

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій

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

172"Електронні комунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Мартинов Д.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_

(підпис)

Яськів В.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

\_\_\_\_\_

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

\_\_\_\_\_

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 28 » квітня 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172"Електронні комунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності)

студенту Мартиніву Дмитру Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій

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

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

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23.06.2026

3. Вихідні дані до роботи: блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій; вхідна напруга — 220 В змінного струму; вихідна напруга — 24 В постійного струму; номінальний вихідний струм — 10 А; схема керування — на мікросхемі SG3525; силова частина — на MOSFET-транзисторах 10N60;

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 блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт

2. Схема електрична принципова блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт

3. Друкований вузол блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт

4. Креслення друкованої плати блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт

## 6. Консультанти розділів роботи

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

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

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка та затвердження технічного завдання	12.03.2026	
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	14.03.2026	
3	Аналіз існуючих схем імпульсних блоків живлення та пристроїв живлення інформаційно-комунікаційного обладнання	21.03.2026	
4	Розробка структурної схеми блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт	23.03.2026	
5	Розробка електричної принципової схеми	10.04.2026	
6	Вибір та обґрунтування елементної бази блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт	12.04.2026	
7	Розробка опису принципу роботи блока живлення та його основних функціональних вузлів	16.04.2026	
8	Розрахунок основних вузлів схеми та параметрів роботи блока живлення	22.04.2026	
9	Розрахунок параметрів друкованої плати та елементів друкованого монтажу	02.05.2026	
10	Компонування елементів і трасування друкованої плати блока живлення	15.05.2026	
11	Перевірка конструкції друкованої плати, уточнення посадкових місць та параметрів друкованого вузла	23.05.2026	
12	Розробка конструкторської документації на блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт	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)

*Мартинов Д.М.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Яськів В.І.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій». Кваліфікаційна робота бакалавра / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РАс-41. // Тернопіль, 2026 р. // с.75, рис.5, табл.2-, бібліогр.-26, додат.-6.

Ключові слова: БЛОК ЖИВЛЕННЯ, ІМПУЛЬСНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, SG3525, MOSFET-ТРАНЗИСТОР, ДРУКОВАНА ПЛАТА, ВИВІДНИЙ МОНТАЖ, ALTIUM DESIGNER.

У роботі проведено аналіз завдання щодо розробки блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій та обґрунтовано актуальність роботи.

Розглянуто структурну й електричну принципову схеми пристрою, описано принцип роботи імпульсного блока живлення та виконано розрахунок окремих вузлів схеми.

Обґрунтовано вибір елементної бази, зокрема ШІМ-контролера SG3525, MOSFET-транзисторів 10N60, оптопар PC817, стабілізатора LM7812, трансформаторів, дроселів, діодних мостів та інших компонентів.

Виконано компонування друкованого вузла на двосторонній платі розміром 217,5 × 120 мм з вивідним монтажем елементів. Проведено розрахунок надійності, визначено параметри друкованого монтажу та описано технологію виготовлення плати. Розглянуто питання безпеки життєдіяльності й охорони праці під час роботи з блоком живлення.

## ANNOTATION

Topic of the qualification work: “240-watt power supply for information technology”. Bachelor’s qualification work / Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RAs-41. // Ternopil, 2026. // p.-\*\*, fig.-\*\*, tabl.-\*\*, ref.-26, app.-\*\*.

Keywords: POWER SUPPLY, SWITCHING CONVERTER, SG3525, MOSFET TRANSISTOR, PRINTED CIRCUIT BOARD, THROUGH-HOLE MOUNTING, ALTIUM DESIGNER.

The work analyzes the task of developing a 240-watt power supply for information technology and substantiates the relevance of the work.

The structural and electrical schematic diagrams of the device were considered, the operating principle of the switching power supply was described, and separate circuit units were calculated.

The selection of the component base was substantiated, including the SG3525 PWM controller, 10N60 MOSFETs, PC817 optocouplers, LM7812 voltage regulator, transformers, chokes, diode bridges and other components.

The printed circuit assembly was laid out on a double-sided  $217.5 \times 120$  mm PCB with through-hole mounting. The reliability was calculated, the printed wiring parameters were determined, and the PCB manufacturing technology was described. Life safety and occupational safety issues during work with the power supply were considered.

## Зміст

Вступ.....	7
1. Основна частина.....	10
1.1 Аналіз технічного завдання.....	10
1.2 Аналіз структурної схеми блока живлення.....	16
1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою.....	19
1.3.1 Опис електричної принципової схеми.....	19
1.3.2 Розрахунок вузла електричної принципової схеми пристрою.....	23
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази.....	30
1.4.1 Опис принципу роботи блока живлення.....	30
1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази.....	33
1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу.....	39
1.5.1 Компоновка друкованого вузла.....	39
1.5.2 Розрахунок надійності проектного виробу.....	43
1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу.....	47
1.5.4 Технологія виготовлення друкованої плати.....	52
1.6 Висновок до розділу 1.....	56
2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.....	60
2.1 Долякарська допомога при ураженні електричним струмом.....	60
2.2 Інженерно-технічні рішення з охорони праці.....	63
2.3 Висновок до розділу 2.....	66
Висновки.....	68
Список використаних джерел.....	71
Додатки	

					<b>МДМ 2.087.001 ПЗ</b>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Мартинів Д.М.						6	75	
Перевір.		Яськів В.І.						ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41		
Рецензент										
Н. Контр.		Хвостівська Л.В.								
Затверд.		Дценець В.Л.								

## Вступ

Сучасне електронне обладнання потребує стабільного та надійного живлення. Від якості роботи блока живлення залежить правильність функціонування цифрових пристроїв, систем керування, телекомунікаційного обладнання, периферійних модулів та інших електронних вузлів. Якщо джерело живлення працює нестабільно, це може призвести до збоїв у роботі пристрою, перегрівання елементів, зменшення ресурсу компонентів або повної відмови системи.

Особливо важливими є блоки живлення для обладнання інформаційних технологій, оскільки такі пристрої часто працюють тривалий час і повинні забезпечувати стабільну вихідну напругу при зміні навантаження. Для живлення електронних модулів, вузлів автоматики, контролерів та інших пристроїв широко використовується напруга постійного струму 24 В. Такий рівень напруги є зручним для багатьох технічних систем і дає змогу передавати більшу потужність при меншому струмі порівняно з низьковольтними джерелами на 5 В або 12 В.

У кваліфікаційній роботі розглядається блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій. Пристрій призначений для перетворення змінної мережевої напруги 220 В у стабілізовану постійну напругу 24 В при струмі навантаження до 10 А. Такі параметри вимагають уважного вибору схемотехнічного рішення, елементної бази, параметрів друкованого монтажу та конструкції друкованої плати.

Для реалізації пристрою використовується імпульсний принцип перетворення енергії. Порівняно з лінійними джерелами живлення імпульсні блоки мають кращу ефективність, менші габарити та меншу масу при тій самій вихідній потужності. Це особливо важливо для блока живлення потужністю 240 Вт, оскільки лінійний варіант потребував би масивного трансформатора, великих радіаторів і мав би значні втрати потужності.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		7

Основою керувальної частини пристрою є ШІМ-контролер SG3525. Він формує керувальні імпульси для силових ключів та забезпечує регулювання передавання енергії у силовій частині. Силова частина блока живлення побудована на MOSFET-транзисторах, які працюють у ключовому режимі. Передавання енергії у вторинну частину здійснюється через імпульсний трансформатор, що також забезпечує гальванічне розділення між мережею 220 В і вихідним колом 24 В.

Актуальність роботи полягає у необхідності розробки надійного джерела живлення, яке може забезпечувати стабільну вихідну напругу для електронного обладнання інформаційних технологій. Крім того, така робота є важливою з точки зору практичного проєктування, оскільки в ній поєднуються питання схемотехніки, силової електроніки, розрахунку друкованого монтажу, компонування плати, вибору елементної бази та підготовки конструкторської документації.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка засобами автоматизованого проєктування комплекту конструкторської документації на блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій, який забезпечує перетворення мережевої напруги 220 В у стабілізовану постійну напругу 24 В.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати технічне завдання та визначити основні вимоги до блока живлення;
- розглянути структурну схему пристрою та взаємодію його основних функціональних вузлів;
- описати електричну принципову схему блока живлення;
- виконати розрахунок основних вузлів електричної принципової схеми;
- розглянути принцип роботи блока живлення;
- обґрунтувати вибір елементної бази пристрою;
- виконати компонування друкованого вузла;
- провести розрахунок надійності проєктованого виробу;

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		8

- визначити основні параметри друкованого монтажу;
- описати технологію виготовлення друкованої плати;
- розглянути питання безпеки життєдіяльності та охорони праці, пов’язані з виготовленням, налагодженням і експлуатацією блока живлення.

Об’єктом розробки є процес перетворення мережевої напруги змінного струму у стабілізовану постійну напругу для живлення електронного обладнання.

Предметом розробки є апаратна частина блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт, побудована на основі імпульсного перетворювача, ШІМ-контролера SG3525, силових MOSFET-транзисторів, імпульсного трансформатора, вихідного випрямляча, фільтра та двосторонньої друкованої плати з вивідним монтажем.

Під час виконання роботи використовується середовище автоматизованого проєктування Altium Designer. У ньому виконуються створення електричної принципової схеми, підбір посадкових місць, розміщення елементів на друкованій платі, трасування провідників, перевірка правил проєктування та підготовка матеріалів для оформлення конструкторської документації. Використання САПР дозволяє зменшити кількість помилок під час проєктування та забезпечити узгодженість між схемою, друкованою платою і графічною частиною роботи.

Практичне значення роботи полягає у створенні комплексу конструкторської документації на блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт. Отримані матеріали можуть бути використані для виготовлення, складання, перевірки та подальшого аналізу друкованого вузла. Розроблений пристрій має зрозумілу структуру, доступну елементну базу, вивідний монтаж і може бути використаний як приклад проєктування силового імпульсного джерела живлення для електронного обладнання.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		9

# 1. ОСНОВНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз технічного завдання

### Основні технічні характеристики виробу

Вхідна напруга.....	220 В змінного струму
Вихідна напруга.....	24 В постійного струму
Номинальний вихідний струм .....	10 А
Вихідна потужність.....	240 Вт
Принцип перетворення.....	імпульсний
Гальванічне розділення .....	через імпульсний трансформатор
Габарити.....	217,5x120мм

Блок живлення є одним із найважливіших вузлів електронної апаратури, оскільки від його роботи залежить стабільність усіх інших частин системи. Для обладнання інформаційних технологій джерело живлення повинно забезпечувати не тільки потрібний рівень напруги, але й достатній запас за струмом, стійкість до зміни навантаження та захист від аварійних режимів. У даному випадку вихідна потужність 240 Вт є достатньо високою, тому пристрій не можна розглядати як малопотужний допоміжний блок. Він має силову частину, яка потребує правильного схематичного і конструктивного виконання.

Вибір вихідної напруги 24 В є доцільним для живлення електронних модулів, пристроїв автоматики, периферійних вузлів, промислових контролерів, LED-модулів та іншого обладнання, де потрібне стабільне джерело постійної напруги. Напруга 24 В часто використовується в системах керування, тому блок живлення такого типу може застосовуватись не тільки як окремий пристрій, а й як частина більшої електронної системи.

Вихідний струм до 10 А визначає підвищені вимоги до силових елементів і друкованого монтажу. Провідники вихідного кола повинні мати

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		10

достатню ширину або виконуватися у вигляді мідних полігонів, щоб уникнути перегрівання та зайвого падіння напруги. Також потрібно враховувати тепловий режим діодної збірки, дроселя, трансформатора та силових транзисторів. Через це в технічному завданні важливим є не лише електричний розрахунок, а й правильне компонування друкованого вузла.

Принцип роботи пристрою базується на імпульсному перетворенні енергії. На відміну від лінійних джерел живлення, імпульсні блоки мають менші габарити й кращу ефективність при відносно великій потужності. Для блока живлення 240 Вт це є важливою перевагою, оскільки лінійний варіант мав би значно більший трансформатор, масивніший радіатор і гірші енергетичні показники. Імпульсна схема дозволяє отримати потрібну вихідну напругу при компактнішій конструкції.

Керування роботою перетворювача виконується за допомогою ШІМ-контролера SG3525. Ця мікросхема формує керувальні імпульси для силових ключів і забезпечує роботу імпульсного перетворювача у стабільному режимі. Застосування спеціалізованого ШІМ-контролера є доцільним, оскільки він містить вузли, потрібні для формування імпульсів, регулювання ширини імпульсу, стабілізації вихідної напруги та організації зворотного зв'язку.

Силова частина побудована на MOSFET-транзисторах 10N60. Вони працюють у ключовому режимі та комутують енергію через імпульсний трансформатор. Для такого типу блока живлення важливо, щоб силові транзистори мали достатній запас за напругою та струмом, оскільки у первинній частині схеми присутня випрямлена мережева напруга і високочастотні імпульсні процеси. Неправильний вибір або розміщення силових ключів може призвести до перегрівання, пробою або нестабільної роботи пристрою.

У схемі передбачене гальванічне розділення між первинною та вторинною частинами. Воно забезпечується імпульсним трансформатором і колами зворотного зв'язку через оптопари. Це важливо для безпеки, оскільки

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		11

первинна частина пов'язана з мережею 220 В, а вторинна частина повинна формувати відносно безпечну стабілізовану напругу 24 В. Оптопари дають змогу передавати сигнал зворотного зв'язку без прямого електричного з'єднання між небезпечними та низьковольтними колами.

До складу блока живлення входять такі основні функціональні вузли: вхідний мережевий фільтр, випрямляч, вузол допоміжного живлення, ШІМ-контролер, драйверна частина, силові ключі, імпульсний трансформатор, вихідний випрямляч, вихідний фільтр, вузол зворотного зв'язку та індикація. Кожен із цих вузлів виконує окрему функцію, але разом вони забезпечують перетворення мережевої напруги у стабілізовану вихідну напругу постійного струму.

Особливістю технічного завдання є використання вивідного монтажу. Усі елементи встановлюються у монтажні отвори друкованої плати з одного боку. Такий варіант зручний для навчального проєктування, оскільки елементи добре видно на платі, їх простіше перевіряти, монтувати та за потреби замінювати. Для силового пристрою це також практично, оскільки трансформатори, дроселі, запобіжники, потужні резистори та електролітичні конденсатори мають вивідне виконання і потребують надійного механічного кріплення.

Для пристрою прийнято двосторонню друковану плату з двостороннім провідниковим рисунком. При цьому компоненти розміщуються тільки з одного боку плати. Таке рішення дозволяє поєднати зручність вивідного монтажу з можливістю більш раціонального трасування. У схемі є багато з'єднань між силовими, керувальними та допоміжними вузлами, тому одностороння плата була б менш зручною і потребувала б значної кількості перемичок.

Габаритні розміри друкованої плати становлять  $217,5 \times 120$  мм. Така площа потрібна через наявність великих елементів: імпульсних трансформаторів, дроселів, запобіжників, високовольтних та вихідних

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		12

електролітичних конденсаторів, силових транзисторів, діодних мостів і роз'ємів. Зменшення габаритів плати в цьому випадку могло б ускладнити монтаж, погіршити тепловий режим і зменшити електричні зазори між небезпечними ділянками.

Під час розробки блока живлення потрібно враховувати наявність різних за призначенням зон плати. Вхідна частина працює з мережевою напругою 220 В, первинна силова частина - з випрямленою високою напругою, а вторинна частина формує вихід 24 В. Тому під час компоновання і трасування необхідно розділяти ці ділянки, витримувати електричні зазори та не прокладати низьковольтні сигнальні кола поруч із силовими імпульсними провідниками без потреби.

Для виготовлення плати доцільно використовувати фольгований склотекстоліт FR-4 або СФ-2-35 товщиною 1,5 мм з мідною фольгою 35 мкм. Такий матеріал має достатню механічну міцність, електроізоляційні властивості та придатний для двосторонніх плат з металізованими отворами. Товщина 1,5 мм є виправданою, оскільки на платі встановлюються компоненти з помітною масою, зокрема трансформатори й дроселі.

Перед початком розробки доцільно розглянути існуючі типи блоків живлення, які можуть застосовуватись для живлення електронної апаратури. Найпростішими є трансформаторні лінійні джерела живлення. Вони мають зрозумілу структуру, але при потужності близько 240 Вт стають громіздкими, важкими та менш ефективними. Для сучасної апаратури інформаційних технологій такий варіант не є оптимальним.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		13



Рисунок 1.1 - Приклад трансформаторного блока живлення

Іншим поширеним варіантом є готові імпульсні блоки живлення відкритого або закритого виконання. Вони мають вищий ККД, менші габарити та можуть забезпечувати значний вихідний струм. Такі джерела живлення часто використовуються в системах автоматики, мережевому обладнанні, світлодіодних системах та інших електронних пристроях. Їх недоліком для навчального проектування є те, що готовий виріб зазвичай не дає змоги повністю простежити всі етапи розробки схеми, плати та конструкторської документації.



Рисунок 1.2 - Приклад імпульсного блока живлення для електронної апаратури

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		14

Також існують модульні DC-DC перетворювачі, які використовуються для перетворення однієї постійної напруги в іншу. Вони є компактними й зручними, але не можуть безпосередньо замінити проєктований пристрій, оскільки в даному випадку потрібно отримати стабілізовану напругу 24 В саме від мережі 220 В. Тому для цього завдання потрібна повноцінна АС-DC схема з вхідним випрямленням, гальванічним розділенням, силовим трансформатором і вихідним фільтром.



Рисунок 1.3 - Приклад модульного DC-DC перетворювача

У результаті аналізу можна зробити висновок, що для заданої потужності та призначення найдоцільнішим є використання імпульсного АС-DC блока живлення. Він забезпечує перетворення мережевої напруги у стабілізовану постійну напругу, має менші габарити порівняно з лінійним джерелом і краще підходить для живлення обладнання інформаційних технологій. Використання ШІМ-контролера SG3525, силових MOSFET-транзисторів, імпульсного трансформатора, оптопар зворотного зв'язку та вихідного фільтра відповідає поставленому технічному завданню.

Отже, аналіз технічного завдання показує, що розробка блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт є актуальною для навчального і практичного проєктування. Пристрій має достатньо складну структуру, оскільки поєднує

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		15

мережеву частину, високовольтний випрямляч, імпульсний перетворювач, вузол керування, зворотний зв'язок і вихідний фільтр. Прийняті технічні рішення - вихід 24 В / 10 А, ШІМ-керування на SG3525, силові транзистори 10N60, вивідний монтаж і двостороння друкована плата - створюють основу для подальшого аналізу структурної схеми, електричної принципової схеми, елементної бази та друкованого вузла.

## 1.2 Аналіз структурної схеми блока живлення

Структурна схема блока живлення показує загальний принцип побудови пристрою та взаємодію його основних функціональних вузлів. На відміну від електричної принципової схеми, вона не відображає всі окремі радіоелементи, а подає пристрій у вигляді основних блоків, через які проходить енергія та сигнали керування.

Розроблюваний блок живлення призначений для перетворення змінної мережевої напруги 220 В у стабілізовану постійну напругу 24 В при струмі навантаження до 10 А. Оскільки вихідна потужність пристрою становить 240 Вт, у його складі є як силові вузли, так і вузли керування та зворотного зв'язку. Це потрібно враховувати під час аналізу роботи пристрою, вибору елементної бази та подальшого компоновання друкованої плати.



Рисунок 1.4 - Структурна схема блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		16

- 1 - мережа 220 В;
- 2 - вхідний захист, фільтр і випрямляч;
- 3 - силовий імпульсний перетворювач;
- 4 - імпульсний трансформатор;
- 5 - вихідний випрямляч і фільтр;
- 6 - вихід 24 В / 10 А;
- 7 - допоміжне джерело живлення;
- 8 - ШІМ-контролер SG3525 і драйвер;
- 9 - вузол зворотного зв'язку.

Основний шлях перетворення енергії проходить через блоки 1-6. Спочатку мережева напруга 220 В надходить на вхід блока живлення. Далі вона проходить через вхідний захист, фільтр і випрямляч. Цей вузол виконує декілька функцій: захищає пристрій від аварійних режимів, зменшує вплив мережевих завад, обмежує пускові струми та перетворює змінну напругу у випрямлену напругу для подальшої роботи силової частини.

Після вхідного вузла напруга подається на силовий імпульсний перетворювач. У цьому блоці відбувається високочастотне комутування енергії за допомогою силових ключів. У схемі блока живлення для цього використовуються MOSFET-транзистори 10N60. Вони працюють у ключовому режимі, що дозволяє зменшити втрати потужності порівняно з лінійним режимом роботи.

Наступним блоком є імпульсний трансформатор. Він передає енергію з первинної частини схеми у вторинну та забезпечує гальванічне розділення між мережею 220 В і вихідним колом 24 В. Для блока живлення це важливо не тільки з погляду роботи схеми, але й з погляду електробезпеки, оскільки вторинна частина має бути відокремлена від небезпечної первинної частини.

Після імпульсного трансформатора напруга надходить на вихідний випрямляч і фільтр. У цьому вузлі імпульсна напруга вторинної обмотки випрямляється та згладжується. Для цього використовуються силова діодна

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		17

збірка, дросель і конденсатори фільтра. Саме цей вузол формує постійну вихідну напругу з меншими пульсаціями.

На виході блока живлення формується стабілізована напруга 24 В при струмі навантаження до 10 А. Через значний вихідний струм ця частина пристрою належить до силових кіл. Тому під час розробки друкованої плати для вихідного кола потрібно використовувати широкі провідники або мідні полігони, щоб зменшити нагрівання і падіння напруги на провідниках.

Окремо у структурній схемі виділено допоміжне джерело живлення. Воно призначене для живлення керувальної частини пристрою. У реальній схемі до цього вузла належать елементи, які формують стабілізовану напругу для ШІМ-контролера SG3525 та допоміжних кіл. Без цього джерела керувальна частина не зможе формувати імпульси для роботи силового перетворювача.

Керування роботою силової частини виконує блок ШІМ-контролера SG3525 і драйвера. ШІМ-контролер формує імпульси керування, а драйверна частина узгоджує ці сигнали із силовими MOSFET-ключами. Сигнал з цього блока надходить до силового імпульсного перетворювача і задає режим його роботи. Зміна ширини керувальних імпульсів дозволяє регулювати передавання енергії через трансформатор та підтримувати потрібний рівень вихідної напруги.

Для стабілізації вихідної напруги використовується вузол зворотного зв'язку. Він контролює напругу на виході 24 В і передає інформацію до ШІМ-контролера. Оскільки первинна та вторинна частини блока живлення повинні бути гальванічно розділені, у схемі для передавання сигналу зворотного зв'язку застосовуються оптопари. Завдяки цьому ШІМ-контролер може коригувати роботу силового перетворювача без прямого електричного з'єднання з вихідною частиною.

Загальний принцип роботи структурної схеми можна описати так. Мережева напруга 220 В надходить на вхід пристрою, проходить через

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		18

захисно-фільтрувальний і випрямний вузол, після чого подається на силовий імпульсний перетворювач. Силовий перетворювач під керуванням ШІМ-контролера передає енергію через імпульсний трансформатор у вторинну частину. Далі напруга випрямляється, фільтрується і подається на вихід 24 В / 10 А. Вузол зворотного зв'язку контролює вихідну напругу та передає сигнал до ШІМ-контролера, який відповідно змінює режим роботи силових ключів.

Отже, структурна схема блока живлення складається з основного силового каналу, допоміжного живлення керування та кола зворотного зв'язку. Така побудова відповідає призначенню пристрою і забезпечує перетворення мережевої напруги 220 В у стабілізовану постійну напругу 24 В. Прийнята структура є основою для подальшого аналізу електричної принципової схеми, вибору елементної бази та розробки друкованого вузла.

### 1.3 Проєктування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою

#### 1.3.1 Опис електричної принципової схеми

Схему електричну принципову блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій наведено на рисунку 1.5.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		19

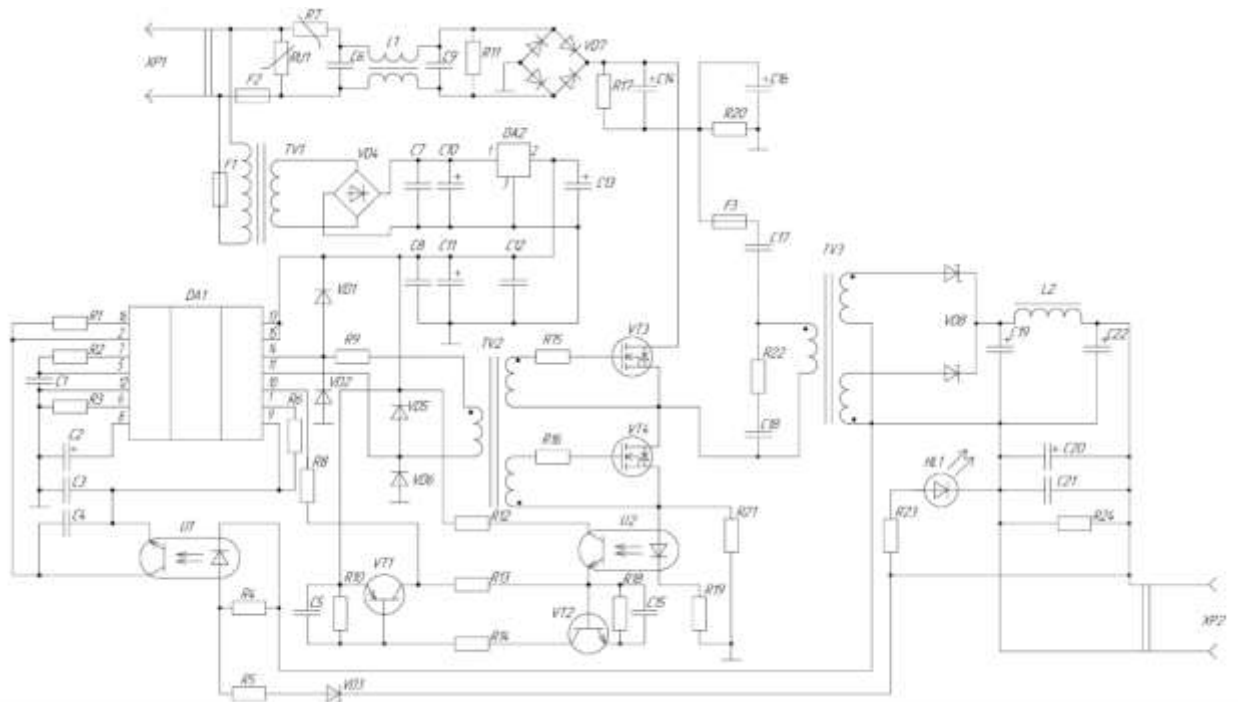


Рисунок 1.5 - Схема електрична принципова блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій

Електрична принципова схема блока живлення призначена для перетворення змінної мережевої напруги 220 В у стабілізовану постійну напругу 24 В при струмі навантаження до 10 А. Схема побудована за імпульсним принципом, тому в ній можна виділити кілька основних функціональних вузлів: вхідний мережевий вузол, випрямляч і фільтр високої напруги, допоміжне джерело живлення, вузол керування на ШІМ-контролері SG3525, драйверну частину, силовий імпульсний перетворювач, коло зворотного зв'язку, вихідний випрямляч і вихідний фільтр.

Вхідна мережева напруга 220 В подається на схему через вхідні контакти. У вхідній частині встановлені запобіжники, варистор, терморезистор, мережевий дросель і конденсатори фільтра. Запобіжники призначені для захисту схеми від аварійного перевантаження та короткого замикання. Варистор обмежує короткочасні імпульсні перенапруги, які можуть виникати у мережі. Терморезистор зменшує пусковий струм під час

увімкнення пристрою, а дросель і конденсатори знижують рівень мережевих завад.

Після вхідного фільтра змінна напруга надходить на мережевий випрямляч. У схемі для цього використовується діодний міст KBU1010. Він перетворює змінну напругу у випрямлену постійну напругу, яка подається на високовольтну шину живлення силової частини. Для згладжування пульсацій після випрямляча використовуються електролітичні конденсатори великої ємності. У цій частині схеми присутня підвищена напруга, тому під час проектування плати для неї потрібно витримувати збільшені електричні зазори.

Окремим вузлом є допоміжне джерело живлення. Воно забезпечує роботу керувальної частини блока живлення, зокрема ШІМ-контролера SG3525 та елементів його обв'язки. До складу цього вузла входять допоміжний трансформатор TV1, діодний міст DB107, стабілізатор напруги LM7812 і фільтрувальні конденсатори. На виході стабілізатора формується стабілізована напруга, необхідна для живлення керувальної схеми.

Основним елементом вузла керування є ШІМ-контролер SG3525. Він формує імпульси керування для силової частини перетворювача. Частота роботи, тривалість імпульсів і режим запуску визначаються елементами обв'язки мікросхеми: резисторами та конденсаторами. Зміна ширини імпульсів дає змогу регулювати кількість енергії, яка передається через імпульсний трансформатор, і підтримувати стабільну вихідну напругу.

Сигнали з ШІМ-контролера не подаються безпосередньо на силові ключі, а проходять через драйверну частину. Вона побудована на транзисторах SS8050, SS8550, діодах, резисторах та імпульсному трансформаторі керування TV2. Драйверний вузол формує керувальні сигнали потрібного рівня та забезпечує узгодження ШІМ-контролера із силовими MOSFET-транзисторами.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		21

Силова частина імпульсного перетворювача виконана на MOSFET-транзисторах 10N60. Ці транзистори працюють у ключовому режимі та комутують струм у первинній обмотці силового імпульсного трансформатора TV3. Завдяки ключовому режиму роботи зменшуються втрати потужності на силових елементах, що є важливим для блока живлення потужністю 240 Вт. У цій частині схеми також використовуються елементи, які обмежують перенапруги та забезпечують більш стабільну роботу ключів.

Силовий імпульсний трансформатор TV3 передає енергію з первинної частини схеми у вторинну. Одночасно він забезпечує гальванічне розділення між мережею 220 В та вихідним колом 24 В. Це одна з головних вимог до імпульсного блока живлення, оскільки вторинна частина повинна бути електрично відокремлена від небезпечної первинної частини.

На вторинній стороні трансформатора встановлено вихідний випрямляч. У схемі для цього використовується діодна збірка MBR40100CT, яка випрямляє імпульсну напругу з вторинної обмотки трансформатора. Оскільки вихідний струм блока живлення становить до 10 А, цей елемент повинен мати достатній запас за струмом і напругою, а також нормальні умови тепловідведення.

Після вихідного випрямляча встановлено вихідний фільтр. До його складу входять дросель L2 та електролітичні конденсатори. Дросель згладжує зміну струму, а конденсатори зменшують пульсації вихідної напруги. На виході фільтра формується постійна напруга 24 В, яка подається на вихідні контакти блока живлення. Для контролю наявності вихідної напруги у схемі передбачена світлодіодна індикація.

Стабілізація вихідної напруги здійснюється за допомогою вузла зворотного зв'язку. Він контролює рівень напруги на виході блока живлення та передає інформацію до керувальної частини. Оскільки первинна і вторинна частини схеми мають бути гальванічно розділені, сигнал зворотного зв'язку передається через оптопари PC817. Таке рішення дозволяє впливати на роботу

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		22

ШІМ-контролера без прямого електричного з'єднання між вихідним колом і високовольтною частиною.

### 1.3.2 Розрахунок вузла електричної принципової схеми пристрою

Розрахунок вузлів електричної принципової схеми виконується для перевірки відповідності вибраних елементів заданим режимам роботи блока живлення. У даному пристрої основними розрахунковими параметрами є вихідна потужність, вхідний струм, напруга після мережевого випрямляча, запас силових елементів за струмом і напругою, параметри вихідного фільтра та струм світлодіодної індикації.

Блок живлення повинен забезпечувати стабілізовану вихідну напругу 24 В при струмі навантаження до 10 А. Тому спочатку визначаємо вихідну потужність пристрою:

$$P_{\text{вих}} = U_{\text{вих}} \cdot I_{\text{вих}} \quad (1.1)$$

де  $P_{\text{вих}}$  - вихідна потужність блока живлення, Вт;

$U_{\text{вих}}$  - вихідна напруга, В;

$I_{\text{вих}}$  - вихідний струм навантаження, А.

$$P_{\text{вих}} = 24 \cdot 10 = 240 \text{ Вт}$$

Отримане значення відповідає технічному завданню, згідно з яким блок живлення повинен мати вихідну потужність 240 Вт. Саме це значення надалі використовується для оцінки струмів у вхідному та вихідному колах.

Для оцінки параметрів вхідного кола потрібно врахувати, що імпульсний перетворювач має певні втрати. Орієнтовно приймаємо коефіцієнт корисної дії блока живлення:

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

$$\eta = 0,85$$

Тоді споживана потужність від мережі визначається за формулою:

$$P_{вх} = P_{вих} / \eta \quad (1.2)$$

$$P_{вх} = 240 / 0,85 = 282,35 \text{ Вт}$$

Орієнтовний робочий струм у мережевому колі визначаємо за формулою:

$$I_{вх} = P_{вх} / U_{мер} \quad (1.3)$$

$$I_{вх} = 282,35 / 220 = 1,28 \text{ А}$$

Отже, при номінальній роботі блок живлення споживає з мережі приблизно 1,28 А. З урахуванням пускових процесів, заряджання високовольтних конденсаторів і можливих короткочасних перевантажень елементи вхідного кола потрібно вибрати із запасом за струмом. Для цього у схемі передбачені запобіжники, НТС-терморезистор і варистор.

Після мережевого випрямляча формується високовольтна шина живлення силової частини. Орієнтовне значення випрямленої напруги після діодного моста можна визначити за формулою:

$$U_{випр} \approx \sqrt{2} \cdot U_{мер} - 2 \cdot U_d \quad (1.4)$$

де  $U_{випр}$  - напруга після мережевого випрямляча, В;

$U_{мер}$  - діюче значення мережевої напруги, В;

$U_d$  - падіння напруги на одному діоді моста, В.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		24

$$U_{\text{випр}} \approx 1,414 \cdot 220 - 2 \cdot 1 = 309,08 \text{ В}$$

Таким чином, у первинній частині схеми формується напруга близько 310 В постійного струму. При підвищенні мережевої напруги це значення також зростає, тому елементи первинної частини повинні мати достатній запас за максимально допустимою напругою.

У силовій частині схеми застосовано MOSFET-транзистори 10N60. Для них допустима напруга між стоком і витком становить 600 В. Перевіримо запас за напругою відносно випрямленої мережевої напруги:

$$K_{\text{зап.}U} = U_{DS\text{max}} / U_{\text{випр}} \quad (1.5)$$

$$K_{\text{зап.}U} = 600 / 309,08 = 1,94$$

Коефіцієнт запасу за напругою становить приблизно 1,94. Це означає, що вибрані MOSFET-транзистори мають достатній запас для роботи у первинній частині імпульсного блока живлення. При цьому під час практичного проєктування також потрібно враховувати імпульсні перенапруги, які можуть виникати під час комутації.

Мережевий випрямляч виконано на діодному мосту КВU1010. Для цього елемента характерні допустимий прямий струм 10 А і максимальна зворотна напруга 1000 В. Перевіримо запас діодного моста за струмом та напругою:

$$K_{\text{зап.}I} = I_{\text{моста}} / I_{\text{вх}} \quad (1.6)$$

$$K_{\text{зап.}I} = 10 / 1,28 = 7,81$$

$$K_{\text{зап.}U} = U_{RRM} / U_{\text{випр}} \quad (1.7)$$

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		25

$$K_{\text{зап.}U} = 1000 / 309,08 = 3,24$$

Отримані значення показують, що діодний міст має значний запас за струмом і напругою. Це важливо для вхідного вузла, оскільки під час увімкнення блока живлення виникає короткочасний зарядний струм високовольтних конденсаторів.

Вихідний випрямляч у схемі виконано на діодній збірці MBR40100CT. Вона працює у вторинній частині схеми та повинна витримувати струм навантаження до 10 А. Для перевірки запасу за струмом приймаємо допустимий струм діодної збірки 40 А:

$$K_{\text{зап.}I} = I_{VD8} / I_{\text{вих}} \quad (1.8)$$

$$K_{\text{зап.}I} = 40 / 10 = 4$$

Коефіцієнт запасу за струмом дорівнює 4, тому діодна збірка MBR40100CT підходить для роботи у вихідному випрямлячі. Також її зворотна напруга 100 В є достатньою для вихідного кола 24 В з урахуванням необхідного запасу.

Для вихідного кола важливим є вибір фільтрувальних конденсаторів. У схемі використовуються електролітичні конденсатори на напругу 35 В. Оскільки вихідна напруга становить 24 В, перевіримо запас за робочою напругою:

$$K_{\text{зап.}U} = U_{\text{конденсатора}} / U_{\text{вих}} \quad (1.9)$$

$$K_{\text{зап.}U} = 35 / 24 = 1,46$$

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		26

Коефіцієнт запасу за напругою становить 1,46. Це є прийнятним для вихідного фільтра блока живлення, однак під час практичного застосування потрібно не перевищувати допустиму вихідну напругу та враховувати можливі короткочасні перехідні процеси.

Для орієнтовної перевірки ємності вихідного фільтра приймаємо, що сумарна ємність двох основних електролітичних конденсаторів становить:

$$C_{\Sigma} = C_{19} + C_{20} = 1000 \text{ мкФ} + 1000 \text{ мкФ} = 2000 \text{ мкФ}$$

Якщо допустима пульсація вихідної напруги приймається близько 1 В, а частота пульсацій після імпульсного перетворення орієнтовно становить 50 кГц, мінімальна ємність визначається за формулою:

$$C_{\min} = I_{\text{вих}} / (f \cdot \Delta U) \quad (1.10)$$

$$C_{\min} = 10 / (50000 \cdot 1) = 0,0002 \text{ Ф} = 200 \text{ мкФ}$$

Фактично встановлена сумарна ємність 2000 мкФ є більшою за розрахункову мінімальну. Крім того, у вихідному колі використовується дросель L2, тому фільтр має LC-структуру і краще згладжує пульсації, ніж один ємнісний фільтр.

Для контролю наявності вихідної напруги у схемі передбачено світлодіодну індикацію. Світлодіод HL1 підключений через обмежувальний резистор R23 номіналом 10 кОм. Орієнтовний струм індикації визначається за формулою:

$$I_{\text{HL1}} = (U_{\text{вих}} - U_{\text{HL1}}) / R_{23} \quad (1.11)$$

де  $U_{\text{HL1}}$  - пряме падіння напруги на світлодіоді.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		27

Для розрахунку приймаємо  $U_{HL1} = 2 \text{ В}$ .

$$I_{HL1} = (24 - 2) / 10000 = 0,0022 \text{ А} = 2,2 \text{ мА}$$

Отриманий струм є невеликим і не створює помітного навантаження на вихід блока живлення. Водночас його достатньо для візуальної індикації наявності вихідної напруги.

У первинній силовій частині також використовується резистор R21 номіналом 0,15 Ом потужністю 5 Вт. Він може виконувати функцію струмовимірювального або обмежувального елемента в колі силового перетворювача. Для орієнтовної перевірки прийmemo імпульсний струм 3 А. Напруга на цьому резисторі становитиме:

$$U_{R21} = I \cdot R_{21} \quad (1.12)$$

$$U_{R21} = 3 \cdot 0,15 = 0,45 \text{ В}$$

Потужність, яка виділяється на резисторі, визначається за формулою:

$$P_{R21} = I^2 \cdot R_{21} \quad (1.13)$$

$$P_{R21} = 3^2 \cdot 0,15 = 1,35 \text{ Вт}$$

Оскільки фактична потужність резистора становить 5 Вт, він має достатній запас за потужністю для прийнятого розрахункового режиму. Коефіцієнт запасу становить:

$$K_{\text{зап.Р}} = 5 / 1,35 = 3,7.$$

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		28

Для узагальнення результатів розрахунку основні параметри наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Результати розрахунку вузлів електричної принципової схеми

Параметр	Розрахункове значення	Примітка
Вихідна потужність	240 Вт	Відповідає технічному завданню
Орієнтовна споживана потужність	282,35 Вт	При ККД 0,85
Орієнтовний вхідний струм	1,28 А	Для мережі 220 В
Напруга після мережевого випрямляча	$\approx 309$ В	Первинна високовольтна шина
Запас MOSFET 10N60 за напругою	1,94	UDSmax = 600 В
Запас KBU1010 за струмом	7,81	Імоста = 10 А
Запас KBU1010 за напругою	3,24	URRM = 1000 В
Запас MBR40100СТ за струмом	4	Ідоп = 40 А
Сумарна ємність вихідного фільтра	2000 мкФ	C19 + C20
Орієнтовна мінімальна ємність фільтра	200 мкФ	При $f = 50$ кГц і $\Delta U = 1$ В
Струм світлодіодної індикації	2,2 мА	R23 = 10 кОм
Потужність на R21 при струмі 3 А	1,35 Вт	R21 = 0,15 Ом

За результатами розрахунку встановлено, що основні елементи електричної принципової схеми мають достатній запас за напругою, струмом і потужністю. Вхідний діодний міст KBU1010 відповідає умовам роботи від мережі 220 В, силові MOSFET-транзистори 10N60 мають достатній запас за максимальною напругою, а вихідна діодна збірка MBR40100СТ забезпечує потрібний струм для навантаження 10 А. Вихідний LC-фільтр має достатню

емність для згладжування пульсацій, а світлодіодна індикація практично не впливає на навантажувальну здатність блока живлення.

Отже, виконані розрахунки підтверджують відповідність основних вузлів електричної принципової схеми заданим параметрам блока живлення. Пристрій може забезпечувати вихідну напругу 24 В при струмі до 10 А і потужності 240 Вт. Отримані результати також є основою для подальшого вибору елементної бази, компоновання друкованого вузла та розрахунку друкованого монтажу.

#### 1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

##### 1.4.1 Опис принципу роботи блока живлення

Блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт працює за принципом імпульсного перетворення електричної енергії. Його основне призначення полягає у перетворенні змінної мережевої напруги 220 В у стабілізовану постійну напругу 24 В при струмі навантаження до 10 А. Такий спосіб перетворення є доцільним для пристрою заданої потужності, оскільки дає змогу зменшити габарити силового трансформатора, підвищити ефективність роботи та забезпечити стабілізацію вихідної напруги.

На початковому етапі роботи мережева напруга 220 В подається на вхідний вузол блока живлення. У цій частині схеми розташовані елементи захисту та фільтрації: запобіжники, варистор, терморезистор, мережевий дросель і конденсатори. Запобіжники захищають пристрій у разі перевантаження або короткого замикання. Варистор обмежує короткочасні перенапруги в мережі, а терморезистор зменшує пусковий струм у момент увімкнення. Мережевий фільтр знижує рівень завад, які можуть надходити з мережі або створюватися самим імпульсним перетворювачем.

Після проходження вхідного вузла змінна напруга подається на діодний міст. У схемі блока живлення мережевий випрямляч перетворює змінну

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		30

напругу у випрямлену постійну напругу. Далі ця напруга згладжується високовольтними електролітичними конденсаторами. У результаті формується високовольтна шина, від якої живиться первинна силова частина імпульсного перетворювача.

Оскільки керувальна частина не може живитися безпосередньо від високовольтної шини, у схемі передбачено допоміжне джерело живлення. Воно формує стабілізовану напругу для роботи ШІМ-контролера SG3525 та допоміжних вузлів. До складу цього джерела входять допоміжний трансформатор, випрямляч, стабілізатор напруги та фільтрувальні конденсатори. Завдяки цьому керувальна частина отримує стабільне живлення, необхідне для формування імпульсів керування.

Основним елементом керування є мікросхема SG3525. Вона формує широтно-імпульсні сигнали, які задають режим роботи силових ключів. Принцип широтно-імпульсної модуляції полягає у зміні тривалості імпульсів керування. Якщо навантаження змінюється або вихідна напруга відхиляється від заданого значення, ШІМ-контролер змінює ширину імпульсів, щоб підтримувати напругу 24 В на потрібному рівні.

Керувальні сигнали з SG3525 надходять на драйверну частину. Вона потрібна для узгодження виходів мікросхеми з силовими MOSFET-транзисторами. У драйверному вузлі сигнали підсилюються та передаються на силові ключі у потрібній формі. Завдяки цьому транзистори відкриваються і закриваються у визначені моменти часу, забезпечуючи нормальну роботу імпульсного перетворювача.

Силова частина блока живлення побудована на MOSFET-транзисторах 10N60. Вони працюють у ключовому режимі, тобто періодично відкриваються і закриваються під дією керувальних імпульсів. При відкриванні транзисторів енергія передається у первинну обмотку імпульсного трансформатора. При закриванні транзисторів процес передавання енергії змінюється відповідно до

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		31

режиму роботи перетворювача. Такий принцип роботи дозволяє зменшити втрати на силових елементах порівняно з лінійними джерелами живлення.

Імпульсний трансформатор є одним із головних вузлів пристрою. Він передає енергію з первинної частини схеми у вторинну та одночасно забезпечує гальванічне розділення між мережею 220 В і вихідним колом 24 В. Завдяки роботі трансформатора вихідна частина електрично відокремлена від небезпечної первинної частини. Це підвищує безпеку пристрою та дозволяє отримати потрібний рівень вихідної напруги.

На вторинній стороні імпульсного трансформатора формується імпульсна напруга, яка ще не є придатною для безпосереднього живлення навантаження. Тому після трансформатора встановлено вихідний випрямляч. Він перетворює імпульсну напругу вторинної обмотки у постійну. Для цього використовується силова діодна збірка, розрахована на роботу з великим вихідним струмом.

Після випрямляча напруга надходить на вихідний фільтр. До його складу входять дросель і електролітичні конденсатори. Дросель згладжує зміну струму, а конденсатори зменшують пульсації напруги. У результаті на виході формується стабілізована постійна напруга 24 В. Оскільки номінальний вихідний струм становить 10 А, вихідне коло повинно мати достатню струмову навантажувальну здатність, а силові провідники друкованої плати мають виконуватися збільшеної ширини або у вигляді мідних полігонів.

Для підтримання стабільної вихідної напруги у схемі використовується вузол зворотного зв'язку. Він контролює рівень напруги на виході блока живлення та передає відповідний сигнал до керувальної частини. Оскільки первинна і вторинна частини повинні бути гальванічно розділені, сигнал передається через оптопару РС817. Це дозволяє впливати на роботу ШІМ-контролера без прямого електричного з'єднання між вихідною частиною та високовольтною первинною частиною.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		32

Якщо вихідна напруга починає зменшуватися через збільшення навантаження, вузол зворотного зв'язку передає сигнал на ШІМ-контролер, і той збільшує тривалість керувальних імпульсів. У результаті через імпульсний трансформатор передається більше енергії, і вихідна напруга повертається до заданого рівня. Якщо ж вихідна напруга зростає, тривалість імпульсів зменшується, що обмежує передавання енергії у вторинну частину.

Для контролю наявності вихідної напруги у схемі передбачено світлодіодну індикацію. Світлодіод вмикається при появі напруги на виході блока живлення. Це спрощує перевірку роботи пристрою під час налагодження та дозволяє швидко визначити, чи присутня вихідна напруга.

Загальний принцип роботи блока живлення можна описати так: мережева напруга 220 В проходить через вхідний захист і фільтр, випрямляється та згладжується у первинній частині. Допоміжне джерело живить ШІМ-контролер SG3525, який формує імпульси керування для драйверної частини. Драйвер керує MOSFET-транзисторами 10N60, які передають енергію через імпульсний трансформатор. У вторинній частині напруга випрямляється, фільтрується і подається на вихід 24 В / 10 А. Вузол зворотного зв'язку контролює вихідну напругу та коригує роботу ШІМ-контролера.

Отже, принцип роботи блока живлення базується на імпульсному перетворенні енергії з використанням ШІМ-керування, силових MOSFET-транзисторів, імпульсного трансформатора, вихідного випрямляча, фільтра та зворотного зв'язку. Така побудова забезпечує перетворення мережевої напруги 220 В у стабілізовану постійну напругу 24 В і відповідає вимогам до блока живлення потужністю 240 Вт для інформаційних технологій.

#### 1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		33

Під час розробки блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт елементна база вибиралась з урахуванням призначення пристрою, вхідної напруги 220 В, вихідної напруги 24 В, струму навантаження до 10 А, імпульсного принципу роботи та конструктивного виконання друкованого вузла. Оскільки пристрій належить до силової електроніки, для нього важливими є не тільки електричні параметри компонентів, але й їх тепловий режим, допустимі струми, напруги, надійність і зручність монтажу.

У даному блоці живлення використовується вивідний монтаж елементів. Це означає, що компоненти встановлюються у монтажні отвори друкованої плати. Такий варіант є зручним для навчального проєкту, оскільки елементи легко ідентифікувати на платі, простіше виконувати ручне складання, перевірку правильності монтажу та заміну компонентів у разі потреби. Крім того, для силового блока живлення багато елементів природно мають вивідне виконання: трансформатори, дроселі, запобіжники, електролітичні конденсатори, силові транзистори, діодні збірки та роз'єми.

Основним елементом керувальної частини є ШІМ-контролер SG3525. Його вибір обґрунтований тим, що ця мікросхема призначена для побудови імпульсних джерел живлення і формує два керувальні сигнали для роботи силових ключів. SG3525 дозволяє реалізувати широтно-імпульсне керування, змінювати тривалість імпульсів залежно від сигналу зворотного зв'язку та підтримувати стабільну вихідну напругу. Для блока живлення 24 В / 10 А така мікросхема є доцільною, оскільки вона забезпечує апаратне керування перетворювачем без використання мікроконтролера.

Для живлення керувальної частини використовується стабілізатор напруги LM7812. Він формує стабілізовану напругу 12 В, необхідну для роботи ШІМ-контролера та допоміжних вузлів. Вибір LM7812 є зручним через просту схему включення, наявність стандартного корпусу з виводами та достатню поширеність такого стабілізатора. У схемі він працює разом із

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		34

випрямлячем і фільтрувальними конденсаторами допоміжного джерела живлення.

Для передавання сигналів зворотного зв'язку застосовуються оптопари РС817. Їх використання є важливим, оскільки в імпульсному блоці живлення потрібно зберігати гальванічне розділення між первинною високовольтною частиною та вторинним вихідним колом. Оптопара дозволяє передати інформацію про стан вихідної напруги до керувальної частини без прямого електричного з'єднання. Це підвищує безпеку пристрою та забезпечує правильну роботу стабілізації.

Силова частина блока живлення побудована на MOSFET-транзисторах 10N60. Вони вибрані через здатність працювати з високою напругою у первинній частині імпульсного перетворювача. Транзистори працюють у ключовому режимі, періодично відкриваючись і закриваючись під дією сигналів керування. Для такого режиму MOSFET-транзистори є доцільними, оскільки мають менші втрати у відкритому стані порівняно з багатьма іншими типами силових ключів і добре підходять для імпульсних джерел живлення.

У драйверній частині використовуються транзистори SS8050 та SS8550. Вони застосовуються для формування і підсилення керувальних сигналів, які надходять від ШІМ-контролера до силової частини. Такі транзистори мають вивідне виконання, невеликі габарити та достатні параметри для роботи у допоміжних керувальних колах. Їх використання дозволяє узгодити виходи SG3525 із наступними елементами драйвера.

Для випрямлення напруги у різних частинах схеми застосовуються діодні мости та діодні збірки. У допоміжному джерелі живлення використовується діодний міст DB107, який перетворює змінну напругу з допоміжного трансформатора у постійну. У мережевій частині використовується діодний міст KBU1010, розрахований на більші струми та напруги. Його вибір пов'язаний з тим, що він працює безпосередньо після

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		35

вхідного мережевого кола і формує високовольтну шину живлення силового перетворювача.

У вихідній частині схеми використовується діодна збірка MBR40100CT. Вона призначена для випрямлення імпульсної напруги з вторинної обмотки силового трансформатора. Оскільки вихідний струм блока живлення становить до 10 А, елемент вихідного випрямляча повинен мати достатній запас за струмом і нормальні умови тепловідведення. Діодна збірка у корпусі з виводами також зручна для встановлення на друковану плату та за потреби може працювати з додатковим радіатором.

У схемі застосовуються діоди SS14 та стабілітрони на 24 В. Малопотужні діоди використовуються у допоміжних і керувальних колах, де потрібно забезпечити правильний напрям протікання струму або захистити елементи від зворотних напруг. Стабілітрони використовуються для обмеження напруги та формування потрібних режимів у вузлах керування і зворотного зв'язку. Такі елементи мають просту конструкцію, невеликі габарити та зручні для вивідного монтажу.

До складу блока живлення входять три трансформатори. Допоміжний трансформатор використовується для живлення керувальної частини. Імпульсний трансформатор керування забезпечує передавання керувальних сигналів у драйверній частині. Силовий імпульсний трансформатор передає енергію з первинної частини у вторинну та забезпечує гальванічне розділення між мережею 220 В і виходом 24 В. Трансформатори є одними з найбільших елементів плати, тому при їх виборі та розміщенні потрібно враховувати не тільки електричні параметри, але й габарити, масу та механічне кріплення.

Для фільтрації та зменшення пульсацій використовуються дроселі. Вхідний дросель входить до складу мережевого фільтра і зменшує рівень електромагнітних завад. Вихідний дросель працює разом з електролітичними конденсаторами та згладжує струм у вихідному колі. Оскільки через вихідний дросель проходить значний струм, він повинен мати достатній переріз

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		36

провідника, не перегріватися під час роботи та бути надійно закріпленим на платі.

Електролітичні конденсатори використовуються у високовольтній частині, допоміжному джерелі живлення та вихідному фільтрі. У вхідній частині вони згладжують напругу після мережевого випрямляча, у допоміжному джерелі зменшують пульсації живлення керувальної частини, а на виході забезпечують стабільність напруги 24 В. При виборі конденсаторів враховуються робоча напруга, ємність, допустимий пульсаційний струм і габаритні розміри корпусу.

Керамічні конденсатори застосовуються переважно у колах фільтрації високочастотних завад, обв'язці мікросхем і допоміжних вузлах. Вони мають невелику ємність, але добре працюють на високих частотах. У схемі імпульсного блока живлення такі конденсатори потрібні для зменшення короткочасних завад, які виникають під час перемикання силових ключів.

Резистори у схемі виконують різні функції: задають режими роботи мікросхем і транзисторів, формують кола зворотного зв'язку, обмежують струм через світлодіод індикації, забезпечують розряд конденсаторів і беруть участь у захисних колах. У схемі використовуються резистори різної потужності. Малопотужні резистори застосовуються у керувальних і сигнальних колах, а резистори підвищеної потужності використовуються там, де можливе більше тепловиділення.

У вхідному колі використовується варистор, який захищає схему від імпульсних перенапруг. У разі різкого підвищення напруги в мережі його опір зменшується, і він обмежує небезпечний імпульс. Також у схемі застосовується NTC-терморезистор, який зменшує пусковий струм у момент увімкнення. Це особливо важливо для блока живлення з електролітичними конденсаторами великої ємності, оскільки при першому підключенні вони можуть створювати значний короткочасний струм заряджання.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		37

Запобіжники застосовуються для захисту пристрою від аварійних режимів. Вони розривають електричне коло при перевищенні допустимого струму, що зменшує ризик пошкодження елементів і перегрівання друкованої плати. Для силового блока живлення наявність запобіжників є обов'язковим конструктивним рішенням, оскільки пристрій працює від мережі 220 В і має значну вихідну потужність.

Для підключення зовнішніх кіл використовуються роз'єми та вихідні контакти. Вони забезпечують підведення мережевої напруги до пристрою, підключення вихідного навантаження та зручність монтажу блока живлення у складі іншого обладнання. Роз'єми повинні мати достатню механічну міцність і відповідати струмовому навантаженню відповідних кіл.

Світлодіодна індикація використовується для контролю наявності вихідної напруги. Світлодіод разом з обмежувальним резистором вмикається у вихідному колі та сигналізує про роботу блока живлення. Це просте, але корисне рішення, яке полегшує перевірку пристрою під час налагодження та експлуатації.

Уся елементна база вибрана так, щоб забезпечити роботу блока живлення від мережі 220 В та отримання стабілізованої вихідної напруги 24 В при струмі до 10 А. Для керувальних кіл використано спеціалізовану мікросхему SG3525, для силової частини - MOSFET-транзистори 10N60, для гальванічного розділення і зворотного зв'язку - трансформатори та оптопари, а для вихідного кола - силову діодну збірку, дросель і конденсатори фільтра.

Отже, вибрана елементна база відповідає призначенню блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт. Вона забезпечує імпульсний принцип перетворення, стабілізацію вихідної напруги, гальванічне розділення первинної та вторинної частин, захист від аварійних режимів і можливість виконання пристрою у вигляді друкованого вузла з вивідним монтажем. Такий склад компонентів є доцільним для подальшого компонування плати,

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		38

розрахунку друкованого монтажу та оформлення конструкторської документації.

## 1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу

### 1.5.1 Компоновка друкованого вузла

Компоновка друкованого вузла є одним із важливих етапів розробки блока живлення, оскільки від розміщення компонентів на платі залежить зручність трасування, якість монтажу, тепловий режим, електробезпека та ремонтпридатність пристрою. Для блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт це має особливе значення, бо на платі одночасно розміщуються низьковольтні кола керування, високовольтна первинна частина та вихідні силові кола зі струмом до 10 А.

У проєктованому пристрої використовується двостороння друкована плата прямокутної форми. Габаритні розміри плати становлять  $217,5 \times 120$  мм. Такий розмір вибрано з урахуванням кількості елементів, їхніх корпусів, необхідності розділення функціональних зон та забезпечення достатніх електричних зазорів між первинною і вторинною частинами. Зменшення розмірів плати в цьому випадку було б небажаним, оскільки пристрій має мережеву частину, силовий перетворювач, трансформатори, дроселі, запобіжники та електролітичні конденсатори великих розмірів.

Друкований вузол виконаний з використанням вивідного монтажу. Усі електрорадіоелементи встановлюються з одного боку друкованої плати через монтажні отвори. Таке рішення спрощує складання, пайку, візуальний контроль і подальшу заміну елементів у разі потреби. Воно також є зручним для силового пристрою, оскільки більшість використаних компонентів мають вивідне виконання: трансформатори, дроселі, запобіжники, силові транзистори, діодні збірки, електролітичні конденсатори та роз'єми.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		39

Провідниковий рисунок плати виконаний на двох шарах. Верхній і нижній шари використовуються для прокладання електричних з'єднань між елементами схеми. Зв'язок між шарами забезпечується металізованими отворами. Двостороннє виконання плати є доцільним, оскільки схема блока живлення має значну кількість з'єднань між керувальними, допоміжними та силовими вузлами. У разі використання односторонньої плати довелося б застосовувати більше перемичок, що ускладнило б монтаж і погіршило б надійність конструкції.

Компонування елементів виконувалося з урахуванням функціонального поділу схеми. Вхідна частина блока живлення розміщується в одній зоні плати. До неї належать вхідні контакти, запобіжники, варистор, NTC-терморезистор, мережевий дросель, конденсатори фільтра та мережевий випрямляч. Таке групування дозволяє скоротити довжину провідників, пов'язаних з мережею 220 В, і не прокладати високовольтні кола через усю плату.

Високовольтна частина після мережевого випрямляча розташовується поблизу силового перетворювача. У цій зоні розміщуються елементи, які працюють з випрямленою мережевою напругою: діодний міст, електролітичні конденсатори, силові транзистори та первинна частина імпульсного трансформатора. Для цих ділянок потрібно витримувати збільшені зазори між провідниками та не допускати їх наближення до низьковольтних кіл керування без потреби.

Керувальна частина плати розміщується окремо від силових високовольтних ділянок. До неї входять ШІМ-контролер SG3525, стабілізатор LM7812, оптопари PC817, драйверні транзистори SS8050 і SS8550, малопотужні діоди, резистори та конденсатори обв'язки. Розташування цих елементів у центральній частині плати дає змогу скоротити довжину сигнальних провідників і зменшити вплив силових імпульсних струмів на роботу вузла керування.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		40

Допоміжне джерело живлення розміщується так, щоб його з'єднання з керувальною частиною були короткими. До цього вузла належать допоміжний трансформатор, діодний міст DB107, стабілізатор LM7812 та фільтрувальні конденсатори. Таке компонування дозволяє забезпечити стабільне живлення ШІМ-контролера та зменшити можливість появи додаткових завад у колах керування.

Силовий імпульсний перетворювач розташовується з урахуванням теплового режиму та довжини струмових контурів. MOSFET-транзистори 10N60, імпульсний трансформатор і пов'язані з ними елементи повинні розміщуватися так, щоб силові провідники були максимально короткими і мали достатню ширину. Це зменшує втрати потужності, нагрівання провідників і рівень електромагнітних завад.

Вихідна частина блока живлення розміщується ближче до вихідних контактів. До неї належать діодна збірка MBR40100CT, вихідний дросель, електролітичні конденсатори фільтра, світлодіод індикації та роз'єми для підключення навантаження. Оскільки вихідний струм становить до 10 А, провідники цієї частини повинні мати збільшену ширину або виконуватися у вигляді мідних полігонів. Таке рішення зменшує падіння напруги та нагрівання друкованого монтажу.

Під час компонування також враховано розташування елементів, які мають значну висоту або масу. До них належать трансформатори, дроселі, електролітичні конденсатори, запобіжники та силові напівпровідникові прилади. Такі компоненти розміщуються з достатніми проміжками між корпусами, щоб забезпечити зручність встановлення, пайки та подальшого контролю. Крім того, їх потрібно розташовувати так, щоб вони не створювали зайве механічне навантаження на окремі ділянки плати.

Особливу увагу приділено розділенню первинної та вторинної частин блока живлення. Первинна частина пов'язана з мережею 220 В і високовольтною шиною, тому вона повинна бути відокремлена від вторинної

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		41

низьковольтної частини. Між цими зонами потрібно витримувати збільшені електричні зазори. Гальванічне розділення забезпечується імпульсним трансформатором та оптопарами у колі зворотного зв'язку.

Роз'єми та контакти для підключення зовнішніх кіл доцільно розташовувати біля країв друкованої плати. Це полегшує підключення мережевого входу, виходу 24 В та навантаження. Таке розташування також спрощує встановлення друкованого вузла у корпус або на монтажну основу, оскільки провідники не потрібно прокладати через центральну частину плати.

Для механічного закріплення друкованої плати передбачаються кріпильні отвори, розміщені по периметру плати. Їхнє розташування повинно забезпечувати рівномірну фіксацію плати та зменшувати її прогин під дією маси трансформаторів, дроселів і конденсаторів. Навколо кріпильних отворів необхідно залишати вільну зону без провідників і контактних площадок, щоб не пошкодити провідниковий рисунок під час встановлення плати.

Під час розміщення компонентів також враховано зручність подальшого контролю та ремонту. Елементи з однаковим функціональним призначенням згруповані біля відповідних вузлів схеми. Полярні компоненти, зокрема електролітичні конденсатори, діоди, стабілітрони та світлодіод, повинні мати зрозуміле маркування на платі. Це зменшує ймовірність помилки під час складання друкованого вузла.

Отже, компоновка друкованого вузла блока живлення виконана з урахуванням функціонального поділу схеми, струмових навантажень, електробезпеки, теплового режиму та зручності монтажу. Прийнята конструкція з двосторонньою платою розміром  $217,5 \times 120$  мм, одностороннім розміщенням вивідних компонентів і двостороннім провідниковим рисунком є доцільною для блока живлення потужністю 240 Вт. Вона забезпечує можливість розміщення всіх основних вузлів, раціональне трасування силових і сигнальних кіл та подальше оформлення конструкторської документації.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		42

### 1.5.2 Розрахунок надійності проектованого виробу

Надійність є важливою характеристикою блока живлення, оскільки від його безвідмовної роботи залежить стабільність живлення підключеного обладнання. Для пристрою з вихідною потужністю 240 Вт це особливо актуально, бо у схемі одночасно працюють мережеві, високовольтні, керувальні та вихідні силові кола.

Розрахунок надійності виконується за елементною базою пристрою. До складу блока живлення входять мікросхеми, оптопари, транзистори, діоди, резистори, конденсатори, трансформатори, дроселі, запобіжники, роз'єми, друкована плата та паяні з'єднання. У розрахунку приймаємо, що відмова будь-якого основного елемента може призвести до порушення роботи пристрою, тому елементи розглядаються як послідовна надійнісна структура.

Для орієнтовного розрахунку використовується експоненціальний закон надійності, при якому інтенсивність відмов елементів вважається сталою у часі. Такий підхід часто застосовується для попередньої оцінки надійності електронних пристроїв на етапі проектування. Сумарна інтенсивність відмов пристрою визначається за формулою:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \lambda_i, \quad (1.14)$$

де  $N_i$  — кількість елементів одного типу;

$\lambda_i$  — інтенсивність відмов одного елемента,  $10^{-6}$  1/год;

$\lambda_{\Sigma}$  — сумарна інтенсивність відмов пристрою.

Для розрахунку елементи згруповано за типами. Значення інтенсивності відмов прийняті як орієнтовні довідкові значення для попередньої оцінки надійності. Результати розрахунку наведено в табл. 1.5.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

Таблиця 1.5 – Розрахунок сумарної інтенсивності відмов

Група елементів	Кількість	Інтенсивність відмов одного елемента	Ni·λi
Мікросхеми SG3525, LM7812	2	2,00	4,00
Оптопари PC817	2	1,50	3,00
Малопотужні транзистори SS8050, SS8550	2	0,70	1,40
Силові MOSFET-транзистори 10N60	2	1,80	3,60
Діоди, стабілітрони, діодні мости та діодна збірка	8	0,50	4,00
Резистори, включно з NTC-терморезистором	24	0,12	2,88
Конденсатори керамічні та електролітичні	22	0,35	7,70
Трансформатори TV1-TV3	3	1,20	3,60
Дроселі L1, L2	2	0,80	1,60
Запобіжники FU1-FU3	3	0,30	0,90
Роз'єми та вихідні контакти	5	3,00	15,00
Світлодіод індикації	1	0,50	0,50
Друкована плата	1	1,00	1,00
Паяні з'єднання	216	0,05	10,80
Разом	–	–	59,98

Отже, сумарна інтенсивність відмов проектованого пристрою становить:

$$\lambda_{\Sigma} = 59,98 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год,}$$

Середнє напрацювання до відмови визначається за формулою:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{59,98 \cdot 10^{-6}} = 16672 \text{ год,} \quad (1.15)$$

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		44

Отже, середнє напрацювання до відмови проєктованого блока живлення становить приблизно 16672 год. Отримане значення є орієнтовним, оскільки фактична надійність залежить від якості елементів, умов охолодження, режиму навантаження, якості паяння та дотримання технології виготовлення друкованого вузла.

Ймовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу визначається за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda \Sigma \cdot t} \quad (1.16)$$

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

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

$t$  - час роботи, год.

Для часу роботи  $t = 1000$  год:

$$P(1000) = e^{(-59,98 \cdot 10^{-6} \cdot 1000)} = 0,9418$$

Для часу роботи  $t = 5000$  год:

$$P(5000) = e^{(-59,98 \cdot 10^{-6} \cdot 5000)} = 0,7409$$

Для часу роботи  $t = 10000$  год:

$$P(10000) = e^{(-59,98 \cdot 10^{-6} \cdot 10000)} = 0,5489$$

З отриманих результатів видно, що ймовірність безвідмовної роботи зменшується зі збільшенням часу експлуатації. Для часу 1000 год вона становить приблизно 0,9418, тобто пристрій має достатньо високу ймовірність

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		45

нормальної роботи на початковому інтервалі експлуатації. При збільшенні часу до 10000 год значення  $P(t)$  зменшується до 0,5489, що є природним для електронного виробу з великою кількістю елементів та паяних з'єднань.

Найбільший внесок у сумарну інтенсивність відмов мають роз'єми, паяні з'єднання, конденсатори та силові елементи. Роз'єми під час експлуатації можуть зазнавати механічних навантажень при підключенні та відключенні проводів. Паяні з'єднання є критичними для плати з вивідним монтажем, оскільки якість пайки безпосередньо впливає на стабільність контакту. Електролітичні конденсатори працюють у режимах з пульсаціями струму та нагріванням, тому їх ресурс значною мірою залежить від температури всередині пристрою.

Для підвищення надійності блока живлення потрібно забезпечити правильний тепловий режим силових елементів, якісне паяння, надійне закріплення трансформаторів і дроселів, використання конденсаторів із достатнім запасом за напругою та температурою, а також правильне розведення силових провідників на друкованій платі. Особливо важливо контролювати ділянки вихідного кола 24 В / 10 А, оскільки через них проходить найбільший струм.

Додатково на надійність впливає дотримання електричних зазорів між первинною та вторинною частинами плати. Якщо зазори будуть недостатніми, це може призвести не тільки до відмови виробу, а й до небезпечної ситуації під час експлуатації. Тому при виготовленні плати потрібно контролювати якість травлення, відсутність залишків припою, правильність встановлення полярних компонентів і цілісність захисного покриття.

Отже, розрахунок показав, що середнє напрацювання до відмови проєктованого блока живлення становить приблизно 16672 год. Отримане значення є достатнім для пристрою, призначеного для живлення електронного обладнання в нормальних умовах експлуатації. Найбільш важливими заходами підвищення надійності є якісний монтаж, правильне охолодження

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

силових елементів, застосування елементів із запасом за струмом і напругою та контроль друкованої плати після виготовлення.

### 1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу

Розрахунок друкованого монтажу виконується для визначення основних параметрів друкованої плати, які впливають на якість монтажу, надійність роботи пристрою та технологічність виготовлення. Для блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт важливо правильно вибрати діаметри монтажних отворів, розміри контактних площадок, ширину друкованих провідників та зазори між струмопровідними ділянками. Це пов'язано з тим, що на платі одночасно розміщуються низьковольтні кола керування, високовольтна первинна частина та вихідні силові кола зі струмом до 10 А.

Проектований блок живлення виконаний на двосторонній друкованій платі з вивідним монтажем елементів. Усі компоненти встановлюються з одного боку плати, а провідниковий рисунок формується на двох шарах. Такий варіант є доцільним для даного пристрою, оскільки схема містить значну кількість вивідних компонентів різних типорозмірів. До них належать трансформатори, дроселі, запобіжники, електролітичні конденсатори, силові транзистори, діодні збірки, мікросхеми, оптопари, резистори, конденсатори та роз'єми.

Матеріалом основи друкованої плати прийнято фольгований склотекстоліт FR-4. Товщина плати становить 1,5 мм, а товщина мідної фольги - 35 мкм. Такі параметри є стандартними для двосторонніх плат з вивідним монтажем і забезпечують достатню механічну міцність, електроізоляційні властивості та стійкість до нагрівання під час паяння. Для блока живлення це особливо важливо, оскільки на платі встановлюються компоненти з помітною масою, зокрема трансформатори, дроселі та електролітичні конденсатори.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		47

Друкована плата належить до 3-го класу точності. Цей клас є достатнім для пристрою з вивідними елементами та середньою щільністю монтажу. У конструкції не застосовуються корпуси з дуже малим кроком виводів або складні багат шарові рішення, тому використання вищого класу точності не є необхідним. Водночас 3-й клас дозволяє забезпечити потрібні зазори між провідниками, нормальні розміри контактних площадок і технологічний запас під час виготовлення плати.

Для встановлення компонентів на платі використовуються металізовані монтажні отвори кількох типорозмірів. Найменші отвори мають діаметр 0,8 мм, а діаметр відповідної контактної площадки становить 1,6 мм. Кількість таких отворів на платі - 116. Вони застосовуються переважно для малопотужних вивідних елементів: резисторів, малих діодів, стабілітронів, мікросхем у DIP-корпусах, оптопар, малопотужних транзисторів та інших елементів з невеликим діаметром виводів.

Друга група отворів має діаметр 1,0 мм. Для них передбачено контактні площадки діаметром 2,2 мм, а кількість таких отворів становить 53. Такі отвори використовуються для елементів із дещо більшими виводами, зокрема електролітичних конденсаторів середнього розміру, варистора, NTC-терморезистора та частини вивідних компонентів, які потребують більшого отвору для зручного монтажу.

Третя група отворів має діаметр 1,5 мм і контактну площадку діаметром 3,0 мм. Їх кількість становить 18. Такі отвори призначені для масивніших вивідних елементів, які мають більший діаметр виводів або створюють підвищене механічне навантаження на плату. До цієї групи можна віднести трансформатори, дроселі, запобіжники та окремі силові елементи.

Найбільші монтажні отвори мають діаметр 2,0 мм. Для них прийнято контактні площадки діаметром 3,4 мм, а кількість таких отворів становить 29. Вони застосовуються для силових клем, вихідних контактів, масивних виводів трансформаторів, дроселів або інших компонентів, через які можуть

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		48

проходити значні струми. Збільшений розмір контактної площадки у цьому випадку потрібний для надійного паяння та механічної міцності з'єднання.

Усі монтажні отвори виконуються з металізацією. Це важливо для двосторонньої друкованої плати, оскільки металізовані отвори забезпечують електричний зв'язок між верхнім і нижнім провідниковими шарами. Крім того, металізація підвищує надійність паяного з'єднання і дає змогу краще використовувати обидві сторони плати під час трасування. Загальна кількість металізованих отворів становить 216 штук, що відповідає використанню вивідного монтажу та значній кількості компонентів у схемі блока живлення.

Розміри контактних площадок вибрані з урахуванням діаметрів отворів і необхідності залишити достатній мідний поясок навколо отвору. Для отворів 0,8 мм прийнята площадка 1,6 мм, для отворів 1,0 мм - 2,2 мм, для отворів 1,5 мм - 3,0 мм, а для отворів 2,0 мм - 3,4 мм. Такі розміри забезпечують нормальні умови паяння вивідних елементів і зменшують ризик відриву контактної площадки під час монтажу або ремонту.

Оскільки блок живлення має вихідну напругу 24 В і номінальний струм до 10 А, особливу увагу потрібно приділити ширині друкованих провідників. Для сигнальних кіл ШІМ-контролера SG3525, оптопар PC817, драйверних транзисторів, малопотужних діодів та резистивної обв'язки струми є невеликими. Тому для таких ділянок приймається ширина провідників 0,5 мм. Це значення є достатнім для низькопотужних кіл і одночасно зручним для трасування плати 3-го класу точності.

Для допоміжних кіл живлення, які забезпечують роботу ШІМ-контролера, стабілізатора LM7812 та драйверної частини, приймається ширина провідників 0,8-1,0 мм. Таке рішення дає певний запас за струмом і зменшує падіння напруги у колах живлення керувальної частини. Це важливо, оскільки нестабільне живлення ШІМ-контролера може впливати на роботу всього імпульсного перетворювача.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		49

Вхідні мережеві кола, пов'язані з підключенням до мережі 220 В, запобіжниками, варистором, мережевим фільтром і діодним мостом, виконуються ширшими провідниками. Для цієї частини приймається ширина не менше 1,5 мм. Крім струмового навантаження, у цій зоні важливим є дотримання збільшених електричних зазорів, оскільки вона працює з мережевою напругою.

Первинна силова частина імпульсного перетворювача працює з імпульсними струмами. До неї належать силові MOSFET-транзистори, первинна обмотка імпульсного трансформатора та пов'язані з ними елементи. Для цих ділянок приймається ширина провідників 2,0-2,5 мм. Збільшення ширини зменшує нагрівання провідників, втрати потужності та вплив паразитних опорів у силовій частині.

Найбільше струмове навантаження має вихідне коло 24 В. Оскільки номінальний вихідний струм становить 10 А, для цієї частини приймається ширина провідників не менше 6 мм або використання мідних полігонів. Такий підхід дозволяє знизити густину струму в мідному шарі, зменшити падіння напруги та покращити тепловий режим плати. Для силового виходу доцільно використовувати широкі ділянки міді, а не вузькі окремі доріжки.

Мінімальні зазори між друкованими провідниками вибираються залежно від напруги між сусідніми ділянками та класу точності плати. Для низьковольтних сигнальних кіл приймається зазор 0,45 мм. Для кіл живлення 12 В і 24 В доцільно використовувати зазори 0,6-1,0 мм. У вхідній мережевій частині, де присутня напруга 220 В, а також у високовольтній частині після випрямляча, приймаються збільшені зазори 2,0-3,0 мм.

Окрему увагу потрібно приділити відстані між первинною та вторинною частинами блока живлення. Первинна частина пов'язана з мережею 220 В і випрямленою високою напругою, а вторинна формує вихід 24 В. Між цими частинами необхідно витримувати зазор не менше 4,0-6,0 мм. Таке розділення

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		50

підвищує електробезпеку пристрою і зменшує ризик пробою або випадкового перенесення небезпечної напруги на вихідну частину.

Відстань від краю друкованої плати до струмопровідних елементів приймається не менше 1,5-2,0 мм. Такий відступ потрібний для нормальної механічної обробки контуру плати, зменшення ризику пошкодження провідників під час виготовлення та безпечного встановлення плати в корпус або на монтажну основу.

Таким чином, для проєктованої друкованої плати прийнято чотири основні типорозміри металізованих отворів: 0,8 мм, 1,0 мм, 1,5 мм і 2,0 мм. Відповідні контактні площадки мають діаметри 1,6 мм, 2,2 мм, 3,0 мм і 3,4 мм. Усі отвори виконуються з металізацією, що забезпечує надійний зв'язок між шарами плати та якісне паяння вивідних компонентів.

Прийняті параметри друкованого монтажу відповідають конструкції блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт. Вони забезпечують встановлення всіх вивідних компонентів, нормальні умови пайки, достатню механічну міцність контактних площадок, правильне розділення високовольтних і низьковольтних частин та можливість прокладання силових провідників з необхідною струмовою навантажувальною здатністю.

Отже, у результаті розрахунку друкованого монтажу визначено основні параметри друкованої плати блока живлення. Вибрані діаметри монтажних отворів і контактних площадок відповідають фактичній таблиці отворів плати, а прийняті ширини провідників і зазори враховують особливості роботи силового імпульсного пристрою. Для вихідного кола зі струмом до 10 А передбачено широкі провідники або мідні полігони, а для первинної та вторинної частин - збільшені ізоляційні відстані. Такі рішення забезпечують технологічність виготовлення, надійність монтажу та безпечну роботу блока живлення.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		51

#### 1.5.4 Технологія виготовлення друкованої плати

Технологія виготовлення друкованої плати вибирається з урахуванням типу плати, матеріалу основи, кількості провідникових шарів, способу монтажу елементів і вимог до надійності виробу. Для блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт використовується двостороння друкована плата з вивідним монтажем компонентів. Усі елементи встановлюються з одного боку плати, а електричні з'єднання виконуються на двох провідникових шарах.

Як матеріал основи застосовується фольгований склотекстоліт FR-4 товщиною 1,5 мм з мідною фольгою 35 мкм. Такий матеріал має достатню механічну міцність і добрі електроізоляційні властивості. Для блока живлення це важливо, оскільки на платі розміщені масивні елементи: трансформатори, дроселі, електролітичні конденсатори, запобіжники, силові транзистори та вихідні контакти. Крім того, плата містить мережеві й високовольтні ділянки, тому матеріал повинен забезпечувати надійну ізоляцію між струмопровідними частинами.

Виготовлення друкованої плати починається з підготовки заготовки з фольгованого склотекстоліту. Заготовка вирізається відповідно до прийнятих габаритів плати 217,5x120 мм. Після цього поверхню мідної фольги очищують від пилу, жирових забруднень і оксидної плівки. Якість підготовки поверхні впливає на точність формування провідникового рисунка та подальшу якість травлення.

Наступним етапом є перенесення рисунка друкованих провідників на мідну поверхню плати. Оскільки плата є двосторонньою, рисунок формується на обох сторонах заготовки. При цьому важливо забезпечити точне суміщення верхнього і нижнього шарів. Неточність суміщення може призвести до зміщення монтажних отворів відносно контактних площадок, що ускладнить встановлення компонентів і погіршить якість паяння.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		52

Після формування захисного рисунка виконується травлення міді. Під час травлення з поверхні плати видаляються непотрібні ділянки мідної фольги, а на платі залишаються тільки провідники, контактні площадки та інші елементи топології. Для блока живлення цей етап є відповідальним, оскільки провідники мають різну ширину залежно від струмового навантаження. Особливо важливо зберегти цілісність широких силових провідників і полігонів у вихідному колі 24 В.

Після травлення плата промивається та висушується. Далі виконується свердління монтажних і перехідних отворів. У даній платі використовуються металізовані отвори діаметром 0,8 мм, 1,0 мм, 1,5 мм і 2,0 мм. Вони призначені для встановлення вивідних компонентів різних типорозмірів: малопотужних резисторів і діодів, мікросхем, оптопар, конденсаторів, трансформаторів, дроселів, запобіжників, силових елементів і вихідних контактів.

Оскільки плата є двосторонньою, важливим етапом є металізація отворів. Металізовані отвори забезпечують електричний зв'язок між верхнім і нижнім провідниковими шарами. Крім того, металізація підвищує міцність паяного з'єднання, що особливо важливо для елементів з механічним навантаженням. До таких елементів належать роз'єми, запобіжники, трансформатори, дроселі та вихідні контакти.

Після свердління і металізації виконується нанесення захисного покриття. На поверхню плати наноситься паяльна маска, яка захищає провідники від окиснення, забруднення та випадкових коротких замикань під час монтажу. Відкритими залишаються тільки контактні площадки, на які буде наноситися припій. Для силового блока живлення паяльна маска є важливою, оскільки на платі є ділянки з різними потенціалами та підвищеною напругою.

Після нанесення паяльної маски виконується маркування друкованої плати. На шовкографії позначають позиційні позначення компонентів, полярність діодів, електролітичних конденсаторів, світлодіода, напрям

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		53

встановлення мікросхем і розташування роз'ємів. Наявність якісного маркування спрощує складання друкованого вузла та зменшує ймовірність помилки під час монтажу.

Монтаж елементів виконується з одного боку друкованої плати. Спочатку встановлюють компоненти з меншою висотою корпусу, зокрема резистори, малопотужні діоди, стабілітрони та невеликі конденсатори. Після цього встановлюють мікросхему SG3525, оптопарі PC817, транзистори, стабілізатор LM7812, діодні мости, електролітичні конденсатори, запобіжники, дроселі, трансформатори, силові транзистори та роз'єми. Така послідовність полегшує складання та дозволяє уникнути механічного пошкодження вже встановлених елементів.

Під час встановлення полярних елементів необхідно контролювати їх орієнтацію. Це стосується електролітичних конденсаторів, діодів, стабілітронів, світлодіода, оптопар і мікросхем. Неправильне встановлення таких компонентів може призвести до відмови вузла після першого ввімкнення або до пошкодження елементів. Особливо уважно потрібно перевіряти елементи первинної високовольтної частини та вихідного кола з великим струмом.

Паяння виконується з боку виводів компонентів. При цьому потрібно забезпечити рівномірне прогрівання контактної площадки і виводу елемента, щоб отримати якісне паяне з'єднання. Надмірна кількість припою небажана, оскільки може утворити перемички між сусідніми контактами. Недостатня кількість припою також є небезпечною, бо призводить до нестабільного електричного контакту.

Особливу увагу під час паяння потрібно приділити силовим елементам і масивним виводам. Трансформатори, дроселі, запобіжники, діодна збірка, MOSFET-транзистори та вихідні контакти мають більші виводи і потребують якісного заповнення отворів припоєм. Погане паяння у цих місцях може

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		54

призвести до нагрівання контакту, втрат напруги або нестабільної роботи блока живлення під навантаженням.

Після завершення паяння виконується обрізання зайвої довжини виводів. Обрізані виводи не повинні залишатися на платі, оскільки вони можуть викликати коротке замикання між провідниками або контактними площадками. Далі плату очищують від залишків флюсу. Це потрібно для покращення зовнішнього вигляду, зменшення ризику струмів витoku та підвищення надійності друкованого вузла.

Після очищення виконується візуальний контроль монтажу. Перевіряють правильність встановлення всіх елементів, відповідність позиційних позначень, полярність компонентів, якість паяних з'єднань, відсутність перемичок припою та механічних пошкоджень плати. Особливу увагу приділяють високовольтній частині, вузлу ШІМ-контролера, силовим транзисторам, вихідному випрямлячу та вихідному фільтру.

Наступним етапом є електричний контроль плати. Перед першим ввімкненням необхідно перевірити відсутність короткого замикання між основними шинами живлення, правильність підключення вхідних і вихідних контактів, цілісність запобіжників і відсутність випадкових з'єднань між первинною та вторинною частинами. Для блока живлення це особливо важливо, оскільки первинна частина працює з мережевою напругою 220 В.

Перший запуск друкованого вузла потрібно виконувати обережно, з контролем вхідного струму та вихідної напруги. На цьому етапі перевіряється робота допоміжного джерела живлення, наявність живлення ШІМ-контролера, правильність формування вихідної напруги 24 В і відсутність надмірного нагрівання силових елементів. Якщо виявлено перегрів, запах, нестабільну напругу або інші ознаки несправності, живлення потрібно вимкнути і повторно перевірити монтаж.

Після успішної перевірки без навантаження виконується контроль роботи блока живлення з навантаженням. Поступове збільшення

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		55

навантаження дозволяє оцінити стабільність вихідної напруги, нагрівання діодної збірки, дроселя, трансформатора, силових транзисторів і провідників вихідного кола. Оскільки номінальний вихідний струм становить 10 А, вихідна частина повинна мати достатню струмову навантажувальну здатність.

Завершальним етапом є підготовка друкованого вузла до встановлення в корпус або на монтажну основу. Плата закріплюється через кріпильні отвори, розташовані по периметру. Під час закріплення потрібно стежити, щоб металеві елементи кріплення не торкалися провідників і контактних площадок. Також необхідно забезпечити достатню відстань між платою та корпусом, особливо в зоні первинної високовольтної частини.

Отже, технологія виготовлення друкованої плати блока живлення включає підготовку заготовки, формування провідникового рисунка, травлення, свердління, металізацію отворів, нанесення паяльної маски, маркування, встановлення елементів, паяння та контроль якості. Прийнята технологія відповідає двосторонній платі з вивідним монтажем і дозволяє отримати друкований вузол, придатний для роботи у складі блока живлення потужністю 240 Вт. Особливу увагу під час виготовлення потрібно приділяти якості металізованих отворів, ширині силових провідників, розділенню первинної та вторинної частин і якості паяння силових елементів.

## 1.6 Висновок до розділу 1

У першому розділі було виконано основні етапи аналізу та розробки блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій. Проведено аналіз технічного завдання, визначено призначення пристрою, його основні параметри та вимоги до конструкції. Встановлено, що блок живлення повинен забезпечувати перетворення змінної мережевої напруги 220 В у стабілізовану постійну напругу 24 В при струмі навантаження до 10 А.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		56

Було розглянуто структурну схему блока живлення. У її складі виділено вхідний захист, фільтр і випрямляч, силовий імпульсний перетворювач, імпульсний трансформатор, вихідний випрямляч і фільтр, допоміжне джерело живлення, ШІМ-контролер SG3525 з драйвером та вузол зворотного зв'язку. Така структура дає змогу зрозуміти загальний принцип проходження енергії від мережевого входу до виходу 24 В, а також роботу керувальної частини та стабілізації вихідної напруги.

Проведено опис електричної принципової схеми пристрою. Розглянуто роботу вхідного мережевого вузла, високовольтного випрямляча, допоміжного джерела живлення, ШІМ-контролера SG3525, драйверної частини, силових MOSFET-транзисторів 10N60, імпульсного трансформатора, вихідного випрямляча, фільтра та кола зворотного зв'язку через оптопари PC817. Показано, що схема забезпечує імпульсне перетворення енергії, гальванічне розділення первинної і вторинної частин та стабілізацію вихідної напруги.

У розрахунковій частині було виконано розрахунок окремих вузлів електричної принципової схеми. Визначено основні параметри блока живлення, пов'язані з вихідною потужністю, вихідним струмом, вхідним струмом, коефіцієнтом трансформації та роботою силової частини. Отримані результати підтверджують, що вибрана схемотехнічна побудова відповідає заданим вимогам до вихідної напруги 24 В і потужності 240 Вт.

Також було розглянуто принцип роботи блока живлення. Показано, що мережева напруга після вхідного захисту, фільтрації та випрямлення подається на силову частину, де за допомогою MOSFET-транзисторів і ШІМ-керування відбувається імпульсне перетворення енергії. Після імпульсного трансформатора напруга випрямляється, згладжується вихідним фільтром і подається на навантаження. Вузол зворотного зв'язку контролює вихідну напругу та коригує роботу ШІМ-контролера.

Виконано вибір і обґрунтування елементної бази. Для реалізації блока живлення використано ШІМ-контролер SG3525, стабілізатор LM7812,

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		57

оптопари PC817, силові MOSFET-транзистори 10N60, драйверні транзистори SS8050 і SS8550, діодні мости DB107 та KBU1010, діодну збірку MBR40100CT, трансформатори, дроселі, запобіжники, варистор, терморезистор, резистори, конденсатори, світлодіод індикації та роз'єми. Вибрана елементна база відповідає імпульсному принципу роботи, вихідній потужності пристрою та прийнятому вивідному монтажу.

Розглянуто компоновку друкованого вузла. Для пристрою прийнято двосторонню друковану плату розміром 217,5x120 мм з одностороннім розміщенням вивідних компонентів. Провідниковий рисунок виконується на двох шарах, що дозволяє раціонально розвести силові та сигнальні кола. Під час компонування враховано розділення первинної і вторинної частин, розміщення масивних компонентів, тепловий режим силових елементів, зручність підключення роз'ємів і можливість подальшого обслуговування друкованого вузла.

Було виконано розрахунок надійності проєктованого виробу. Під час розрахунку враховано основні групи елементів, які входять до складу блока живлення: мікросхеми, транзистори, діоди, резистори, конденсатори, трансформатори, дроселі, запобіжники, роз'єми, друковану плату та паяні з'єднання. Розрахунок дав змогу оцінити очікувану надійність пристрою та визначити, що найбільший вплив на неї мають силові елементи, електролітичні конденсатори, роз'єми та якість паяних з'єднань.

У підрозділі розрахунку друкованого монтажу було визначено основні параметри плати. Для монтажу елементів прийнято металізовані отвори діаметром 0,8 мм, 1,0 мм, 1,5 мм і 2,0 мм з відповідними контактними площадками 1,6 мм, 2,2 мм, 3,0 мм і 3,4 мм. Усі отвори мають металізацію, що забезпечує електричний зв'язок між шарами плати та підвищує надійність паяння. Для вихідного кола зі струмом до 10 А прийнято широкі провідники або мідні полігони, а для первинної та вторинної частин передбачено збільшені електричні зазори.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		58

Окремо було розглянуто технологію виготовлення друкованої плати. Описано основні етапи виготовлення: підготовку заготовки з фольгованого склотекстоліту, формування провідникового рисунка, травлення, свердління, металізацію отворів, нанесення паяльної маски, маркування, встановлення компонентів, паяння, очищення та контроль якості. Прийнята технологія відповідає двосторонній платі з вивідним монтажем і забезпечує можливість виготовлення надійного друкованого вузла для силового імпульсного пристрою.

Отже, у першому розділі було сформовано технічну основу для подальшого проєктування блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт. Виконано аналіз технічного завдання, структурної та електричної принципової схем, розглянуто принцип роботи пристрою, обґрунтовано вибір елементної бази, описано компоновку друкованого вузла, виконано розрахунок надійності, визначено параметри друкованого монтажу та описано технологію виготовлення плати. Отримані результати є основою для подальшого створення друкованого вузла у середовищі Altium Designer та оформлення конструкторської документації.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		59

## 2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

### 2.1 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом

У ході розроблення, складання та налагодження блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт одним із основних небезпечних факторів є можливість ураження електричним струмом. Це пов'язано з тим, що пристрій працює від мережевої напруги 220 В змінного струму, а після випрямлення у первинній частині схеми формується підвищена постійна напруга. Крім того, у схемі використовуються електролітичні конденсатори великої ємності, які можуть певний час зберігати заряд навіть після вимкнення живлення. Тому під час перевірки такого блока живлення важливо не тільки дотримуватися правил електробезпеки, але й знати порядок надання домедичної допомоги у випадку електротравми.

Ураження електричним струмом може виникнути при випадковому дотику до відкритих струмопровідних частин, неправильному підключенні вимірювальних приладів, пошкодженні ізоляції або помилці під час налагодження плати. Для даного дипломного проєкту найбільш небезпечними є ділянки мережевого входу, запобіжників, вхідного фільтра, діодного моста, високовольтних конденсаторів, силових транзисторів і первинної обмотки імпульсного трансформатора. Вторинна частина блока живлення має вихідну напругу 24 В, але при струмі до 10 А вона також потребує обережності, оскільки коротке замикання може викликати нагрівання провідників, пошкодження елементів або появу небезпечної ситуації.

Першою дією при ураженні людини електричним струмом є припинення дії струму на потерпілого. Для цього потрібно вимкнути живлення установки штатним вимикачем, автоматом або витягнути вилку з розетки, якщо це можна зробити без ризику для того, хто надає допомогу. Не можна торкатися потерпілого голими руками, поки він може перебувати під напругою. Якщо швидко вимкнути живлення неможливо, потерпілого відділяють від

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		60

струмопровідної частини за допомогою сухого ізолювального предмета. Такі дії потрібні для того, щоб людина, яка надає допомогу, сама не потрапила під дію струму.

Після припинення дії струму необхідно оцінити стан потерпілого та викликати екстрену медичну допомогу за номером 103. При цьому потрібно повідомити, що сталося ураження електричним струмом, назвати місце події та стан потерпілого. Якщо людина при свідомості, її потрібно розмістити у безпечному положенні, забезпечити доступ свіжого повітря, не дозволяти різко вставати та контролювати стан до прибуття медиків. Навіть якщо зовні стан здається задовільним, після ураження електричним струмом потрібен медичний огляд, оскільки наслідки можуть проявитися не одразу.

Якщо потерпілий не реагує на звертання, потрібно перевірити наявність нормального дихання та ознак життя. За їх відсутності необхідно розпочати серцево-легеневу реанімацію відповідно до чинного порядку надання домедичної допомоги та продовжувати її до прибуття медичних працівників або до відновлення ознак життя. Якщо дихання збережене, але людина непритомна, її розміщують у стабільному боковому положенні та постійно контролюють дихання. Усі дії мають виконуватися спокійно, без паніки і без зайвого переміщення потерпілого.

При роботі з блоком живлення 240 Вт потрібно враховувати, що джерелом небезпеки може бути не тільки безпосередньо мережевий вхід, а й залишкова напруга на конденсаторах. Тому перед оглядом, заміною елементів або дотиком до плати необхідно переконатися у відсутності напруги на небезпечних ділянках. Перевірку таких вузлів повинен виконувати підготовлений виконавець із використанням справних вимірювальних приладів та ізольованих щупів. Самовільне втручання в первинну частину імпульсного блока живлення без контролю напруги є небезпечним.

У лабораторних або виробничих умовах біля місця налагодження блока живлення повинні бути доступні засоби для швидкого вимкнення живлення,

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		61

первинні засоби пожежогасіння, аптечка та інструкція з надання домедичної допомоги. Робоче місце потрібно організувати так, щоб виконавець не торкався одночасно корпусу обладнання, заземлених предметів і відкритих ділянок схеми. Наявність сухої ізолювальної поверхні, достатнього освітлення та вільного доступу до вимикача живлення зменшує ризик розвитку небезпечної ситуації.

Для зменшення ймовірності ураження електричним струмом у проєктованому блоці живлення застосовуються запобіжники, розділення первинної та вторинної частин, оптопари зворотного зв'язку, ізоляційні проміжки на друкованій платі та трансформаторне гальванічне розділення. Такі конструктивні рішення не скасовують необхідності дотримання правил безпеки, але знижують ризик переходу небезпечної напруги на вторинну частину пристрою. Особливо важливо витримувати зазори між високовольтними та низьковольтними провідниками, оскільки блок живлення працює в імпульсному режимі та має силові ділянки з підвищеним електричним навантаженням

Отже, для дипломного проєкту блока живлення потужністю 240 Вт питання домедичної допомоги при ураженні електричним струмом є безпосередньо пов'язаним з темою роботи. Під час налагодження такого пристрою небезпека виникає через наявність мережевої напруги, високовольтної первинної частини та заряджених конденсаторів. Основними діями у разі електротравми є безпечне вимкнення живлення, звільнення потерпілого від дії струму, виклик екстреної медичної допомоги, контроль стану людини та виконання домедичних заходів відповідно до чинних нормативних вимог.

## 2.2 Інженерно-технічні рішення з охорони праці

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		62

Під час виконання дипломного проєкту блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт розглядається не тільки як готовий електронний пристрій, але і як друкований вузол, який проходить етапи виготовлення, монтажу, перевірки та налагодження. Саме на цих етапах виникає найбільша кількість небезпечних факторів, оскільки пристрій працює від мережевої напруги 220 В, має високовольтну первинну частину після випрямляча, імпульсний перетворювач, силові транзистори, трансформатори та вихідне коло 24 В зі струмом до 10 А.

Основними небезпечними факторами під час роботи з таким блоком живлення є ураження електричним струмом, випадкове коротке замикання, перегрівання силових елементів, пошкодження ізоляції, поява іскріння при неправильному підключенні навантаження, а також можливе займання елементів у разі помилки монтажу або налагодження. До потенційно небезпечних зон належать вхідний мережевий вузол, запобіжники, варистор, діодний міст, високовольтні конденсатори, первинна обмотка імпульсного трансформатора, силові MOSFET-транзистори та вихідна частина з великим струмовим навантаженням.

Для зниження ризику ураження електричним струмом у конструкції блока живлення передбачено розділення первинної і вторинної частин схеми. Первинна частина пов'язана з мережею 220 В і випрямленою високою напругою, тому вона є найбільш небезпечною під час перевірки. Вторинна частина формує вихідну напругу 24 В, але через струм до 10 А також потребує уважного ставлення. У схемі використовується імпульсний трансформатор та оптопари PC817, які забезпечують гальванічне розділення між керувальними і вихідними колами. Таке рішення зменшує ймовірність переходу небезпечної напруги на низьковольтну частину пристрою.

На друкованій платі блока живлення потрібно витримувати збільшені електричні зазори між ділянками з різними потенціалами. У даній роботі для низьковольтних сигнальних кіл прийнято мінімальний зазор 0,45 мм, для кіл

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		63

12 В і 24 В - 0,6-1,0 мм, для вхідної високовольтної частини - 2,0-3,0 мм, а між первинною і вторинною частинами - не менше 4,0-6,0 мм. Такі зазори є важливими, оскільки в імпульсному джерелі живлення поруч можуть проходити як слабкострумові сигнальні лінії, так і силові провідники з підвищеною напругою.

Для захисту від перевантаження і аварійних режимів у схемі застосовуються запобіжники, варистор та струмові обмежувальні елементи. Запобіжники встановлюються у вхідному колі та в колах живлення, щоб при короткому замиканні або перевищенні допустимого струму розірвати електричне коло. Варистор на вході зменшує вплив імпульсних перенапруг, які можуть з'явитися у мережі. Такі елементи не тільки захищають сам блок живлення, але й зменшують ризик перегрівання провідників, пошкодження плати або займання елементів.

Окрему увагу потрібно приділити силовим провідникам друкованої плати. Для вихідного кола 24 В зі струмом до 10 А у розрахунках прийнято ширину провідників не менше 6 мм або використання мідного полігону. Це рішення зменшує густину струму в міді, знижує падіння напруги та нагрівання друкованих провідників. Якщо силові доріжки виконати занадто вузькими, під час тривалої роботи вони можуть перегріватися, що погіршить надійність плати і створить додаткову пожежну небезпеку.

Під час налагодження блока живлення робоче місце має бути організоване так, щоб виконавець мав вільний доступ до вимикача живлення, вимірювальних приладів і плати, але не торкався випадково відкритих струмопровідних частин. На столі не повинно бути зайвих металевих предметів, обрізків провідників, інструментів без ізоляції або сторонніх деталей, які можуть потрапити на плату і викликати коротке замикання. Вимірювання у первинній частині потрібно виконувати тільки справними щупами з ізольованими ручками, не торкаючись руками металевих частин щупів і елементів схеми.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		64

Перед будь-яким оглядом плати, заміною компонентів або перевіркою монтажу блок живлення потрібно повністю від'єднати від мережі. Після вимкнення необхідно перевірити відсутність залишкової напруги на високовольтних електролітичних конденсаторах, оскільки вони можуть зберігати заряд певний час після відключення живлення. Цю особливість особливо важливо враховувати саме для імпульсного блока живлення, бо в ньому після мережевого випрямляча працює високовольтна шина.

Інженерно-технічні рішення з охорони праці також стосуються теплового режиму пристрою. У схемі блока живлення є елементи, які під час роботи можуть нагріватися: MOSFET-транзистори 10N60, діодна збірка MBR40100CT, резистори підвищеної потужності, трансформатори та дроселі. Під час компонування плати ці елементи потрібно розміщувати так, щоб вони не перегрівали сусідні малопотужні компоненти і мали достатній простір для охолодження. У разі встановлення блока живлення в корпус потрібно передбачити вентиляційні отвори або інший спосіб відведення тепла.

Для зниження пожежної небезпеки під час перевірки пристрою потрібно використовувати справні з'єднувальні проводи, не перевищувати допустимий струм навантаження, не залишати блок живлення без нагляду під час першого ввімкнення та не виконувати налагодження на легкозаймистій поверхні. Біля робочого місця мають бути доступні первинні засоби пожежогасіння, придатні для електроустановок. У разі появи запаху перегріву, диму, тріску, іскріння або нестабільної роботи блок живлення необхідно негайно вимкнути і повторно перевірити монтаж.

До засобів індивідуального та колективного захисту під час налагодження можна віднести діелектричний килимок, інструмент з ізольованими ручками, захисні окуляри під час пайки та перевірки силових елементів, справний лабораторний автотрансформатор або розділювальний трансформатор, а також вимірювальні прилади з відповідною категорією безпеки. Для першого ввімкнення доцільно використовувати послідовне

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		65

обмеження струму або лабораторне джерело живлення для допоміжних вузлів, якщо це дозволяє схема перевірки. Це дає змогу виявити помилки монтажу без миттєвого пошкодження силових елементів.

Під час пайки друкованого вузла також виникають виробничі шкідливі фактори: нагрівання жала паяльника, пари флюсу, можливість опіку та механічні пошкодження під час обрізання виводів. Тому паяльне робоче місце повинно мати достатнє освітлення, вентиляцію або місцеве відведення диму, термостійку підставку для паяльника і порядок розміщення інструменту. Після монтажу необхідно оглянути плату на наявність залишків припою, перемичок між доріжками, неправильної полярності електролітичних конденсаторів, діодів, оптопар і мікросхем.

Для безпечної експлуатації готового блока живлення важливо передбачити надійне закріплення друкованої плати в корпусі, захист користувача від доступу до первинної високовольтної частини, маркування входу 220 В та виходу 24 В, а також правильне підключення навантаження. Корпус повинен унеможливити випадковий дотик до відкритих струмопровідних частин. Якщо у конструкції використовується металевий корпус, він має бути підключений до захисного провідника відповідно до вимог електробезпеки.

### 2.3 Висновок до розділу 2

У другому розділі було розглянуто питання безпеки життєдіяльності та основ охорони праці, пов'язані з розробленням, монтажем, налагодженням і експлуатацією блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт. Оскільки пристрій працює від мережевої напруги 220 В, має високовольтну первинну частину, електролітичні конденсатори великої ємності та вихідне коло 24 В зі струмом до 10 А, дотримання вимог безпеки є важливою умовою нормальної роботи з таким виробом.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		66

У підрозділі 2.1 розглянуто порядок надання долікарської допомоги при ураженні електричним струмом. Встановлено, що першою дією у такій ситуації повинно бути безпечне припинення дії струму на потерпілого. Після цього необхідно оцінити стан людини, викликати екстрену медичну допомогу та виконувати домедичні заходи відповідно до стану потерпілого. Окремо зазначено, що під час роботи з імпульсним блоком живлення небезпеку можуть становити не тільки відкриті струмопровідні частини, але й залишкова напруга на високовольтних конденсаторах після вимкнення живлення.

У підрозділі 2.2 було визначено основні інженерно-технічні рішення з охорони праці. До них належать розділення первинної та вторинної частин схеми, використання запобіжників, варистора, терморезистора, оптопар зворотного зв'язку, імпульсного трансформатора, збільшених електричних зазорів і широких силових провідників. Такі рішення знижують ризик ураження електричним струмом, короткого замикання, перегрівання елементів і виникнення пожежонебезпечної ситуації.

Також було розглянуто вимоги до організації робочого місця під час перевірки та налагодження блока живлення. Робоче місце повинно мати достатнє освітлення, справні вимірювальні прилади, можливість швидкого вимкнення живлення, ізольовані інструменти та вільний доступ до плати. Перед оглядом або заміною елементів пристрій необхідно повністю від'єднати від мережі та переконатися у відсутності небезпечної напруги на конденсаторах і струмопровідних ділянках.

Отже, розглянуті заходи безпеки безпосередньо пов'язані з темою кваліфікаційної роботи. Для блока живлення потужністю 240 Вт основними умовами безпечної роботи є правильна організація монтажу і налагодження, контроль відсутності напруги перед втручанням у схему, дотримання електричних зазорів на платі, використання захисних елементів та уважне ставлення до первинної високовольтної частини..

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		67

## Висновки

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було досягнуто поставленої мети - розроблено комплект конструкторської документації на блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій. Розроблений пристрій призначений для перетворення змінної мережевої напруги 220 В у стабілізовану постійну напругу 24 В при струмі навантаження до 10 А.

У ході роботи проведено аналіз технічного завдання та визначено основні вимоги до блока живлення. Встановлено, що для отримання заданої потужності доцільно використовувати імпульсний принцип перетворення енергії, оскільки він забезпечує вищу ефективність, менші габарити та кращі експлуатаційні характеристики порівняно з лінійними джерелами живлення.

Було розглянуто структурну схему пристрою та визначено призначення його основних функціональних вузлів. До складу блока живлення входять вхідний захист, фільтр і випрямляч, силовий імпульсний перетворювач, імпульсний трансформатор, вихідний випрямляч і фільтр, допоміжне джерело живлення, ШІМ-контролер з драйвером та вузол зворотного зв'язку. Така побудова забезпечує послідовне перетворення енергії від мережевого входу до стабілізованого виходу 24 В.

Виконано опис електричної принципової схеми блока живлення. Основою керувальної частини є ШІМ-контролер SG3525, який формує сигнали керування силовими ключами. У силовій частині використовуються MOSFET-транзистори 10N60, імпульсний трансформатор, вихідна діодна збірка, дросель та фільтрувальні конденсатори. Для гальванічного розділення і стабілізації вихідної напруги застосовано імпульсний трансформатор та оптопари зворотного зв'язку.

Проведено розрахунок окремих вузлів електричної принципової схеми пристрою. Визначено параметри, пов'язані з вихідною потужністю, вихідним

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		68

струмом, роботою силової частини та передаванням енергії через імпульсний трансформатор. Отримані результати підтверджують відповідність вибраної схемотехнічної побудови заданим параметрам блока живлення.

Також було обґрунтовано вибір елементної бази. Для реалізації пристрою використано компоненти, які відповідають умовам роботи імпульсного блока живлення: ШІМ-контролер SG3525, стабілізатор LM7812, оптопари PC817, MOSFET-транзистори 10N60, діодні мости, силову діодну збірку, трансформатори, дроселі, запобіжники, варистор, терморезистор, конденсатори, резистори, світлодіодну індикацію та роз'єми. Обрана елементна база забезпечує роботу пристрою з потрібною потужністю та є придатною для вивідного монтажу.

Для блока живлення розроблено друкований вузол на двосторонній друкованій платі розміром 217,5x120 мм. Усі компоненти розміщуються з одного боку плати, а провідниковий рисунок виконується на двох шарах. Такий варіант конструкції є зручним для силового пристрою, оскільки дозволяє розмістити великогабаритні елементи, розділити первинну і вторинну частини та виконати трасування силових і сигнальних кіл.

У роботі проведено розрахунок надійності проєктованого виробу. Розглянуто основні групи компонентів, які впливають на працездатність блока живлення, зокрема силові напівпровідникові елементи, електролітичні конденсатори, трансформатори, дроселі, роз'єми, друковану плату та паяні з'єднання. Встановлено, що надійність пристрою значною мірою залежить від якості монтажу, теплового режиму силових елементів і правильного вибору компонентів із запасом за основними параметрами.

Виконано розрахунок друкованого монтажу. Для плати прийнято металізовані отвори різних діаметрів, що відповідають типорозмірам вивідних компонентів. Визначено доцільні ширини провідників для сигнальних, допоміжних, вхідних, первинних силових і вихідних кіл. Для вихідного кола зі

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		69

струмом до 10 А передбачено широкі провідники або мідні полігони, що зменшує падіння напруги та покращує тепловий режим плати.

Описано технологію виготовлення друкованої плати. Розглянуто основні етапи: підготовку заготовки з фольгованого склотекстоліту, формування провідникового рисунка, травлення, свердління, металізацію отворів, нанесення паяльної маски, маркування, встановлення елементів, паяння, очищення та контроль якості. Прийнята технологія відповідає двосторонній платі з вивідним монтажем і забезпечує можливість виготовлення надійного друкованого вузла.

Окремо розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці. Проаналізовано порядок надання долікарської допомоги при ураженні електричним струмом, а також визначено інженерно-технічні рішення, необхідні для безпечної роботи з блоком живлення. До таких рішень належать розділення первинної і вторинної частин, використання запобіжників, варистора, терморезистора, оптопар, збільшених електричних зазорів та контроль відсутності небезпечної напруги перед виконанням монтажних або налагоджувальних робіт.

Отже, у кваліфікаційній роботі виконано комплексну розробку блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт. Проведено аналіз технічного завдання, розглянуто структурну та електричну принципову схеми, описано принцип роботи пристрою, обґрунтовано вибір елементної бази, виконано компонування друкованого вузла, розрахунок надійності, розрахунок друкованого монтажу та опис технології виготовлення плати. Отриманий комплект матеріалів може бути використаний для виготовлення, складання, перевірки та подальшого вдосконалення блока живлення для електронного обладнання інформаційних технологій.

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		70

## Список використаних джерел

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

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		71

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

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

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

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

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

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

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

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

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

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		72

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

20. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI, зі змінами і доповненнями.

21. Андрейчук Н. І., Кіт Ю. В., Шибанов С. В., Шерстньова О. В. Охорона праці : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівська політехніка, 2021. 276 с.

22. Бедрій Я. І. Основи охорони праці : навчальний посібник. 4-те вид., перероб. і доп. Тернопіль : Навчальна книга - Богдан, 2018. 240 с.

23. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В. М. Основи охорони праці : навчальний посібник. 4-те вид., випр. і доп. Київ : Знання, 2018. 302 с.

24. Правила улаштування електроустановок. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017.

25. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII, зі змінами і доповненнями.

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

					<i>МДМ 2.087.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		73

# ДОДАТКИ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТ

\_\_\_\_\_ к.т.н. Дунець В.Л.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

на тему: «Блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій»

Узгоджено:

Керівник роботи

Яськів В. І. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РАС-41

Мартинов Д. М. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026р.

Тернопіль, 2026

# 1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: «Блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій».

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

## 2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1 Студент Мартинов Дмитро Миколайович, групи РАС-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

## 3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій, що забезпечує перетворення мережевої напруги 220 В змінного струму у стабілізовану постійну напругу 24 В при струмі навантаження до 10 А, що включає:

- аналіз технічного завдання та вимог до блока живлення;
- аналіз існуючих типів джерел живлення для електронної апаратури;
- розробку структурної схеми пристрою;
- розробку електричної принципової схеми блока живлення;
- розрахунок вузла електричної принципової схеми;
- опис принципу роботи імпульсного блока живлення;
- вибір і обґрунтування елементної бази;
- компоновання та трасування друкованої плати;
- розрахунок надійності пристрою та параметрів друкованого монтажу;
- опис технології виготовлення друкованої плати;
- розробку конструкторської документації на друкований вузол.

## 4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1.1 Блок живлення повинен забезпечувати перетворення мережевої напруги 220 В змінного струму частотою 50 Гц у постійну вихідну напругу 24 В.

4.1.2 Номінальна вихідна потужність блока живлення повинна становити 240 Вт.

4.1.3 Номінальний вихідний струм навантаження повинен становити до 10 А.

4.1.4 У складі пристрою повинен бути передбачений імпульсний перетворювач з трансформаторною гальванічною розв'язкою.

4.1.5 Керування роботою силової частини повинно здійснюватися за допомогою ШІМ-контролера SG3525.

4.1.6 Силова частина пристрою повинна бути виконана на MOSFET-транзисторах 10N60 або їх функціональних аналогах.

4.1.7 У схемі повинен бути передбачений вузол зворотного зв'язку з гальванічним розділенням через оптопари.

4.1.8 Вхідне коло повинно містити елементи захисту та фільтрації: запобіжники, варистор, NTC-терморезистор, мережевий фільтр і випрямляч.

4.1.9 Вихідне коло повинно містити силовий випрямляч, дросель, фільтрувальні конденсатори та світлодіодну індикацію наявності вихідної напруги.

## 4.2 Технічні вимоги

4.2.1 Блок живлення повинен відповідати вимогам чинних стандартів та конструкторської документації на пристрій конкретного типу.

4.2.2 Пристрій повинен забезпечувати стабільну роботу вхідного випрямляча, допоміжного джерела живлення, ШІМ-контролера SG3525, драйверної частини, силового імпульсного перетворювача, вихідного випрямляча, фільтра та вузла зворотного зв'язку.

4.2.3 Електронний вузол повинен працювати в нормальних кліматичних умовах без порушення основних функцій перетворення та стабілізації напруги.

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

4.2.5 Конструкція пристрою повинна забезпечувати розділення первинної мережевої частини та вторинного низьковольтного кола 24 В.

4.2.6 Друкована плата повинна бути виготовлена з двостороннього фольгованого склотекстоліту FR-4 товщиною 1,5 мм з мідною фольгою 35 мкм.

4.2.7 Тип монтажу елементів - вивідний. Усі компоненти повинні розміщуватися з одного боку друкованої плати, а провідниковий рисунок має виконуватися на двох шарах.

4.2.8 Габаритні розміри друкованої плати повинні становити  $217,5 \times 120$  мм.

4.2.9 У комплект виробу повинні входити: блок живлення, друкований вузол, перелік елементів, схема електрична принципова, креслення друкованої плати, складальне креслення друкованого вузла та специфікація.

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

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

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

#### 4.3 Правила приймання

4.3.1 Блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт повинен піддаватися приймально-здавальним та періодичним випробуванням.

4.3.2 Під час приймально-здавальних випробувань перевіряється працездатність вхідного захисту, допоміжного джерела живлення, ШІМ-контролера SG3525, драйверної частини, силового імпульсного перетворювача,

вихідного випрямляча, вихідного фільтра, вузла зворотного зв'язку та світлодіодної індикації. У разі виявлення дефектів пристрій повертається для усунення несправностей і повторної перевірки.

4.3.3 Періодичні випробування проводяться для перевірки відповідності пристрою технічним вимогам, стабільності вихідної напруги 24 В, працездатності під навантаженням та надійності функціонування в умовах експлуатації.

4.3.4 Випробування на надійність проводяться за такими вихідними даними:

приймальний рівень  $R\alpha = 0,95$ ;

бракувальний рівень  $R\mu = 0,8$ ;

ризик виробника  $\alpha = 0,1$ ;

ризик споживача  $\beta = 0,2$ .

## 5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

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

5.2 Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

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

## 6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КП

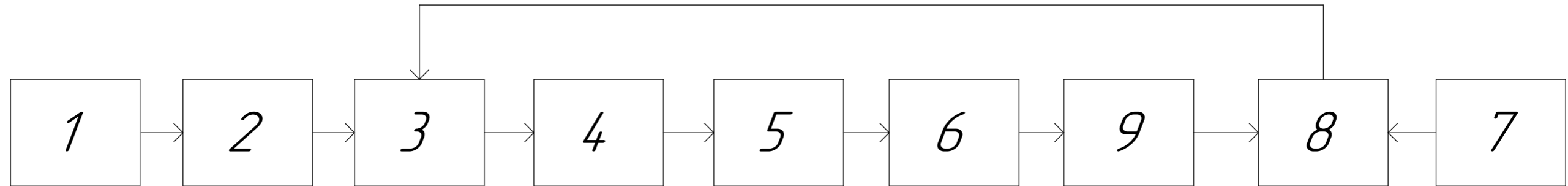
№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів	Примітка
-------	---------------------	-------------------------	----------

		роботи	
1	Розробка та затвердження технічного завдання	12.03.2026	
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	14.03.2026	
3	Аналіз існуючих схем імпульсних блоків живлення та пристроїв живлення інформаційно-комунікаційного обладнання	21.03.2026	
4	Розробка структурної схеми блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт	23.03.2026	
5	Розробка електричної принципової схеми	10.04.2026	
6	Вибір та обґрунтування елементної бази блока живлення з вихідною потужністю 240 Вт	12.04.2026	
7	Розробка опису принципу роботи блока живлення та його основних функціональних вузлів	16.04.2026	
8	Розрахунок основних вузлів схеми та параметрів роботи блока живлення	22.04.2026	
9	Розрахунок параметрів друкованої плати та елементів друкованого монтажу	02.05.2026	
10	Компонування елементів і трасування друкованої плати блока живлення	15.05.2026	
11	Перевірка конструкції друкованої плати, уточнення посадкових місць та параметрів друкованого вузла	23.05.2026	
12	Розробка конструкторської документації на блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт	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		

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.



- 1 – Мережа 220 В;
- 2 – Вхідний захист, фільтр і випрямляч;
- 3 – Силовий імпульсний перетворювач;
- 4 – Імпульсний трансформатор;
- 5 – Вихідний випрямляч і фільтр;
- 6 – Вихід 24 В / 10 А;
- 7 – Допоміжне джерело живлення;
- 8 – ШІМ-контролер SG3525 і драйвер;
- 9 – Вузол зворотного зв'язку.

МДМ 2.087.001 Е1

				МДМ 2.087.001 Е1		
				Блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій Схема електрична структурна		
Літ.	Вага	Масштаб				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		
		Розроб.	Мартинів Д.М.			
		Перевір.	Яськів В.І.			
		Реценз.				
		Н.контр.	Хвастівська Л.В.			
		Затверд.	Дунець В.І.			
				Арк	Аркушів	1
				ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41		

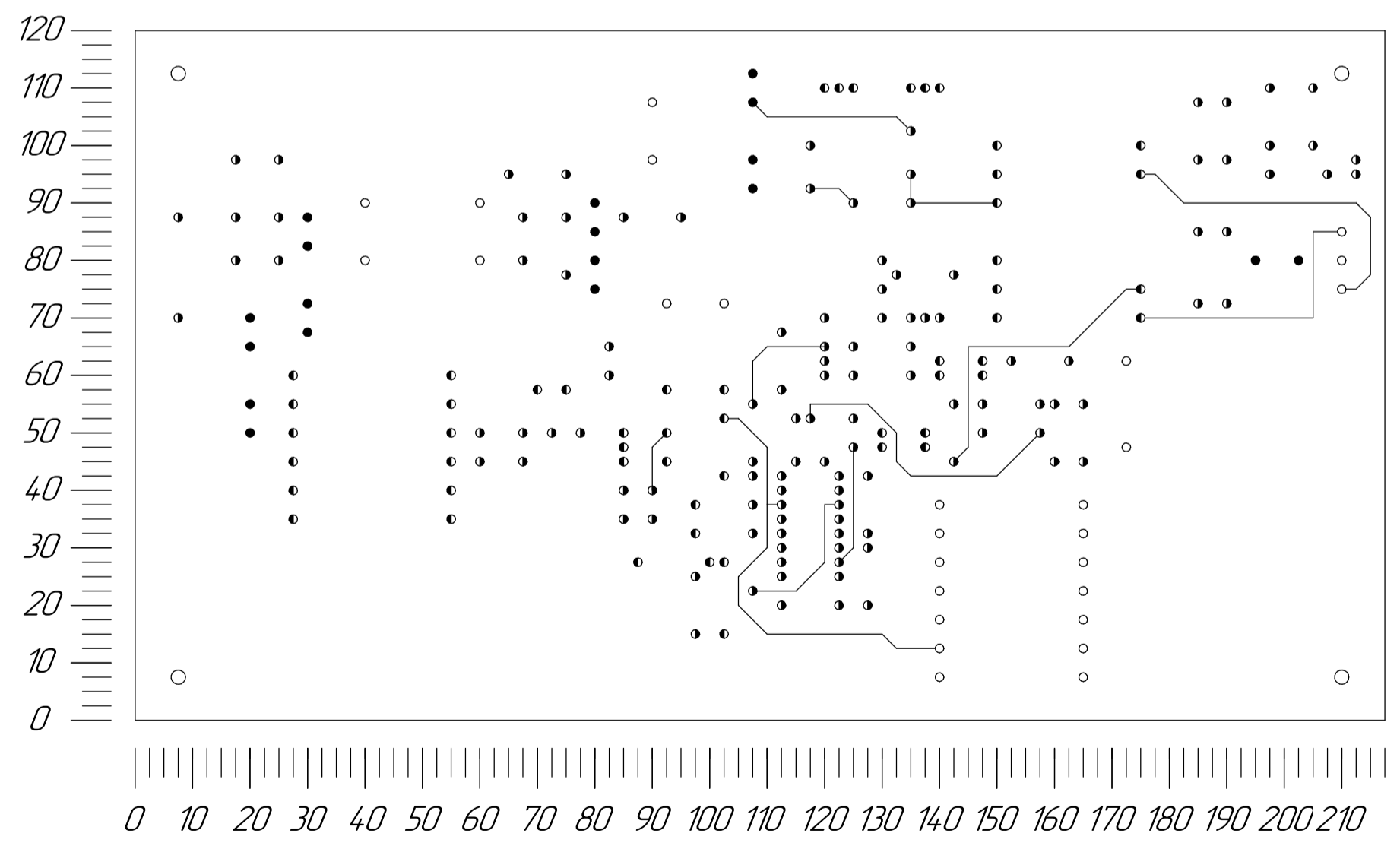
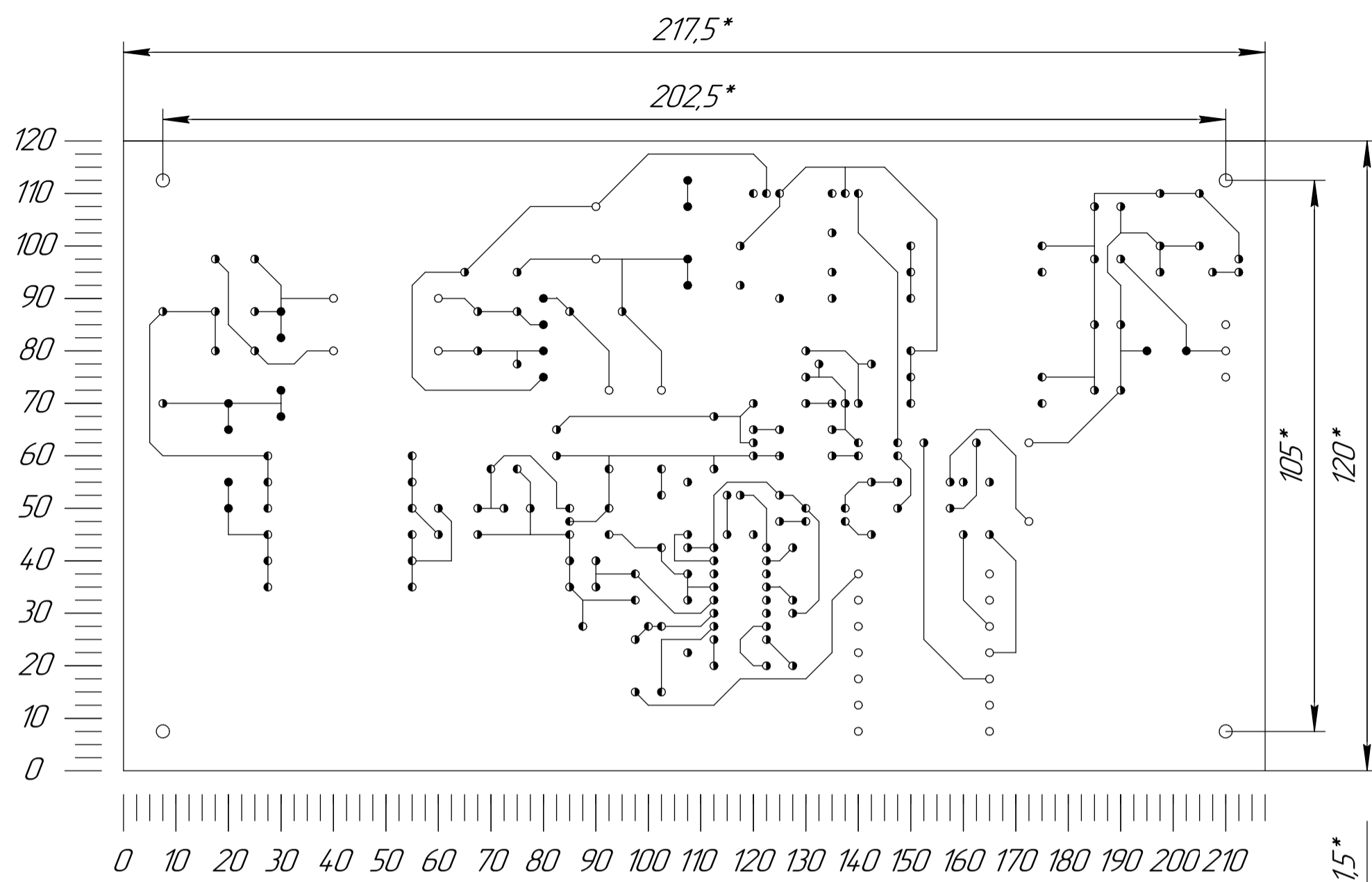


Позн.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Конденсатори</u>		
C1	ССК-1nF ±20% "Kemet"	1	
C2	ЕСАР-25В-1000uF ±20% "Nichicon"	1	
C3	ССК-10nF ±20% "Kemet"	1	
C4	ССК-2.2nF ±20% "Kemet"	1	
C5	ССК-100nF ±20% "Kemet"	1	
C6	ССК-400V-22nF ±10% "SR Passives"	1	
C7	ССК-470nF ±20% "Kemet"	1	
C8	ССК-1uF ±20% "Kemet"	1	
C9	ССК-400V-22nF ±10% "SR Passives"	1	
C10	ЕСАР-25В-100uF ±20% "Nichicon"	1	
C11	ЕСАР-16В-100uF ±20% "Nichicon"	1	
C12	ССК-1uF ±20% "Kemet"	1	
C13	ЕСАР-16В-100uF ±20% "Nichicon"	1	
C14	ЕСАР-200В-470uF ±20% "Nichicon"	1	
C15	ССК-100nF ±20% "Kemet"	1	
C16	ССК-400V-1nF ±10% "SR Passives"	1	
C17,C18	ССК-1kV-680pF ±10% "SR Passives"	2	
C19,C20	ЕСАР-35В-1000uF ±20% "Nichicon"	2	
C21	ССК-470nF ±20% "Kemet"	1	
C22	ЕСАР-35В-1000uF ±20% "Nichicon"	1	
	<u>Мікросхеми</u>		
DA1	SG3525 Texas Instruments"	1	
DA2	LM7812 Texas Instruments"	1	
FU1-FU3	<u>Запобіжник</u> 5x20 8A 250В "ITALWEBER"	3	

<b>МДМ 2.087.001 ПЕ</b>				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Мартинюк Д.М			
Перевір.	Яськів В.І.			
Реценз.				
Н. Контр.	Хвостівська Л.В.			
Затверд.	Дунець В.Л.			
Блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій Перелік елементів			Лім.	Арк.
				1
			ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41	

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Світлодіоди</u>		
HL1	LED 3528 G, B "Lead(Pb) Free Product-ROHS"	1	
L1	Індуктивність 7117-RC "BOURNS"	1	
	<u>Резистори</u>		
R1	RES-0.125W-2k0m ±5% "Bourns"	1	
R2	RES-0.125W-1000m ±5% "Bourns"	1	
R3	RES-0.125W-15k0m ±5% "Bourns"	1	
R4,R5	RES-0.125W-1k0m ±5% "Bourns"	2	
R6	RES-0.125W-10k0m ±5% "Bourns"	1	
R7	NTC10D-20-100m "Bourns"	1	
R8	RES-0.125W-1k0m ±5% "Bourns"	1	
R9	RES-2W-6.80m ±5% "Bourns"	1	
R10	RES-0.125W-3.3k0m ±5% "Bourns"	1	
R11	RES-0.125W-330k0m ±5% "Bourns"	1	
R12-R14	RES-0.125W-1k0m ±5% "Bourns"	3	
R15,R16	RES-0.125W-330m ±5% "Bourns"	2	
R17	RES-0.125W-330k0m ±5% "Bourns"	1	
R18	RES-0.125W-3.3k0m ±5% "Bourns"	1	
R19	RES-0.125W-1000m ±5% "Bourns"	1	
R20	RES-0.125W-330k0m ±5% "Bourns"	1	
R21	RES-5W-0.150m ±5% "Bourns"	1	
R22	RES-0.125W-1000m ±5% "Bourns"	1	
R23	RES-0.125W-10k0m ±5% "Bourns"	1	
R24	RES-2W-1.5k0m ±5% "Bourns"	1	
RU1	<u>Варистор</u> FNR-7K271 "YAGEO"	1	
	<u>Трансформатори</u>		
TV1	ETD34 "Epcos"	1	
TV2,TV3	ETD44 "Epcos"	2	
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис
			Дата
<b>МДМ 2.087.001 ПЕ</b>			Арк. 2





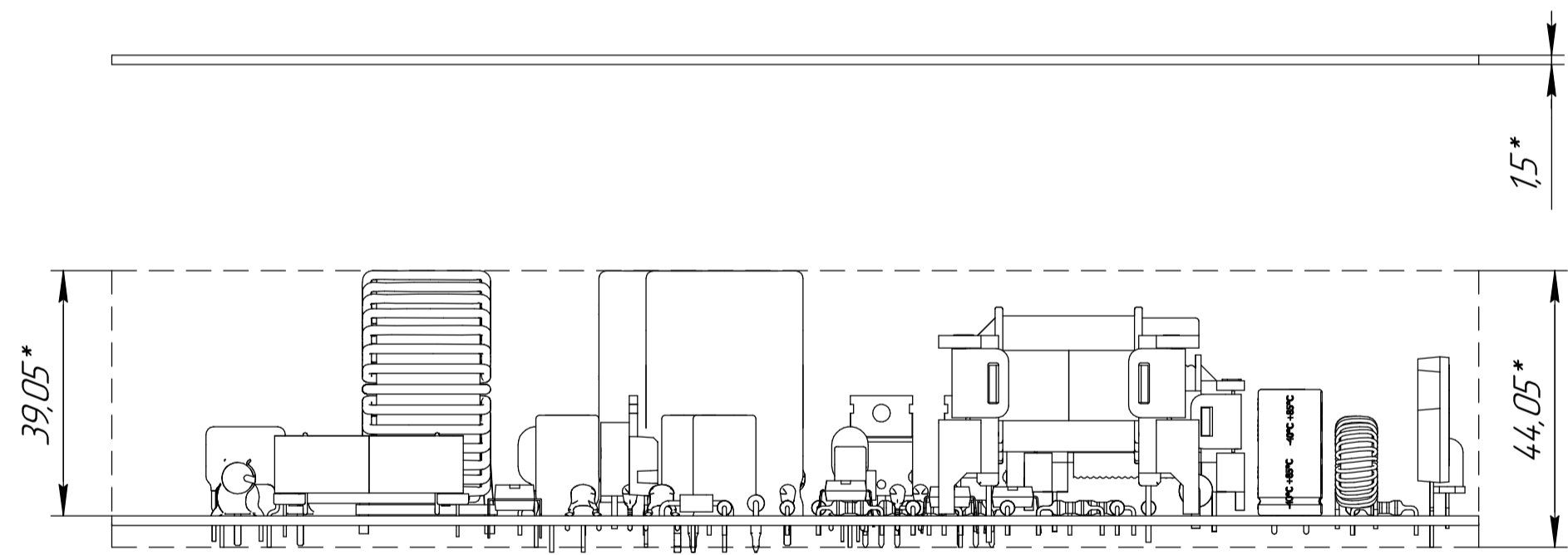
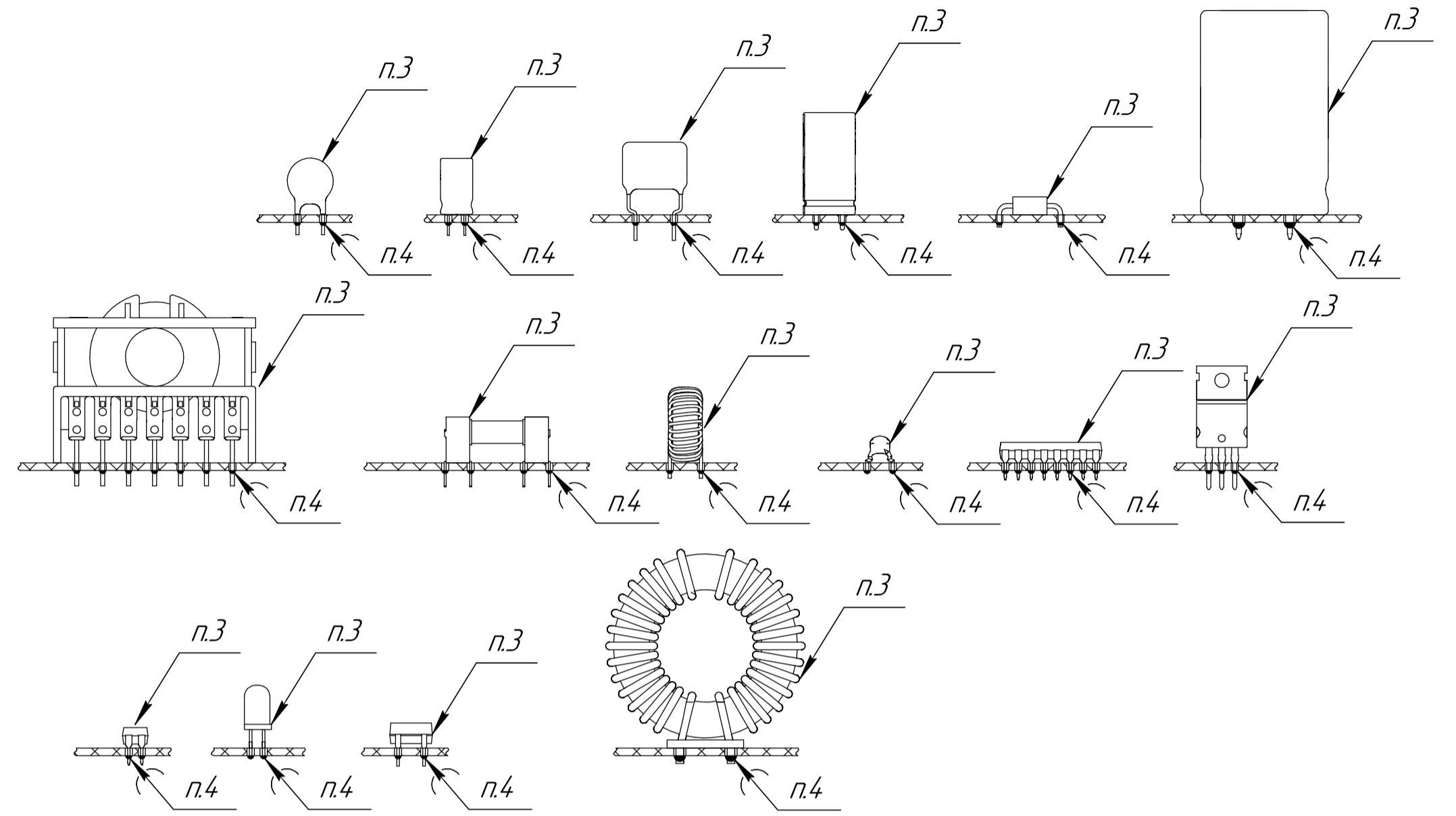
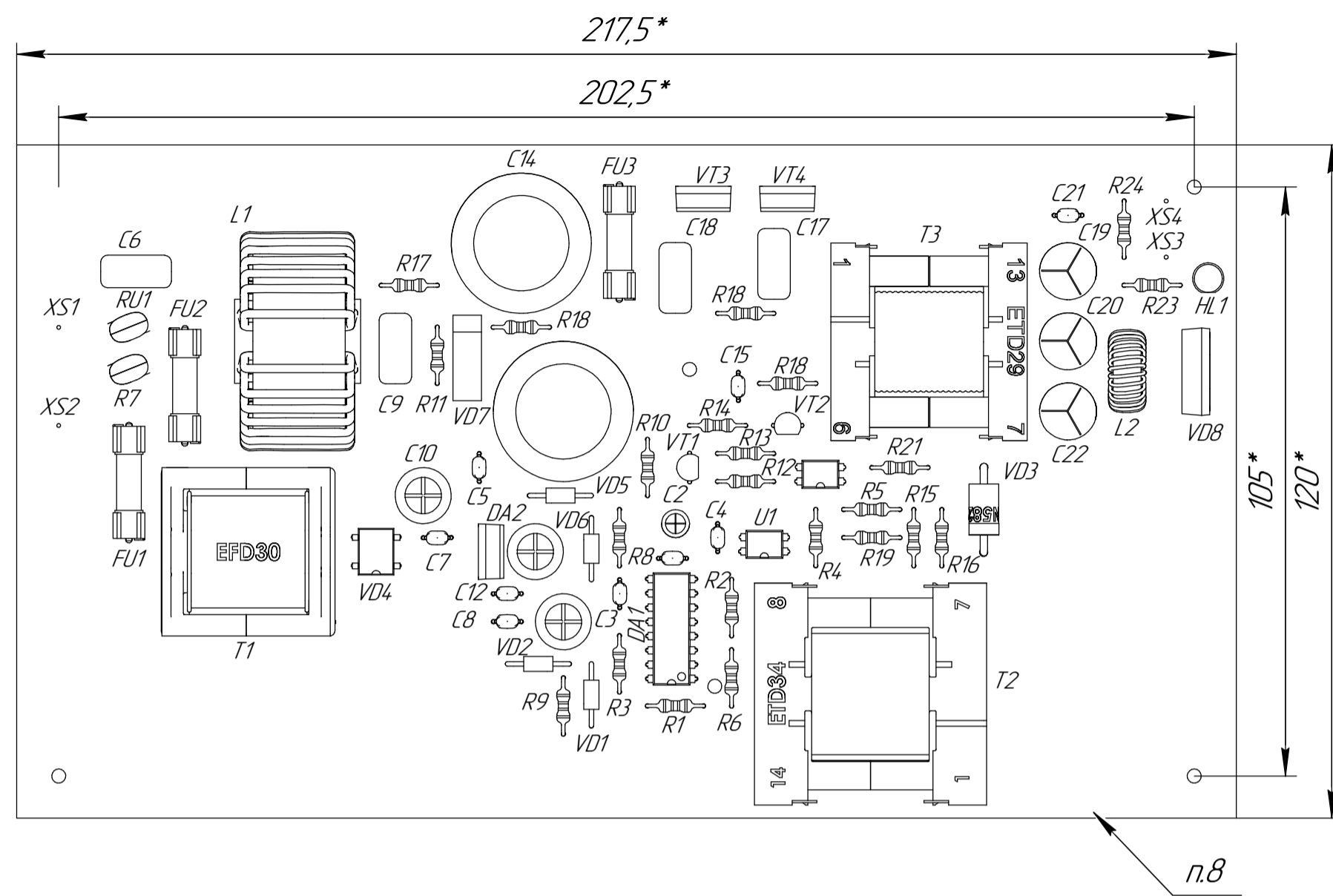
Таблиця отворів

Позначення отвору	Діаметр отвору	Діаметр конт. площадки	Наявність металізації	Кількість отворів
●	0,8	1,6	з метал	116
●	1	2,2	з метал	53
●	1,5	3	з метал	18
○	2	3,4	з метал	29

- 1 \*Розмір для довідок.
2. Плата повинна відповідати вимогам ДСТУ EN 61188-1-1:2022 та ДСТУ EN IEC 61191-1:2022; плата двостороння жорстка, клас точності 3, крок координатної сітки 2,5 мм.
3. Плату виконати комбінованим позитивним способом.
4. Конфігурація друкованих провідників згідно з кресленням.
5. Параметри отворів див. таблицю 1.
6. Таврувати штамп ВТК, маркувати заводський номер фарбою маркувальною епоксидною чорною МКЕЧ, шрифт 2,5-ПрЗ згідно з ДСТУ ISO 3098-1:2007.

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

				<b>МДМ 7.103.001</b>			
Змн. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій Друкована плата	Літ.	Вага	Масштаб
Розроб.	Мартинів Д.М.				1		1:1
Перевір.	Яськів В.І.			FR-4	Арк	Аркцнів	1
Реценз.							
Нконтр.	Хвостівська			ТНТУ ім. І. Пулюя РАС-41			
Затверд.	Дунець В.І.						
				Копіював		Формат А2	



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

Первинне застосування

Довідковий №

Підп. і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № ар.

МДМ 2.087.001 СК				Літ.	Вага	Масштаб
Змн. Лист	№ докум.	Підпис	Дата		0,11	1:1
Розроб.	Мартинів Д.М.					
Перевір.	Яськів В.І.					
Реценз.				Арк	Аркцифів	1
Нконтр.	Хвостівська Л.В.			ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41		
Затверд.	Дунець В.І.			Формат А2		

Форм.	поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
			<u>Документація</u>		
A3		МДМ 2.087.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
A4		МДМ 2.087.001 ПЕ	Перелік елементів	3	
A2		МДМ 2.087.001 СК	Вузол друкований	1	
			<u>Деталі</u>		
	4	МДМ 7.103.001	Плата друкована	1	
			<u>Інші вироби</u>		
			<u>Конденсатори</u>		
	5		ССК-1kV-680pF ±10% "SR Passives"	2	С17,С18
	6		ССК-1nF ±20% "Kemet"	1	С1
	7		ССК-400V-1nF ±10% "SR Passives"	1	С16
	8		ССК-2.2nF ±20% "Kemet"	1	С4
	9		ССК-10nF ±20% "Kemet"	1	С3
	10		ССК-400V-22nF ±10% "SR Passives"	2	С6,С9
	11		ССК-100nF ±20% "Kemet"	2	С5,С15
	12		ССК-4.70nF ±20% "Kemet"	2	С7,С21
	13		ССК-1uF ±20% "Kemet"	2	С8,С12
	14		ЕСАР-16В-100uF ±20% "Nichicon"	2	С11,С13
	15		ЕСАР-25В-100uF ±20% "Nichicon"	1	С10
	16		ЕСАР-200В-4.70uF ±20% "Nichicon"	1	С14
	17		ЕСАР-25В-1000uF ±20% "Nichicon"	1	С2
	18		ЕСАР-35В-1000uF ±20% "Nichicon"	3	С19,С20,С22

<b>МДМ 2.087.001</b>				
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Мартинюк Д.М.		
Перевір.		Яськів В.І.		
Реценз.				
Н.контр.		Хвостівська Л.В.		
Затверд.		Дунець В.Л.		
Блок живлення з вихідною потужністю 240 Вт для інформаційних технологій			Літ.	Арк.
Специфікація				1
			Аркушів	3
			ТНТУ ім. І. Пулюя РАС-41	



