

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно
комунікаційних систем

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

172"Електронні комунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Наконечний І.О.
(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 Наконечному Івану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем

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: інвертор 12–220 В потужністю 200 Вт повинен забезпечувати перетворення постійної напруги 12 В у змінну напругу 220 В для живлення малопотужного інформаційно-комунікаційного обладнання. Вхідна напруга — 12 В постійного струму; вихідна напруга — 220 В змінного струму; номінальна потужність — 200 Вт; схема керування — на мікросхемах TL494;

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 інвертора 12–220 В потужністю 200 Вт

2. Схема електрична принципова інвертора 12–220 В потужністю 200 Вт

3. Друкований вузол інвертора 12–220 В потужністю 200 Вт

4. Креслення друкованої плати інвертора 12–220 В потужністю 200 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 інверторів напруги 12–220 В та пристроїв резервного живлення інформаційно-комунікаційного обладнання | 21.03.2026 | |
| 4 | Розробка структурної схеми інвертора 12–220 В потужністю 200 Вт | 23.03.2026 | |
| 5 | Розробка електричної принципової схеми інвертора | 10.04.2026 | |
| 6 | Вибір та обґрунтування елементної бази інвертора 12–220 В потужністю 200 Вт | 12.04.2026 | |
| 7 | Розробка опису принципу роботи інвертора та його основних функціональних вузлів | 16.04.2026 | |
| 8 | Розрахунок основних вузлів схеми та параметрів роботи інвертора | 22.04.2026 | |
| 9 | Розрахунок параметрів друкованої плати та елементів друкованого монтажу | 02.05.2026 | |
| 10 | Компонування елементів і трасування друкованої плати інвертора 12–220 В потужністю 200 Вт | 15.05.2026 | |
| 11 | Перевірка конструкції друкованої плати, уточнення посадкових місць та параметрів друкованого вузла | 23.05.2026 | |
| 12 | Розробка конструкторської документації на інвертор 12–220 В потужністю 200 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 | 12.06.2026 | |
| 17 | Захист кваліфікаційної роботи | 24.06.2026 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

(підпис)

Наконечний І.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Яськів В.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем». Кваліфікаційна робота бакалавра / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РАс-41. // Тернопіль, 2026 р. // с.-65, рис.-6, табл.-6, бібліогр.-24, додат.-6.

Ключові слова: ІНВЕРТОР, ПЕРЕТВОРЮВАЧ НАПРУГИ, TL494, СИЛОВІ ТРАНЗИСТОРИ, ТРАНСФОРМАТОР, ДРУКОВАНА ПЛАТА, ALTIUM DESIGNER.

У роботі проведено аналіз завдання щодо розробки інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем та обґрунтовано актуальність роботи.

Розглянуто існуючі інвертори напруги та пристрої резервного живлення, визначено їх основні переваги й недоліки. Розроблено структурну та електричну принципову схеми інвертора, описано принцип його роботи, виконано вибір елементної бази, компоновання друкованого вузла та розгляд параметрів друкованого монтажу.

У середовищі Altium Designer розроблено друковану плату, складальне креслення, специфікацію та іншу конструкторську документацію. Розглянуто питання безпеки життєдіяльності й охорони праці під час монтажу, перевірки, налагодження та експлуатації інвертора.

ANNOTATION

Topic of the qualification work: “12-220 V inverter with a power rating of 200 W for information and communication systems”. Bachelor’s qualification work / Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RAs-41. // Ternopil, 2026. // p.-65, fig.-6, tabl.-6, ref.-24, app.-6.

Keywords: INVERTER, VOLTAGE CONVERTER, TL494, POWER TRANSISTORS, TRANSFORMER, PRINTED CIRCUIT BOARD, ALTIUM DESIGNER.

The work analyzes the task of developing a 12-220 V inverter with a power rating of 200 W for information and communication systems and substantiates the relevance of the work.

Existing voltage inverters and backup power supply devices were considered, and their main advantages and disadvantages were determined. The structural and electrical schematic diagrams of the inverter were developed, its operating principle was described, the component base was selected, and the PCB layout and printed circuit parameters were considered.

The printed circuit board, assembly drawing, specification and other design documentation were developed in Altium Designer. Life safety and occupational safety issues during the assembly, testing, adjustment and operation of the inverter were considered.

Зміст

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ..... | 7 |
| 1 Основна частина..... | 10 |
| 1.1 Аналіз технічного завдання..... | 10 |
| 1.2 Розробка структурної схеми пристрою..... | 17 |
| 1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою | 23 |
| 1.3.1 Опис електричної принципової схеми | 23 |
| 1.3.2 Розрахунок вузла електричної принципової схеми пристрою | 28 |
| 1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази | 35 |
| 1.4.1 Опис принципу роботи інвертора..... | 35 |
| 1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази..... | 41 |
| 1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу | 46 |
| 1.5.1 Компоновка друкованого вузла | 46 |
| 1.5.2 Розрахунок надійності проєктованого виробу | 50 |
| 1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу | 54 |
| 1.6 Висновок до розділу 1 | 60 |
| 2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці | 62 |
| 2.1 Ризик як кількісна оцінка небезпек під час перевірки інвертора..... | 62 |
| 2.2 Організація безпечної роботи електроустановок під час налагодження інвертора..... | 66 |
| 2.3 Висновок до розділу 2 | 72 |
| Висновки | 73 |
| Список використаних джерел | 76 |
| Додатки | |

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-------------------------|---------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|----------------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| <i>Розроб.</i> | | <i>Наконецний І.О.</i> | | | <i>Інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем. Пояснювальна записка</i> | Літ. | Арк. | Аркушів |
| <i>Перевір.</i> | | <i>Яськів В.І.</i> | | | | | 6 | 65 |
| <i>Рецензент</i> | | | | | | <i>ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41</i> | | |
| <i>Н. Контр.</i> | | <i>Хвостівська Л.В.</i> | | | | | | |
| <i>Затверд.</i> | | <i>Дценець В.Л.</i> | | | | | | |

Вступ

Питання резервного та автономного електроживлення є актуальним для сучасних інформаційно-комунікаційних систем. Значна частина мережевого, телекомунікаційного та допоміжного електронного обладнання працює від мережі змінного струму 220 В. Водночас у багатьох випадках для резервного живлення використовують акумуляторні батареї з постійною напругою 12 В. Для узгодження такого джерела з навантаженням застосовують інвертори напруги, які перетворюють постійну напругу акумулятора у змінну напругу, придатну для живлення споживачів.

Інвертори 12-220 В використовуються у системах зв'язку, локальних мережах, охоронних комплексах, системах відеоспостереження, вузлах моніторингу та іншому обладнанні, для якого важлива безперервність роботи. В умовах нестабільного електропостачання або відсутності доступу до мережі 220 В такі пристрої дозволяють підтримувати працездатність малопотужних інформаційно-комунікаційних засобів від акумуляторного джерела. Тому розробка компактного інвертора потужністю 200 Вт є доцільною для задач резервного живлення невеликих електронних систем.

Особливістю інвертора є поєднання в одній конструкції низьковольтної силової частини з підвищеним струмом і вихідної частини з напругою 220 В. Через це під час розробки пристрою потрібно враховувати не тільки принцип роботи електричної схеми, але й конструктивне виконання друкованої плати, ширину силових провідників, тепловий режим силових транзисторів, ізоляційні проміжки між високовольтними та низьковольтними колами, а також зручність монтажу і налагодження.

Розроблюваний пристрій побудований на основі схеми імпульсного перетворення напруги з використанням мікросхем керування TL494, силових транзисторних ключів, трансформаторного вузла, випрямних і фільтрувальних елементів, вузлів індикації, сигналізації та охолодження. Друкований вузол виконується на двосторонній платі з вивідним наскрізним монтажем, що є

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 7 |

доцільним для силового пристрою з трансформатором, запобіжником, роз'ємами, електролітичними конденсаторами та силовими транзисторами.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем із підготовкою електричної принципової схеми, друкованої плати та комплексу конструкторської документації засобами автоматизованого проєктування.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати призначення та вимоги до інвертора 12-220 В для інформаційно-комунікаційних систем;
- розробити структурну схему пристрою та визначити призначення його основних функціональних вузлів;
- описати роботу електричної принципової схеми інвертора;
- виконати розрахунок основних вузлів і параметрів роботи пристрою;
- обґрунтувати вибір елементної бази з урахуванням силового характеру схеми та вивідного монтажу;
- виконати компоновання друкованого вузла, вибрати матеріал плати, клас точності та конструктивні параметри друкованого монтажу;
- провести розрахунок надійності проєктованого виробу;
- розробити друковану плату та конструкторську документацію в середовищі Altium Designer;
- розглянути питання безпеки життєдіяльності та охорони праці під час налагодження і перевірки інвертора.

Об'єктом розробки є процес перетворення постійної напруги 12 В у змінну напругу 220 В для живлення малопотужного інформаційно-комунікаційного обладнання.

Предметом розробки є апаратна частина інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт, реалізована на основі мікросхем керування, силових транзисторів,

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата | | 8 |

трансформаторного вузла та двосторонньої друкованої плати з вивідним наскрізним монтажем.

Під час виконання кваліфікаційної роботи використано засоби автоматизованого проєктування Altium Designer. У цьому середовищі виконано створення та перевірку бібліотечних компонентів, розроблення електричної принципової схеми, розміщення елементів на друкованій платі, трасування провідників, перевірку правил проєктування та підготовку графічної частини роботи.

Практичне значення роботи полягає у створенні конструктивної основи інвертора, який може використовуватись для резервного живлення малопотужних інформаційно-комунікаційних пристроїв від акумуляторного джерела. Отримані результати можуть бути використані для подальшого виготовлення дослідного зразка, налагодження пристрою та вдосконалення його конструкції з урахуванням теплового режиму, електричної безпеки та умов експлуатації.

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 9 |

1. ОСНОВНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз технічного завдання

| | |
|-----------------------------------------------|------------------------|
| Вхідна напруга..... | 12 В постійного струму |
| Вихідна напруга..... | 220 В змінного струму |
| Номінальна вихідна потужність | 200 Вт |
| вхідний струм при номінальній потужності..... | до 23,5 А |
| Захист вхідного кола | Плавкий запобіжник |
| Охолодження | Вентилятор |
| Габаритні розміри друкованої плати..... | 180x117,5 мм |

Технічне завдання на кваліфікаційну роботу передбачає розробку інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем. Пристрій призначений для перетворення постійної напруги акумуляторного джерела 12 В у змінну напругу 220 В, яка може використовуватись для живлення малопотужного обладнання зв'язку, мережевих пристроїв, систем моніторингу, охоронних засобів та іншої електронної апаратури.

Основна увага під час виконання роботи приділяється розробці апаратної частини інвертора. До складу роботи входить аналіз електричної принципової схеми, визначення основних функціональних вузлів, вибір і обґрунтування елементної бази, компоновання друкованого вузла, розрахунок параметрів друкованого монтажу та підготовка конструкторської документації засобами Altium Designer.

Розроблюваний інвертор має силову структуру, у якій можна виділити декілька основних частин: вхідне коло живлення 12 В, вузол захисту, схему керування, драйверні каскади, силові транзисторні ключі, трансформаторний вузол, вихідну високовольтну частину, кола фільтрації, індикації, сигналізації та охолодження. Такий поділ є зручним для аналізу роботи пристрою,

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 10 |

оскільки кожна частина виконує окрему функцію у процесі перетворення напруги.

Вхідне коло інвертора призначене для підключення акумуляторного джерела живлення. Оскільки потужність пристрою становить 200 Вт, у колі 12 В протікає значний струм. Через це під час проектування потрібно враховувати ширину силових провідників, якість контактних з'єднань, наявність запобіжника та правильність розміщення елементів силової частини. Недостатня ширина провідників або слабкий контакт у такому колі може призвести до нагрівання, втрат напруги або пошкодження друкованої плати.

Керування роботою інвертора виконується на основі мікросхем TL494. Ці мікросхеми формують керуючі імпульси для транзисторних каскадів і забезпечують роботу силової частини в імпульсному режимі. Використання спеціалізованого контролера є доцільним, оскільки він дозволяє стабільно керувати процесом перетворення напруги та зменшує кількість окремих дискретних елементів у схемі керування.

Силова частина інвертора побудована на транзисторних ключах і трансформаторному вузлі. Транзистори працюють у ключовому режимі та забезпечують перетворення енергії джерела 12 В в імпульсний сигнал, який подається на трансформатор. Трансформатор виконує підвищення напруги та є одним із найбільш габаритних елементів пристрою. Тому під час компонування друкованої плати для нього потрібно передбачити достатню площу, надійне кріплення та короткі силові з'єднання з транзисторними ключами.

Вихідна частина пристрою формує напругу 220 В для підключення навантаження. Ця ділянка є найбільш відповідальною з точки зору електробезпеки, оскільки працює з напругою, небезпечною для людини. Тому під час розробки плати необхідно передбачити збільшені ізоляційні зазори між високовольтними провідниками, а також між вихідною частиною та низьковольтними колами 12 В. Вихідні роз'єми потрібно розміщувати біля

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 11 |

краю плати, щоб забезпечити зручне і безпечне підключення зовнішнього навантаження.

У технічному завданні також враховано необхідність індикації, сигналізації та охолодження. Світлодіодні елементи і звуковий сигналізатор використовуються для повідомлення про робочі або аварійні стани пристрою. Вентилятор призначений для примусового охолодження силових елементів, оскільки транзистори, трансформатор і провідники силової частини можуть нагріватися під час роботи інвертора під навантаженням.

Елементна база пристрою виконується у вивідному наскрізному монтажі. Такий варіант є доцільним для силового інвертора, тому що в схемі використано трансформатор, електролітичні конденсатори, силові транзистори, запобіжник, діоди, роз'єми та інші елементи з відносно великими виводами. Вивідний монтаж забезпечує достатню механічну міцність, полегшує ручне складання, спрощує перевірку паяних з'єднань і дає можливість легше замінити елемент у разі несправності.

З конструктивної точки зору інвертор реалізується на двосторонній друкованій платі з металізованими монтажними та перехідними отворами. Використання двох провідникових шарів дає змогу зменшити кількість перемичок, раціонально розвести силові та сигнальні кола, скоротити довжину окремих з'єднань і покращити компоновання елементів. Для основи плати прийнято фольгований склотекстоліт FR-4 товщиною 1,5 мм із мідною фольгою 35 мкм.

Для проєктованої плати прийнято 3-й клас точності. Це рішення відповідає складності схеми, оскільки пристрій містить дві мікросхеми керування, значну кількість транзисторів, діодів, пасивних елементів, роз'ємів і металізованих отворів. Прийнятий клас точності дозволяє виконати трасування сигнальних кіл, сформувати контактні площадки для вивідних компонентів і забезпечити потрібні технологічні зазори між провідниками.

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 12 |

Під час аналізу технічного завдання окремо враховано струмове навантаження вхідної частини. При вихідній потужності 200 Вт струм у колі 12 В є значним, тому звичайні вузькі доріжки для таких ділянок не підходять. Для силових кіл потрібно застосовувати збільшену ширину провідників або мідні полігони. Для високовольтної частини, навпаки, основним обмеженням є не струм, а ізоляційна відстань між провідниками.

Габаритні розміри друкованої плати вибрано з урахуванням кількості елементів, наявності трансформатора, роз'ємів, силових транзисторів, електролітичних конденсаторів і необхідності розділення функціональних зон. Для плати прийнято розмір 180×117,5 мм.. Така площа дозволяє розмістити елементи без надмірного ущільнення, забезпечити зручність паяння, прокласти силові провідники потрібної ширини та залишити збільшені зазори у високовольтній частині.

Перед розробкою інвертора доцільно розглянути типові рішення, які виконують перетворення напруги 12-220 В. Це дозволяє визначити переваги й недоліки готових пристроїв, а також обґрунтувати потребу у власній розробці. Для порівняння можна взяти готові автомобільні інвертори, джерела безперебійного живлення з акумулятором 12 В та окремі модулі імпульсних перетворювачів напруги. Аналіз таких рішень дає змогу краще визначити вимоги до схеми, друкованої плати, охолодження, захисту та безпечного підключення навантаження.

Перед розробкою інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт доцільно розглянути готові пристрої, які виконують подібну функцію перетворення напруги. Це дає змогу оцінити типові схемотехнічні та конструктивні рішення, визначити їхні переваги й недоліки, а також обґрунтувати доцільність власної розробки. Для порівняння обрано малопотужні автомобільні та побутові інвертори, які працюють від акумуляторного джерела 12 В і формують вихідну напругу 220-230 В.

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 13 |



Рисунок 1.1 - Автомобільний інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт

Автомобільний інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт є найближчим аналогом до розроблюваного пристрою за входною напругою та номінальною потужністю. Такі інвертори зазвичай використовуються для живлення невеликих електронних пристроїв від автомобільного акумулятора або іншого джерела постійної напруги 12 В. Їх перевагою є компактність, просте підключення, наявність готового корпусу, вбудованого охолодження та захисту від перевантаження. Недоліком є те, що більшість таких пристроїв має закриту конструкцію, тому користувач не має доступу до повної електричної схеми, друкованої плати та принципів побудови силової частини. Через це такий виріб зручно експлуатувати, але складно використовувати для аналізу й подальшого конструктивного доопрацювання.



Рисунок 1.2 - Інвертор Green Cell Pro 12 В / 230 В

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата | | 14 |

Інвертор Green Cell Pro 12 В / 230 В належить до готових перетворювачів напруги для живлення побутових і допоміжних електронних пристроїв від акумулятора. Він має більшу потужність, ніж розроблюваний пристрій, і може працювати з ширшим переліком навантажень. До переваг такого рішення можна віднести готове конструктивне виконання, наявність корпусу, захисних функцій, охолодження та зручних вихідних роз'ємів. Водночас для кваліфікаційної роботи такий варіант є менш зручним як об'єкт розробки, оскільки його схема, елементна база і друкована плата вже визначені виробником. Крім того, більша потужність ускладнює силову частину та робить конструкцію дорожчою і габаритнішою, ніж потрібно для інвертора на 200 Вт.



Рисунок 1.3 - Інвертор Volt Polska IPS-300 12 В / 230 В

Volt Polska IPS-300 є прикладом компактного інвертора для перетворення напруги 12 В у 230 В. Він орієнтований на живлення невеликих споживачів і може використовуватися в автомобілі, у резервних системах або як допоміжне джерело змінної напруги. Його перевагою є невеликі габарити, простота підключення та готовність до експлуатації без додаткового налаштування. Недоліком є обмежена потужність і відсутність відкритої

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 15 |

конструкторської документації. Також готовий корпус не дозволяє оцінити реальні параметри друкованого монтажу, ширину силових провідників, ізоляційні проміжки між ділянками плати та спосіб організації тепловідведення.



Рисунок 1.4 - Джерело безперебійного живлення з акумулятором 12 В

Джерело безперебійного живлення також можна розглядати як аналог за функціональним призначенням, оскільки воно забезпечує резервне живлення обладнання від акумулятора. Такі пристрої часто застосовуються для комп'ютерної техніки, мережевого обладнання, систем відеоспостереження та засобів зв'язку. Їх перевагою є наявність акумуляторного вузла, зарядного пристрою, автоматичного перемикачів режимів і готових захисних функцій. Однак джерело безперебійного живлення є складнішим пристроєм, ніж окремий інвертор. Воно має більші габарити, складнішу електричну схему і не завжди є зручним для використання як окремий компактний перетворювач 12-220 В. Для поставленого завдання доцільніше розробляти саме інвертор, а не повну систему безперебійного живлення.

Аналіз розглянутих аналогів показує, що готові інвертори та джерела безперебійного живлення добре підходять для практичного використання, але мають обмеження з погляду навчального проектування. Основним недоліком готових виробів є закрита конструкція, відсутність повного доступу до схеми,

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 16 |

друкованої плати та параметрів монтажу. У межах кваліфікаційної роботи важливо не тільки отримати готовий пристрій, а й самостійно проаналізувати його структуру, обґрунтувати вибір елементної бази, виконати компоновання друкованої плати, розрахувати параметри силових провідників і врахувати електробезпеку вихідної частини 220 В.

Тому розробка власного інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт є доцільною. Такий пристрій відповідає заданій темі, має зрозумілу структуру, може бути реалізований на вивідних компонентах наскрізного монтажу та дозволяє підготувати повний комплект конструкторської документації. Крім того, власна розробка дає можливість окремо врахувати особливості силової частини, ширину провідників у колі 12 В, ізоляційні проміжки у високовольтній зоні, тепловий режим силових транзисторів і зручність подальшого налагодження.

1.2 Розробка структурної схеми пристрою

Структурна схема інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт розробляється для відображення загальної побудови пристрою та взаємодії його основних функціональних вузлів. На цьому етапі розглядається не детальне електричне з'єднання кожного елемента, а поділ інвертора на окремі блоки, які виконують визначені функції у процесі перетворення постійної напруги 12 В у змінну напругу 220 В.

Структурну схему інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт наведено на рисунку 1.5.

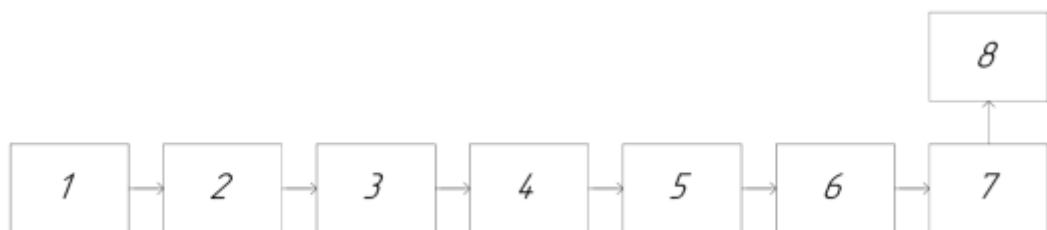


Рисунок 1.5 - Структурна схема інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата | | 17 |

На структурній схемі використано такі позначення:

- 1 - акумуляторне джерело 12 В;
- 2 - вхідний вузол живлення та захисту;
- 3 - вузол керування на TL494;
- 4 - драйверні та узгоджувальні каскади;
- 5 - силова частина на транзисторних ключах;
- 6 - трансформаторний вузол;
- 7 - вихідний вузол формування напруги 220 В;
- 8 - вузол індикації, сигналізації та охолодження

Блок 1 є джерелом живлення інвертора. У цьому випадку використовується акумуляторне джерело постійної напруги 12 В. Такий варіант живлення є зручним для резервних систем, оскільки акумулятори на 12 В широко застосовуються у засобах зв'язку, охоронних системах, автомобільній електроніці та автономних електронних пристроях.

Блок 2 виконує функцію вхідного вузла живлення та захисту. До нього належать вхідний роз'єм, запобіжник, комутаційний елемент і фільтрувальні конденсатори. Цей вузол забезпечує підключення джерела 12 В до схеми інвертора, захист від аварійного струму та первинну фільтрацію напруги. Оскільки у вхідному колі при потужності 200 Вт протікає значний струм, цей блок є одним із найбільш відповідальних у пристрої.

Блок 3 є вузлом керування, побудованим на мікросхемах TL494. Він формує керуючі імпульси, які задають режим роботи силової частини інвертора. Саме цей вузол визначає послідовність перемикання транзисторних ключів і забезпечує роботу перетворювача в імпульсному режимі.

Блок 4 містить драйверні та узгоджувальні каскади. Їх призначення полягає у підсиленні та узгодженні сигналів, які надходять від вузла керування до силових транзисторів. Завдяки цьому забезпечується правильне відкривання і закриття транзисторних ключів, а виходи мікросхем TL494 не перевантажуються.

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 18 |

Блок 5 є силовою частиною інвертора. У ньому розміщуються транзисторні ключі, які працюють у режимі перемикання та перетворюють енергію джерела 12 В в імпульсний сигнал. Через ці елементи проходить значний струм, тому під час проєктування друкованої плати для цього вузла потрібно передбачити широкі провідники, мідні полігони та мінімальну довжину силових з'єднань.

Блок 6 є трансформаторним вузлом. Він забезпечує підвищення напруги та передавання енергії від низьковольтної силової частини до вихідної частини інвертора. Трансформатор є габаритним елементом, тому його розміщення суттєво впливає на компоновання друкованої плати. З'єднання між силовими ключами та трансформатором мають бути короткими, щоб зменшити втрати та нагрівання.

Блок 7 відповідає за формування вихідної напруги 220 В. До нього належать елементи вихідного каскаду, випрямлення, фільтрації та вихідні кола для підключення навантаження. Ця частина є високовольтною, тому під час проєктування потрібно забезпечити збільшені ізоляційні проміжки між провідниками та відокремити її від низьковольтної частини 12 В.

Блок 8 об'єднує допоміжні вузли індикації, сигналізації та охолодження. Світлодіодні індикатори й звуковий сигналізатор дають змогу контролювати стан роботи пристрою. Вентилятор використовується для примусового охолодження силових елементів, оскільки транзистори, трансформатор і частина вихідного каскаду можуть нагріватися під час роботи під навантаженням.

У загальному вигляді робота інвертора відбувається так. Напруга 12 В від акумуляторного джерела надходить на вхідний вузол живлення та захисту. Після цього енергія подається на силову частину, роботою якої керує вузол на TL494 через драйверні каскади. Силові транзистори формують імпульсний режим роботи трансформатора, а трансформаторний вузол підвищує напругу.

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 19 |

Далі у вихідному вузлі формується напруга 220 В, яка через вихідні кола може подаватися на навантаження.

Прийнята структурна схема є зручною для подальшого проектування електричної принципової схеми та друкованої плати. Вона дозволяє розділити інвертор на низьковольтну вхідну частину, вузол керування, силовий каскад, трансформаторний вузол, високовольтну вихідну частину та допоміжні вузли. Такий поділ полегшує вибір елементної бази, компоновання плати, розрахунок силових провідників і визначення ізоляційних зазорів між небезпечними ділянками.

1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою

1.3.1 Опис електричної принципової схеми

Електрична принципова схема інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт розроблена з урахуванням його призначення як пристрою для перетворення постійної напруги акумуляторного джерела 12 В у змінну напругу 220 В. Схема містить вхідне коло живлення, вузол керування, драйверні каскади, силову частину, трансформаторний вузол, вихідну високовольтну частину, елементи індикації, сигналізації та охолодження.

Схему електричну принципову інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт наведено на рисунку 1.6.

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 20 |

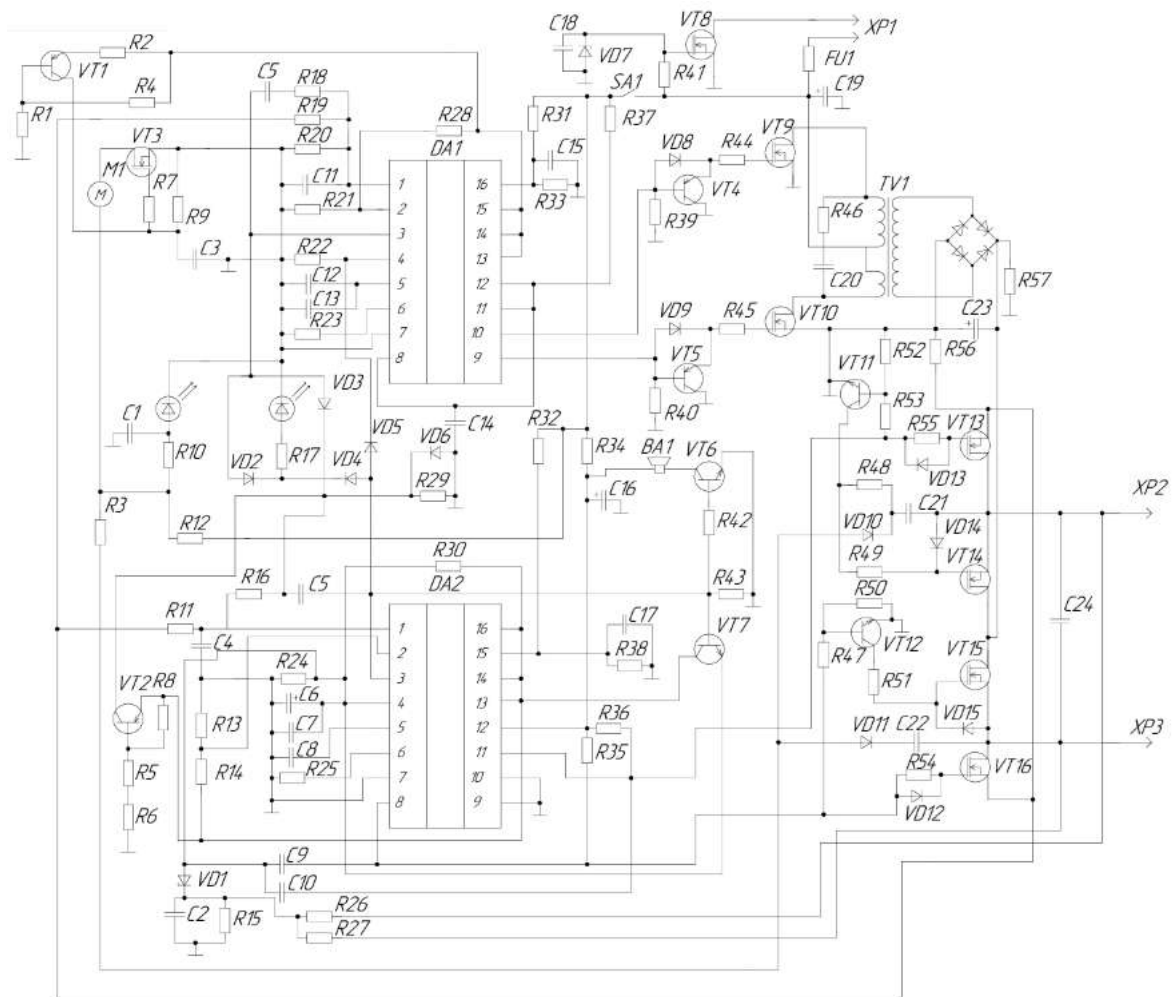


Рисунок 1.6 - Схема електрична принципова інвертора 12-220 В
потужністю 200 Вт

Вхідне коло живлення призначене для підключення акумуляторного джерела постійної напруги 12 В. До цього вузла належать вхідний роз'єм XP1, запобіжник FU1, вимикач SA1 та фільтрувальні конденсатори. Запобіжник використовується для захисту пристрою від аварійного струму у разі короткого замикання або несправності в силовій частині. Вимикач SA1 забезпечує ручне вмикання і вимикання інвертора, а конденсатори зменшують пульсації та завади у колі живлення.

Керування роботою інвертора виконується на мікросхемах DA1 і DA2 типу TL494. Ці мікросхеми є основними елементами вузла керування. Вони формують керуючі імпульси, які задають режим перемикання силових

транзисторів. За допомогою зовнішніх резисторів і конденсаторів встановлюються необхідні режими роботи генератора, частота імпульсів, умови запуску та стабілізації роботи схеми.

Навколо мікросхем TL494 розміщено резистивно-конденсаторні кола, які забезпечують правильну роботу вузла керування. Резистори задають робочі режими окремих входів і виходів мікросхем, а конденсатори виконують фільтрацію, формування часових параметрів і зменшення впливу імпульсних завад. Така побудова дає змогу отримати стабільні керуючі сигнали для подальшого керування силовою частиною.

Після вузла керування сигнали надходять на драйверні та узгоджувальні каскади. Вони виконані на малопотужних транзисторах, резисторах і діодах. Призначення цих каскадів полягає у підсиленні керуючих сигналів, узгодженні рівнів і забезпеченні правильного перемикання силових транзисторів. Завдяки цьому мікросхеми TL494 не навантажуються безпосередньо силовою частиною, а силові ключі отримують сигнали потрібної форми та рівня.

Силова низьковольтна частина інвертора побудована на транзисторних ключах. Вони працюють у ключовому режимі та періодично підключають обмотки трансформатора до джерела живлення 12 В. У цьому вузлі протікають найбільші струми, тому саме силова частина є найбільш відповідальною з точки зору нагрівання, падіння напруги на провідниках і надійності контактних з'єднань.

Трансформатор TV1 виконує підвищення напруги та передавання енергії від низьковольтної частини до високовольтної. Він є одним із головних елементів інвертора, оскільки саме за його допомогою напруга, сформована силовими ключами, перетворюється до рівня, необхідного для подальшого формування вихідної напруги 220 В. Через значне струмове навантаження зв'язки між силовими транзисторами та трансформатором повинні бути короткими й виконаними провідниками збільшеної ширини.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 22 |

Вихідна частина схеми містить випрямні діоди, фільтрувальні конденсатори, вихідні транзисторні елементи та роз'єми для підключення навантаження. Діоди VD10-VD19 беруть участь у випрямленні та формуванні напруги у високовольтній частині. Конденсатори C19-C24 використовуються для згладжування пульсацій і стабілізації вихідної напруги. Резисторні елементи у цій частині виконують допоміжні функції, пов'язані з розрядом конденсаторів, формуванням режимів роботи або обмеженням струму в окремих ділянках.

Вихідна напруга подається на роз'єми XP2 і XP3. Через ці роз'єми до інвертора може підключатися зовнішнє навантаження. Оскільки ця частина працює з напругою 220 В, вона потребує підвищеної уваги під час проєктування друкованої плати. Провідники високовольтної частини необхідно розміщувати з більшими ізоляційними проміжками, а саму вихідну зону бажано відокремлювати від низьковольтних кіл 12 В.

У схемі також передбачено вузол індикації та сигналізації. Світлодіоди HL1 і HL2 використовуються для візуального відображення стану роботи пристрою. Звуковий сигналізатор BA1 може застосовуватися для повідомлення про певний режим роботи або аварійний стан. Наявність таких елементів робить пристрій зручнішим під час перевірки, налагодження та експлуатації.

Для підтримання нормального теплового режиму в інверторі передбачено вентилятор M1. Він використовується для примусового охолодження силових елементів, які можуть нагріватися під час роботи під навантаженням. Найбільше теплове навантаження припадає на силові транзистори, трансформаторний вузол, діоди вихідної частини та провідники вхідного кола 12 В.

Таким чином, електрична принципова схема інвертора має послідовну функціональну побудову. Напруга 12 В подається на вхідний вузол живлення та захисту, після чого силова частина під керуванням мікросхем TL494

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 23 |

формує імпульсний режим роботи трансформатора. Трансформатор підвищує напругу, а вихідний вузол виконує її подальше формування та подавання на навантаження. Допоміжні вузли індикації, сигналізації та охолодження забезпечують контроль стану пристрою і підтримання допустимого режиму роботи.

Прийнята схемотехнічна побудова відповідає призначенню інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт. Вона дає змогу реалізувати перетворення напруги, забезпечити керування силовими транзисторами, організувати захист вхідного кола, сформувати вихідну напругу 220 В і передбачити допоміжні функції контролю та охолодження.

1.3.2 Розрахунок вузла електричної принципової схеми пристрою

Для розрахунку вибрано силовий вузол інвертора, оскільки саме він визначає основні електричні навантаження пристрою. До цього вузла належать вхідна частина 12 В, силові транзисторні ключі, трансформаторний каскад і вихідна частина 220 В. Розрахунок потрібний для перевірки струмів у вхідному та вихідному колах, запасу за струмом силових транзисторів, вибору допустимих напруг для елементів високовольтної частини та оцінки навантаження на трансформатор.

Вихідними даними для розрахунку є номінальна вихідна потужність інвертора 200 Вт, вхідна напруга 12 В та вихідна напруга 220 В. Коефіцієнт корисної дії для орієнтовного розрахунку приймаємо 0,85. Таке значення враховує втрати у транзисторних ключах, трансформаторі, випрямних елементах і провідниках друкованої плати.

Спочатку визначимо потужність, яку інвертор споживає від акумуляторного джерела. Вона більша за вихідну потужність, оскільки частина енергії втрачається у силових елементах схеми. Потужність на вході визначається за формулою:

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 24 |

$$P_{вх} = P_{вих} / \eta \quad (1.1)$$

де, $P_{вх}$ - потужність, яка споживається від джерела живлення, Вт;

$P_{вих}$ - вихідна потужність інвертора, Вт;

η - коефіцієнт корисної дії інвертора.

$$P_{вх} = 200 / 0,85 = 235,3 \text{ Вт}$$

За результатами, при вихідній потужності 200 Вт інвертор орієнтовно споживає від джерела 12 В потужність 235,3 Вт. Це значення потрібно враховувати при виборі джерела живлення, вхідних з'єднань і параметрів силових провідників на друкованій платі.

Вхідний струм інвертора визначається за законом потужності для кола постійного струму:

$$I_{вх} = P_{вх} / U_{вх} \quad (1.2)$$

де $I_{вх}$ - вхідний струм інвертора, А;

$U_{вх}$ - напруга акумуляторного джерела, В.

$$I_{вх} = 235,3 / 12 = 19,6 \text{ А}$$

Отримане значення показує, що вхідна частина інвертора працює з підвищеним струмом. Для розрахунку силових елементів і провідників приймаємо запас за струмом 20 %. Розрахунковий струм визначається за формулою:

$$I_{розр} = 1,2 \cdot I_{вх} \quad (1.3)$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата | | 25 |

$$I_{розр} = 1,2 \cdot 19,6 = 23,5 \text{ А}$$

Таким чином, вхідну силову частину інвертора доцільно розраховувати на струм не менше 23,5 А. Саме тому у колі 12 В не можна використовувати вузькі друковані провідники. Ділянки від вхідного роз'єму, запобіжника, силових транзисторів і трансформатора повинні виконуватися широкими провідниками або мідними полігонами.

Далі визначимо струм у вихідному колі інвертора при номінальній потужності. Вихідний струм для навантаження 220 В визначається за формулою:

$$I_{вих} = P_{вих} / U_{вих} \quad (1.4)$$

де $I_{вих}$ - вихідний струм інвертора, А;

$U_{вих}$ - вихідна напруга, В.

$$I_{вих} = 200 / 220 = 0,91 \text{ А}$$

З урахуванням запасу 20 % розрахунковий струм вихідного кола становить:

$$I_{вих.розр} = 1,2 \cdot I_{вих} \quad (1.5)$$

$$I_{вих.розр} = 1,2 \cdot 0,91 = 1,09 \text{ А}$$

Отже, вихідне коло 220 В має значно менший струм, ніж вхідне коло 12 В. Для цієї частини основним обмеженням є не струм, а електробезпека та достатні ізоляційні відстані між провідниками.

Еквівалентний опір навантаження при номінальній потужності можна

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 26 |

визначити за формулою:

$$R_H = U_{вих}^2 / P_{вих} \quad (1.6)$$

де R_H - еквівалентний опір навантаження, Ом.

$$R_H = 220^2 / 200 = 242 \text{ Ом}$$

Отримане значення є орієнтовним опором навантаження, при якому інвертор віддає потужність 200 Вт. У реальних умовах навантаження може мати інший характер, тому під час налагодження пристрою потрібно враховувати не тільки активну складову, але й можливу реактивність підключених споживачів.

Перевіримо запас за струмом для силових транзисторів низьковольтної частини. У схемі застосовуються транзисторні ключі типу 75NF75, які за маркуванням розраховані на значний струм у порівнянні з розрахунковим струмом інвертора. Коефіцієнт запасу за струмом можна оцінити за формулою:

$$K_I = I_{доп} / I_{розр} \quad (1.7)$$

де K_I - коефіцієнт запасу за струмом;

$I_{доп}$ - допустимий струм силового транзистора, А;

$I_{розр}$ - розрахунковий струм вхідної частини, А.

$$K_I = 75 / 23,5 = 3,19$$

Коефіцієнт запасу за струмом більший за 1, тому вибрані силові транзистори мають достатній запас для роботи у складі низьковольтної

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 27 |

частини інвертора. При цьому необхідно враховувати, що фактична допустима потужність транзисторів залежить від тепловідведення, режиму перемикання та умов охолодження.

Для трансформаторного вузла важливо врахувати не тільки вихідну потужність, але й запас за навантаженням. Орієнтовну необхідну потужність трансформатора приймаємо з коефіцієнтом запасу 1,2:

$$S_{\text{тр}} = 1,2 \cdot P_{\text{вих}} \quad (1.8)$$

$$S_{\text{тр}} = 1,2 \cdot 200 = 240 \text{ ВА}$$

Отже, трансформаторний вузол повинен бути розрахований приблизно на 240 ВА. Такий запас потрібний для зменшення перегріву, компенсації втрат і забезпечення роботи інвертора при короткочасних змінах навантаження.

Оскільки у вихідній частині формується змінна напруга 220 В, необхідно перевірити амплітудне значення цієї напруги. Воно визначається за формулою:

$$U_{\text{мах}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{вих}} \quad (1.9)$$

$$U_{\text{мах}} = 1,414 \cdot 220 = 311 \text{ В}$$

Амплітудне значення вихідної напруги становить приблизно 311 В. Через це у високовольтній частині потрібно застосовувати конденсатори та інші елементи з робочою напругою не меншою за це значення. У схемі використовуються конденсатори на 400 В та 630 В, що забезпечує необхідний запас за напругою.

Коефіцієнт запасу за напругою для конденсатора з робочою напругою 400 В визначається за формулою:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата | | 28 |

$$KU = U_{ном} / U_{max} \quad (1.10)$$

де KU - коефіцієнт запасу за напругою;

$U_{ном}$ - номінальна робоча напруга конденсатора, В.

$$KU = 400 / 311 = 1,29$$

Для конденсатора з робочою напругою 630 В запас буде ще більшим:

$$KU = 630 / 311 = 2,03$$

За результатами, вибрані високовольтні конденсатори мають достатній запас за напругою для роботи у вихідній частині інвертора. Це важливо для підвищення надійності, оскільки конденсатори у високовольтному вузлі працюють у режимі підвищеної напруги та можуть нагріватися під час тривалої роботи.

За результатами розрахунку встановлено, що найбільш навантаженою ділянкою інвертора є вхідна частина 12 В, у якій розрахунковий струм з урахуванням запасу становить 23,5 А. Вихідне коло при потужності 200 Вт має струм близько 0,91 А, але потребує збільшених ізоляційних проміжків через напругу 220 В. Силові транзистори мають достатній запас за струмом, а високовольтні конденсатори мають необхідний запас за робочою напругою.

Виконані розрахунки підтверджують правильність прийнятих схемотехнічних рішень і показують, що під час подальшого компонування друкованої плати основну увагу потрібно приділити силовим провідникам 12 В, тепловідведенню від транзисторів і трансформатора, а також електричному розділенню високовольтної та низьковольтної частин пристрою.

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 29 |

1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

1.4.1 Опис принципу роботи інвертора

Інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт призначений для перетворення постійної напруги акумуляторного джерела 12 В у змінну напругу 220 В. Принцип роботи пристрою ґрунтується на імпульсному перетворенні енергії з подальшим підвищенням напруги за допомогою трансформаторного вузла та формуванням вихідної напруги для живлення зовнішнього навантаження.

Після підключення акумуляторного джерела напруга 12 В подається на вхідний вузол живлення інвертора. У цьому вузлі розміщено вхідний роз'єм XP1, запобіжник FU1, вимикач SA1 та фільтрувальні елементи. Запобіжник захищає схему від аварійного струму у випадку короткого замикання або несправності силової частини. Вимикач SA1 використовується для ручного вмикання та вимикання пристрою. Фільтрувальні конденсатори зменшують пульсації та імпульсні завади у вхідному колі живлення.

Після проходження вхідного кола живлення напруга надходить до вузла керування та силової частини. Вузол керування побудований на мікросхемах DA1 і DA2 типу TL494. Ці мікросхеми формують імпульсні сигнали, які задають режим роботи транзисторних ключів. За допомогою зовнішніх резисторів і конденсаторів у схемі встановлюються необхідні часові параметри, частота роботи та умови стабільного формування керуючих імпульсів.

Сигнали з мікросхем TL494 не подаються безпосередньо на силову частину, а проходять через драйверні та узгоджувальні каскади. Ці каскади виконують підсилення керуючих сигналів і забезпечують правильне перемикання силових транзисторів. Завдяки цьому виходи мікросхем керування не перевантажуються, а транзисторні ключі отримують сигнали потрібного рівня.

Силова частина інвертора працює у ключовому режимі. Силові

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата | | 30 |

транзистори періодично відкриваються і закриваються під дією керуючих імпульсів, унаслідок чого постійна напруга 12 В перетворюється в імпульсний сигнал. У цьому вузлі протікає найбільший струм, тому для нього важливими є правильний вибір силових транзисторів, достатня ширина провідників, надійне паяння та забезпечення тепловідведення.

Імпульсний сигнал із силової частини подається на трансформатор TV1. Трансформатор виконує підвищення напруги та передає енергію від низьковольтної частини до високовольтної. Він є одним із головних елементів схеми, оскільки саме через нього відбувається перехід від рівня 12 В до напруги, необхідної для формування вихідної напруги 220 В.

Після трансформаторного вузла напруга надходить у вихідну частину схеми. У ній використовуються випрямні діоди, фільтрувальні конденсатори, резистивні елементи та вихідні каскади. Діоди забезпечують необхідне перетворення імпульсної напруги, а конденсатори згладжують пульсації та беруть участь у формуванні стабільнішої вихідної напруги. Далі напруга подається на вихідні роз'єми XP2 і XP3, до яких може підключатися зовнішнє навантаження.

Вихідна частина інвертора працює з напругою 220 В, тому вона є найбільш відповідальною з погляду електробезпеки. Під час розробки друкованої плати цю зону потрібно відокремлювати від низьковольтних кіл 12 В і передбачати збільшені зазори між струмоведучими частинами. Таке рішення зменшує ризик пробою, короткого замикання та випадкового впливу високої напруги на інші ділянки схеми.

У схемі передбачено вузол індикації та сигналізації. Світлодіоди HL1 і HL2 використовуються для візуального контролю стану роботи інвертора. Звуковий сигналізатор BA1 може повідомляти про окремий режим роботи або несправність. Наявність таких елементів спрощує перевірку пристрою під час налагодження та робить експлуатацію зручнішою.

Для підтримання нормального теплового режиму використовується

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата | | 31 |

вентилятор M1. Під час роботи під навантаженням нагріватися можуть силові транзистори, трансформатор, діоди та провідники силової частини. Примусове охолодження дозволяє зменшити температуру цих елементів і підвищити надійність роботи інвертора.

Отже, робота інвертора відбувається послідовно: напруга 12 В подається на вхідний вузол живлення та захисту, далі вузол керування на TL494 формує керуючі імпульси, драйверні каскади передають їх на силові транзистори, а силова частина створює імпульсний режим роботи трансформатора. Трансформатор підвищує напругу, після чого вихідний вузол формує напругу 220 В для підключення навантаження. Допоміжні вузли індикації, сигналізації та охолодження забезпечують контроль стану пристрою і підтримання допустимих умов роботи.

Такий принцип роботи відповідає призначенню інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт. Схема дозволяє отримати вихідну напругу для живлення малопотужного інформаційно-комунікаційного обладнання від акумуляторного джерела, а також враховує необхідність захисту, контролю стану та охолодження силових елементів.

1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Вибір елементної бази інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт виконано з урахуванням призначення пристрою, режимів роботи електричної схеми, струмового навантаження вхідної частини, наявності вихідної напруги 220 В та конструктивного виконання друкованого вузла. Оскільки інвертор належить до силових електронних пристроїв, основну увагу під час вибору компонентів потрібно приділяти допустимим струмам, напрузі, тепловому режиму, механічній міцності виводів і зручності монтажу.

Елементна база проєктованого інвертора виконана переважно у вивідному наскрізному монтажі. Такий спосіб монтажу є доцільним для даного пристрою, оскільки в схемі застосовуються габаритні та силові

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 32 |

елементи: трансформатор, електролітичні конденсатори, запобіжник, силові транзистори, діоди, роз'єми, вентилятор і звуковий сигналізатор. Вивідні компоненти простіше встановлювати вручну, вони краще витримують механічне навантаження та зручніші для перевірки і заміни під час налагодження.

Основним вузлом керування інвертора є мікросхеми DA1 і DA2 типу TL494. Їх вибір пояснюється тим, що TL494 є спеціалізованою мікросхемою для побудови імпульсних перетворювачів напруги. Вона дозволяє формувати керуючі імпульси для силових каскадів, задавати частоту роботи, організувати стабільне керування транзисторними ключами та реалізувати потрібні режими перетворення. Корпус DIP-16 зручний для наскрізного монтажу і добре підходить для навчального проєктування та ручного складання плати.

Для формування режимів роботи мікросхем TL494 у схемі використано резистори та конденсатори. Резистори задають робочі струми, рівні сигналів, режими окремих входів і виходів, а конденсатори використовуються для фільтрації, розв'язки живлення та формування часових параметрів. У схемі застосовано значну кількість резисторів різних номіналів, що дозволяє забезпечити потрібні режими роботи вузла керування, драйверних каскадів і вихідної частини.

Конденсатори в інверторі виконують декілька функцій. Керамічні та плівкові конденсатори використовуються для фільтрації високочастотних завад, згладжування імпульсних процесів і стабілізації роботи мікросхем керування. Електролітичні конденсатори застосовуються у колах живлення та вихідній частині, де потрібно накопичувати енергію і зменшувати пульсації напруги. Для таких ділянок важливо враховувати не тільки ємність, але й допустиму робочу напругу конденсатора, особливо у високовольтній частині інвертора.

У драйверних і допоміжних каскадах використано малопотужні транзистори. Вони потрібні для підсилення сигналів, узгодження рівнів та

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 33 |

керування наступними каскадами схеми. Такі транзистори працюють із меншими струмами, ніж силові ключі, але від їхньої правильної роботи залежить стабільність перемикання силової частини. Застосування дискретних транзисторів у цих вузлах є доцільним, оскільки схема стає зрозумілішою для аналізу, а окремі каскади легше перевіряти під час налагодження.

Силова частина інвертора побудована на потужних транзисторних ключах. У цій частині застосовуються транзистори, які повинні витримувати значний струм у колі 12 В і працювати в ключовому режимі. Для вхідної силової частини це особливо важливо, оскільки при вихідній потужності 200 Вт струм від акумуляторного джерела є достатньо великим. Тому силові транзистори вибираються з урахуванням допустимого струму, напруги, опору відкритого каналу, теплового режиму та можливості встановлення з охолодженням.

Трансформатор TV1 є одним із головних елементів інвертора. Він забезпечує підвищення напруги та передавання енергії від низьковольтної частини до вихідної високовольтної частини. Вибір трансформатора визначається потужністю інвертора, режимом роботи силових ключів, потрібним рівнем вихідної напруги та габаритами друкованого вузла. Оскільки трансформатор має більші розміри і масу порівняно з більшістю інших компонентів, його потрібно розміщувати на платі так, щоб забезпечити механічну стійкість і короткі силові з'єднання.

У схемі використано діоди різного призначення. Малосигнальні діоди застосовуються у колах керування та допоміжних каскадах, де вони забезпечують розділення сигналів, захист окремих переходів або формування потрібних режимів. Потужніші та швидкодіючі діоди використовуються у вихідній частині інвертора, де вони працюють з імпульсними напругами і беруть участь у формуванні вихідної напруги. Для таких діодів важливими параметрами є допустима зворотна напруга, прямий струм і швидкодія.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 34 |

Стабілітрони у схемі виконують захисні та стабілізуючі функції. Вони можуть обмежувати напругу на окремих ділянках схеми та захищати чутливі елементи від перевищення допустимого рівня. Їх застосування підвищує стійкість роботи інвертора, особливо в умовах імпульсних процесів, які характерні для силових перетворювачів напруги.

Для захисту вхідного кола використано плавкий запобіжник FU1. Його наявність є обов'язковою для такого пристрою, оскільки джерело 12 В може віддавати значний струм у разі короткого замикання. Запобіжник розриває коло при аварійному режимі та зменшує ризик пошкодження друкованої плати, силових транзисторів, провідників і акумуляторного джерела. Це особливо важливо для інвертора, у якому силова частина працює з великими струмами.

Роз'єми XP1, XP2 і XP3 забезпечують підключення зовнішніх кіл. Вхідний роз'єм XP1 використовується для підключення акумуляторного джерела 12 В. Вихідні роз'єми XP2 і XP3 призначені для підключення навантаження та зовнішніх вихідних кіл. Для цих елементів важлива механічна міцність, надійність контакту і достатній запас за струмом та напругою. Роз'єми потрібно розміщувати біля краю плати, щоб спростити підключення проводів і зменшити механічне навантаження на друкований вузол.

У схемі передбачено світлодіодну індикацію на елементах HL1 і HL2. Світлодіоди використовуються для візуального контролю стану пристрою. Вони можуть показувати наявність живлення, робочий режим або допоміжні стани під час налагодження. Така індикація є простою, надійною і зручною для користувача, оскільки дозволяє швидко оцінити роботу інвертора без застосування додаткових вимірювальних приладів.

Звуковий сигналізатор BA1 використовується для подавання звукового повідомлення про певний режим роботи або несправність. Його наявність підвищує зручність експлуатації, оскільки користувач може отримати сигнал

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 35 |

про стан пристрою навіть без постійного візуального контролю. Для такого вузла важливо, щоб сигналізатор мав відповідну робочу напругу та не створював надмірного навантаження на схему керування.

Для охолодження силових елементів використовується вентилятор М1. Його застосування є доцільним, оскільки під час роботи під навантаженням нагріватися можуть силові транзистори, трансформатор, діоди та провідники вхідної частини. Примусове охолодження дозволяє зменшити температуру елементів і підвищити надійність роботи інвертора. Особливо це важливо при тривалій роботі пристрою з навантаженням, близьким до номінальної потужності.

Пасивні елементи, такі як резистори та конденсатори, вибираються з урахуванням номіналів, допустимої потужності, робочої напруги та конструктивного виконання. Для малопотужних сигнальних кіл достатні стандартні вивідні резистори, а для силових або вимірювальних ділянок застосовуються елементи з більшим запасом за потужністю. Зокрема, резистор R56 має підвищену потужність, оскільки працює у відповідальнішій частині схеми.

Загалом вибрана елементна база відповідає призначенню інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт. Мікросхеми TL494 забезпечують формування керуючих імпульсів, транзисторні каскади виконують узгодження та силове перемикання, трансформатор забезпечує підвищення напруги, а діоди й конденсатори беруть участь у формуванні вихідної напруги. Запобіжник, індикація, звуковий сигналізатор і вентилятор доповнюють схему захистом, контролем стану та охолодженням.

Прийнята елементна база також добре узгоджується з конструкцією друкованої плати. Вивідний наскрізний монтаж підходить для силового інвертора, оскільки забезпечує надійне кріплення габаритних компонентів і спрощує складання. Двостороння друкована плата з металізованими отворами дозволяє розвести значну кількість з'єднань, а для силових кіл передбачити

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 36 |

широкі провідники або мідні полігони. Це дає змогу реалізувати схему у вигляді друкованого вузла, придатного для виготовлення, перевірки та подальшого налагодження.

1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу

1.5.1 Компоновка друкованого вузла

Компоновка друкованого вузла є важливим етапом розробки інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт. На цьому етапі визначається форма друкованої плати, її габаритні розміри, розташування елементів, розміщення силових і сигнальних кіл, а також положення роз'ємів, трансформатора, транзисторів, конденсаторів та допоміжних вузлів. Від правильності компоновки залежить зручність трасування, надійність роботи пристрою, тепловий режим силових елементів і безпечність експлуатації вихідної частини з напругою 220 В.

Для проєктованого інвертора прийнято двосторонню друковану плату з металізованими монтажними та перехідними отворами. Таке рішення є доцільним, оскільки схема містить значну кількість з'єднань між мікросхемами TL494, драйверними каскадами, силовими транзисторами, трансформатором, діодами, конденсаторами, елементами індикації та роз'ємами. Використання двох провідникових шарів дозволяє зменшити кількість перемичок, скоротити довжину провідників і зручніше розділити низьковольтні та високовольтні ділянки плати.

Друкована плата має прямокутну форму, що є найбільш технологічним варіантом для виготовлення та подальшого встановлення в корпус. Прямокутний контур спрощує механічну обробку, розміщення монтажних отворів і фіксацію друкованого вузла. Габаритні розміри друкованого вузла прийнято 180×117,5 мм, що дає змогу розмістити всі елементи схеми без

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 37 |

надмірного ущільнення. Робоче поле плати дозволяє виділити окремі зони для вхідного живлення, вузла керування, силової частини, трансформатора та вихідних високовольтних кіл.

Елементна база інвертора виконується у вивідному наскрізному монтажі. Усі основні компоненти встановлюються з одного боку плати, а їхні виводи проходять через монтажні отвори і запаюються з протилежного боку. Такий тип монтажу є зручним для силового пристрою, оскільки забезпечує достатню механічну міцність, полегшує ручне складання, спрощує ремонт і дає змогу візуально перевірити якість паяних з'єднань.

Під час компонування друкованого вузла інвертор умовно поділено на декілька функціональних зон. До них належать вхідна частина живлення 12 В, вузол керування на мікросхемах TL494, драйверні каскади, силова частина на транзисторних ключах, трансформаторний вузол, вихідна високовольтна частина, вузол індикації, сигналізації та охолодження. Такий поділ дозволяє логічно розмістити елементи відповідно до їхнього призначення і зменшити небажаний вплив силових кіл на вузли керування.

Вхідний роз'єм XP1, запобіжник FU1, вимикач SA1 та вхідні фільтрувальні конденсатори доцільно розміщувати ближче до краю плати. Це спрощує підключення акумуляторного джерела 12 В і зменшує довжину провідників, по яких протікає найбільший струм. Запобіжник повинен бути доступним для перевірки або заміни, тому його не слід розміщувати в зоні, перекритій габаритними елементами.

Силові транзистори потрібно розміщувати ближче до трансформатора та вхідного силового кола. Таке компонування дозволяє скоротити довжину струмових шляхів і зменшити втрати напруги на друкованих провідниках. Оскільки через силову частину проходить значний струм, провідники у цій зоні повинні мати збільшену ширину або виконуватись у вигляді мідних полігонів. Також потрібно уникати вузьких ділянок у силових колах, оскільки вони можуть нагріватися під час роботи інвертора під навантаженням.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 38 |

Трансформатор TV1 є одним із найбільш габаритних і важких елементів друкованого вузла. Його розміщення впливає не тільки на трасування, але й на механічну стійкість плати. Трансформатор доцільно встановлювати ближче до центральної частини плати або так, щоб навантаження на плату розподілялося рівномірно. З'єднання між трансформатором і силовими транзисторами повинні бути короткими та широкими, оскільки саме в цій частині протікають значні імпульсні струми.

Мікросхеми DA1 і DA2 типу TL494 та елементи їхньої обв'язки потрібно розміщувати окремо від силових транзисторів, трансформатора та високовольтної частини. Таке розділення зменшує вплив імпульсних завад на вузол керування. Резистори та конденсатори, які задають режими роботи мікросхем, бажано розташовувати поблизу відповідних виводів TL494. Це скорочує довжину сигнальних з'єднань і підвищує стабільність роботи вузла керування.

Драйверні та узгоджувальні каскади розміщуються між вузлом керування і силовими транзисторами. Таке положення є логічним, оскільки ці каскади передають сигнали від мікросхем TL494 до силових ключів. Розміщення драйверних елементів поблизу силової частини дозволяє зменшити довжину керуючих ліній до транзисторів, але при цьому їх потрібно відокремити від високовольтної зони.

Вихідну частину інвертора необхідно розміщувати окремою зоною. До неї належать випрямні діоди, фільтрувальні конденсатори, вихідні транзисторні елементи та роз'єми XP2, XP3. Оскільки ця частина працює з напругою 220 В, між її провідниками потрібно передбачати збільшені ізоляційні проміжки. Також бажано, щоб вихідні роз'єми були розташовані біля краю плати, оскільки це спрощує підключення зовнішнього навантаження і зменшує ризик випадкового контакту з іншими елементами.

Особливу увагу під час компонування потрібно приділити розділенню низьковольтної та високовольтної частин. Кола 12 В і кола 220 В не повинні

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 39 |

проходити близько одне до одного. Між цими зонами необхідно залишати вільний простір або збільшені зазори, щоб зменшити ризик пробоя, короткого замикання та взаємного впливу. Таке рішення є важливим не тільки для надійності, але й для електробезпеки пристрою.

Електролітичні конденсатори потрібно розміщувати з урахуванням їхньої полярності, габаритів і робочої напруги. У вхідній частині вони виконують фільтрацію живлення 12 В, а у вихідній частині беруть участь у згладжуванні напруги. Через більшу висоту таких компонентів їх слід розташовувати так, щоб вони не заважали встановленню трансформатора, роз'ємів, вентилятора або інших габаритних елементів.

Світлодіоди HL1 і HL2, а також звуковий сигналізатор ВА1 потрібно розміщувати у зоні, зручній для контролю стану пристрою. Світлодіоди бажано виносити ближче до краю плати або до місця, де вони будуть видимими після встановлення плати в корпус. Звуковий сигналізатор також не повинен перекриватися великими елементами, щоб його сигнал був добре помітним під час роботи.

Вентилятор М1 використовується для охолодження силових елементів. Його розміщення потрібно пов'язувати з розташуванням транзисторів, трансформатора та вихідних діодів, які можуть нагріватися під час роботи. Повітряний потік повинен проходити через найбільш нагріті ділянки плати. При цьому провідники живлення вентилятора не повинні перетинати високовольтну частину або заважати трасуванню силових кіл.

Для кріплення друкованого вузла передбачаються монтажні отвори. Їх потрібно розміщувати так, щоб плата надійно фіксувалася в корпусі і не прогиналася під масою габаритних компонентів. Зони навколо монтажних отворів повинні бути вільними від провідників, особливо від силових і високовольтних кіл. Це зменшує ризик пошкодження провідникового рисунка під час встановлення плати.

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 40 |

У процесі компоновання враховано технологічність складання. Між елементами залишаються проміжки, достатні для встановлення, паяння та перевірки. Роз'єми, запобіжник, вимикач, світлодіоди й елементи, до яких може знадобитися доступ під час експлуатації або налагодження, розміщуються у більш доступних місцях. Габаритні компоненти не повинні перекривати дрібні елементи, які можуть потребувати перевірки або заміни.

Таким чином, компоновання друкованого вузла інвертора виконано з урахуванням його силового призначення, вивідного монтажу, наявності низьковольтної частини 12 В і високовольтної частини 220 В. Основні силові елементи розміщуються так, щоб скоротити довжину струмових шляхів, а вузол керування відокремлюється від джерел імпульсних завад. Вихідна частина виділяється в окрему зону з підвищеними ізоляційними проміжками. Прийняті рішення забезпечують зручність трасування, надійність роботи, можливість ручного монтажу та безпечніші умови подальшої експлуатації пристрою.

1.5.2 Розрахунок надійності проєктованого виробу

Надійність проєктованого інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт визначає його здатність виконувати задані функції протягом певного часу без відмов. Для такого пристрою надійність залежить від кількості елементів, режимів їх роботи, якості монтажу, температурного режиму, струмового навантаження силових кіл і умов експлуатації.

Розрахунок надійності виконується орієнтовним методом за інтенсивностями відмов елементів. При цьому приймається, що відмови елементів є незалежними, а інтенсивність відмов протягом розрахункового періоду залишається сталою. Такий підхід дає змогу оцінити загальний рівень надійності пристрою ще на етапі проєктування.

Елементи інвертора згруповано за функціональним і конструктивним призначенням. До розрахунку включено мікросхеми керування TL494,

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 41 |

транзистори, діоди, резистори, конденсатори, трансформатор, роз'єми, запобіжник, вимикач, світлодіоди, звуковий сигналізатор і вентилятор. Саме ці елементи формують основну частину електричної принципової схеми та впливають на ймовірність безвідмовної роботи виробу.

Сумарна інтенсивність відмов виробу визначається як сума добутків кількості елементів кожної групи на інтенсивність відмов одного елемента цієї групи:

$$\lambda_{\Sigma} = \Sigma(N_i \cdot \lambda_i), \quad (1.11)$$

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

N_i - кількість елементів i -ї групи;

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

Для зручності розрахунку інтенсивності відмов подано в одиницях 10^{-6} 1/год. Результати групування елементів і розрахунку сумарної інтенсивності відмов наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Розрахунок інтенсивності відмов інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт

| Група елементів | Кількість, шт. | Інтенсивність відмов одного елемента, 10^{-6} 1/год | Добуток, 10^{-6} 1/год |
|----------------------------|----------------|-------------------------------------------------------|--------------------------|
| Мікросхеми керування TL494 | 2 | 1,50 | 3,00 |
| Силові транзистори | 7 | 0,80 | 5,60 |
| Малопотужні транзистори | 9 | 0,25 | 2,25 |

| | | | |
|--------------------------------------|-----|------|-------|
| Діоди та стабілітрони | 19 | 0,15 | 2,85 |
| Резистори, включаючи терморезистори | 57 | 0,04 | 2,28 |
| Конденсатори | 24 | 0,10 | 2,40 |
| Трансформатор | 1 | 0,50 | 0,50 |
| Запобіжник і вимикач | 2 | 0,30 | 0,60 |
| Роз'єми зовнішніх підключень | 3 | 0,50 | 1,50 |
| Світлодіоди та звуковий сигналізатор | 3 | 0,25 | 0,75 |
| Вентилятор охолодження | 1 | 1,50 | 1,50 |
| Разом | 128 | - | 23,23 |

За результатами розрахунку сумарна інтенсивність відмов інвертора становить $23,23 \cdot 10^{-6}$ 1/год. Це значення є орієнтовним, оскільки фактична надійність залежить не тільки від кількості компонентів, але й від якості паяння, нагрівання силових елементів, режиму навантаження, вентиляції та умов експлуатації.

Середній час безвідмовної роботи визначається як величина, обернена до сумарної інтенсивності відмов:

$$T_{\text{ср}} = 1 / \lambda_{\Sigma}, \quad (1.12)$$

де $T_{\text{ср}}$ – середній час безвідмовної роботи виробу, год;

λ_{Σ} – сумарна інтенсивність відмов виробу, 1/год.

Підставляємо отримане значення сумарної інтенсивності відмов:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата | | 43 |

$$T_{\text{ср}} = 1 / (23,23 \cdot 10^{-6}) = 43048 \text{ год.}$$

Отримане значення показує, що орієнтовний середній час безвідмовної роботи проєктованого інвертора становить 43048 год. Це розрахункова оцінка, яка характеризує роботу пристрою за умови дотримання нормальних режимів експлуатації та відсутності перевантажень.

Для оцінки ймовірності безвідмовної роботи використовується експоненціальний закон надійності:

$$P(t) = e^{(-\lambda \Sigma \cdot t)}, \quad (1.13)$$

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

e - основа натурального логарифма;

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

t - час роботи, год.

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

$$P(1000) = e^{(-23,23 \cdot 10^{-6} \cdot 1000)} = 0,977$$

$$P(5000) = e^{(-23,23 \cdot 10^{-6} \cdot 5000)} = 0,890$$

$$P(10000) = e^{(-23,23 \cdot 10^{-6} \cdot 10000)} = 0,793$$

Отримані значення ймовірності безвідмовної роботи наведено в таблиці 1.5.

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 44 |

Таблиця 1.5 - Ймовірність безвідмовної роботи інвертора

| Час роботи, год | Ймовірність безвідмовної роботи |
|-----------------|---------------------------------|
| 1000 | 0,977 |
| 5000 | 0,890 |
| 10000 | 0,793 |

З таблиці видно, що при збільшенні часу роботи ймовірність безвідмовної роботи поступово зменшується. Це є нормальним для експоненціальної моделі надійності, оскільки зі збільшенням тривалості експлуатації зростає ймовірність появи відмови одного з елементів.

Найбільший вплив на сумарну інтенсивність відмов мають силові транзистори, мікросхеми керування, діоди, конденсатори, роз'єми та вентилятор. Для інвертора це логічно, оскільки саме ці елементи працюють у найбільш навантажених режимах або мають механічні частини, як у випадку вентилятора охолодження. Тому під час проектування та експлуатації потрібно приділяти увагу якості монтажу цих компонентів, охолодженню силових елементів і надійності контактних з'єднань.

Для підвищення надійності проєктованого інвертора у конструкції передбачено запобіжник у вхідному колі, примусове охолодження силових елементів, використання двосторонньої друкованої плати, збільшені ширини провідників у силовій частині та розділення низьковольтної і високовольтної зон. Такі рішення зменшують ризик перегріву, пошкодження провідників і виникнення аварійних режимів.

Отже, за результатами розрахунку сумарна інтенсивність відмов інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт становить $23,23 \cdot 10^{-6}$ 1/год, а середній час безвідмовної роботи - 43048 год. Отримані результати свідчать, що за умови якісного монтажу, нормального теплового режиму та правильного підключення навантаження проєктований інвертор має достатній рівень

надійності для використання у складі малопотужних інформаційно-комунікаційних систем.

1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу

Розрахунок друкованого монтажу інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт виконується для визначення основних конструктивно-технологічних параметрів друкованої плати. До таких параметрів належать ширина друкованих провідників, відстані між ними, розміри монтажних і перехідних отворів, діаметри контактних площадок, а також вимоги до розміщення силових та високовольтних кіл.

Для виготовлення друкованої плати прийнято фольгований склотекстоліт FR-4 товщиною 1,5 мм із мідною фольгою товщиною 35 мкм. Такий матеріал має достатню механічну міцність, добрі діелектричні властивості та широко застосовується для виготовлення друкованих плат електронної апаратури. Для даного виробу прийнято двосторонню друковану плату з металізованими монтажними та перехідними отворами.

Друкований вузол інвертора має прямокутну форму. Габаритні розміри плати прийнято з урахуванням кількості елементів, наявності трансформатора, силових транзисторів, електролітичних конденсаторів, запобіжника, роз'ємів та вентилятора. Також під час вибору розмірів враховано потребу в розділенні низьковольтної частини 12 В і високовольтної частини 220 В.

Для проєктованої плати прийнято 3-й клас точності. Цей клас є достатнім для реалізації схеми з вивідними компонентами наскрізного монтажу. Він дозволяє забезпечити потрібні зазори між провідниками, виконати контактні площадки для монтажних отворів і розмістити всі необхідні провідникові з'єднання на двох шарах плати.

Особливу увагу під час розрахунку друкованого монтажу приділено силовим колам. Вхідна частина інвертора працює від напруги 12 В, але при потужності 200 Вт у цьому колі протікає значний струм. Тому для таких

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 46 |

ділянок не можна використовувати вузькі сигнальні доріжки. Силові провідники потрібно виконувати збільшеної ширини або у вигляді мідних полігонів. Це зменшує падіння напруги, нагрівання провідників і втрати потужності під час роботи пристрою.

Для кіл живлення 12 В прийнято використовувати максимально короткі та широкі провідники. Особливо це стосується ділянок між вхідним роз'ємом, запобіжником, силовими транзисторами та трансформатором. У цих місцях струмове навантаження є найбільшим, тому провідники повинні мати достатній запас за шириною. За можливості такі ділянки доцільно виконувати суцільними мідними заливками.

Сигнальні кола вузла керування на TL494 працюють зі значно меншими струмами, тому для них можна використовувати провідники меншої ширини. Для таких ділянок основним обмеженням є технологічна можливість виготовлення плати та зручність трасування. Для сигнальних кіл прийнято ширину провідників не менше 0,3 мм, що відповідає прийнятому класу точності та забезпечує нормальні умови виготовлення.

Відстань між провідниками вибирається з урахуванням робочої напруги та технологічних вимог. Для низьковольтних сигнальних кіл і кіл живлення 12 В мінімальний зазор можна приймати за технологічними обмеженнями 3-го класу точності. Для цих ділянок достатнім є зазор не менше 0,3 мм. Такий проміжок зменшує ризик замикання між провідниками під час виготовлення та паяння.

Для високовольтної частини інвертора, яка пов'язана з формуванням напруги 220 В, зазори між провідниками повинні бути більшими. Цю частину плати потрібно відокремлювати від низьковольтної зони. Між колами 12 В і 220 В необхідно залишати збільшений вільний простір, щоб зменшити ризик пробую, витоку струму або випадкового замикання. Це особливо важливо біля вихідних роз'ємів, діодів, конденсаторів і провідників високовольтної частини.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 47 |

Монтажні отвори на платі вибираються відповідно до діаметрів виводів елементів. Оскільки в інверторі використовується вивідний наскрізний монтаж, для кожного компонента потрібно забезпечити достатній діаметр отвору та контактної площадки. Отвір має бути більшим за діаметр виводу елемента, щоб компонент можна було легко встановити на плату, а після паяння отримати надійне електричне і механічне з'єднання.

Для дрібних вивідних елементів прийнято монтажні отвори діаметром 0,7 мм із контактними площадками діаметром 1,6 мм. Для більшості стандартних вивідних компонентів використовуються отвори діаметром 0,9 мм із контактними площадками 1,8 мм. Для елементів із більшими виводами передбачено отвори діаметром 1,2 мм із площадками 2,2 мм, а для найбільш габаритних або силових виводів - отвори діаметром 1,5 мм із площадками 2,5 мм.

Такі розміри отворів і контактних площадок забезпечують зручність встановлення компонентів, достатню площу для паяння та механічну міцність з'єднання. Це важливо для інвертора, оскільки на платі присутні не тільки малопотужні елементи, але й трансформатор, силові транзистори, роз'єми, запобіжник і конденсатори з більшими габаритами.

Перехідні отвори використовуються для електричного з'єднання провідників верхнього і нижнього шарів плати. Оскільки плата є двосторонньою, застосування перехідних отворів дозволяє зручніше трасувати складні ділянки схеми та зменшити кількість довгих обхідних провідників. У силових колах кількість перехідних отворів потрібно обмежувати або використовувати кілька переходів паралельно, оскільки один малий перехідний отвір не повинен нести значне струмове навантаження.

Для кріплення друкованого вузла передбачаються монтажні отвори діаметром 3,2 мм. Їх розміщення вибирається так, щоб плата надійно фіксувалася в корпусі або на монтажній основі. Навколо таких отворів необхідно залишати вільну зону без провідників і контактних площадок, щоб

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 48 |

під час встановлення кріпильних елементів не пошкодити провідниковий рисунок.

Під час трасування важливо дотримуватися розділення силових і сигнальних кіл. Сигнальні провідники вузла керування не повинні проходити близько до силових транзисторів, трансформатора та високовольтної частини. Це зменшує вплив імпульсних завад на роботу мікросхем TL494 і підвищує стабільність роботи інвертора.

Силові провідники бажано прокладати найкоротшим шляхом. Довгі провідники в колах великого струму збільшують втрати, створюють додаткове нагрівання та можуть погіршувати роботу перетворювача. Тому ділянки між вхідним живленням, силовими ключами та трансформатором виконуються з мінімально можливою довжиною.

Вихідні високовольтні провідники також потрібно прокладати обережно. Їх не слід розміщувати поруч із вузлом керування або низьковольтними сигнальними колами. Вихідні роз'єми бажано розміщувати біля краю плати, щоб забезпечити зручне підключення навантаження та зменшити довжину провідників із напругою 220 В.

Після вибору основних параметрів друкованого монтажу виконується перевірка відповідності плати технологічним вимогам. Під час такої перевірки контролюються мінімальні ширини провідників, зазори між ними, розміри контактних площадок, відстані до краю плати, правильність отворів і відсутність небажаних перетинів між провідниковими шарами. Це дозволяє виявити помилки ще до виготовлення плати.

Отже, розрахунок друкованого монтажу показує, що для інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт доцільно застосувати двосторонню друковану плату з металізованими отворами, виконану за 3-м класом точності. Для сигнальних кіл достатньо стандартних технологічних ширин і зазорів, а для силових кіл потрібно застосовувати широкі провідники або мідні полігони. Високовольтна частина 220 В повинна бути розміщена окремо від низьковольтних кіл із

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 49 |

збільшеними ізоляційними проміжками. Прийняті параметри друкованого монтажу забезпечують можливість виготовлення плати, надійне встановлення компонентів і безпечніші умови роботи пристрою.

1.6 Висновок до розділу 1

У першому розділі було розглянуто основні питання, пов'язані з розробкою інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем. На початку розділу проаналізовано технічне завдання та визначено призначення пристрою. Інвертор призначений для перетворення постійної напруги акумуляторного джерела 12 В у змінну напругу 220 В, яка може використовуватись для живлення малопотужного обладнання зв'язку, мережевих пристроїв, систем моніторингу та іншої електронної апаратури.

Було розглянуто аналоги пристрою та визначено, що готові інвертори і джерела безперебійного живлення можуть виконувати подібні функції, але не завжди є зручними для аналізу конструкції та розробки власної конструкторської документації. Тому розробка власного інвертора є доцільною, оскільки вона дозволяє самостійно обґрунтувати структуру пристрою, вибір елементної бази, компоновання друкованої плати та параметри друкованого монтажу.

У розділі було розроблено структурну схему інвертора, у якій виділено вхідний вузол живлення та захисту, вузол керування на TL494, драйверні каскади, силову частину, трансформаторний вузол, вихідну частину 220 В, а також вузли індикації, сигналізації та охолодження. Такий поділ дозволив чітко показати шлях перетворення енергії від акумуляторного джерела до вихідного навантаження.

Також було описано електричну принципову схему пристрою та принцип роботи інвертора. Встановлено, що формування керуючих імпульсів виконується мікросхемами TL494, після чого сигнали через драйверні каскади

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 50 |

надходять на силові транзистори. Силова частина формує імпульсний режим роботи трансформатора, а вихідний вузол забезпечує формування напруги 220 В для підключення навантаження.

Окремо було обґрунтовано вибір елементної бази. Для проєктованого інвертора прийнято використання вивідних компонентів наскрізного монтажу, що є доцільним для силового пристрою з трансформатором, силовими транзисторами, електrolітичними конденсаторами, запобіжником, роз'ємами та іншими габаритними елементами. Такий тип монтажу забезпечує достатню механічну міцність, зручність складання, перевірки та подальшого ремонту.

Було розглянуто компоновання друкованого вузла. Для інвертора прийнято двосторонню друковану плату з металізованими монтажними та перехідними отворами. Під час компоновання враховано розділення низьковольтної частини 12 В і високовольтної частини 220 В, розміщення силових елементів, трансформатора, роз'ємів, вузла керування та допоміжних елементів. Таке компоновання сприяє зменшенню довжини силових з'єднань, покращенню теплового режиму та підвищенню безпечності роботи пристрою.

У розділі також було виконано розгляд параметрів друкованого монтажу. Визначено, що для силових кіл інвертора потрібно застосовувати широкі провідники або мідні полігони, оскільки у вхідному колі 12 В протікає значний струм. Для сигнальних кіл достатньо стандартних технологічних ширин і зазорів, а для високовольтної частини необхідно передбачати збільшені ізоляційні проміжки.

Отже, у першому розділі сформовано основну технічну базу для подальшої розробки інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт. Було визначено структуру пристрою, описано роботу електричної схеми, обґрунтовано вибір компонентів, розглянуто компоновання друкованого вузла та вимоги до друкованого монтажу. Отримані результати можуть бути використані для подальшого проєктування друкованої плати, підготовки конструкторської документації та виготовлення пристрою.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 51 |

2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

2.1 Ризик як кількісна оцінка небезпек під час перевірки інвертора 12-220 В

Під час монтажу та перевірки інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт виникають небезпеки, пов'язані з одночасною наявністю низьковольтної силової частини 12 В і вихідної частини 220 В. Найбільш небезпечними ділянками є вхідний роз'єм ХР1, запобіжник FU1, силові транзистори VT8-VT16, трансформатор TV1, електролітичні конденсатори, а також вихідні роз'єми ХР2 і ХР3.

Ризик у безпеці життєдіяльності розглядається як оцінка небезпеки з урахуванням імовірності її виникнення та тяжкості можливих наслідків.

Ризик оцінюється за залежністю:

$$R = P \cdot S,$$

де R - рівень ризику;

P - ймовірність виникнення небезпечної події;

S - тяжкість можливих наслідків.

Для зручності прийнято шкалу оцінювання, представлену в таблиці 2.1:

Таблиця 2.1 – Шкала оцінювання рівня ризику

| Значення R | Рівень ризику | Характеристика |
|------------|---------------|-------------------------------------------------------|
| 1-2 | Низький | Небезпека контролюється стандартними заходами безпеки |
| 3-4 | Середній | Потрібні додаткові технічні або організаційні заходи |
| 6-9 | Високий | Роботу виконують тільки після зменшення ризику |

Основні небезпечні чинники під час перевірки інвертора наведено в таблиці 2.2:

Таблиця 2.2 - Оцінювання ризиків під час перевірки інвертора 12-220 В

| Небезпечний чинник | Джерело небезпеки в пристрої | P | S | R | Рівень ризику | Заходи зменшення ризику |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---|---|---|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ураження електричним струмом | Вихідні кола 220 В, роз'єми ХР2, ХР3, високовольтна частина плати | 2 | 3 | 6 | Високий | Перевірка тільки при ізольованому розміщенні плати, використання справних щупів, заборона дотику до відкритих контактів |
| Коротке замикання джерела 12 В | Вхідний роз'єм ХР1, запобіжник FU1, силові провідники | 2 | 3 | 6 | Високий | Використання запобіжника, контроль полярності, обмеження струму при першому ввімкненні |
| Перегрів силових транзисторів | VT8-VT16, силові полігони, трансформатор TV1 | 2 | 2 | 4 | Середній | Контроль температури, короткочасне перше ввімкнення, перевірка правильності монтажу транзисторів |
| Залишковий заряд конденсаторів | Електролітичні конденсатори С19, С23, С24 | 2 | 2 | 4 | Середній | Контроль напруги після вимкнення, розрядження через резистивне навантаження, пауза перед дотиком до плати |
| Пошкодження доріжок друкованої плати | Силові кола 12 В з великим струмом | 2 | 2 | 4 | Середній | Використання широких провідників і полігонів, перевірка відсутності замикань до подачі |

| | | | | | | |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------|---|---|---|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Опіки під час паяння | Паяльник, нагріті виводи, корпуси силових елементів | 2 | 1 | 2 | Низький | Робота на підставці для паяльника, застосування пінцета, охолодження елементів перед дотиком |
| Пожежонебезпечна ситуація | Перегрів, неправильне підключення акумулятора, коротке замикання | 1 | 3 | 3 | Середній | Наявність запобіжника, візуальний контроль, відсутність легкозаймистих матеріалів біля робочого місця |

Найбільший рівень ризику мають ураження електричним струмом у вихідній частині 220 В та коротке замикання у вхідному колі 12 В. Це пояснюється тим, що інвертор працює з підвищеним струмом на вході та формує небезпечну для людини напругу на виході. Тому перед першим запуском перевіряють полярність живлення, стан запобіжника FU1, відсутність короткого замикання між шинами живлення та правильність встановлення силових транзисторів.

Під час першого ввімкнення інвертор запускають без потужного навантаження. Контролюють споживаний струм, нагрівання силових транзисторів і наявність вихідної напруги. Якщо струм різко зростає або силові елементи швидко нагріваються, живлення вимикають і повторно перевіряють монтаж. Такий порядок знижує ризик пошкодження плати, транзисторів і джерела живлення.

Після вимкнення пристрою перевіряють залишкову напругу на конденсаторах вихідної частини. Повторний монтаж, заміна елементів або огляд високовольтної ділянки виконуються тільки після зняття залишкової напруги. Це зменшує ризик випадкового ураження електричним струмом і пошкодження вимірювальних приладів.

2.2 Організація безпечної роботи електроустановок під час налагодження інвертора 12-220 В

Інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт належить до пристроїв, під час перевірки яких одночасно враховують небезпеку низьковольтної силової частини та вихідної напруги 220 В. Вхідна напруга 12 В сама по собі не є основним джерелом ураження людини, але при великому струмі вона створює ризик короткого замикання, нагрівання провідників і пошкодження елементів. Вихідна частина 220 В створює пряму електричну небезпеку під час вимірювань, підключення навантаження та огляду відкритої плати.

Безпечна робота з інвертором починається з підготовки робочого місця. Плату розміщують на сухій ізоляційній поверхні. На робочому столі залишають тільки необхідні прилади: джерело живлення 12 В, мультиметр, осцилограф за потреби, навантаження та інструменти з ізольованими ручками. Провідники живлення і вихідні проводи розташовують так, щоб вони не перекривали плату та не створювали випадкових замикань. Біля робочого місця не розміщують папір, тканину, легкозаймисті рідини або інші матеріали, які можуть загорітися при перегріві.

Перед подачею живлення виконується візуальний контроль друкованого вузла. Перевіряється правильність встановлення мікросхем DA1, DA2, силових транзисторів, діодів, електролітичних конденсаторів і трансформатора TV1. Окремо контролюється полярність конденсаторів, якість паяних з'єднань, відсутність перемичок припоєм між сусідніми контактними площадками та цілісність запобіжника FU1. Такий огляд дозволяє виявити більшість монтажних помилок до подачі напруги.

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 55 |

Таблиця 2.3 - Організація безпечної роботи під час перевірки інвертора

| Етап роботи | Дії виконавця | Небезпека, яку зменшує дія |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Підготовка робочого місця | Розміщення плати на ізоляційній поверхні, прибирання зайвих предметів, підготовка справних приладів | Випадковий дотик, замикання, пожежонебезпечна ситуація |
| Огляд плати перед запуском | Перевірка полярності, якості паяння, правильності встановлення елементів | Пошкодження елементів, коротке замикання |
| Перше ввімкнення | Подача живлення без потужного навантаження, контроль струму і нагрівання | Перегрів, пробій транзисторів, пошкодження плати |
| Вимірювання напруги | Використання ізольованих щупів, підключення приладів без торкання відкритих контактів | Ураження електричним струмом |
| Перевірка виходу 220 В | Контроль підключення ХР2, ХР3, робота без дотику до високовольтної частини | Електротравма, пробій ізоляції |
| Завершення роботи | Вимкнення живлення, контроль залишкової напруги на конденсаторах | Ураження залишковим зарядом |

Під час першого ввімкнення інвертора виконавець не підключає одразу повне навантаження. Спочатку контролюється струм споживання від джерела 12 В, робота вузла керування та відсутність швидкого нагрівання силових транзисторів. Якщо споживаний струм не відповідає очікуваному режиму, живлення вимикається, а плата повторно перевіряється. Такий порядок особливо важливий для пристрою з силовими ключами VT8-VT16 і трансформатором TV1.

Вимірювання у високовольтній частині виконують обережно, без торкання відкритих ділянок плати. Щупи мультиметра або осцилографа утримуються тільки за ізольовані частини. Підключення вимірювальних проводів до вихідних кіл бажано виконувати при вимкненому живленні, а сам вимір проводити після перевірки надійності контакту. Під час роботи

інвертора не допускається переставляння елементів, притискання деталей рукою або зміна з'єднань у силовій частині.

Окрему увагу приділено вхідному колу 12 В. При потужності 200 Вт у цьому колі протікає значний струм, тому слабкий контакт, неправильна полярність або випадкове замикання можуть швидко викликати нагрівання провідників. Для зниження цієї небезпеки використовується запобіжник FU1, провідники достатнього перерізу, надійні затискачі та попередня перевірка опору між шинами живлення перед запуском.

Таблиця 2.4 - Основні вимоги до безпечного налагодження інвертора

| Ділянка пристрою | Основна небезпека | Технічне рішення або дія |
|--------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Вхід XP1, коло 12 В | Великий струм, коротке замикання | Контроль полярності, запобіжник FU1, надійне підключення провідників |
| Силові транзистори VT8-VT16 | Перегрів, пробій, неправильне встановлення | Перевірка монтажу, контроль температури, короткочасне перше ввімкнення |
| Трансформатор TV1 | Нагрівання, електромагнітні завади | Надійне кріплення, контроль нагрівання, достатня відстань від сигнальних кіл |
| Конденсатори C19, C23, C24 | Залишкова напруга після вимкнення | Контроль напруги мультиметром перед повторним дотиком до плати |
| Вихідні роз'єми XP2, XP3 | Напруга 220 В | Ізольовані щупи, заборона дотику до контактів, маркування вихідної частини |
| Друковані провідники силових частини | Нагрівання, пошкодження доріжок | Використання широких провідників і мідних полігонів |
| Робоче місце | Випадкове замикання, пожежонебезпечна ситуація | Ізоляційна поверхня, порядок на столі, відсутність легкозаймистих матеріалів |

Після завершення перевірки інвертора живлення вимикається, а акумуляторне або лабораторне джерело від'єднується від плати. Далі контролюється залишкова напруга на конденсаторах вихідної частини. Тільки

після цього допускається повторний огляд плати, заміна елементів або перепаювання. Такий порядок зменшує ризик ураження струмом і випадкового пошкодження елементів під час доопрацювання пристрою.

У підсумку, безпечна робота з інвертором 12-220 В базується на чіткому порядку перевірки: огляд плати, контроль полярності, перше ввімкнення з обмеженням ризику, вимірювання без дотику до відкритих контактів, контроль нагрівання та перевірка залишкової напруги після вимкнення. Для цього пристрою найбільш відповідальними є вхідне силове коло 12 В, транзисторний каскад, трансформатор TV1 та вихідна частина 220 В. Правильна організація робочого місця і послідовність налагодження зменшують ризик електротравми, короткого замикання, перегріву та пошкодження друкованого вузла.

2.3 Висновок до розділу 2

У другому розділі було розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці під час монтажу, перевірки й налагодження інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт. Основну увагу приділено небезпекам, які можуть виникати через наявність у пристрої низьковольтної силової частини 12 В із великим струмом та вихідної високовольтної частини 220 В.

Було виконано оцінювання ризиків для основних небезпечних чинників. Встановлено, що найбільшу небезпеку становлять ураження електричним струмом у вихідних колах 220 В та коротке замикання у вхідному колі 12 В. Також важливими ризиками є перегрів силових транзисторів, залишковий заряд конденсаторів, пошкодження друкованих провідників, опіки під час паяння та виникнення пожежонебезпечної ситуації.

У розділі визначено основні заходи зменшення ризиків. До них належать перевірка правильності монтажу перед першим ввімкненням, контроль полярності джерела живлення, використання запобіжника, запуск інвертора

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 58 |

без повного навантаження, контроль струму споживання, перевірка нагрівання силових елементів і контроль залишкової напруги на конденсаторах після вимкнення пристрою.

Окремо розглянуто організацію безпечної роботи з інвертором. Робоче місце повинно бути підготовлене так, щоб зменшити ризик випадкового дотику, короткого замикання та загоряння. Плату потрібно розміщувати на ізоляційній поверхні, використовувати справні вимірювальні прилади та інструменти з ізольованими ручками.

Отже, безпечне налагодження інвертора 12-220 В залежить від правильної послідовності дій, уважної перевірки друкованого вузла та дотримання вимог електробезпеки. Запропоновані заходи дозволяють зменшити ризик електротравми, короткого замикання, перегріву елементів і пошкодження друкованої плати під час перевірки та подальшої експлуатації пристрою.

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 59 |

Висновки

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем. Пристрій призначений для перетворення постійної напруги акумуляторного джерела 12 В у змінну напругу 220 В, яка може використовуватись для живлення малопотужного обладнання зв'язку, мережевих пристроїв, систем моніторингу, охоронної апаратури та інших електронних засобів.

У ході роботи було проаналізовано технічне завдання та визначено основні вимоги до проєктованого пристрою. Встановлено, що для інвертора важливими є стабільне перетворення напруги, надійна робота силової частини, захист вхідного кола, достатнє охолодження силових елементів, зручне підключення зовнішніх кіл і безпечне розділення низьковольтної частини 12 В та високовольтної частини 220 В.

Проведено аналіз аналогів інвертора 12-220 В. Розглянуто готові автомобільні інвертори, побутові перетворювачі напруги та джерела безперебійного живлення. Встановлено, що такі пристрої добре підходять для практичного використання, однак здебільшого мають закриту конструкцію, фіксовані схемотехнічні рішення та обмежені можливості для аналізу і конструктивного доопрацювання. Тому розробка власного інвертора є доцільною з погляду створення повного комплекту конструкторської документації та вивчення особливостей побудови силових перетворювачів.

Розроблено структурну схему інвертора, у якій виділено основні функціональні вузли: акумуляторне джерело 12 В, вхідний вузол живлення та захисту, вузол керування на TL494, драйверні каскади, силову частину на транзисторних ключах, трансформаторний вузол, вихідну частину формування напруги 220 В, а також вузли індикації, сигналізації та охолодження. Такий поділ дозволив чітко показати послідовність перетворення енергії від джерела живлення до вихідного навантаження.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 60 |

Описано електричну принципову схему пристрою та принцип його роботи. Встановлено, що керування силовою частиною виконується за допомогою мікросхем TL494, які формують керуючі імпульси для подальшого перемикання транзисторних ключів. Драйверні каскади узгоджують сигнали керування із силовими транзисторами, а трансформаторний вузол забезпечує підвищення напруги. Вихідна частина схеми формує напругу 220 В для підключення навантаження.

Виконано вибір і обґрунтування компонентної бази інвертора. Для пристрою прийнято використання вивідних компонентів наскрізного монтажу, що є доцільним для силового виробу з трансформатором, запобіжником, силовими транзисторами, електролітичними конденсаторами, діодами, роз'ємами, світлодіодною індикацією, звуковим сигналізатором і вентилятором. Такий тип монтажу забезпечує достатню механічну міцність, зручність ручного складання, перевірки та можливого ремонту пристрою.

У процесі роботи було розглянуто компонування друкованого вузла. Для інвертора прийнято двосторонню друковану плату з металізованими монтажними та перехідними отворами. Плата має прямокутну форму, що спрощує її виготовлення та встановлення в корпус. Під час компонування враховано розміщення габаритних елементів, зокрема трансформатора, силових транзисторів, електролітичних конденсаторів, запобіжника, роз'ємів і вентилятора.

Визначено основні вимоги до друкованого монтажу. Для силових кіл 12 В необхідно застосовувати широкі провідники або мідні полігони, оскільки у вхідній частині інвертора протікає значний струм. Для сигнальних кіл вузла керування достатньо стандартних технологічних ширин і зазорів. Високовольтну частину 220 В потрібно розміщувати окремо від низьковольтних кіл із збільшеними ізоляційними проміжками, що підвищує безпечність роботи пристрою.

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 61 |

У середовищі Altium Designer виконано розробку електричної принципової схеми, друкованої плати, складального креслення, специфікації та іншої конструкторської документації. Використання САПР дозволило виконати компоновання елементів, трасування провідників, перевірку проєктних правил і підготовку графічної частини роботи відповідно до вимог до конструкторської документації.

У розділі безпеки життєдіяльності та охорони праці було розглянуто ризики, пов'язані з монтажем, перевіркою та налагодженням інвертора. Найбільш небезпечними чинниками визначено ураження електричним струмом у вихідній частині 220 В, коротке замикання у вхідному колі 12 В, перегрів силових транзисторів, залишковий заряд конденсаторів і можливість пошкодження друкованих провідників. Для зменшення цих ризиків запропоновано заходи безпечної роботи, зокрема перевірку монтажу перед запуском, контроль полярності, використання запобіжника, перше ввімкнення без повного навантаження, контроль нагрівання та перевірку залишкової напруги після вимкнення.

Після виконання, поставлену мету кваліфікаційної роботи досягнуто. Розроблений інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт має зрозумілу функціональну структуру, обґрунтовану елементну базу, двосторонню друковану плату з вивідним наскрізним монтажем та необхідні вузли захисту, індикації, сигналізації й охолодження. Підготовлені схемотехнічні рішення та конструкторська документація можуть бути використані як основа для виготовлення дослідного зразка пристрою, його перевірки, налагодження та подальшого вдосконалення.

| | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 62 |

Список використаних джерел

1. Дунець В. Л., Дедів І. Ю., Хвостівський М. О. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка». Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 72 с.
2. Ткачук Р. А., Дозорський В. Г., Дедів Л. Є., Дедів І. Ю. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 336 с.
3. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Системи автоматизованого проєктування радіоелектронних засобів» для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / уклад. Л. В. Хвостівська, В. Л. Дунець. Тернопіль : ТНТУ, 2020. 109 с.
4. Галаган Р. М. Комп'ютерне проєктування електронних схем. Комп'ютерний практикум. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 420 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. Yaskiv V. Modular High-Frequency MagAmp DC-DC Power Converter / Volodymyr Yaskiv, Anatoliy Martseniuk, Anna Yaskiv, Oleg Yurchenko, Bohdan Yavorskyu // 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). — Ceske Budejovice, Czech Republic, 2019. — P. 213–216.
7. Yaskiv V. Experimental Research of High-Frequency MagAmp Power Converters for Synchronous Rectification / V. Yaskiv // Оптико-волоконні та інформаційно-енергетичні технології : міжнар. науково-техн. журн. — Вінниця, 2019. — № 2 (38). — С.113–121.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | | 63 |

8. Yaskiv V. Unregulated Transistor Inverter for High-Frequency MagAmp Power Converters / Volodymyr Yaskiv, Oleg Yurchenko // Computational Problems of Electrical Engineering. — Lviv : Lviv Polytechnic National University, 2020. — Vol. 10, no 1. — P. 45–50.

9. Volodymyr Yaskiv, Anna Yaskiv. Multi-Channel Switching MagAmp Power Converter for Radiorecieiving Devices // Computational Problems of Electrical Engineering. — Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2023. — Vol. 13, no 1. — P. 39 –42.

10. Volodymyr Yaskiv, Anna Yaskiv. Development of the Power Supply and Control System for the Hemodialysis Machine. Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Środowiska. — Vol. 13, № 3, 2023. — P. 23-28.

11. Офіційний сайт Altium Designer : веб-сайт. URL: <https://www.altium.com>.

12. Texas Instruments. TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuits : datasheet. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl494.pdf>.

13. STMicroelectronics. STP75NF75 N-channel Power MOSFET : datasheet. URL: <https://www.st.com>.

14. Infineon Technologies. IRF840 N-channel Power MOSFET : datasheet. URL: <https://www.infineon.com>.

15. Diodes Incorporated. 1N4148 Small Signal Switching Diode : datasheet. URL: <https://www.diodes.com>.

16. Vishay Semiconductors. BZX55C Series Zener Diodes : datasheet. URL: <https://www.vishay.com>.

17. ДСТУ ІЕС 60617:2018. Графічні символи для схем (ІЕС 60617:2012 DB, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.

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

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата | | 64 |

19. ДСТУ EN 61188-1-1:2022. Друковані плати та вузли друкованих плат. Проектування та використання. Частина 1-1. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

20. ДСТУ EN IEC 61191-1:2022. Складання друкованих плат. Частина 1. Загальні технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

21. 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. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

22. 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. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

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

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

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

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

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

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

29. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
| | | | | | <i>НІО 2.899.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата | | 65 |

ДОДАТКИ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру РТ

_____ к.т.н. Дунець В.Л.

“ _____ ” _____ 2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

на тему: «Інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-
комунікаційних систем»

Узгоджено:

Керівник роботи

Яськів В.І. _____

“ _____ ” _____ 2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РАС-41

Наконечний І.О. _____

“ _____ ” _____ 2026р.

Тернопіль, 2026

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: «Інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем».

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

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Наконечний Іван Олександрович, групи РАс-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка інвертора 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем, що включає:

- аналіз існуючих інверторів напруги та пристроїв резервного живлення;
- розробку структурної схеми інвертора;
- розробку електричної принципової схеми пристрою;
- розрахунок вузла електричної принципової схеми;
- вибір і обґрунтування елементної бази;
- опис принципу роботи інвертора;
- компоновання та трасування друкованої плати;
- розрахунок надійності пристрою та параметрів друкованого монтажу;
- розробку конструкторської документації на друкований вузол.

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1 Основні технічні вимоги

4.1.1 Пристрій повинен забезпечувати перетворення постійної напруги 12

В у змінну напругу 220 В.

4.1.2 Живлення інвертора повинно здійснюватися від акумуляторного джерела постійної напруги 12 В.

4.1.3 Номінальна вихідна потужність інвертора повинна становити 200 Вт.

4.1.4 У складі пристрою повинен бути передбачений вузол керування на мікросхемах TL494.

4.1.5 Силова частина інвертора повинна виконуватися на транзисторних ключах.

4.1.6 Підвищення напруги повинно здійснюватися за допомогою трансформаторного вузла.

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

4.1.8 Пристрій повинен мати світлодіодну індикацію основних режимів роботи.

4.1.9 У пристрої повинен бути передбачений звуковий сигналізатор для повідомлення про окремі режими роботи або несправність.

4.1.10 Для підтримання теплового режиму силових елементів у конструкції повинен бути передбачений вентилятор охолодження.

4.2 Технічні вимоги до конструкції

4.2.1 Інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт повинен відповідати вимогам чинних стандартів та конструкторської документації на пристрій конкретного типу.

4.2.2 Пристрій повинен забезпечувати стабільну роботу вхідного вузла живлення, вузла керування TL494, драйверних каскадів, силової частини, трансформаторного вузла, вихідної частини 220 В, індикації, сигналізації та охолодження.

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

4.2.4 Конструкція пристрою повинна забезпечувати розділення низьковольтної силової частини 12 В та високовольтних кіл 220 В.

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

4.2.6 Тип монтажу елементів - вивідний наскрізний монтаж.

4.2.7 Друкована плата повинна мати металізовані монтажні та перехідні отвори.

4.2.8 Габаритні розміри друкованої плати повинні становити 180×117,5 мм.

4.2.9 Для силових кіл 12 В повинні бути передбачені провідники збільшеної ширини або мідні полігони.

4.2.10 Для високовольтної частини 220 В повинні бути передбачені збільшені ізоляційні проміжки між струмоведучими частинами.

4.2.11 У комплект виробу повинні входити: інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт, друкований вузол, перелік елементів, схема електрична принципова, креслення друкованої плати, складальне креслення друкованого вузла та специфікація.

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

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

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

4.3 Правила приймання

4.3.1 Інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт повинен піддаватися приймально-здавальним та періодичним випробуванням.

4.3.2 Під час приймально-здавальних випробувань перевіряється працездатність вхідного вузла живлення, запобіжника, вузла керування на TL494, драйверних каскадів, силових транзисторних ключів, трансформаторного вузла, вихідної частини 220 В, світлодіодної індикації, звукового сигналізатора та вентилятора охолодження. У разі виявлення дефектів пристрій повертається для усунення несправностей і повторної перевірки.

4.3.3 Періодичні випробування проводяться для перевірки відповідності

пристрою технічним вимогам, стабільності роботи та надійності функціонування в умовах експлуатації.

4.3.4 Випробування на надійність проводяться за такими вихідними даними:

приймальний рівень $P\alpha = 0,95$;

бракувальний рівень $P\mu = 0,8$;

ризик виробника $\alpha = 0,1$;

ризик споживача $\beta = 0,2$.

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

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

5.2 Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

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

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КП

| № з/п | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1 | Розробка та затвердження технічного завдання | 12.03.2026 | |
| 2 | Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи | 14.03.2026 | |
| 3 | Аналіз існуючих схем інверторів напруги | 21.03.2026 | |

| | | | |
|----|--------------------------------------------------------|------------|--|
| | 12–220 В та | | |
| | пристроїв резервного живлення | | |
| | інформаційно-комунікаційного обладнання | | |
| 4 | Розробка структурної схеми інвертора 12–220 В | 23.03.2026 | |
| | потужністю 200 Вт | | |
| 5 | Розробка електричної принципової схеми інвертора | 10.04.2026 | |
| 6 | Вибір та обґрунтування елементної бази інвертора 12– | 12.04.2026 | |
| | 220 В потужністю 200 Вт | | |
| 7 | Розробка опису принципу роботи інвертора та його | 16.04.2026 | |
| | основних функціональних вузлів | | |
| 8 | Розрахунок основних вузлів схеми та параметрів роботи | 22.04.2026 | |
| | інвертора | | |
| 9 | Розрахунок параметрів друкованої плати та елементів | 02.05.2026 | |
| | друкованого монтажу | | |
| 10 | Компонування елементів і трасування друкованої плати | 15.05.2026 | |
| | інвертора 12–220 В потужністю 200 Вт | | |
| 11 | Перевірка конструкції друкованої плати, уточнення | 23.05.2026 | |
| | посадкових місць та параметрів друкованого вузла | | |
| 12 | Розробка конструкторської документації на інвертор 12– | 03.06.2026 | |
| | 220 В потужністю 200 Вт | | |
| 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 | 12.06.2026 | |
| 17 | Захист кваліфікаційної роботи | 24.06.2026 | |

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

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

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

Первинне застосування

Додатковий №

Підп. і дата

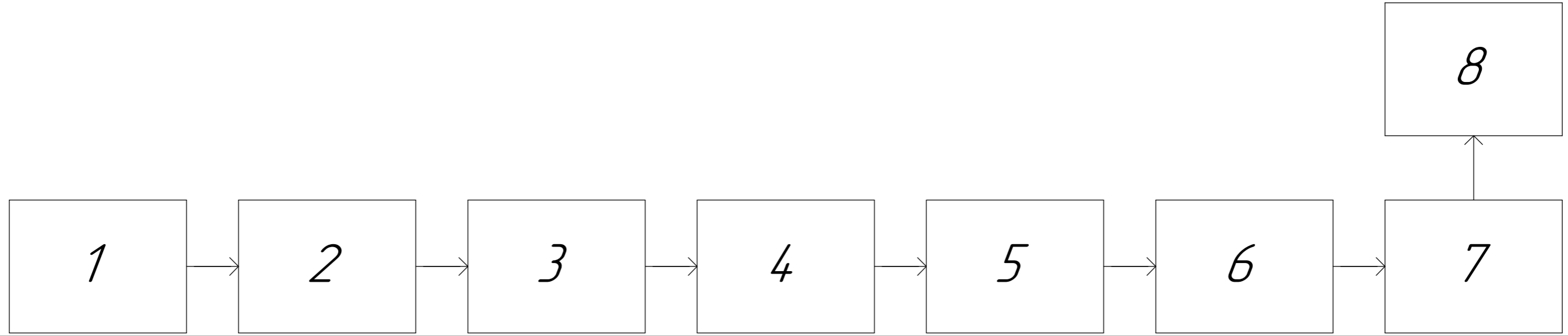
Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підп. і дата

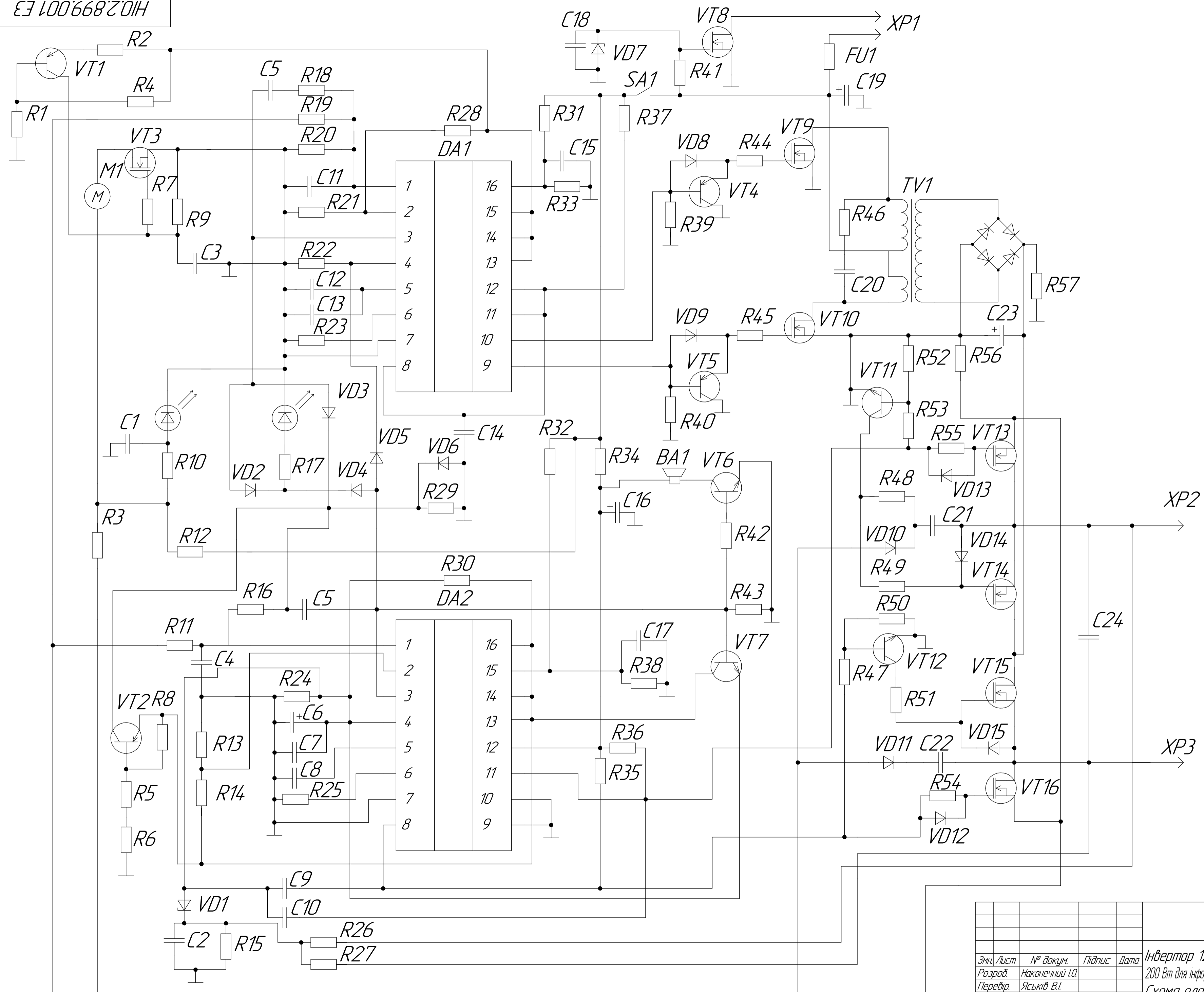
Інв. № ар.

НІО 2.899.001 Е1



- 1 – Акумуляторне джерело 12 В
- 2 – Вхідний вузол живлення та захисту
- 3 – Вузол керування на TL494
- 4 – Драйверні та узгоджувальні каскади
- 5 – Силова частина на транзисторних ключах
- 6 – Трансформаторний вузол
- 7 – Вихідний вузол формування напруги 220 В
- 8 – Вузол індикації, сигналізації та охолодження

| | | | | | | | |
|-----------|------------------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------|---------|
| | | | | НІО 2.899.001 Е1 | | | |
| Змн. Лист | № докум. | Підпис | Дата | Інвертор 12–220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем. Схема електрична структурна | Літ. | Вага | Масштаб |
| Розроб. | Наконецний І.О. | | | | | | |
| Перевір. | Яськів В.І. | | | | Арк | Аркушів | 1 |
| Реценз. | | | | | ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41 | | |
| Н.контр. | Хвостівська Л.В. | | | | | | |
| Затверд. | Дунець В.І. | | | | Формат А3 | | |

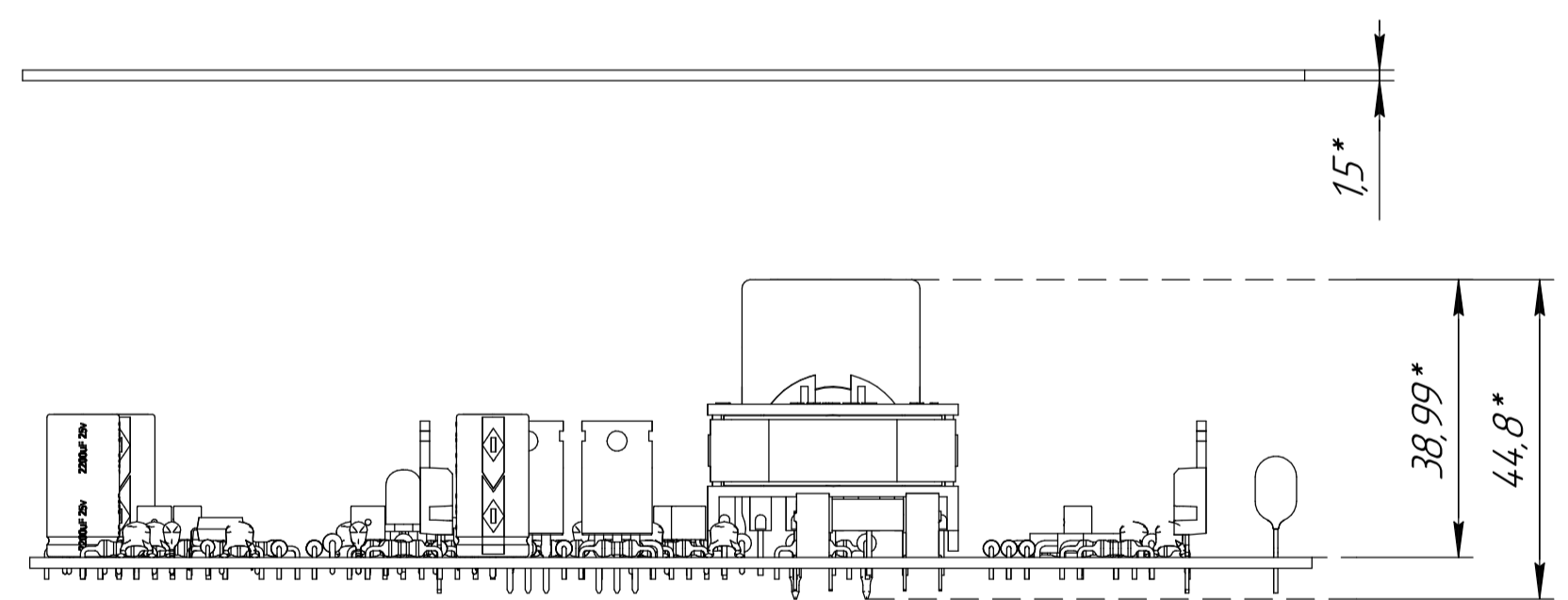
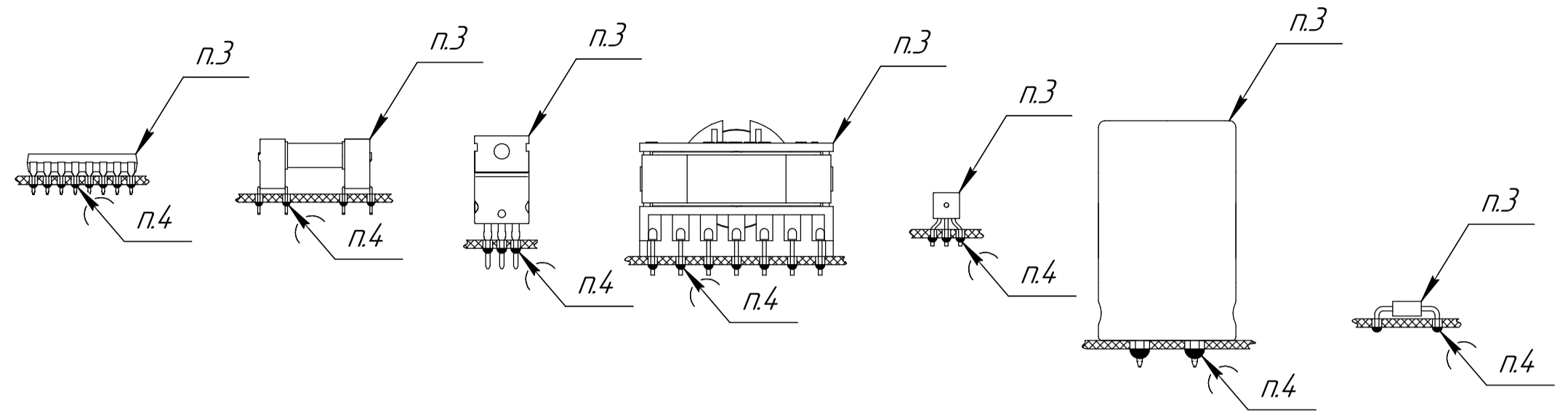
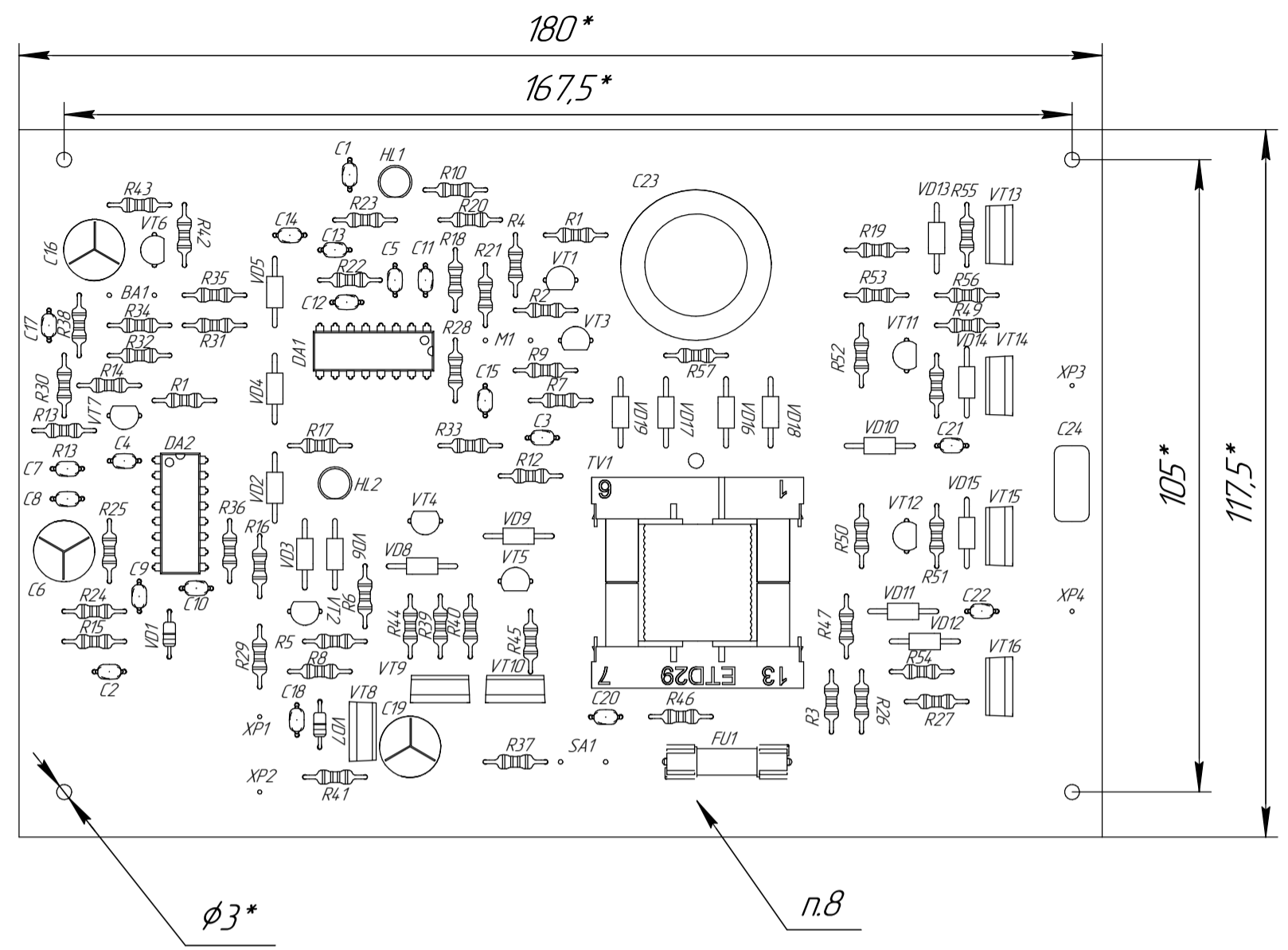


Первічне застосування
Додатковий №
Підп. і дата
Інв. № відп.
Зам. інв. №
Підп. і дата
Інв. № ар.

| | | | | | | | |
|-----------|------------------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------|---------|
| | | | | НІО.2.899.001.Е3 | | | |
| Змн. Лист | № докум. | Підпис | Дата | Інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем. Схема електрична принципова | Лит. | Вага | Масштаб |
| Розроб. | Наканечний І.О. | | | | | | 1:1 |
| Перевір. | Яськів В.І. | | | | Арк | Аркциф | 1 |
| Реценз. | | | | | ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41 | | |
| Нконтр. | Хвостівська Л.В. | | | | Формат А2 | | |
| Затверд. | Дунець В.І. | | | Копіював | | | |

| Позн. | Найменування | Кіл. | Примітка |
|---------|--------------------------------------------|------|----------|
| | | | |
| | <u>Динамік</u> | | |
| BA1 | Active Buzzer ABI-009-RC "RoHS Compliant" | 1 | |
| | | | |
| | <u>Конденсатори</u> | | |
| C1,C2 | ССК-100nF ±20% "Kemet" | 2 | |
| C3-C5 | ССК-10uF ±20% "Kemet" | 3 | |
| C6 | ЕСАР-25В-47uF ±20% "JAMICON" | 1 | |
| C7,C8 | ССК-100nF ±20% "Kemet" | 2 | |
| C9,C10 | ССК-10nF ±20% "Kemet" | 2 | |
| C11 | ССК-10uF ±20% "Kemet" | 1 | |
| C12 | ССК-10nF ±20% "Kemet" | 1 | |
| C13 | ССК-4.7nF ±20% "Kemet" | 1 | |
| C14 | ССК-10uF ±20% "Kemet" | 1 | |
| C15 | ССК-2.2uF ±20% "Kemet" | 1 | |
| C16 | ЕСАР-25В-47uF ±20% "JAMICON" | 1 | |
| C17 | ССК-10uF ±20% "Kemet" | 1 | |
| C18 | ССК-100nF ±20% "Kemet" | 1 | |
| C19 | ЕСАР-25В-3300uF ±20% "JAMICON" | 1 | |
| C20 | CL21-630V-104K-P10 20% "HINATO" | 1 | |
| C21,C22 | ССК-10uF ±20% "Kemet" | 2 | |
| C23 | ЕСАР-400В-22uF ±20% "JAMICON" | 1 | |
| C24 | CL21-630V-103K-P10 20% "HINATO" | 1 | |
| | | | |
| | | | |
| | <u>Мікросхеми</u> | | |
| DA1,DA2 | TL494 "Texas Instruments " | 2 | |
| | | | |
| FU1 | <u>Запобіжник</u> 5x20 8А 250В "ITALWEBER" | 1 | |
| | | | |

| | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------|--------|---------|
| НІО 2.899.001 ПЕ | | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |
| Розроб. | Наконечний І.О. | | | |
| Перевір. | Яський В.І. | | | |
| Реценз. | | | | |
| Н. Контр. | Хвостівська Л.В. | | | |
| Затверд. | Дценець В.Л. | | | |
| Інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем. Перелік елементів | | | | |
| Лім. | | Арк. | | Аркушів |
| | | 1 | | 4 |
| ТНТУ ім. І. Пулюя РАС-41 | | | | |



1. *Розмір 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.

| НІО 2.899.001 СК | | | | Літ. | Вага | Масштаб |
|------------------|------------------|--------|------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
| Змн. Лист | № докум. | Підпис | Дата | Друкований вузол інвертора 12-220В потужністю 200Вт для інформаційних технологій | 0,66 | 1:1 |
| Розроб. | Наканечний І.О. | | | | | |
| Перевір. | Яськів В.І. | | | | | |
| Реценз. | | | | Арк | Аркцифр | 1 |
| Нконтр. | Хвостівська Л.В. | | | ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41 | | |
| Затверд. | Дунець В.І. | | | Формат А2 | | |

Первинне застосування

Додатковий №

Підп. і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № ар.

| Форм. | поз. | Позначення | Назва | Кіл. | Примітка |
|-------|------|------------------|-------------------------------------------|------|------------|
| | | | | | |
| | | | <u>Документація</u> | | |
| A2 | | НІО 2.899.001 Е1 | Схема електрична принципова | 1 | |
| A4 | | НІО 2.899.001 ПЕ | Перелік елементів | 4 | |
| A2 | | НІО 2.899.001 СК | Вузол друкований | 1 | |
| | | | | | |
| | | | <u>Деталі</u> | | |
| A2 | | НІО 7.103.001 | Плата друкована | 1 | |
| | | | | | |
| | | | <u>Інші вироби</u> | | |
| | | | | | |
| | | | <u>Динамік</u> | | |
| | 5 | | Active Buzzer ABI-009-RC "RoHS Compliant" | 1 | ВА1 |
| | | | | | |
| | | | <u>Конденсатори</u> | | |
| | 6 | | ССК-4.7nF ±20% "Kemet" | 1 | С13 |
| | 7 | | ССК-10nF ±20% "Kemet" | 3 | С9,С10,С12 |
| | 8 | | CL21-630V-103K-P10 20% "HINATO" | 1 | С24 |
| | 9 | | ССК-100nF ±20% "Kemet" | 5 | С1,С2,С7 |
| | | | | | С8,С18 |
| | 10 | | CL21-630V-104K-P10 20% "HINATO" | 1 | С20 |
| | 11 | | ССК-2.2uF ±20% "Kemet" | 8 | С3-С5,С11 |
| | | | | | С14,С17 |
| | | | | | С21,С22 |
| | 12 | | ЕСАР-400В-22uF ±20% "JAMICON" | 1 | С23 |
| | 13 | | ЕСАР-25В-47uF ±20% "JAMICON" | 2 | С6,С16 |
| | 14 | | ЕСАР-25В-3300uF ±20% "JAMICON" | 1 | С19 |

| | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------|-----------------------------|------|
| НІО 2.899.001 | | | | |
| Змн. | Лист. | № докум. | Підпис | Дата |
| Розроб. | | Наконечний І.О. | | |
| Перевір. | | Яськів В.І. | | |
| Реценз. | | | | |
| Н.контр. | | Хвостівська Л.В. | | |
| Затверд. | | Дунець В.Л. | | |
| Інвертор 12-220 В потужністю 200 Вт для інформаційно-комунікаційних систем | | | Літ. | Арк. |
| Специфікація | | | | 1 |
| | | | Аркушів | 3 |
| | | | ТНТУ ім. І. Пулюя РАС-41 | |

