

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дверний замок з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РАс-41
спеціальності _____

172"Електронні комунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Гончар М.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(підпис) Паляниця Ю.Б.
(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 Гончару Миколі Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дверний замок з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення

Керівник роботи Паляниця Юрій Богданович, к.т.н., доцент

(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 Напруга живлення пристрою –220 В, 50 Гц; тип блока живлення – імпульсний, регульований, з трансформаторною розв'язкою; напруга живлення керуючих вузлів – 5 В та 3,3 В; керуючий модуль – ESP32-CAM; інтерфейс передавання даних – USB Туре-С; тип виходу — релейний; навантаження — електромеханічний замок; індикація режимів роботи — світлодіодна; режим керування — віддалений

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 дверного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним БЖ

2. Схема електрична принципова дверного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним БЖ

3. Друкований вузол дверного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним БЖ

4. Креслення друкованої плати дверного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним БЖ

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 сучасних систем контролю доступу та електронних дверних замків	21.03.2026	
4	Розробка структурної схеми дверного замка з віддаленим доступом	23.03.2026	
5	Розробка схеми електричної принципової	10.04.2026	
6	Розробка імпульсного блоку живлення та вузла стабілізації напруги	12.04.2026	
7	Опис роботи керуючого модуля, інтерфейсу передавання даних та релейного вузла	16.04.2026	
8	Розрахунок основних електричних параметрів пристрою	22.04.2026	
9	Вибір компонентної бази для розроблених схем	02.05.2026	
10	Компонування та трасування друкованого вузла дверного замка	15.05.2026	
11	Розрахунок надійності проектного виробу та параметрів друкованого монтажу	23.05.2026	
12	Розробка конструкторської документації на дверний замок з віддаленим доступом	03.06.2026	
13	Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці	08.06.2026	
14	Нормоконтроль	09.06.2026	
15	Попередній захист кваліфікаційної роботи	10.06.2026	
16	Перевірка роботи на антиплагіат		
17	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

_____ (підпис)

Гончар М.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Паляниця Ю.Б.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Дверний замок з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення». Кваліфікаційна робота бакалавра // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РАС-41. // Тернопіль, 2026 р. // с.-52, рис.-20, табл.-2, бібліогр.-16, додат.-6.

Ключові слова: ДВЕРНИЙ ЗАМОК, ВІДДАЛЕНИЙ ДОСТУП, ESP32-SAM, ІМПУЛЬСНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ, РЕЛЕ, ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ЗАМОК, ДРУКОВАНА ПЛАТА, ALTIUM DESIGNER.

У кваліфікаційній роботі виконано розробку дверного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення. Пристрій призначений для керування електромеханічним замком, формування необхідних напруг живлення, індикації режимів роботи та передавання даних через інтерфейсний вузол.

У роботі розглянуто структурну схему пристрою, описано роботу мережевого входу, імпульсного блока живлення з трансформаторною розв'язкою, регульованого перетворювача напруги, керуючого модуля ESP32-SAM, вузла USB Type-C, світлодіодної індикації та релейного виходу. Виконано вибір елементної бази, розрахунок окремих вузлів електричної принципової схеми, параметрів друкованого монтажу та надійності пристрою.

Проектування друкованого вузла дверного замка з віддаленим доступом виконано в середовищі Altium Designer. Проведено компонування елементів, трасування двосторонньої друкованої плати та підготовку конструкторської документації. Результатом роботи є розроблений електронний пристрій керування доступом із власним імпульсним живленням та комплект документації, необхідний для виготовлення друкованого вузла.

ANNOTATION

Qualification thesis topic: “Door lock with remote access and adjustable switching power supply”. Bachelor’s qualification thesis // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RAs-41. // Ternopil, 2026. // Pages - 52, figures - 20, tables - 2, references - 16, appendices - 6.

Keywords: DOOR LOCK, REMOTE ACCESS, ESP32-CAM, SWITCHING POWER SUPPLY, RELAY, ELECTROMECHANICAL LOCK, PRINTED CIRCUIT BOARD, ALTIUM DESIGNER.

The qualification thesis presents the development of a door lock with remote access and an adjustable switching power supply. The device is intended for controlling an electromechanical lock, generating the required supply voltages, indicating operating modes and transmitting data through an interface unit.

The structural diagram of the device was considered. The operation of the mains input, switching power supply with transformer isolation, adjustable voltage converter, ESP32-CAM control module, USB Type-C unit, LED indication and relay output was described. The component base was selected, and the main units of the electrical schematic, printed circuit layout parameters and device reliability were calculated.

The printed circuit assembly of the door lock with remote access was developed in Altium Designer. Component placement, routing of the double-sided printed circuit board and preparation of design documentation were performed. The result of the work is a developed electronic access control device with its own switching power supply and a set of documentation required for manufacturing the printed circuit assembly.

Зміст

Вступ.....	7
1. Основна частина	9
1.1 Аналіз технічного завдання	9
1.2 Аналіз структурної схеми пристрою.....	12
1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою.....	14
1.3.1 Опис електричної принципової схеми.....	14
1.3.2 Розрахунок вузла електричної принципової схеми пристрою.....	18
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази	20
1.4.1 Опис та блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера.....	20
1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази.....	23
1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу.....	29
1.5.1 Компоновка друкованого вузла	29
1.5.2 Розрахунок надійності проектованого пристрою.....	32
1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу.....	34
1.5.4 Технологія виготовлення друкованої плати	37
1.6 Висновок до розділу 1.....	39
2. Охорона праці та безпека життєдіяльності	41
2.1 Надзвичайні ситуації, викликані пожежами, вибухами, техногенними та природними причинами.....	41
2.2 Заходи щодо забезпечення безпеки при проведенні дослідних робіт.....	44
2.3 Висновок до розділу 2.....	46
Висновки.....	48
Список використаних джерел.....	50
Додатки.....	52

ГМО 2.899.001 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Гончар М.О.		
Перевір.		Палайниця Ю.Б.		
Рецензент				
Н. Контр.		Хвостівська Л.В.		
Затверд.		Дунець В.Л.		
Дверний замок з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення Пояснювальна записка				
		Літ.	Арк.	Аркуші
		6	6	51
ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41				

Вступ

Електронні системи контролю доступу сьогодні активно використовуються у житлових, адміністративних і виробничих приміщеннях. Вони поступово замінюють звичайні механічні замки, оскільки дають змогу не тільки замикати або відмикати двері, а й організовувати керування доступом за допомогою електронних модулів, виконавчих механізмів та інтерфейсів зв'язку. Завдяки цьому підвищується зручність користування замком і розширюються можливості його застосування.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці дверного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення. Такий пристрій призначений для керування електромеханічним замком, формування робочих напруг, відображення основних режимів і передавання даних через інтерфейсний вузол. Основою керуючої частини є модуль ESP32-CAM, який забезпечує взаємодію електронної системи з виконавчим релейним вузлом.

Потреба у розробці такого пристрою пов'язана з поширенням компактних електронних засобів доступу, які можна використовувати в сучасних системах безпеки. Для них важливими є стабільне живлення, надійне керування навантаженням, можливість дистанційної взаємодії та правильне розділення силових і низьковольтних кіл. Оскільки у схемі застосовано імпульсний блок живлення, окремої уваги потребують вузли, пов'язані з мережевою напругою, трансформаторною розв'язкою та стабілізацією вихідних напруг.

За функціональною побудовою пристрій містить мережевий вхід, захисні та фільтрувальні елементи, імпульсний перетворювач, трансформатор, регульований стабілізатор, керуючий модуль, USB Type-C, світлодіодну індикацію і релейний вихід. Таке поєднання вузлів дає змогу реалізувати керування електромеханічним замком і одночасно забезпечити живлення основних частин схеми.

Основна мета кваліфікаційної роботи полягає у створенні дверного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення, а

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

також у підготовці конструкторської документації для виготовлення друкованого вузла.

У межах виконання роботи необхідно проаналізувати технічне завдання, визначити призначення основних вузлів пристрою, розробити структурну схему, описати електричну принципову схему, виконати розрахунок окремих вузлів, обґрунтувати вибір елементної бази, описати алгоритм роботи, виконати компоновання друкованого вузла, провести розрахунок надійності та параметрів друкованого монтажу.

Предметом розробки є дверний замок з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення, його електрична принципова схема, компонентна база, друкований вузол, алгоритм роботи та комплект конструкторської документації.

Конструкторська частина роботи виконується із застосуванням середовища Altium Designer. У цьому програмному забезпеченні створюється електрична принципова схема, підбираються посадкові місця компонентів, виконується компоновання елементів і трасування двосторонньої друкованої плати. Це дає змогу отримати матеріали, придатні для подальшого виготовлення та перевірки пристрою.

Під час опрацювання конструкції враховуються особливості поєднання силової та керуючої частин. Первинна частина імпульсного блока живлення працює з мережевою напругою, тому потребує збільшених ізоляційних відстаней і продуманого розміщення на платі. Низьковольтні кола керування, індикації та передавання даних необхідно відокремити від силових ділянок, щоб зменшити вплив завад і підвищити стабільність роботи пристрою.

У підсумку роботи передбачається отримати розроблений електронний дверний замок з віддаленим доступом, регульованим

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

1. Основна частина

1.1 Аналіз технічного завдання

Технічне завдання передбачає розробку дверного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення. Пристрій призначений для керування електромеханічним замком, живлення керуючих вузлів, передавання даних і візуального контролю основних режимів роботи.

Основні технічні характеристики пристрою:

Тип пристрою.....	дверний замок з віддаленим доступом
Призначення.....	керування електромеханічним замком
Напруга вхідного живлення.....	220 В, 50 Гц
Тип блока живлення.....	імпульсний, регульований
Гальванічна розв'язка.....	трансформаторна
Керуючий модуль.....	ESP32-CAM
Інтерфейс передавання даних.....	USB Type-C
Тип вихідного вузла.....	релейний
Виконавчий механізм.....	електромеханічний замок
Індикація режимів роботи.....	світлодіодна
Кількість світлодіодів.....	5
Матеріал основи плати.....	FR-4
Габаритні розміри плати.....	205 × 97,5 мм

Для оцінки доцільності розробки було розглянуто кілька готових пристроїв, які виконують подібну функцію керування доступом. Як аналоги можна взяти Nuki Smart Lock Ultra, Aqara Smart Lock U200 та Yale Linus Smart Lock L2. Nuki Smart Lock Ultra має вбудований Wi-Fi або Thread і підтримує віддалений доступ, Aqara Smart Lock U200 підтримує Matter, Apple HomeKit, Google Home, Amazon Alexa, Samsung SmartThings та має варіанти відкриття через відбиток, пароль і Apple Home Keys, а Yale Linus Smart

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

Lock L2 має Bluetooth і Wi-Fi та дозволяє керувати замком дистанційно через застосунок.

Таблиця 1.1 – Порівняння аналогів

Аналог	Переваги	Недоліки
Nuki Smart Lock Ultra	Готовий комерційний пристрій, підтримка віддаленого доступу, інтеграція з розумним будинком	Закрита конструкція, залежність від фірмового застосунку, немає можливості змінювати схемотехніку
Aqara Smart Lock U200	Багато способів відкривання, підтримка Matter, сумісність з популярними екосистемами	Орієнтований на готову екосистему Aqara, для частини функцій потрібен хаб, складно адаптувати під власну схему
Yale Linus Smart Lock L2	Відомий виробник, керування через застосунок, вбудовані бездротові інтерфейси	Готовий закритий виріб, залежність від сумісності з дверима, відсутність власного регульованого блока живлення
Розроблюваний пристрій	Можливість власної схемотехнічної реалізації, наявність регульованого імпульсного блока живлення, ESP32-CAM, USB Type-C та релейного виходу	Потребує виготовлення, перевірки та налагодження, необхідно уважно розділяти силову і керуючу частини



Рисунок 1.1 - Nuki Smart Lock Ultra



Рисунок 1.2 - Aqara Smart Lock U200



Рисунок 1.3 - Yale Linus Smart Lock L2

Порівняння показує, що готові аналоги зручні для кінцевого користувача, але майже не дають можливості змінювати електричну схему, підбирати власну елементну базу або адаптувати вузол живлення під конкретне завдання. Розроблюваний пристрій є доцільним саме як інженерна розробка, оскільки в ньому можна окремо опрацювати блок живлення,

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

керуючий модуль, релейний вихід, інтерфейс передавання даних і конструкцію друкованого вузла.

1.2 Аналіз структурної схеми пристрою

Структурна схема дверного замка з віддаленим доступом подає пристрій не як набір окремих радіоелементів, а як систему з кількох функціональних частин. У ній окремо винесено вузли живлення, модуль керування, інтерфейс передавання даних, індикацію та виконавчу частину, яка відповідає за спрацювання електромеханічного замка.

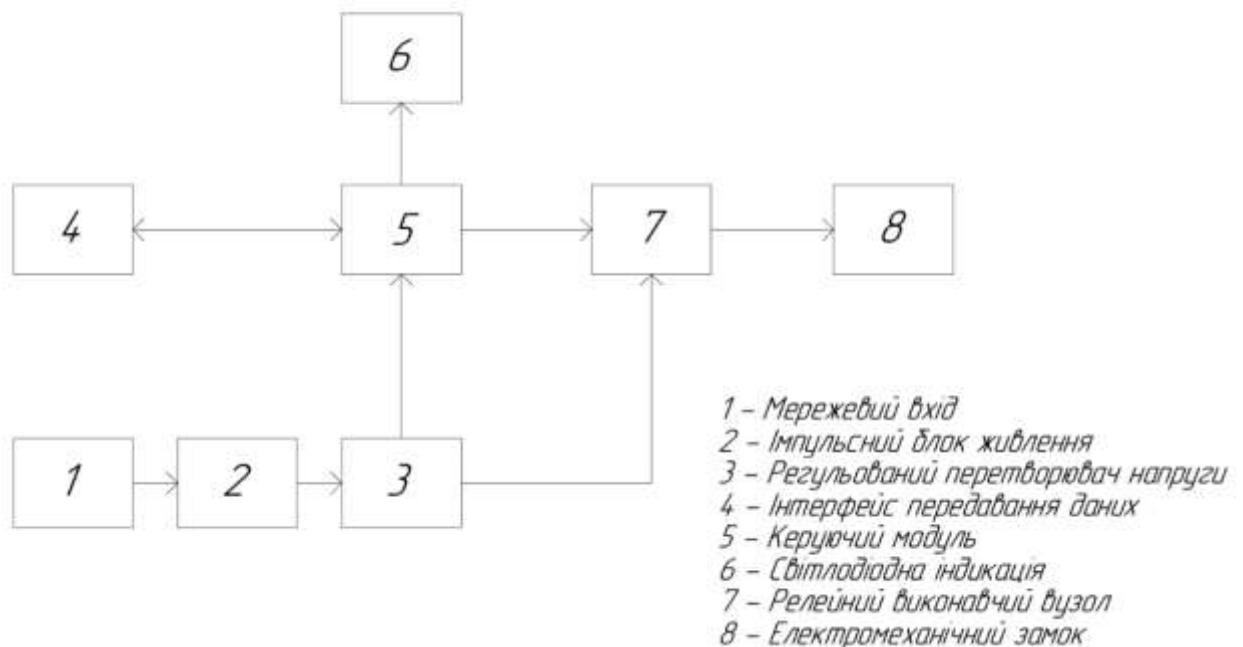


Рисунок 1.4 - Структурна схема дверного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення

Живлення пристрою починається з мережевого входу 1. Через нього подається змінна напруга 220 В, яка далі надходить до імпульсного блока живлення 2. У цьому вузлі відбувається первинне перетворення мережевої напруги та її передавання через силову частину блока живлення. Такий вузол потрібний для того, щоб пристрій міг працювати без окремого зовнішнього адаптера.

Наступним у ланцюгу живлення є регульований перетворювач напруги 3. Він отримує напругу від імпульсного блока живлення і формує рівні, необхідні для роботи керуючого модуля, індикації та релейного вузла. Регулювання напруги дає можливість узгодити живлення різних частин схеми та забезпечити стабільну роботу низьковольтних елементів.

Керування пристроєм виконує модуль ESP32-CAM 5. Він є логічним центром схеми: приймає живлення від перетворювача, взаємодіє з інтерфейсним вузлом, керує світлодіодами та подає сигнал на реле. Саме через цей модуль реалізується віддалений доступ і формується команда на відкривання або блокування замка.

Інтерфейс USB Type-C 4 зв'язаний з керуючим модулем двонапрявленою лінією. Це означає, що через нього можливе не тільки підключення до зовнішнього пристрою, а й передавання службових даних. Такий вузол корисний під час програмування, перевірки або налагодження роботи електронної частини замка.

Світлодіодна індикація 6 використовується для швидкого візуального контролю. Вона не впливає безпосередньо на роботу замка, але дає змогу бачити стан живлення, активність керуючого модуля або спрацювання окремих режимів. Це спрощує перевірку пристрою без постійного підключення вимірювальних приладів.

Релейний виконавчий вузол 7 приймає керуючий сигнал від ESP32-CAM і комутує коло електромеханічного замка. Реле вибрано як проміжний елемент між електронною частиною та навантаженням, оскільки керуючий модуль не може напряму вмикати виконавчий механізм. Живлення цього вузла також надходить від регульованого перетворювача.

Електромеханічний замок 8 є кінцевим виконавчим елементом системи. Після спрацювання релейного вузла на нього подається відповідний сигнал живлення, у результаті чого замок переходить у потрібний стан. Таким чином,

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

команда від керуючого модуля через реле перетворюється у фізичну дію виконавчого механізму.

Уся структура побудована так, щоб силова частина, керування та виконавчий вузол були логічно розділені. Мережеве живлення проходить через блок перетворення та стабілізації, після чого використовується низьковольтними вузлами. ESP32-CAM працює з інтерфейсом, індикацією та реле, а релейний вузол уже керує самим замком. Таке компонування спрощує розуміння роботи пристрою і допомагає правильно перейти від структурної схеми до електричної принципової схеми.

1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою

1.3.1 Опис електричної принципової схеми

Електрична принципова схема дверного замка з віддаленим доступом показує повну схемотехнічну побудову пристрою. На її основі можна простежити проходження живлення від мережевого входу до низьковольтних вузлів, а також роботу керуючої та виконавчої частин. У цьому підрозділі розглядається призначення основних елементів схеми, порядок взаємодії між ними та вузли, для яких у подальшому доцільно виконати розрахунок.

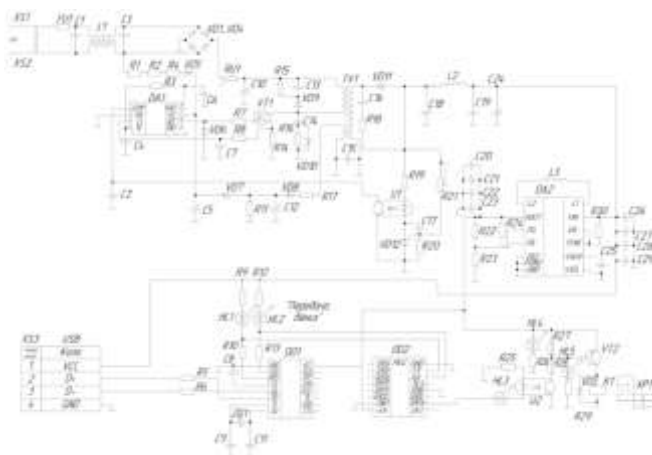


Рисунок 1.5 – Схема електрична принципова активного підсилювача мікрофону з Bluetooth-модулем

					<i>ГМО 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		14

Електрична принципова схема пристрою побудована навколо кількох основних частин: мережевого входу, імпульсного блока живлення, регульованого перетворювача напруги, інтерфейсу USB Type-C, керуючого модуля ESP32-CAM, світлодіодної індикації та релейного вузла. Така побудова дозволяє поєднати в одному пристрої живлення, керування і комутацію електромеханічного замка.

Живлення подається через роз'єми XS1 і XS2. На вхід пристрою надходить напруга мережі 220 В. Для захисту вхідного кола використано запобіжник FU1, який розриває коло при аварійному збільшенні струму. Після нього встановлені елементи вхідного фільтра C1, L1 і C3. Вони зменшують вплив імпульсних завад і перешкод, які можуть потрапляти з мережі або виникати під час роботи імпульсного перетворювача.

Після фільтрації змінна напруга надходить на діодний міст VD1-VD4. Цей вузол виконує випрямлення мережевої напруги та формує постійну напругу для первинної частини імпульсного блока живлення. Далі ця напруга використовується силовою частиною перетворювача, яка побудована на ШІМ-контролері DA1, силовому транзисторі VT1 та імпульсному трансформаторі TV1.

Мікросхема DA1 керує роботою імпульсного блока живлення. До її виводів підключені елементи запуску, частотозадавального кола, контролю струму та формування керуючого імпульсу для транзистора VT1. Резистори і конденсатори навколо DA1 задають режим роботи контролера, а також беруть участь у стабілізації та фільтрації сигналів керування.

Силовий транзистор VT1 працює в ключовому режимі. Він періодично підключає первинну обмотку трансформатора TV1 до випрямленої напруги. За рахунок цього в трансформаторі відбувається передавання енергії у вторинну частину схеми. Такий спосіб перетворення дозволяє отримати потрібну напругу на виході та забезпечити гальванічне розділення між мережевою і низьковольтною частинами пристрою.

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

Імпульсний трансформатор TV1 є важливим вузлом схеми, оскільки через нього здійснюється передавання енергії на вторинну сторону блока живлення. На вторинній частині встановлено діод VD11, який виконує випрямлення імпульсної напруги. Конденсатори C18, C19, C24 та дросель L2 згладжують пульсації, формуючи більш стабільну напругу для подальшого використання в пристрої.

Для стабілізації роботи блока живлення використано зворотний зв'язок через оптрон U1. Він передає інформацію про стан вихідної напруги з вторинної частини до первинної без прямого електричного з'єднання. Разом з елементами VD12, R19, R20, R21 та іншими резистивно-ємнісними ланками цей вузол допомагає підтримувати потрібний рівень напруги на виході блока живлення.

Після первинного перетворення живлення надходить на регульований перетворювач напруги DA2. До нього підключені дросель L3, резистори R22-R24, R30 та конденсатори C20-C29. Цей вузол формує стабілізовану напругу для низьковольтної частини пристрою. Наявність регульованого перетворювача корисна для такого замка, оскільки керуючий модуль, індикація та релейний вузол мають працювати від стабільного живлення.

Вузол передавання даних реалізований через роз'єм XS3 USB Type-C та мікросхему DD1. Через контакти VCC, D+, D- і GND забезпечується підключення до зовнішнього пристрою. Лінії D+ і D- через резистори R5 та R6 підведені до мікросхеми DD1, яка виконує перетворення інтерфейсу. Для її роботи використовується кварцовий резонатор ZQ1 разом з конденсаторами C9 і C11. Світлодіоди HL1 і HL2 з резисторами R9, R10, R12, R13 застосовані для індикації процесу передавання даних.

Керуючим вузлом схеми є модуль DD2 ESP32-CAM. До нього підведені лінії живлення, сигнали обміну даними та виходи керування. Модуль приймає сигнали від інтерфейсної частини, виконує логіку роботи пристрою і формує керуючий сигнал для виконавчого релейного вузла. У схемі до DD2

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

підключені виводи GPIO, TX, RX, GND, +5V і 3V3, що дає змогу організувати роботу модуля з іншими частинами пристрою.

Світлодіодна індикація в схемі виконана на елементах HL1-HL5. Частина світлодіодів пов'язана з передаванням даних, а інші використовуються для контролю стану живлення або роботи виконавчої частини. Така індикація потрібна не тільки для експлуатації, а й для налагодження, оскільки дозволяє швидко побачити, чи подано живлення, чи активний обмін даними і чи спрацьовує керування.

Релейний вузол складається з транзистора VT2, реле K1, захисного діода VD13, резисторів R26-R29, світлодіодів HL4, HL5 та вихідного роз'єму XP1. Керуючий сигнал від модуля ESP32-CAM надходить на транзисторний ключ. Після відкриття VT2 через обмотку реле проходить струм, і контакти K1 комутують коло електромеханічного замка. Діод VD13 захищає транзистор від імпульсу самоіндукції, який виникає при вимиканні обмотки реле.

Вихідний роз'єм XP1 призначений для підключення електромеханічного замка або зовнішнього виконавчого кола. Через реле керуюча електроніка не вмикає навантаження напругу, а тільки подає команду на комутаційний елемент. Це підвищує надійність роботи схеми та дозволяє відокремити керуючий модуль від виконавчої частини.

Загальна робота пристрою починається з подавання мережевої напруги на XS1 і XS2. Вхідний фільтр та діодний міст готують напругу для імпульсного блока живлення. DA1 разом із VT1 і TV1 формує низьковольтне живлення, яке після випрямлення, фільтрації та додаткового перетворення подається на керуючу частину. Модуль ESP32-CAM через інтерфейсний вузол може обмінюватися даними, керує світлодіодною індикацією і подає сигнал на реле. Після спрацювання релейного вузла виконується комутація електромеханічного замка через роз'єм XP1.

Електрична принципова схема має логічний поділ на силову і низьковольтну частини. Силова ділянка відповідає за перетворення мережевої

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

напруги, а керуюча частина працює з USB-інтерфейсом, ESP32-CAM, індикацією і реле. Такий поділ важливий для подальшого проектування друкованої плати, оскільки високовольтні кола потрібно розміщувати окремо від сигнальних ліній і вузлів керування.

1.3.2 Розрахунок вузла електричної принципової схеми пристрою

Для електричної принципової схеми дверного замка доцільно виконати розрахунок релейного виконавчого вузла. Саме цей вузол зв'язує керуючий модуль ESP32-CAM з електромеханічним замком і забезпечує комутацію навантаження. До його складу входять транзистор VT2, реле K1, захисний діод VD13, резистори R26-R29 та світлодіоди індикації HL4, HL5.

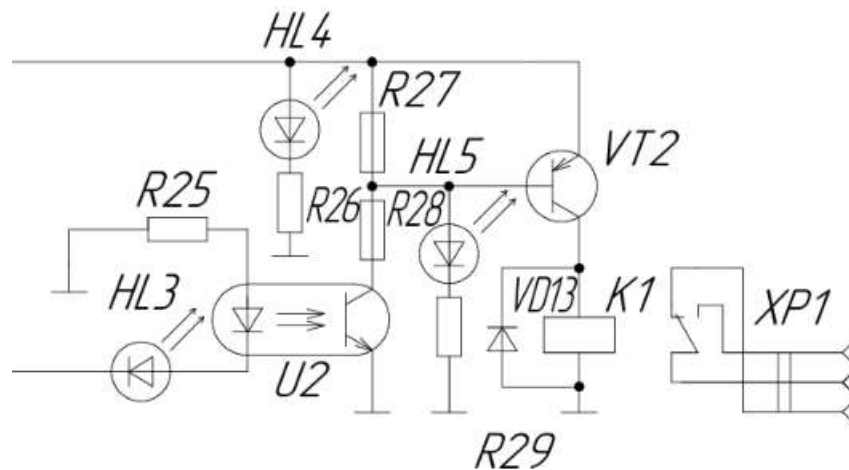


Рисунок 1.6 - Релейний виконавчий вузол дверного замка

Керуючий сигнал з модуля ESP32-CAM подається на базу транзистора VT2 через резистор R27. Транзистор S8050 працює у ключовому режимі: при появі керуючого сигналу він відкривається, через обмотку реле K1 проходить струм, і контакти реле комутують коло електромеханічного замка.

Для розрахунку приймаємо напругу керуючого сигналу з модуля ESP32-CAM 3,3В. Падіння напруги на переході база-емітер транзистора приймаємо: 0,7В. Опір базового резистора 1000 Ом.

Струм бази транзистора визначається за формулою:

$$I_B = \frac{U_{кер} - U_{BE}}{R_{27}} = \frac{3.3 - 0.7}{1000} = 0.0026 \text{ А}, \quad (1.1)$$

Отриманий струм бази достатній для відкриття транзистора VT2 у ключовому режимі. При такому ввімкненні транзистор не працює як підсилювач сигналу, а використовується для вмикання та вимикання обмотки реле.

Резистор R28 підключений у колі бази транзистора і забезпечує надійне закриття VT2 при відсутності керуючого сигналу. Його опір становить 10 000 Ом.

Струм через цей резистор при напрузі 3,3 В буде:

$$I_{R28} = \frac{U_{кер}}{R_{28}} = \frac{3,3}{10000} = 0,00033 \text{ А}. \quad (1.2)$$

Такий струм є малим і не створює помітного навантаження для виходу керуючого модуля. При цьому резистор R28 не дає базі транзистора залишатися у невизначеному стані.

У релейному вузлі також передбачена світлодіодна індикація. Для обмеження струму світлодіодів використовуються резистори R26 і R29 номіналом 330 Ом. Розрахуємо струм через світлодіод при живленні 5 В. Для світлодіода приймаємо пряме падіння напруги приблизно 2,1 В.

Струм світлодіода:

$$I_{LED} = \frac{U_{ж} - U_{LED}}{R} = \frac{5 - 2,1}{330} = 0,0088 \text{ А}. \quad (1.3)$$

Для синього світлодіода падіння напруги може бути більшим, приблизно 3 В. У такому випадку струм становитиме 6.1 мА. Струм у межах 6-9 мА є прийнятним для світлодіодної індикації. Світлодіоди будуть достатньо помітними, але не перевантажуватимуть вихідні кола та резистори.

					<i>ГМО 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

Потужність, яка розсіюється на резисторі світлодіода для більшого струму 8,8 мА, становить 0,026Вт.

Резистори типорозміру 1206 мають достатній запас за потужністю для такого режиму роботи. Їх використання в колі індикації є допустимим.

Захисний діод VD13 підключений паралельно обмотці реле. При вимиканні реле в його обмотці виникає імпульс самоіндукції, який може пошкодити транзистор VT2. Діод VD13 шунтує цей імпульс і зменшує напругу на транзисторі в момент вимикання. Завдяки цьому релейний вузол працює стабільніше, а транзистор має додатковий захист від перенапруги.

Проведений розрахунок показує, що резистор R27 забезпечує достатній струм бази для відкриття транзистора VT2, резистор R28 утримує транзистор у закритому стані при відсутності керуючого сигналу, а резистори R26 і R29 задають нормальний струм світлодіодної індикації. Релейний вузол може використовуватися для комутації електромеханічного замка через вихідний роз'єм ХР1.

1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

1.4.1 Опис та блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера

У розроблюваному дверному замку роль керуючого вузла виконує модуль ESP32-CAM. Він не тільки приймає керуючі сигнали, а й задає порядок роботи релейного виходу, світлодіодної індикації та інтерфейсу обміну даними. Тому алгоритм роботи пристрою доцільно розглядати саме через послідовність дій цього модуля.

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

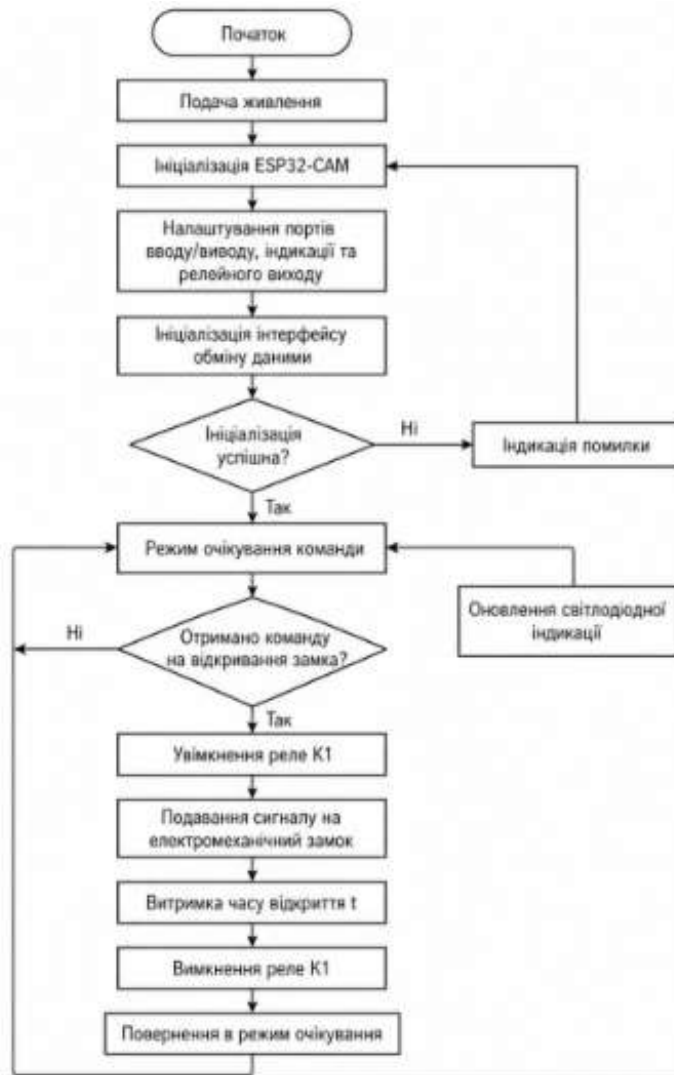


Рисунок 1.7 – Блок-схеми алгоритму

Після подавання живлення на пристрій напруга з регульованого перетворювача надходить на керуючий модуль ESP32-CAM. Мікроконтролер переходить у початковий режим і виконує власну ініціалізацію. На цьому етапі перевіряється готовність модуля до роботи, після чого налаштовуються виводи, які використовуються для керування реле, світлодіодною індикацією та обміну даними.

Далі виконується запуск інтерфейсу обміну даними. У схемі для цього передбачено USB Type-C і мікросхему CH340, через які можна виконувати передавання службової інформації або налагодження пристрою. Після налаштування інтерфейсу мікроконтролер перевіряє, чи всі початкові операції

виконані правильно. Якщо ініціалізація не пройшла успішно, пристрій переходить до індикації помилки, після чого повторює спробу запуску.

Коли запуск виконано без помилок, ESP32-CAM переходить у режим очікування команди. У цьому режимі пристрій не вмикає реле і не подає сигнал на замок, а тільки контролює надходження команди на відкривання. Паралельно може оновлюватися світлодіодна індикація, яка показує поточний стан пристрою.

Якщо команда на відкривання не надходить, мікроконтролер залишається в режимі очікування. Такий цикл повторюється постійно, оскільки дверний замок більшу частину часу перебуває саме у стані готовності до спрацювання. Це дозволяє пристрою швидко реагувати на появу керуючого сигналу.

Після отримання команди на відкривання ESP32-CAM формує сигнал на релейний виконавчий вузол. Транзисторний ключ відкривається, реле К1 спрацьовує, і через його контакти подається сигнал на електромеханічний замок. У цей момент замок переходить у стан відкривання або розблокування.

Після спрацювання реле в алгоритмі передбачена витримка часу відкриття t . Вона потрібна для того, щоб електромеханічний замок встиг виконати свою дію. Після завершення цієї витримки мікроконтролер вимикає реле К1, і виконавчий вузол повертається у початковий стан.

Після вимкнення реле ESP32-CAM знову переходить у режим очікування команди. Такий принцип роботи є циклічним: пристрій запускається, перевіряє готовність, очікує керуючий сигнал, вмикає реле на заданий час і після цього повертається до контролю наступної команди. Це відповідає логіці роботи електронного дверного замка, який повинен більшу частину часу залишатися в черговому режимі та спрацьовувати тільки після отримання дозволу на відкривання.

					<i>ГМО 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		22

1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Елементна база дверного замка з віддаленим доступом підібрана відповідно до електричної принципової схеми та функціонального призначення пристрою. Оскільки схема поєднує мережевий імпульсний блок живлення, низьковольтну керуючу частину, USB-інтерфейс, світлодіодну індикацію та релейний вихід, компоненти мають забезпечувати стабільну роботу як силових, так і сигнальних кіл.

Основним елементом первинної частини блока живлення є ШІМ-контролер UC3843. Він керує роботою імпульсного перетворювача, формує керуючі імпульси для силового транзистора та підтримує необхідний режим перетворення напруги. Використання такого контролера підходить для даної схеми, оскільки UC3843 часто застосовується в імпульсних джерелах живлення середньої потужності та має потрібні виводи для контролю струму, частотозадавального кола і керування ключем.



Рисунок 1.8 - ШІМ-контролер UC3843

Силовий транзистор 10N60 використовується як ключ первинної частини імпульсного блока живлення. Він працює у режимі швидкого перемикачання та комутує струм через первинну обмотку трансформатора. Вибір транзистора з високою допустимою напругою є важливим, оскільки ця частина схеми пов'язана з випрямленою мережевою напругою.

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

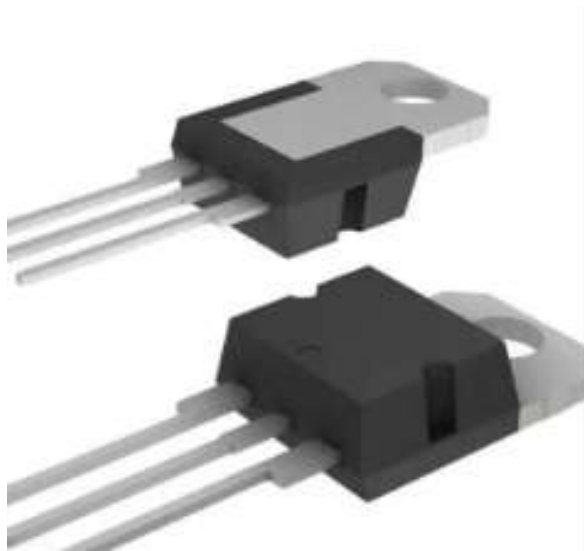


Рисунок 1.9 - Силовий транзистор 10N60

Імпульсний трансформатор TV1 виконує дві важливі функції: передає енергію з первинної частини блока живлення у вторинну та забезпечує гальванічну розв'язку між мережевою і низьковольтною частинами схеми. Завдяки цьому керуючий модуль, USB-вузол, індикація та релейний вихід не мають прямого електричного зв'язку з мережею 220 В.



Рисунок 1.10 - Імпульсний трансформатор TV1

Оптрон РС817 використовується у колі зворотного зв'язку блока живлення. Він передає інформацію про стан вихідної напруги з вторинної сторони на первинну без порушення гальванічної розв'язки. Для імпульсного блока живлення це важливо, оскільки стабілізація вихідної напруги має

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

виконуватися без прямого з'єднання між небезпечною та низьковольтною частинами.



Рисунок 1.11 - Оптрон PC817

Регульований перетворювач TPS63070 застосований для формування стабілізованої напруги живлення низьковольтних вузлів. До нього підключені дросель, резистори зворотного зв'язку та фільтруючі конденсатори. Такий перетворювач зручний для живлення електронної частини пристрою, оскільки дозволяє отримати стабільну напругу для модуля ESP32-CAM, індикації та допоміжних кіл.

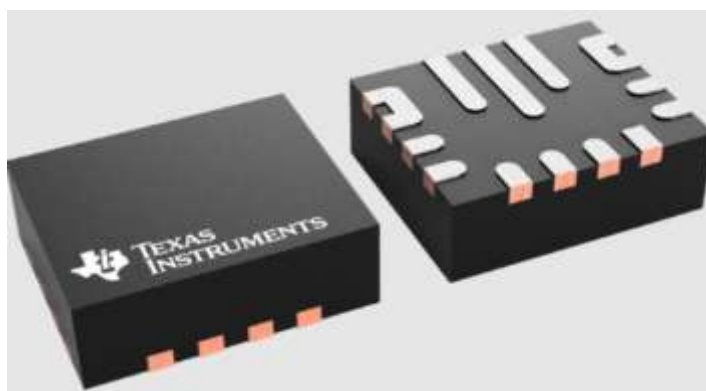


Рисунок 1.12 - Регульований перетворювач напруги TPS63070

Керуючим вузлом пристрою є модуль ESP32-CAM. Він відповідає за логіку роботи замка, обробку команд, керування релейним виходом та роботу індикації. Модуль вибраний через поєднання мікроконтролера ESP32 і камери

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

в одному компактному виконанні. Це дає можливість використовувати пристрій у системах віддаленого доступу, де потрібне електронне керування та потенційна робота з відеоданими.



Рисунок 1.13 - Керуючий модуль ESP32-CAM

Для зв'язку з комп'ютером або зовнішнім пристроєм у схемі використовується мікросхема CH340. Вона забезпечує перетворення USB-інтерфейсу в послідовний інтерфейс, зручний для обміну даними з керуючим модулем. Через цей вузол можна виконувати налагодження, передавання службових даних або програмування пристрою.

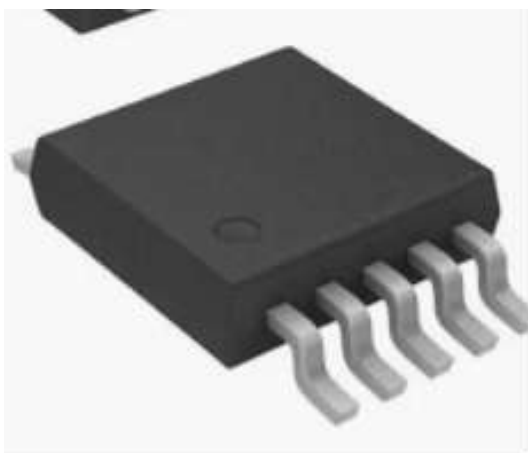


Рисунок 1.14 - Перетворювач інтерфейсу CH340

Роз'єм USB Type-C вибраний як сучасний і зручний інтерфейсний роз'єм. Він має компактне виконання, симетричне підключення кабелю та широко

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

використовується в сучасних електронних пристроях. У даній схемі він працює як вузол передавання даних і підключення до зовнішнього обладнання.



Рисунок 1.15 - Роз'єм USB Type-C

Реле JQC-3FF застосоване у виконавчій частині пристрою. Воно комутує коло електромеханічного замка і відокремлює керуючу електроніку від навантаження. Використання реле спрощує підключення виконавчого механізму, оскільки контакти реле можуть працювати з окремим зовнішнім колом, а керування обмоткою виконується через транзисторний ключ.



Рисунок 1.16 - Електромагнітне реле JQC-3FF

					<i>ГМО 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		27

Транзистор S8050 використовується для керування обмоткою реле. Вихід ESP32-CAM не розрахований на безпосереднє живлення реле, тому між модулем і релейною обмоткою встановлений транзисторний ключ. Після появи керуючого сигналу транзистор відкривається, через обмотку проходить струм, і реле спрацьовує.



Рисунок 1.17 - Транзистор S8050

Діоди у схемі виконують випрямляючі та захисні функції. Діодний міст VD1-VD4 перетворює змінну мережеву напругу на постійну для імпульсного блока живлення. Діод VD11 працює у вторинній частині трансформатора, а VD13 захищає транзистор керування реле від імпульсу самоіндукції при вимиканні обмотки.



Рисунок 1.18 - Діоди

Резистори і конденсатори використовуються у колах живлення, фільтрації, зворотного зв'язку, обмеження струму світлодіодів і задання

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

режимів роботи мікросхем. У схемі застосовані як SMD-компоненти, так і вивідні елементи. SMD-резистори та конденсатори зменшують зайняту площу на платі, а вивідні елементи зручні для силових вузлів і ділянок, де потрібна більша механічна міцність.

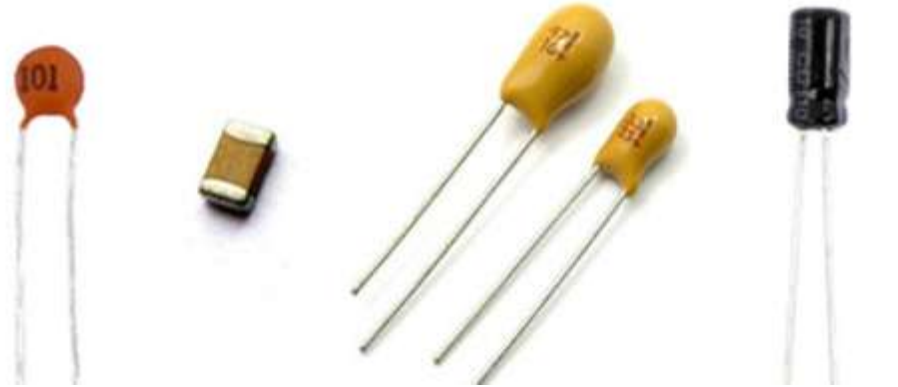


Рисунок 1.19 - Пасивні компоненти електричної принципової схеми

Вибрана елементна база відповідає призначенню пристрою. UC3843, 10N60, TV1 і PC817 формують імпульсний блок живлення з гальванічною розв'язкою, TPS63070 забезпечує стабілізацію низьковольтного живлення, ESP32-CAM виконує керування, CH340 і USB Type-C забезпечують обмін даними, а реле JQC-3FF разом із транзистором S8050 відповідає за комутацію електромеханічного замка. Такий набір компонентів дозволяє реалізувати дверний замок як окремий електронний пристрій з власним живленням, керуванням та виконавчим виходом.

1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу

1.5.1 Компоновка друкованого вузла

Після вибору елементної бази виконується компоновання друкованого вузла. На цьому етапі важливо не просто розмістити компоненти на платі, а врахувати їх електричне призначення, габарити, теплове навантаження, спосіб монтажу та зручність підключення зовнішніх кіл. Для даного пристрою це

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

особливо важливо, оскільки в одному вузлі поєднуються мережевий імпульсний блок живлення, низьковольтна керуюча частина, інтерфейс USB Type-C, модуль ESP32-CAM, індикація та релейний вихід для електромеханічного замка.

Друкований вузол дверного замка розроблено на двосторонній друкованій платі прямокутної форми. Використання двох провідникових шарів дає змогу зручніше розвести силові та сигнальні лінії, зменшити кількість перемичок і розмістити елементи з урахуванням функціонального поділу схеми. Для плати прийнято комбінований монтаж, оскільки в схемі одночасно застосовуються SMD-компоненти та вивідні елементи.

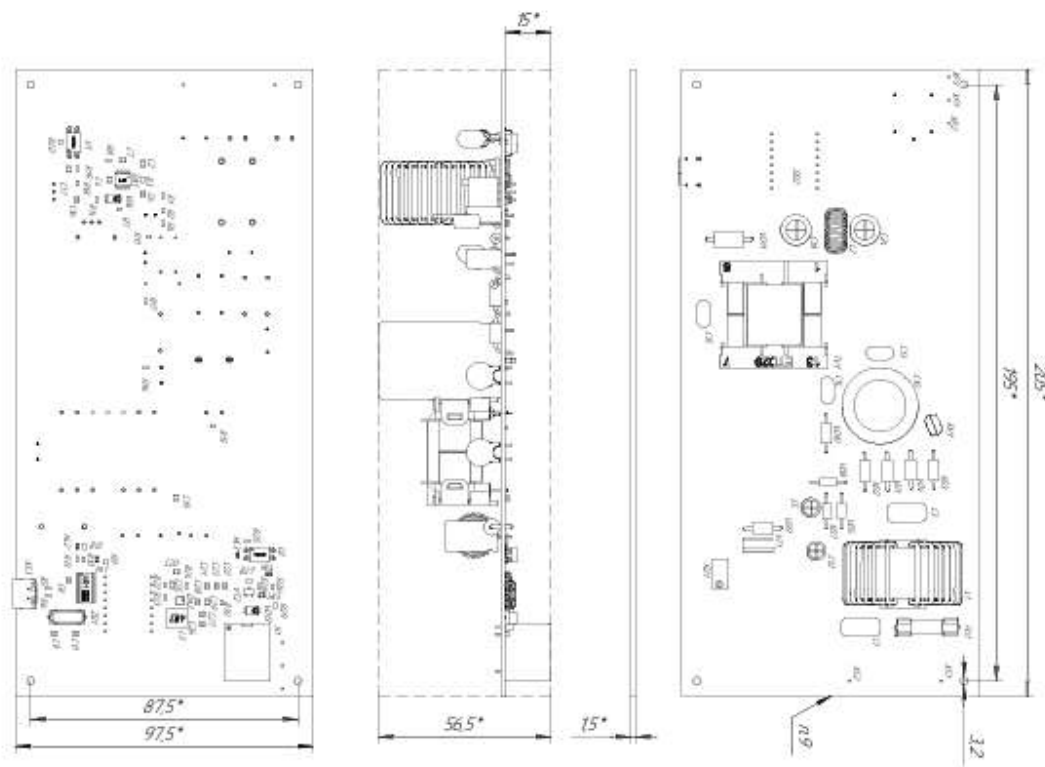


Рисунок 1.20 - Складальне креслення друкованого вузла дверного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення

Друкований вузол виконано на платі розміром $205 \times 97,5$ мм. Відстань між крайніми монтажними отворами становить $195 \times 87,5$ мм, що забезпечує можливість закріплення плати в корпусі або на монтажній основі. Товщина друкованої плати становить 1,5 мм. За складальним кресленням видно, що

					<i>ГМО 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

плата має витягнуту прямокутну форму, яка зручна для розділення силової та керуючої частин пристрою.

Компонування плати виконано з урахуванням функціональних зон. У лівій та центральній частинах розміщено елементи імпульсного блока живлення: мережеві роз'єми, запобіжник, фільтрувальні елементи, діодний міст, ШІМ-контролер, силовий транзистор, трансформатор і елементи вторинного випрямлення. Таке розташування дозволяє тримати вузли, пов'язані з мережевою напругою, окремо від низьковольтної частини схеми.

Елементи керування та передавання даних винесені в іншу зону плати. Модуль ESP32-CAM, мікросхема CH340, USB Type-C, кварцовий резонатор і частина світлодіодної індикації розміщені так, щоб сигнальні лінії були коротшими і не проходили через силові ділянки блока живлення. Це зменшує ймовірність наведень і полегшує трасування низьковольтних кіл.

Релейний виконавчий вузол розташовано ближче до вихідного роз'єму XP1. До цього вузла належать реле K1, транзистор керування VT2, захисний діод, обмежувальні резистори та світлодіоди індикації. Таке розміщення є зручним, оскільки коло керування реле залишається поруч із модулем керування, а вихідні контакти реле знаходяться біля роз'єму для підключення електромеханічного замка.

На платі використано як вивідні, так і SMD-компоненти. Вивідне виконання мають елементи, які мають більші габарити або працюють у силових колах: трансформатор TV1, реле K1, запобіжник FU1, електролітичні конденсатори, частина діодів, роз'єми та силовий транзистор. SMD-компоненти використано для резисторів, керамічних конденсаторів, світлодіодів, окремих мікросхем і малогабаритних елементів. Таке поєднання дозволяє зберегти компактність сигнальних кіл і водночас забезпечити механічну міцність силових вузлів.

На складальному кресленні також показано вигляд плати зверху, збоку та знизу. Верхній вигляд дає змогу оцінити розташування основних

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

компонентів, боковий - висоту встановлених елементів, а нижній - розміщення контактних площадок, перехідних отворів і частини SMD-компонентів. Це важливо для перевірки габаритів друкованого вузла та подальшого встановлення плати в корпус.

Монтажні отвори розміщені біля кутів плати. Вони не заважають встановленню основних компонентів і забезпечують рівномірне кріплення друкованого вузла. Розташування великих елементів, таких як трансформатор, реле, конденсатори та роз'єми, вибрано так, щоб не створювати зайвого навантаження на окремі ділянки плати та не ускладнювати доступ до контактів під час монтажу.

Компонування друкованого вузла відповідає призначенню пристрою. Силкові елементи згруповані окремо, керуючий модуль і USB-вузол розміщені в зоні низьковольтної частини, а релейний вихід винесено ближче до роз'єму підключення замка. Такий підхід спрощує трасування, покращує читабельність конструкції та зменшує ризик взаємного впливу між мережевими, сигнальними та виконавчими колами.

1.5.2 Розрахунок надійності проектного пристрою

Надійність дверного замка з віддаленим доступом залежить від кількості встановлених елементів, режиму їх роботи та умов експлуатації. У цьому пристрої одночасно використовуються елементи імпульсного блока живлення, мікросхеми керування, модуль ESP32-CAM, USB-вузол, світлодіодна індикація та релейний вихід. Через це розрахунок надійності виконується для всього електронного вузла як для системи, у якій відмова одного важливого елемента може порушити роботу пристрою.

Для спрощеного розрахунку приймається, що елементи працюють у нормальних умовах, їх відмови є незалежними, а інтенсивність відмов упродовж часу експлуатації залишається сталою. Такий підхід дозволяє

					<i>ГМО 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		32

оцінити загальну інтенсивність відмов пристрою та ймовірність його безвідмовної роботи за заданий час.

Загальна інтенсивність відмов визначається як сума добутків кількості елементів кожної групи на їх середню інтенсивність відмов:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \lambda_i, \quad (1.5)$$

Таблиця 1.2 – Розрахунок сумарної інтенсивності відмов

№	Група елементів	Кількість елементів, N_i	$\lambda_i, 10^{-6}$ 1/год	$N_i \cdot \lambda_i, 10^{-6}$ 1/год
1	Резистори	30	0,08	2,40
2	Конденсатори	29	0,45	13,05
3	Дроселі та індуктивності	3	0,25	0,75
4	Діоди	13	0,25	3,25
5	Світлодіоди	5	0,35	1,75
6	Мікросхеми та модулі	4	2,00	8,00
7	Транзистори	2	0,80	1,60
8	Оптрони	2	1,00	2,00
9	Трансформатор	1	1,20	1,20
10	Реле	1	9,00	9,00
11	Кварцовий резонатор	1	0,30	0,30
12	Роз'єми	4	1,50	6,00
13	Запобіжник	1	0,50	0,50
14	Варистор	1	0,80	0,80
	Разом			50.60

Сумарна інтенсивність відмов у відносних одиницях становить:

$$\lambda_{\Sigma} = 50.60 \cdot 10^{-6} \text{1/год,}$$

Орієнтовне напрацювання до відмови розраховують як величину, обернену до сумарної інтенсивності відмов:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{50.60 \cdot 10^{-6}} = 19\,763 \text{ год}, \quad (1.6)$$

Отримане значення знаходиться в межах до 20000 год, що є прийнятним для навчального розрахунку надійності електронного пристрою з імпульсним блоком живлення та релейним виконавчим вузлом.

Ймовірність безвідмовної роботи пристрою протягом 10000 год становить приблизно 0,603, або 60,3 %.

Найбільший внесок у сумарну інтенсивність відмов мають конденсатори, мікросхеми та модулі, реле і роз'єми. Це пояснюється тим, що конденсатори працюють у колах живлення, реле має електромеханічну конструкцію, а роз'єми можуть зазнавати механічного навантаження під час підключення зовнішніх кіл. Для підвищення надійності пристрою потрібно використовувати якісні електролітичні конденсатори, не перевантажувати релейний вихід, забезпечити нормальне тепловідведення силових елементів і виконати надійне підключення роз'ємів.

1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу

Перед виконанням розрахунку друкованого монтажу необхідно задати вихідні конструктивні та технологічні параметри плати. Для дверного замка з віддаленим доступом використовується двостороння друкована плата прямокутної форми. Такий варіант вибрано через те, що схема містить одночасно силову частину імпульсного блока живлення, низьковольтні кола керування, USB-вузол, світлодіодну індикацію та релейний вихід. Наявність двох провідникових шарів спрощує трасування і дає змогу розділити мережеві, сигнальні та виконавчі кола.

					<i>ГМО 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		34

Матеріалом основи друкованої плати приймається склотекстоліт FR-4, оскільки він має достатню механічну міцність, добрі ізоляційні властивості та широко застосовується для виготовлення друкованих плат електронних пристроїв. Товщина основи приймається 1,5 мм. Така товщина є стандартною для друкованих вузлів середніх розмірів і забезпечує нормальну жорсткість плати при встановленні трансформатора, реле, роз'ємів та інших вивідних елементів.

Товщина мідної фольги приймається 35 мкм. Цього достатньо для сигнальних кіл, кіл керування та більшості низьковольтних ліній пристрою. Для ділянок, через які проходить більший струм, ширину провідників потрібно приймати більшою, ніж для сигнальних ліній. Насамперед це стосується кіл живлення, вторинної частини блока живлення, вихідного релейного вузла та ліній підключення електромеханічного замка.

За точністю виготовлення плата приймається 3-го класу. Такий клас є достатнім для даного пристрою, оскільки схема не містить надщільного монтажу або надтонких високочастотних ліній. Разом з тим 3-й клас дозволяє застосовувати SMD-компоненти, мікросхеми, світлодіоди 3528, резистори та конденсатори у стандартних корпусах, а також виконати трасування між вивідними компонентами без надмірного ускладнення технології виготовлення.

Мінімальну ширину сигнальних провідників доцільно прийняти не меншою 0,3 мм. Таке значення є технологічно зручним для плати 3-го класу точності та підходить для ліній керування, індикації, USB-вузла, сигналів між CN340 і ESP32-CAM, а також для допоміжних кіл. Для ліній живлення та релейного вузла ширину провідників приймають більшою, оскільки через них може проходити більший струм. Для таких ділянок доцільно використовувати провідники шириною 0,6 мм і більше, а в зоні підключення електромеханічного замка залишати додатковий запас.

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

Відстань між елементами провідного рисунка приймається з урахуванням класу точності плати та наявності мережевої частини. Для низьковольтних сигнальних кіл достатньо технологічного зазору близько 0,3 мм. У первинній частині імпульсного блока живлення, де присутня напруга мережі 220 В, зазори потрібно збільшувати. Це стосується ділянок біля XS1, XS2, FU1, вхідного фільтра, діодного моста, DA1, VT1 та первинної обмотки трансформатора TV1. Таке розділення потрібне для зменшення ризику пробоя між провідниками.

Для монтажних та перехідних отворів приймаються значення, наведені у кресленні друкованої плати. Перша група отворів має діаметр 0,7 мм, діаметр контактної площадки для них приймається 1,5 мм, кількість таких отворів становить 12. Друга група отворів має діаметр 0,9 мм, діаметр контактної площадки 1,8 мм, кількість - 97. Третя група має діаметр отвору 1,5 мм, діаметр контактної площадки 2,8 мм, кількість - 6. Усі ці отвори виконуються з металізацією, що забезпечує електричний зв'язок між верхнім і нижнім провідниковими шарами.

Застосування металізованих отворів є необхідним для двосторонньої плати, оскільки частина провідників переходить з одного шару на інший. Крім того, металізація покращує надійність електричного контакту для вивідних компонентів. Це важливо для роз'ємів, трансформатора, реле, електролітичних конденсаторів та інших елементів, які мають механічне навантаження під час монтажу або експлуатації.

Контактні площадки приймаються більшими за діаметри отворів, щоб після свердління залишався достатній поясок міді для паяння. Для отвору 0,7 мм площадка 1,5 мм забезпечує нормальну площу контакту для малогабаритних вивідних елементів. Для отвору 0,9 мм площадка 1,8 мм підходить для більшості стандартних виводів. Для отвору 1,5 мм площадка 2,8 мм використовується для елементів з більшими виводами або підвищеним механічним навантаженням.

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

Під час розрахунку друкованого монтажу також враховується комбінований тип монтажу. SMD-компоненти розміщуються переважно в низьковольтній частині та біля мікросхем, де потрібно скоротити довжину з'єднань. Вивідні елементи застосовуються в силових вузлах, на вході живлення, у релейному виході та в місцях підключення зовнішніх кіл. Таке поєднання дозволяє зробити плату технологічною, зручною для складання та достатньо надійною під час роботи.

Прийняті значення параметрів друкованого монтажу відповідають конструкції пристрою і дають можливість виконати подальший розрахунок ширини провідників, контактних площадок, зазорів та перевірити технологічність плати. Особливу увагу при цьому потрібно приділяти силовим лініям, зоні мережевого входу, первинній частині імпульсного блока живлення та вихідному релейному вузлу, оскільки саме ці ділянки мають найбільше значення для безпечної та стабільної роботи пристрою.

1.5.4 Технологія виготовлення друкованої плати

Для дверного замка з віддаленим доступом використовується двостороння друкована плата з металізованими отворами. Такий варіант виготовлення вибраний через те, що схема містить як сигнальні низьковольтні кола, так і силову частину імпульсного блока живлення. Два провідникові шари дозволяють зручніше розвести з'єднання між елементами, розділити функціональні ділянки та зменшити кількість додаткових перемичок.

Основою плати приймається фольгований склотекстоліт FR-4 товщиною 1,5 мм з мідною фольгою товщиною 35 мкм. Такий матеріал має достатню механічну міцність і добрі електроізоляційні властивості. Це важливо для даного пристрою, оскільки на платі встановлюються не тільки малогабаритні SMD-компоненти, а й трансформатор, реле, роз'єми, електролітичні конденсатори та інші вивідні елементи з більшими габаритами.

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

Габаритні розміри друкованої плати становлять $205 \times 97,5$ мм. Відстань між крайніми монтажними отворами прийнята $195 \times 87,5$ мм. Таке розміщення отворів дає змогу надійно закріпити плату в корпусі або на монтажній основі. Монтажні отвори розташовані біля кутів плати, тому кріплення не заважає розміщенню основних електронних компонентів.

Виготовлення плати починається з підготовки заготовки потрібного розміру. Заготовку вирізають із фольгованого склотекстоліту, після чого очищають поверхню мідної фольги від забруднень і оксидної плівки. Якість очищення важлива, тому що від неї залежить рівномірність нанесення захисного шару та чіткість майбутнього провідникового рисунка.

Провідниковий рисунок формується окремо для верхнього та нижнього шарів. Для цього на заготовку переносять зображення доріжок, контактних площадок і перехідних з'єднань відповідно до креслення плати. Після експонування та проявлення захисний шар залишається тільки в тих місцях, де мають зберегтися мідні провідники. Далі незахищені ділянки міді видаляються травленням.

Після формування провідникового рисунка виконують свердління отворів. На кресленні плати передбачено три основні групи металізованих отворів: отвори діаметром 0,7 мм з контактною площадкою 1,5 мм у кількості 12 штук, отвори діаметром 0,9 мм з контактною площадкою 1,8 мм у кількості 97 штук та отвори діаметром 1,5 мм з контактною площадкою 2,8 мм у кількості 6 штук. Усі ці отвори виконуються з металізацією, оскільки плата є двосторонньою і потребує електричного зв'язку між шарами.

Металізація отворів потрібна не тільки для переходу провідників з одного шару на інший, а й для підвищення надійності паяних з'єднань. Це особливо важливо для вивідних компонентів, які можуть створювати механічне навантаження на контактні площадки. До таких елементів належать трансформатор TV1, реле K1, роз'єми, електролітичні конденсатори та силові елементи блока живлення.

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

Після свердління та металізації проводиться контроль провідникового рисунка. Перевіряють цілісність доріжок, відсутність замикань між сусідніми провідниками, правильність діаметрів отворів і відповідність контактних площадок кресленню. Особливу увагу приділяють ділянкам первинної частини імпульсного блока живлення, оскільки вони пов'язані з мережею 220 В і повинні мати достатні ізоляційні відстані.

Для захисту мідних провідників від окиснення та для полегшення паяння контактні площадки покривають захисним металевим шаром. Після цього на плату може наноситися захисна паяльна маска, яка залишає відкритими тільки місця пайки. Такий шар зменшує ризик випадкового замикання під час монтажу і робить плату більш стійкою до забруднення.

1.6 Висновок до розділу 1

У першому розділі було розглянуто основні етапи розробки дверного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення. Проведено аналіз технічного завдання, визначено основні характеристики пристрою та виконано порівняння з існуючими аналогами, що дало змогу обґрунтувати доцільність власної розробки.

Розглянуто структурну та електричну принципову схеми пристрою. Описано роботу мережевого входу, імпульсного блока живлення, регульованого перетворювача напруги, керуючого модуля ESP32-CAM, інтерфейсу USB Type-C, світлодіодної індикації та релейного вузла. Виконано розрахунок релейного виконавчого вузла, який забезпечує комутацію електромеханічного замка.

Також обґрунтовано вибір основних елементів схеми та описано алгоритм роботи керуючого модуля. Розглянуто компонування друкованого вузла, виконано розрахунок надійності та визначено параметри друкованого монтажу. Для пристрою прийнято двосторонню друковану плату з

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

комбінованим монтажем, що дозволяє розділити силові, сигнальні та виконавчі кола.

Виконані розрахунки та прийняті конструктивні рішення підтверджують можливість практичної реалізації пристрою. Розроблений вузол поєднує функції живлення, керування та комутації замка, а підготовлені матеріали можуть бути використані для виготовлення друкованої плати й подальшого налагодження пристрою.

					<i>ГМО 2.899.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		40

2. Охорона праці та безпека життєдіяльності

2.1 Надзвичайні ситуації, викликані пожежами, вибухами, техногенними та природними причинами

Дверний замок з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення є електронним пристроєм, який поєднує силову частину живлення, керуючий модуль, інтерфейс передавання даних і релейний вузол керування виконавчим механізмом. У нормальному режимі пристрій забезпечує керування електромеханічним замком, а всі небезпечні ділянки закриваються корпусом. Проте при пошкодженні ізоляції, неправильному підключенні живлення, перегріванні елементів або відмові захисних компонентів можливий розвиток техногенної небезпечної ситуації, зокрема короткого замикання, локального перегрівання або займання [8], [9].

Для даного пристрою найбільш характерними є техногенні небезпеки електричного та пожежного характеру. Вони пов'язані з наявністю мережевого входу XS1, XS2, запобіжника FU1, фільтра L1, C1, C3, діодного моста VD1–VD4, імпульсного перетворювача на мікросхемі DA1, силового транзистора VT1 та трансформатора TV1. Ці елементи формують первинну частину блока живлення і працюють з підвищеною напругою. У разі помилки монтажу або пробою елемента в цій зоні виникає найбільша ймовірність аварійного режиму.

Одним із можливих джерел небезпеки є коротке замикання в первинному колі імпульсного блока живлення. Воно виникає при пошкодженні ізоляції, неправильному встановленні елементів, залишках припою між контактами або порушенні зазорів між провідниками. Для обмеження аварійного струму в схемі передбачено запобіжник FU1. Його наявність зменшує ризик перегрівання провідників і пошкодження плати при аварійному режимі. У конструкції також використано розділення первинної та

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

вторинної частин, що знижує ймовірність переходу небезпечної напруги на низьковольтні кола керування.

Пожежна небезпека може виникнути внаслідок перегрівання силового транзистора VT1, діодного моста VD1–VD4, трансформатора TV1, дроселів або релейного вузла K1. Причинами такого перегрівання є перевантаження вихідного кола, неправильний вибір виконавчого механізму замка, поганий контакт у роз'ємах або тривала робота пристрою в режимі, не передбаченому схемою. У релейному колі небезпеку також створює ненадійне підключення проводів до вихідних контактів XP1–XP3, оскільки поганий механічний контакт збільшує перехідний опір і викликає локальне нагрівання.

Окрему увагу приділено імпульсному трансформатору TV1, який забезпечує гальванічну розв'язку між первинною та вторинною частинами блока живлення. При справному стані трансформатора, оптрона U1 та елементів зворотного зв'язку низьковольтна частина, до якої належать DA2, DD1, DD2, HL1–HL5 і релейне керування, відділена від небезпечної частини схеми. Порушення ізоляції або неправильне трасування в зоні трансформатора створює умови для аварійного переходу напруги, тому при розробленні плати застосовано функціональне розділення силових і сигнальних ділянок.

Для зменшення ризику техногенної небезпечної ситуації друкована плата виконана двосторонньою з розділенням функціональних зон. Мережева частина, випрямляч і первинний перетворювач розміщені окремо від керуючого модуля ESP32-CAM, USB-вузла та релейного виходу. Силові провідники виконані ширшими, а в зоні первинної частини прийнято збільшені зазори. Таке компонування зменшує ймовірність пробоя між колами, спрощує візуальний контроль плати та полегшує пошук несправностей під час налагодження.

Техногенна небезпека при експлуатації електронного замка також пов'язана з умовами розміщення пристрою. Якщо плата встановлюється в закритому корпусі без достатнього простору для тепловідведення,

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

температура всередині корпусу може підвищуватися. Найбільше це стосується елементів блока живлення, силових діодів, транзистора, трансформатора та реле. Тому в конструкції корпусу передбачається відсутність контакту плати з легкозаймистими матеріалами, надійне кріплення друкованого вузла та недопущення притискання проводів до нагрітих елементів.

У разі появи запаху перегрітого ізоляційного матеріалу, диму, нестабільної роботи замка або самовільного спрацювання реле пристрій одразу від'єднується від живлення. Після цього виконується огляд мережевого входу, запобіжника, елементів первинної частини блока живлення, реле та вихідного кола виконавчого механізму. Повторне ввімкнення проводиться тільки після виявлення і усунення причини несправності. Такий порядок дій зменшує ймовірність переходу локальної несправності в пожежонебезпечну ситуацію [10], [11].

Природні чинники для даного пристрою мають другорядне значення, але їх також враховують при експлуатації. Підвищена вологість, конденсат, запилення або різкі зміни температури погіршують ізоляційні властивості плати та збільшують ризик пробоя між провідниками. Тому електронний замок розміщується в сухому місці або в корпусі, який захищає друкований вузол від потрапляння вологи й пилу. Для зовнішнього встановлення потрібен додатковий захист корпусу, оскільки відкрита плата з імпульсним блоком живлення не призначена для роботи під прямою дією атмосферних чинників.

У контексті безпеки життєдіяльності цей пристрій розглядається не тільки як засіб контролю доступу, а й як електронний вузол, відмова якого може створити небезпечну ситуацію. Основними профілактичними рішеннями є використання запобіжника FU1, гальванічна розв'язка через TV1, оптронний зворотний зв'язок U1, збільшені ізоляційні зазори, розділення силової та керуючої частин, правильне корпусування та контроль підключення виконавчого механізму. Такі заходи зменшують ризик короткого замикання, перегрівання і займання.

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

У підсумку, для дипломного проєкту дверного замка з віддаленим доступом питання надзвичайних ситуацій техногенного характеру є безпосередньо пов'язаним із конструкцією пристрою. Наявність імпульсного блока живлення, мережевого входу, силових елементів і релейного виходу створює потенційні джерела пожежної небезпеки при неправильному монтажі або несправності. Прийняті конструктивні рішення спрямовані на зменшення ризику аварійного режиму та забезпечення безпечної експлуатації пристрою.

2.2 Заходи щодо забезпечення безпеки при проведенні дослідних робіт

Під час виконання дипломного проєкту дверний замок з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення розглядається не тільки як готовий пристрій, а і як дослідний друкований вузол, що проходить монтаж, паяння, перевірку та налагодження. На цих етапах виконавець працює з відкритою друкованою платою, вимірювальними приладами, паяльним обладнанням, електронними компонентами та джерелами живлення. Тому організація безпечного виконання дослідних робіт є важливою частиною розробки пристрою [13], [14].

Основними небезпечними чинниками під час дослідних робіт є наявність мережевої напруги у первинній частині імпульсного блока живлення, можливість короткого замикання, нагрівання паяльного інструменту, виділення диму під час паяння, пошкодження елементів при неправильному підключенні та механічне травмування гострими виводами компонентів. Найбільшу увагу приділяють вузлам XS1, XS2, FU1, L1, VD1–VD4, DA1, VT1 і TV1, оскільки вони належать до силової частини схеми та пов'язані з живленням від мережі 220 В [15].

Перед початком монтажу друковану плату оглядають і перевіряють відповідність встановлених елементів електричній принциповій схемі та переліку елементів. Окремо контролюють полярність електролітичних

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

конденсаторів, напрям встановлення діодів, правильність монтажу мікросхем DA1, DA2, DD1, DD2, транзисторів VT1, VT2, оптронів U1, U2 та реле K1. Така перевірка зменшує ймовірність аварійного режиму під час першого ввімкнення плати.

Паяння виконують на підготовленому робочому місці з достатнім освітленням і вентиляцією. Паяльник розміщують на спеціальній підставці, а нагріті частини інструменту не залишають у зоні випадкового дотику. Під час паяння SMD-компонентів і вивідних елементів не допускають утворення перемичок між сусідніми контактними площадками, особливо в зоні мікросхем, діодного моста, реле та роз'ємів. Після завершення паяння плати очищають від залишків флюсу і перевіряють якість з'єднань.

Перше ввімкнення дослідного зразка виконують тільки після візуального контролю, перевірки відсутності короткого замикання між лініями живлення та контролю правильності підключення вхідних і вихідних роз'ємів. Плату розміщують на сухій непровідній поверхні. У зоні живлення не залишають сторонніх металевих предметів, обрізків виводів, дроту або інструменту. Вимірювання виконують справним мультиметром або осцилографом із щупами, що мають ізольовані ручки [14], [15].

Під час налагодження імпульсного блока живлення відкриті струмоведучі частини не торкаються руками. Вимірювання у первинній частині схеми виконують обережно, короткими контрольними операціями, без зміни положення елементів під напругою. Після вимкнення живлення перед повторним дотиком до плати перевіряють залишкову напругу на електролітичних конденсаторах. Це особливо важливо для вузлів, пов'язаних з випрямленою напругою після діодного моста.

Під час перевірки низьковольтної частини контролюють роботу стабілізатора DA2, мікросхеми DD1, керуючого модуля DD2, світлодіодної індикації HL1–HL5 і релейного вузла K1. Реле перевіряють без перевантаження вихідних контактів XP1–XP3. Виконавчий механізм замка

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

підключають тільки після перевірки правильності вихідної напруги та працездатності керуючого сигналу. Проводи фіксують у роз'ємах без оголених ділянок, щоб уникнути випадкового замикання або іскріння.

Організаційні заходи під час дослідних робіт включають допуск до роботи тільки підготовленого виконавця, використання справного інструменту, дотримання порядку на робочому місці та виконання вимірювань за задалегідь визначеною послідовністю. Виконавець не проводить налагодження у вологому середовищі, не працює з пошкодженими кабелями та не вносить зміни в схему при поданій напрузі. У разі появи диму, запаху перегрівання, нестабільної роботи реле або нагрівання силових елементів живлення одразу вимикається.

Отже, безпека дослідних робіт з друкованим вузлом дверного замка забезпечується правильною організацією робочого місця, перевіркою монтажу перед першим запуском, акуратним паянням, використанням справних вимірювальних приладів і розділенням робіт з первинною та вторинною частинами схеми. Такі заходи знижують ризик травмування виконавця, пошкодження елементів і виникнення аварійного режиму під час налагодження пристрою.

2.3 Висновок до розділу 2

У другому розділі розглянуто питання безпеки життєдіяльності та основ охорони праці, які пов'язані з розробленням, монтажем, перевіркою і подальшою експлуатацією дверного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення.

Проаналізовано можливі техногенні небезпеки, що можуть виникати при несправності пристрою, неправильному підключенні живлення, короткому замиканні, перегріванні силових елементів або порушенні ізоляційних відстаней. Основну увагу приділено первинній частині імпульсного блока

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

живлення, релейному вузлу, трансформатору, запобіжнику та вихідним колам підключення електромеханічного замка.

Також розглянуто заходи безпеки під час проведення дослідних робіт з друкованим вузлом. Визначено, що перед першим увімкненням необхідно перевірити правильність монтажу елементів, якість паяння, відсутність коротких замикань, справність вимірювальних приладів і правильність підключення вхідних та вихідних роз'ємів. Під час налагодження важливо розділяти роботи з первинною та вторинною частинами схеми, не виконувати зміни під напругою та контролювати залишкову напругу на конденсаторах.

У підсумку, безпечна робота з розробленим пристроєм забезпечується поєднанням конструктивних і організаційних заходів: застосуванням запобіжника, гальванічної розв'язки, збільшених ізоляційних зазорів, правильним компонуванням плати, використанням справного інструменту та дотриманням послідовності перевірки. Це зменшує ризик аварійних режимів, пошкодження елементів і травмування виконавця під час виготовлення та налагодження пристрою.

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

Висновки

У кваліфікаційній роботі було розроблено дверний замок з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення. Пристрій поєднує керуючий модуль ESP32-CAM, вузол передавання даних через USB Type-C, світлодіодну індикацію, релейний виконавчий вузол та імпульсне джерело живлення з регульованим перетворювачем напруги.

У першому розділі виконано аналіз технічного завдання та визначено основні технічні характеристики пристрою. Проведено порівняння з існуючими аналогами електронних замків, що дало змогу показати доцільність власної розробки. Розглянуто структурну схему, описано призначення основних функціональних вузлів та пояснено взаємодію між блоком живлення, керуючою частиною і виконавчим механізмом.

На основі електричної принципової схеми було описано роботу мережевого входу, імпульсного блока живлення, регульованого перетворювача, інтерфейсного вузла, модуля ESP32-CAM, світлодіодної індикації та релейного виходу. Виконано розрахунок релейного виконавчого вузла, який забезпечує комутацію електромеханічного замка. Також наведено блок-схему алгоритму роботи мікроконтролера та описано порядок дій пристрою під час запуску, очікування команди і спрацювання реле.

У роботі обґрунтовано вибір елементної бази, зокрема ШІМ-контролера UC3843, силового транзистора 10N60, трансформатора TV1, оптрона PC817, перетворювача TPS63070, модуля ESP32-CAM, мікросхеми SN340, реле JQC-3FF та інших елементів. Для друкованого вузла прийнято двосторонню плату з комбінованим монтажем SMD та вивідних компонентів. Розглянуто компонування плати, виконано розрахунок надійності та визначено вихідні параметри для розрахунку друкованого монтажу.

Окремо розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці. Для даного пристрою найбільше значення мають ризики, пов'язані з

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

мережевою напругою, імпульсним блоком живлення, перегріванням силових елементів, коротким замиканням та неправильним підключенням виконавчого механізму. У розділі також наведено заходи безпеки під час монтажу, паяння, перевірки та налагодження друкованого вузла.

Результатом виконання кваліфікаційної роботи є розроблений електронний пристрій керування дверним замком з віддаленим доступом і власним регульованим живленням. Підготовлені матеріали можуть бути використані для виготовлення друкованої плати, складання друкованого вузла, перевірки роботи пристрою та подальшого застосування у складі системи контролю доступу.

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

Список використаних джерел

1. 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.
2. Хвостівська Л. В., Дунець В. Л. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни “Системи автоматизованого проектування радіоелектронних засобів” для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка. Тернопіль : ТНТУ, 2020. 109 с.
3. Ткачук Р. А., Дозорський В. Г., Дедів Л. Є., Дедів І. Ю. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 336 с.
4. ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102586.
5. ДСТУ 3334-96. Плати друковані. Загальні вимоги до технологічних процесів регенерації, знешкодження та утилізації розчинів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90096.
6. ДСТУ 2.104:2006 Єдина система конструкторської документації. Основні написи (ДСТУ 2.104-2006, IDT). З Поправками (ІПС № 5 2007), (ІПС № 6-2007), (ІПС № 8-2007), (ІПС № 5-2008). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=55417.
7. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ : Книжк. палата України ім. Ів. Федор., 2015. 26 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64411.
8. Атаманчук П.С. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 276 с.
9. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підручник / В.В. Сокуренко, О.М. Бандурка та ін. Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.

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

10. Желібо Є.П. Безпека життєдіяльності : підручник / В.В. Зацарний. Київ : Каравела, 2023. 344 с.
11. Кодекс цивільного захисту України від 01.07.2013 року.
12. ДБН В.1.1-7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
13. Бедрій Я.І. Основи охорони праці : навч. посіб. 4-е вид., перероб. і доп. Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2018. 240 с.
14. Андрейчук Н.І. Охорона праці : навч. посіб. / Н.І. Андрейчук, Ю.В. Кіт, С.В. Шибанов, О.В. Шерстньова. Львів : Видавництво Львівська політехніка, 2021. 276 с.
15. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ.
16. Закон України «Про охорону праці» від 21 листопада 2002 року, зі змінами і доповненнями.
17. Паляниця Ю.Б., Марценюк А.С., Дунець В.Л., Бучинський В.М., Паламар М.І. Дрон з блоком надвисоких частот для виявлення та знешкодження вибухових пристроїв та мін. Матеріали III Міжнародної наукової конференції молодих учених та студентів «Воєнні конфлікти та техногенні катастрофи: історичні та психологічні наслідки» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя: зб. тез доповідей, 20-21.04.2023 р. Тернопіль: ТНТУ, 2023. С. 158-159. ISBN 978-617-7875-32-0.
18. Паляниця Ю.Б., Сверстюк А.С., Шадріна Г.М. Математичне та комп'ютерне моделювання фонокардіосигналів для удосконалення кардіодіагностичних систем / Ю.Б. Паляниця, А.С. Сверстюк, Г.М. Шадріна – Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2020. – 106 с. ISBN 5-211-05310-9.
19. Дунець В.Л., Хвостівська Л.В., Паляниця Ю.Б. Математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення оцінювання завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією. Збірник наукових праць Вісник НУВГП, серія технічні науки, випуск 4 (104), 2023. - С. 95-107. ISSN: 2306-5478

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

ДОДАТКИ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру РТ

_____ к.т.н. Дунець В.Л.

“ _____ ” _____ 2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

на тему: «Дверний замок з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення»

Узгоджено:

Керівник роботи

Паляниця Ю.Б. _____

“ _____ ” _____ 2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РАС-41

Гончар М.О. _____

“ _____ ” _____ 2026р.

Тернопіль, 2026

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: Дверний замок з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення”

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 Гончар Микола Олександрович, групи РАС-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка дверного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення, що включає:

- аналіз існуючих електронних систем контролю доступу;
- розробку структурної схеми пристрою;
- розробку електричної принципової схеми дверного замка;
- розрахунок вузла електричної принципової схеми;
- вибір і обґрунтування елементної бази;
- розробку алгоритму роботи керуючого модуля ESP32-CAM;
- 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 керування електромеханічним дверним замком.

4.1.2 Живлення пристрою повинно здійснюватися від мережі змінного

струму 220 В, 50 Гц.

4.1.3 У складі пристрою повинен бути передбачений імпульсний блок живлення з трансформаторною розв'язкою.

4.1.4 Пристрій повинен мати регульований перетворювач напруги для живлення низьковольтних вузлів.

4.1.5 Керування роботою замка повинно здійснюватися за допомогою модуля ESP32-CAM.

4.1.6 Передавання даних та налагодження пристрою повинні здійснюватися через інтерфейс USB Type-C.

4.1.7 Комутація електромеханічного замка повинна здійснюватися за допомогою релейного виконавчого вузла.

4.1.8 Пристрій повинен мати світлодіодну індикацію основних режимів роботи.

4.2 Технічні вимоги

4.2.1 Дверний замок з віддаленим доступом повинен відповідати вимогам чинних стандартів та конструкторської документації на пристрій конкретного типу.

4.2.2 Пристрій повинен забезпечувати стабільну роботу імпульсного блока живлення, регульованого перетворювача напруги, керуючого модуля ESP32-CAM, USB-вузла, індикації та релейного виходу.

4.2.3 Електронний вузол повинен працювати в нормальних кліматичних умовах без порушення основних функцій керування доступом.

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

4.2.5 Конструкція пристрою повинна забезпечувати розділення первинної мережевої частини та низьковольтних кіл керування.

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

4.2.7 Тип монтажу елементів - комбінований, з використанням SMD та вивідних компонентів.

4.2.8 У комплект виробу повинні входити: дверний замок з віддаленим

доступом, друкований вузол, перелік елементів, схема електрична принципова, креслення друкованої плати, складальне креслення друкованого вузла та специфікація.

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

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

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

4.3 Правила приймання

4.3.1 Дверний замок з віддаленим доступом повинен піддаватися приймально-здавальним та періодичним випробуванням.

4.3.2 Під час приймально-здавальних випробувань перевіряється працездатність імпульсного блока живлення, регульованого перетворювача, керуючого модуля ESP32-CAM, інтерфейсу USB Type-C, світлодіодної індикації, релейного вузла та виходу для підключення електромеханічного замка. 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 та надійності функціонування в умовах експлуатації.

4.3.4 Випробування на надійність проводяться за такими вихідними даними:

приймальний рівень $P_{\alpha} = 0,95$;

бракувальний рівень $P_{\mu} = 0,8$;

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	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 сучасних систем контролю доступу та електронних дверних замків	21.03.2026	
4	Розробка структурної схеми дверного замка з віддаленим доступом	23.03.2026	
5	Розробка схеми електричної принципової	10.04.2026	
6	Розробка імпульсного блока живлення та стабілізації напруги	12.04.2026	
7	Опис роботи керуючого модуля, інтерфейсу передавання даних та релейного вузла	16.04.2026	
8	Розрахунок основних електричних параметрів пристрою	22.04.2026	
9	Вибір компонентної бази для розроблюваних схем	02.05.2026	
10	Компонування та трасування друкованого вузла дверного замка	15.05.2026	
11	Розрахунок надійності проєктованого виробу та параметрів друкованого монтажу	23.05.2026	
12	Розробка конструкторської документації на дверний	03.06.2026	

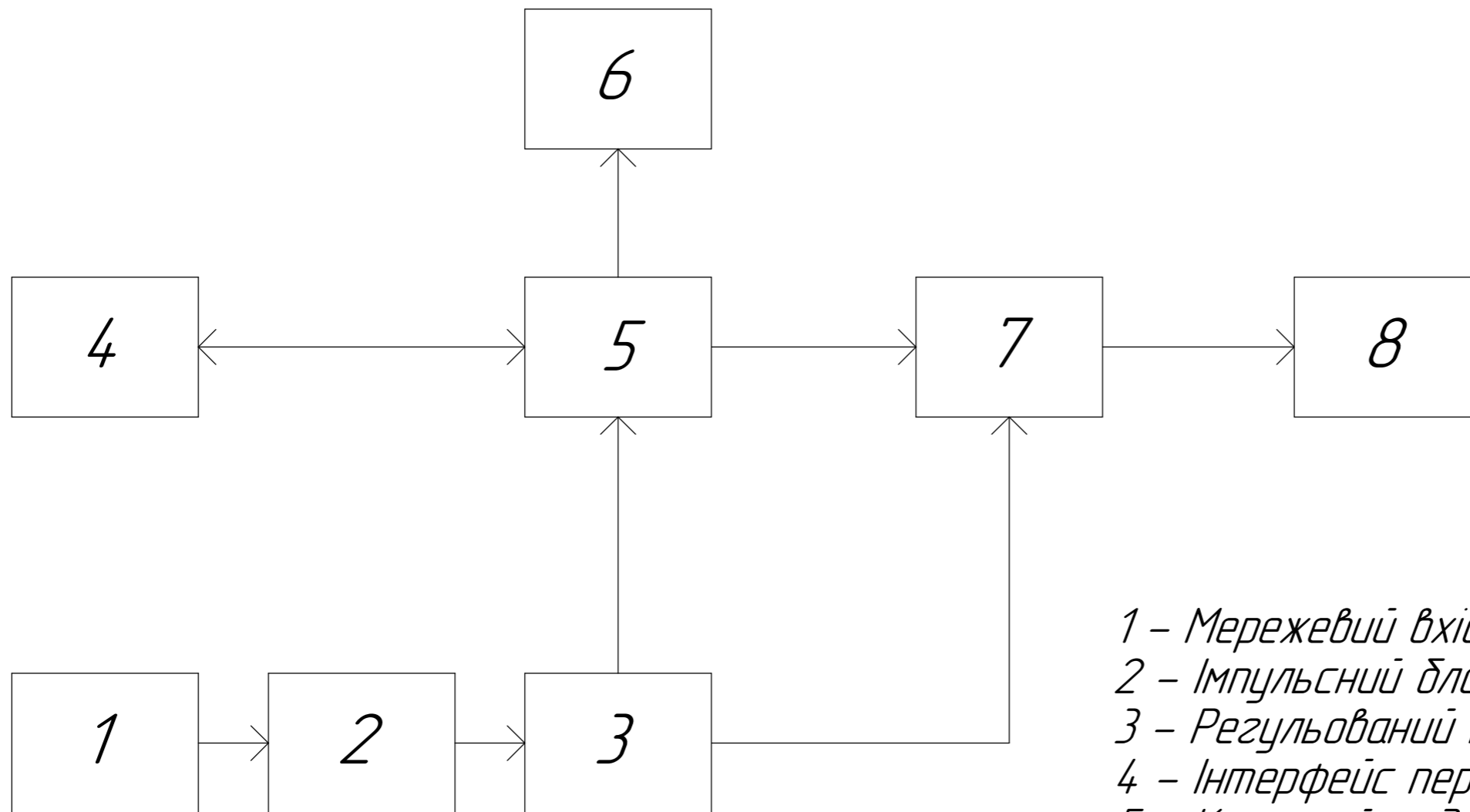
	замок з віддаленим доступом		
13	Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці	08.06.2026	
14	Нормоконтроль	09.06.2026	
15	Попередній захист кваліфікаційної роботи	10.06.2026	
16	Перевірка роботи на антиплагіат		
17	Захист кваліфікаційної роботи		

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

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

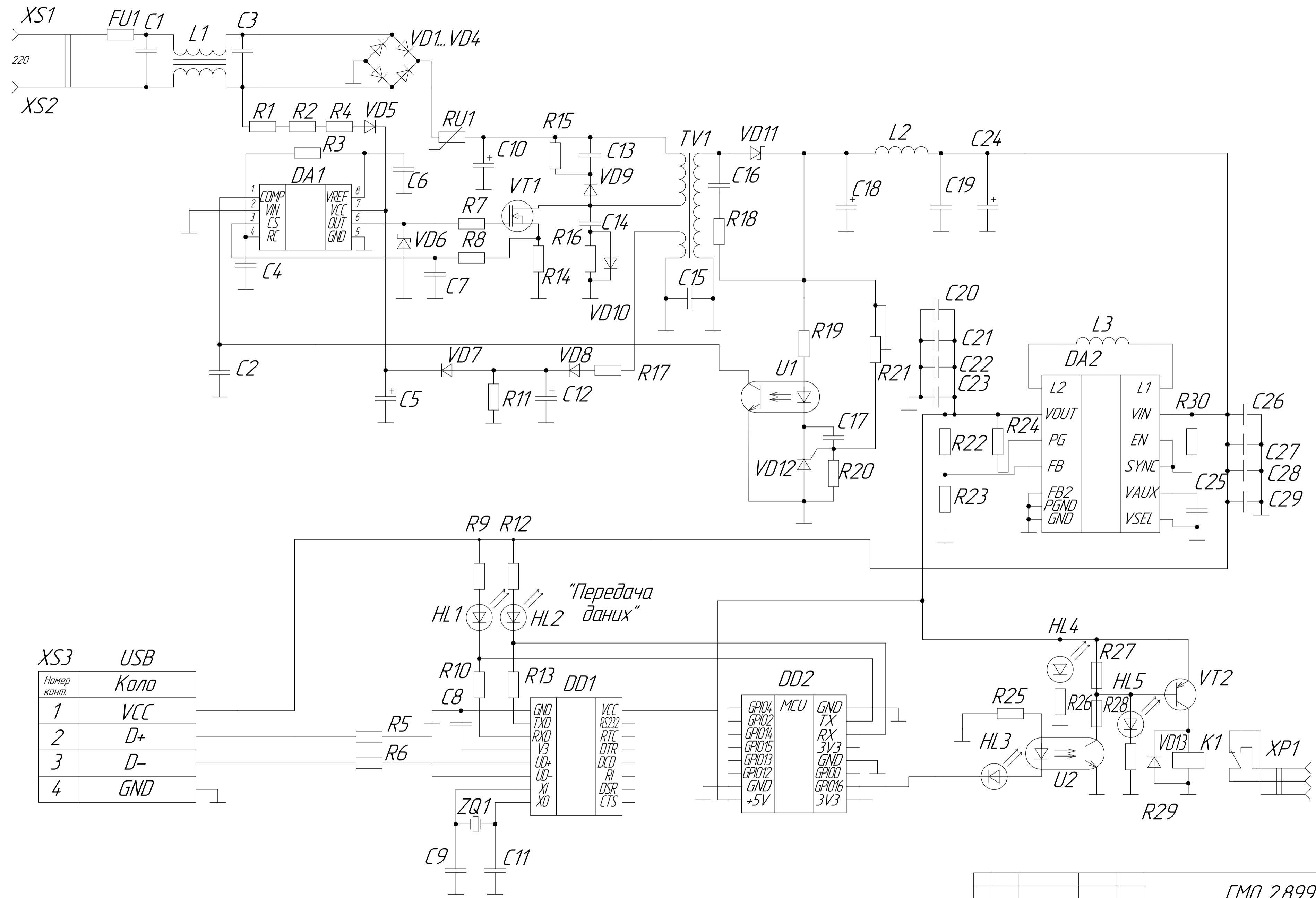
7.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

ГМО 2.899.001 Е1



- 1 – Мережевий вхід
 2 – Імпульсний блок живлення
 3 – Регульований перетворювач напруги
 4 – Інтерфейс передавання даних
 5 – Керуючий модуль
 6 – Світлодіодна індикація
 7 – Релейний виконавчий вузол
 8 – Електромеханічний замок

				ГМО 2.899.001 Е1		
Змн. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Вага	Масштаб
Розроб.	Гончар М.О.					1:1
Перевір.	Паляниця Ю.Б.					
Реценз.				Арк	Аркушів	1
Н.контр.	Хвастівська Л.В.			ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41		
Затверд.	Дунець В.Л.					



XS3 USB	
Номер конт.	Коло
1	VCC
2	D+
3	D-
4	GND

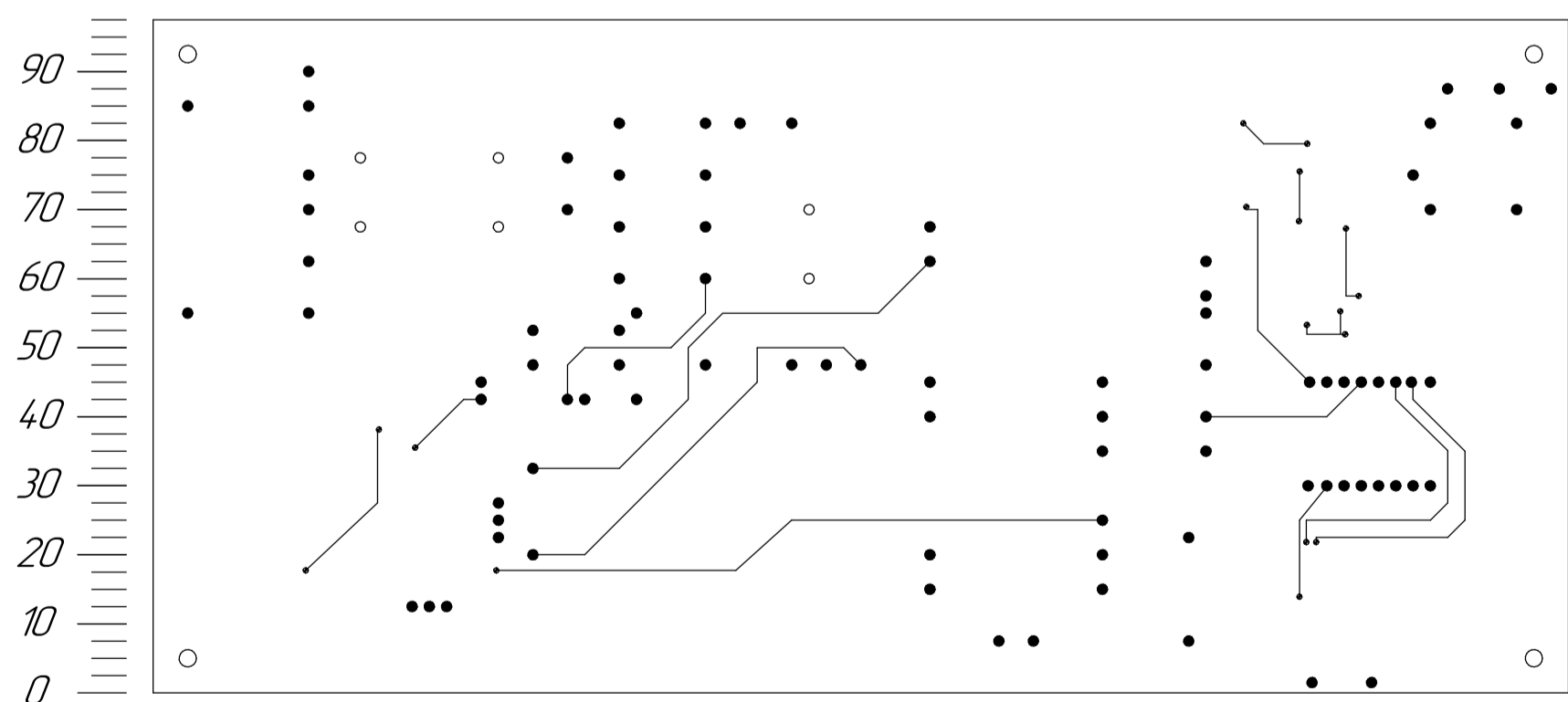
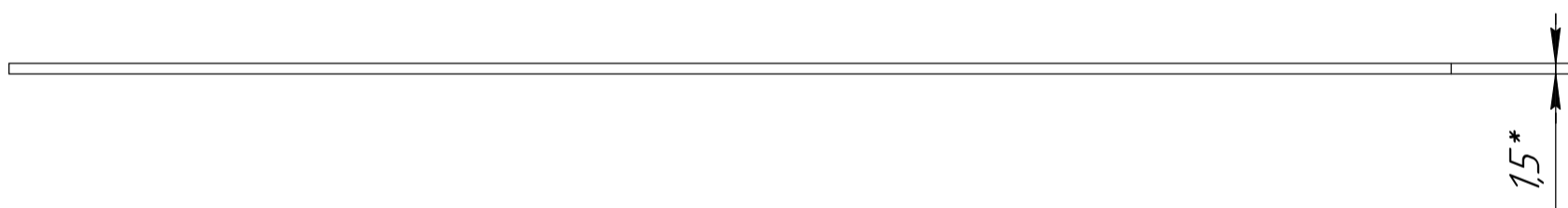
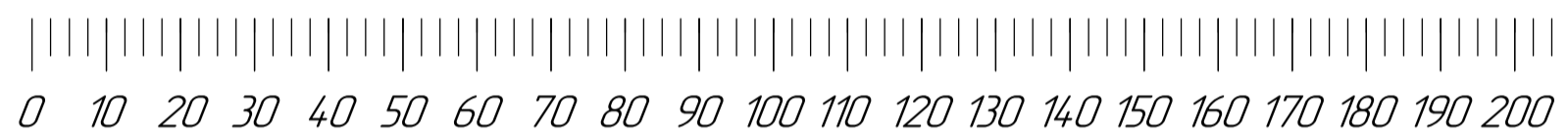
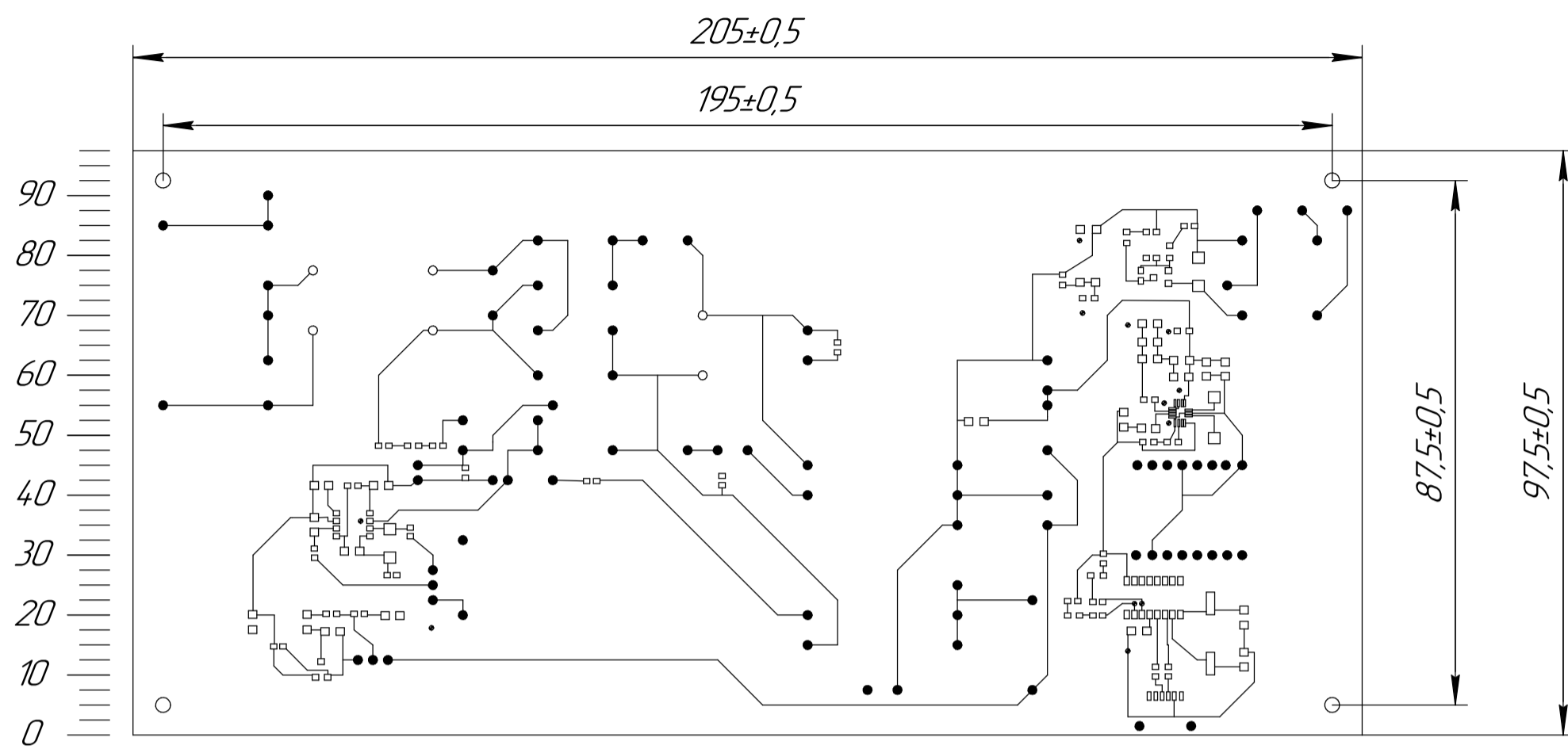
ГМО 2.899.001 ЕЗ				Лит.	Вага	Масштаб
Змн. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Дверний замок з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення		
Разроб.	Ганчар М.О.			Схема електрична принципова		
Перевір.	Паляниця Ю.Б.			Арк	Аркцивів	1
Реценз.				ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41		
Н.контр.	Хвостівська Л.В.			Формат А2		
Затверд.	Дунець В.І.			Копіював		

Первинне застосування
Додатковий №
Підп. і дата
Інв. № дубл.
Зам. інв. №
Підп. і дата
Інв. № 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	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C9	MLCC-SMD/SMT 50V 2.2pF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C10	ECAP-400B-100uF ±20% "Nichicon"	1	
C11	MLCC-SMD/SMT 50V 2.2pF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C12	ECAP-25B-47uF ±20% "Nichicon"	1	
C13	CCK-1kv-4.7nF ±10% "SR Passives"	1	
C14	CCK-1kv-510pF ±10% "SR Passives"	1	
C15	CCK-1kv-2.2nF ±10% "SR Passives"	1	
C16	MLCC-SMD/SMT 50V 4.7nF 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	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C21-C23	MLCC-SMD/SMT 50V 10uF COG1206 ±10% "KEMET"	3	
C24	ECAP-25B-680uF ±20% "Nichicon"	1	
C25	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C26-C33	MLCC-SMD/SMT 50V 22nF COG1206 ±10% "KEMET"	8	

ГМО 2.899.001 ПЕ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Гончар				Перелік елементів	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Паляниця						1	4
Реценз.	Тимків					ТНТУ ім. І. Пулюя РАС-41		
Н. Контр.	Хвостівська							
Затверд.	Дценець							



Таблиця отворів

Позначення отвору	Діаметр отвору	Діаметр конт. площадки	Наявність металізації	Кількість отворів
⊕	0,7	1,5	з метал.	12
●	0,9	1,8	з метал.	97
○	1,5	2,8	з метал.	6

- *Розмір для довідок
- Плата повинна відповідати вимогам ДСТУ 23572, група жорсткості 2, клас точності 3 ДСТУ 23571, крок координатної сітки 2.5мм.
- Плату виконати комбінованим позитивним способом.
- Конфігурація друкованих провідників згідно креслення.
- Параметри отворів див. таблицю 1.
- Таврувати штамп ВТК, маркувати заводський номер фарбою маркувальною ТУМС-01 чорною, У1.ТУ29-02-890-88 шрифт 2,5-Пр3 ДСТУ 26.020-80.

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

				ГМО 7.103.001		
Змн. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Вага	Масштаб
Разроб.	Ганчар М.О.					1:1
Перевір.	Паляниця Ю.Б.					
Реценз.				Арк	Аркцифр	1
Н.контр.	Хостіська Л.В.			ТНТУ ім. І. Пулюя РАС-41		
Затверд.	Дунець В.Л.					
				FR-4		
				Копіював Формат А2		

Друкована плата

FR-4

Літ. Вага Масштаб

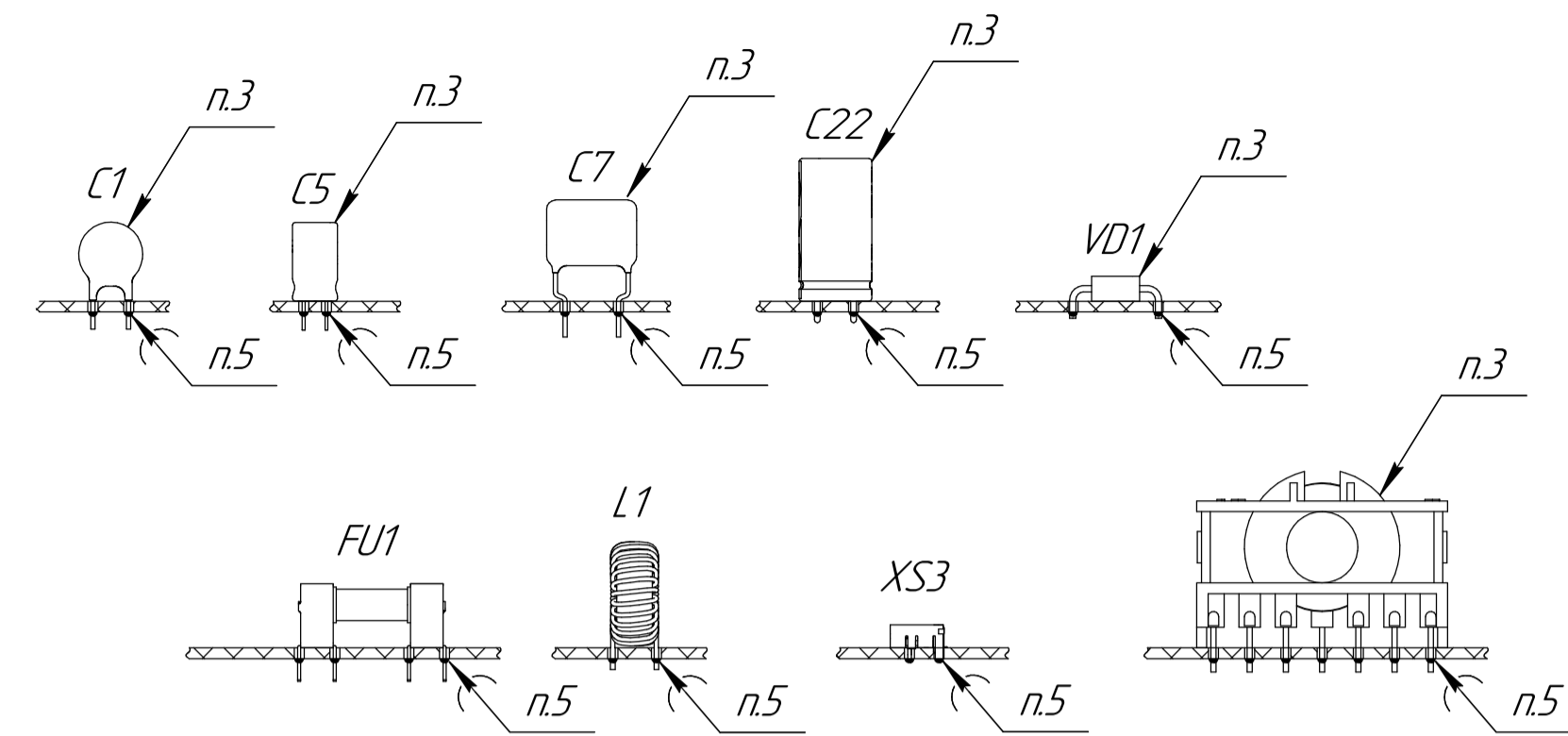
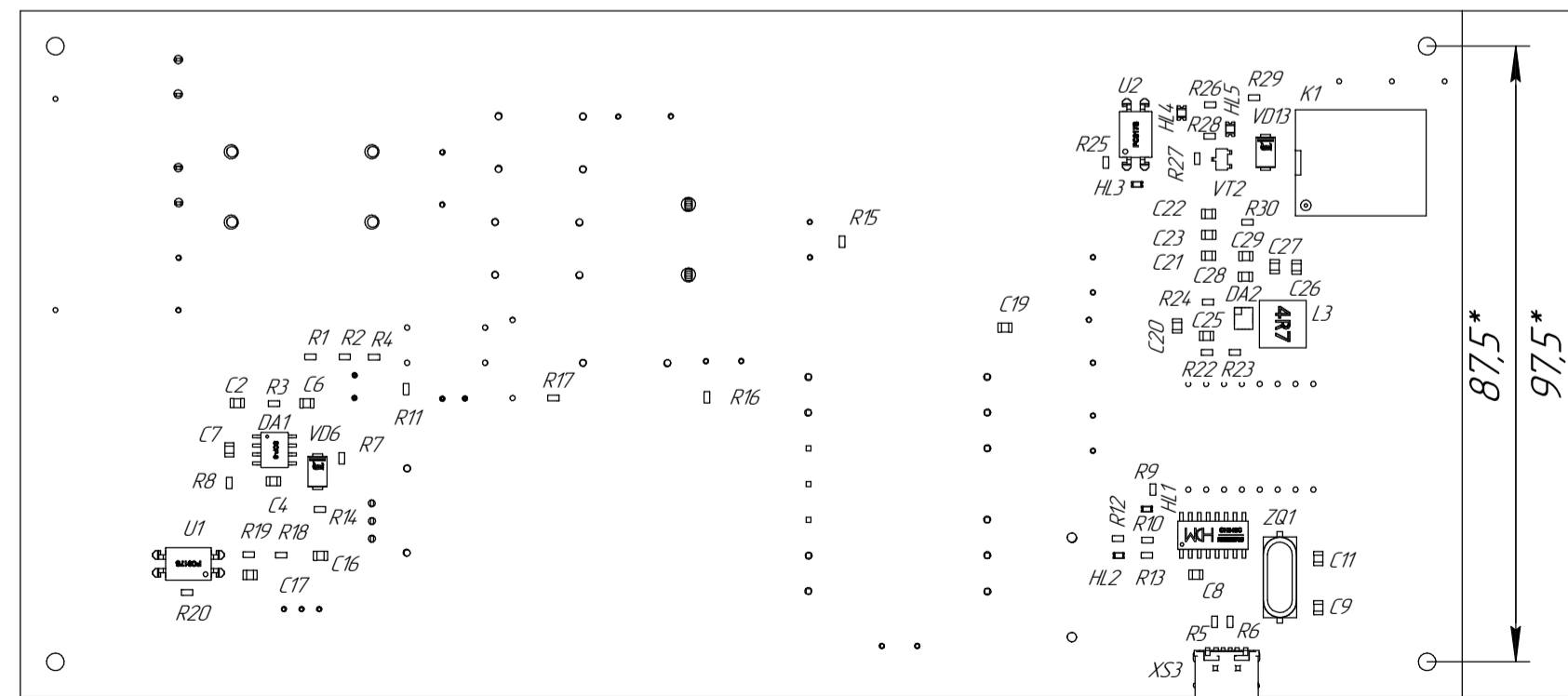
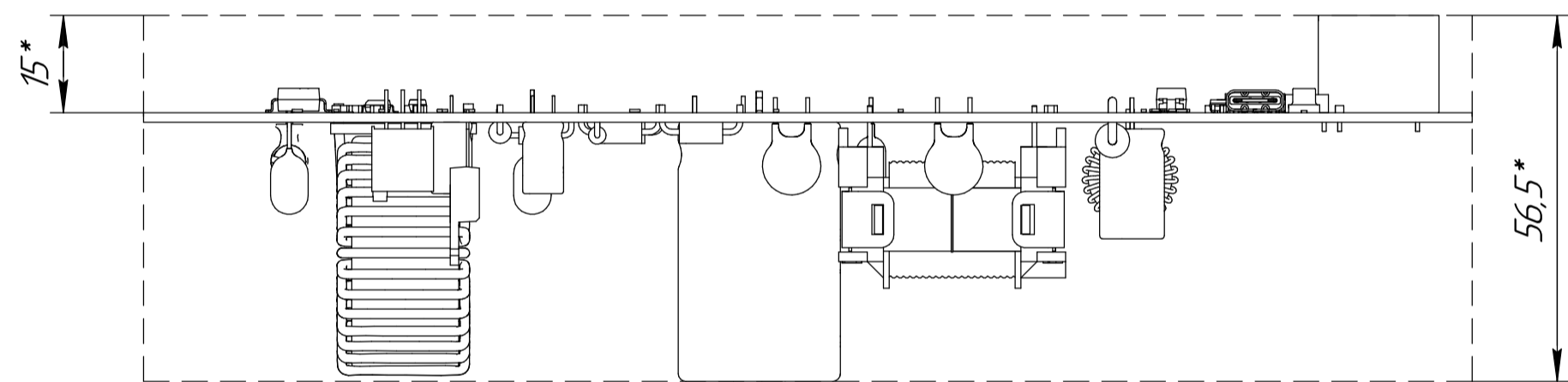
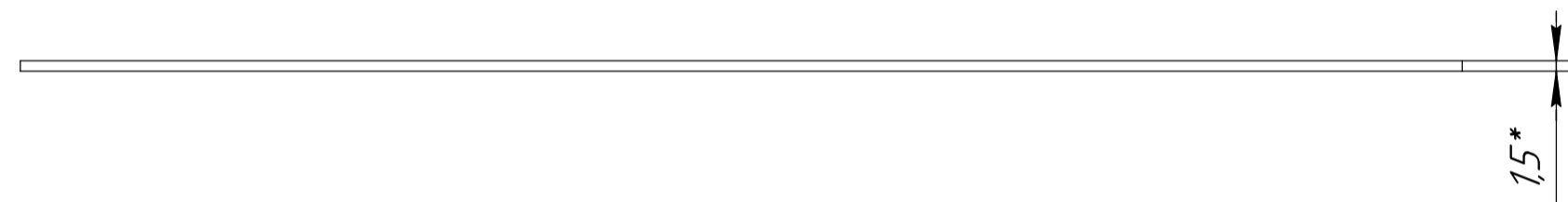
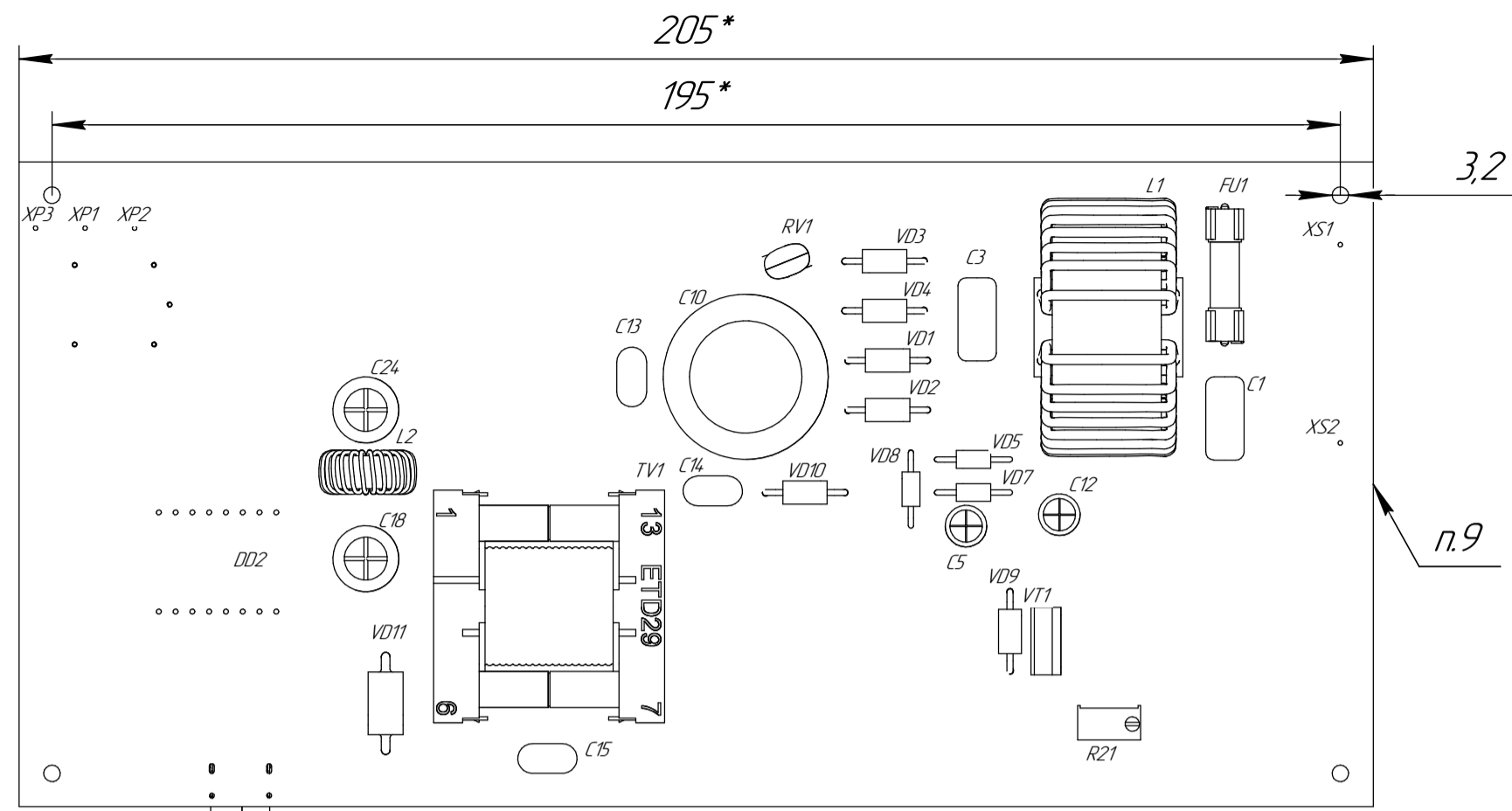
1:1

Арк Аркцифр 1

ТНТУ ім. І. Пулюя
РАС-41

Копіював

Формат А2



1. *Розмір для довідок
2. Підготовку до монтажу виконати згідно ДСТУ2779
3. Встановлення елементів виконати згідно ДСТУ2783
Елементи встановити відповідно до зображених варіантів на кресленні
4. SMD елементи встановити відповідно до показаних datasheet варіантах установки
5. Паїка елементів виконувати у відповідності з ОСТ4ГО.054.267.
- Паяти припоєм ПОС-61 ДСТУ 2784.
6. Паста КПТ-8 ОСТ21831-65
7. Різьбові з'єднання стопорити емаллю ПФ-115
8. Маркувати номером, датою, літерою зміни ПФ-115.
9. Друкований вузол покрити лаком УР-231
ТУ 6-21-14-90
10. Елементи схеми позначенням показані умовно

ГМО.2.889.001 СК				Лит.	Вага	Масштаб
Змн. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Друкований вузол одерного замка з віддаленим доступом та регульованим імпульсним блоком живлення Складальне креслення	0,37	1:1
Розроб.	Ганчар М.О.				Арк	Аркцилів 1
Перевір.	Паляниця Ю.Б.				ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41	
Реценз.					Формат А2	
Нжконтр.	Хвостівська Л.В.					
Затверд.	Дунець В.Л.					

Первинне застосування

Довідковий №

Підп. і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № ар.

Форм.	поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
			<u>Документація</u>		
A2		ГМО 2.899.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
A4		ГМО 2.899.001 ПЕ	Перелік елементів	4	
A2		ГМО 2.899.001 СК	Вузол друкований	1	
			<u>Деталі</u>		
A2		ГМО 7.103.001	Плата друкована	1	
			<u>Інші вироби</u>		
			<u>Конденсатори</u>		
	5		MLCC-SMD/SMT 50V 2.2pF COG1206 ±10% "KEMET"	2	С9,С11
	6		MLCC-SMD/SMT 50V 330pF COG1206 ±10% "KEMET"	1	С7
	7		ССК-1kv-510pF ±10% "SR Passives"	1	С14
	8		MLCC-SMD/SMT 50V 2.2nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	С4
	9		ССК-1kv-2.2nF ±10% "SR Passives"	1	С15
	10		ССК-1kv-4.7nF ±10% "SR Passives"	1	С13
	11		MLCC-SMD/SMT 50V 4.7nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	С16
	12		MLCC-SMD/SMT 50V 22nF COG1206 ±10% "KEMET"	8	С26-С33
	13		CL21-400V-104K-P10 ±10% "HINATO"	2	С1,С3
	14		MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	7	С2,С6,С8
					С17,С19,С20
					С25
	15		MLCC-SMD/SMT 50V 10uF COG1206 ±10% "KEMET"	3	С21-С23
	16		ECAP-25B-4.7uF ±20% "Nichicon"	2	С5,С12
	17		ECAP-400B-100uF ±20% "Nichicon"	1	С10

ГМО 2.899.001

Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата

Специфікація

Лім.	Арк.	Аркушів
	1	4
ТНТУ ім. І. Пулюя РАС-41		

