


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря Сікорського»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
АПРАТУРИ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри


О.М. Лисенко
(підпис) (прізвище, ініціали)

“19” червня 2024р.

Дипломний проект


на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка"
(код та назва напряму підготовки або спеціальності)


на тему Зарядний пристрій з підвищеним захистом

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-01

Добродій Роман Павлович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник доц., к.т.н., доц. Павлов Л.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, ініціали прізвище)


(підпис)

Рецензент _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, ініціали та прізвище)

(підпис)

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

Студент 
(підпис)

Київ 2024

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

Факультет електроніки

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури


Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Лисенко О.М.



(підпис)

(прізвище ініціали)

«23» березня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Добродію Роману Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Зарядний пристрій з підвищеним захистом

керівник проекту доц., к.т.н., доц. Павлов Л.М.

затверджені наказом по університету від 23.05.2024 року №2076-с

2. Термін подання студентом проекту 12 червня 2024

3. Вихідні дані до проекту Система, яка складається з апаратної частини, призначена для ефективного та безпечного заряджання акумуляторів різних електронних пристроїв. Напруга живлення пристрою – 220 В змінного струму на вході та 5 В постійного струму на виході.
Кліматичне виконання УХЛ 1.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- вступ;
- аналіз технічного завдання;
- розробка структурної схеми приладу та схеми електричної принципової;
- обґрунтування вибору елементної бази;
- обґрунтування вибору матеріалу друкованої плати;
- конструкторсько-технологічні та електричні розрахунки;
- проектування друкованого вузлу у САПР Altium Designer;
- висновки.


5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):


- схема електрична принципова;
- креслення друкованої плати;
- складальне креслення;

6. Дата видачі завдання 23.03.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	24.03.24-30.03.24	Виконано
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	31.03.24-6.04.24	Виконано
3	Схемотехнічне проектування	7.04.24-16.04.24	Виконано
4	Виконання креслень схеми електричної принципової	17.04.24-24.04.24	Виконано
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	25.04.24-3.05.24	Виконано
6	Електричний розрахунок друкованої плати	4.05.24-13.05.24	Виконано
7	Проектування у Altium Designer	14.05.24-19.05.24	Виконано
8	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузлу	20.05.24-28.05.24	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	29.05.24-13.06.24	Виконано

Студент  Р.П. Добродій
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник проекту  Л.М. Павлов
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Роботу викладено на 89 сторінках, містить 5 розділів, 25 ілюстрацій, 4 таблиць та 13 джерела в переліку посилань

У даній роботі розглядається розробка зарядного пристрою з підвищеним захистом. Основною метою роботи є створення пристрою, який здатний ефективно заряджати акумулятори різних електронних пристроїв, забезпечуючи при цьому високий рівень безпеки. Документ включає аналіз існуючих рішень та вимоги до проектування, розробку структурної схеми і схеми електричної принципової, вибір елементної бази та тестування макету пристрою. Основні розділи пояснювальної записки охоплюють огляд існуючих технологій та визначення вимог до нового пристрою, детальний опис компонентів і їх зв'язків у системі, вибір оптимальних компонентів для реалізації проекту, розробку апаратної частин пристрою. Ця робота представляє собою всебічний підхід до розробки зарядного пристрою, що включає як апаратну, так і програмну складові, і є важливим кроком у напрямку підвищення безпеки та ефективності зарядних пристроїв. Пристрій має в своїй основі блокінг-генератор, захист за струмом, захист за пробивною напругою база-емітерного переходу, захист за температурою та захист споживача за допомогою гальванічної розв'язки за допомогою оптрону. Прилад призначений для встановлення у житлових приміщеннях.

ABSTRACT

The work is presented in 89 pages, contains 6 sections, 25 illustrations, 4 tables, and 13 sources in the list of references.

In this work, the development of a charger with enhanced protection is considered. The main objective of the work is to create a device capable of efficiently charging batteries of various electronic devices while ensuring a high level of safety. The document includes an analysis of existing solutions and design requirements, the development of a structural diagram and an electrical schematic, the selection of component base, and testing of the device prototype. The main sections of the explanatory note cover the review of existing technologies and the determination of requirements for the new device, a detailed description of the components and their connections within the system, the selection of optimal components for project implementation, the development of the hardware and software parts of the device, as well as the assembly and testing process of the finished prototype. This work represents a comprehensive approach to the development of a charger, including both hardware and software components, and is an important step towards improving the safety and efficiency of charging devices. The device is based on a blocking generator, protection against current, protection against breakdown voltage of the base-emitter junction, temperature protection, and consumer protection through galvanic isolation using an optocoupler. The device is intended for installation in residential premises.

Зміст

Вступ.....	9
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ	10
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ І ВИМОГИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ	11
1.1 Зарядні пристрої, їх використання та різновидність.....	11
1.2 Принцип роботи зарядних пристроїв	11
1.3 Аналіз наявних рішень	12
1.4 Вимоги до проектування	18
1.5 Формування ТЗ.....	20
Висновок до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ.....	24
2.1 Розробка структурної схеми	24
2.2 Вибір елементної бази	25
2.2.1 Вибір трансформатора.....	27
2.2.2 Вибір конденсаторів	28
2.2.3 Вибір резисторів.....	29
2.2.3 Вибір діодів.....	30
2.2.4 Вибір транзисторів.....	34

<i>ДКО1.164327.001.ПЗ.</i>								
					<i>Зарядний пристрій з підвищеним захистом</i> <i>Пояснювальна записка</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архивів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Р.П. Додородій</i>					1	89
<i>Перевірюв</i>		<i>Л.М. Павлов</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, КЕОА</i>		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Конта.</i>		<i>О.І. Лисенко</i>						
<i>Затвердив</i>		<i>Л.М. Павлов</i>						

2.2.5 Вибір роз'єму.....	35
2.3 Розробка та опис схеми електричної принципової.....	37
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ	43
3.1 Вибір і обґрунтування типу друкованої плати.....	43
3.2 Вибір і обґрунтування матеріалу друкованої плати.....	45
3.3 Метод виготовлення друкованої плати	47
3.4. Вибір класу точності.....	49
3.5 Проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer	51
Висновок до розділу 3	54
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ	56
4.1. Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати.	56
4.2. Електричний розрахунок друкованої плати.....	65
4.3 Тепловий розрахунок ДП.....	75
РОЗДІЛ 5. СТВОРЕННЯ МАКЕТУ ПРИСТРОЮ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЙОГО ТЕСТУВАННЯ.....	77
Висновок до розділу 5	80
Висновки	81
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	83
Додаток А.....	85

Вступ

У світі, де електронні пристрої стали невід'ємною частиною нашого повсякденного життя, зарядні пристрої стали не лише зручними, але й необхідними аксесуарами. Вони дозволяють нам тримати наші смартфони, планшети, ноутбуки та інші гаджети завжди зарядженими, щоб ми могли залишатися підключеними в будь-який час та в будь-якому місці.

Перед нами стоїть завдання дослідити цей важливий аспект сучасної технології - зарядні пристрої. У першому розділі нашого дипломного проекту ми збираємося заглибитися в їхній світ, досліджуючи їхню різноманітність, принцип роботи, а також аналізуючи сучасні рішення на ринку. Ми прагнемо зрозуміти, як працюють зарядні пристрої, які вимоги пред'являються до їхнього проектування, і як ми можемо покращити їхню функціональність та безпеку.

Цей розділ відкриває двері до захоплюючого світу зарядних пристроїв, де ми плануємо провести глибокий аналіз, щоб створити зарядний пристрій, який відповідає найвищим стандартам якості, ефективності та безпеки.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ

AC - Alternating Current (Змінний струм)

AD – Altium Designer

DC - Direct Current (Постійний струм)

EMI - Electromagnetic Interference (Електромагнітні перешкоди)

USB - Universal Serial Bus (Універсальна послідовна шина)

PCB - Printed Circuit Board (Друкована плата)

OCP - Overcurrent Protection (Захист від перевантаження по струму)

OTP - Overtemperature Protection (Захист від перегріву)

OVP - Overvoltage Protection (Захист від перенапруги)

UVP - Undervoltage Protection (Захист від зниженої напруги)

MPPT - Maximum Power Point Tracking (Відстеження точки максимальної потужності)

IC - Integrated Circuit (Інтегральна схема)

IoT - Internet of Things (Інтернет речей)

GND - Ground (Земля)

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						10
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ І ВИМОГИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Зарядні пристрої, їх використання та різновидність

Зарядні пристрої відіграють важливу роль у сучасному світі, забезпечуючи живлення для різноманітних електронних пристроїв. Від смартфонів і планшетів до електромобілів та промислових агрегатів – всі вони потребують надійних та ефективних засобів зарядки. Різновидність зарядних пристроїв можна класифікувати за кількома критеріями, такими як тип живлення, конструкція, методи зарядки та рівень захисту.

Мережеві зарядні пристрої підключаються до розетки змінного струму і перетворюють напругу мережі на постійний струм, необхідний для зарядки пристрою. Автомобільні зарядні пристрої підключаються до автомобільної системи живлення через прикурювач і забезпечують зарядку пристроїв під час руху. Бездротові зарядні пристрої використовують технологію індукційної зарядки, дозволяючи заряджати пристрої без фізичного контакту. Портативні зарядні пристрої (Power Banks) – акумуляторні пристрої, що зберігають енергію і можуть заряджати інші пристрої в будь-якому місці.

1.2 Принцип роботи зарядних пристроїв

Принцип роботи зарядних пристроїв базується на перетворенні електричної енергії із зовнішнього джерела на форму, що підходить для зарядки внутрішнього акумулятора цільового пристрою. Основні етапи процесу включають:

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						11
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Перетворення напруги – зниження або підвищення вхідної напруги до рівня, прийнятого для зарядки акумулятора.

Випрямлення струму – перетворення змінного струму (АС) на постійний струм (DC), що підходить для більшості акумуляторних систем.

Регулювання струму та напруги – забезпечення стабільного та безпечного рівня напруги і струму для захисту акумулятора від перевантажень та перегріву.

Захисні механізми – запобігання короткому замиканню, перегріву, перезарядці та іншим небажаним явищам.

1.3 Аналіз наявних рішень

На сучасному ринку зарядних пристроїв для мобільних пристроїв представлено безліч варіантів, які пропонують різні функціональні можливості та рівні захисту. Розглянемо кілька конкретних прикладів зарядних блоків з підвищеним захистом, їх технічні характеристики, переваги та недоліки.

Anker PowerPort Atom PD 2

Опис та технічні характеристики:

Anker PowerPort Atom PD 2 є одним з найбільш популярних зарядних пристроїв на ринку, завдяки своїй потужності і компактному дизайну. Він

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

використовує передову технологію GaN (галій нітрид), яка дозволяє зменшити розміри пристрою, підвищуючи його ефективність.

вихідна потужність: До 60 Вт (два USB-C порти по 30 Вт кожен)

порти: Два USB-C порти з підтримкою Power Delivery (PD)

розміри: 68 x 69 x 29 мм

вага: 130 г



Рисунок 1.1 Anker PowerPort Atom PD 2

Захисні функції: захист від перегріву, короткого замикання, перевантаження і перезарядки

Реалізація захисту:

Захист від перегріву реалізований за допомогою вбудованих датчиків температури, які постійно моніторять стан зарядного пристрою. При

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

досягненні критичної температури, пристрій автоматично знижує вихідну потужність або вимикається, запобігаючи перегріву.

Захист від короткого замикання і перевантаження забезпечується електронними компонентами, які миттєво реагують на небезпечні умови, розриваючи ланцюг живлення.

Переваги:

компактний дизайн завдяки технології GaN

висока потужність і підтримка швидкої зарядки

надійний захист від перегріву і короткого замикання

Недоліки:

висока вартість у порівнянні з аналогами

може нагріватися при одночасній зарядці двох пристроїв

Apple 96W USB-C Power Adapter

Опис та технічні характеристики:

Apple 96W USB-C Power Adapter призначений для зарядки MacBook Pro і інших пристроїв з підтримкою USB-C. Це один з найпотужніших зарядних пристроїв, який гарантує швидку і стабільну зарядку.

вихідна потужність: 96 Вт

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						14
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

порт: Один USB-C порт

розміри: 80 x 80 x 28 мм

вага: 290 г



Рисунок 1.2 Apple 96W USB-C Power Adapter

Захисні функції: захист від перегріву, короткого замикання, перевантаження і автоматичне вимикання при небезпечних умовах

Реалізація захисту:

Apple використовує високоякісні компоненти та складні алгоритми контролю для забезпечення безпеки. Вбудовані датчики температури та інтелектуальні схеми дозволяють автоматично регулювати потужність зарядки, запобігаючи перегріву. У разі виявлення небезпечних умов, пристрій автоматично відключається, щоб захистити користувача і підключений пристрій.

										Лист
										15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

ДКО1.164.327.001. ПЗ

Переваги:

висока потужність, що забезпечує швидку зарядку.

надійний бренд і висока якість збірки.

вбудовані інтелектуальні функції захисту.

Недоліки:

висока вартість

відносно великі розміри та вага

Samsung 45W USB-C Super Fast Charging Wall Charger

Опис та технічні характеристики:

Samsung 45W USB-C Super Fast Charging Wall Charger підтримує технологію супер швидкої зарядки, яка дозволяє значно скоротити час зарядки пристроїв. Він ідеально підходить для нових моделей смартфонів Samsung і інших пристроїв з підтримкою USB-C.

вихідна потужність: 45 Вт

порт: Один USB-C порт з підтримкою Power Delivery (PD)

розміри: 68 x 40 x 26 мм

вага: 100 г

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						16
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 Samsung 45W USB-C Super Fast Charging Wall Charger

Захисні функції: захист від перегріву, короткого замикання, перевантаження і перенапруги

Реалізація захисту:

цей зарядний пристрій оснащений кількома рівнями захисту, включаючи термозахист, який забезпечується за допомогою вбудованих термісторів і інтелектуальних схем. Вони дозволяють автоматично контролювати температуру пристрою і, при необхідності, регулювати вихідну потужність або вимикати пристрій.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						17
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги:

підтримка супер швидкої зарядки

компактний і легкий дизайн

надійний захист від перегріву та інших небезпечних умов

Недоліки:

підходить в основному для нових моделей пристроїв

висока вартість у порівнянні з іншими зарядними пристроями

Розглянуті приклади зарядних пристроїв демонструють різні підходи до забезпечення ефективного заряджання та підвищеного захисту. Кожен з них має свої переваги та недоліки, які слід враховувати при виборі або розробці власного зарядного пристрою з підвищеним термозахистом. Використання сучасних технологій, таких як GaN, та інтелектуальних схем захисту дозволяє забезпечити високу надійність і безпеку зарядних пристроїв, що є важливим критерієм для кінцевого користувача.

1.4 Вимоги до проектування

Безпека: Пристрій повинен відповідати всім вимогам безпеки, щоб уникнути пожеж, ураження електричним струмом та інших небезпек. Це включає використання якісних компонентів, захист від короткого замикання, перевантаження та перегріву, а також відповідність міжнародним стандартам безпеки.

					ДКО1.164.327.001. ПЗ	Лист
						18
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Надійність: Зарядний пристрій повинен бути надійним і стійким до несприятливих умов експлуатації. Це означає, що він повинен витримувати механічні навантаження, вібрації, перепади температур та вплив зовнішнього середовища.

Ефективність: Зарядний пристрій повинен мати високий коефіцієнт корисної дії, щоб мінімізувати втрати енергії. Це дозволить економити електроенергію та продовжити термін служби пристрою.

Мобільність: Зарядний пристрій, якщо це можливо, повинен бути компактним і легким для зручного транспортування. Це особливо важливо, якщо ви плануєте використовувати його в подорожах або в польових умовах.

Екологічність: Зарядний пристрій повинен бути екологічно чистим і не завдавати шкоди навколишньому середовищу. Це включає використання екологічно чистих матеріалів, мінімізацію відходів та відповідність екологічним стандартам.

Функціональність: Зарядний пристрій повинен мати необхідні функції, такі як індикатор заряду, захист від перевантаження, захист від короткого замикання та інші. Додаткові функції, такі як швидка зарядка, автоматичне визначення типу акумулятора, можливість заряджання декількох пристроїв одночасно, можуть зробити пристрій більш зручним у використанні.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						19
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1.5 Формування ТЗ

Функціональні вимоги:

Вихідна потужність:

Зарядний пристрій повинен підтримувати вихідну потужність до 60 Вт.

Підтримка Power Delivery (PD) для забезпечення швидкої зарядки.

Порти:

пристрій повинен мати один порт USB-A та контактні майданчики для пайки проводів живлення.

порт має підтримувати технологію Power Delivery (PD).

Захисні функції:

захист від перегріву за допомогою порогового сенсора температури.

захист від короткого замикання.

захист від перевантаження.

захист від перенапруги.

автоматичне вимкнення при виявленні небезпечних умов.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

інтелектуальні функції:

автоматичне регулювання потужності залежно від типу підключеного пристрою.

індикація стану зарядки (LED або інший тип індикації).

Технічні вимоги

Реалізація термозахисту:

використання порогового сенсора температури для постійного моніторингу температури пристрою.

при досягненні критичної температури сенсор автоматично знижує вихідну потужність або вимикає пристрій для запобігання перегріву.

Розміри і вага:

зарядний пристрій повинен бути компактним і легким.

орієнтовні розміри: 70 x 70 x 30 мм.

максимальна вага: 150 г.

Матеріали:

корпус має бути виготовлений з термостійких матеріалів, що забезпечують довговічність та стійкість до високих температур.

Ефективність:

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективність перетворення енергії повинна бути не менше 90%.

використання технології GaN (галій нітрид) для зменшення розмірів та підвищення ефективності.

Експлуатаційні вимоги:

Діапазон робочих температур:

зарядний пристрій повинен стабільно працювати при температурі від 0°C до 40°C.

зберігання при температурі від -20°C до 60°C.

Вологість:

пристрій має бути стійким до відносної вологості до 90% без конденсації.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок до розділу 1

В першому розділі ми глибоко вдібралися в тему зарядних пристроїв, вивчаючи їх різноманітність та ролі в нашому сучасному світі. Ми розглянули не лише їхні основні функції, але й широкий спектр використання, включаючи заряджання мобільних телефонів, планшетів, ноутбуків та інших електронних пристроїв. Досліджуючи принцип їхньої роботи, ми зрозуміли, що зарядні пристрої перетворюють вхідну електричну енергію на вихідну потужність, необхідну для заряджання різних пристроїв.

В аналізі наявних рішень ми детально розглянули кілька сучасних моделей зарядних пристроїв, таких як Anker PowerPort Atom PD 2, Apple 96W USB-C Power Adapter та Samsung 45W USB-C Super Fast Charging Wall Charger. Цей аналіз допоміг нам краще зрозуміти характеристики та можливості цих пристроїв, а також виявити переваги та недоліки кожного з них.

					<i>ДКО1.164327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						23
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

2.1 Розробка структурної схеми

На основі технічного завдання та вимог до пристрою було розроблено структурну схему реалізації пристрою, яка наведена на рисунку 2.1.

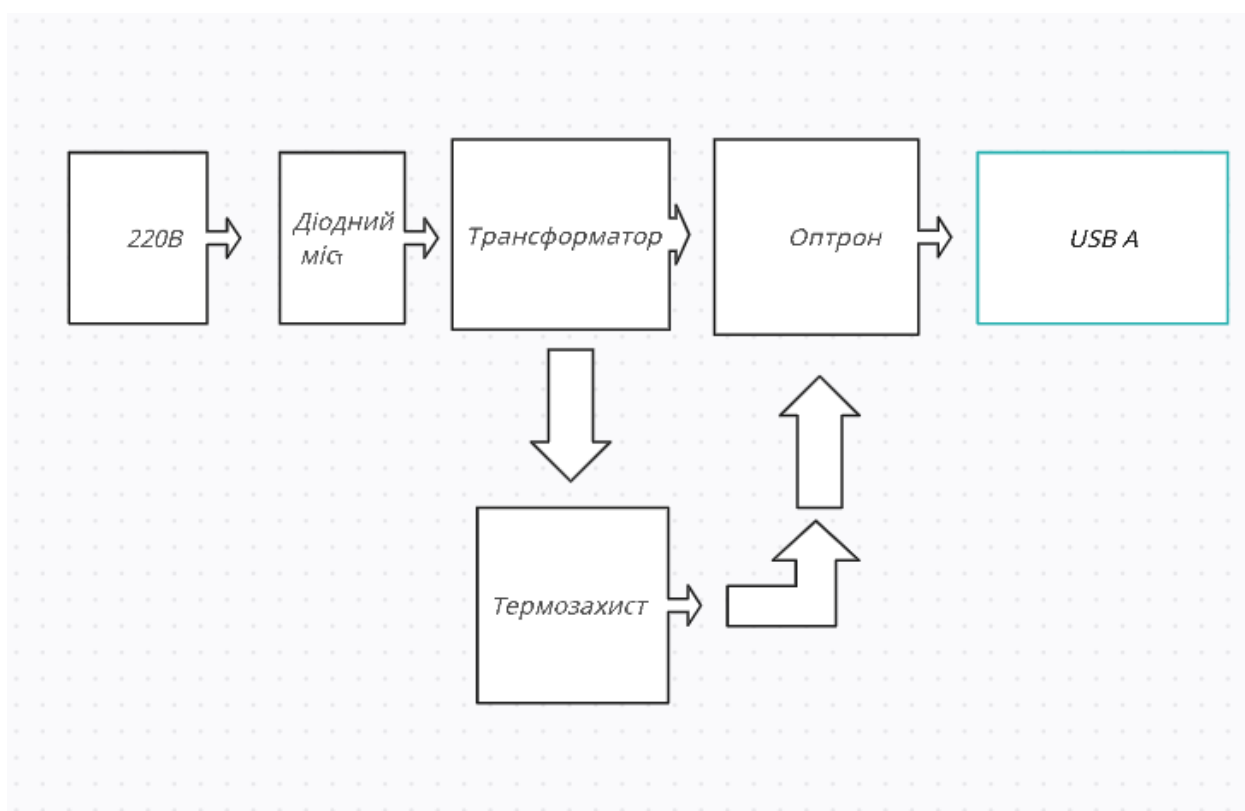


Рисунок 2.1 Структурна схема

Трансформатор в зарядці – це ключовий компонент, який забезпечує безпечне та ефективне живлення пристроїв. Його основна функція – знизити високу напругу змінного струму з побутової електромережі до необхідного рівня постійного струму, який використовується для зарядки акумулятора. Наприклад, звичайна зарядка для смартфона знижує напругу з 220 В до 5 В.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ДКО1.164.327.001. ПЗ

Лист
24

Крім того, трансформатор забезпечує гальванічну розв'язку, ізолюючи пристрій, що заряджається, від мережі живлення, що підвищує безпеку використання.

У середині зарядного пристрою трансформатор працює в парі з випрямлячем та стабілізатором напруги. Випрямляч перетворює змінний струм на пульсуючий постійний, а стабілізатор згладжує пульсації та підтримує стабільну вихідну напругу. Завдяки цьому, акумулятор смартфона отримує рівномірний та безпечний струм для зарядки.

Сучасні зарядні пристрої часто використовують імпульсні трансформатори, які працюють на високих частотах і мають менші розміри та вагу порівняно зі звичайними трансформаторами. Це дозволяє створювати компактні та легкі зарядки, які зручно брати з собою.

Отже, трансформатор є невід'ємною частиною зарядного пристрою, забезпечуючи безпеку, ефективність та компактність. Без нього зарядка була б неможливою або небезпечною для використання.

2.2 Вибір елементної бази

Основними критеріями вибору елементної бази були:

Надійність та безпека:

- Вибір компонентів з високою надійністю та довговічністю.
- Використання компонентів, що відповідають стандартам безпеки та мають відповідні сертифікати.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Забезпечення захисту від перенапруги, перевантаження, короткого замикання та перегріву.

Ефективність:

- Вибір компонентів з низькими втратами потужності для підвищення ККД зарядного пристрою.
- Використання сучасних технологій та схемотехнічних рішень для оптимізації процесу зарядки.

Сумісність:

- Забезпечення сумісності з різними пристроями, що заряджаються.

Габарити та вартість:

- Вибір компонентів з оптимальним співвідношенням розмірів та характеристик.
- Врахування вартості компонентів при проектуванні з метою досягнення оптимального співвідношення ціна/якість.

Доступність:

- Вибір компонентів, які легко доступні для придбання та заміни.
- Врахування можливості використання альтернативних компонентів у разі потреби.

Технічні характеристики:

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						26
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- Вибір компонентів з відповідними електричними характеристиками (напруга, струм, потужність, частота тощо), що відповідають вимогам проекту.
- Врахування температурного діапазону роботи компонентів.

Екологічність:

- Вибір компонентів з низьким вмістом шкідливих речовин.
- Врахування можливості переробки та утилізації компонентів після закінчення терміну служби пристрою.

2.2.1 Вибір трансформатора

Трансформатор 750310742 Wurth Elektronik вибраний для даного проекту не випадково. Він вирізняється своєю спеціалізацією під PoE+ (Power over Ethernet Plus) застосунки, що гарантує його повну відповідність вимогам стандарту IEEE 802.3at та забезпечує високу ефективність передачі енергії через кабель. Цей трансформатор є своєрідним еталоном якості та надійності, що підтверджується репутацією виробника Wurth Elektronik та численними позитивними відгуками користувачів.

Широкий діапазон вхідної напруги робить його універсальним рішенням для різних PoE+ систем, а висока електрична міцність (1.5 кВ) гарантує безпеку та захист від перенапруг. Крім того, трансформатор може працювати в широкому діапазоні температур (-40°C до +125°C), що дозволяє використовувати його в різних умовах експлуатації, забезпечуючи стабільну та надійну роботу зарядного пристрою.

						<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
							27
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			

Наявність моделей EDA для цього трансформатора значно спрощує процес проектування та моделювання, що є важливим фактором при розробці дипломного проекту.

Хоча існують інші трансформатори для PoE+ застосувань, 750310742 Würth Elektronik порівняно з Pulse Electronics PA2858.005NL виділяється своєю високою надійністю, універсальністю та безпекою, що робить його оптимальним вибором для створення зарядного пристрою з підвищеним рівнем захисту.

Electrical Properties:

Properties		Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	L	N1/ 100 kHz/ 100 mV	38	μH	±10%
Turns Ratio	n	N1 : N2 : N3	2:1:1.1		
Saturation Current	I _{SAT}	N1/ ΔL/LI < 20 %	3.5	A	typ.
DC Resistance 1	R _{DC 1}	N1/ 20 °C	85	mΩ	±10%
DC Resistance 2	R _{DC 2}	N2/ 20 °C	25	mΩ	±10%
DC Resistance 3	R _{DC 3}	N3/ 20 °C	155	mΩ	±10%
Leakage Inductance	L _S	N1/ 100 kHz/ 100 mV	0.47	μH	max.
Insulation Test Voltage	V _T	N1,3 => N2	1500	V (AC)	
Insulation Test Voltage	V _{T2}	N1 => N3	500	V (AC)	

Рисунок 2.2.1 Характеристики обраного трансформатора

2.2.2 Вибір конденсаторів

Конденсатори типорозміру 0603 обрані завдяки своїй компактній формі та відмінним електричним характеристикам. Незважаючи на свої невеликі розміри (0.6 мм x 0.3 мм), вони забезпечують достатню ємність та

низький еквівалентний послідовний опір (ESR), що робить їх ідеальними для використання у фільтрах та стабілізаторах напруги зарядного пристрою.

Порівняно з більшими конденсаторами, такими як типорозмір 1206, конденсатори 0603 дозволяють значно зменшити розміри плати та самого зарядного пристрою. Це особливо важливо для портативних зарядних пристроїв, де компактність є одним з ключових факторів.

Крім того, конденсатори 0603 доступні в широкому асортименті ємностей та типів діелектрика, що дозволяє підібрати оптимальні компоненти для кожного вузла схеми. Наприклад, для згладжуючих фільтрів можна використовувати керамічні конденсатори з високою ємністю, а для фільтрації високочастотних перешкод - плівкові конденсатори.

2.2.3 Вибір резисторів

Резистори типорозміру 0805 (0.8 мм x 0.5 мм) обрані для зарядного пристрою з підвищеним захистом з метою мінімізації розмірів плати та забезпечення високої точності та стабільності параметрів.

На відміну від конденсаторів, які накопичують електричний заряд, резистори використовуються для обмеження струму та розподілу напруги в електричних ланцюгах. Висока точність та стабільність резисторів 0805 забезпечують стабільну роботу схеми та точне регулювання вихідної напруги зарядного пристрою, що є критично важливим для безпечної та ефективної зарядки акумуляторів.

					<i>ДКО1.164327.001. ПЗ</i>	Лист
						29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Порівняно з резисторами більших типорозмірів, таких як 1206 або 2512, резистори 0805 займають значно менше місця на платі, що дозволяє зробити зарядний пристрій більш компактним та портативним. При цьому вони мають достатню потужність розсіювання для використання в більшості вузлів зарядного пристрою, включаючи обмежувальні резистори для світлодіодів, резистори у дільниках напруги та фільтрах.

Широкий асортимент номіналів та потужностей резисторів 0805 дозволяє підібрати оптимальні компоненти для будь-яких потреб схеми. Це забезпечує гнучкість при проектуванні та дозволяє оптимізувати роботу зарядного пристрою.

Отже, резистори типорозміру 0805 є оптимальним вибором для зарядного пристрою з підвищеним захистом, поєднуючи в собі компактність, високу точність та стабільність параметрів, а також широкий вибір номіналів та потужностей.

2.2.3 Вибір діодів

Серцем будь-якого зарядного пристрою є випрямляч, який перетворює змінний струм (AC) з мережі на постійний струм (DC), необхідний для зарядки акумулятора. У даному проекті вибір пав на діодний міст ABS10A.

Цей міст відрізняється високою максимальною прямою напругою (1000 В) та струмом (10 А), що забезпечує надійну та безпечну роботу навіть при значних навантаженнях та можливих перепадах напруги в мережі. Порівняно з менш потужними діодними мостами такими як ABS2A та ABS4A,

					<i>ДКО1.164327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

ABS10A має значний запас міцності, що робить його ідеальним вибором для зарядного пристрою.

Крім того, ABS10A має низький прямий спад напруги, що мінімізує втрати потужності та підвищує загальну ефективність зарядного пристрою. Це особливо важливо для портативних пристроїв, де кожен відсоток ефективності має значення.

Maximum Ratings (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V _{RRM}	1000	V
Working Peak Reverse Voltage	V _{RWM}		
DC Blocking Voltage	V _R		
RMS Reverse Voltage	V _{R(RMS)}	700	V
Average Rectified Output Current (Note 6) @ T _A = +30°C	I _O	1.0	A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current, 8.3ms	I _{FSM}	35	A
Single Half Sine-Wave Superimposed on Rated Load	I _T	5.08	A ² S

Thermal Characteristics

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Typical Thermal Resistance, Junction to Ambient (Note 6) (Per Element)	R _{θJA}	66	°C/W
Typical Thermal Resistance, Junction to Lead (Per Element)	R _{θJL}	37	°C/W
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}	-55 to +150	°C

Electrical Characteristics (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Condition
Reverse Breakdown Voltage (Note 7)	V _{BR}	1,000	—	—	V	I _R = 5μA
Forward Voltage (Per Element)	V _F	—	—	1.1	V	I _F = 1.0A, T _A = +25°C
Leakage Current (Note 7) (Per Element)	I _R	—	—	5	μA	V _R = 1,000V, T _A = +25°C
Total Capacitance (Per Element)	C _T	—	9	—	pF	V _R = 4V, f = 1.0MHz

Рисунок 2.2.3.1 Технічні характеристики діодного мосту ABS10A.

Діоди 1N5408:

Для забезпечення додаткового захисту від перенапруг, які можуть виникнути в мережі живлення, у вашому проекті використовуються діоди 1N5408. Вони відіграють роль своєрідного "запобіжника", який спрацьовує при перевищенні допустимої напруги та захищає інші компоненти зарядного пристрою від пошкодження.

Вибір діодів 1N5408 обумовлений їх високою максимальною зворотною напругою (1000 В) та струмом (3 А). Це забезпечує надійний захист навіть від значних імпульсних перенапруг, які можуть виникнути в мережі.

Крім того, діоди 1N5408 мають швидке перемикання, що дозволяє їм ефективно реагувати на перенапруги та захищати схему від пошкоджень, чим не можуть похвалитись такі діоди, як наприклад UF400х серії, які також розглядались для проекту.

Characteristic	Symbol	1N 5400	1N 5401	1N 5402	1N 5404	1N 5406	1N 5407	1N 5408	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V _{RRM} V _{RWM} V _R	50	100	200	400	600	800	1000	V
RMS Reverse Voltage	V _{R(RMS)}	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1) @T _A = 75°C	I _O	3.0							A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I _{FSM}	200							A
Forward Voltage @I _F = 3.0A	V _{FM}	1.0							V
Peak Reverse Current At Rated DC Blocking Voltage @T _A = 25°C @T _A = 100°C	I _{RM}	5.0 100							μA
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C _J	50							pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient (Note 1)	R _{θJA}	18							K/W
Operating Temperature Range	T _J	-65 to +125							°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 to +150							°C

Рисунок 2.2.3.2 Характеристики діода 1N5408

Стабілітрони

У даному проекті стабілітрон BZX55C4V3 відіграє ключову роль у забезпеченні стабільної вихідної напруги 5В, що є стандартом для більшості USB-пристроїв. Хоча номінальна напруга стабілізації цього стабілітрона становить 4.3 В, його можна використовувати в поєднанні з іншими

					<i>ДКО1.164327.001. ПЗ</i>	Лист
						32
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

компонентами, такими як резистори, для отримання необхідної вихідної напруги 5 В.

Вибір стабілітрона BZX55C4V3 обумовлений його високою точністю та стабільністю параметрів. Це гарантує, що вихідна напруга зарядного пристрою буде підтримуватися на рівні 5 В з мінімальними відхиленнями, незалежно від коливань вхідної напруги та навантаження. Така стабільність є критично важливою для безпечної та ефективної зарядки акумуляторів, оскільки перенапруга може призвести до їх пошкодження.

Низький температурний коефіцієнт напруги стабілітрона BZX55C4V3 забезпечує стабільність роботи пристрою в широкому діапазоні температур. Це означає, що вихідна напруга зарядного пристрою залишатиметься стабільною навіть при зміні температури навколишнього середовища, що особливо важливо для портативних пристроїв, які можуть використовуватися в різних умовах.

Порівняно з іншими стабілітронами, наприклад, 1N4733A з напругою стабілізації 5.1 В, BZX55C4V3 має меншу потужність розсіювання, що робить його більш ефективним в плані енергоспоживання. Крім того, BZX55C4V3 має компактний корпус для поверхневого монтажу, що дозволяє зменшити розміри плати та самого зарядного пристрою.

Maximum Ratings			
Type Number	Symbol	Value	Units
Power Dissipation	Pd	500	mW
Maximum Forward Voltage @ IF = 100mA	V _F	1.0	V
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 to + 200	°C
Operating Junction Temperature	T _J	+ 200	°C

Рисунок 2.2.2.3 Характеристики стабілітрона BZX55C4V3

2.2.4 Вибір транзисторів

Вибір транзисторів КТ315Б для блоку керування зарядним пристроєм з підвищеним захистом обумовлений їх надійністю, доступністю та відповідністю вимогам проекту. Хоча на ринку існують більш сучасні транзистори, КТ315Б мають перевірену часом репутацію та широко використовуються в різних електронних пристроях.

Однією з ключових переваг КТ315Б є їх широкий діапазон робочих температур (-60°C до $+125^{\circ}\text{C}$), що дозволяє використовувати їх у різноманітних умовах, включаючи екстремальні температури. Це особливо важливо для зарядного пристрою, який може працювати як в приміщенні, так і на відкритому повітрі.

КТ315Б також мають високу граничну частоту коефіцієнта передачі струму, що дозволяє використовувати їх у високочастотних схемах. У блоці керування зарядним пристроєм транзистори використовуються для посилення сигналів від термодатчика та оптрона, а також для керування зарядним модулем. Висока гранична частота КТ315Б забезпечує швидке реагування на зміни температури та ефективне керування процесом зарядки.

Порівняно з більш сучасними транзисторами, такими як MOSFET, КТ315Б мають простішу структуру та меншу вартість. Це робить їх привабливим вибором для бюджетних проектів, де важлива надійність та доступність компонентів.

Звичайно, у КТ315Б є і деякі недоліки, такі як відносно високий рівень шуму та обмежена потужність. Однак, для блоку керування зарядним

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						34
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

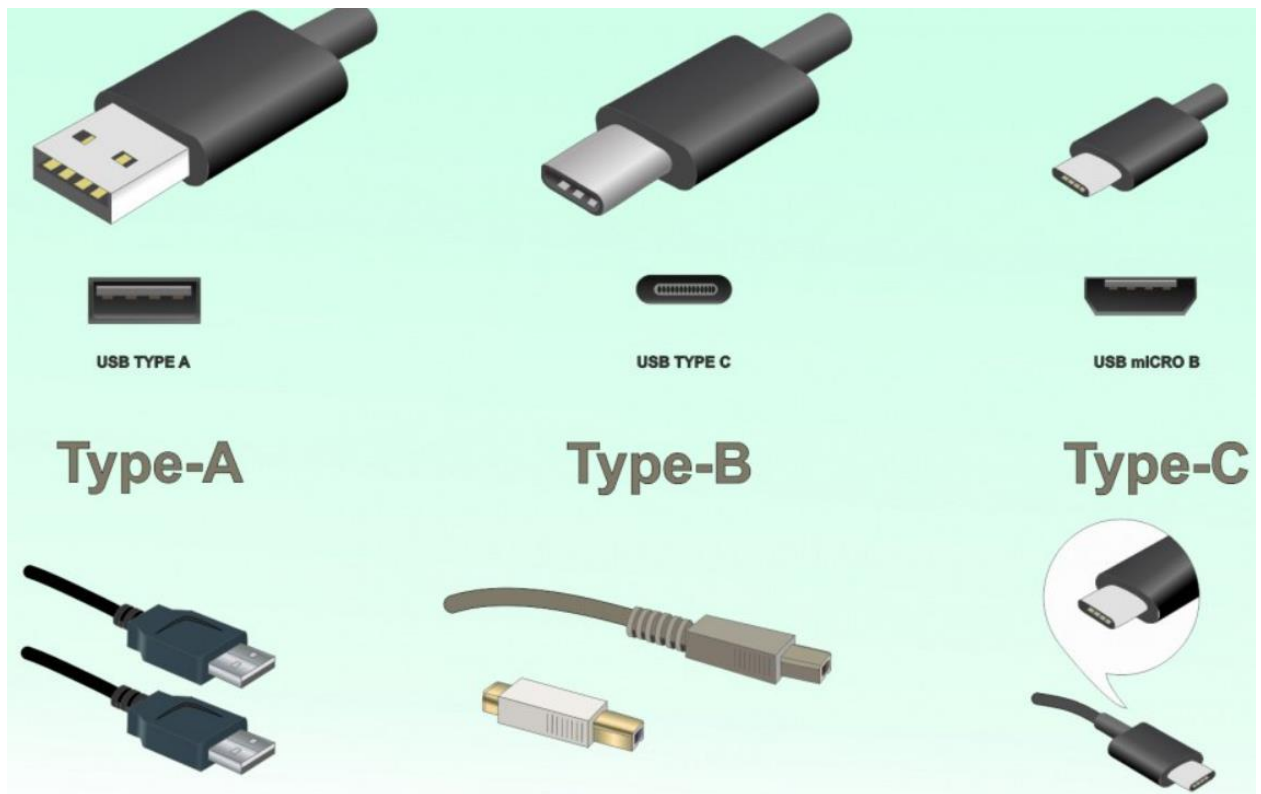


Рисунок 2.2.5.1 Візуальне порівняння роз'ємів USB type-A, type-B, type-C

Хоча USB Type-C є більш сучасним та універсальним роз'ємом, він все ще не настільки поширений, як USB Type-A. Тому вибір USB Type-A для зарядного пристрою забезпечує максимальну сумісність з існуючими пристроями та зручність використання для більшості користувачів.

Звичайно, USB Type-A має і деякі недоліки, такі як відсутність реверсивності (можна вставити роз'єм лише в одному положенні) та обмежена швидкість передачі даних порівняно з USB Type-C. Однак, для зарядного пристрою ці недоліки не є критичними, оскільки основною його функцією є передача енергії, а не даних.

В цілому, вибір роз'єму USB Type-A для зарядного пристрою є обґрунтованим та практичним рішенням. Він забезпечує універсальність, зручність використання та надійність, що є важливими характеристиками для зарядного пристрою.

2.3 Розробка та опис схеми електричної принципової

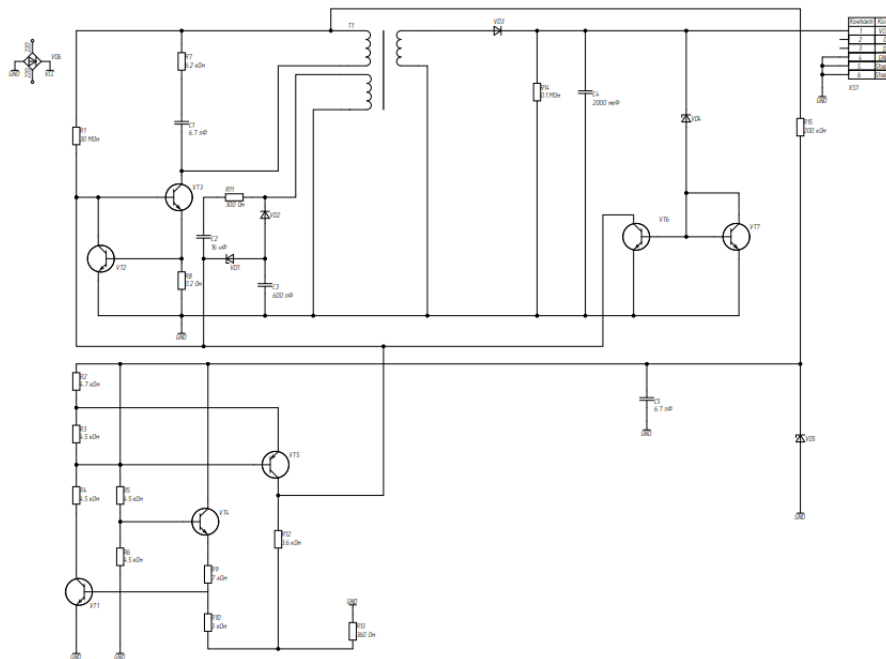


Рисунок 2.3.1 Схема електрична-принципова

Схема зарядного пристрою працює як класичний імпульсний перетворювач із використанням трансформатора та транзисторів. Вхідний сигнал подається на випрямляч, де діоди перетворюють змінний струм на постійний. Ця постійна напруга живить всю схему. Трансформатор Т1 знижує напругу до необхідного рівня, а його первинна обмотка керується

транзисторами VT2 і VT3, які працюють у ключовому режимі, відкриваючись та закриваючись, щоб підтримувати потрібну напругу на вторинній обмотці трансформатора. Вторинна напруга випрямляється діодом VD1 і згладжується конденсаторами C3, C4 і C5, які зменшують пульсації, забезпечуючи стабільну постійну напругу на виході.

Стабілітрон VD2 відповідає за стабільність вихідної напруги, запобігаючи її перевищенню. Резистор R11 та конденсатор C6 утворюють фільтр, що допомагає зменшити високочастотні перешкоди. Вихідна напруга подається на роз'єм XS1(USB type A) для підключення акумулятора. Зворотний зв'язок через резистори R10 і R9 дозволяє схемі регулювати вихідну напругу і струм, забезпечуючи стабільність роботи. Діоди VD3 і VD4 слугують індикаторами стану зарядки.

Блок резисторів R3-R13 виконує функцію керування і стабілізації роботи ключів (транзисторів) зарядного пристрою. Резистори R3, R4 і R5 з'єднані з базами транзисторів VT1, VT2 і VT3, забезпечуючи необхідний базовий струм для відкриття транзисторів. Резистори R6, R7 і R8 разом із конденсаторами C1 і C2 утворюють RC-ланцюги, що задають частоту і форму імпульсів для керування транзисторами VT2 і VT3. Резистори R9 і R10 утворюють подільник напруги для зворотного зв'язку, необхідного для підтримання стабільної вихідної напруги і струму, а також можуть бути частиною схеми захисту від перегріву чи перевантаження. Резистори R11 і R12 є частиною стабілізаційного ланцюга для точного налаштування робочих режимів транзисторів. Резистор R13 використовується для вимірювання струму чи напруги, що дозволяє контролювати процес зарядки.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Термозахист у цій схемі побудований на транзисторах і терморезисторі NTC (Negative Temperature Coefficient), який зменшує свій опір при підвищенні температури. NTC терморезистор включений у схему таким чином, що зміна його опору впливає на напругу на базах транзисторів VT1, VT2 і VT3. У нормальних умовах, коли температура в межах допустимого діапазону, опір NTC високий, що дозволяє транзисторам функціонувати нормально. Коли температура підвищується, опір NTC зменшується, що призводить до зміни напруги на базах транзисторів. Зниження напруги на базах може призвести до закривання транзисторів, що перериває струм через ключові компоненти схеми, наприклад, через первинну обмотку трансформатора.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						39
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

При досягненні критичної температури зменшення опору NTC стає значним, що призводить до суттєвої зміни напруги на базах транзисторів, змушуючи їх закритися. Це призводить до зниження або повного відключення живлення на виході зарядного пристрою, запобігаючи перегріванню компонентів. Коли температура знижується до безпечного рівня, опір NTC знову збільшується, що відновлює нормальну напругу на базах транзисторів, і схема повертається до нормального режиму роботи, відновлюючи живлення на виході.

Таким чином, блок термозахисту з використанням NTC терморезистора та транзисторів забезпечує надійний захист зарядного пристрою від перегріву. Зміна опору терморезистора зі зміною температури впливає на роботу транзисторів, автоматично регулюючи їх стан для зниження або відключення живлення при підвищенні температури. Це дозволяє уникнути перегрівання і пошкодження компонентів схеми, забезпечуючи стабільну і безпечну роботу зарядного пристрою.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок до розділу 2

У другому розділі дипломного проекту було проведено комплексний аналіз та розробку ключових аспектів зарядного пристрою з підвищеним захистом. Зокрема, було створено структурну схему та принципову електричну схему пристрою, що дозволило візуалізувати його функціональну структуру та взаємодію компонентів.

Особливу увагу було приділено обґрунтованому вибору елементної бази, що є основою для забезпечення ефективної та надійної роботи пристрою з підвищеним рівнем захисту. В якості ключового компонента було обрано спеціалізований трансформатор 750310742 Würth Elektronik, призначений для PoE+ застосувань, який гарантує відповідність стандартам та високу ефективність передачі енергії. Для забезпечення стабільності та фільтрації напруги було обрано конденсатори та резистори типорозміру 0605 та 0805, які поєднують компактність з відмінними електричними характеристиками.

Надійний захист від перенапруг та перевантажень забезпечується діодним мостом ABS10A та діодами 1N5408, що відрізняються високою максимальною зворотною напругою та струмом. Стабільність вихідної напруги гарантується стабілітронами BZX55C4V3, які мають високу точність та низький температурний коефіцієнт напруги. Для керування процесом зарядки було обрано перевірені часом транзистори КТ315Б, що відзначаються надійністю та широким діапазоном робочих температур.

Універсальність та зручність використання зарядного пристрою забезпечується вибором роз'єму USB Type-A, який є найбільш поширеним стандартом для зарядки портативних пристроїв.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

Таким чином, у другому розділі було закладено фундамент для подальшої розробки зарядного пристрою з підвищеним захистом. Створені схеми та обґрунтований вибір компонентів дозволяють перейти до наступних етапів проектування, включаючи розрахунок та проектування друкованої плати, а також створення технічної документації. Це забезпечить відповідність пристрою всім технічним вимогам, а також його ефективність, надійність та безпеку під час експлуатації.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						42
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ

3.1 Вибір і обґрунтування типу друкованої плати

Вибір типу друкованої плати (ДП) є критичним етапом у розробці будь-якого електронного пристрою, особливо зарядного пристрою з підвищеним захистом, де надійність, ефективність та безпека є пріоритетними. У цьому проекті було обрано двосторонню друковану плату (ДДП).

Схема зарядного пристрою, що розробляється, має середній рівень складності, включаючи різноманітні компоненти, такі як трансформатор, діодний міст, стабілізатори, мікроконтролер та інші. Двостороння плата забезпечує достатню площу для розміщення всіх цих елементів, дозволяючи уникнути перетинів провідників та забезпечити компактність пристрою, що особливо важливо для портативних зарядних пристроїв. Використання обох сторін плати дозволяє раціонально використовувати простір та оптимізувати розміщення компонентів.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						43
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

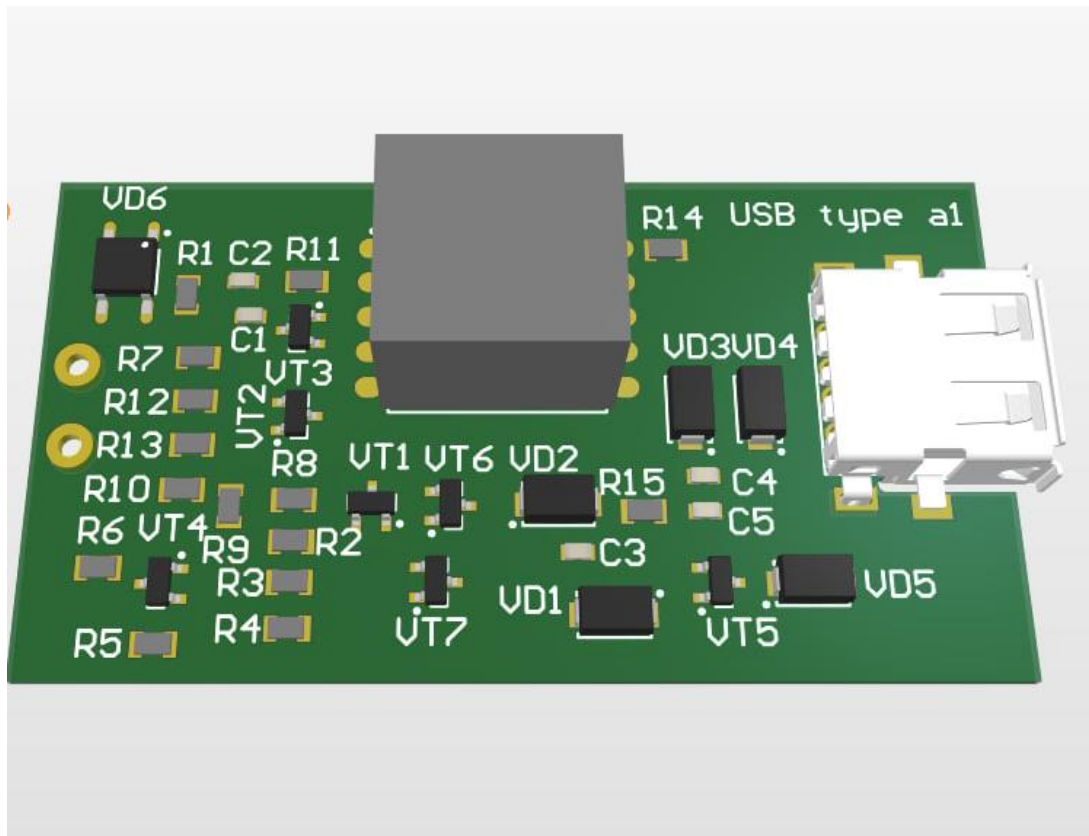


Рисунок 3.1.1 Двостороння друкована плата

Однією з ключових переваг ДДП є її здатність забезпечити покращену електромагнітну сумісність (ЕМС). Зарядний пристрій працює з високими частотами та струмами, що може призвести до виникнення електромагнітних перешкод. ДДП дозволяє ефективніше розподілити силові та сигнальні лінії, мінімізуючи їх взаємний вплив та зменшуючи рівень перешкод. Це забезпечує стабільну та надійну роботу пристрою, а також запобігає впливу на інші електронні пристрої, що знаходяться поруч.

Крім того, ДДП відрізняється вищою механічною міцністю порівняно з односторонніми платами. Це особливо важливо для зарядних пристроїв, які часто піддаються механічним навантаженням під час експлуатації. ДДП

						<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист 44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			

забезпечує надійне кріплення компонентів та захищає їх від пошкоджень, що підвищує довговічність пристрою.

Хоча односторонні плати є дешевшими, вони не підходять для цього проекту через обмежену площу для розміщення компонентів та складнощі трасування з'єднань. Багатошарові плати, хоч і забезпечують ще більшу гнучкість у дизайні та кращу ЕМС, є надмірними для цього проекту та призведуть до збільшення вартості виробництва.

Таким чином, вибір двосторонньої друкованої плати для зарядного пристрою з підвищеним захистом є оптимальним рішенням, яке враховує всі аспекти проекту: функціональність, компактність, надійність, електромагнітну сумісність та економічну ефективність.

3.2 Вибір і обґрунтування матеріалу друкованої плати

Матеріал ДП є одним з ключових факторів, що визначають надійність, довговічність та характеристики зарядного пристрою з. Враховуючи специфіку даного проекту, було обрано склотекстоліт FR4 як основний матеріал для друкованої плати. Цей матеріал відрізняється високою механічною міцністю, що забезпечує стійкість до ударів, вібрацій та інших механічних впливів, які можуть виникнути під час експлуатації зарядного пристрою, особливо важливою для портативних пристроїв. FR4 також має високу термостійкість, що дозволяє йому витримувати підвищені температури, які можуть виникати під час роботи зарядного пристрою,

					<i>ДКО1.164327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						45
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

особливо при високих струмах зарядки. Це забезпечує стабільну роботу пристрою та запобігає його перегріву.

Склотекстоліт FR4 має хороші діелектричні властивості, що забезпечує надійну ізоляцію між провідниками на платі та запобігає виникненню коротких замикань. Крім того, FR4 має низькі діелектричні втрати, що сприяє зменшенню втрат потужності та підвищенню ефективності зарядного пристрою. Він також стійкий до впливу більшості хімічних речовин, що використовуються при виробництві та експлуатації електронних пристроїв, що забезпечує довговічність плати та захищає її від корозії та інших пошкоджень.

Склотекстоліт FR4 вибрано як матеріал для друкованої плати зарядного пристрою з підвищеним захистом завдяки його перевагам над іншими типами склотекстоліту (FR1, FR2, FR3, FR5):

Порівняння з FR1, FR2, FR3:

Термостійкість: FR4 має значно вищу термостійкість порівняно з FR1, FR2 та FR3. Це особливо важливо для зарядних пристроїв, які можуть працювати при підвищених температурах через високі струми зарядки. FR4 здатний витримувати температури до 130°C, тоді як FR1, FR2 та FR3 мають значно нижчі температурні межі.

Механічна міцність: FR4 має кращу механічну міцність, ніж FR1, FR2 та FR3, що забезпечує більшу стійкість до ударів, вібрацій та інших механічних впливів. Це особливо важливо для портативних зарядних пристроїв, які можуть бути піддані різним навантаженням.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						46
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Електричні властивості: FR4 має кращі діелектричні властивості та менші діелектричні втрати порівняно з FR1, FR2 та FR3. Це забезпечує кращу ізоляцію між провідниками та менші втрати потужності в зарядному пристрої.

Порівняння з FR5:

Вартість: FR4 є більш доступним матеріалом, ніж FR5. Хоча FR5 має дещо кращі характеристики, ніж FR4, його використання не є економічно вигідним для масового виробництва зарядних пристроїв.

Доступність: FR4 є більш поширеним матеріалом, ніж FR5, що полегшує його придбання та скорочує час виробництва.

Характеристики: Хоча FR5 має дещо кращу термостійкість та вологостійкість, ніж FR4, для більшості зарядних пристроїв характеристики FR4 є цілком достатніми.

Таким чином, вибір склотекстоліту FR4 як матеріалу для друкованої плати зарядного пристрою з підвищеним захистом є оптимальним рішенням, оскільки він поєднує в собі високу механічну міцність, термостійкість, хороші електричні характеристики, хімічну стійкість, доступність та економічну ефективність. Це забезпечує надійність, довговічність та безпеку зарядного пристрою, що є критично важливим для його успішного функціонування.

3.3 Метод виготовлення друкованої плати

Для виготовлення друкованої плати зарядного пристрою з підвищеним захистом було обрано комбінований позитивний метод. Цей метод є оптимальним для нашого проекту, оскільки він поєднує в собі переваги

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

фотолітографії та субтрактивної технології, забезпечуючи високу точність та надійність друкованих плат.

Комбінований позитивний метод дозволяє досягти високої роздільної здатності та точності, що особливо важливо для створення складних електричних схем з дрібними деталями, як у нашому зарядному пристрої. Завдяки цьому методу ми можемо гарантувати точне розташування провідників та контактних майданчиків, що забезпечить надійну роботу пристрою та мінімізує ризик виникнення коротких замикань.

Крім того, комбінований позитивний метод забезпечує кращу стабільність розмірів та електричну ізоляцію, що є критично важливим для зарядного пристрою з підвищеним захистом, де необхідно забезпечити безпеку та довговічність. Цей метод дозволяє створити більш надійні та довговічні друковані плати, які будуть стійкими до впливу зовнішніх факторів, таких як вологість, температура та механічні навантаження

Хоча комбінований позитивний метод може бути дещо дорожчим порівняно з традиційним субтрактивним методом, його переваги в плані якості та надійності кінцевого продукту повністю виправдовують цей вибір. Крім того, цей метод дозволяє ефективно працювати з двошаровими платами, що є оптимальним варіантом для нашого зарядного пристрою з огляду на його складність та вимоги до компактного дизайну.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, вибір комбінованого позитивного методу для виготовлення друкованої плати зарядного пристрою з підвищеним захистом є обґрунтованим та стратегічним рішенням. Він забезпечує високу точність, надійність, стабільність та довговічність друкованої плати, що є критично важливим для безпечної та ефективної роботи пристрою.

3.4. Вибір класу точності

Вибір класу точності друкованої плати є критичним етапом у розробці електронного пристрою, оскільки він визначає точність виготовлення та характеристики кінцевого продукту.

Таблиця 3.2 – Граничні значення основних параметрів ДМ

Параметер	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{прГ}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	$lГ$	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$b_{по}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{дт}$	0,40	0,33	0,25	0,20

необхідний рівень точності, економічну ефективність та технологічну доступність.

3.5 Проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer

Початковим етапом є створення схеми електричної принципової (Schematic Capture), яка слугує основою для подальшого проектування. У середовищі Altium Designer (далі AD) цей процес здійснюється шляхом додавання компонентів з бібліотеки та з'єднання їх провідниками згідно зі схемою електричною принциповою. Ретельна перевірка правильності з'єднань на цьому етапі є критично важливою для уникнення помилок у подальшому процесі проектування.

Наступним кроком є створення нового документа для друкованої плати (PCB Layout) та імпорт схеми. Розміщення компонентів на платі є важливим етапом, оскільки воно впливає на ефективність трасування провідників та зручність подальшого виготовлення плати. AD надає інструменти для автоматичного та ручного розміщення компонентів, що дозволяє оптимізувати цей процес.

Трасування провідників (Routing) є одним з найбільш трудомістких етапів проектування. AD пропонує різноманітні інструменти для ручного та автоматичного трасування, що допомагає створити оптимальну топологію провідників. Важливо дотримуватися правил проектування (Design Rules), щоб забезпечити електричну та механічну надійність плати, а також враховувати особливості силових елементів та вимоги до підвищеного захисту.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						51
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення трасування проводиться перевірка проекту (Design Rule Check, DRC), яка допомагає виявити та виправити можливі помилки, такі як короткі замикання, порушення мінімальних відстаней між провідниками та інші проблеми. AD має вбудовані інструменти для автоматизованої перевірки, що значно спрощує цей процес.

На завершення проектування створюються виробничі файли, такі як Gerber файли та файли свердління, які використовуються для виготовлення друкованої плати. Altium Designer автоматизує цей процес, забезпечуючи точність та відповідність файлів вимогам виробництва.

Таким чином, проектування друкованої плати в AD є комплексним процесом, що вимагає уважного ставлення до кожного етапу. Використання потужних інструментів та функцій AD дозволяє створити високоякісну та надійну друковану плату, яка відповідає всім вимогам проекту зарядного пристрою з підвищеним захистом.

За результатами роботи в середовищі AD можна додати наступні матеріали:

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						52
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Результатом роботи є готовий проект друкованої плати, який відповідає всім технічним вимогам та готовий до передачі виробнику. Цей проект враховує особливості обраної елементної бази та забезпечує оптимальне розміщення компонентів, мінімізуючи перешкоди та забезпечуючи надійну роботу зарядного пристрою.

Підводячи підсумок, у третьому розділі було успішно завершено проектування друкованої плати, що є важливим етапом у створенні зарядного пристрою з підвищеним захистом. Це дозволяє перейти до наступних етапів розробки, таких як виготовлення прототипу та його тестування.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						55
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ

4.1. Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати.

Розрахунок мінімальної ширини провідника на постійному струмі для кіл живлення та землі

Мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі $b_{min I}$ (мм) для кіл живлення та «землі» визначається виразом:

$$b_{min I} = \frac{I_{max}}{j_{доп} * t_{пров}} \quad (4.1)$$

де I_{max} – максимально можливий струм у колі, А

$j_{доп}$ – допустима щільність струму для ДП, яку виготовлено комбінованим

позитивним методом, $j_{доп} = 48 \frac{А}{mm^2}$

$t_{пров}$ – товщина друкованого провідника, яка визначається виразом (4.1), мм. Друкований провідник виготовляється комбінованим позитивним методом.

Згідно методу виготовлення: $t_{пров} = h_{ф} + h_{гм} + h_{хм}$,

де $h_{ф}$ – товщина фольги,

$h_{ф} = 0,035$ мм

$h_{гм}$ – товщина шара гальванічно осадженої міді,

					ДКО1.164.327.001. ПЗ	Лист
						56
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$h_{ГМ} = 0,055$ мм $h_{ХМ}$ – товщина шара хімічно осадженої міді,
 $h_{ХМ} = 0,0065$ мм

$$t_{пров} = 0,035 + 0,055 + 0,0065 = 0,0965 \text{ мм}$$

Параметр I_{max} у виразі визначається як сума струмів, які споживають всі активні елементи схеми. Значення струмів, які споживають активні елементи схеми, представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Струми, які споживають елементи схеми

Назва елементів	Кількість елементів	$I_{спож}$, мА
КТ315Б	7	10

В результаті

$$I_{max} = 7 * 10 = 700 \text{ мА}$$

Тоді мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для кіл живлення і «землі» визначається наступним чином:

$$b_{min I} = \frac{I_{max}}{j_{доп} * t_{пров}} = \frac{0,7}{48 * 0,0965} = 0,15 \text{ мм}$$

Отримане значення мінімальної ширини провідника $b_{\min I} = 0,15$ (мм).

Отримане значення мінімальної ширини провідника $b_{\min} = 0,15$ мм дорівнює значенню обраного 4 класу точності ($b_{\text{клас}} = 0,15$ мм). Таким чином, ширина провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення і «землі» дорівнює розрахованим значенням.

Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому визначається наступним виразом :

$$b_{\min} = \frac{\rho * I_{\max} * L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} * T_{\text{пров}}} \quad (4.2)$$

де ρ – питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом,

$$\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} * \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$L_{\text{пров}}$ – довжина найдовшого друкованого провідника на ДП,

$$L_{\text{пров}} = 0,017 \text{ м}$$

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику,

$$U_{\text{доп}} = 0,05 * E_{\text{п}},$$

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						58
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{\text{доп}} = 0,25 \text{ В}$$

$$b_{\text{min}} = \frac{p \cdot I_{\text{max}} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot T_{\text{пров}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,22 \cdot 0,017}{0,0965 \cdot 0,25} = 0,02 \text{ мм}$$

Визначення номінального діаметра монтажного отвору

$$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{мо}} + r \quad (4.3)$$

де $d_{\text{ве}}$ – діаметр вивода елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору (МО),

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

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

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

Визначення діаметра контактної майданчика (КМ)

$$D_{\text{max}} = D_{\text{minI}} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03 \quad (4.4)$$

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

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

0,03 – КМ виготовляють комбінованим позитивним методом.

$$D_{\text{minI}} = 2 \left(b_{\text{ПО}} + \frac{d_{\text{max}}}{2} + \delta_0 + \delta_{\text{КМ}} \right) \quad (4.5)$$

					ДКО1.164327.001. ПЗ	Лист
						59
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$b_{ПО}$ – ширина пояса КМ, $b_{ПО} = 0,05$ мм (табл.3.2)

δ_0 – похибка розташування центру отвору щодо вузла КС, $\delta_0 = 0,07$ мм

(табл.3.3),

δ_{KM} – похибка розташування центру КМ щодо вузла КС, $\delta_{KM} = 0,05$

(табл.3.3).

Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП

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

де d – номінальний діаметр МО, мм,

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

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

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

мм

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

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						60
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний діаметр КМ:

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

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

Визначення мінімальної ширини провідника

$$b_{min} = b_{пр}^{\Gamma} + 1,5 * h_{\phi} + 0,03 \quad (4.6)$$

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

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

Звідси визначимо максимальну ширину :

$$b_{max} = b_{min} + 0,02 \quad (4.7)$$

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

Визначення мінімальної відстані між провідником і контактним майданчиком

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						61
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

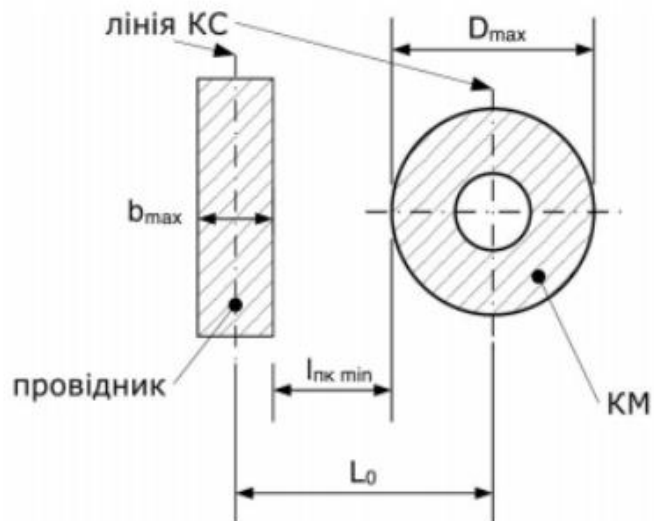


Рисунок 4.1 Відстань між провідником і контактним майданчиком

Шукана відстань знаходиться за формулою:

$$l_{ПКМmin} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сн} \right) \quad (4.8)$$

де L_0 – відстань між центрами отворів і друкованим провідником, які кратні кроку КС, $L_0 = 1,25$ мм

D_{max} – максимальний діаметр КП,

b_{max} – максимальна ширина провідника,

$\delta_{км}$ – похибка розташування центру КП щодо вузла КС,

$\delta_{км} = 0,05$ (табл.3.2),

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

$\delta_{сп}$ – похибка, яка враховує зміщення провідника,

$$\delta_{сп} = 0,05 \text{ мм}$$

$$l_{ПКМ \text{ min}} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right) = 1,25 - \left(\frac{1,5}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,275 \text{ мм}$$

Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками

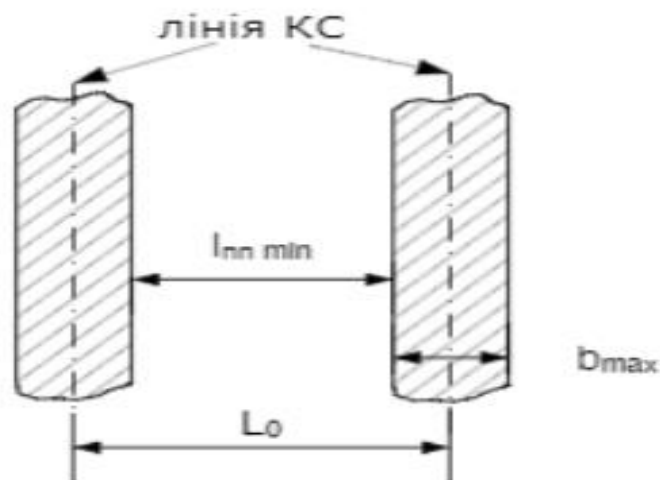


Рисунок 4.2 Відстань між сусідніми провідниками

$$l_{\text{ппmin}} = l_0 - (b_{\text{max}} + 2 * \delta_{сп}) \quad (4.9)$$

де L_0 – відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС, $L_0 = 1.25$ мм

$b_{\text{max}} = 0.25$ (на платі);

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ДКО1.164.327.001. ПЗ

Лист
63

$\delta_{сп}$ – похибка, що враховує зміщення провідника, $\delta_{сп} = 0,05$ мм, визначається з таблиці 3.3.

$$l_{ппmin} = l_0 - (b_{max} + 2 * \delta_{сп}) = 2,5 - (1,5 + 2 * 0,05) = 0,9 \text{ мм.}$$

Отримане значення задовольняє значенням 4-го класу точності.

Визначення мінімальної відстані між контактними майданчиками

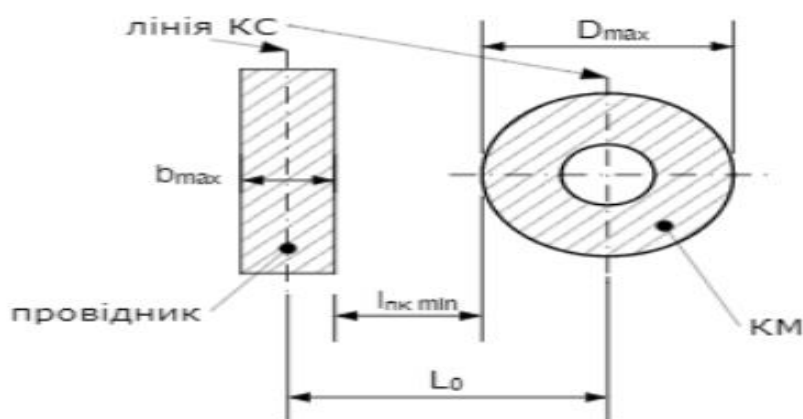


Рисунок 4.3. Відстань між провідником та КМ

$$l_{ПКМ min} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{КМ} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right) \quad (4.10)$$

де L_0 – відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС, $L_0 = 1,25$ мм (найгірший випадок).

D_{max} – максимальний діаметр КП,

b_{max} – максимальна ширина провідника,

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

$\delta_{\text{км}}$ – похибка розташування центра КП відносно вузла КС, $\delta_{\text{км}}=0,05$ (табл.3.2),

$\delta_{\text{сп}}$ – похибка, яка враховує зміщення провідника, $\delta_{\text{сп}}=0,05$ мм

$$\begin{aligned}l_{\text{ПКМ min}} &= L_0 - \left(\frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{км}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{сп}} \right) \\ &= 1,25 - \left(\frac{1,29}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,38 \text{ мм}\end{aligned}$$

4.2. Електричний розрахунок друкованої плати

Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику.

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається:

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (4.11)$$

де ρ – питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП,

$$\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$l_{\text{пр}}$ – максимальна довжина друкованого провідника, $l_{\text{пр}}=0,017$ м.

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника, $t_{\text{пр}}=0,5$ мм

I_{max} – максимальний струм у провіднику, $I_{\text{max}}=220$ мА

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 220 \cdot 0,017}{0,5 \cdot 0,035} = 3,74 \text{ В}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5%(11 В) від напруги живлення ($U_{ж} = 220 \text{ В}$).

Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати

Потужність втрат визначається:

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg}\sigma, \quad (4.12)$$

де $f=1$, тому що розрахунок виконується на постійному струмі

$\text{tg}\sigma$ – тангенс кута діелектричних втрат для матеріала ДП, $\text{tg}\sigma = 0,002$ для матеріалу FR4

C – ємність ДП

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h}, \quad (4.13)$$

де ε – діелектрична проникність, $\varepsilon = \text{FR4} = 4,5$

S_m – площа металізації, $S_m = 3240 \text{ мм}^2$

h – товщина ДП, мм

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4 \cdot 3240}{1,5} = 77 \text{ нФ}$$

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg}\sigma = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 77 \cdot 10^{-9} \cdot 25 \cdot 0,002 = 24 \text{ нВт}$$

Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}}^r + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (4.14)$$

де S – відстань між двома паралельними провідниками, мм

$b_{\text{пр}}^r$ – ширина друкованого провідника, мм

$t_{\text{пр}}$ – товщина друкованого провідника, мм

$l_{\text{пр}}$ – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, мм

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}}^r + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} = 0,12 \cdot 4,5 \cdot 27 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 1,2}{0,35 + 0,095} \right]^{-1} \\ = 19 \text{ пФ}$$

**Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників
однакової довжини**

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2 + l_{\text{пр}}} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2 + l_{\text{пр}}} \right), \quad (4.15)$$

де $l_{\text{пр}}$ – довжина перекриття паралельних провідників, $l_{\text{пр}} = 2$ см

L_0 – відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників,
 $L_0 = 0,125$ см

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						67
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right) =$$

$$= 0,02 \left(2 \cdot \lg \frac{\sqrt{4-0,0156}+2}{0,125} - \sqrt{4 - 0,0156} + 2 \right) = 0,06 \text{ нГн}$$

Розрахунок надійності друкованого вузла

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

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

Для розрахунку інтенсивності відмов елемента будемо використовувати базову інтенсивність відмов λ_0 – тобто при нормальних умовах. Ця величина є експериментальною і наведена у довідниках для різних елементів. Будемо використовувати дані із джерела. Також необхідно врахувати режим роботи

						<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист 68
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			

елементів, температурний режим та зовнішні впливи. Для цього для врахування режиму роботи елемента будемо використовувати коефіцієнт навантаження K_H , для врахування температурного режиму будемо використовувати поправочний коефіцієнт температурного режиму α_t , для врахування зовнішніх впливів - α_e . Останні два також є довідниковими значеннями, тому значення для α_t і α_e будемо використовувати із джерела.

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

$$K_H = \frac{H_{роб}}{H_{ном}}, \quad (4.16)$$

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

$$K_{H,p} = \frac{P_{роб}}{P_{ном}} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{ном}},$$

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист 69
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховуємо коефіцієнти навантаження:

$$K_{н.р} = \frac{P_{роб}}{P_{ном}} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{ном}} = \frac{6^2}{1000 \cdot 0,1} = 0,25$$

$U_{роб}^2$ – напруга живлення

$P_{ном}$ – потужність

R_{min} - найменший з опорів для резисторів

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

$$K_{н.р} = \frac{I_{роб}}{I_{ном}} = \frac{80}{150} = 0,5$$

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

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

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

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

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						70
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$U_{ном}$ – номінальна напруга пробою конденсатора

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

Решта елементів: для усіх інших елементів вибираємо $K_n=1$. Інтенсивність відмов друкованої плати визначатимемо як інтенсивність відмов металізованих отворів..

Дані для розрахунку часу напрацювання до першої відмови занесені до таблиці 4.2. Кліматичне виконання приладу УХЛ1.1, диктує максимальну температуру роботи в +40 °С. Даний друкований вузол відноситься до наземної рухомої електрорадіоапаратури, тому вибираємо $e=15$.

В Таблиці 4.2:

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

α_t – поправочний температурний коефіцієнт.

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

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						71
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}, \quad (4.17)$$

Таблиця 4.2 – Інтенсивність відмов всіх компонентів

Компонент	N	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-8},$ год ⁻¹	K_H	a_t	a_e	$N \cdot \lambda_{0e} \cdot$ $K_H \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^{-6}$
Конденсатори	5	0,022	0,1	0,6	15	0,099
Транзистор	7	0,044	0,1	0,9	15	0,4158
Резистори	15	0,044	0,25	0,6	15	1,485
Діоди	6	0,03	0,5	0,9	15	1,215
Стабілітрони	3	0,03	0,5	1	15	0,675
Трансформатор	1	0,025	1	1	15	0,375
Пайка виводу	202	0,000069	1	1	15	0,209
Перехідні отвори	12	0,0375	1	1	15	6,75
Контакти роз'ємів	6	0.015	1	1	15	1,35
Друкована плата	1	0,001	1	1	15	0,015
Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузлу						12,56

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

Знайдемо результуючу інтенсивність відмов:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \approx 12,56 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1} \quad (4.18)$$

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{12,56 \cdot 10^{-6}} = 12560 \text{ год}$$

Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року:

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-12,56 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,89$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$Q = 1 - P = 1 - 0,89 = 0,11$$

Графіки ймовірностей відмов і безвідмовної роботи протягом експлуатації наведені на рисунку 4.4

					<i>ДКО1.164327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						73
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

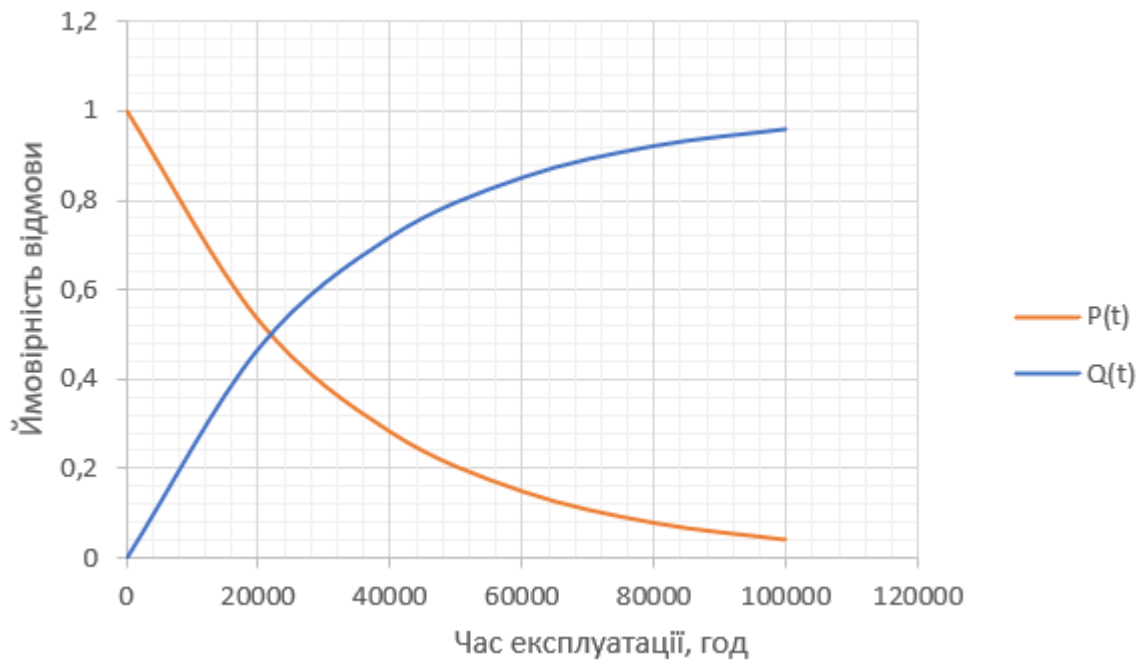


Рисунок 4.4 Ймовірність безвідмовної роботи та відмов залежно від часу

Отже, провівши відповідні розрахунки, отримали результат, що середній час напрацювання на відмову задовольняє вимогам поставленим у ТЗ, а саме 10 000 год.

4.3 Тепловий розрахунок ДП

Вхідна напруга: 220 В

Вихідна напруга: 5 В

Вихідний струм: 2 А

Розміри плати: 63 мм x 33 мм

Матеріал плати: Склотекстоліт FR4

Теплове опір FR4: 35 °C/Вт

Температура навколишнього середовища: 25 °C

Допустима температура компонентів: 125 °C

Трансформатор:

Вхідна потужність: 10 Вт (5 В * 2 А)

ККД: 85%

Потужність розсіювання: 10 Вт * (1 - 0.85) = 1.5 Вт

Ключовий транзистор (VT2):

Максимальний струм колектора: 2 А (припустимо)

Напруга колектор-емітер у відкритому стані: 0.2 В

Потужність розсіювання: 2 А * 0.2 В = 0.4 Вт

Рзаг = 1.5 Вт + 0.4 Вт = 1.9 Вт

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	Лист
						75
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta T = P_{заг} * R_{th} = 1.9 \text{ Вт} * 35 \text{ }^\circ\text{C/Вт} = 66.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{max} = \Delta T + T_{nc} = 66.5 \text{ }^\circ\text{C} + 25 \text{ }^\circ\text{C} = 91.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Висновок до розділу 4

У цьому розділі були проведені конструкторсько-технологічні та електричні розрахунки, що підтверджують правильність прийнятих конструкторських рішень щодо друкованої плати. Було розраховано мінімальну ширину провідників на постійному струмі для кіл живлення та «землі», а також мінімальну ширину провідника з урахуванням допустимого падіння напруги. Визначено номінальний діаметр монтажних отворів, діаметри контактних майданчиків, мінімальні відстані між провідниками і контактними майданчиками, а також між сусідніми провідниками.

Проведено розрахунки падіння напруги на найдовшому провіднику, потужності втрат двосторонньої друкованої плати, ємності між сусідніми провідниками і взаємної індуктивності паралельних провідників. Крім того, розрахована надійність друкованого вузла, включаючи інтенсивність відмов всіх компонентів, встановлених на платі. Результати розрахунків свідчать про відповідність конструкторських рішень вимогам надійності та ефективності роботи друкованої плати в умовах експлуатації.

					<i>ДКО1.164327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						76
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 5. СТВОРЕННЯ МАКЕТУ ПРИСТРОЮ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЙОГО ТЕСТУВАННЯ

У даному розділі дипломного проекту було проведено комплексну перевірку розробленого зарядного пристрою з підвищеним захистом шляхом створення його віртуального макету та моделювання роботи в середовищі OrCAD. Це дозволило не тільки підтвердити теоретичні розрахунки та схемотехнічні рішення, але й виявити потенційні проблеми та оптимізувати роботу пристрою ще до його фізичного втілення.

Моделювання в OrCAD включало детальний аналіз різних аспектів роботи зарядного пристрою. Зокрема, було досліджено стабільність вихідної напруги, яка є критично важливою для безпеки та ефективності зарядки акумуляторів. Результати моделювання підтвердили, що стабілізатор напруги забезпечує стабільну вихідну напругу 5 В навіть при зміні навантаження та коливаннях вхідної напруги.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>77</i>

що відповідає проектним вимогам та забезпечує додатковий рівень безпеки пристрою.

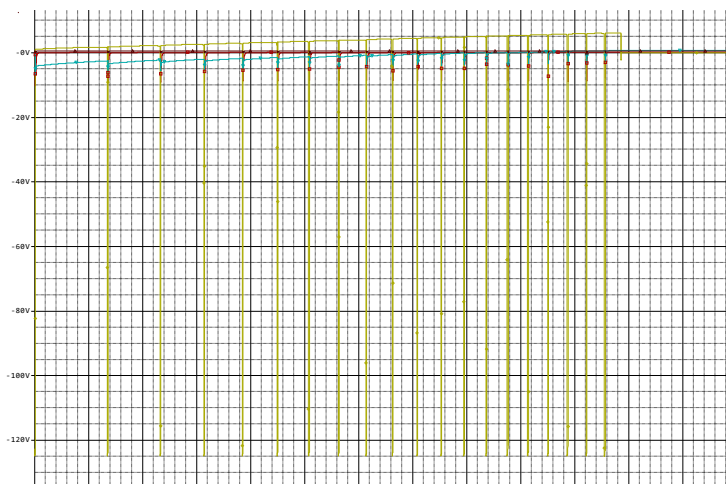


Рисунок 5.2 Графік роботи пристрою за температури 70°C

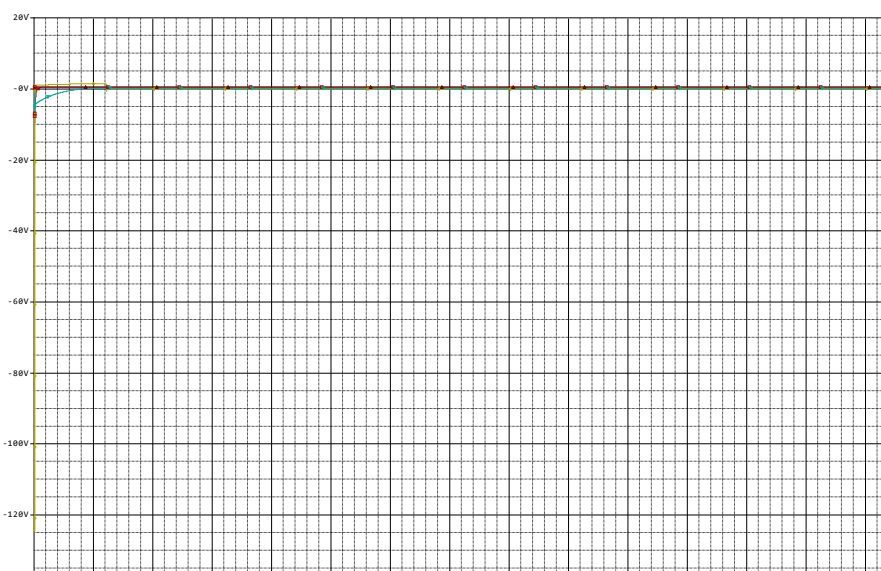


Рисунок 5.3 Графік роботи пристрою за температури 120°C

Крім того, моделювання дозволило оцінити ефективність зарядки акумулятора та перевірити, чи достатньо ефективно тепловідведення для забезпечення надійної роботи пристрою в різних умовах. Результати

моделювання показали, що зарядний пристрій забезпечує швидку та ефективну зарядку акумулятора, а тепловідведення є достатнім для запобігання перегріву компонентів.

Висновок до розділу 5

Таким чином, створення макету пристрою та його моделювання в OrCAD дозволило всебічно перевірити його працездатність та відповідність технічним вимогам. Отримані результати підтвердили правильність обраних схемотехнічних рішень та компонентів, що є запорукою успішної реалізації проекту та створення надійного та безпечного зарядного пристрою з підвищеним захистом.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						80
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Висновки

У ході розробки зарядного пристрою з підвищеним захистом було проведено детальний аналіз теплового режиму друкованої плати. Враховуючи особливості схеми блокінг-генератора, основними джерелами тепловиділення є трансформатор та ключовий транзистор VT2.

Розрахунок потужності розсіювання цих компонентів та оцінка теплового опору друкованої плати показали, що підвищення температури плати не перевищує допустимого рівня 125°C, а саме 66.5 °C, враховуючи типову температуру навколишнього середовища 25°C, максимальна температура компонентів на платі може досягати 91.5 °C. Це свідчить про те, що обрані компоненти та конструкція плати забезпечують достатнє тепловідведення, і додаткові заходи, такі як використання радіаторів або примусова вентиляція, не є необхідними.

З огляду на те, що термозахист спрацьовує при температурі 120°C, можна зробити висновок, що він буде працювати коректно, оскільки максимальна температура плати не досягає цього значення. Таким чином, розроблений зарядний пристрій забезпечує не лише ефективну зарядку, але й надійний захист від перегріву, що є важливим фактором для безпеки та довговічності пристрою. Було проведено моделювання схеми в середовищі OrCAD, яке підтвердило її працездатність та відповідність технічним вимогам. Також було розроблено друковану плату для зарядного пристрою, використовуючи середовище Altium Designer. При виборі матеріалу плати та методу її виготовлення було враховано вимоги до надійності, компактності та

					ДКО1.164.327.001. ПЗ	Лист
						81
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективності пристрою. Результати моделювання та розрахунків показали, що розроблений зарядний пристрій забезпечує стабільну вихідну напругу, ефективно заряджає акумулятори різних типів та має надійний захист від аварійних ситуацій. Отже, у дипломному проекті було успішно розроблено зарядний пристрій з підвищеним захистом, який відповідає сучасним вимогам до безпеки та ефективності. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення та розробки нових зарядних пристроїв.

					<i>ДКО1.164.327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						82
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Хоровиц П., Хилл У. *Искусство схемотехники*. Том 1, 2. – М.: Мир, 1986.
2. Семенов Б.Ю. *Силовая электроника: от простого к сложному*. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005.
3. Белов А.В. *Зарядные устройства для мобильных телефонов*. – СПб.: Наука и Техника, 2010.
4. Новиков М.А. *Электробезопасность*. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
5. ГОСТ 30324.1-95 (IEC 60950-1:1991) *Безопасность информационной техники. Часть 1. Общие требования*.
6. ДСТУ EN 60335-2-29:2010. *Безпека побутових і аналогічних електричних приладів. Частина 2-29. Особливі вимоги до зарядних пристроїв для акумуляторів*.
7. USB Power Delivery Specification (USB Implementers Forum): <https://www.usb.org/documents> (дата звернення 09.06.2024)
8. IEC 60950-1: Information technology equipment - Safety - Part 1: General requirements (International Electrotechnical Commission): <https://www.iec.ch/> (дата звернення 06.06.2024)
9. IEEE 802.3bt-2018 - IEEE Standard for Ethernet Amendment 3: Physical Layer and Management Parameters for Power over Ethernet over 4 Pairs (Institute of Electrical and Electronics Engineers): <https://standards.ieee.org/> (дата звернення 09.06.2024)

					<i>ДКО1.164327.001. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		83

10. Tech Explorations. "How to Design a Battery Charger Circuit."
<https://techexplorations.com/guides/how-to-design-a-battery-charger-circuit>
 (дата звернення 10.06.2024)
11. Electronics Tutorials. "Battery Charger Circuits."
<https://www.electronics-tutorials.ws/blog/battery-charger-circuit.html> (дата
 звернення 01.06.2024)
12. Arrow Electronics. "Battery Management System (BMS) Basics."
[https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/battery-
 management-system-basics](https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/battery-management-system-basics) (дата звернення 29.05.2024)
13. Hackaday. "DIY Battery Chargers and Balancers."
<https://hackaday.com/2020/06/15/diy-battery-chargers-and-balancers/> (дата
 звернення 30.05.2024)

Додаток А

Технічне завдання

1. Найменування та область використання

Зарядний пристрій з підвищеним захистом. Може використовуватися в повсякденних умовах для заряджання акумуляторів різних електронних пристроїв.

2. Основа для розробки

Підставою для розробки описаного пристрою є завдання на дипломний проєкт згідно з наказом по НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» № 2076-с від 23.05.2024.

3. Мета і призначення роботи

Метою роботи є створення зарядного пристрою, здатного ефективно заряджати акумулятори різних електронних пристроїв, забезпечуючи при цьому підвищений рівень захисту від перегріву, перевантаження та інших небезпечних умов.

4. Джерело розробки

IEEE Std 1823-2015 - Standard for Universal Power Adapter for Mobile Devices (UPAMD).

5. Технічні вимоги

5.1 Функціональні можливості

Пристрій може заряджати будь-які електронні вироби.

5.2 Технічні характеристики

Напруга живлення: 220В +5%.

Вихідна напруга: 5В +5%.

5.3 Вимоги до надійності

Середній час напрацювання на відмову не менше 10000 годин.

5.4 Вимоги до технологічності

Пристрій повинен бути розроблений таким чином, щоб при виготовленні застосовувались широко розповсюджені технологічні процеси.

5.5 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації

Для виготовлення пристрою передбачається максимальне застосування стандартних і уніфікованих деталей і виробів.

5.6 Вимоги безпеки обслуговування

Гальванічна розв'язка: Використання оптрона (VT3-VT4) забезпечує гальванічну розв'язку між первинною та вторинною частинами схеми. Це запобігає поширенню небезпечної напруги на вихідні ланцюги та захищає користувача від ураження електричним струмом.

5.7 Умови експлуатації

Кліматичне виконання УХЛ 1.1.

5.8 Вимоги до складових частин виробу, сировини та вихідних експлуатаційних матеріалів

Для виробництва використовувати матеріали імпортного виробництва або їх аналоги вітчизняного виробництва.

5.9 Вимоги до транспортування та зберігання

Група умов зберігання Л1. Зберігати в зачинених, опалювальних та вентильованих приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря +5...+40°C, відносна вологість повітря 90% при 15 °C (середньорічне значення), атмосферний тиск 84...106 кПа. Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту в спеціальній транспортній тарі.

6. Результат роботи

Результати даної роботи можуть бути використані як вихідна документація до створення прототипу пристрою, його програмування та налагодження. Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту і зберігання як навчальної документації.

7. Робота повинна містити в собі документи

Пояснювальну записку (формату А4).

Схему електричну принципову та перелік елементів (формату А1, А4 відповідно).

Складальне креслення плати та специфікацію (формату А1, А4 відповідно).

Креслення друкованої плати (формату А1).

Додатки (формату А4).

8. Порядок розгляду й приймання роботи

Порядок розгляду й приймання роботи: на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття роботи комісією на загальних умовах. У процесі виконання роботи проміжні звіти надаються комісії не рідше одного разу на тиждень на загальних умовах.

9. Економічні показники

В умовах даного проекту собівартість не повинна перевищувати 50\$.

