

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Система контролю акумулятора 3.7-24 В з дистанційним керуванням

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РАС-41

спеціальності

172"Електронні комунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Підгурський В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яськів В.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 28 » квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172"Електронні комунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності)

студенту Підгурському Владиславу Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням

Керівник роботи Яськів Володимир Іванович, доктор. тех. наук. проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «28» 04 2026 року № 4/9-198

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24.06.2026

3. Вихідні дані до роботи: Система контролю заряду акумулятора 3,7–24 В з дистанційним керуванням повинна забезпечувати контроль основних параметрів процесу заряду акумулятора вимірювання напруги та струму, відображення інформації на індикаторному модулі, передачу даних через модуль дистанційного керування, підключення до USB інтерфейсу для обміну даними та налагодження, а також дистанційне регулювання напруги та струму

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Основна частина

2. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема системи контролю акумулятора

2. Схема електрична принципова системи контролю акумулятора

3. Друкований вузол системи контролю акумулятора

4. Креслення друкованої плати системи контролю акумулятора

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	<i>Барановський В.М., д.т.н., проф. каф. МТ</i>		

7. Дата видачі завдання 12.03.2026**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка та затвердження технічного завдання	12.03.2026	
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	14.03.2026	
3	Аналіз існуючих систем контролю заряду акумуляторів та пристроїв дистанційного керування	21.03.2026	
4	Розробка структурної схеми системи контролю заряду акумулятора 3,7–24 В з дистанційним керуванням	23.03.2026	
5	Розробка електричної принципової схеми пристрою	10.04.2026	
6	Вибір та обґрунтування елементної бази системи контролю заряду акумулятора	12.04.2026	
7	Розробка алгоритму роботи мікроконтролерного вузла та опис принципу функціонування пристрою	16.04.2026	
8	Розрахунок основних вузлів схеми та параметрів роботи системи контролю заряду	22.04.2026	
9	Розрахунок надійності пристрою та параметрів друкованого монтажу	02.05.2026	
10	Компонування елементів і трасування друкованої плати системи контролю заряду акумулятора	15.05.2026	
11	Перевірка конструкції друкованої плати, уточнення посадкових місць та параметрів друкованого вузла	23.05.2026	
12	Розробка конструкторської документації на систему контролю заряду акумулятора 3,7–24 В	03.06.2026	
13	Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці	09.06.2026	
14	Нормоконтроль	10.06.2026	
15	Попередній захист кваліфікаційної роботи	11.06.2026	
16	Перевірка роботи на антиплагіат	13.06.2026	
17	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2026	

Студент

_____ (підпис)

Підгурський В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Яськів В.І.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Система контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням». Кваліфікаційна робота бакалавра / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РАс-41. // Тернопіль, 2026 р. // с.-68, рис.-7, табл.-5, бібліогр.-35, додат.-7.

Ключові слова: СИСТЕМА КОНТРОЛЮ АКУМУЛЯТОРА, ESP8266, INA226, UC3843, XL4016, ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ, ДРУКОВАНА ПЛАТА, ALTIUM DESIGNER.

У роботі проведено аналіз завдання щодо розробки системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням та обґрунтовано актуальність роботи.

Здійснено аналіз існуючих рішень для контролю параметрів акумуляторів, визначено їх основні переваги й недоліки. Обґрунтовано доцільність розробки пристрою, який поєднує вимірювання напруги та струму, локальну індикацію і передавання даних через Wi-Fi.

Розроблено структурну та електричну принципову схеми пристрою. Виконано розрахунок вимірювального вузла, вибір елементної бази, опис алгоритму роботи системи, компоновання друкованого вузла, розрахунок надійності та параметрів друкованого монтажу.

У середовищі Altium Designer виконано розробку друкованої плати системи контролю акумулятора. Розглянуто питання безпеки життєдіяльності й охорони праці під час розробки, налагодження та експлуатації пристрою.

ANNOTATION

Topic of the qualification work: “3.7-24 V battery monitoring system with remote control”. Bachelor’s qualification work / Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RAs-41. // Ternopil, 2026. // p.-68, fig.-7, tabl.-5, ref.-35, app.-7.

Keywords: BATTERY MONITORING SYSTEM, ESP8266, INA226, UC3843, XL4016, REMOTE CONTROL, PRINTED CIRCUIT BOARD, ALTIUM DESIGNER.

The work analyzes the task of developing a 3.7-24 V battery monitoring system with remote control and substantiates the relevance of the work.

Existing solutions for monitoring battery parameters were analyzed, and their main advantages and disadvantages were determined. The feasibility of developing a device that combines voltage and current measurement, local indication and data transmission via Wi-Fi was substantiated.

Structural and electrical schematic diagrams of the device were developed. The measuring unit was calculated, the component base was selected, the system operation algorithm was described, and the PCB layout, reliability and printed circuit parameters were determined.

The printed circuit board of the battery monitoring system was developed in Altium Designer. Life safety and occupational safety issues during the development, adjustment and operation of the device were considered.

Зміст

Вступ.....	
1 Основна частина.....	
1.1 Аналіз технічного завдання.....	
1.2 Розробка структурної схеми пристрою.....	
1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою	
1.3.1 Опис електричної принципової схеми	
1.3.2 Розрахунок вузла електричної принципової схеми пристрою	
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази	
1.4.1 Опис та блок-схема алгоритму роботи системи	
1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази.....	
1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу	
1.5.1 Компоновка друкованого вузла	
1.5.2 Розрахунок надійності проєктованого виробу	
1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу	
1.6 Висновок до розділу 1	
2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	
2.1 Пожежна небезпека під час експлуатації системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням	
2.2 Захисне вимикання та контроль ізоляції під час налагодження системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням.....	
2.3 Висновок до розділу 2	
Висновки	
Список використаних джерел	
Додатки	

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Підгурський В.В.</i>			Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		<i>Яськів В.І.</i>				6	
Рецензент					<i>ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41</i>		
Н. Контр.		<i>Хвостівська Л.В.</i>			<i>Система контролю акумулятора 3,7- 24 В з дистанційним керуванням Пояснювальна записка</i>		
Затверд.		<i>Дценець В.Л.</i>					

Вступ

Розвиток автономних електронних пристроїв безпосередньо пов'язаний із використанням акумуляторних джерел живлення. Акумулятори застосовуються у портативній техніці, системах зв'язку, вимірювальних пристроях, резервному живленні, охоронних системах, засобах автоматизації та інших електронних вузлах. Для стабільної роботи таких пристроїв важливо не лише забезпечити живлення, а й контролювати основні параметри акумулятора: напругу, струм, режим заряджання та загальний стан електричного кола.

Особливо актуальним є контроль акумуляторів із різними номінальними напругами. На практиці можуть використовуватись як одиничні літій-іонні елементи з напругою 3,7 В, так і акумуляторні збірки або джерела живлення з вищою напругою. Через це пристрій контролю повинен мати достатньо широкий робочий діапазон, бути придатним для роботи з акумуляторами 3,7-24 В і забезпечувати зручний контроль їхніх параметрів під час експлуатації.

Неправильний режим заряджання або відсутність контролю струму й напруги може призвести до зниження ресурсу акумулятора, перегрівання елементів, нестабільної роботи підключеного обладнання або виникнення аварійного режиму. Тому розробка системи, яка дозволяє відстежувати електричні параметри акумулятора і керувати роботою пристроєм дистанційно, є актуальним завданням для сучасної радіоелектронної апаратури.

Тема кваліфікаційної роботи - «Система контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням». Розроблюваний пристрій призначений для контролю параметрів акумулятора в заданому діапазоні напруг, відображення основних електричних величин, забезпечення роботи вимірювального вузла та організації дистанційної взаємодії з користувачем. За технічною суттю система орієнтована на контроль процесу роботи акумулятора, зокрема під час заряджання, коли важливими є значення напруги, струму та стан силових кіл.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		7

До складу системи входять силовий вузол живлення, імпульсний перетворювач, понижувальний DC/DC-перетворювач, вузол вимірювання напруги та струму, модуль дистанційного керування, USB-інтерфейс, індикаторний модуль, а також елементи захисту, фільтрації та комутації. Така структура дає змогу поєднати в одному пристрої функції перетворення напруги, контролю електричних параметрів, індикації та дистанційного керування.

Одним із важливих вузлів системи є вимірювальна частина, яка забезпечує контроль напруги та струму акумулятора. Отримані дані можуть використовуватись для оцінки режиму роботи пристрою і стану підключеного акумулятора. Для зручності користувача передбачено індикаторний модуль, на якому можуть відображатися основні параметри. Наявність модуля ESP8266 дозволяє реалізувати дистанційне керування та обмін даними без постійного фізичного доступу до пристрою.

Під час розробки системи важливе значення має правильний вибір елементної бази та конструкції друкованого вузла. У схемі використовуються як малогабаритні SMD-компоненти, так і вивідні силові елементи: трансформатор, дроселі, електролітичні конденсатори, силові діоди, транзистори та роз'єми. Через це друкована плата повинна забезпечувати надійне розміщення компонентів, достатню ширину силових провідників, електроізоляційні відстані між різними ділянками схеми та зручність подальшого монтажу.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням, яка забезпечує контроль електричних параметрів акумулятора, відображення інформації, дистанційну взаємодію з користувачем та підготовку конструкторської документації на пристрій.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		8

- проаналізувати технічне завдання та визначити основні вимоги до системи контролю акумулятора;
- розробити структурну схему пристрою та визначити призначення його основних функціональних вузлів;
- описати роботу електричної принципової схеми системи;
- виконати розрахунок одного з основних вузлів електричної принципової схеми;
- обґрунтувати вибір компонентної бази пристрою;
- описати загальний алгоритм роботи системи;
- виконати компонування друкованого вузла;
- провести розрахунок надійності проектованого виробу;
- визначити параметри друкованого монтажу;
- розглянути питання безпеки життєдіяльності та охорони праці під час експлуатації й налагодження пристрою.

Об'єктом розробки є процес контролю параметрів акумулятора в електронній системі з дистанційним керуванням.

Предметом розробки є апаратна частина системи контролю акумулятора 3,7-24 В, яка включає силовий вузол, вимірювальну частину, модуль дистанційного керування, індикацію та друкований вузол пристрою.

Під час виконання кваліфікаційної роботи використано середовище автоматизованого проектування Altium Designer. У цьому середовищі виконується створення бібліотечних компонентів, побудова електричної принципової схеми, розміщення елементів на друкованій платі, трасування з'єднань, перевірка проекту та підготовка графічної частини конструкторської документації. Використання САПР дозволяє зменшити кількість помилок під час проектування та забезпечити узгодженість між схемотехнічним і конструктивним етапами роботи.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		9

1. ОСНОВНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз технічного завдання

Вхідна напруга живлення.....	220 В змінного струму
Вихідна напруга.....	1,25-28 В постійного струму
Діапазон контрольованої напруги акумулятора	3,7-24 В
Максимальний робочий струм.....	до 10 А
Розрахункова потужність контрольованого кола	до 240 Вт
Тип передавання даних.....	Wi-Fi
Тип індикації.....	OLED-дисплей 128×64
Основні індикатори стану	Світлодіоди
Габаритні розміри друкованої плат.....	180×107,5 мм

Технічне завдання на кваліфікаційну роботу передбачає розробку системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням. Розроблюваний пристрій призначений для контролю основних електричних параметрів акумулятора, зокрема напруги та струму, а також для передавання інформації користувачу через бездротовий канал зв'язку. За технічною суттю система орієнтована на контроль акумулятора під час роботи та заряджання, коли важливо відстежувати вихідну напругу, струм, стан силового кола та режим роботи пристрою.

Необхідність розробки такої системи пов'язана з тим, що акумуляторні джерела живлення застосовуються в різних електронних пристроях і можуть мати різні робочі напруги. У практичних умовах часто потрібно контролювати як одиничні акумуляторні елементи, так і акумуляторні збірки з вищою напругою. Тому в технічному завданні передбачено діапазон контролю акумулятора від 3,7 до 24 В. Такий діапазон дає змогу використовувати систему для роботи з різними типами акумуляторних джерел. Вхідна напруга живлення становить 220 В змінного струму, тому в конструкції необхідно

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

передбачити вхідний захист, фільтрацію, випрямлення та перетворення напруги. Вихідна напруга системи може регулюватися в межах 1,25-28 В постійного струму, що дає змогу використовувати пристрій для контролю акумуляторів з номінальною напругою 3,7-24 В.

Максимальний робочий струм системи приймається до 10 А. Для такого струму важливо забезпечити достатню ширину силових провідників на друкованій платі, надійне підключення вихідних кіл і нормальний тепловий режим силових елементів. Розрахункова потужність контролюваного кола при напрузі 24 В і струмі 10 А становить до 240 Вт. Це значення використовується як орієнтир під час аналізу силової частини та компонування друкованого вузла.

Вузол вимірювання напруги та струму виконується на мікросхемі INA226. Вона дає змогу контролювати параметри акумулятора та передавати вимірянні дані до керуючої частини системи. Для вимірювання струму використовується шунт, який у розрахунку приймається із запасом до 15 А. Такий запас потрібний для зменшення теплового навантаження на шунтувальні резистори та підвищення надійності роботи вимірювального вузла.

Передавання даних і дистанційне керування реалізуються за допомогою модуля ESP8266. Використання Wi-Fi дає змогу отримувати інформацію про стан акумулятора без постійного фізичного доступу до пристрою. Це підвищує зручність експлуатації, особливо у випадках, коли система розміщена всередині корпусу або використовується в складі іншого електронного обладнання.

Для налагодження та службового обміну даними у пристрої передбачено USB-UART інтерфейс. Він використовується для підключення системи до комп'ютера, перевірки роботи цифрової частини, програмування та діагностики. Наявність такого інтерфейсу спрощує етап розробки й подальшого обслуговування пристрою.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		11

Локальне відображення інформації виконується за допомогою OLED-дисплея 128×64. Такий індикатор має невеликі габарити та достатню інформативність для виведення основних параметрів системи. Додатково в схемі передбачено світлодіоди HL1-HL4, які можуть використовуватися для індикації режимів роботи, стану живлення, обміну даними або службових станів під час налагодження.

Конструктивно система виконується на двосторонній друкованій платі з металізованими отворами. Таке рішення є доцільним, оскільки на платі розміщуються як силові елементи, так і цифрові вузли, індикатор, роз'єми, вимірювальна частина та елементи фільтрації. Двостороння плата спрощує трасування, дозволяє раціонально розділити силові й сигнальні кола та зменшує кількість перемичок.

Габаритні розміри друкованої плати становлять 180×107,5 мм. Така площа дозволяє розмістити вхідний вузол живлення, імпульсний перетворювач, понижувальний перетворювач, модуль ESP8266, USB-UART інтерфейс, OLED-індикатор, вимірювальний вузол і вихідні контакти без надмірного ущільнення монтажу. Також ці розміри залишають можливість для розміщення силових провідників більшої ширини та дотримання необхідних ізоляційних відстаней.

Під час розробки важливо врахувати сумісну роботу силової та цифрової частин. Силові кола повинні бути розміщені так, щоб не створювати надмірних завад для ESP8266, INA226, USB-UART інтерфейсу та індикаторного модуля. Окрему увагу необхідно приділити трасуванню кола шунта, вихідних провідників і загального проводу, оскільки від цього залежить точність вимірювання струму та стабільність роботи системи.

Проектування пристрою виконується у середовищі Altium Designer. Це дозволяє створити електричну принципову схему, підібрати посадкові місця компонентів, виконати компоновання друкованої плати, провести трасування з'єднань і підготувати графічну частину конструкторської документації.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		12

Використання САПР також дає змогу перевірити електричні зв'язки та правила проєктування перед виготовленням друкованого вузла.

У результаті аналізу технічного завдання встановлено, що розроблювана система повинна забезпечувати контроль акумулятора в діапазоні 3,7-24 В, роботу з вихідною напругою 1,25-28 В, максимальний робочий струм до 10 А, передавання даних через Wi-Fi, локальну індикацію параметрів і можливість налагодження через USB-UART інтерфейс. Прийняті вимоги є основою для подальшої розробки структурної схеми, опису електричної принципової схеми, вибору елементної бази, розрахунку вимірювального вузла та компонування друкованої плати.

Перед розробкою системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням доцільно розглянути наявні технічні рішення, які частково виконують подібні функції. До таких пристроїв можна віднести цифрові вольт-амперметри, BMS-модулі, лабораторні блоки живлення з режимом обмеження струму та модулі дистанційного моніторингу акумуляторів. Аналіз таких аналогів дозволяє визначити їхні переваги, недоліки та обґрунтувати необхідність розробки власної системи.

Першим поширеним рішенням є цифрові вольт-амперметри для контролю напруги та струму. Такі модулі часто використовуються в зарядних пристроях, лабораторних блоках живлення, саморобних джерелах живлення та системах контролю акумуляторів. Вони мають просту конструкцію, невеликі габарити та дозволяють швидко отримати інформацію про напругу і струм у колі.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		13

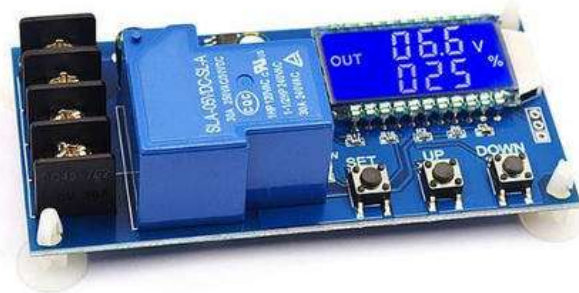


Рисунок 1.1 - Цифровий модуль контролю напруги та струму акумулятора

Основною перевагою таких модулів є простота використання. Для роботи достатньо підключити живлення, вимірювальні провідники та шунт. Пристрій одразу відображає поточні значення напруги та струму. Однак такі модулі здебільшого виконують лише функцію локального вимірювання. Вони не забезпечують дистанційне керування, не мають повноцінного вузла передавання даних через Wi-Fi і не дозволяють гнучко інтегрувати контроль акумулятора в складнішу електронну систему.

Другим типом аналогів є BMS-модулі для акумуляторних батарей. Вони застосовуються для контролю стану акумуляторних збірок, захисту від перезаряду, надмірного розряду, перевищення струму та короткого замикання. Такі модулі є важливими для безпечної експлуатації літій-іонних акумуляторів і часто використовуються в портативній техніці, електротранспорті, джерелах резервного живлення та акумуляторних інструментах.



Рисунок 1.2 - BMS-модуль для акумуляторної батареї

Перевагою BMS-модулів є наявність захисних функцій і можливість роботи з акумуляторними збірками. Проте більшість простих BMS-плат не призначена для відображення детальної інформації користувачу, не має зручного індикатора та не забезпечує повноцінне дистанційне керування. Крім того, такі модулі зазвичай розраховані на конкретну кількість послідовно з'єднаних елементів і не є універсальним рішенням для широкого діапазону напруг 3,7-24 В.

Ще одним близьким за призначенням пристроєм є лабораторний блок живлення або зарядний пристрій із режимом обмеження струму. Такі пристрої дозволяють задавати вихідну напругу, обмежувати струм, контролювати навантаження та виконувати заряджання акумуляторів у ручному режимі. Вони мають індикацію параметрів і часто застосовуються під час налагодження електронної апаратури.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		15



Рисунок 1.3 - Лабораторний блок живлення з режимом обмеження струму

Перевагою лабораторних блоків живлення є висока зручність налаштування та наявність вбудованої індикації. Водночас такі пристрої мають більші габарити, вищу вартість і не завжди придатні для встановлення безпосередньо в склад конкретного електронного виробу. Крім того, більшість простих моделей не має дистанційного керування через Wi-Fi і не орієнтована на роботу як компактний вбудований вузол контролю акумулятора.

Окрему групу становлять модулі дистанційного моніторингу акумуляторів. Вони можуть передавати дані про напругу, струм або рівень заряду через бездротовий канал і використовуються у системах автономного живлення, сонячних контролерах, резервних джерелах та інших пристроях. Такі рішення є зручними для користувача, оскільки дозволяють контролювати стан акумулятора без безпосереднього доступу до нього.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		16



Рисунок 1.4 - Модуль дистанційного моніторингу параметрів акумулятора

Недоліком таких пристроїв є те, що вони часто виконують тільки функцію моніторингу і не поєднують у собі силовий перетворювач, локальну індикацію, USB-інтерфейс і можливість розробки повного комплексу конструкторської документації під конкретну схему. Також готові модулі мають фіксовану структуру, тому їх складніше адаптувати до конкретних вимог навчального або проєктного завдання.

За результатами аналізу можна зробити висновок, що готові аналоги виконують лише окремі функції, необхідні для контролю акумулятора. Цифрові вольт-амперметри забезпечують вимірювання та індикацію, BMS-модулі виконують захист акумуляторних збірок, лабораторні блоки живлення зручні для ручного налагодження, а модулі дистанційного моніторингу дають змогу передавати параметри бездротовим способом. Проте жодне з розглянутих рішень повністю не поєднує контроль напруги та струму, індикацію, дистанційне керування, USB-інтерфейс і конструкцію, розроблену під конкретний друкований вузол.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		17

Тому розробка системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням є доцільною. Запропонований пристрій дозволяє об'єднати функції силового перетворення, контролю параметрів акумулятора, локального відображення інформації та Wi-Fi-взаємодії в одному конструктивному рішенні. Це дає змогу адаптувати систему до вимог технічного завдання та підготувати повний комплект конструкторської документації для подальшого виготовлення і налагодження пристрою.

1.2 Розробка структурної схеми пристрою

Структурна схема системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням розроблена для відображення загальної побудови пристрою та взаємодії його основних функціональних вузлів. На відміну від електричної принципової схеми, структурна схема не показує всі електричні з'єднання між окремими елементами, а подає пристрій у вигляді окремих блоків, кожен з яких виконує певну функцію.

Розроблювана система поєднує силову частину, вимірювальний вузол, індикацію, інтерфейс налагодження та модуль дистанційного керування. Такий поділ є зручним для подальшого опису роботи пристрою, оскільки дозволяє окремо розглянути перетворення вхідної напруги, формування вихідного кола, контроль параметрів акумулятора та передавання інформації користувачу.

Структурну схему системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням наведено на рисунку 1.5.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		18

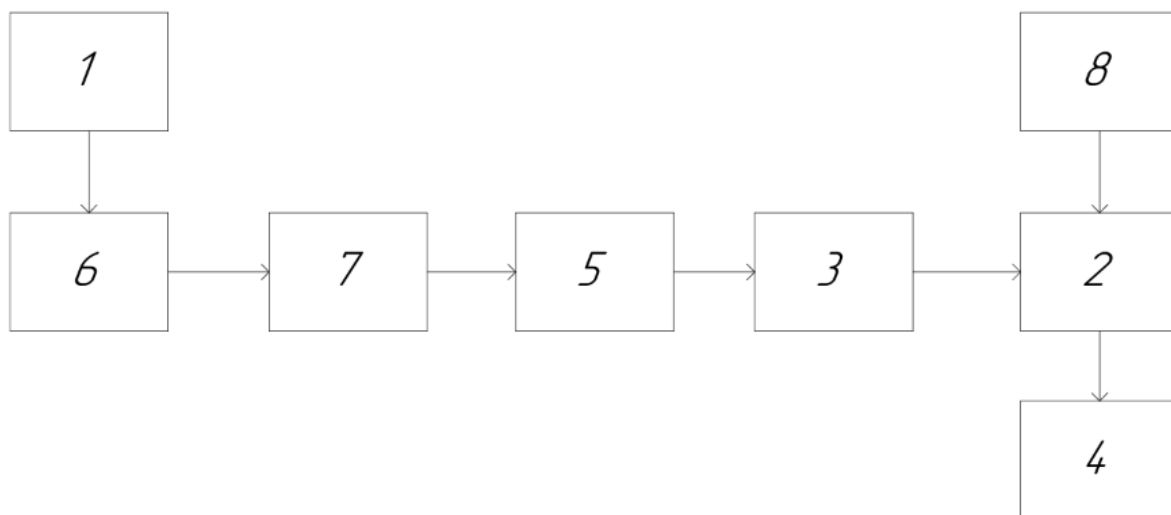


Рисунок 1.5 - Структурна схема системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням

- 1 - вхідний вузол живлення 220 В, захист і фільтрація;
- 2 - керуючий модуль ESP8266 з Wi-Fi;
- 3 - вузол вимірювання напруги та струму INA226;
- 4 - OLED-індикатор 128×64 та світлодіодна індикація;
- 5 - вихідне коло підключення акумулятора 3,7-24 В;
- 6 - імпульсний перетворювач на UC3843;
- 7 - понижувальний DC/DC-перетворювач XL4016;
- 8 - інтерфейс USB-UART на базі CH340.

Вхідний вузол живлення 1 призначений для підключення пристрою до мережі змінного струму 220 В. До цього вузла входять елементи захисту та фільтрації, які зменшують вплив завад і обмежують розвиток аварійного режиму при перевантаженні або короткому замиканні. На цьому етапі формується початкове живлення для подальшої роботи силової частини пристрою.

Після вхідного вузла напруга подається на імпульсний перетворювач 6, побудований на основі ШІМ-контролера UC3843. Цей вузол виконує первинне перетворення енергії та забезпечує роботу силової частини системи.

Імпульсний принцип перетворення дає змогу отримати необхідний рівень напруги з кращою ефективністю порівняно з простими лінійними схемами живлення.

Наступним функціональним блоком є понижувальний DC/DC-перетворювач 7 на базі XL4016. Його призначення полягає у формуванні регульованої вихідної напруги. У розроблюваній системі вихідна напруга може змінюватися в межах 1,25-28 В, що дозволяє використовувати пристрій для контролю акумуляторів із номінальною напругою 3,7-24 В.

Вихідне коло 5 призначене для підключення акумулятора або контрольованого навантаження. Через цей вузол проходить основний робочий струм пристрою, тому під час подальшого проектування друкованої плати для нього необхідно передбачити збільшену ширину провідників, надійні контактні з'єднання та достатній тепловий запас. Максимальний робочий струм системи приймається до 10 А.

Для контролю параметрів акумулятора у структурній схемі передбачено вузол вимірювання напруги та струму 3. Він виконується на основі мікросхеми INA226 і шунта, увімкненого в силове коло. Через цей вузол система отримує інформацію про напругу та струм акумулятора. Вимірні дані передаються до керуючого модуля через цифровий інтерфейс.

Керуючим вузлом системи є модуль ESP8266, позначений блоком 2. Він приймає дані від вимірювального вузла, обробляє їх і забезпечує дистанційну взаємодію з користувачем через Wi-Fi. Завдяки цьому пристрій може працювати не лише як локальний контролер, а й як система з можливістю віддаленого моніторингу параметрів акумулятора.

Для локального відображення інформації використовується блок індикації 4. До нього входить OLED-дисплей 128×64 та світлодіодні індикатори. OLED-дисплей призначений для виведення основних параметрів системи, таких як напруга, струм або службовий стан пристрою. Світлодіоди використовуються для швидкої індикації режимів роботи, наявності живлення,

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		20

обміну даними або помилки.

Інтерфейс USB-UART 8 побудований на основі мікросхеми CH340. Він використовується для підключення пристрою до комп'ютера під час налагодження, програмування та перевірки цифрової частини. Наявність такого інтерфейсу спрощує процес розробки, оскільки дозволяє виконувати обмін службовими даними та контролювати роботу керуючого модуля.

Загальний принцип роботи структурної схеми можна описати так. Вхідна напруга 220 В через вузол захисту і фільтрації надходить до імпульсного перетворювача, після чого подається на понижувальний DC/DC-перетворювач. Далі сформована вихідна напруга надходить до кола підключення акумулятора. Паралельно вузол INA226 контролює напругу та струм у вихідному колі й передає ці дані до ESP8266. Керуючий модуль обробляє отриману інформацію, виводить її на індикаторний модуль і забезпечує передавання даних через Wi-Fi.

Отже, розроблена структурна схема відображає основні функціональні частини системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням. Вона показує послідовність проходження енергії від вхідного вузла до акумулятора, а також шлях передавання вимірної інформації від вузла контролю до керуючого модуля, індикації та бездротового інтерфейсу. Прийнята структура є основою для подальшого опису електричної принципової схеми та вибору елементної бази пристрою

1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою

1.3.1 Опис електричної принципової схеми

Електрична принципова схема системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням розроблена з урахуванням необхідності поєднання

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		21

силової частини, вузла вимірювання параметрів акумулятора, індикації, інтерфейсу налагодження та бездротового керування. Схема побудована так, щоб забезпечити перетворення вхідної напруги, формування регульованої вихідної напруги, контроль струму й напруги в колі акумулятора та передавання інформації користувачу.

Схему електричну принципову системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням наведено на рисунку 1.6.

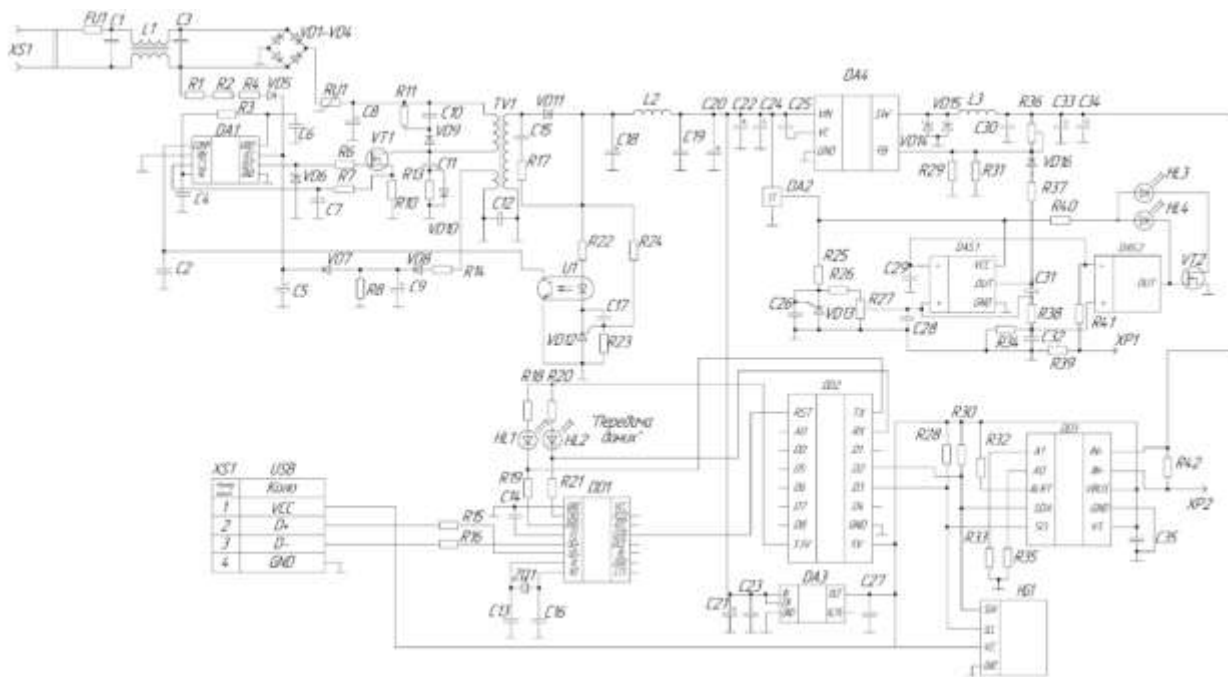


Рисунок 1.6 - Схема електрична принципова системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням

Умовно електричну принципову схему можна поділити на кілька функціональних вузлів: вхідне коло живлення та захисту, імпульсний перетворювач, вузол зворотного зв'язку, понижувальний DC/DC-перетворювач, вимірювальний вузол на INA226, керуючий модуль ESP8266, інтерфейс USB-UART, індикаторний модуль та світлодіодну індикацію. Такий поділ спрощує аналіз схеми, оскільки кожен вузол виконує окрему функцію у складі пристрою.

Вхідне коло живлення призначене для підключення пристрою до мережі змінного струму 220 В. У цьому вузлі передбачено запобіжник FU1, який

виконує захисну функцію при перевантаженні або короткому замиканні. Також у вхідній частині застосовуються фільтрувальні елементи L1, C1, C3 та випрямний міст VD1-VD4. Вони забезпечують зменшення завад, випрямлення змінної напруги та підготовку живлення для подальшої роботи імпульсного перетворювача. Варистор RU1 використовується для обмеження імпульсних перенапруг, які можуть виникати у вхідному колі.

Основним вузлом первинної силової частини є імпульсний перетворювач на базі мікросхеми DA1 UC3843. Ця мікросхема працює як ШІМ-контролер і керує силовим транзистором VT1 типу 10N60. За допомогою імпульсного режиму роботи забезпечується передавання енергії через трансформатор TV1. Використання імпульсного перетворювача є доцільним, оскільки він дозволяє отримати потрібні рівні напруги при кращій ефективності та менших габаритах порівняно з лінійними джерелами живлення.

У колах мікросхеми UC3843 використовуються резистори та конденсатори, які задають режим її роботи, формують часові параметри, забезпечують запуск, фільтрацію живлення та стабільність керування силовим ключем. Діоди VD5-VD10 і допоміжні RC-ланцюги використовуються для захисту силового транзистора, обмеження перенапруг і формування коректного режиму роботи імпульсного перетворювача. Такі елементи є важливими для надійності силової частини, оскільки під час комутації трансформатора можуть виникати імпульсні перенапруги.

Трансформатор TV1 виконує передавання енергії з первинної частини схеми у вторинну. Його використання також забезпечує розділення первинного та вторинного кіл. У вторинній частині схеми після трансформатора встановлено випрямні та фільтрувальні елементи, зокрема діод VD11, дросель L2 та конденсатори C18-C25. Вони формують згладжену постійну напругу, яка подається на подальші вузли системи.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		23

Для стабілізації роботи імпульсного перетворювача у схемі використовується вузол зворотного зв'язку. До його складу входить оптопара U1 PC817 та стабілізуючі елементи на базі TL431. Через оптопару інформація про стан вторинної частини передається до первинного контролера без прямого електричного з'єднання між цими частинами. Такий спосіб зворотного зв'язку дає змогу підтримувати стабільний режим роботи джерела живлення і водночас зберігати гальванічне розділення між частинами схеми.

Після основного імпульсного перетворювача у схемі розміщений понижувальний DC/DC-перетворювач на мікросхемі DA3 XL4016E1. Цей вузол призначений для формування регульованої вихідної напруги. До складу перетворювача входять дросель L3, діоди VD14-VD16, конденсатори C30, C33, C34 та резистивні елементи зворотного зв'язку. За допомогою цього вузла можна отримувати вихідну напругу в межах 1,25-28 В, що дає змогу працювати з акумуляторами номінальною напругою 3,7-24 В.

Вихідне коло пристрою утворене контактами OUT+ і OUT-, через які підключається акумулятор або контрольоване навантаження. Оскільки через це коло проходить основний робочий струм, його елементи повинні мати достатній запас за струмом і тепловим режимом. Максимальний робочий струм системи приймається до 10 А, тому під час подальшого трасування друкованої плати для вихідних провідників необхідно передбачити збільшену ширину або використання мідних полігонів.

Вузол вимірювання напруги та струму реалізовано на мікросхемі DD3 INA226. Вона призначена для контролю параметрів акумулятора та працює через цифровий інтерфейс I2C. У схемі до неї підведено лінії SDA та SCL, через які дані передаються до керуючого модуля. Для вимірювання струму використовується шунт R42, увімкнений у силове коло. За падінням напруги на шунті мікросхема визначає струм, а також контролює напругу у вихідному колі. Робочий струм системи приймається до 10 А, однак шунт вибирається із запасом до 15 А, що підвищує надійність вимірювального вузла.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		24

Керуюча частина пристрою побудована на модулі DD2 ESP8266. Цей модуль відповідає за обробку даних, отриманих від вузла вимірювання, роботу з індикатором та дистанційну взаємодію з користувачем через Wi-Fi. Використання ESP8266 дозволяє реалізувати віддалений контроль параметрів акумулятора без встановлення додаткового радіомодуля. У схемі до модуля підведено живлення 3,3 В, лінії передавання даних, а також інтерфейсні сигнали, необхідні для взаємодії з іншими вузлами.

Для живлення цифрової частини використовується стабілізатор DA2 LP2985-330BVR. Він формує стабілізовану напругу 3,3 В, необхідну для роботи ESP8266, INA226 та інших низьковольтних вузлів. Конденсатори C21, C23, C26, C27 та інші фільтрувальні елементи забезпечують згладжування пульсацій і стабільність живлення цифрової частини. Це важливо, оскільки ESP8266 і вимірювальна мікросхема чутливі до нестабільної напруги живлення.

Для підключення пристрою до комп'ютера використовується інтерфейс USB-UART на базі мікросхеми DD1 CH340. Вона перетворює сигнали USB у послідовний інтерфейс UART, який використовується для програмування, налагодження та службового обміну даними. До складу вузла також входить кварцовий резонатор ZQ1, конденсатори C13, C14, C16, резистори та світлодіоди HL1, HL2. Через USB-роз'єм можна виконувати перевірку цифрової частини та обмін службовою інформацією під час розробки.

Для локального виведення інформації у схемі застосовано індикаторний модуль HG1 OLED 128×64 SSD1103. Він підключається до керуючого модуля через цифрові лінії та використовується для відображення основних параметрів системи. На індикаторі можуть виводитись значення напруги, струму, режим роботи або службові повідомлення. Наявність локального дисплея робить пристрій зручним у використанні навіть без підключення до Wi-Fi.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		25

Світлодіоди HL1-HL4 використовуються для індикації станів пристрою. Частина світлодіодів пов'язана з USB-UART інтерфейсом і може відображати передавання або приймання даних. Інші світлодіоди використовуються для індикації режимів роботи силової частини або стану вихідного кола. Світлодіодна індикація є корисною під час налагодження, оскільки дозволяє швидко оцінити стан пристрою без додаткових вимірювальних приладів.

У схемі також використовується операційний підсилювач LM358N. Його секції застосовуються у допоміжних аналогових колах для формування та обробки сигналів, пов'язаних із роботою силової частини і контролем вихідних параметрів. Наявність такого вузла дозволяє узгоджувати рівні сигналів і формувати керуючі впливи для окремих елементів схеми.

Загалом робота електричної принципової схеми відбувається таким чином. Вхідна напруга 220 В надходить на вузол захисту, фільтрації та випрямлення. Після цього імпульсний перетворювач на UC3843 формує проміжну напругу, яка подається на понижувальний DC/DC-перетворювач XL4016. На виході формується регульована постійна напруга для підключення акумулятора. Вузол INA226 контролює напругу та струм у вихідному колі й передає дані до ESP8266. Керуючий модуль обробляє отриману інформацію, виводить її на OLED-індикатор і забезпечує дистанційне передавання даних через Wi-Fi. USB-UART інтерфейс використовується для налагодження і службового обміну даними.

Отже, електрична принципова схема забезпечує виконання всіх основних функцій системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням: перетворення вхідної напруги, формування регульованої вихідної напруги, контроль струму та напруги акумулятора, локальну індикацію, налагодження через USB-UART і дистанційну взаємодію з користувачем через Wi-Fi. Прийняті схемотехнічні рішення відповідають призначенню пристрою та можуть бути використані як основа для подальшого розрахунку вузла вимірювання струму і напруги.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		26

1.3.2 Розрахунок вузла електричної принципової схеми пристрою

Для розрахунку вибрано вузол вимірювання струму системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням. Цей вузол є одним з основних у пристрої, оскільки саме через нього виконується контроль струму в колі акумулятора під час роботи та заряджання. Вимірювання струму реалізовано за допомогою мікросхеми INA226 та шунтувального резистора R42, увімкненого у силове вихідне коло.

Мікросхема INA226 контролює падіння напруги на шунті та за цим значенням визначає струм у контрольованому колі. Додатково вона може вимірювати напругу шини, тому підходить для побудови вузла контролю акумулятора. Передавання даних до керуючого модуля ESP8266 виконується через цифровий інтерфейс I2C за лініями SDA та SCL.

Максимальний робочий струм системи приймається до 10 А. Однак для підвищення надійності вимірювального вузла та зменшення ризику перегрівання шунта розрахунок виконується із запасом за струмом до 15 А. У схемі використовується один SMD-шунт R42 номіналом 0,005 Ом і потужністю 2 Вт.

Таблиця 1.3 - Вихідні дані для розрахунку шунта

Параметр	Позначення	Значення
Максимальний робочий струм системи	$I_{роб}$	10 А
Розрахунковий струм із запасом	$I_{мах}$	15 А
Опір шунта	$R_{ш}$	0,005 Ом
Потужність шунта	$P_{ном}$	2 Вт

Опір шунта приймається рівним:

$$R_{ш} = 0,005 \text{ Ом} \quad (1.1)$$

Падіння напруги на шунті визначається за формулою:

$$U_{ш} = I \cdot R_{ш} \quad (1.2)$$

де $U_{ш}$ - падіння напруги на шунті, В;

I - струм у контрольованому колі, А;

$R_{ш}$ - опір шунта, Ом.

Для максимального робочого струму 10 А отримаємо:

$$U_{ш.роб} = 10 \cdot 0,005 = 0,05 \text{ В} = 50 \text{ мВ}$$

Отже, при робочому струмі 10 А падіння напруги на шунті становить 50 мВ. Таке значення є достатнім для вимірювання мікросхемою INA226 і водночас не створює значної втрати напруги у вихідному колі.

Перевіримо падіння напруги на шунті при розрахунковому струмі 15 А:

$$U_{ш.max} = 15 \cdot 0,005 = 0,075 \text{ В} = 75 \text{ мВ}$$

При струмі 15 А падіння напруги на шунті становить 75 мВ. Це значення також є допустимим для вузла контролю струму, оскільки воно залишається невеликим відносно вихідної напруги системи і не призводить до суттєвого зниження напруги на акумуляторі.

Потужність, яка розсіюється на шунті, визначається за формулою:

$$P_{ш} = I^2 \cdot R_{ш} \quad (1.3)$$

де $P_{ш}$ - потужність, що розсіюється на шунті, Вт;

I - струм у контрольованому колі, А;

$R_{ш}$ - опір шунта, Ом.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		28

Для максимального робочого струму 10 А:

$$P_{ш.роб} = 10^2 \cdot 0,005 = 0,5 \text{ Вт}$$

При робочому струмі 10 А на шунті розсіюється 0,5 Вт. Оскільки встановлений SMD-резистор має допустиму потужність 2 Вт, такий режим є безпечним для тривалої роботи.

Для розрахункового струму із запасом 15 А:

$$P_{ш.мах} = 15^2 \cdot 0,005 = 1,125 \text{ Вт}$$

При струмі 15 А на шунті розсіюється 1,125 Вт. Це значення не перевищує допустиму потужність резистора 2 Вт, тому вибраний шунт має запас за потужністю навіть у граничному режимі.

Коефіцієнт запасу за потужністю визначається за формулою:

$$k_P = P_{ном} / P_{ш} \quad (1.4)$$

де k_P - коефіцієнт запасу за потужністю;

$P_{ном}$ - номінальна потужність шунта, Вт;

$P_{ш}$ - розрахункова потужність розсіювання, Вт.

Для робочого струму 10 А:

$$k_{P.роб} = 2 / 0,5 = 4$$

Для струму 15 А:

$$k_{P.мах} = 2 / 1,125 = 1,78$$

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		29

Отже, у робочому режимі шунт має приблизно чотирикратний запас за потужністю. Навіть при розрахунковому струмі 15 А запас становить близько 1,78 раза, що є прийнятним для даного вузла.

Таблиця 1.4 - Результати розрахунку шунта

Параметр	Розрахункове значення
Опір шунта R42	0,005 Ом
Потужність шунта R42	2 Вт
Падіння напруги при струмі 10 А	50 мВ
Падіння напруги при струмі 15 А	75 мВ
Потужність розсіювання при струмі 10 А	0,5 Вт
Потужність розсіювання при струмі 15 А	1,125 Вт
Коефіцієнт запасу за потужністю при 10 А	4
Коефіцієнт запасу за потужністю при 15 А	1,78

Під час компонування друкованої плати шунт R42 необхідно розміщувати безпосередньо у вихідному силовому колі, якомога ближче до вузла вимірювання. Доріжки, через які проходить основний струм, повинні мати збільшену ширину або виконуватися у вигляді мідних полігонів. Це зменшує падіння напруги на провідниках і покращує тепловий режим силового кола.

Вимірювальні лінії від шунта до мікросхеми INA226 потрібно прокладати окремо від силових провідників. Це зменшує вплив завад і підвищує точність вимірювання. Бажано, щоб підключення до шунта виконувалося за принципом окремого вимірювального відводу, тобто так, щоб струм силового кола не проходив через тонкі сигнальні провідники вимірювального входу.

За результатами розрахунку встановлено, що один SMD-шунт R42 номіналом 0,005 Ом і потужністю 2 Вт забезпечує нормальну роботу вузла вимірювання струму. При робочому струмі 10 А падіння напруги на шунті

становить 50 мВ, а потужність розсіювання - 0,5 Вт. При розрахунковому струмі 15 А падіння напруги становить 75 мВ, а потужність розсіювання - 1,125 Вт. Отже, вибраний шунт має достатній запас за потужністю та може використовуватися у складі вузла контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням.

1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

1.4.1 Опис та блок-схема алгоритму роботи системи

Система контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням працює за циклічним алгоритмом, у якому послідовно виконуються запуск пристрою, ініціалізація основних вузлів, вимірювання параметрів акумулятора, обробка отриманих даних, індикація результатів і передавання інформації через бездротовий канал.

Основним керуючим вузлом системи є модуль ESP8266. Він виконує роль центрального елемента цифрової частини пристрою: приймає дані від вимірювального вузла INA226, обробляє їх, формує інформацію для виведення на OLED-дисплей, керує службовою індикацією та забезпечує передавання даних через Wi-Fi.

Вимірювання напруги та струму виконується за допомогою мікросхеми INA226. Вона отримує інформацію з вихідного кола акумулятора і передає її до ESP8266 цифровим способом. Далі керуючий модуль виконує первинну обробку виміряних значень, може розраховувати потужність контрольованого кола та перевіряти, чи перебувають параметри в допустимих межах. У разі нормальної роботи дані виводяться на OLED-дисплей і передаються через Wi-Fi. Якщо ж виявлено перевищення струму, некоректне значення напруги або інший небажаний режим, система формує відповідне попередження.

Блок-схему алгоритму роботи системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням наведено на рисунку 1.7.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		31

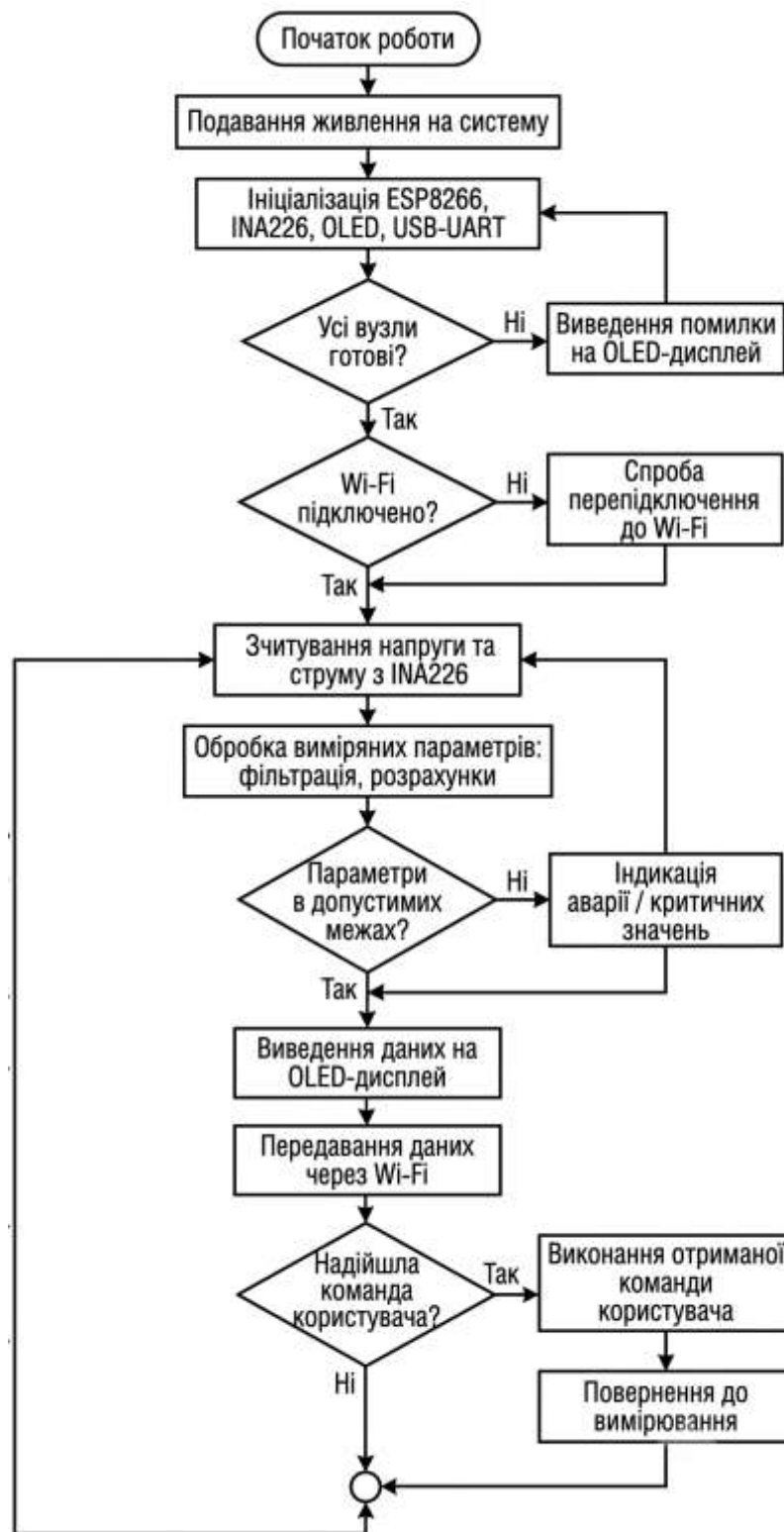


Рисунок 1.7 - Блок-схема алгоритму роботи системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням

Робота системи починається з подавання живлення на пристрій. Після цього відбувається запуск цифрової частини, до складу якої входять ESP8266,

мікросхема вимірювання INA226, OLED-дисплей та USB-UART інтерфейс. На цьому етапі система переходить до початкової ініціалізації, під час якої налаштовуються основні інтерфейси обміну даними, перевіряється готовність вимірювального вузла, індикатора та засобів зв'язку.

Після ініціалізації виконується перевірка готовності всіх основних вузлів. Якщо один із вузлів не відповідає або працює некоректно, система виводить повідомлення про помилку на OLED-дисплей. Після цього виконується повторна спроба ініціалізації та перевірки. Такий підхід дозволяє не переходити до основного режиму роботи, якщо пристрій не може коректно зчитувати параметри або відображати службову інформацію.

Якщо всі вузли готові, система переходить до перевірки Wi-Fi-з'єднання. У разі успішного підключення модуль ESP8266 може передавати дані користувачу через бездротовий канал. Якщо Wi-Fi не підключено, виконується спроба повторного підключення. При цьому відсутність бездротового зв'язку не повинна повністю зупиняти роботу пристрою, оскільки система може продовжувати локальний контроль параметрів акумулятора та відображати дані на OLED-дисплеї.

Основним робочим етапом алгоритму є зчитування напруги та струму з мікросхеми INA226. Цей вузол отримує інформацію про стан вихідного кола акумулятора. Напруга та струм є головними параметрами, за якими можна оцінити режим роботи системи. Після зчитування дані передаються до ESP8266 для подальшої обробки.

На наступному етапі виконується обробка вимірних параметрів. До неї належать фільтрація значень, відкидання випадкових похибок та виконання необхідних розрахунків. На основі напруги та струму система може визначати потужність контрольованого кола, а також оцінювати, чи перебуває робочий режим у допустимих межах.

Після обробки даних система перевіряє, чи не перевищують вимірні параметри допустимі значення. Для цього контролюється напруга, струм і

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		33

розрахункова потужність. Якщо параметри перебувають у нормальних межах, пристрій переходить до виведення інформації на OLED-дисплей. Якщо виявлено перевищення струму, некоректне значення напруги або інший небажаний режим, система формує індикацію аварії або критичних значень.

Індикація аварійного стану потрібна для того, щоб користувач міг швидко побачити відхилення від нормального режиму. У такому випадку на OLED-дисплеї може відобразитися попереджувальне повідомлення, а світлодіодна індикація може дублювати стан помилки. Після цього система все одно повертається до подальшого відображення даних і продовжує контроль параметрів, щоб відстежувати зміну стану вихідного кола.

У нормальному режимі виміряні параметри виводяться на OLED-дисплей. На ньому можуть відобразитися значення напруги, струму, потужності, стан Wi-Fi-з'єднання або службові повідомлення. Наявність локальної індикації є важливою, оскільки користувач може отримати основну інформацію без підключення до зовнішнього пристрою.

Після виведення даних на дисплей система передає інформацію через Wi-Fi. Це дозволяє реалізувати дистанційний контроль параметрів акумулятора. Передані дані можуть використовуватися для перегляду поточного стану системи, оцінки режиму роботи або приймання подальших команд користувача.

Далі алгоритм перевіряє, чи надійшла команда користувача. Якщо команда не надходила, система переходить до повторного циклу вимірювання. Якщо команда отримана, ESP8266 виконує відповідну дію. Це може бути зміна режиму відображення, оновлення даних, зміна налаштувань або інша службова операція, передбачена логікою роботи пристрою.

Після виконання команди система повертається до етапу вимірювання напруги та струму. Таким чином, алгоритм не завершується після одного проходу, а постійно повторюється. Циклічна побудова дозволяє регулярно оновлювати інформацію про стан акумулятора, своєчасно реагувати на зміну

параметрів і підтримувати дистанційний зв'язок із користувачем.

Отже, алгоритм роботи системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням забезпечує послідовний запуск пристрою, перевірку основних вузлів, підключення до Wi-Fi, зчитування напруги та струму, обробку вимірюваних параметрів, контроль допустимих меж, локальну індикацію та передавання даних через бездротовий канал. Така логіка роботи відповідає функціональному призначенню пристрою та дозволяє поєднати вимірювання параметрів акумулятора з дистанційним керуванням.

1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Вибір елементної бази системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням виконано з урахуванням призначення пристрою, електричних параметрів силової частини, вимог до вимірювання струму та напруги, наявності дистанційного керування, локальної індикації та можливості налагодження через комп'ютер. Оскільки пристрій поєднує силові й цифрові вузли, елементи повинні забезпечувати не лише функціональність схеми, а й достатню надійність під час роботи з акумуляторним навантаженням.

До складу пристрою входять елементи різного призначення: ШІМ-контролер імпульсного перетворювача, силові транзистори, імпульсний трансформатор, понижувальний DC/DC-перетворювач, мікросхема контролю напруги та струму, модуль Wi-Fi, USB-UART перетворювач, OLED-індикатор, стабілізатор живлення цифрової частини, діоди, дроселі, резистори, конденсатори та захисні елементи. Такий склад елементної бази дозволяє реалізувати живлення, вимірювання, індикацію і дистанційний обмін даними в одному пристрої.

Основним вузлом первинної силової частини є ШІМ-контролер DA1 UC3843. Його вибір зумовлений тим, що ця мікросхема широко

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		35

використовується в імпульсних джерелах живлення і дозволяє керувати силовим ключем у високочастотному режимі. UC3843 забезпечує формування керуючих імпульсів для транзистора VT1, контроль режиму роботи перетворювача та стабілізацію вихідних параметрів через коло зворотного зв'язку. Застосування такого контролера є доцільним для пристрою, у якому необхідно перетворювати мережеву напругу і отримувати проміжне живлення для подальших вузлів.

Силовим ключем імпульсного перетворювача є транзистор VT1 типу 10N60. Він працює у ключовому режимі та комутує струм через первинну обмотку трансформатора TV1. Вибір такого транзистора пояснюється необхідністю роботи у високовольтній частині схеми, де елемент повинен мати запас за допустимою напругою та струмом. Робота транзистора в імпульсному режимі дозволяє зменшити втрати потужності порівняно з лінійним режимом.

Для передавання енергії між первинною та вторинною частиною схеми використовується імпульсний трансформатор TV1 ETD29. Він забезпечує перетворення енергії та електричне розділення частин схеми. Вибір трансформатора типу ETD29 пов'язаний з тим, що такий типорозмір часто застосовується в імпульсних джерелах живлення середньої потужності. У специфікації трансформатор має параметри 12 В, 7 А, 80 кГц, що відповідає роботі силового вузла пристрою.

Для стабілізації режиму імпульсного перетворювача використовується вузол зворотного зв'язку на оптопарі U1 PC817 та стабілізуючих елементах TL431. Оптопара забезпечує передавання сигналу з вторинної частини схеми до первинної без прямого електричного з'єднання. Це важливо для безпечної роботи пристрою, оскільки первинна частина пов'язана з мережевою напругою. TL431 використовується як керований стабілізуючий елемент, який допомагає формувати сигнал зворотного зв'язку.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		36

Понижувальний DC/DC-перетворювач виконано на мікросхемі DA3 XL4016E1. Цей елемент вибрано тому, що він призначений для побудови понижувальних імпульсних перетворювачів і може працювати з підвищеним струмовим навантаженням. У розроблюваній системі цей вузол формує регульовану вихідну напругу 1,25-28 В, що дозволяє використовувати пристрій для контролю акумуляторів з номінальною напругою 3,7-24 В. Застосування XL4016 є доцільним, оскільки він дозволяє отримати потрібний рівень напруги з кращою ефективністю, ніж лінійний стабілізатор.

Для випрямлення, захисту та роботи силових кіл у схемі застосовано діоди різних типів. Діоди VD1-VD4 типу FR207 утворюють випрямний міст у вхідній частині схеми. Діоди FR107 використовуються у допоміжних колах імпульсного перетворювача. Діод SR5100 і діод STPS2045CT застосовуються у вторинній та вихідній частинах, де важливими є допустимий струм і швидкодія. Діоди 1N4007 використовуються у допоміжних випрямних або захисних колах. Такий підбір діодів дозволяє врахувати різні режими роботи окремих ділянок схеми.

Для захисту вхідного кола використовується запобіжник FU1 5×20 8 А 250 В та варистор RU1 FNR-7K271. Запобіжник обмежує розвиток аварійного режиму при короткому замиканні або перевантаженні. Варистор використовується для обмеження імпульсних перенапруг, які можуть виникати у мережевому колі. Наявність цих елементів підвищує безпечність і надійність пристрою під час експлуатації.

Цифрова частина пристрою побудована на модулі DD2 ESP8266. Його вибір пояснюється наявністю вбудованого Wi-Fi, достатніми можливостями для обробки даних і підтримкою цифрових інтерфейсів. У системі ESP8266 виконує роль керуючого вузла: приймає дані від вимірювальної мікросхеми, формує інформацію для індикації, забезпечує передавання даних через Wi-Fi та обробляє команди користувача. Використання ESP8266 дозволяє реалізувати дистанційне керування без окремого радіомодуля.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		37

Для вимірювання напруги та струму використовується мікросхема DD3 INA226. Вона призначена для цифрового контролю параметрів живлення і взаємодіє з ESP8266 через інтерфейс I2C. Її вибір є доцільним для даної системи, оскільки пристрій повинен контролювати струм і напругу акумулятора під час роботи. INA226 дає змогу отримувати виміряні параметри в цифровому вигляді, що спрощує їх подальшу обробку мікроконтролерним модулем.

Для вимірювання струму у вихідному колі застосовується шунт R42. У проєкті прийнято SMD-резистор номіналом 0,005 Ом потужністю 2 Вт. Такий шунт має малий опір, тому падіння напруги на ньому незначне і не створює суттєвих втрат у силовому колі. При цьому він дозволяє вимірювальній мікросхемі визначати струм за падінням напруги. Робочий струм системи приймається до 10 А, а шунт перевіряється із запасом до 15 А, що підвищує надійність вимірювального вузла.

Для живлення цифрової частини використовується стабілізатор DA2 LP2985-330BVR. Він формує напругу 3,3 В, необхідну для роботи ESP8266, INA226 та інших низьковольтних елементів. Вибір стабілізатора з вихідною напругою 3,3 В відповідає вимогам цифрових компонентів, які не можуть працювати безпосередньо від вищих рівнів напруги. Фільтрувальні конденсатори, встановлені біля стабілізатора та цифрових мікросхем, зменшують пульсації та підвищують стабільність роботи пристрою.

Для налагодження, програмування та службового обміну даними застосовується мікросхема DD1 CH340. Вона виконує перетворення інтерфейсу USB у UART, що дозволяє підключати пристрій до комп'ютера. Наявність USB-UART інтерфейсу є важливою на етапі перевірки та налагодження, оскільки через нього можна контролювати роботу керуючого модуля, передавати службові дані та виконувати налаштування.

Для локального відображення інформації використовується індикаторний модуль HG1 OLED 128×64 SSD1103. Він має невеликі габарити,

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		38

достатню роздільну здатність для виведення основних параметрів і добре підходить для компактних електронних пристроїв. На OLED-дисплеї можуть відображатися значення напруги, струму, потужності, стан Wi-Fi-з'єднання або повідомлення про помилки. Завдяки цьому користувач може контролювати стан системи без використання зовнішнього пристрою.

Світлодіоди HL1-HL4 використовуються для додаткової індикації станів системи. Вони можуть показувати наявність живлення, активність передавання даних, робочий режим або аварійний стан. Світлодіодна індикація є простою та зручною під час налагодження, оскільки дає змогу швидко оцінити роботу окремих вузлів.

Операційний підсилювач DA4 LM358N використовується у допоміжних аналогових колах схеми. Його вибір пояснюється простотою, доступністю та можливістю роботи у схемах контролю й узгодження сигналів. У складі пристрою він може використовуватися для обробки сигналів, пов'язаних із роботою силової частини або контролем вихідних параметрів.

Пасивні елементи пристрою, зокрема резистори та конденсатори, підібрано відповідно до режимів роботи окремих вузлів. Резистори використовуються для задання режимів мікросхем, формування подільників напруги, обмеження струму світлодіодів, підтягування ліній та роботи зворотного зв'язку. Конденсатори застосовуються для фільтрації, згладжування пульсацій, розв'язки живлення та стабілізації роботи імпульсних і цифрових вузлів.

Індуктивні елементи L1, L2 та L3 виконують різні функції у складі пристрою. L1 використовується у вхідному фільтрі, L2 працює у вторинній частині імпульсного перетворювача, а L3 входить до складу понижувального DC/DC-перетворювача. Їх застосування необхідне для фільтрації, накопичення енергії та зменшення пульсацій струму.

Основні функціональні групи елементної бази наведено в таблиці 1.4.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		39

Таблиця 1.4 - Основні функціональні групи елементної бази системи контролю акумулятора

Функціональна група	Основні елементи	Призначення та обґрунтування вибору
Вхідний захист	FU1, RU1	Захист пристрою від перевантаження, короткого замикання та імпульсних перенапруг
Випрямлення та фільтрація	VD1-VD4, L1, C1, C3	Випрямлення змінної напруги та зменшення завад у вхідному колі
Імпульсний перетворювач	UC3843, VT1, TV1	Формування проміжної напруги та керування силовою частиною
Зворотний зв'язок	PC817, TL431	Стабілізація роботи перетворювача з гальванічним розділенням
Понижувальний перетворювач	XL4016E1, L3, VD14-VD16	Формування регульованої вихідної напруги 1,25-28 В
Вузол вимірювання	INA226, R42	Контроль напруги та струму акумулятора
Керуючий вузол	ESP8266	Обробка даних, Wi-Fi-зв'язок і дистанційне керування
Інтерфейс налагодження	CH340, USB	Підключення до комп'ютера, програмування та службовий обмін даними
Індикація	OLED 128×64, HL1-HL4	Відображення параметрів і режимів роботи
Стабілізація живлення	LP2985-330BVR	Формування стабілізованої напруги 3,3 В для цифрових вузлів
Допоміжні елементи	Резистори, конденсатори, дроселі, діоди	Фільтрація, задання режимів, захист і узгодження сигналів

Отже, вибрана елементна база відповідає призначенню системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням. Вона забезпечує перетворення вхідної напруги, формування регульованого виходу, вимірювання напруги та струму, локальну індикацію, налагодження через USB-UART і передавання даних через Wi-Fi. Поєднання силових, вимірювальних і цифрових компонентів дозволяє реалізувати пристрій як

компактну систему контролю параметрів акумулятора з можливістю дистанційної взаємодії з користувачем.

1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу

1.5.1 Компоновка друкованого вузла

Компоновка друкованого вузла є одним із важливих етапів розробки системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням. На цьому етапі визначається форма друкованої плати, її габаритні розміри, розміщення електрорадіоелементів, розташування роз'ємів, силових вузлів, цифрової частини та елементів індикації. Від правильності компоновання залежить зручність подальшого трасування, стабільність роботи пристрою, тепловий режим силових елементів і технологічність виготовлення друкованого вузла.

Для розроблюваного пристрою прийнято одну друковану плату прямокутної форми з габаритними розмірами 180×107,5 мм. Такий розмір забезпечує достатню площу для розміщення силової частини, понижувального перетворювача, вимірювального вузла, модуля ESP8266, OLED-індикатора, USB-UART інтерфейсу, вихідних контактів і допоміжних пасивних елементів. Прямокутна форма плати є технологічно зручною, оскільки спрощує виготовлення, механічну обробку, розміщення в корпусі та виконання складального креслення.

Друкований вузол виконується на двосторонній друкованій платі з металізованими отворами. Використання двох провідникових шарів є доцільним, оскільки схема містить значну кількість з'єднань між силовими, вимірювальними та цифровими вузлами. Двостороннє виконання дає змогу раціонально прокласти сигнальні лінії, зменшити довжину провідників,

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		41

скоротити кількість перемичок і краще розділити силові кола та кола керування.

Матеріалом основи друкованої плати прийнято склотекстоліт FR-4 товщиною 1,5 мм з мідною фольгою товщиною 35 мкм. Такий матеріал має достатню механічну міцність, добрі електроізоляційні властивості та стійкість до температурних впливів під час паяння. Товщина 1,5 мм забезпечує необхідну жорсткість плати, що важливо через наявність трансформатора, дроселів, електролітичних конденсаторів, роз'ємів і силових елементів.

Під час компонування друкованого вузла враховано, що пристрій має комбіновану елементну базу. На платі розміщуються як SMD-компоненти, так і вивідні елементи. До SMD-компонентів належать частина резисторів, конденсаторів, світлодіоди, шунт вимірювання струму та окремі допоміжні елементи. До вивідних або більш габаритних елементів належать імпульсний трансформатор TV1, дроселі L1-L3, запобіжник FU1, роз'єми, електролітичні конденсатори, силові діоди та транзистори. Такий склад елементної бази потребує достатньої площі плати та правильного розділення функціональних зон.

Умовно друковану плату можна поділити на кілька функціональних ділянок: вхідний вузол живлення, первинну силову частину імпульсного перетворювача, вторинну частину джерела живлення, понижувальний DC/DC-перетворювач, вихідне коло акумулятора, вимірювальний вузол, цифрову частину з ESP8266, індикаторний вузол і USB-UART інтерфейс. Такий поділ спрощує компонування, оскільки кожна група елементів розміщується відповідно до свого призначення.

Вхідний вузол живлення розміщується ближче до краю друкованої плати. Це потрібно для зручного підключення мережевого живлення та зменшення довжини провідників, які пов'язані з вхідною напругою. У цій зоні розташовуються запобіжник FU1, варистор RU1, фільтрувальні елементи, дросель L1 та діодний міст VD1-VD4. Таке розміщення дозволяє відокремити

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		42

вхідну частину від цифрових вузлів і зменшити вплив імпульсних завад на керуючу частину пристрою.

Первинна частина імпульсного перетворювача розміщується поруч із вхідним вузлом живлення. До неї належать мікросхема UC3843, силовий транзистор VT1, імпульсний трансформатор TV1, діоди, резистори та конденсатори обв'язки. Силовий транзистор і трансформатор є елементами, які можуть нагріватися під час роботи, тому біля них потрібно залишати достатній простір для монтажу, контролю та тепловідведення. Також бажано уникати проходження чутливих сигнальних ліній поблизу цих елементів.

Вторинна частина імпульсного джерела живлення розміщується після трансформатора TV1. У цій зоні знаходяться випрямні діоди, дросель L2, фільтрувальні конденсатори та елементи зворотного зв'язку. Оптопара PC817 і елементи на базі TL431 розміщуються так, щоб забезпечити короткі зв'язки між вузлом стабілізації та керуючою частиною перетворювача. При цьому необхідно зберігати електроізоляційні відстані між первинною і вторинною сторонами схеми.

Понижувальний DC/DC-перетворювач на XL4016 доцільно розміщувати ближче до вихідного кола пристрою. До цього вузла входять мікросхема XL4016E1, дросель L3, діоди VD14-VD16, фільтрувальні конденсатори та резистивні елементи зворотного зв'язку. Таке розміщення зменшує довжину силового тракту між перетворювачем і вихідними контактами, а також знижує падіння напруги на провідниках.

Вихідне коло підключення акумулятора розміщується біля краю плати, щоб забезпечити зручне підключення зовнішніх проводів до контактів OUT+ і OUT-. Оскільки максимальний робочий струм системи приймається до 10 А, провідники вихідного кола повинні мати збільшену ширину або виконуватися у вигляді мідних полігонів. Це зменшує їх нагрівання, падіння напруги та підвищує надійність роботи пристрою.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		43

Вимірювальний вузол на INA226 розміщується поблизу вихідного кола та шунта R42. Таке компонування є важливим, оскільки точність вимірювання струму залежить від правильного підключення шунта та мінімальної довжини вимірювальних ліній. Шунт R42 номіналом 0,005 Ом і потужністю 2 Вт встановлюється в силове коло, а сигнальні лінії до INA226 повинні підводитися так, щоб не створювати додаткових похибок вимірювання. Бажано, щоб ці провідники були короткими та не проходили поруч із ділянками, де виникають сильні імпульсні завади.

Цифрова частина пристрою розміщується окремо від силових елементів. До неї належать модуль ESP8266, стабілізатор LP2985-330BVR, мікросхема INA226, OLED-індикатор, USB-UART інтерфейс на CH340 та допоміжні пасивні елементи. Таке розділення потрібне для зменшення впливу силових завад на роботу Wi-Fi-модуля, вимірювального вузла та індикатора. Лінії SDA і SCL, які використовуються для обміну даними з INA226 та OLED-дисплеєм, бажано прокладати короткими й уникати їх проходження поряд із силовими провідниками.

Модуль ESP8266 розміщується так, щоб забезпечити нормальні умови для роботи бездротового зв'язку. Якщо модуль має антенну частину, поблизу неї не слід розміщувати великі металізовані ділянки, силові елементи або масивні компоненти, які можуть погіршити якість Wi-Fi-з'єднання. Розташування ESP8266 у цифровій зоні плати дозволяє зручно підвести до нього лінії живлення, I2C, UART та інші службові сигнали.

USB-UART інтерфейс на базі CH340 розміщується біля USB-роз'єму. Це зменшує довжину USB-ліній і спрощує підключення пристрою до комп'ютера під час налагодження. До вузла також належать кварцовий резонатор ZQ1, конденсатори, резистори та світлодіоди індикації обміну даними. Розміщення цього вузла біля краю плати є зручним, оскільки кабель USB не створює механічного навантаження на центральну частину друкованого вузла.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		44

OLED-індикатор HG1 розміщується у зоні, зручній для спостереження користувачем. Він повинен бути доступним після встановлення плати в корпус або під час налагодження пристрою. Поруч із ним можуть розташовуватися допоміжні сигнальні лінії та елементи підтягування. Світлодіоди HL1-HL4 також розміщуються так, щоб їх можна було легко контролювати візуально під час перевірки пристрою.

Під час компонування також враховано розміщення кріпильних отворів. Вони повинні бути розташовані так, щоб забезпечити надійне закріплення плати в корпусі або на монтажній основі. Біля кріпильних отворів необхідно залишати вільну зону без провідників і дрібних компонентів, щоб уникнути пошкодження плати під час встановлення гвинтів або дистанційних втулок.

Окрему увагу приділено тепловому режиму. Найбільше теплове навантаження можуть створювати силовий транзистор VT1, понижувальний перетворювач XL4016, силові діоди, дроселі, шунт R42 і електролітичні конденсатори, розміщені поблизу силових кіл. Тому ці елементи не слід розташовувати занадто щільно один до одного. За можливості біля них передбачаються розширені мідні ділянки, які сприяють відведенню тепла.

У процесі компонування важливо забезпечити технологічність монтажу. Компоненти повинні бути розташовані так, щоб до їхніх контактних площадок був доступ для паяння, контролю якості та можливого ремонту. Вивідні елементи з великими габаритами не повинні перекривати дрібні SMD-компоненти. Роз'єми, індикатор і елементи, до яких потрібен доступ під час експлуатації або налагодження, доцільно виносити ближче до країв плати.

Отже, компонування друкованого вузла виконано з урахуванням функціонального поділу пристрою на силову, вимірювальну та цифрову частини. Вхідний вузол живлення, імпульсний перетворювач і понижувальний DC/DC-перетворювач розміщуються окремо від ESP8266, INA226, OLED-дисплея та USB-UART інтерфейсу. Таке рішення дозволяє зменшити вплив

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		45

завад, забезпечити нормальний тепловий режим, скоротити довжину силових провідників і підвищити зручність подальшого трасування друкованої плати.

1.5.2 Розрахунок надійності проєктованого виробу

Надійність є однією з важливих характеристик електронного пристрою, оскільки вона показує здатність виробу зберігати працездатність протягом заданого часу експлуатації. Для системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням це особливо важливо, тому що пристрій працює з силовими колами, виконує вимірювання струму та напруги, забезпечує індикацію параметрів і передавання даних через Wi-Fi.

Під час розрахунку надійності враховуються основні групи елементів, які входять до складу друкованого вузла: мікросхеми, напівпровідникові елементи, резистори, конденсатори, індуктивні елементи, роз'єми, запобіжник, варистор, індикаторні елементи та паяні з'єднання. Оскільки всі ці елементи працюють у складі одного пристрою, відмова будь-якого важливого вузла може призвести до порушення роботи всієї системи.

Для спрощеного інженерного розрахунку приймається, що елементи з'єднані з точки зору надійності послідовно, а відмови окремих елементів є незалежними. Інтенсивність відмов у межах розглянутого часу експлуатації вважається сталою. Такий підхід часто використовується для попередньої оцінки надійності електронної апаратури на етапі проєктування.

Сумарна інтенсивність відмов пристрою визначається за формулою:

$$\lambda_{\Sigma} = \Sigma(n_i \cdot \lambda_i) \quad (1.5)$$

де, λ_{Σ} - сумарна інтенсивність відмов пристрою, 1/год;

n_i - кількість елементів i -ї групи;

λ_i - інтенсивність відмов одного елемента i -ї групи, 1/год.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		46

Для розрахунку основні елементи системи об'єднано у функціональні групи. Результати визначення сумарної інтенсивності відмов наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Розрахунок сумарної інтенсивності відмов елементів пристрою

Група елементів	Кількість, шт.	$\lambda_i, 10^{-6} \text{ 1/год}$	$n_i \cdot \lambda_i, 10^{-6} \text{ 1/год}$
Мікросхеми та функціональні модулі	8	1,40	11,20
Силові транзистори та оптопара	3	0,90	2,70
Діоди силові, випрямні та стабілізуючі	18	0,28	5,04
Резистори, включно з шунтом R42	47	0,05	2,35
Конденсатори різних типів	34	0,12	4,08
Дроселі та імпульсний трансформатор	4	0,70	2,80
Роз'єми, запобіжник, варистор	6	0,80	4,80
Світлодіодна індикація	4	0,25	1,00
Паяні з'єднання та друковані провідники	120	0,15	18,00
Разом			51,97

За даними таблиці 1.6 сумарна інтенсивність відмов становить:

$$\lambda_{\Sigma} = 51,97 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Для подальшого розрахунку приймаємо округлене значення:

$$\lambda_{\Sigma} = 52,0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Середній час напрацювання до відмови визначається за формулою:

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		47

$$T_{\text{ср}} = 1 / \lambda \Sigma \quad (1.6)$$

де, $T_{\text{ср}}$ - середній час напрацювання до відмови, год;

$\lambda \Sigma$ - сумарна інтенсивність відмов пристрою, 1/год.

Підставивши отримане значення сумарної інтенсивності відмов, отримаємо:

$$T_{\text{ср}} = 1 / (52,0 \cdot 10^{-6}) = 19230,8 \text{ год}$$

Отримане значення показує, що орієнтовний середній час напрацювання проєктованого виробу до відмови становить приблизно 19,2 тис. год, що є прийнятним для даного пристрою.

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначається за експоненціальним законом:

$$P(t) = e^{(-\lambda \Sigma \cdot t)} \quad (1.7)$$

де $P(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи за час t ;

e - основа натурального логарифма;

$\lambda \Sigma$ - сумарна інтенсивність відмов;

t - час роботи, год.

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи для часу 1000, 5000 та 10000 год:

$$P(1000) = e^{(-52,0 \cdot 10^{-6} \cdot 1000)} = 0,949$$

$$P(5000) = e^{(-52,0 \cdot 10^{-6} \cdot 5000)} = 0,771$$

$$P(10000) = e^{(-52,0 \cdot 10^{-6} \cdot 10000)} = 0,595$$

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

З отриманих результатів видно, що зі збільшенням часу роботи ймовірність безвідмовної роботи поступово зменшується. Це є закономірним для електронних пристроїв, оскільки кожен елемент має певну інтенсивність відмов. Найбільший вплив на загальну надійність мають мікросхеми, функціональні модулі, силові елементи, паяні з'єднання та ділянки друкованого монтажу, через які проходять значні струми.

Для підвищення фактичної надійності системи необхідно забезпечити правильне тепловідведення силових елементів, достатню ширину провідників у вихідних колах, якісне паяння, захист вхідного кола від перенапруг і правильне розміщення цифрової частини відносно силових вузлів.

Отже, за результатами розрахунку сумарна інтенсивність відмов системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням становить $52,0 \cdot 10^{-6}$ 1/год, а середній час напрацювання до відмови дорівнює приблизно 19230,8 год. Отримане значення підтверджує, що вибрана елементна база та прийняті конструктивні рішення забезпечують достатній рівень надійності проєктованого виробу.

1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу

Розрахунок друкованого монтажу виконується для визначення основних технологічних параметрів друкованої плати системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням. На цьому етапі враховуються тип плати, клас точності, ширина друкованих провідників, відстані між елементами провідного рисунка, параметри контактних площадок, монтажних отворів і особливості прокладання силових та сигнальних кіл.

Для даного пристрою прийнято двосторонню друковану плату з металізованими отворами. Таке виконання є доцільним, оскільки схема містить як силові кола, так і цифрові лінії керування, індикації та обміну даними. Використання двох провідникових шарів дає змогу зменшити

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		49

довжину з'єднань, спростити трасування та розділити ділянки з різним електричним призначенням. Верхній і нижній шари плати використовуються для прокладання провідників, а перехід між ними виконується через металізовані отвори.

Як матеріал основи використовується склотекстоліт FR-4 товщиною 1,5 мм з мідною фольгою товщиною 35 мкм. Такий матеріал забезпечує достатню механічну міцність друкованої плати, стабільність електричних параметрів та нормальні умови виготовлення плати середньої складності. Товщина основи 1,5 мм є зручною для встановлення як SMD-компонентів, так і вивідних елементів, зокрема трансформатора, дроселів, роз'ємів, електролітичних конденсаторів і силових компонентів.

Друкований монтаж виконується з урахуванням вимог третього класу точності. Для сигнальних кіл приймаються технологічно допустимі ширини провідників, які забезпечують нормальне виготовлення плати без надмірного ускладнення виробництва. До таких кіл належать лінії I2C між ESP8266, INA226 та OLED-дисплеєм, UART-лінії USB-UART інтерфейсу, сигнали індикації та допоміжні ланцюги керування. Для цих провідників основною вимогою є не велика струмова навантажувальна здатність, а стабільність з'єднань і достатня відстань до силових ділянок.

Силові кола пристрою трасуються з більшими ширинами провідників. Це стосується вхідної частини живлення, вузла імпульсного перетворювача, понижувального DC/DC-перетворювача, вихідних контактів OUT+ і OUT-, а також ділянки зі шунтом R42. Оскільки максимальний робочий струм системи приймається до 10 А, для вихідних кіл необхідно використовувати широкі доріжки або мідні полігони. Таке рішення зменшує падіння напруги на провідниках, обмежує їх нагрівання та підвищує надійність роботи пристрою.

Особливу увагу під час трасування потрібно приділити вузлу вимірювання струму. Шунт R42 номіналом 0,005 Ом встановлюється у силовому колі, тому провідники до нього мають бути короткими та достатньо

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		50

широкими. Вимірювальні лінії, які підводяться до INA226, бажано прокласти окремо від силових імпульсних ділянок. Це потрібно для зменшення похибки вимірювання та зниження впливу завад від силового перетворювача.

Для монтажу вивідних елементів на платі передбачено кілька груп монтажних отворів. За таблицею отворів використовуються отвори діаметром 0,7 мм, 0,8 мм, 1,2 мм, 1,5 мм і 1,7 мм. Для них прийнято відповідні діаметри контактних площадок 1,6 мм, 1,8 мм, 2,4 мм, 3,0 мм і 3,4 мм. Усі ці отвори виконуються з металізацією, оскільки плата є двосторонньою і потребує електричного з'єднання між провідниковими шарами. Найбільшу кількість становлять отвори діаметром 0,7 мм, які використовуються для більшості дрібних вивідних елементів. Отвори діаметром 0,8 мм, 1,2 мм, 1,5 мм і 1,7 мм застосовуються для елементів із більшими виводами, роз'ємів, силових компонентів та інших деталей, які потребують збільшеної контактної площадки.

Контактні площадки вибрані з урахуванням діаметра виводів елементів і технологічного запасу для паяння. Для дрібних компонентів достатньо площадок діаметром 1,6 мм і 1,8 мм, а для більш габаритних елементів застосовуються площадки 2,4 мм, 3,0 мм і 3,4 мм. Збільшення діаметра площадки покращує механічну міцність паяного з'єднання та зменшує ризик відриву контактної площадки під час монтажу або демонтажу елемента.

Металізація отворів є необхідною для даної конструкції, оскільки з'єднання між верхнім і нижнім шарами плати виконується не тільки через виводи компонентів, але і через перехідні отвори. Це дозволяє ефективніше використовувати обидва шари друкованого монтажу та зменшити кількість довгих обхідних трас. Для силових кіл металізовані отвори також можуть використовуватися для дублювання переходів між шарами, що покращує струмову навантажувальну здатність окремих ділянок.

Під час розміщення провідників потрібно витримувати достатні зазори між елементами провідного рисунка. Для низьковольтних цифрових і

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		51

вимірювальних кіл визначальними є технологічні вимоги виготовлення плати. Для силових кіл і ділянок, пов'язаних із входною напругою, необхідно передбачити збільшені відстані між провідниками. Особливо це стосується розділення первинної та вторинної частин імпульсного перетворювача, оскільки між ними має бути забезпечена надійна електрична ізоляція.

Провідники цифрової частини слід прокладати окремо від силових імпульсних кіл. Лінії SDA, SCL, UART та сигнали керування не повинні проходити поряд із силовим транзистором, дроселями, трансформатором та вихідними силовими доріжками. Це зменшує ймовірність наведення завад і підвищує стабільність роботи ESP8266, INA226 та OLED-дисплея. Для живлення цифрової частини доцільно передбачити окремі фільтрувальні конденсатори біля мікросхем і модуля ESP8266.

На ділянках силового живлення доцільно використовувати не лише широкі провідники, а й заливку міддю. Полігони живлення та загального провідника зменшують опір струмових шляхів і покращують тепловідведення від силових компонентів. Біля елементів, які можуть нагріватися, зокрема XL4016, силових діодів, дроселів і шунта R42, бажано залишати достатню площу міді для відведення тепла.

Паяльна маска використовується для захисту провідникового рисунка від окиснення та випадкових замикань під час монтажу. Вона особливо важлива для плати з великою кількістю SMD-компонентів і щільним розташуванням доріжок. Крім того, паяльна маска покращує якість монтажу, оскільки обмежує розтікання припою по поверхні провідників.

Маркування елементів на платі виконується для полегшення складання, перевірки та ремонту друкованого вузла. Позначення резисторів, конденсаторів, мікросхем, роз'ємів, діодів та інших компонентів мають відповідати електричній принциповій схемі та специфікації. Це дозволяє швидко знаходити потрібні елементи під час монтажу і зменшує ймовірність помилок.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		52

Отже, параметри друкованого монтажу для системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням вибрані з урахуванням двосторонньої конструкції плати, комбінованого монтажу, наявності силових і цифрових вузлів, а також вимог до вимірювання струму та напруги. Прийняті діаметри монтажних отворів і контактних площадок забезпечують нормальне встановлення елементів, а використання металізації дозволяє надійно з'єднати провідникові шари. Розділення силових і сигнальних кіл, застосування широких провідників у струмових ділянках та використання паяльної маски підвищують технологічність і надійність друкованого вузла.

1.6 Висновок до розділу 1

У першому розділі було виконано основну частину розробки системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням. На початковому етапі проаналізовано технічне завдання, визначено призначення пристрою, його основні параметри та функції. Було встановлено, що розроблювана система повинна забезпечувати контроль напруги та струму акумулятора, локальне відображення даних, дистанційний обмін інформацією через Wi-Fi та можливість налагодження через USB-UART інтерфейс.

Під час аналізу аналогів розглянуто готові модулі контролю напруги та струму, BMS-плати, лабораторні блоки живлення та засоби дистанційного моніторингу. Було визначено, що більшість таких рішень виконує лише окремі функції, тоді як у даному проєкті необхідно поєднати вимірювання параметрів, індикацію, силову частину та бездротове керування в одному пристрої. Це підтвердило доцільність розробки власної конструкції системи.

На основі технічного завдання було розроблено структурну схему пристрою та описано взаємодію основних функціональних вузлів. Система складається з вхідного вузла живлення, імпульсного перетворювача, понижувального DC/DC-перетворювача, вимірювального вузла на INA226,

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		53

керуючого модуля ESP8266, OLED-індикатора, USB-UART інтерфейсу та вихідного кола підключення акумулятора. Такий поділ дозволив чітко розмежувати силову, вимірювальну та цифрову частини пристрою.

Також було розглянуто електричну принципову схему системи. Описано роботу вхідного захисту, випрямляча, ШІМ-контролера UC3843, силового ключа, імпульсного трансформатора, вузла зворотного зв'язку, понижувального перетворювача XL4016, стабілізатора живлення цифрової частини, модуля ESP8266, USB-UART перетворювача CH340, OLED-дисплея та світлодіодної індикації. Окремо було розглянуто вимірювальний вузол, у якому для контролю струму використовується шунт 0,005 Ом потужністю 2 Вт.

У розділі виконано розрахунок вузла вимірювання струму. За результатами розрахунку встановлено, що прийнятий шунт забезпечує роботу системи при струмі до 10 А та має запас при перевірці до 15 А. Отримані значення падіння напруги та потужності на шунті підтверджують, що вибраний елемент відповідає умовам роботи пристрою і може використовуватися у вихідному колі системи.

Було обґрунтовано вибір елементної бази. Для силової частини використано UC3843, силовий транзистор 10N60, трансформатор ETD29, діоди, дроселі та понижувальний перетворювач XL4016. Для цифрової частини застосовано ESP8266, INA226, CH340, OLED-дисплей та стабілізатор LP2985-330BVR. Вибрані компоненти забезпечують необхідні функції пристрою, а саме перетворення напруги, вимірювання параметрів акумулятора, індикацію, налагодження та дистанційне передавання даних.

Окрему увагу приділено алгоритму роботи системи. Було складено блок-схему, яка відображає послідовність запуску пристрою, ініціалізацію вузлів, перевірку їх готовності, підключення до Wi-Fi, зчитування напруги та струму, обробку даних, перевірку допустимих меж, виведення інформації на OLED-дисплей і передавання даних через бездротовий канал. Такий алгоритм

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		54

дозволяє системі працювати циклічно та постійно оновлювати інформацію про стан акумулятора.

У процесі розробки друкованого вузла визначено основні конструктивно-технологічні рішення. Для пристрою прийнято двосторонню друковану плату розміром 180×107,5 мм на основі склотекстоліту FR-4 товщиною 1,5 мм. Компонування виконано з урахуванням розділення силових і цифрових кіл, розміщення вимірювального вузла поблизу шунта, винесення роз'ємів до країв плати та забезпечення нормального теплового режиму силових елементів.

Також було виконано розрахунок надійності проєктованого виробу та розглянуто параметри друкованого монтажу. Прийняті конструктивні рішення, діаметри монтажних отворів, контактні площадки, металізація отворів, ширини провідників і використання мідних полігонів забезпечують технологічність виготовлення плати та надійність її роботи. Особливо важливим є правильне трасування силових ділянок, вихідного кола та вимірювальних ліній INA226.

Отже, у першому розділі було виконано повний комплекс робіт, пов'язаний із розробкою електричної та конструктивної частини системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням. Отримані результати підтверджують, що вибрана структурна схема, елементна база, алгоритм роботи, конструкція друкованої плати та параметри друкованого монтажу відповідають призначенню пристрою і можуть бути використані для подальшого виготовлення та налагодження дослідного зразка.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		55

2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

2.1 Пожежна небезпека під час експлуатації системи контролю акумулятора 3,7–24 В з дистанційним керуванням

Система контролю акумулятора 3,7–24 В з дистанційним керуванням належить до електронних пристроїв, у яких пожежна небезпека пов'язана переважно з силовими колами, акумулятором, понижувальним перетворювачем, імпульсним джерелом живлення та помилками підключення. Пристрій працює з різними типами акумуляторних джерел живлення, тому під час експлуатації важливо контролювати струм заряду, вихідну напругу, полярність підключення та тепловий режим силових елементів.

Основними джерелами пожежної небезпеки в розроблюваній системі є коротке замикання у вихідному колі OUT+ і OUT–, неправильне підключення акумулятора, перевантаження понижувального перетворювача XL4016, перегрівання силових діодів, транзисторів, дроселів та електролітичних конденсаторів. Окрему небезпеку створює акумулятор, оскільки при неправильному режимі заряду або пошкодженні його клем можливе інтенсивне нагрівання провідників і контактів.

У схемі пристрою передбачено вхідний запобіжник FU1, який обмежує розвиток аварійного режиму при короткому замиканні або перевищенні допустимого струму. Номінал запобіжника не збільшують довільно, оскільки це знижує ефективність захисту. Силові провідники на друкованій платі виконані збільшеної ширини або у вигляді мідних полігонів, що зменшує їх нагрівання під час протікання робочого струму.

Пожежна небезпека також зростає при порушенні теплового режиму. До елементів, які потребують контролю нагрівання, належать трансформатор TV1, дроселі L1–L3, силові діоди VD11, VD14, VD15, транзистори VT1, VT2, перетворювач XL4016 та електролітичні конденсатори. Під час роботи корпус

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		56

пристрою не закривають матеріалами, які погіршують вентиляцію. При появі запаху перегріву, диму, нестабільної роботи індикатора або різкого нагрівання елементів пристрій відключають від живлення.

Для зниження пожежного ризику під час експлуатації пристрою акумулятор підключають тільки з дотриманням полярності. Проводи живлення підбирають відповідно до струму заряду, не допускають пошкодження ізоляції, слабкого затискання контактів або випадкового дотику провідників між собою. Роз'єми OUT+ і OUT- розміщують так, щоб підключення акумулятора не створювало механічного навантаження на друковану плату.

Друкований вузол після монтажу покривається лаком УР-231, що додатково захищає провідниковий рисунок від пилу, вологи та поверхневих забруднень. Це не замінює електроізоляційні зазори, але зменшує ймовірність поверхневих витоків струму й випадкових замикань між провідниками. У місцях із підвищеною напругою та в силових ділянках витримуються збільшені відстані між струмоведучими частинами.

2.2 Захисне вимикання та контроль ізоляції під час налагодження системи контролю акумулятора 3,7–24 В з дистанційним керуванням

Під час перевірки системи контролю акумулятора виконавець працює з відкритою друкованою платою, на якій розміщені вхідне коло живлення, запобіжник, імпульсний перетворювач, трансформатор, дроселі, силові діоди, транзистори, ESP8266, INA226 та індикатор. Через наявність силових кіл і відкритих контактів важливими є захисне вимикання живлення та контроль ізоляції перед запуском.

Першим рівнем захисту в самому пристрої є запобіжник FU1. Він розмикає коло при перевищенні допустимого струму і захищає плату від тривалого перегрівання при короткому замиканні або неправильному

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		57

підключенні. Номінал запобіжника не збільшують довільно, бо тоді він перестає виконувати захисну функцію.

На робочому місці застосовується автоматичний вимикач і пристрій захисного вимкнення. Автоматичний вимикач реагує на перевантаження та коротке замикання, а пристрій захисного вимкнення відключає живлення при появі струму витоку. Для налагодження відкритих друкованих вузлів це важливо, оскільки несправна ізоляція або пошкоджений кабель можуть створити небезпечний потенціал на металевих частинах обладнання.

Перед першим увімкненням виконавець перевіряє відсутність короткого замикання між шинами живлення, правильність встановлення діодів, електролітичних конденсаторів, транзисторів і мікросхем. Для SMD-компонентів огляд виконують під збільшенням, тому що перемичка з припою між сусідніми контактами може бути малопомітною, але при запуску викликати аварійний режим.

Окремо контролюється ізоляція між силовою та цифровою частинами плати. У розрахунковій частині для високовольтних і низьковольтних ділянок прийнято збільшені зазори 3,0–4,0 мм. Таке рознесення зменшує ризик пробоя і впливу завад на ESP8266, INA226, USB-інтерфейс та індикаторний модуль.

Перший запуск доцільно виконувати через лабораторне джерело живлення з обмеженням струму. Спочатку встановлюють малий струм обмеження, подають живлення і контролюють споживання. Якщо струм одразу зростає до межі обмеження, живлення вимикають і перевіряють силову частину. Такий спосіб дозволяє знайти монтажну помилку без перегрівання доріжок і компонентів.

Для цифрової частини окремо перевіряють напругу 3,3 В. Модуль ESP8266 та INA226 чутливі до перенапруги, тому перед запуском перевіряють стабілізатор LP2985, лінії SDA/SCL, TX/RX і відсутність перегріву мікросхем.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		58

Після цього перевіряють роботу індикатора та правильність відображення параметрів.

Після монтажу друкований вузол покривається лаком УР-231. Таке покриття захищає провідниковий рисунок від вологи, пилу та поверхневих забруднень. Лак не замінює електроізоляційні зазори, але додатково зменшує ризик поверхневих витоків струму, особливо якщо пристрій використовується не тільки в лабораторних умовах.

Таблиця 2.1 – Заходи захисного вимикання та контролю ізоляції

Ділянка контролю	Можлива небезпека	Прийняте рішення
Вхідне коло живлення	Перевантаження, коротке замикання	Запобіжник FU1, автоматичний вимикач
Первинна частина перетворювача	Пробій ізоляції	Збільшені ізоляційні зазори, контроль перед запуском
OUT+ і OUT-	Коротке замикання, перегрів доріжок	Широкі провідники, обмеження струму
Електролітичні конденсатори	Залишковий заряд	Перевірка напруги, розряд через резистор
Живлення 3,3 В	Пошкодження ESP8266 та INA226	Перевірка LP2985 перед запуском
SMD-монтаж	Перемички припою	Огляд під збільшенням, прозвонювання контактів
Робоче місце	Струм витoku	Пристрій захисного вимкнення, справні кабелі
Друкований вузол	Волога, пил, поверхневі витoki	Покриття лаком УР-231

У висновку, захисне вимикання та контроль ізоляції для даного пристрою виконуються на рівні схеми, друкованої плати й робочого місця. У конструкції застосовано запобіжник, збільшені зазори між небезпечними ділянками, широкі силові провідники та лакове покриття плати. Під час налагодження використовуються обмеження струму, перевірка ізоляції, справні вимірjувальні прилади та візуальний контроль монтажу. Це зменшує ризик ураження струмом, перегрівання елементів і пошкодження акумулятора.

2.3 Висновок до розділу 2

У другому розділі було розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці, які пов'язані з експлуатацією, перевіркою і налагодженням системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням. Оскільки пристрій містить силову частину, вузол перетворення напруги, вихідне коло підключення акумулятора, електронні компоненти керування та індикації, під час роботи з ним необхідно враховувати можливі електричні, теплові та пожежні небезпеки.

У підрозділі, присвяченому пожежній небезпеці, було визначено, що основними причинами виникнення небезпечних ситуацій можуть бути короткі замикання, перевантаження силових кіл, перегрів елементів, неправильне підключення акумулятора, пошкодження ізоляції або порушення правил експлуатації пристрою. Особливу увагу потрібно приділяти вузлам, через які проходять підвищені струми, зокрема вихідному колу, шунту, дроселям, силовим діодам, транзисторам і перетворювачам напруги. Для зменшення ризику займання важливими є правильний вибір елементної бази, наявність захисних елементів, достатня ширина силових провідників, якісне паяння та дотримання умов охолодження.

Також було розглянуто питання захисного вимикання та контролю ізоляції під час налагодження системи. Під час перевірки пристрою необхідно використовувати справне вимірювальне обладнання, не торкатися відкритих струмопровідних частин, дотримуватися послідовності підключення живлення та контролювати відсутність коротких замикань перед першим запуском. Захисне вимикання дає змогу зменшити небезпеку ураження електричним струмом у разі пробоя ізоляції або появи небезпечного потенціалу на корпусі чи доступних металевих частинах.

Важливим заходом безпеки є попередній контроль монтажу друкованого вузла. Перед подаванням живлення потрібно перевірити правильність встановлення компонентів, полярність електrolітичних конденсаторів, діодів

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		60

та мікросхем, якість паяних з'єднань, відсутність перемичок між доріжками та справність захисних елементів. Особливо це актуально для пристрою, у якому поєднуються мережеві кола, силові перетворювачі та низьковольтна цифрова частина.

Отже, дотримання вимог безпеки життєдіяльності та охорони праці є необхідною умовою під час виготовлення, налагодження та експлуатації системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням. Використання захисних елементів, контроль ізоляції, правильне підключення акумулятора, перевірка монтажу та дотримання правил роботи з електронною апаратурою дозволяють зменшити ризик аварійних ситуацій, підвищити безпеку користувача і забезпечити надійну роботу розроблюваного пристрою.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		61

Висновки

У кваліфікаційній роботі було виконано розробку системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням. Розроблюваний пристрій призначений для контролю основних параметрів акумулятора, зокрема напруги та струму, а також для передавання інформації користувачу через бездротовий канал. Такий пристрій є актуальним, оскільки акумуляторні джерела живлення широко використовуються в електронній апаратурі, а контроль їхнього стану дозволяє підвищити надійність і безпеку роботи системи.

У першому розділі було проаналізовано технічне завдання та визначено основні вимоги до пристрою. Встановлено, що система повинна працювати з акумуляторами в діапазоні 3,7-24 В, забезпечувати контроль напруги та струму, мати локальну індикацію, можливість дистанційної передачі даних через Wi-Fi і підтримувати налагодження через USB-UART інтерфейс. Також було розглянуто існуючі аналоги та визначено, що готові рішення зазвичай виконують лише окремі функції, тоді як у даній роботі передбачено поєднання вимірювання, індикації, силової частини та дистанційного керування в одному пристрої.

На основі технічного завдання було розроблено структурну схему системи. Вона включає вхідний вузол живлення, імпульсний перетворювач, понижувальний DC/DC-перетворювач, вихідне коло підключення акумулятора, вимірювальний вузол, керуючий модуль ESP8266, OLED-дисплей, світлодіодну індикацію та USB-UART інтерфейс. Такий поділ дозволив чітко розмежувати силову, вимірювальну та цифрову частини пристрою, що є важливим для подальшого компонування друкованої плати.

Було виконано опис електричної принципової схеми системи. Розглянуто роботу вхідного захисту, випрямного вузла, ШІМ-контролера UC3843, силового ключа, імпульсного трансформатора, вузла зворотного

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		62

зв'язку, понижувального перетворювача XL4016, стабілізатора живлення цифрової частини, модуля ESP8266, вимірювальної мікросхеми INA226, USB-UART перетворювача CH340, OLED-дисплея та світлодіодної індикації. Це дало змогу показати взаємодію всіх основних вузлів і пояснити принцип роботи пристрою.

Окремо було виконано розрахунок вимірювального вузла струму. Для контролю струму прийнято шунт R42 номіналом 0,005 Ом потужністю 2 Вт. Розрахунок показав, що такий елемент забезпечує роботу системи при струмі до 10 А і має необхідний запас під час перевірки до 15 А. Отже, вибраний шунт відповідає умовам роботи вихідного кола та може використовуватися разом із мікросхемою INA226 для вимірювання струму.

У роботі також було обґрунтовано вибір елементної бази. Для силової частини використано UC3843, транзистор 10N60, імпульсний трансформатор ETD29, діоди, дроселі та понижувальний перетворювач XL4016. Для цифрової та вимірювальної частини застосовано ESP8266, INA226, CH340, OLED-дисплей і стабілізатор LP2985-330BVR. Вибрана елементна база забезпечує реалізацію всіх необхідних функцій: перетворення напруги, вимірювання параметрів акумулятора, локальне відображення даних, дистанційний обмін інформацією та налагодження пристрою.

Для пояснення роботи цифрової частини було розроблено блок-схему алгоритму роботи системи. Алгоритм передбачає подавання живлення, ініціалізацію ESP8266, INA226, OLED і USB-UART, перевірку готовності вузлів, підключення до Wi-Fi, зчитування напруги та струму, обробку вимірюваних параметрів, перевірку допустимих меж, виведення даних на дисплей, передавання інформації через Wi-Fi і обробку команд користувача. Завдяки циклічній структурі алгоритму система може постійно оновлювати дані про стан акумулятора.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		63

Під час розробки друкованого вузла було прийнято двосторонню друковану плату розміром 180×107,5 мм на основі склотекстоліту FR-4 товщиною 1,5 мм. Компонування виконано з урахуванням розділення силових, вимірювальних і цифрових кіл. Вхідний вузол живлення, імпульсний перетворювач і понижувальний DC/DC-перетворювач розміщуються окремо від ESP8266, INA226, OLED-дисплея та USB-UART інтерфейсу. Таке рішення дозволяє зменшити вплив завад, покращити тепловий режим і спростити трасування друкованої плати.

Також було виконано розрахунок надійності проєктованого виробу та розглянуто параметри друкованого монтажу. Визначено, що прийняті конструктивно-технологічні рішення забезпечують достатню надійність роботи пристрою. Для монтажу елементів передбачено отвори різних діаметрів із відповідними контактними площадками та металізацією. Для силових ділянок прийнято збільшені ширини провідників і мідні полігони, що зменшує нагрівання та падіння напруги на струмових шляхах.

У другому розділі було розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці. Проаналізовано пожежну небезпеку під час експлуатації системи контролю акумулятора, а також питання захисного вимикання та контролю ізоляції під час налагодження пристрою. Визначено, що основними небезпечними факторами можуть бути короткі замикання, перевантаження силових кіл, перегрів елементів, неправильне підключення акумулятора та пошкодження ізоляції. Для зменшення цих ризиків необхідно використовувати захисні елементи, контролювати якість монтажу, дотримуватися правил підключення та перевіряти стан ізоляції.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		64

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни “Основи радіоелектроніки”. Ч. 1. Для студентів напряму підготовки 6.050902 - Радіоелектронні апарати. Тернопіль : ТНТУ, 2014. 89 с.
2. Ткачук Р. А., Дозорський В. Г., Дедів Л. Є., Дедів І. Ю. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 336 с.
3. Дунець В. Л., Дедів І. Ю., Хвостівський М. О. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю 172 “Телекомунікації та радіотехніка”. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 72 с.
4. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни “Системи автоматизованого проектування радіоелектронних засобів” для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / уклад. Л. В. Хвостівська, В. Л. Дунець. Тернопіль : ТНТУ, 2020. 109 с.
5. Галаган Р. М. Комп’ютерне проектування електронних схем. Комп’ютерний практикум. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 420 с.
6. Офіційний сайт Altium Designer : веб-сайт. URL: <https://www.altium.com>.
7. Яськів В. І., Яськів А. В., Юрченко О. М. Забезпечення високої ефективності високочастотних напівпровідникових перетворювачів електроенергії // Збірник тез МНПК “Іван Пулюй: життя, присвячене науці і Україні”, до 180-річчя від дня народження, 04 лютого 2025 року. Тернопіль : ТНТУ, 2025. С. 110-113.
8. ДСТУ 2226-93. Автоматизовані системи. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1994. 93 с.
9. ДСТУ ІЕС 60617:2018. Графічні символи для схем (ІЕС 60617:2012 DB, IDT). Київ : ДП “УкрНДНЦ”, 2018.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		65

10. ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1994.

11. ДСТУ EN 61188-1-1:2022. Друковані плати та вузли друкованих плат. Проектування та використання. Частина 1-1. Загальні вимоги. Розгляд площинності електронних вузлів (EN 61188-1-1:1997, IDT; IEC 61188-1-1:1997, IDT). Київ : ДП “УкрНДНЦ”, 2022.

12. ДСТУ EN IEC 61191-1:2022. Складання друкованих плат. Частина 1. Загальні технічні умови. Вимоги до паяних електричних та електронних вузлів з використанням поверхневого монтажу та пов’язаних з ним технологій складання (EN IEC 61191-1:2018, IDT; IEC 61191-1:2018, IDT). Київ : ДП “УкрНДНЦ”, 2022.

13. ДСТУ EN 61190-1-1:2022. З’єднувальні матеріали для складання електроніки. Частина 1-1. Вимоги до паяльних флюсів для високоякісних з’єднань у складанні електроніки (EN 61190-1-1:2002, IDT; IEC 61190-1-1:2002, IDT). Київ : ДП “УкрНДНЦ”, 2022.

14. ДСТУ EN 61189-1:2022. Методи випробування електричних матеріалів, друкованих плат та інших з’єднувальних конструкцій і вузлів. Частина 1. Загальні методи випробування та методологія (EN 61189-1:1997, IDT; IEC 61189-1:1997, IDT). Київ : ДП “УкрНДНЦ”, 2022.

15. ДСТУ 3334-96. Плати друковані. Загальні вимоги до технологічних процесів регенерації, знешкодження та утилізації розчинів. Київ : Держстандарт України, 1997.

16. ДСТУ EN ISO 7200:2005. Розроблення технічної документації. Графи у штампах та основних написах (EN ISO 7200:2004, IDT). Київ : Держспоживстандарт України, 2007.

17. Правила улаштування електроустановок : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 № 476. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0476732-17>.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		66

18. Texas Instruments. UCx84x Current-Mode PWM Controllers : datasheet. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/uc3842.pdf>.

19. XLSEMI. XL4016 12A 180KHz 40V Buck DC to DC Converter : datasheet. URL: <https://www.xlsemi.com/datasheet/XL4016-EN.pdf>.

20. Texas Instruments. INA226 36V, 16-Bit, Ultra-Precise I2C Output Current, Voltage, and Power Monitor With Alert : datasheet. URL: <https://www.ti.com/product/INA226>.

21. Espressif Systems. ESP8266EX Datasheet. URL: https://documentation.espressif.com/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf.

22. Nanjing Qinheng Microelectronics Co., Ltd. CH340 USB to Serial Chip : datasheet. URL: https://www.wch-ic.com/downloads/CH340DS1_PDF.html.

23. Texas Instruments. LP2985 150mA, Low-Noise, Low-Dropout Regulator : datasheet. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lp2985.pdf>.

24. Texas Instruments. TL431, TL432 Precision Programmable Reference : datasheet. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl431.pdf>.

25. Solomon Systech. SSD1306 128 x 64 Dot Matrix OLED/PLED Segment/Common Driver with Controller : datasheet. URL: <https://www.solomon-systech.com/product/ssd1306>.

26. Атаманчук П. С. Безпека життєдіяльності : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 276 с.

27. Желібо Є. П., Зацарний В. В. Безпека життєдіяльності : підручник. Київ : Каравела, 2023. 344 с.

28. Запорожець О. І. Безпека життєдіяльності : підручник. 2-ге видання. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 448 с.

29. Андрейчук Н. І., Кіт Ю. В., Шибанов С. В., Шерстньова О. В. Охорона праці : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021. 276 с.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		67

30. Бедрій Я. І. Основи охорони праці : навчальний посібник. 4-те видання, перероблене і доповнене. Тернопіль : Навчальна книга - Богдан, 2018. 240 с.

31. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В. М. Основи охорони праці : навчальний посібник. 4-те видання, виправлене і доповнене. Київ : Знання, 2018. 302 с.

32. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підручник / В. В. Сокурєнко, О. М. Бандурка та ін. Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.

33. Кодекс цивільного захисту України : Кодекс України від 02.10.2012 № 5403-VI // База даних “Законодавство України” / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/5403-17>.

34. Закон України “Про охорону праці” від 14.10.1992 № 2694-XII // База даних “Законодавство України” / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>.

35. Правила пожежної безпеки в Україні : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417 // База даних “Законодавство України” / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0252-15>.

					<i>ПВВ 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		68

ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру РТ

_____ к.т.н. Дунець В.Л.

“28” квітня 2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

на тему: «Система контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням»

Узгоджено:

Керівник роботи

Яськів В.І. _____

“ _____ ” _____ 2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РАС-41

Підгурський В.В. _____

“ _____ ” _____ 2026р.

Тернопіль, 2026

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: «Система контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням».

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ університету про затвердження кваліфікаційної роботи № 4/7-198 від «28» квітня 2026р.

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Підгурський Владислав Віталійович, групи РАС-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням, що включає:

- аналіз існуючих систем контролю параметрів акумуляторів;
- розробку структурної схеми пристрою;
- розробку електричної принципової схеми системи;
- розрахунок вузла електричної принципової схеми;
- вибір і обґрунтування елементної бази;
- опис алгоритму роботи системи;
- компоновання та трасування друкованої плати;
- розрахунок надійності пристрою та параметрів друкованого монтажу;
- розробку конструкторської документації на друкований вузол.

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1.1 Пристрій повинен забезпечувати контроль параметрів акумулятора в діапазоні напруг 3,7-24 В.

4.1.2 Живлення пристрою повинно здійснюватися від мережі змінного

струму 220 В.

4.1.3 Вихідна напруга системи повинна регулюватися в межах 1,25-28 В постійного струму.

4.1.4 Максимальний робочий струм системи повинен становити до 10 А.

4.1.5 Розрахункова потужність контрольованого кола повинна становити до 240 Вт.

4.1.6 У складі пристрою повинен бути передбачений імпульсний перетворювач на базі ШІМ-контролера UC3843.

4.1.7 Понижувальний DC/DC-перетворювач повинен виконуватися на базі мікросхеми XL4016.

4.1.8 Контроль напруги та струму акумулятора повинен здійснюватися за допомогою вимірювального вузла на мікросхемі INA226.

4.1.9 Для вимірювання струму повинен використовуватися шунт R42 номіналом 0,005 Ом потужністю 2 Вт.

4.1.10 У складі пристрою повинен бути передбачений модуль ESP8266 для реалізації дистанційного керування та передавання даних через Wi-Fi.

4.1.11 Для налагодження та службового обміну даними повинен бути передбачений USB-UART інтерфейс на базі мікросхеми CH340.

4.1.12 Пристрій повинен мати OLED-дисплей 128×64 для локального відображення основних параметрів роботи.

4.1.13 У пристрої повинна бути передбачена світлодіодна індикація основних режимів роботи та службових станів.

4.1.14 Вхідне коло живлення повинно мати захист від аварійного струму за допомогою плавкого запобіжника.

4.1.15 У конструкції повинні бути передбачені елементи фільтрації, захисту від перенапруг і зменшення імпульсних завад.

4.2 Технічні вимоги до конструкції

4.2.1 Система контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням повинна відповідати вимогам чинних стандартів та конструкторської документації на пристрій конкретного типу.

4.2.2 Пристрій повинен забезпечувати стабільну роботу вхідного вузла живлення, імпульсного перетворювача UC3843, понижувального перетворювача XL4016, вимірювального вузла INA226, модуля ESP8266, USB-UART інтерфейсу, OLED-дисплея та світлодіодної індикації.

4.2.3 Електронний вузол повинен працювати в нормальних кліматичних умовах без порушення основних функцій контролю акумулятора.

4.2.4 Конструкція пристрою повинна забезпечувати розділення силових, вимірювальних і цифрових кіл.

4.2.5 Друкована плата повинна бути виготовлена з двостороннього фольгованого склотекстоліту FR-4 товщиною 1,5 мм.

4.2.6 Тип монтажу елементів - комбінований, із застосуванням SMD-компонентів та вивідних елементів.

4.2.7 Друкована плата повинна мати металізовані монтажні та перехідні отвори.

4.2.8 Габаритні розміри друкованої плати повинні становити 180×107,5 мм.

4.2.9 Для силових кіл, вихідних контактів OUT+ і OUT-, а також ділянки зі шунтом R42 повинні бути передбачені провідники збільшеної ширини або мідні полігони.

4.2.10 Для ділянок, пов'язаних із вхідною мережевою напругою, повинні бути передбачені збільшені ізоляційні проміжки між струмоведучими частинами.

4.2.11 Вимірювальні лінії від шунта до мікросхеми INA226 повинні бути прокладені з урахуванням зменшення похибки вимірювання та впливу силових завад.

4.2.12 Модуль ESP8266 повинен бути розміщений так, щоб забезпечити нормальні умови роботи Wi-Fi-зв'язку.

4.2.13 У комплект виробу повинні входити: система контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням, друкований вузол, перелік елементів, схема електрична принципова, креслення друкованої плати, складальне креслення друкованого вузла та специфікація.

4.2.14 Середнє напрацювання до відмови повинно бути не менше 12000 год.

4.2.15 Час відновлення працездатності після ремонту повинен бути не більше 1 год.

4.2.16 Середній термін служби пристрою повинен бути не менше 5 років.

4.3 Правила приймання

4.3.1 Система контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням повинна піддаватися приймально-здавальним та періодичним випробуванням.

4.3.2 Під час приймально-здавальних випробувань перевіряється працездатність вхідного вузла живлення, запобіжника, імпульсного перетворювача на UC3843, понижувального перетворювача XL4016, вимірювального вузла INA226, шунта R42, модуля ESP8266, USB-UART інтерфейсу, OLED-дисплея та світлодіодної індикації. У разі виявлення дефектів пристрій повертається для усунення несправностей і повторної перевірки.

4.3.3 Періодичні випробування проводяться для перевірки відповідності пристрою технічним вимогам, стабільності роботи, точності контролю параметрів акумулятора та надійності функціонування в умовах експлуатації.

4.3.4 Випробування на надійність проводяться за такими вихідними даними:

приймальний рівень $R\alpha = 0,95$;

бракувальний рівень $R\mu = 0,8$;

ризик виробника $\alpha = 0,1$;

ризик споживача $\beta = 0,2$.

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам чинних ДСТУ, ДСТУ EN/IEC та методичних рекомендацій до виконання кваліфікаційних робіт.

5.2 Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- пояснювальної записки;
- схеми електричної принципової;
- переліку елементів;
- креслення друкованої плати;
- креслення друкованого вузла;
- специфікації.

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КП

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розробка та затвердження технічного завдання	12.03.2026
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	14.03.2026
3	Аналіз існуючих систем контролю заряду акумуляторів та пристроїв дистанційного керування	21.03.2026
4	Розробка структурної схеми системи контролю заряду акумулятора 3,7–24 В з дистанційним керуванням	23.03.2026
5	Розробка електричної принципової схеми пристрою	10.04.2026
6	Вибір та обґрунтування елементної бази системи контролю заряду акумулятора	12.04.2026
7	Розробка алгоритму роботи мікроконтролерного вузла та опис принципу функціонування пристрою	16.04.2026
8	Розрахунок основних вузлів схеми та параметрів роботи системи контролю заряду	22.04.2026
9	Розрахунок надійності пристрою та параметрів друкованого монтажу	02.05.2026
10	Компонування елементів і трасування друкованої плати системи контролю заряду акумулятора	15.05.2026
11	Перевірка конструкції друкованої плати, уточнення посадкових місць та параметрів друкованого вузла	23.05.2026
12	Розробка конструкторської документації на систему контролю заряду акумулятора 3,7–24 В	03.06.2026

13	Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці	09.06.2026
14	Нормоконтроль	10.06.2026
15	Попередній захист кваліфікаційної роботи	11.06.2026
16	Перевірка роботи на антиплагіат	13.06.2026
17	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2026

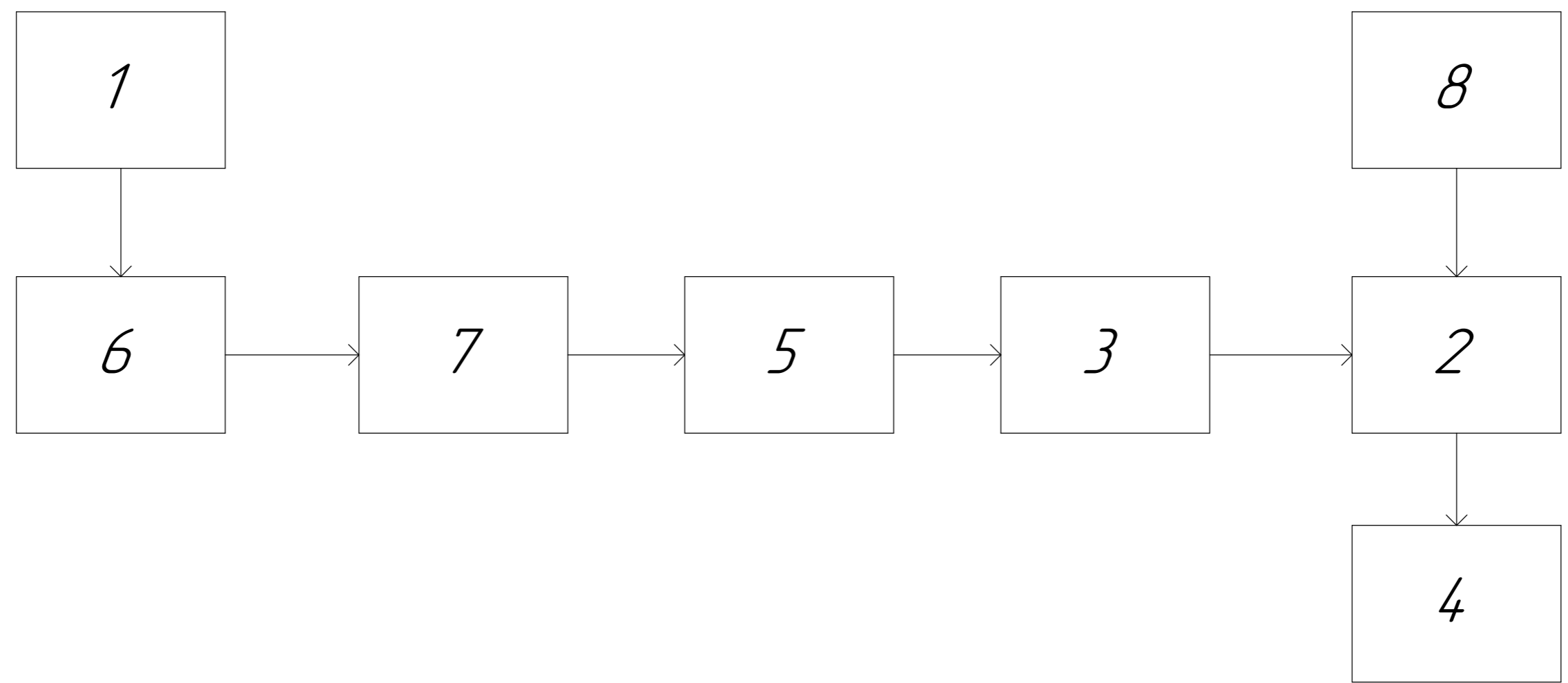
Термін виконання кваліфікаційної роботи узгоджується з керівником і з графіком виконання.

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

7.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

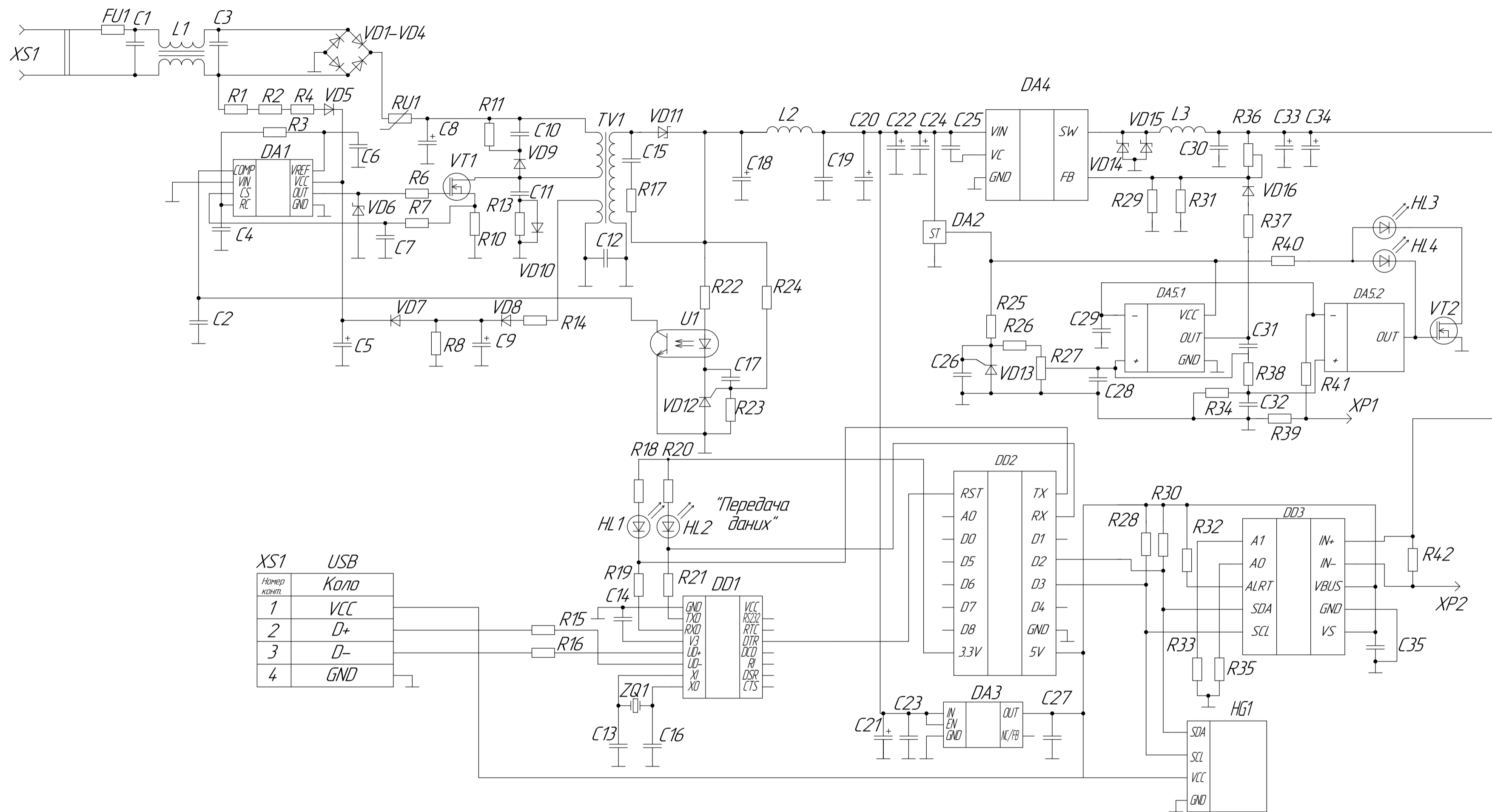
Первинне застосування
Додатковий №
Підп. і дата
Інв. № дубл.
Зам. інв. №
Підп. і дата
Інв. № ар.

ПВВ 2.899.001 Е1



- 1 – Вхідний вузол живлення 220 В, захист і фільтрація;
- 2 – Керуючий модуль ESP8266 з Wi-Fi;
- 3 – Вузол вимірювання напруги та струму INA226;
- 4 – OLED-індикатор 128x64 та світлодіодна індикація;
- 5 – Вихідне коло підключення акумулятора 3,7–24 В;
- 6 – Імпульсний перетворювач на UC3843;
- 7 – Понижувальний DC/DC-перетворювач XL4016;
- 8 – Інтерфейс USB-UART на базі CH340.

					ПВВ 2.899.001 Е1		
Змн. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Система контролю акумулятора 3.7–24 В з дистанційним керуванням Структурна схема	Літ.	Вага	Масштаб
Розроб.	Підгурський В.В.						1:1
Перевір.	Яськів В.І.				Арк	Аркушів	1
Реценз.							
Н.контр.	Хвостівська Л.В.				ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41		
Затверд.	Дунець В.І.			Копіював			Формат А3



Номер контакту	Коло
1	VCC
2	D+
3	D-
4	GND

"Передача даних"

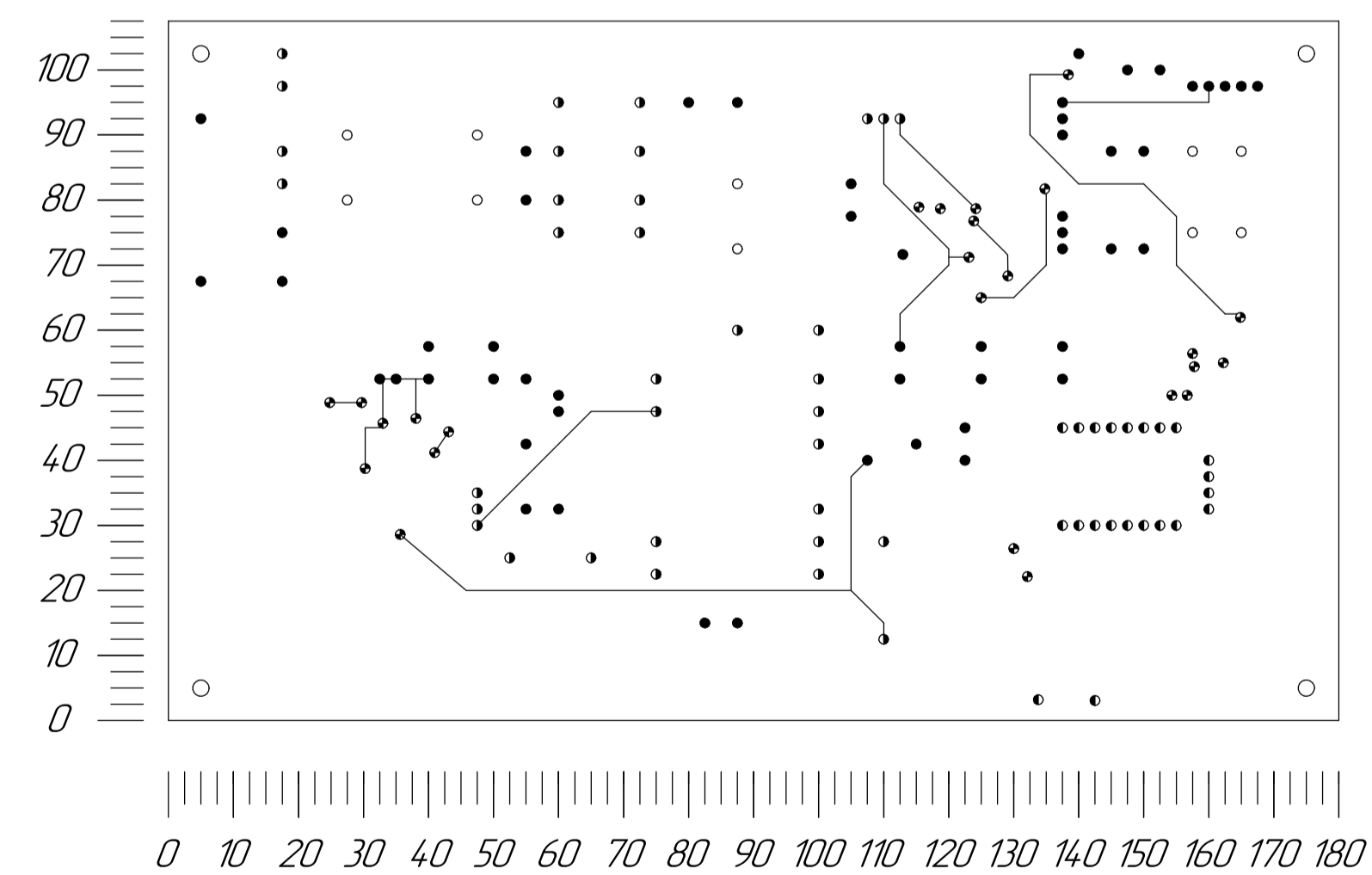
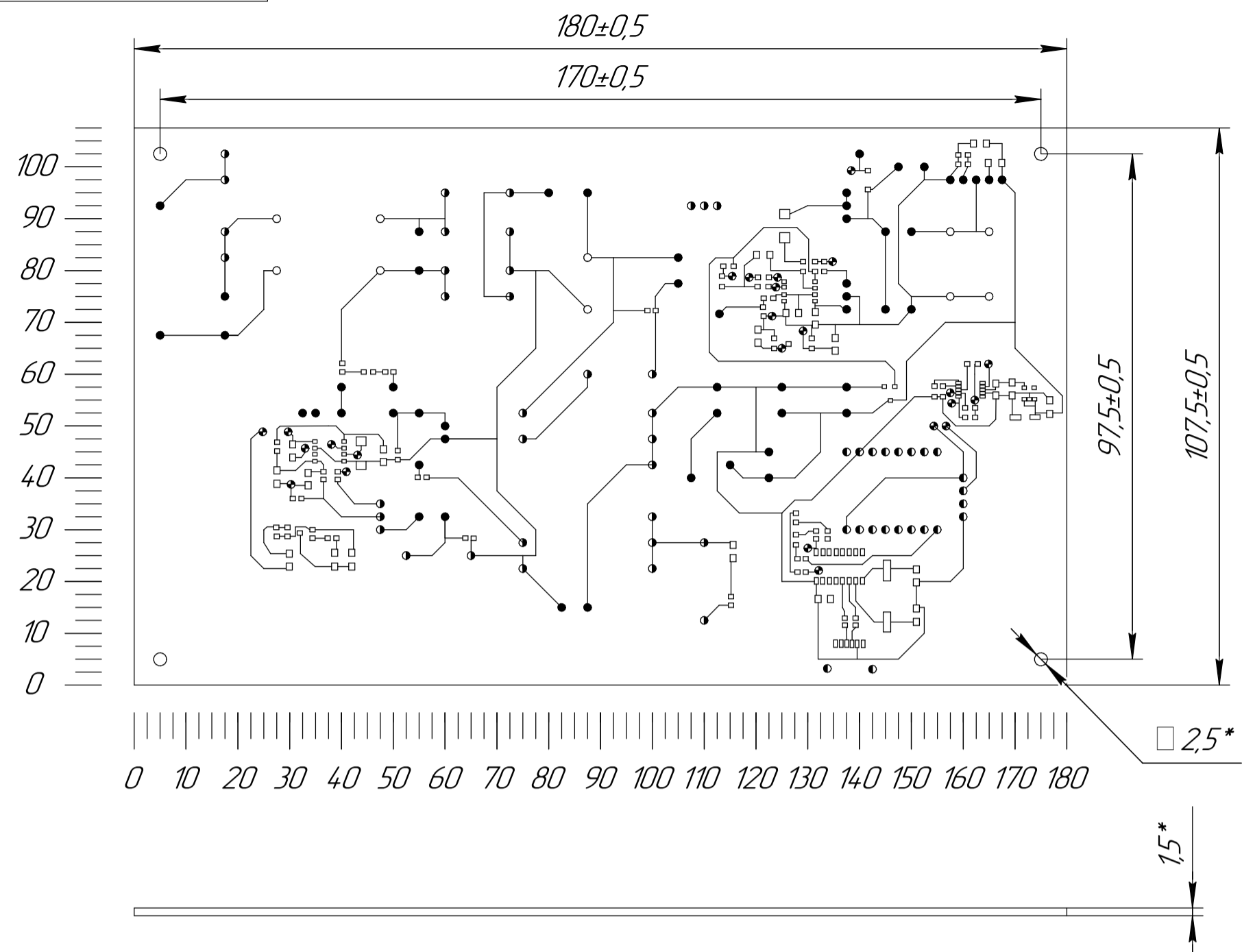
ЛРБВ 2.899.001 ЕЗ				Лист	Вага	Масштаб
Знач.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Система контролю акумулятора 3.7-24 В з дистанційним керуванням	
Розроб.	Лідерський ВВ				Схема електрична принципова	
Перевір.	Яськів ВІ					
Реценз.						
Начальн.	Хвастська ЛВ				Арх.	Архивів 1
Затверд.	Дирець В/І				ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41	
Копія				Формат А1		

Перш ніж застосувати
Додатковий №
Підп. і дата
Зем. № ар.
№ ар.

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<i>Конденсатори</i>		
C1	CL21-400V-104K-P10 ±10% "HINATO"	1	
C2	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C3	CL21-400V-104K-P10 ±10% "HINATO"	1	
C4	MLCC-SMD/SMT 50V 2.2nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C5	ECAP-25B-47uF ±20% "Nichicon"	1	
C6	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C7	MLCC-SMD/SMT 50V 330pF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C8	ECAP-400B-100uF ±20% "Nichicon"	1	
C9	ECAP-25B-47uF ±20% "Nichicon"	1	
C10	CCK-1kv-4.7nF ±10% "SR Passives"	1	
C11	CCK-1kv-510pF ±10% "SR Passives"	1	
C12	CCK-1kv-2.2nF ±10% "SR Passives"	1	
C13	MLCC-SMD/SMT 50V 2.2pF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C14	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C15	MLCC-SMD/SMT 50V 4.7nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C16	MLCC-SMD/SMT 50V 2.2pF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C17	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C18	ECAP-25B-680uF ±20% "Nichicon"	1	
C19	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C20,C21	ECAP-25B-680uF ±20% "Nichicon"	2	
C22	ECAP-50B-470uF ±20% "Nichicon"	1	
C23	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C24	ECAP-50B-470uF ±20% "Nichicon"	1	
C25-C32	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	8	
C33,C34	ECAP-50B-1000uF ±20% "Nichicon"	2	
C35	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	

ПВВ 2.899.001 ПЕ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
					Система контролю акумулятора 3,7-24 В з дистанційним керуванням Перелік елементів		
Розроб.		Підцирський В.В.			Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Яськів В.І.				1	4
Реценз.					ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41		
Н. Контр.		Хвостівська Л.В.					
Затверд.		Дунець В.Л.					

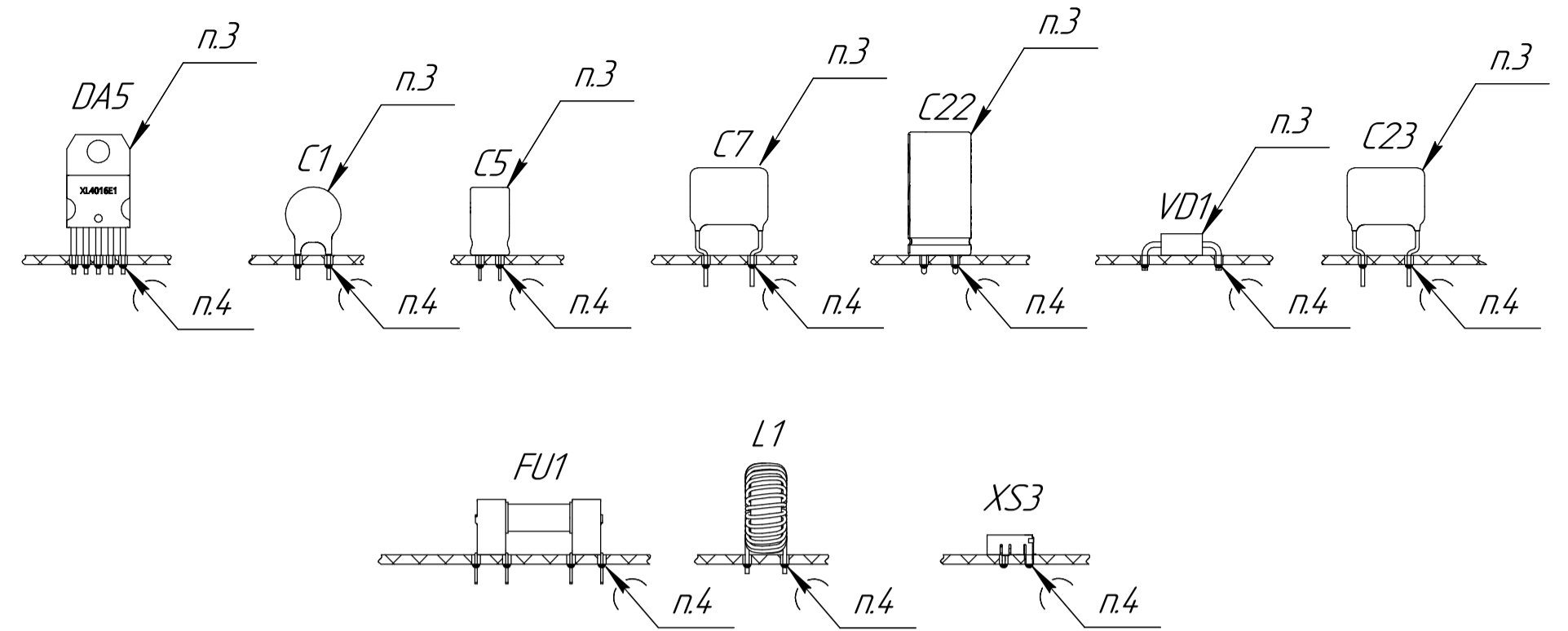
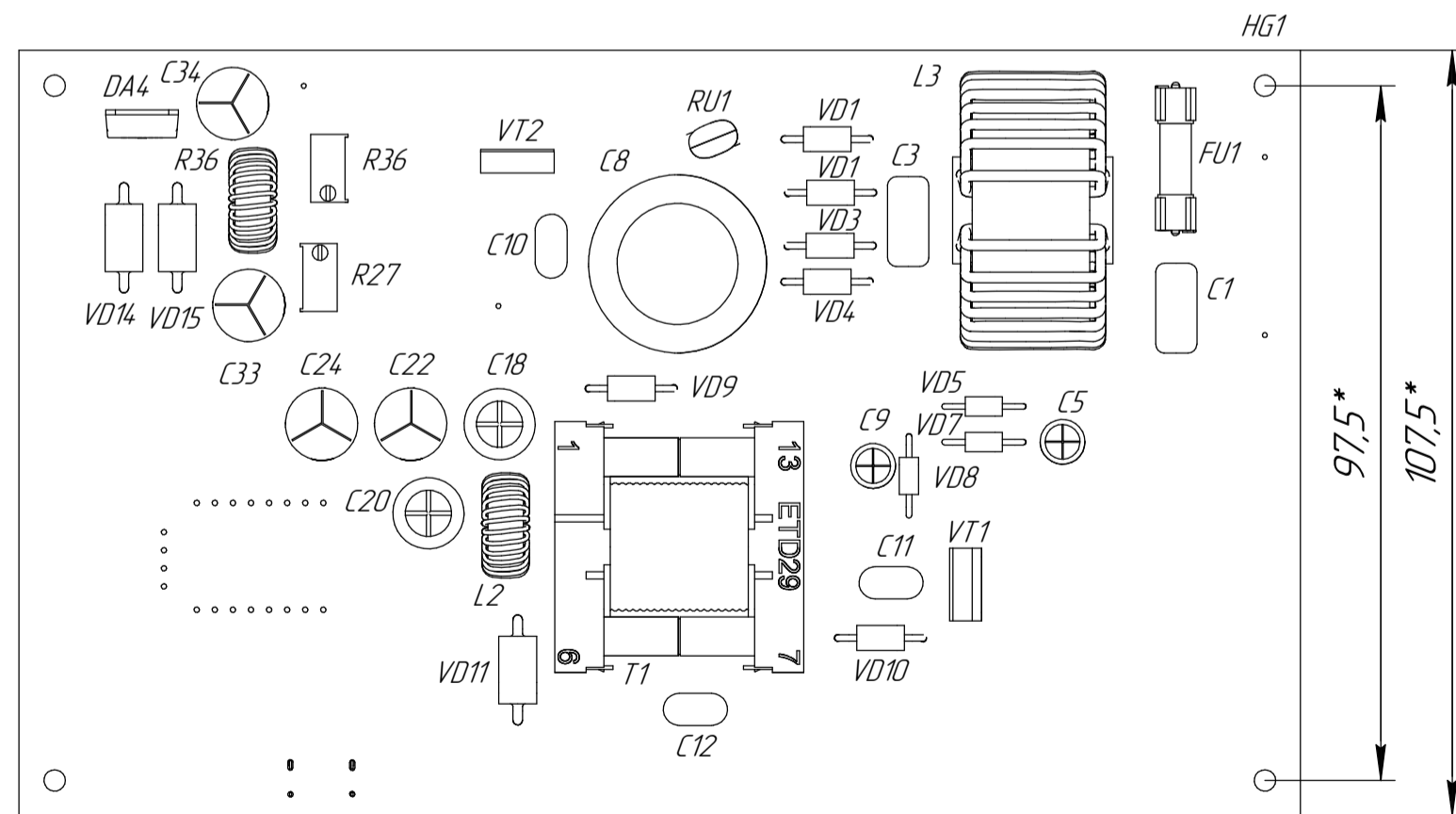
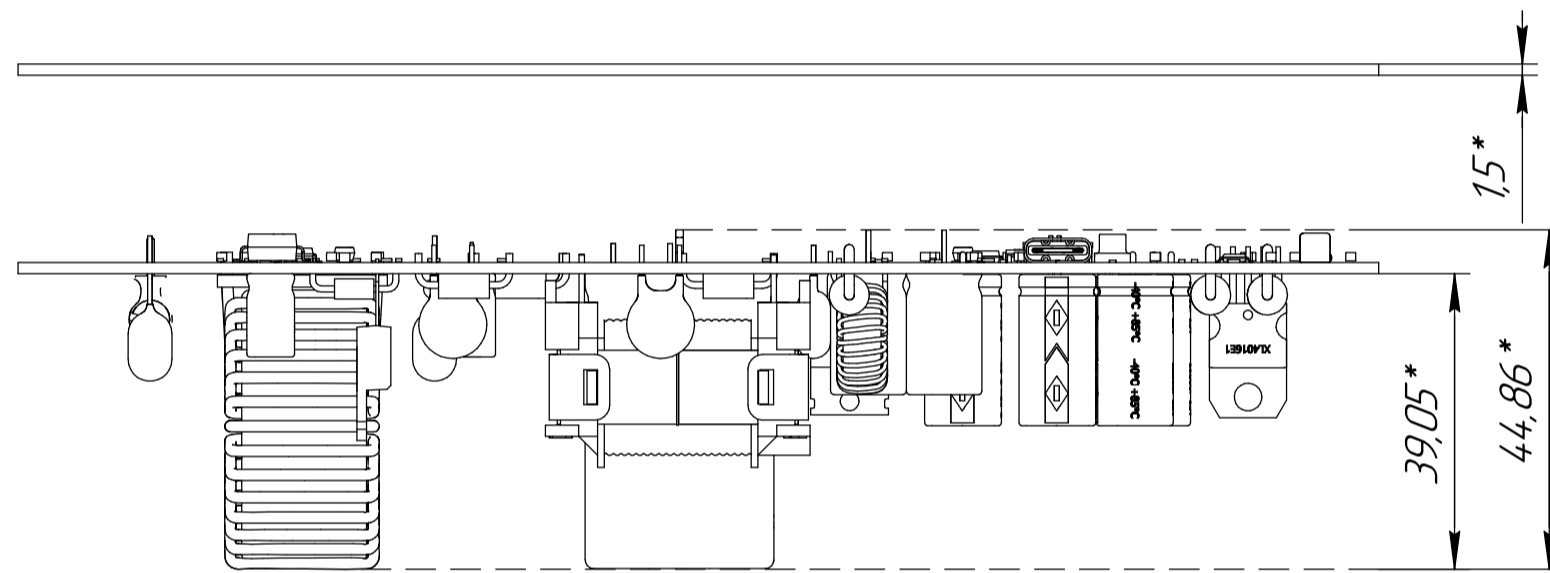
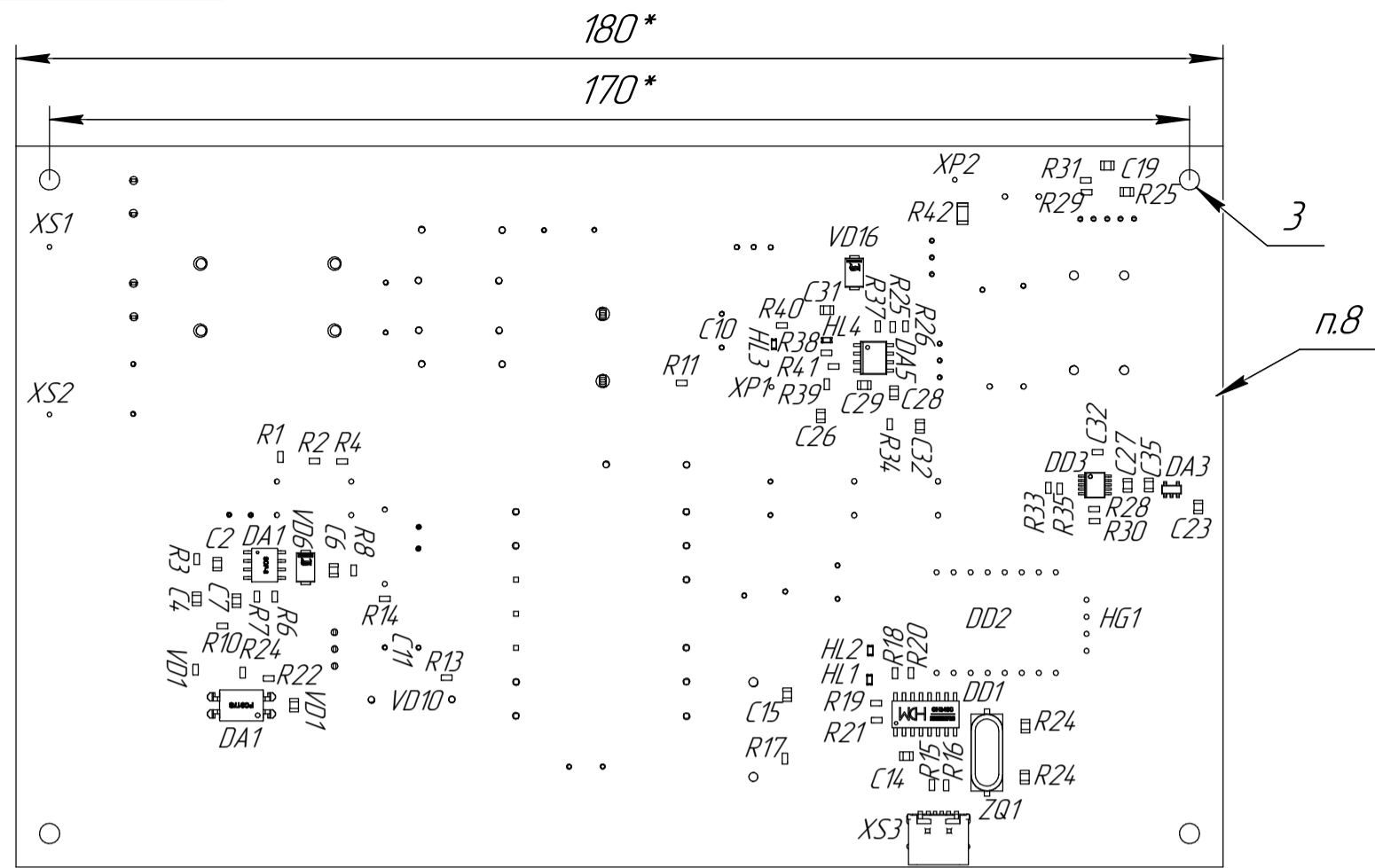


Таблиця отворів

Позначення отвору	Діаметру отвору	Діаметр конт. площадки	Наявність металізації	Кількість отворів
⊕	0,7	1,6	з метал.	143
◐	0,8	1,8	з метал.	22
●	1,2	2,4	з метал.	53
◑	1,5	3	з метал.	34
○	1,7	3,4	з метал.	10

- *Размір для довідок.
- Підготовку до монтажу виконати згідно з вимогами ДСТУ EN IEC 61191-1:2022.
- Встановлення елементів на друкований вузол виконати згідно з ДСТУ EN IEC 61191-1:2022 та кресленням складального вузла. Роз'єми встановити відповідно до варіантів, зображених на кресленні.
- Паяння елементів виконати згідно з ДСТУ EN IEC 61191-1:2022. Паяльні матеріали застосовувати згідно з ДСТУ EN 61190-1-1:2022
- Теплопровідну пасту КПТ-8
- Різьбові з'єднання стопарити емаллю або фіксатором різьби
- Друкований вузол покрити захисним лаком для електронних вузлів згідно з технічною документацією виробника або вимогами IPC-CC-830.
- Позначення елементів схеми показані умовно.

				ЛВВ 7.103.001			
Змн. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Плата друкована	Літ.	Вага	Масштаб
Розроб.	Підгурський В.В.						1:1
Перевір.	Яськів В.І.			FR-4	Арк	Аркцифр	1
Реценз.							
Н.контр.	Хвостівська Л.В.			ТНТУ ім. І. Пулюя РАС-41			
Затверд.	Дунець В.І.						



1. *Розмір для довідок.
2. Підготовку до монтажу виконати згідно з вимогами ДСТУ EN ІЕС 61191-1:2022.
3. Встановлення елементів на друкований вузол виконати згідно з ДСТУ EN ІЕС 61191-1:2022 та кресленням складального вузла. Роз'єми встановити відповідно до варіантів, зображених на кресленні.
4. Паяння елементів виконати згідно з ДСТУ EN ІЕС 61191-1:2022. Паяльні матеріали застосовувати згідно з ДСТУ EN 61190-1-1:2022
5. Теплопровідну пасту КПТ-8
6. Різьбові з'єднання стопарити емалю або фіксатором різьби
7. Друкований вузол покрити захисним лаком для електронних вузлів згідно з технічною документацією виробника або вимогами ІРС-СС-830.
8. Позначення елементів схеми показані умовно.

ПВВ.2.899.001 СК

				ПВВ.2.899.001 СК			
Змч. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Друкований вузол системи контролю акумулятора 3.7-24 В з дистанційним керуванням Складальне креслення	Літ.	Вага	Масштаб
Разроб.	Підгурський В.В.					0,46	1:1
Перевір.	Яськів В.І.				Арк	Аркцифів	1
Реценз.					ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41		
Нжконтр.	Хвостівська Л.В.						
Затверд.	Дунець В.І.						

Форм.	поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
			<u>Документація</u>		
A1		ПВВ 2.899.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
A4		ПВВ 2.899.001 ПЕ	Перелік елементів	4	
A2		ПВВ 2.899.001 СК	Вузол друкований	1	
			<u>Деталі</u>		
A2	1	ПВВ 2.899.001	Плата друкована	1	
			<u>Інші вироби</u>		
			<u>Конденсатори</u>		
	5		MLCC-SMD/SMT 50V 2.2pF		
			COG1206 ±10% "KEMET"	2	С12,С22
	6		MLCC-SMD/SMT 50V 330pF		
			COG1206 ±10% "KEMET"	1	С7
	7		CCK-1kv-510pF 10% "SR Passives"	1	С11
	8		MLCC-SMD/SMT 50V 2.2nF		
			COG1206 ±10% "KEMET"	1	С4
	9		CCK-1kv-2.2nF 10% "SR Passives"	1	С14
	10		CCK-1kv-4.7nF "SR Passives"	1	С10
	11		MLCC-SMD/SMT 50V 4.7nF		
			COG1206 ±10% "KEMET"	1	С18
	12		CL21-400V-104K-P10 10% "HINATO"	2	С1,С2

ПВВ 2.899.001				
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Підгурський В.В.			
Перевір.	Яськів В.І.			
Реценз.				
Н.контр.	Хвостівська Л.В.			
Затверд.	Дунець В.Л.			
Система контролю акумулятора 3.7-24 В з дистанційним керуванням Специфікація			Лім.	Арк.
				1
			Аркушів	4
ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41				

