12.2.003-74: "Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки";

-ГОСТ 12.1 .004-76 "Пожежна безпека. Загальні вимоги";

-ГОСТІ 2.1.010-76 "Вибухобезпека. Загальні вимоги".

Основні заходи по охороні праці (ОП) при роботах з хімічними речовинами і матеріалами:

- автоматизація і механізація технологічних процесів: найбільший рівень безпеки в масовому виробництві - поточні лінії: автоматизовані системи для пайки, травлення, обезжирення;

- герметизація обладнання в спеціальних боксах, шафах, що обладнані ефективною вентиляцією;

-заміна токсичних, отруйних, горючих речовин на менш небезпечні.

Від кислот і лугів захищаються гумовими або поліхлорвініловими фартухами, чоботами. При роботі з токсичними і отруйними речовинами використовують засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).

Отруйні і токсичні речовини перевозять в спеціальній тарі на тележках із швидкістю < 5 км/год.

Вдихання хімічних речовин в газоподібному стані приводить до пошкодження верхніх дихальних шляхів і до загально токсичного впливу при всмоктуванні в кров.

При різних операціях можуть поступати в атмосферу промислові речовини, що відносяться до першого класу безпеки. Так трихлоретан при дії світла перетворюється на фосген, що є дуже небезпечним.

При всіх операціях пайки в повітря можуть попадати пари олова та свинцю, пари соляної кислоти, окис вуглецю, вуглеводень та інше. Особливо шкідливий свинець та його сполуки. При попаданні в організм він акумулюється в кістках, м'язах, печінці. Результатом є свинцеве отруєння.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Пайка з використанням флюсів і їх біологічний вплив залежить від складу:

- каніфоль - подразнюючий вплив;
- спирти - наркотичний ефект;
- етиленгліколь – токсичний вплив.

Основні заходи:

1. Водонепроникна підлога з нахилом для стоку в каналізацію.
2. При ручній пайці використовувати паяльники живленням до 42 В.
3. Різні технологічні операції виконувати в різних приміщеннях.
4. Використані серветки спалюють і повторно не використовують,
5. Експлуатація цехів і приміщень тільки при наявності приточно - відточної вентиляції.
6. Не допускати до роботи з припоями осіб до 18 років і вагітних.

Для захисту шкіри рук від речовин, що входять до складу флюсів, використовують захисні мазі і пасти (мазь "Миколан", пасти - ИЕП-1, казеїнова).

Все вищеописане відповідає наступним НАОП:

- НАОП 1.4.32-2.67-84 (ОСТ 11073.062-84);
- НАОП 1.4.32-2.39-85 (ОСТ 11 120005-85);
- НАОП 1.4.32-2.21-80 (ОСТ 11 091.700-80);
- НАОП 1.4.32-2.63-77 (ОСТ4ГО. 091.228-77).

7.3. Розрахунок повітряного обміну для вентиляції

Розрахунок необхідного повітряного обміну ведеться по наступним факторам: по кількості працюючих; по надходженню в повітря робочої зони шкідливих газів, парів та пилу; по виділенню вологи; по теплонадлишкам.

По першому фактору розрахунок кількості повітря (м /год) вираховується лише при нормальному мікрокліматі і відсутності в повітрі шкідливих речовин, чи вмісту їх в межах допустимих норм.

Обмін повітря визначається по формулі:

$$L=nL' \quad (8.1)$$

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

де n - число працюючих;

L' - витрати повітря на одного працюючого (для об'ємів приміщення 20 м^3 і більше на одного працюючого).

Для $n = 50$ чол., та $L = 20 \text{ м}^3/\text{год}$ (для об'ємів приміщення 20 м^3 і більше на одного працюючого в промислових приміщеннях):

$$L = 22 * 20 = 440 \text{ (м}^3/\text{год)} \quad (8.2)$$

По другому фактору необхідний обмін повітря визначається по формулі:

$$(8.3)$$

де $q_{\text{мк}}$ - інтенсивність надходження шкідливої речовини в повітря робочої зони;

Z_1 - гранично допустима концентрація (ГДК) даної речовини (в $\text{мг}/\text{м}^3$);

Z_2 - концентрація шкідливих речовин в повітрі, що надходять (в $\text{мг}/\text{м}^3$).

Концентрація Z_2 повинна бути мінімальною, що по санітарним нормам відповідає формулі: $Z_2 < 0,3Z_1$.

Враховуючи високу шкідливість компонентів, що входять до складу припою і знаходяться в парогазовому стані, розраховується L для слідуючих елементів:

- a) свинець - клас шкідливості 1-й, ГДК в повітрі робочої зони $0,01 \text{ мг}/\text{м}^3$;
- b) олово - клас шкідливості 3-й, ГДК в повітрі робочої зони $10 \text{ мг}/\text{м}^3$;
- c) цинк - клас шкідливості 2-й, ГДК в повітрі робочої зони $0,5 \text{ мг}/\text{м}^3$;
- d) мідь - клас шкідливості 2-й, ГДК в повітрі робочої зони $1 \text{ мг}/\text{м}^3$.

$$\text{Для свинцю: } L_c = \frac{10}{0,01 - 0,3 * 0,01} = 1429 \text{ (м}^3/\text{год)} \quad (8.4)$$

$$\text{Для цинку: } (8.5)$$

$$\text{Для олова: } (8.6)$$

$$\text{Для міді: } (8.7)$$

У відповідності з СН 245-71 при одночасному надходженні в повітря приміщення декількох шкідливих речовин однонаправленої дії розрахунок вентиляції виконується сумуванням об'ємів повітря, необхідного для розбавлення кожної речовини окремо до допустимих концентрацій.

$$L = L_c + L_o + L_m + L_{\text{ц}} = 1429 + 1,4 + 28,6 + 1,4 = 1460,4 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (8.8)$$

По третьому фактору розрахунок виконується по формулі:

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$L = \frac{m \cdot q_B}{q_Y - q_H} \quad (8.9)$$

де $m = 0,8$ при висоті приміщення $n = 5 \div 3 \text{ м}$;

q_B - кількість вологи, що виділяється в приміщенні

(візьмемо $q_B = 150 \text{ г/м}^3$);

q_Y - вологомісткість повітря, що виділяється з приміщення

(візьмемо $q_Y = 130 \text{ г/м}^3$);

q_H - вологість повітря (візьмемо $q_H = 100 \text{ г/м}$)

$$L = \frac{0,8 \cdot 150}{130 - 100} = 4 \text{ (м}^3/\text{год)}$$

По четвертому фактору обмін повітря розраховують по формулі :

$$L = \frac{Q}{c \cdot (t_Y - t_n) \cdot \rho} \quad (8.10)$$

де Q - надлишок тепла в приміщенні в Дж/год;

c — теплоємність повітря в Дж/кг-К;

ρ - густина повітря в кг/м³;

t_Y і t_n температура відкачуючого і нагнітаємого повітря відповідно

$$L = \frac{150000}{1007 \cdot (30 - 20) \cdot 1,206} = 12,35 \text{ (м}^3/\text{год)} \quad (8.11)$$

Загальний необхідний повітрообмін для промислової вентиляції при виробництві спроектованого пристрою:

$$L_{\text{заг}} = 1000 + 1460,4 + 4 + 12,35 = 2476,75 \text{ (м}^3/\text{год)}. \quad (8.12)$$

7.4. Захист навколишнього середовища.

Охороні навколишнього середовища з кожним роком приділяється все більше уваги, що обумовлено в першу чергу різким зростанням шкідливих викидів, що наносять біосфері великих, часто не відновлюваних втрат.

В електронній техніці використовується широка гамма матеріалів. Вже на етапі розробки нових видів продукції слід передбачити можливість її повторної переробки. Вироби повинні мати тривалий строк використання, піддаватися ремонту та демонтажу або повторному використанню.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Одним із завдань дипломного проекту була розробка друкованої плати. Процес виготовлення друкованої плати складається з декількох етапів і характеризується використанням різних хімічних речовин. При виготовленні друкованої плати застосовується багатованнова промивка, що забезпечує раціональне використання води. При скиданні її у водоймища необхідно досліджувати як самі стоки, так і воду в водоймищі. Необхідно використовувати замкнуті водоохоронні цикли.

Обладнання для нанесення електролітичних, хімічних та анодизаційних поверхонь має відповідати вимогам до обладнання згідно ГОСТ 12.3.008 - 75 та ГОСТ 12.2.003-74.

Обладнання для низькотемпературної пайки, лудіння та робочі місця мають відповідати вимогам "Санітарні правила організації процесів пайки дрібних виробів сплавами, що містять свинець". Вони повинні мати місцеву витяжну вентиляцію, оснащену звуковою або світловою сигналізацією, що попереджає про припинення відносу повітря.

Всі пристрої для підключення та перемикання електричних кіл потрібно захищати кожухами.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

8. ВИСНОВКИ

В процесі виконання кваліфікаційної роботи магістра «Контролер високої напруги та високого струму з інтегрованим USB інтерфейсом для заряджання акумуляторів», виходячи із поставлених у технічному завданні вимог, проведений повний аналіз завдання та мети роботи, а також критичний огляд існуючих аналогів, на основі чого:

- Розроблена електрична структурна схема приладу;
- Спроектована електрична принципова схема контролера струму.
- Розроблена друковані плати приладу у середовищі Altium Designer.
- Були проведені базові розрахунки.
- Вибрана сучасна та доступна елементна база для проектування схеми.

Одержані результати не виходять з рамок магістерської роботи і достатні для проведення проектно-конструкторських робіт по проектуванню контролера напруги та струму з інтегрованим USB інтерфейсом для заряджання акумуляторів.

До основних параметрів та характеристик проектованого пристрою можемо віднести наступні:

- Відсутність аналогів на ринку;
- Можливість використання в пристроях з акумуляторним живленням, таких як промислове обладнання, системи резервного живлення, медичні пристрої, портативна електроніка;
- Управління зарядним струмом і напругою акумулятора.
- Інтелектуальний розподіл потужності (PowerPath) між вхідним джерелом, акумулятором та системним навантаженням.
- Контроль рівня заряду акумулятора.
- Захист від перевантаження по струму, перенапруги та перегріву.
- Функція автоматичного підзаряджання акумулятора.
- Виявлення несправного акумулятора.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

9. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Analog Devices. *Understanding Li-Ion Battery Charging*. Доступно онлайн: <https://www.analog.com>.
2. Texas Instruments. *Battery Management Systems*. Доступно онлайн: <https://www.ti.com>.
3. Battery University. *Types of Lithium-Ion Batteries*. Доступно онлайн: <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>.
4. ScienceDirect. *LiFePO₄ Battery Characteristics and Applications*. Доступно онлайн: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2405829716300055>.
5. IEEE Access. *Comparative Analysis of LiFePO₄ and Li-Pol Batteries*. Доступно онлайн: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8766145>.
6. Nature Energy. *Advances in LiFePO₄ Battery Safety and Longevity*. Доступно онлайн: <https://www.nature.com/articles/s41560-018-0195-y>.
7. MDPI Batteries. *LiFePO₄ vs. Li-Pol: Performance and Environmental Impact*. Доступно онлайн: <https://www.mdpi.com/2313-0105/5/1/2>.
8. Journal of Power Sources. *Applications of LiFePO₄ Batteries in Renewable Energy Systems*. Доступно онлайн: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-power-sources>.
9. Texas Instruments BQ24650. *High-Efficiency Li-Ion and Li-Pol Battery Charger Controller*.
10. Analog Devices LTC4015. *Multicell Li-Ion Battery Charging Controller with PowerPath Control*.
11. Microchip MCP73123. *Single-Cell Lithium-Ion/Lithium-Polymer Battery Charger with Integrated FET*.
12. STMicroelectronics STC4054. *Linear Li-Ion Battery Charger Controller*.
13. Renesas ISL78692. *Single-Cell Li-Ion and Li-Polymer Battery Charger for Portable Applications*.
14. Herbert C.G., Johnstone R.A.W. *Mass Spectrometry Basics*. CRC Press, New York, 2002.

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

15.Lodish H.F., Berk A., Zipursky S.L. et al. *Molecular Cell Biology*. Macmillan Learning, New York, 2013.

КРЕДИТ ФАКУЛТАТУ

	Виконав				КРМ.ЕС 11287157.01 ПЗ	Арк.
	Керівник					66
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ

Тарас ЗАЯЦЬ

студента (-ки) 2 курсу
спеціальності ЕС
Магули М.Ю,
(прізвище, ініціали)

ЗАЯВА

ЩОДО САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ/КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧЕМ ОСВІТИ

Я, Магула Михайло Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові),

Студент(-ка) 2 курсу, ІТФ, ЕС

(форма навчання, факультет, курс)

заявляю: моя письмова робота на тему: Контролер високої напруги та високого високого струму з інтегрованим USB інтерфейсом для заряджання акумуляторів.

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату.

Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше робіт мають відповідні посилання. Я ознайомлений(а) з діючим Положенням, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску навчальної/кваліфікаційної роботи до захисту та притягнення до академічної відповідальності.

09.12.24

Дата

Магула

Підпис

Додаток 2.

ДОВІДКА
про результати перевірки на унікальність
кваліфікаційної, навчальної (курсної) роботи

Автор роботи	Магула М.Ю.
Назва роботи	Контролер високої напруги та високого струму з інтегрованим USB інтерфейсом для заряджання акумуляторів
Спеціальність	ЕС
Курс	2
Факультет	ІТФ
Кафедра	ЕС
Керівник роботи	Рубіш В.М.
Роботу перевірено в програмі	Unichack
Додано до бази даних	Так
Ідентифікаційний номер роботи	
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ	0%
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	0%

Відповідальна особа/
Науковий керівник роботи

Рубіш В.М.

(прізвище, ініціали)

09.12.24

Дата

Василь РУБІШ

Підпис



Автентифіковано засобом перевірки на плагіат ANTIPLA
Дата видачі: вівторок, 17 грудня 2024, 11:17
Доступно через www.antip.la

Плагіатограма

Результат (відсоток плагіату)

0%

Назва документу

Магула Михайло.docx

Кількість символів

15,000

Кількість спеціальних символів

103

Кількість слів

1,897

Унікальна кількість слів

1,071

Кількість речень

157

Найпоширеніші слова

та, на, до, струму, заряджання

Найдовше слово

Температурно-кваліфіковане

Середня довжина слова

6.9

Середня кількість слів у реченні

12.1

Всього посилань

0

Кількість слів із плагіатом

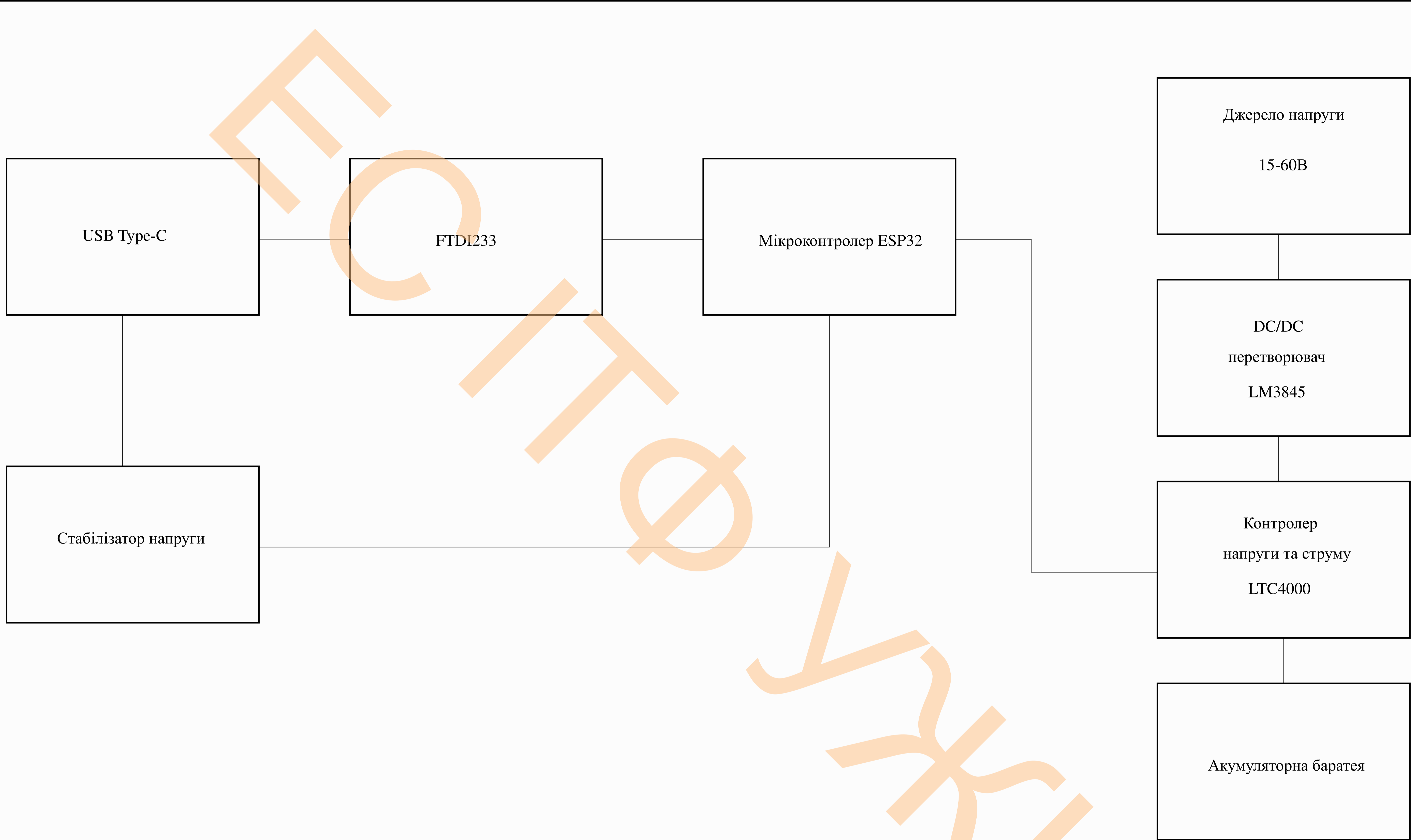
0

17.12.2024

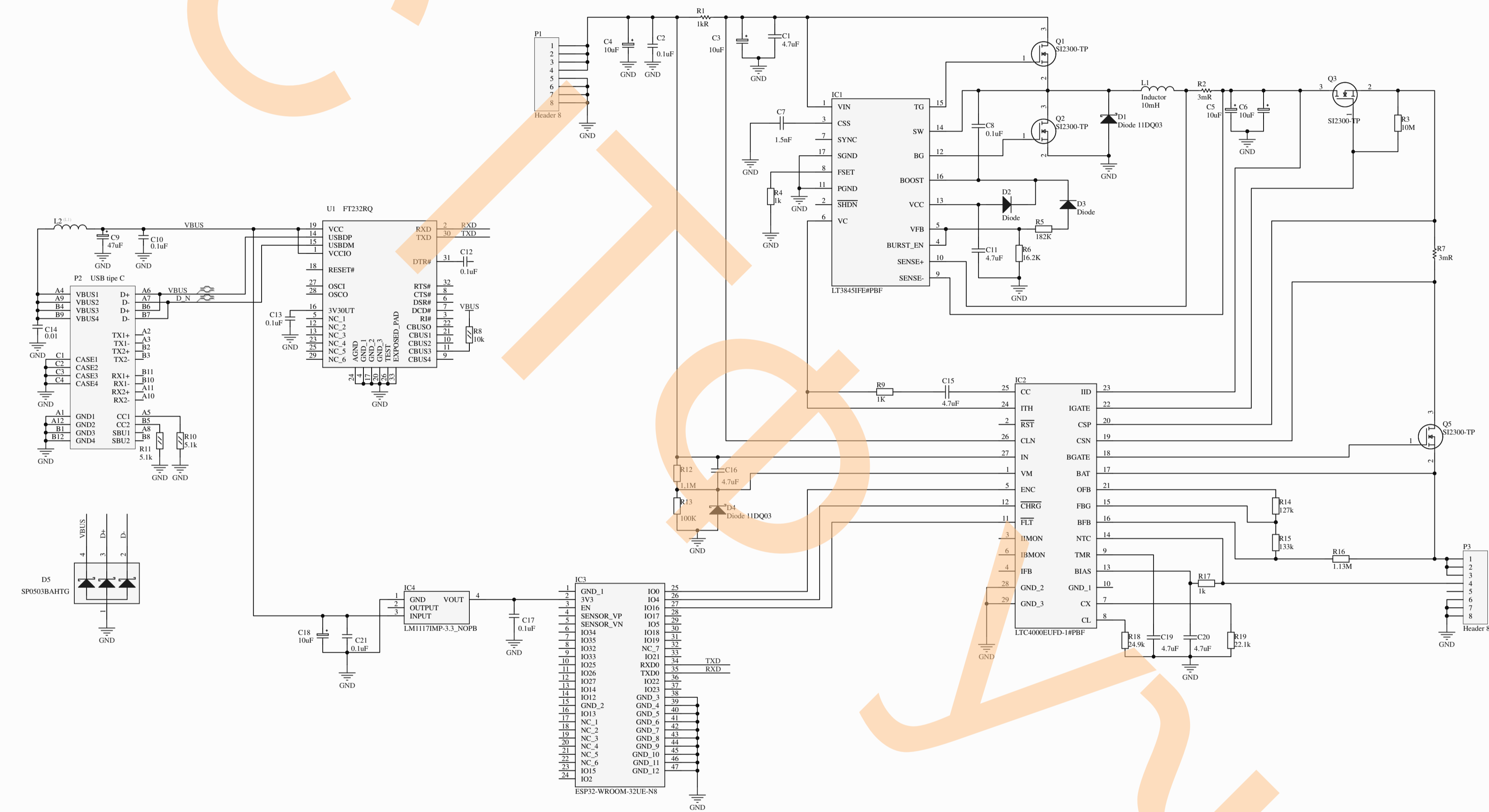
(дата)

Михайло Юрійович Магула

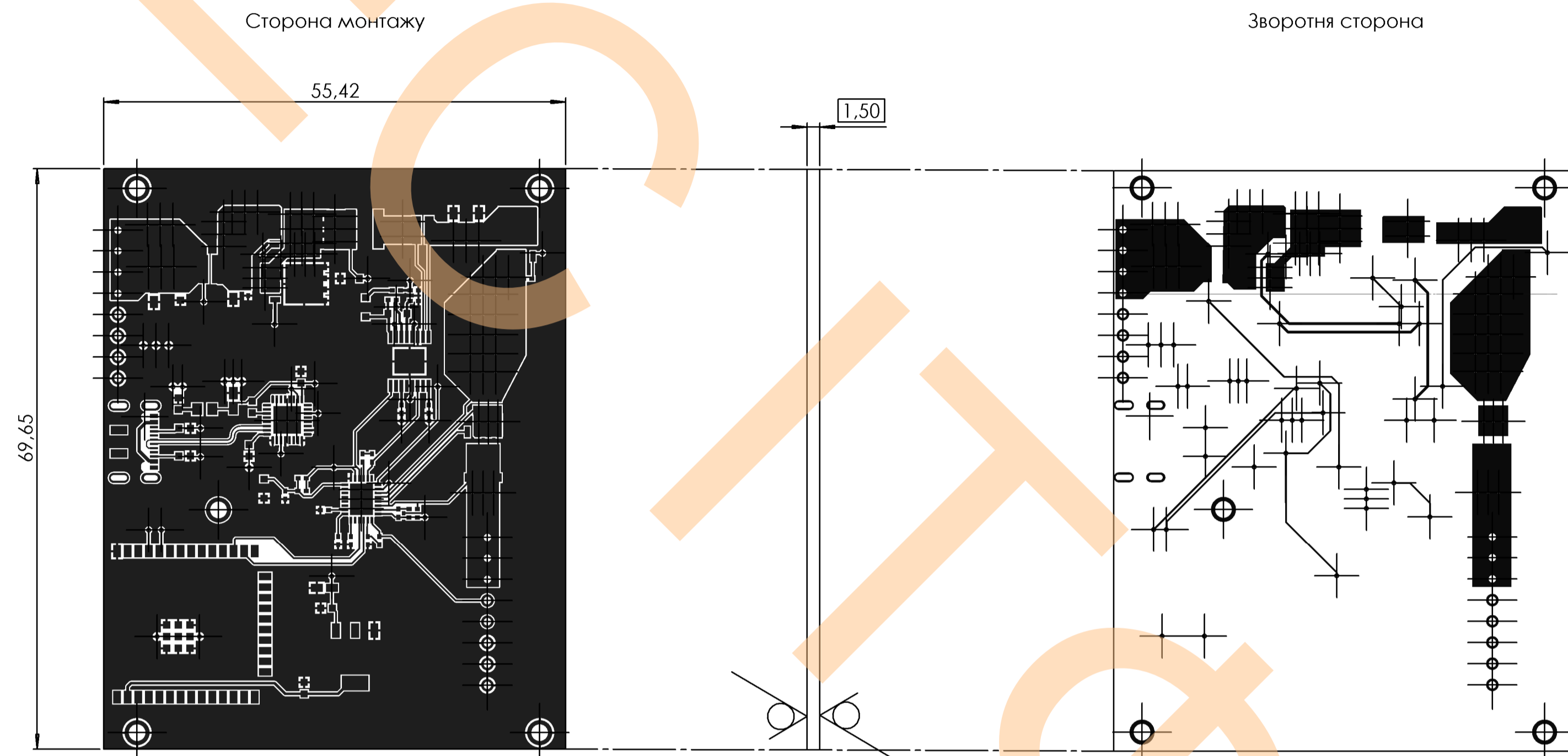
(перевірив)



					KPM.EC. 11287157 001 E1		
					Контролер високої напруги та високого струму з інтегрованим USB інтерфейсом для зарядження акумуляторів		
					Схема електрична структурна		
Зм.	Арк.	№ докум.	Повис	Дата	Літера	Маса	Масштаб
Розробив	Магула М.Ю.				Н		5:1
Перевірив	Рубін В.М.				Аркуш		Аркушів
Н. Коопр	Паш О.В.				УжНУ, ІТФ, курс 2		
Затвердив	Заць Т.М.				гр. ЕС		

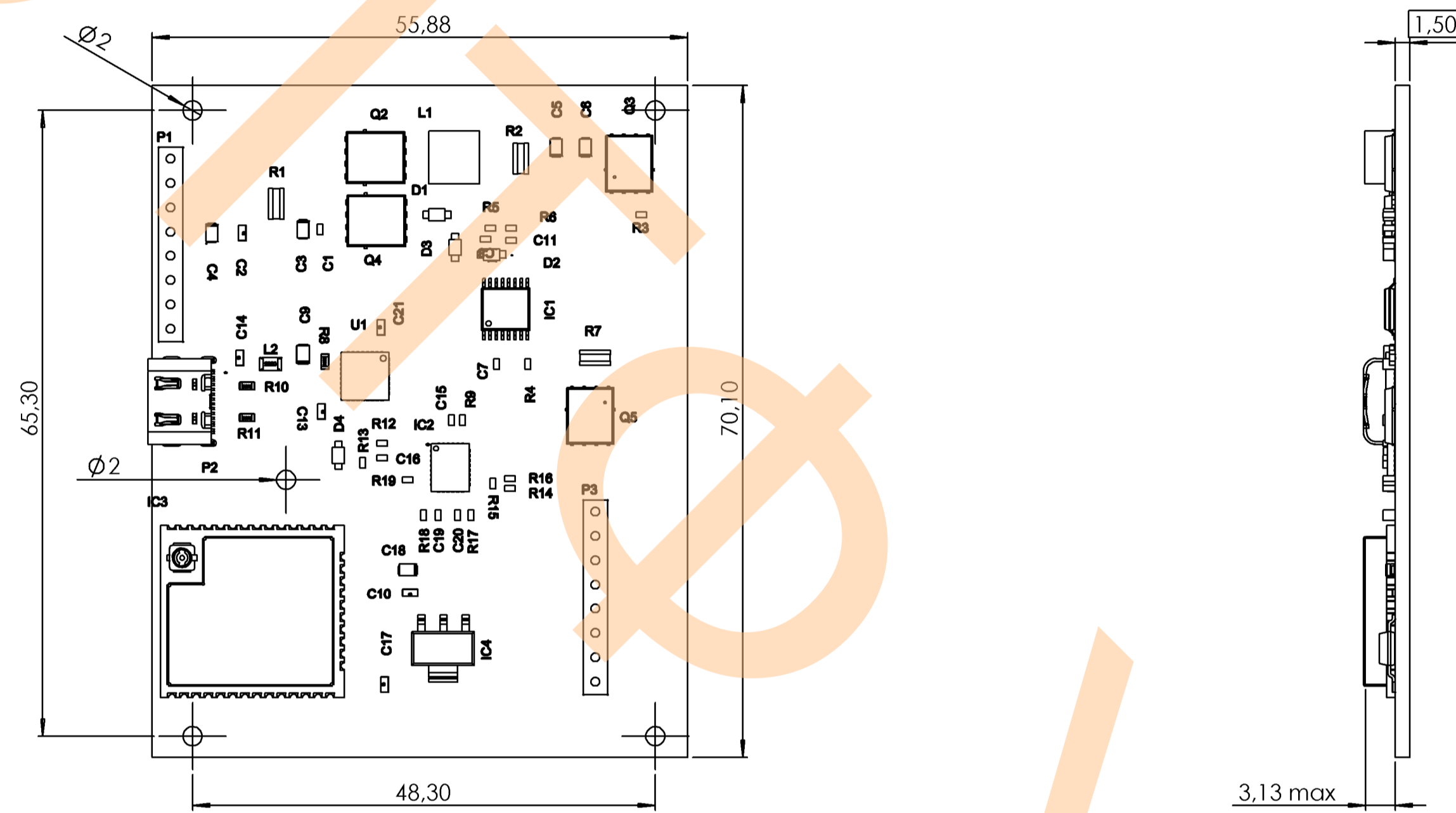
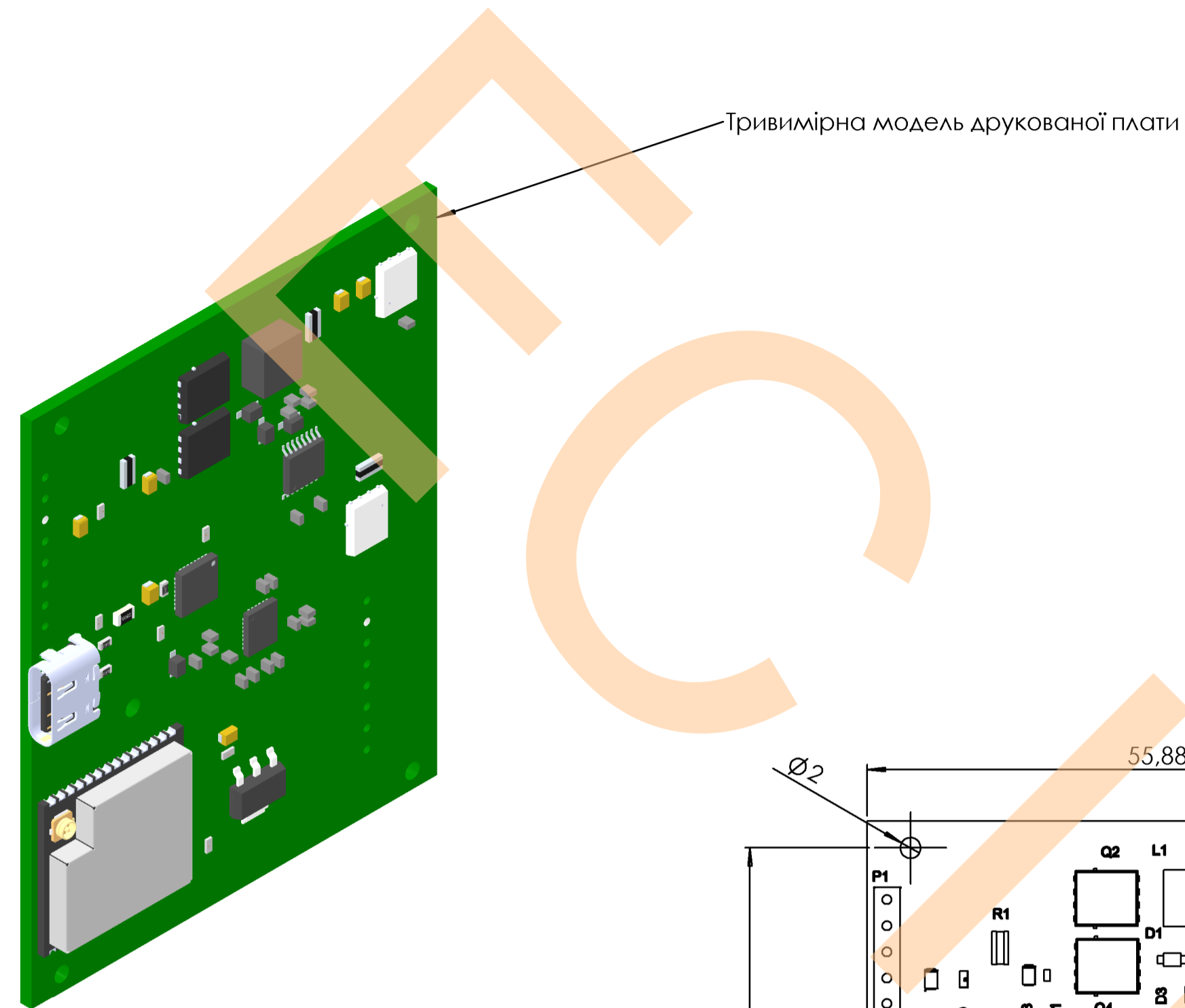


					КРМ.ЕС. 11287157 001 Е3		
					<i>Контролер високої напруги та високого струму з інтегрованим USB інтерфейсом для заряджання акумуляторів</i>		
					Схема електрична принципова		
					<i>Літера</i> <i>Маса</i> <i>Масштаб</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арх.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Н</i>		<i>1:1</i>
					<i>Архив</i> <i>Архив</i>		
					<i>УсхНУ, ІТФ, курс 2</i>		
					<i>гр. ЕС</i>		



- Плату виконати комбінованим методом: SMT-монтаж для всіх компонентів, окрім трьох роз'ємів, які встановлюються методом THT (монтаж в отвори).
- Крок координатної сітки: 1.25 мм для всіх елементів.
- Товщина фольги: 35 мкм.
- Покриття друкованої плати:
Виконати покриття за технологією ENIG (Electroless Nickel Immersion Gold) для забезпечення надійності контакту SMT-компонентів.
- Отвори для роз'ємів:
Виконати металізовані отвори діаметром відповідно до вимог роз'ємів.
- Відповідність геометричних розмірів та допусків згідно ГОСТ 23752-79.
- Паяння: Паяльні зони для SMT-компонентів виконати відповідно до вимог IPC-7351 для посадкових місць.
- Виконання згідно IPC-A-600 для друкованих плат класу 2 (для комерційного обладнання).

КРМ.ЕС.11287157.001 ДП					Літ.	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Н		2:1
Розроб.	Магула М.Ю.						
Перев.	Рубіш В.М.						
ДРУКОВАНА ПЛАТА					Арк.	Аркуші 1	
Н. контр.	Папп О.В.				УжНУ, ІТФ, ІІ курс, гр. ЕС		
Затв.	Зяць Т.М.						



1. Електромотаж виконувати відповідно до IPC-A-610 класу 2.
2. Паяння виконувати методом оплавлення (Reflow) для SMT-компонентів. Для ТНТ-роз'ємів використовувати безсвинцевий припій SAC305 (Sn96.5Ag3.0Cu0.5) відповідно до стандарту IPC J-STD-006.
3. Розміри для довідок.
4. Друковані провідники виконані відповідно до IPC-2221. Плату після складання покрити захисним лаком типу ЕП 572, білим ТУ 6-10-1539-76.
5. Маркування елементів наносити шовкотрафаретним методом фарбою ЧМ (чорний) або БМ (білий) згідно ТУ 029-02-859-78.
 - Шрифт 2.5 мм відповідно до НО 010.007.
 - Місця розміщення маркування показані умовно.
6. Ключові компоненти та роз'єми встановлювати вручну після SMT-мотажу.
7. Всі відстані між компонентами мають відповідати мінімальним технологічним зазорам згідно IPC-SM-782.
8. Перевірка складання плати:
 - Візуальний контроль під мікроскопом для SMT.
 - Контроль якості пайки ТНТ роз'ємів за ГОСТ 19257-73.
9. Загальна чистота плати після складання відповідно до IPC-5704.
10. Технологічні отвори для монтажу або кріплення плат передбачити згідно конструктивного рішення.

					KPM.EC.11287157.001 СК			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Контролер високої напруги та високого струму з інтегрованим USB інтерфейсом для заряджання акумуляторів	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Магула М.Ю							2:1
Пров.	Рубіш В.М.					СКЛАДАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ		
					Аркуш 1	Аркушів 1		
Н. контр.	Папп О.В.				УжНУ, ПФ, II курс, гр. ЕС			
Затв.	Заяць Т.М.							

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
<u>Конденсатори</u>			
C1, C8, C11, C15, C16, C19, C20	CAP CER 4.7UF 16 V X5R 0402	7	Murata GRM155R60J475ME47
C2, C10, C12, C13, C17, C21	TDK 100nF MLCC 25V ±10% 0603	6	TDK CGA3E2X7R1E104K080A
C3, C4, C5, C6	CAP TANT 10UF 6.3V 0805	4	Vishay TAJR106M006RNJ
C7	CAP CER 1.5nF 6.3V 0402	1	Murata GRM155R60J475ME47D
C9	CAP TANT Solid 47uF 6.3V	1	KEMET T525B476M006ATE080
C14	CAP CER 0.01uF 50V X7R 0603	1	Samsung CL10B103KB8NCNC
C18	CAP TANT 10UF 6V 0805	1	Vishay TAJR106M006RNJ
<u>Діоди</u>			
D1, D4	Schottky Rectifier	2	
D2, D3	1N4007	2	
D5	ESD Suppressor TVS 5.5V SOT-143	1	Littelfuse SP0503BAHTG
<u>Мікросхеми</u>			
IC1	LT3845IFE#PBF	1	Analog Devices
IC2	LTC4000EUFD-1#PBF	1	Analog Devices
IC3	ESP32-WROOM-32UE-N8	1	Espressif
IC4	LM1117IMP-3.3_NOPB	1	Texas Instruments
U1	FT232RQ-REEL	1	FTDI
<u>Дроселі</u>			
L1	Inducto 1mH	1	Coilcraf
L2	Ferrite Beads 220Ohm 0805	1	Murata BLM21PG221SN1D

KPM.EC.11287157.01 ПЕ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Магула М.Ю			Контролер високої напруги та високого струму з інтегрованим USB інтерфейсом для заряджання акумуляторів Перелік елементів	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Рубіш В.М.				У	1	2
Т. контр.						УжНУ, ІТФ, гр. ЕС		
Н/Контр.		Панн О.В.				2 курс		
Затвердив		Заяць Т.М.						

