

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підсилювач звуку з Bluetooth керуванням

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

172"Електронні комунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності)

Харевіч М.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник  
(підпис) Дунець В.Л.  
(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 Харевичу Максиму Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підсилювач звуку з Bluetooth керуванням

Керівник роботи Дунець Василь Любомирович, к.т.н., доцент

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

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23.06.2026

3. Вихідні дані до роботи підсилювач звуку з Bluetooth керуванням повинен забезпечувати приймання аудіосигналу через Bluetooth-канал, його підсилення та передавання на акустичні системи. Пристрій повинен працювати від автомобільної мережі 12 В, містити імпульсний перетворювач для формування двополярного живлення, два канали підсилення звукової частоти, вузол захисту та світлодіодну індикацію роботи.

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 підсилювач звуку з Bluetooth керуванням

2. Схема електрична принципова підсилювач звуку з Bluetooth керуванням

3. Друкований вузол підсилювач звуку з Bluetooth керуванням

4. Креслення друкованої плати підсилювач звуку з Bluetooth керуванням

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 принципу роботи підсилювача звуку з Bluetooth керуванням та вимог до автомобільної аудіосистеми | 21.03.2026                     |          |
| 4     | Розробка структурної схеми підсилювача звуку з Bluetooth керуванням                                    | 23.03.2026                     |          |
| 5     | Розробка електричної принципової схеми пристрою  | 10.04.2026                     |          |
| 6     | Вибір та обґрунтування елементної бази підсилювача звуку з Bluetooth керуванням                        | 12.04.2026                     |          |
| 7     | Аналіз роботи Bluetooth-вузла, імпульсного перетворювача напруги та підсилювачів потужності            | 16.04.2026                     |          |
| 8     | Розрахунок основних вузлів схеми та параметрів роботи пристрою   | 22.04.2026                     |          |
| 9     | Розрахунок надійності пристрою та параметрів друкованого монтажу                                       | 02.05.2026                     |          |
| 10    | Компонування елементів і трасування друкованої плати підсилювача звуку з Bluetooth керуванням          | 15.05.2026                     |          |
| 11    | Перевірка конструкції друкованої плати, уточнення посадкових місць та параметрів друкованого вузла     | 23.05.2026                     |          |
| 12    | Розробка конструкторської документації на підсилювач звуку з Bluetooth керуванням                      | 03.06.2026                     |          |
| 13    | Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці   | 09.06.2026                     |          |
| 14    | Нормоконтроль  | 10.06.2026                     |          |
| 15    | Попередній захист кваліфікаційної роботи   | 11.06.2026                     |          |
| 16    | Перевірка роботи на антиплагіат  | 13.06.2026                     |          |
| 17    | Захист кваліфікаційної роботи  | 25.06.2026                     |          |
|       |  |                                |          |
|       |  |                                |          |
|       |  |                                |          |

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Харевіч М.В.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Дунець В.Л.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Підсилювач звуку з Bluetooth керуванням». Кваліфікаційна робота бакалавра// Тернопільський факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РАС-41. // Тернопіль, 2026р. // с.–71, рис.–34, табл.–6, бібліог.–15, додат.–6.

Ключові слова: ПІДСИЛЮВАЧ ЗВУКУ, BLUETOOTH, АУДІОСИГНАЛ, ПІДСИЛЮВАЧ ЗВУКОВОЇ ЧАСТОТИ, TDA2030, SG3525, ІМПУЛЬСНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ДРУКОВАНА ПЛАТА.

У роботі виконано розробку підсилювача звуку з Bluetooth керуванням. Проведено аналіз технічного завдання та визначено основні вимоги до пристрою, який забезпечує приймання аудіосигналу через бездротовий Bluetooth-канал, його підсилення та подальше відтворення через акустичні системи. Розроблено структурну та електричну принципову схеми підсилювача, розглянуто роботу основних функціональних вузлів, зокрема Bluetooth-аудіовузла, імпульсного перетворювача напруги, вузла захисту та двоканального підсилювача потужності. Виконано вибір і обґрунтування елементної бази, розрахунок окремих вузлів схеми, проектування друкованого вузла та розрахунок параметрів друкованого монтажу. Результатом роботи є розроблений підсилювач звуку з Bluetooth керуванням, який може використовуватися для приймання бездротового аудіосигналу, його підсилення та передавання на акустичні системи.

## ANNOTATION

Qualification Thesis Topic: “Audio Amplifier with Bluetooth Control”.  
Bachelor’s Qualification Thesis // Ternopil Faculty of Applied Information  
Technologies and Electrical Engineering, Group RAs-41. // Ternopil, 2026. // Pages  
– 71, Figures – 34, Tables – 6, References – 15, Appendices – 6.

Keywords: AUDIO AMPLIFIER, BLUETOOTH, AUDIO SIGNAL, LOW-FREQUENCY AMPLIFIER, TDA2030, SG3525, SWITCHING CONVERTER, PRINTED CIRCUIT BOARD.

The qualification work is devoted to the development of an audio amplifier with Bluetooth control. The technical task was analyzed and the main requirements for the device were determined. The designed device provides reception of an audio signal through a wireless Bluetooth channel, its amplification and further reproduction through acoustic systems. The structural and electrical schematic diagrams of the amplifier were developed, and the operation of the main functional units was considered, including the Bluetooth audio unit, switching voltage converter, protection unit and two-channel power amplifier. The component base was selected and substantiated, individual circuit units were calculated, the printed circuit assembly was designed, and the parameters of the printed circuit layout were calculated. The result of the work is a developed audio amplifier with Bluetooth control, which can be used for receiving a wireless audio signal, amplifying it and transmitting it to acoustic systems.

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| Вступ.....  | 8  |
| 1. Основна частина .....  | 10 |
| 1.1 Аналіз технічного завдання .....  | 10 |
| 1.2 Аналіз структурної схеми пристрою.....  | 16 |
| 1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою.....            | 19 |
| 1.3.1 Опис електричної принципової схеми.....   | 19 |
| 1.3.2 Розрахунок вузла електричної принципової схеми пристрою.....                          | 22 |
| 1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази .....   | 26 |
| 1.4.1 Опис та блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера.....                              | 26 |
| 1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази.....                                      | 28 |
| 1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу.....         | 36 |
| 1.5.1 Компоновка друкованого вузла .....  | 36 |
| 1.5.2 Розрахунок надійності проектованого пристрою.....                                     | 39 |
| 1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу.....   | 41 |
| 1.5.4 Технологія виготовлення друкованої плати .....  | 44 |
| 1.6 Висновок до розділу 1.....  | 46 |
| 2. Спеціальна частина.....  | 48 |
| 2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для розв'язання поставленого завдання ..... | 48 |
| 2.2 Створення друкованого вузла у середовищі Altium Designer.....                           | 50 |
| 2.3 Висновок до розділу 2.....  | 55 |
| 3. Охорона праці та безпека життєдіяльності .....   | 57 |
| 3.1 Моделювання та прогнозування небезпечних ситуацій .....                                 | 57 |

|           |      |                         |        |      |   |   |      |        |
|-----------|------|-------------------------|--------|------|---|---|------|--------|
|           |      |                         |        |      | <b><i>XMB 2.032.001 ПЗ</i></b>  |   |      |        |
| Змн.      | Арк. | № докум.                | Підпис | Дата |   |   |      |        |
| Розроб.   |      | <i>Харевіч М.В.</i>     |        |      | <i>Підсилювач звуку з Bluetooth керуванням</i><br><br><i>Пояснювальна записка</i> | Літ.  | Арк. | Аркуші |
| Перевір.  |      | <i>Динець В.Л.</i>      |        |      |   |   | 6    | 73     |
| Рецензент |      |                         |        |      |   | <i>ТНТУ ім. І. Пулюя</i><br><i>група РАС-41</i> |      |        |
| Н. Контр. |      | <i>Хвостівська Л.В.</i> |        |      |   |   |      |        |
| Затверд.  |      | <i>Дунець В.Л.</i>      |        |      |   |   |      |        |

|  |    |
|--|----|
| 3.2 Вимоги до виробничого освітлення та його нормування..... | 62 |
| 3.3 Висновок до розділу 3.....                               | 66 |
| Висновки.....  | 67 |
| Список використаних джерел.....                              | 69 |
| Додатки.....   | 71 |

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 7    |

## Вступ

Під час підключення аудіосистеми часто виникає потреба передавати звук зі смартфона або іншого портативного пристрою без додаткових кабелів і перехідників. Тому доцільним є використання підсилювача звуку з Bluetooth керуванням, який поєднує приймання бездротового аудіосигналу, його підсилення та передавання на акустичні системи.

Актуальність теми полягає в тому, що готові підсилювачі не завжди мають вбудований Bluetooth-вузол, а прості Bluetooth-модулі часто мають обмежену потужність і потребують додаткових підключень. Розроблений пристрій дає змогу об'єднати Bluetooth-аудіовузол, підсилювальні каскади, вузол живлення та захисту в одній конструкції.

Підсилювач призначений для приймання аудіосигналу через Bluetooth, його підсилення та передавання на дві акустичні системи. Підсилення виконується двома каналами на мікросхемах TDA2030AL, що забезпечує стереофонічне відтворення звуку. Для живлення підсилювачів потужності використовується імпульсний перетворювач напруги на ШІМ-контролері SG3525.

Пристрій працює від джерела постійної напруги 12 В, тому може застосовуватися в автомобільних аудіосистемах або інших низьковольтних системах живлення. У схемі передбачено вузол захисту, який зменшує ризик пошкодження елементів у разі неправильного підключення або нестабільної напруги живлення.

Під час розроблення важливо правильно спроектувати друкований вузол, оскільки на одній платі розміщуються Bluetooth-вузол, аудіокола, імпульсний перетворювач, силові елементи та вихідні каскади. Проектування схеми, друкованої плати та конструкторської документації виконується у середовищі Altium Designer.

|     |      |           |       |      |                         |      |
|-----|------|-----------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |           |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № док.ум. | Підп. | Дата |                         | 8    |

Метою кваліфікаційної роботи є розробка підсилювача звуку з Bluetooth керуванням, який забезпечує приймання бездротового аудіосигналу, його підсилення та передавання на акустичні системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати технічне завдання та визначити основні вимоги до пристрою;
- розробити структурну схему підсилювача звуку з Bluetooth керуванням;
- розглянути роботу електричної принципової схеми;
- виконати розрахунок окремих вузлів схеми;
- обґрунтувати вибір елементної бази;
- розробити друкований вузол пристрою;
- виконати розрахунок надійності та параметрів друкованого монтажу;
- виконати проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer.

Об'єктом дослідження є процес приймання та підсилення звукового сигналу в електронному аудіопристрої з бездротовим каналом передавання.

Предметом дослідження є підсилювач звуку з Bluetooth керуванням, його електрична принципова схема, елементна база, друкований вузол і конструктивно-технологічні рішення, необхідні для реалізації пристрою.

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>ХМВ 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 9    |

## 1. Основна частина

### 1.1 Аналіз технічного завдання

Основні технічні характеристики пристрою

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Напруга живлення.....  | 12 В                        |
| Тип вхідного сигналу.....  | бездротовий Bluetooth       |
| Кількість каналів підсилення.....                                  | 2                           |
| Тип вихідного сигналу.....   | сигнал на акустичні системи |
| Орієнтовна вихідна потужність.....                                 | до 20 Вт                    |
| Мікросхеми підсилювачів потужності.....                            | TDA2030AL                   |
| Тип перетворювача напруги.....                                     | імпульсний push-pull        |
| ШИМ-контролер перетворювача.....                                   | SG3525ANG                   |
| Bluetooth-аудіовузол.....  | AC6905A                     |
| Система захисту від неправильного підключення та аварійних режимів |                             |
| Індикація режимів роботи.....                                      | світлодіодна                |
| Тип друкованої плати.....  | двостороння                 |
| Тип монтажу елементів.....   | вивідний                    |
| Матеріал основи друкованої плати.....                              | FR-4 / СФ-2-35              |
| Товщина друкованої плати.....                                      | 1,5 мм                      |
| Товщина мідної фольги.....   | 35 мкм                      |
| Габаритні розміри друкованої плати.....                            | 155 × 105 мм                |

Технічне завдання передбачає розробку підсилювача звуку з Bluetooth керуванням, який забезпечує приймання аудіосигналу бездротовим способом, його підсилення та передавання на акустичні системи. Пристрій повинен працювати від джерела постійної напруги 12 В, мати два канали підсилення звукової частоти, вузол живлення, захисту та індикації.

У схемі підсилювача передбачено Bluetooth-аудіовузол, який приймає сигнал від зовнішнього пристрою, наприклад смартфона або ноутбука. Після

|     |      |           |       |      |                         |      |
|-----|------|-----------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |           |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № док.ум. | Підп. | Дата |                         | 10   |

цього сигнал лівого та правого каналів надходить на підсилювачі потужності, виконані на мікросхемах TDA2030AL. Така побудова дозволяє реалізувати стереофонічне відтворення звуку та підключити дві акустичні системи.

Оскільки пристрій живиться від напруги 12 В, для живлення підсилювачів потужності використовується імпульсний перетворювач напруги. Він побудований на ШІМ-контролері SG3525ANG, силових транзисторах, трансформаторі, випрямних діодах і фільтруючих конденсаторах. Наявність такого вузла дає змогу сформувати необхідне живлення для вихідних каскадів підсилювача.

Важливою вимогою до пристрою є надійність роботи. Для цього у схемі передбачено запобіжник, вузол захисту від неправильного підключення та контролю режимів живлення. Також використовується світлодіодна індикація, яка дозволяє контролювати стан роботи окремих вузлів підсилювача.

Під час розроблення друкованого вузла потрібно враховувати, що на одній платі розміщуються як сигнальні, так і силові кола. Bluetooth-вузол і вхідні аудіокола необхідно розташовувати на відстані від імпульсного перетворювача, трансформатора та силових транзисторів. Для силових ділянок потрібно застосовувати провідники збільшеної ширини, а для сигнальних кіл — дотримуватися мінімальної довжини з'єднань і достатніх зазорів.

Для порівняння розроблюваного підсилювача звуку з Bluetooth керуванням розглянуто декілька реальних пристроїв, які виконують подібні або частково подібні функції. Для аналізу вибрано Bluetooth-підсилювальний модуль XY-P15W, модуль WONDOM JAB2+ на мікросхемі TPA3116, автомобільний підсилювач Pioneer GM-A3702 та портативну Bluetooth-колонку JBL Go 4.

Першим аналогом є модуль XY-P15W. Це компактний Bluetooth-підсилювач, який працює від напруги 8–24 В, підтримує Bluetooth 5.0 та має стереовихід. За характеристиками він може працювати як готовий модуль для невеликої акустичної системи, однак його можливості обмежені габаритами,

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 11   |

тепловідведенням і невеликою потужністю при живленні від 12 В. Для навчального проєктування та розробки повноцінного друкованого вузла такий модуль є радше готовим рішенням, ніж окремою конструкцією, яку можна детально розрахувати й адаптувати під власну схему.



Рисунок 1.1 – Bluetooth-підсилювальний модуль XY-P15W

Другим аналогом є модуль WONDOM JAB2+ AA-JA32175. Він побудований на мікросхемі TPA3116, має Bluetooth 5.0, підтримує цифрову обробку звуку DSP та забезпечує вихідну потужність до  $2 \times 50$  Вт при навантаженні 4 Ом і живленні 24 В. Такий модуль має кращі енергетичні показники та більшу потужність, однак він є готовою платою класу D і не передбачає розроблення власного імпульсного перетворювача, вузла захисту та повного комплексу конструкторської документації.



Рисунок 1.2 – Bluetooth-підсилювальний модуль WONDOM JAB2+ AA-JA32175

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 12   |

Третім пристроєм для порівняння є автомобільний підсилювач Pioneer GM-A3702. Це двоканальний автомобільний підсилювач, який розрахований на роботу в автомобільній аудіосистемі та має вихідну потужність  $60 \text{ Вт} \times 2$  при навантаженні  $4 \text{ Ом}$ . Його перевагою є готове конструктивне виконання та орієнтація на автомобільне використання. Недоліком у межах даного порівняння є відсутність вбудованого Bluetooth-приймача, тому для бездротового передавання звуку потрібно додатково використовувати зовнішній Bluetooth-адаптер.



Рисунок 1.3 – Автомобільний підсилювач Pioneer GM-A3702

Четвертим пристроєм є портативна Bluetooth-колонка JBL Go 4. Вона має вбудований Bluetooth-приймач, акумулятор, підсилювач і динамік, тобто є повністю готовим автономним пристроєм. Її вихідна потужність становить  $4,2 \text{ Вт RMS}$ , що достатньо для персонального прослуховування, але недостатньо для використання як окремого підсилювального вузла з підключенням зовнішніх акустичних систем.

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 13   |



Рисунок 1.4 – Портативна Bluetooth-колонка JBL Go 4

Порівняння розроблюваного пристрою з реальними аналогами наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння підсилювача звуку з Bluetooth керуванням з реальними аналогами

| Характеристика      | XY-P15W                         | WONDOM JAB2+ AA-JA32175                 | Pioneer GM-A3702         | JBL Go 4                     | Розроблюваний підсилювач                |
|---------------------|---------------------------------|---|--------------------------|------------------------------|---|
| Тип пристрою        | Bluetooth-підсилювальний модуль | Bluetooth-підсилювальний модуль класу D | автомобільний підсилювач | портативна Bluetooth-колонка | підсилювач звуку з Bluetooth керуванням |
| Bluetooth-приймання | є                               | є                                       | немає                    | є                            | є                                       |
| Кількість каналів   | 2                               | 2                                       | 2                        | 1                            | 2                                       |

## Продовження таблиці 1.1

|   |                              |  |                               |                          |   |
|---|------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------|---|
| Живлення                                | 8–24 В                       | до 24 В                                  | автомобільна мережа 12 В      | вбудований акумулятор    | 12 В  |
| Вихідна потужність                      | до 2 × 30 Вт                 | до 2 × 50 Вт                             | 60 Вт × 2 RMS                 | 4,2 Вт RMS               | до 20 Вт  |
| Підключення зовнішніх акустичних систем | є                            | є  | є                             | немає                    | є   |
| Власний імпульсний перетворювач         | немає                        | немає                                    | є                             | внутрішній, закритий     | є   |
| Вузол захисту                           | базовий                      | є  | є                             | є                        | є   |
| Можливість модернізації                 | обмежена                     | обмежена                                 | низька                        | низька                   | вища  |
| Придатність для розробки КД             | низька, готовий модуль       | низька, готовий модуль                   | низька, готовий виріб         | низька, готовий виріб    | висока  |
| Основна перевага                        | простота і компактність      | висока потужність і ККД                  | готове автомобільне виконання | автономність             | поєднання Bluetooth, підсилення, живлення, захисту і власної ДП |
| Основний недолік                        | обмежена потужність при 12 В | готова плата без власної розробки вузлів | немає Bluetooth               | не підключає зовнішні АС | потребує виготовлення та налагодження                           |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |

ХМВ 2.032.001 ПЗ

Арк.

15

За результатами порівняння видно, що кожен із розглянутих аналогів має свої переваги, але не повністю відповідає завданню даної роботи. XY-P15W і WONDOM JAB2+ є готовими модулями, тому не передбачають повного проєктування схеми та друкованого вузла. Pioneer GM-A3702 добре підходить для автомобільної аудіосистеми, але не має вбудованого Bluetooth-приймання. JBL Go 4 зручна як автономна колонка, проте не може використовуватися як окремий підсилювач для зовнішніх акустичних систем.

Розроблюваний підсилювач звуку з Bluetooth керуванням поєднує приймання аудіосигналу через Bluetooth, двоканальне підсилення, живлення від 12 В, імпульсний перетворювач напруги, вузол захисту та власний друкований вузол. Тому він є доцільним варіантом для реалізації як окремого підсилювального пристрою з можливістю подальшого виготовлення, перевірки та налагодження.

## 1.2 Аналіз структурної схеми пристрою

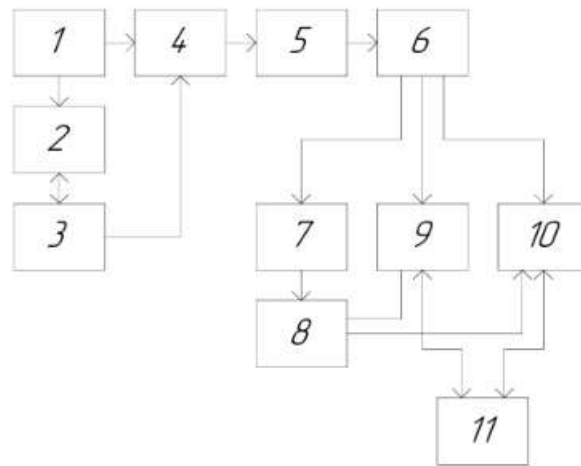


Рисунок 1.5 – Структурна схема підсилювача звуку з Bluetooth керуванням

- 1- Джерело живлення
- 2- ШІМ-контролер перетворювача
- 3- Вузол контролю та індикації
- 4- Силовий ключовий каскад

- 5- Імпульсний трансформатор
- 6- Випрямляч і фільтр живлення
- 7- Стабілізатор живлення Bluetooth-модуля
- 8- Bluetooth-модуль
- 9- Підсилювач лівого каналу
- 10- Підсилювач правого каналу
- 11- Акустичний випромінювач

Структурна схема підсилювача звуку з Bluetooth керуванням відображає основні функціональні вузли пристрою та зв'язки між ними. Пристрій побудований за модульним принципом, оскільки окремі частини схеми виконують різні функції: приймання аудіосигналу, підсилення, формування живлення, захист та індикацію режимів роботи.

Джерело живлення подає на пристрій постійну напругу 12 В. Ця напруга є основною для роботи всієї схеми та надходить до вузлів імпульсного перетворювача. Оскільки підсилювач призначений для роботи від низьковольтного джерела, у схемі необхідно сформувати напруги, придатні для живлення підсилювачів потужності та Bluetooth-модуля.

ШИМ-контролер перетворювача формує керуючі імпульси для силового ключового каскаду. У даному пристрої цей вузол відповідає за роботу імпульсного перетворювача напруги. Він задає режим перемикання силових транзисторів і забезпечує перетворення вхідної напруги 12 В у напругу, необхідну для подальшого живлення підсилювальних каскадів.

Вузол контролю та індикації використовується для контролю режимів роботи пристрою та відображення його стану. Він взаємодіє з ШИМ-контролером і дає змогу контролювати запуск та роботу перетворювача. Світлодіодна індикація спрощує перевірку пристрою під час налагодження, оскільки дозволяє візуально оцінити наявність живлення або роботу окремих вузлів.

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 17   |

Силовий ключовий каскад виконує комутацію струму в первинній обмотці імпульсного трансформатора. Він побудований на силових транзисторах, які працюють у ключовому режимі під керуванням ШІМ-контролера. Саме цей вузол є основною силовою частиною перетворювача, тому під час його проектування важливо враховувати струмове навантаження, нагрівання елементів і правильне трасування силових провідників.

Імпульсний трансформатор передає енергію з первинного кола перетворювача у вторинне та забезпечує формування необхідного рівня напруги. Після трансформатора напруга ще не є придатною для безпосереднього живлення підсилювачів, тому вона надходить на вузол випрямлення та фільтрації.

Випрямляч і фільтр живлення перетворюють імпульсну напругу з вторинної обмотки трансформатора у постійну напругу. Випрямлення виконується діодами, а згладжування пульсацій — фільтруючими конденсаторами та дроселем. Отримана напруга використовується для живлення підсилювачів лівого та правого каналів, а також подається на стабілізатор живлення Bluetooth-модуля.

Стабілізатор живлення Bluetooth-модуля формує стабільну напругу нижчого рівня, необхідну для роботи Bluetooth-вузла. Це важливо, оскільки Bluetooth-модуль є малопотужним електронним вузлом і потребує стабільного живлення без значних пульсацій та перепадів напруги.

Bluetooth-модуль призначений для приймання аудіосигналу від зовнішнього пристрою через бездротовий канал. Після приймання він формує аналогові сигнали лівого та правого каналів. Ці сигнали передаються на відповідні підсилювачі звукової частоти.

Підсилювач лівого каналу і підсилювач правого каналу виконують підсилення аудіосигналів, отриманих від Bluetooth-модуля. Обидва канали працюють окремо, що дає змогу реалізувати стереофонічне відтворення звуку.

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 18   |

Для нормальної роботи цих вузлів необхідне стабільне живлення, правильне підключення навантаження та відведення тепла від мікросхем підсилювачів.

Акустичні випромінювачі підключаються до виходів підсилювачів лівого та правого каналів. Вони перетворюють підсилений електричний сигнал у звукові коливання. Саме цей вузол є кінцевим навантаженням пристрою, тому під час експлуатації важливо не допускати короткого замикання на виходах та неправильного підключення акустичних систем.

У процесі роботи пристрою напруга від джерела живлення надходить до імпульсного перетворювача. ШІМ-контролер керує силовим ключовим каскадом, який подає імпульсну напругу на трансформатор. Після випрямлення та фільтрації формується живлення для підсилювальних каскадів і стабілізатора Bluetooth-модуля. Bluetooth-модуль приймає аудіосигнал, передає його на підсилювачі лівого та правого каналів, після чого підсилений сигнал надходить на акустичні випромінювачі.

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

#### 1.3.1 Опис електричної принципової схеми

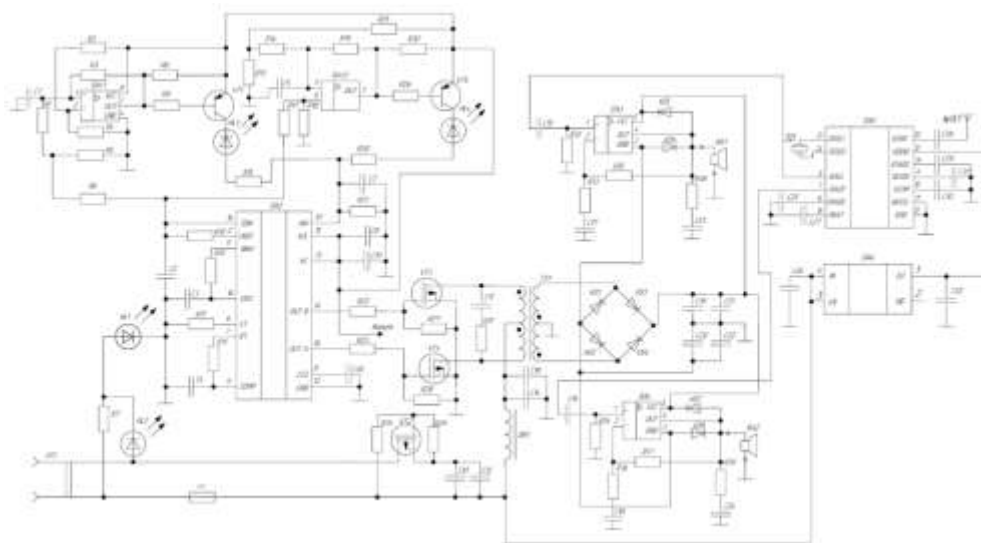


Рисунок 1.6 – Схема електрична принципова підсилювача звуку з Bluetooth керуванням

|     |      |          |       |      |                         |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                         | 19   |

Електрична принципова схема підсилювача звуку з Bluetooth керуванням побудована так, щоб в одному пристрої забезпечити приймання аудіосигналу, формування необхідних напруг живлення, підсилення двох каналів та підключення акустичних випромінювачів. Схему можна поділити на кілька основних частин: вхід живлення, вузол контролю та індикації, імпульсний перетворювач, стабілізатор для Bluetooth-модуля, сам Bluetooth-вузол, два підсилювачі звукової частоти та вихідні кола.

Живлення на пристрій подається через роз'єм XS1. Схема розрахована на роботу від постійної напруги 12 В, що відповідає умовам використання в автомобільній аудіосистемі. На вході передбачені елементи, які виконують захист і фільтрацію. Вони потрібні для зменшення впливу завад у колі живлення, а також для захисту пристрою у випадку неправильного підключення або появи аварійного режиму.

Контроль режимів роботи виконується вузлом на мікросхемі DA1 і дискретних елементах. Ця частина схеми контролює рівень вхідної напруги та впливає на запуск імпульсного перетворювача. Якщо напруга живлення виходить за допустимі межі, робота перетворювача може блокуватися. Світлодіоди HL1–HL4 використовуються для візуальної індикації стану пристрою. Це зручно під час першого ввімкнення, перевірки живлення та налагодження схеми.

Формування живлення для підсилювачів потужності виконує імпульсний перетворювач напруги. Його основою є ШІМ-контролер DA2 типу SG3525ANG. Мікросхема формує два керуючі імпульсні сигнали, які подаються на силові транзистори. Параметри роботи перетворювача, зокрема частота та режим запуску, задаються зовнішніми резисторами й конденсаторами, підключеними до відповідних виводів DA2.

Силова частина перетворювача виконана на транзисторах VT3 і VT4. Вони працюють у ключовому режимі та по чергово комутують струм через первинну обмотку трансформатора TV1. Такий принцип роботи відповідає

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 20   |

двотактному перетворювачу типу push-pull. Його застосування дає змогу від джерела 12 В отримати напругу, потрібну для живлення підсилювачів звукової частоти.

Імпульсний трансформатор TV1 передає енергію у вторинне коло та забезпечує перетворення рівня напруги. Після трансформатора напруга випрямляється діодами VD1–VD4. Далі вона згладжується фільтруючими конденсаторами C19–C22 і дроселем DR1. На виході цього вузла формується живлення, яке використовується для роботи підсилювачів лівого та правого каналів.

Для живлення Bluetooth-модуля використано окремий стабілізатор DA6. Він формує стабільну напругу, необхідну для роботи мікросхеми DA5. На вході та виході стабілізатора встановлені конденсатори, які зменшують пульсації та підвищують стабільність живлення. Окремий стабілізатор є важливим, оскільки Bluetooth-вузол чутливий до перепадів напруги та імпульсних завад, які можуть виникати в силовій частині схеми.

Bluetooth-вузол побудований на мікросхемі DA5. До нього також входять кварцовий резонатор ZQ1, антена WA1 і допоміжні конденсатори. Цей вузол приймає аудіосигнал від зовнішнього пристрою через Bluetooth-канал. Після приймання сигнал формується у вигляді двох аналогових каналів — лівого та правого, які далі надходять на підсилювачі звукової частоти.

Підсилення аудіосигналу реалізовано двома окремими каналами. Лівий канал виконаний на мікросхемі DA3, правий — на мікросхемі DA4. У кожному каналі передбачені входні конденсатори, резистори зворотного зв'язку та елементи частотної корекції. Вони задають режим роботи підсилювачів, забезпечують стабільність підсилення та зменшують ймовірність самозбудження.

На виходах підсилювачів встановлені захисні діоди VD5, VD6, VD7 і VD8. Вони обмежують можливі викиди напруги на вихідних колах і захищають мікросхеми підсилювачів від перевантажень. До виходів

|     |      |          |       |      |                         |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                         | 21   |

підсилювачів підключаються акустичні випромінювачі ВА1 і ВА2, які перетворюють підсилений електричний сигнал у звук.

Робота пристрою починається з подавання напруги 12 В на роз'єм XS1. Далі вхідна напруга надходить на вузол контролю та на імпульсний перетворювач. Якщо режим живлення нормальний, ШІМ-контролер DA2 запускає силові транзистори VT3 і VT4. Через трансформатор TV1, випрямляч і фільтр формується живлення для підсилювачів потужності. Одночасно стабілізатор DA6 забезпечує живлення Bluetooth-вузла DA5.

Після встановлення Bluetooth-з'єднання мікросхема DA5 приймає аудіосигнал від зовнішнього пристрою та подає сигнали лівого і правого каналів на мікросхеми DA3 і DA4. Підсилені сигнали з виходів цих мікросхем надходять на акустичні випромінювачі ВА1 і ВА2. Вузол індикації дає можливість контролювати стан пристрою під час запуску та перевірки.

### 1.3.2 Розрахунок вузла електричної принципової схеми пристрою

Для електричної принципової схеми підсилювача звуку з Bluetooth керуванням доцільно виконати розрахунок вузла живлення Bluetooth-модуля та вхідного кола підсилювачів звукової частоти. Перший розрахунок потрібний для перевірки правильності вибору стабілізатора DA6, який живить Bluetooth-вузол DA5. Другий розрахунок дозволяє оцінити, чи не буде вхідне RC-коло підсилювачів DA3 і DA4 обмежувати корисний звуковий діапазон.

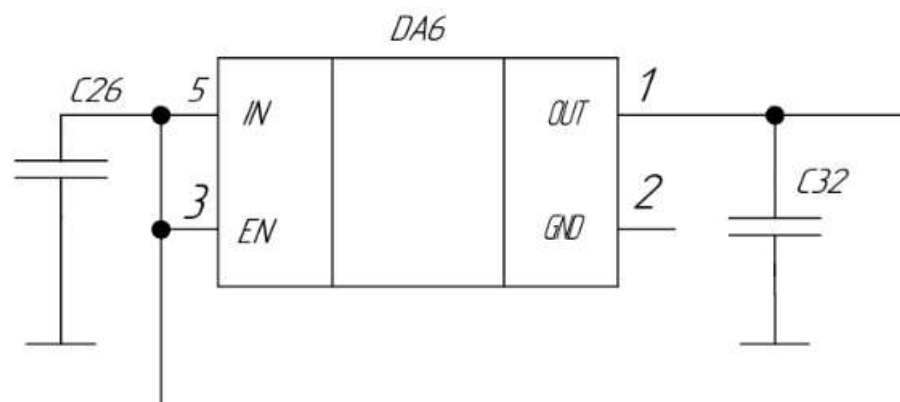


Рисунок 1.7 – Вигляд стабілізатора DA6 у схемі електричній принциповій

Для живлення Bluetooth-вузла DA5 використовується стабілізатор напруги DA6 типу LP2985-33DBVR. Bluetooth-аудіовузол потребує стабільної напруги 3,3 В, тому використання окремого стабілізатора є доцільним. Він зменшує вплив пульсацій та завад, які можуть виникати в силовій частині схеми через роботу імпульсного перетворювача.

Приймаємо вхідну напругу стабілізатора:

$$U_{\text{ВХ}} = 5 \text{ В.}$$

Необхідна вихідна напруга для живлення Bluetooth-вузла становить:

$$U_{\text{ВИХ}} = 3.3 \text{ В.}$$

Різниця між вхідною та вихідною напругою визначається за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta U &= U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВИХ}} , & (1.1) \\ \Delta U &= 5 - 3.3 = 1.7 \text{ В.} \end{aligned}$$

Отже, стабілізатор повинен забезпечувати зниження напруги з 5В до 3,3В. Максимальний струм навантаження приймаємо 0.15 А.

Потужність, яка розсіюється на стабілізаторі, визначається за формулою:

$$\begin{aligned} P_{\text{розс}} &= \Delta U \cdot I_{\text{н}} & (1.2) \\ P_{\text{розс}} &= 1.7 \cdot 0.15 = 0.255 \text{ Вт} \end{aligned}$$

У результаті розрахунків стабілізатор повинен могли розсіювати потужність не менше 0,255 Вт.

Щоб підтвердити доцільність вибору, зіставимо розрахункові дані з технічними характеристиками LP2985-33DBVR. Цей стабілізатор підтримує

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 23   |

фіксовану напругу 3,3 В і розрахований на максимальний струм навантаження до 150 мА.

Вихідна напруга стабілізатора 3.3 В. Допустимий вихідний струм 0.15А. Умова відповідності за напругою виконується:

$$U_{\text{вих.ст}} = U_{\text{вих}} = 3.3 \text{ В}$$

Також виконується умова за струмом:

$$I_{\text{вих.мах}} \geq I_{\text{н}} \quad (1.3)$$

$$0.15 \geq 0.15$$

Відповідно до вихідної напруги та допустимого струму стабілізатор LP2985-33DBVR відповідає вимогам Bluetooth-вузла. Для забезпечення стійкої роботи стабілізатора в схемі використовуються фільтруючі конденсатори на вході та виході. Вхідний конденсатор згладжує пульсації напруги, а вихідний конденсатор підвищує стабільність роботи стабілізатора та зменшує рівень завад на лінії живлення Bluetooth-модуля.

Приймаємо для схеми:

$$C_{\text{вх}} = 1 \text{ мкФ}$$

$$C_{\text{вих}} = 4.7 \text{ мкФ}$$

Відповідно до розрахунків, стабілізатор DA6 типу LP2985-33DBVR може бути використаний для живлення Bluetooth-вузла DA5. Він забезпечує необхідну вихідну напругу 3,3 В, допустимий струм до 150 мА та має достатні параметри для роботи малопотужної частини схеми.

Далі виконаємо розрахунок вхідного RC-кола підсилювачів звукової частоти. У схемі лівий і правий канали підсилення побудовані на мікросхемах DA3 і DA4 типу TDA2030AL. На входах каналів встановлені розділові конденсатори, які разом із вхідними резисторами утворюють RC-ланку. Така

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 24   |

ланка пропускає змінний аудіосигнал і не пропускає постійну складову.

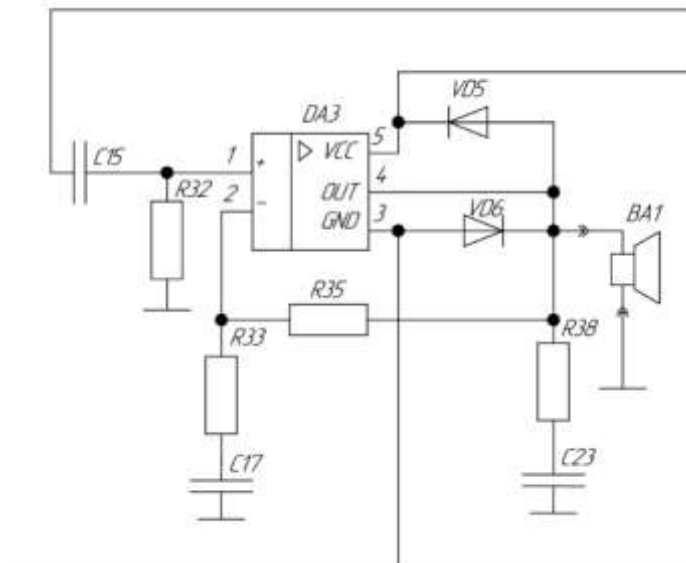


Рисунок 1.8 – Вхідне RC-коло підсилювача звукової частоти

$$f_H = \frac{1}{2\pi RC'} \quad (1.4)$$

де, R — опір вхідного резистора, Ом;

C — ємність вхідного розділового конденсатора, Ф.

Для розрахунку приймаємо:

$$R = 22 \text{ кОм} = 22000 \text{ Ом},$$

$$C = 2,2 \text{ мкФ} = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

Підставляємо значення у формулу:

$$f_H = \frac{1}{2\pi \cdot 22000 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6}} = 3,29 \approx 3,3 \text{ Гц.}$$

Звуковий діапазон, який сприймається людиною, орієнтовно становить від 20 Гц до 20 кГц. Оскільки розрахована нижня гранична частота вхідного кола значно менша за 20 Гц, вхідна RC-ланка не обмежує корисний звуковий діапазон.

$$3,3 \text{ Гц} < 20 \text{ Гц.}$$

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 25   |

Вибрані номінали вхідних елементів є доцільними для підсилювача звукової частоти. Розділовий конденсатор забезпечує проходження аудіосигналу на вхід підсилювача, а низьке значення нижньої граничної частоти дозволяє передавати низькочастотну складову звукового сигналу без помітного послаблення.

За результатами виконаних розрахунків встановлено, що стабілізатор DA6 забезпечує необхідну напругу живлення для Bluetooth-вузла, а вхідне RC-коло підсилювачів DA3 і DA4 не обмежує робочий звуковий діапазон. Це підтверджує правильність вибору елементів для вузла живлення Bluetooth-модуля та вхідних кіл підсилювачів звукової частоти.

## 1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

### 1.4.1 Опис та блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера

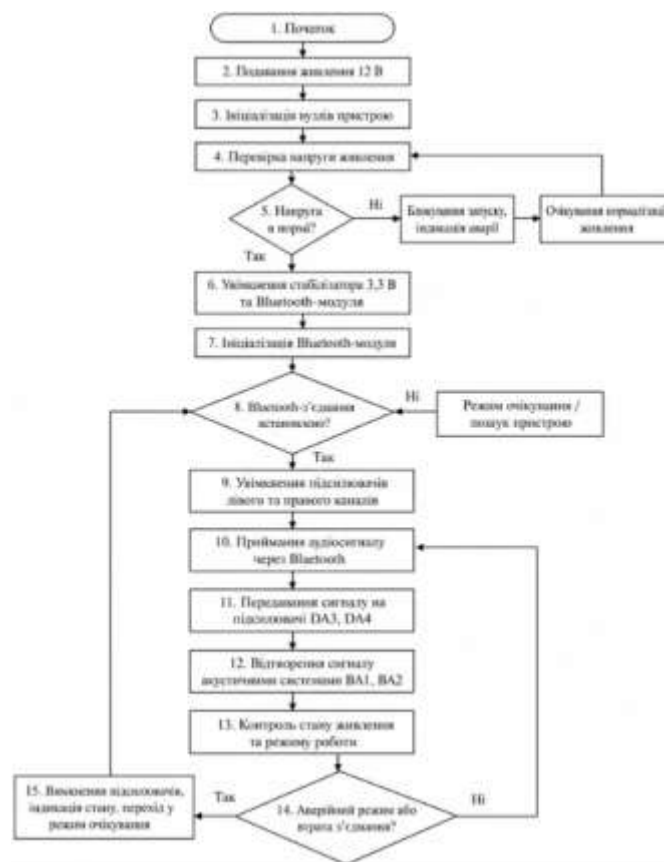


Рисунок 1.9 – Блок-схема алгоритму роботи підсилювача звуку з Bluetooth керуванням

Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера показує послідовність запуску та подальшої роботи підсилювача звуку з Bluetooth керуванням. У даному пристрої керування режимами роботи пов'язане з контролем живлення, запуском Bluetooth-модуля, передаванням аудіосигналу на підсилювальні каскади та переходом у режим очікування при втраті з'єднання або аварійному режимі.

Робота пристрою починається з подавання живлення 12 В. Після цього відбувається початкова ініціалізація основних вузлів схеми. На цьому етапі перевіряється готовність вузла живлення, стабілізатора Bluetooth-модуля, підсилювачів лівого і правого каналів та вузла індикації.

Далі виконується перевірка напруги живлення. Якщо напруга знаходиться в допустимих межах, пристрій переходить до наступного етапу роботи. Якщо напруга занижена, завищена або нестабільна, запуск підсилювача блокується, а вузол індикації показує аварійний стан. У такому режимі пристрій очікує нормалізації живлення, після чого перевірка повторюється.

Після підтвердження нормального живлення вмикається стабілізатор напруги 3,3 В, який забезпечує живлення Bluetooth-модуля. Далі виконується ініціалізація Bluetooth-модуля. Він переходить у режим пошуку зовнішнього пристрою та очікує встановлення з'єднання зі смартфоном, ноутбуком або іншим джерелом аудіосигналу.

Якщо Bluetooth-з'єднання не встановлено, пристрій залишається в режимі очікування. У цьому стані підсилювач не переходить до основного режиму відтворення, а Bluetooth-модуль продовжує пошук доступного пристрою. Після встановлення з'єднання алгоритм переходить до ввімкнення підсилювачів лівого та правого каналів.

У робочому режимі Bluetooth-модуль приймає аудіосигнал через бездротовий канал. Після цього сигнали лівого та правого каналів передаються на підсилювачі DA3 і DA4. Підсилювачі збільшують рівень

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 27   |

сигналу до значення, достатнього для роботи акустичних систем. Далі підсилений сигнал надходить на акустичні випромінювачі ВА1 і ВА2, які перетворюють електричний сигнал у звук.

Під час роботи постійно контролюється стан живлення та режим роботи пристрою. Якщо живлення залишається нормальним і Bluetooth-з'єднання не втрачається, алгоритм повертається до приймання аудіосигналу, тобто пристрій продовжує працювати у звичайному циклі відтворення.

Якщо виникає аварійний режим або втрачається Bluetooth-з'єднання, підсилювачі вимикаються, вмикається відповідна індикація стану, а пристрій переходить у режим очікування. Після цього алгоритм знову повертається до перевірки Bluetooth-з'єднання. Такий підхід дозволяє уникнути роботи підсилювачів без корисного сигналу та зменшує ризик пошкодження елементів при нестабільному режимі.

#### 1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Під час розроблення підсилювача звуку з Bluetooth керуванням елементна база вибиралася з урахуванням функціонального призначення пристрою, напруги живлення, струмових навантажень, типу монтажу та можливості розміщення елементів на друкованій платі. До складу схеми входять елементи вхідного живлення, імпульсного перетворювача напруги, Bluetooth-аудіовузла, двох підсилювачів звукової частоти, вузла захисту та індикації.

Для фільтрації, розв'язки та формування частотних характеристик у схемі застосовуються конденсатори різних типів і номіналів. Конденсатор С3 номіналом 1 нФ використовується у допоміжних колах схеми, де необхідна фільтрація високочастотних завад або формування часових параметрів. Конденсатори С7, С11 номіналом 10 нФ застосовуються в колах фільтрації та стабілізації режимів роботи окремих вузлів. Конденсатор С4 номіналом 10 нФ на напругу 3 кВ використовується у силовій частині, де можливі імпульсні перенапруги.

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>ХМВ 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 28   |



Рисунок 1.10 – Керамічні конденсатори

Конденсатори C1, C2, C5, C9, C10, C14 номіналом 100 нФ виконують функцію блокувальних і фільтруючих елементів. Вони встановлюються поблизу мікросхем і вузлів живлення для зменшення пульсацій та високочастотних завад. Такі конденсатори є обов'язковими для стабільної роботи мікросхем, особливо в пристрої, де одночасно працюють імпульсний перетворювач і аудіотракт.

Електролітичні конденсатори використовуються там, де потрібна більша ємність. Конденсатори C15 і C16 номіналом 2,2 мкФ виконують роль розділових конденсаторів у входних колах підсилювачів. Вони пропускають змінну складову аудіосигналу і не пропускають постійну складову. Конденсатори C6, C17, C18 номіналом 22 мкФ застосовуються для фільтрації та стабілізації режимів роботи мікросхем. Конденсатор C8 номіналом 100 мкФ використовується у колі живлення для згладжування пульсацій.

Конденсатори C19 і C20 номіналом 1000 мкФ, а також C12 і C13 номіналом 2200 мкФ, застосовуються у силових колах живлення. Вони згладжують пульсації після випрямлення, накопичують електричну енергію та забезпечують стабільне живлення підсилювачів потужності під час зміни навантаження.

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 29   |

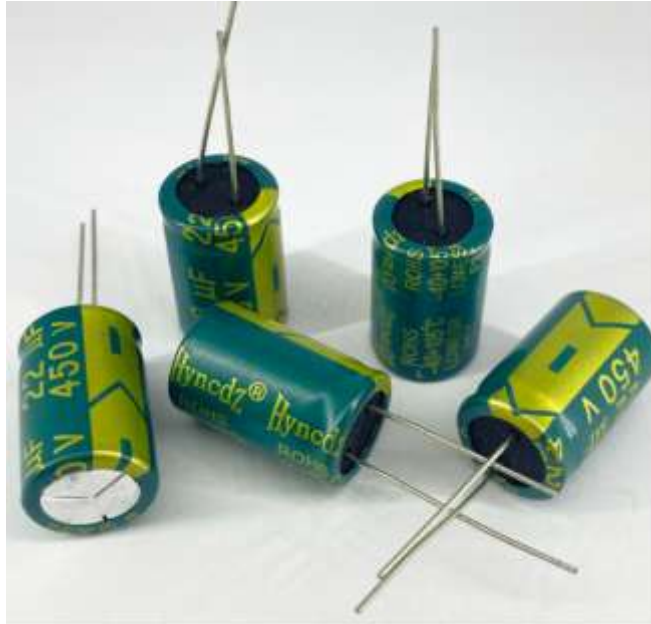


Рисунок 1.11 – Електролітичні конденсатори

Основними активними елементами пристрою є мікросхеми DA1–DA6. Мікросхема DA1 типу LM393N є здвоєним компаратором. У схемі вона використовується у вузлі контролю живлення та захисту. Компаратор порівнює рівні напруг і формує керуючі сигнали для подальшого запуску або блокування роботи перетворювача. Використання LM393N є доцільним через простоту включення, доступність і можливість роботи в схемах контролю напруги.



Рисунок 1.12 – Мікросхема компаратора LM393N

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 30   |

Мікросхема DA2 типу SG3525ANG є ШІМ-контролером імпульсного перетворювача. Вона формує керуючі імпульси для силового ключового каскаду та забезпечує роботу перетворювача напруги. За допомогою цієї мікросхеми реалізується двотактний режим керування силовими транзисторами, що дозволяє отримати необхідне живлення для підсилювачів потужності від джерела 12 В.

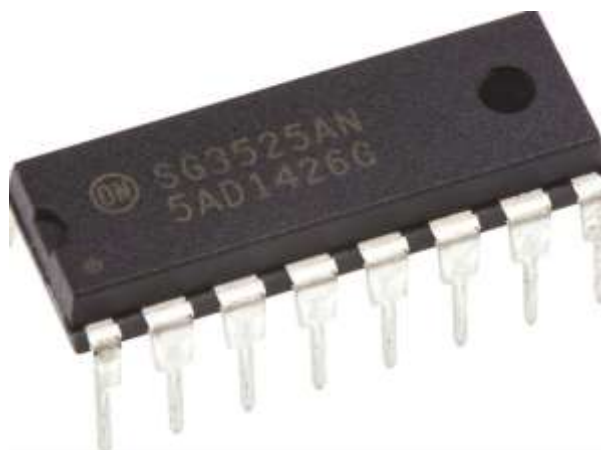


Рисунок 1.13 – ШІМ-контролер SG3525ANG

Мікросхеми DA3 і DA4 типу TDA2030AL-TB5-T використовуються як підсилювачі звукової частоти. Одна мікросхема підсилює сигнал лівого каналу, друга — правого. TDA2030AL є поширеною мікросхемою для побудови малогабаритних підсилювачів потужності. Її вибір обґрунтований простотою включення, достатньою вихідною потужністю для розроблюваного пристрою та можливістю роботи у стереофонічній схемі.

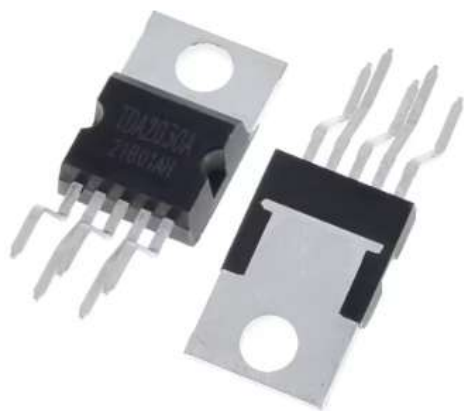


Рисунок 1.14 – Мікросхема підсилювача звукової частоти TDA2030AL

|     |      |          |       |      |                         |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                         | 31   |

Мікросхема DA6 типу LP2985-33DBVR є стабілізатором напруги 3,3 В. Вона використовується для живлення Bluetooth-вузла, який потребує стабільної зниженої напруги. Окремий стабілізатор дає змогу зменшити вплив пульсацій і завад від силової частини схеми на роботу Bluetooth-модуля.

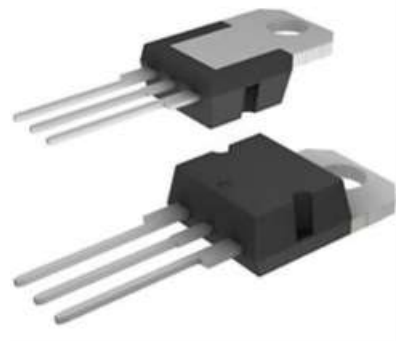


Рисунок 1.15 – Стабілізатор напруги LP2985-33DBVR

Дросель DR1 типу DTMSS 15V 10 мкГн 15 А використовується у фільтрі живлення імпульсного перетворювача. Його призначення полягає у згладжуванні пульсацій струму та зменшенні рівня високочастотних завад. Враховуючи струмові навантаження силової частини, вибір дроселя з допустимим струмом 15 А є доцільним.



Рисунок 1.16 – Дросель DTMSS 10 мкГн 15 А

Запобіжник FU1 на 12 А 250 В використовується у вхідному колі живлення. Він захищає пристрій від надмірного струму у випадку короткого замикання або аварійного режиму. Запобіжник є важливим елементом захисту,

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 32   |

оскільки підсилювач живиться від джерела 12 В і має силовий імпульсний перетворювач.



Рисунок 1.17 – Запобіжник 12 А 250 В

Світлодіоди HL1–HL4 типу GNL-3012ED використовуються для індикації стану роботи пристрою. Вони дозволяють візуально контролювати наявність живлення, запуск окремих вузлів або аварійний стан. Світлодіодна індикація є зручною під час налагодження, перевірки та експлуатації підсилювача.



Рисунок 1.18 – Світлодіод GNL-3012ED

У схемі застосовуються резистори MF50 різних номіналів з допуском  $\pm 1\%$ . Резистори виконують функції обмеження струму, формування подільників напруги, задання режимів роботи мікросхем і транзисторів, а також утворення кіл зворотного зв'язку у підсилювачах. Використання резисторів із допуском  $\pm 1\%$  дозволяє отримати стабільніші параметри роботи схеми.

|     |      |          |       |      |                         |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                         | 33   |



Рисунок 1.19 – Резистори MF50

Діоди VD1–VD4 типу UF5408 використовуються у випрямлячі після імпульсного трансформатора. Вони перетворюють змінну імпульсну напругу у постійну. Вибір діодів UF5408 обґрунтований тим, що вони призначені для роботи у силових колах і можуть витримувати значні струми та напруги.



Рисунок 1.20 – Випрямні діоди UF5408

Діоди VD5–VD8 типу 1N4007 використовуються у вихідних колах підсилювачів як захисні елементи. Вони обмежують можливі викиди напруги та захищають мікросхеми підсилювачів від небажаних перехідних процесів. Такі діоди є поширеними, доступними та достатніми для допоміжних захисних кіл.



Рисунок 1.21 – Захисні діоди 1N4007

Транзистори VT1 і VT5 типу 2N5401YBU використовуються у вузлі контролю та керування. Це біполярні транзистори, які можуть працювати у ключовому режимі та брати участь у формуванні сигналів запуску, блокування або індикації. Їх застосування є доцільним у малопотужних керуючих колах.



Рисунок 1.22 – Транзистор 2N5401YBU

Транзистори VT2–VT4 типу IRF3205 є силовими MOSFET-транзисторами. Вони використовуються у ключових колах імпульсного перетворювача. Основне навантаження припадає саме на ці елементи, оскільки вони комутують струм через первинну обмотку трансформатора. Вибір IRF3205 обґрунтований малим опором відкритого каналу, здатністю працювати з великими струмами та придатністю для імпульсних силових схем.

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 35   |



Рисунок 1.23 – Силовий MOSFET-транзистор IRF3205

Кварцовий резонатор ZQ1 використовується у складі Bluetooth-вузла. Він задає стабільну тактову частоту для роботи мікросхеми DA5. Завдяки кварцовому резонатору забезпечується точність синхронізації та стабільна робота бездротового модуля.



Рисунок 1.24 – Кварцовий резонатор ZQ1

1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу

#### 1.5.1 Компоновка друкованого вузла

Компоновка друкованого вузла підсилювача звуку з Bluetooth керуванням виконана з урахуванням електричної принципової схеми, габаритів елементів, зручності монтажу та подальшого підключення пристрою. Основою конструкції є прямокутна друкована плата, на якій

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 36   |

розміщені елементи вузла живлення, імпульсного перетворювача, Bluetooth-модуля, двох підсилювачів звукової частоти, індикації та вихідних кіл.

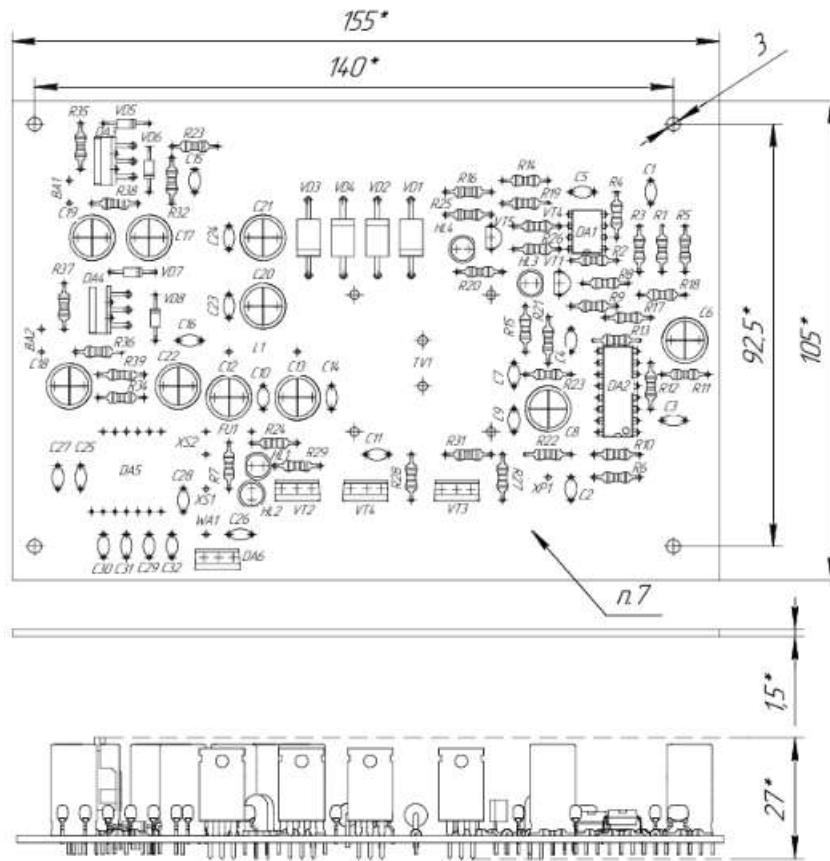


Рисунок 1.25 – Компонівка друкованого вузла підсилювача звуку з Bluetooth керуванням

Друкована плата має габаритні розміри 155 × 105 мм. Такий розмір вибрано з урахуванням кількості елементів, наявності силових компонентів та необхідності рознесення функціональних зон. На платі передбачено монтажні отвори для кріплення вузла в корпусі. Відстані між отворами становлять приблизно 140 × 92,5 мм, що забезпечує достатній відступ від країв плати та не заважає розміщенню елементів.

Усі основні елементи розміщені на одній стороні друкованої плати. Таке рішення спрощує монтаж, візуальний контроль пайки, перевірку правильності встановлення компонентів і подальше обслуговування пристрою. З нижньої

|     |      |          |       |      |                         |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                         | 37   |

сторони плати залишаються виводи елементів і паяні з'єднання, що показано на боковому вигляді друкованого вузла.

Компонування виконано за функціональним принципом. Вхід живлення, запобіжник FU1, силові транзистори VT2–VT4, трансформатор TV1, дросель DR1, випрямні діоди VD1–VD4 та фільтруючі конденсатори розміщені компактно в зоні імпульсного перетворювача. Це дає змогу скоротити довжину силових з'єднань, зменшити втрати у провідниках і знизити вплив імпульсних завад на інші частини схеми.

Підсилювачі звукової частоти DA3 і DA4 розміщені ближче до вихідних кіл і акустичних навантажень BA1, BA2. Таке розміщення скорочує довжину вихідних провідників і спрощує підключення акустичних систем. Біля мікросхем підсилювачів розташовані елементи їх обв'язки: резистори зворотного зв'язку, розділові конденсатори, елементи частотної корекції та захисні діоди.

Bluetooth-вузол на мікросхемі DA5 розміщено окремо від силової частини перетворювача. Поряд із ним знаходяться кварцовий резонатор ZQ1, антена WA1, стабілізатор DA6 та фільтруючі конденсатори. Таке розміщення є доцільним, оскільки Bluetooth-вузол працює з низькорівневими сигналами та може бути чутливим до імпульсних завад від силової частини схеми.

Вузол контролю та індикації, до якого входять мікросхема DA1, транзистори VT1, VT5, резистори та світлодіоди HL1–HL4, розміщений у доступній для огляду зоні плати. Це дозволяє легко контролювати стан роботи пристрою під час першого запуску та налагодження. Світлодіоди винесені так, щоб їх було зручно бачити після складання друкованого вузла.

Під час компонування враховано габарити елементів різної висоти. Найвищими елементами є електролітичні конденсатори, трансформатор, дросель, силові транзистори та мікросхеми підсилювачів у корпусах з можливістю тепловідведення. На кресленні також показано варіанти

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 38   |

встановлення елементів на плату, що дає змогу правильно виконати монтаж компонентів різних типів.

Особлива увага приділена розміщенню силових елементів. Транзистори IRF3205, трансформатор TV1, дросель DR1, випрямні діоди та електролітичні конденсатори розташовані так, щоб силові струми проходили найкоротшими шляхами. Це важливо для імпульсного перетворювача, оскільки довгі силові провідники можуть збільшувати втрати, нагрівання та рівень електромагнітних завад.

Сигнальні кола Bluetooth-модуля і входів підсилювачів розміщені окремо від силових ділянок. Такий підхід зменшує ймовірність наведення завад на аудіосигнал. Вхідні та допоміжні елементи підсилювачів розміщені поблизу відповідних мікросхем, що скорочує довжину сигнальних провідників і покращує стабільність роботи каскадів.

Монтаж елементів виконується відповідно до прийнятих посадкових місць. Для вивідних компонентів передбачено отвори та контактні площадки, які забезпечують надійне паяння і механічне закріплення. Паяні з'єднання виконуються з боку друкованих провідників. Після монтажу, очищення та контролю друкований вузол покривається захисним лаком УР-231, що підвищує стійкість плати до вологи, пилу та випадкових забруднень. Контактні роз'єми, місця підключення, елементи індикації та ділянки, які повинні залишатися відкритими для обслуговування, лаком не покриваються.

### 1.5.2 Розрахунок надійності проектного пристрою

Для підсилювача звуку з Bluetooth керуванням надійність має важливе значення, оскільки пристрій містить не тільки аудіотракт, але й імпульсний перетворювач напруги, вузол Bluetooth-приймання, підсилювачі потужності та елементи захисту. Відмова одного з основних вузлів може призвести до втрати звуку, нестабільної роботи живлення або повного вимкнення пристрою.

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>ХМВ 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 39   |

Розрахунок надійності виконується за елементною базою, наведеною у специфікації. Для спрощеного інженерного розрахунку приймаємо, що елементи пристрою з'єднані з точки зору надійності послідовно. Це означає, що відмова будь-якої важливої групи елементів може порушити нормальну роботу підсилювача. Інтенсивності відмов приймаються за довідковими орієнтовними значеннями для нормальних умов експлуатації.

Сумарна інтенсивність відмов пристрою визначається за формулою:

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

де,  $N_i$  — кількість елементів одного типу;

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

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

Таблиця 1.2 – Розрахунок сумарної інтенсивності відмов

| Група елементів | Кількість елементів, $N_i$ | $\lambda_i 10^{-6}$ 1/ год | $N_i 10^{-6}$ 1/ год |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| Конденсатори    | 32                         | 0,10                       | 3,20                 |
| Мікросхеми      | 6                          | 1,20                       | 7,20                 |
| Дросель         | 1                          | 0,50                       | 0,50                 |
| Запобіжник      | 1                          | 0,30                       | 0,30                 |
| Світлодіоди     | 4                          | 0,20                       | 0,80                 |
| Резистори       | 39                         | 0,05                       | 1,95                 |
| Трансформатор   | 1                          | 1,00                       | 1,00                 |
| Діоди           | 8                          | 0,30                       | 2,40                 |
| Транзистори     | 5                          | 0,40                       | 2,00                 |
| Разом           |                            |                            | 19,35                |

Отже, сумарна інтенсивність відмов проектованого пристрою становить:

$$\lambda_{\Sigma} = 19.35 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год,}$$

Середнє напрацювання до відмови визначається за формулою:

|     |      |          |       |      |                         |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                         | 40   |

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{19.35 \cdot 10^{-6}} = 51\,680 \text{ год}, \quad (1.6)$$

Середнє напрацювання до відмови проектованого пристрою становить приблизно 51680 год.

Ймовірність безвідмовної роботи пристрою протягом заданого часу визначається за експоненціальним законом:

Для часу роботи  $t = 1000$  год:  $P(1000) = 0.981$ .

Для часу роботи  $t = 5000$  год:  $P(5000) = 0.908$ .

Для часу роботи  $t = 10000$  год:  $P(10000) = 0.824$ .

За результатами розрахунку можна зробити висновок, що підсилювач звуку з Bluetooth керуванням має достатній рівень надійності для використання у складі аудіосистеми. Найбільший внесок у сумарну інтенсивність відмов дають мікросхеми, конденсатори, діоди та транзистори, оскільки саме ці елементи формують основні функціональні вузли пристрою: Bluetooth-приймання, імпульсний перетворювач та підсилювачі звукової частоти.

### 1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу

Під час вибору параметрів друкованого монтажу для підсилювача звуку з Bluetooth керуванням враховано, що всі елементи встановлюються в отвори. Тому основними параметрами є діаметри монтажних отворів, розміри контактних площадок, ширина провідників і мінімальні технологічні відстані між елементами провідного рисунка.

Для пристрою прийнято двосторонню друковану плату 3-го класу точності. Такий варіант дає змогу нормально розвести як сигнальні кола Bluetooth-вузла і підсилювачів, так і силові кола імпульсного перетворювача. При цьому плата не потребує складних високоточних технологій виготовлення, що робить її більш зручною для практичного виконання.

|     |      |          |       |      |                         |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                         | 41   |

Матеріалом основи вибрано фольгований склотекстоліт СФ-2-35 / FR-4 товщиною 1,5 мм з мідною фольгою 35 мкм. Такий матеріал підходить для плати з вивідним монтажем, оскільки має достатню жорсткість і витримує встановлення габаритних елементів: трансформатора, дроселя, електролітичних конденсаторів, транзисторів, запобіжника та роз'ємів.

За результатами розрахунків для силових кіл імпульсного перетворювача та живлення підсилювачів прийнято ширину провідників 2,0 мм. Для допоміжних кіл живлення і керування прийнято ширину 0,5 мм, а для сигнальних кіл Bluetooth-вузла та входів підсилювачів — не менше 0,25 мм. Таке розділення ширини провідників є доцільним, оскільки струмове навантаження в різних частинах схеми суттєво відрізняється.

Мінімальні зазори між друкованими провідниками, контактними площадками та іншими струмопровідними частинами прийнято 0,25 мм. Для низьковольтних кіл цього пристрою такого значення достатньо, а для плати 3-го класу точності воно є технологічно допустимим.

Діаметри монтажних отворів вибрано за розмірами виводів елементів з урахуванням технологічного зазору, необхідного для зручного встановлення компонентів і якісного паяння. Після розрахунку всі отвори поділено на три основні групи.

Для більшості малогабаритних вивідних компонентів прийнято отвори діаметром 0,9 мм. До цієї групи належать резистори, невеликі конденсатори, малопотужні діоди та частина допоміжних елементів з тонкими виводами. Для таких отворів прийнято контактні площадки діаметром 1,8 мм.

Для елементів із виводами середнього діаметра прийнято отвори 1,1 мм. Такі отвори використовуються для електролітичних конденсаторів, світлодіодів, мікросхем у DIP-корпусах та окремих вивідних компонентів. Діаметр контактної площадки для цієї групи становить 2,0 мм.

Для силових і габаритних елементів прийнято отвори діаметром 1,5 мм. Вони використовуються для трансформатора, дроселя, силових транзисторів,

|     |      |          |       |      |                         |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |       |      | <i>ХМВ 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                         | 42   |

потужних діодів, запобіжника та роз'ємів. Для забезпечення міцного паяного з'єднання і достатньої площі металізації для таких отворів прийнято контактні площадки діаметром 2,5 мм.

Усі монтажні отвори виконуються з металізацією, оскільки друкована плата є двосторонньою. Металізовані отвори забезпечують електричний зв'язок між шарами плати та підвищують механічну міцність паяних з'єднань, що особливо важливо для вивідних компонентів.

Таблиця 1.3 - Прийняті параметри друкованого монтажу

| Параметр  | Прийняте значення          |
|---|----------------------------|
| Тип друкованої плати  | двостороння                |
| Клас точності друкованої плати                                | 3-й                        |
| Метод виготовлення  | комбінований<br>позитивний |
| Матеріал основи   | СФ-2-35 / FR-4             |
| Товщина основи друкованої плати                               | 1,5 мм                     |
| Товщина мідної фольги   | 35 мкм                     |
| Ширина провідників силових кіл                                | 2,0 мм                     |
| Ширина провідників допоміжних кіл                             | 0,5 мм                     |
| Мінімальна ширина сигнальних провідників                      | 0,25 мм                    |
| Діаметр монтажного отвору для малогабаритних елементів        | 0,9 мм                     |
| Діаметр монтажного отвору для елементів із середніми виводами | 1,1 мм                     |
| Діаметр монтажного отвору для силових і габаритних елементів  | 1,5 мм                     |
| Діаметр КП для отвору 0,9 мм                                  | 1,8 мм                     |
| Діаметр КП для отвору 1,1 мм                                  | 2,0 мм                     |
| Діаметр КП для отвору 1,5 мм                                  | 2,5 мм                     |
| Мінімальна відстань між провідниками                          | 0,25 мм                    |
| Мінімальна відстань між КП і провідником                      | 0,25 мм                    |
| Мінімальна відстань між двома КП                              | 0,25 мм                    |
| Мінімальна відстань від краю ДП до провідного рисунка         | 1,0 мм                     |

#### 1.5.4 Технологія виготовлення друкованої плати

Друкована плата підсилювача звуку з Bluetooth керуванням виготовляється як двостороння плата 3-го класу точності. Як матеріал основи використовується фольгований склотекстоліт СФ-2-35 / FR-4 товщиною 1,5 мм з мідною фольгою 35 мкм. Такий матеріал підходить для даного пристрою, оскільки має достатню механічну міцність, добре витримує монтаж вивідних елементів і забезпечує нормальні умови роботи як сигнальних, так і силових кіл.

Для виготовлення плати прийнято комбінований позитивний метод. Він дозволяє отримати провідний рисунок з необхідною точністю, виконати металізовані отвори та забезпечити електричний зв'язок між верхнім і нижнім шарами плати. Такий спосіб є зручним для двосторонніх друкованих плат з великою кількістю вивідних компонентів.

Першим етапом є підготовка конструкторських даних у середовищі Altium Designer. На цьому етапі формується топологія плати, перевіряються ширини провідників, зазори, діаметри отворів, контактні площадки та правильність з'єднань. Після перевірки створюються файли для виготовлення плати: шари провідного рисунка, карта свердління, контур плати, маркування та інші технологічні дані.

Після підготовки документації виконується виготовлення заготовки друкованої плати. Заготовку вирізають із фольгованого склотекстоліту відповідно до габаритів плати 155 × 105 мм з технологічним запасом на обробку країв. Поверхню мідної фольги очищають від забруднень та окислів, оскільки якість очищення впливає на рівномірність нанесення фоторезисту і точність формування провідного рисунка.

Наступним етапом є свердління монтажних і перехідних отворів. У даній платі використовуються отвори діаметром 0,9 мм, 1,1 мм та 1,5 мм. Вони призначені для встановлення вивідних елементів різних типів: резисторів, конденсаторів, діодів, мікросхем, транзисторів, трансформатора, дроселя,

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 44   |

запобіжника та роз'ємів. Оскільки плата є двосторонньою, отвори виконуються з металізацією.

Після свердління проводиться хімічна підготовка отворів і металізація. Металізація потрібна для створення електричного зв'язку між шарами друкованої плати та для підвищення міцності паяних з'єднань. Це особливо важливо для силових елементів і компонентів, які мають більші габарити або піддаються механічному навантаженню під час експлуатації.

Далі на поверхню плати наноситься фоторезист. Через фотошаблон виконується експонування рисунка, після чого плата проявляється. У результаті на поверхні залишаються захищені ділянки, які відповідають майбутнім друкованим провідникам і контактним площадкам. Незахищена мідь під час наступного етапу видаляється травленням.

Травлення виконується для формування провідного рисунка верхнього та нижнього шарів плати. Після травлення на платі залишаються лише потрібні друковані провідники, контактні площадки та інші струмопровідні ділянки. Особливу увагу під час контролю приділяють силовим провідникам імпульсного перетворювача, ділянкам живлення підсилювачів та місцям підключення акустичних випромінювачів.

Після формування провідного рисунка залишки фоторезисту видаляються. Далі виконується нанесення захисного покриття на відкриті ділянки міді. Контактні площадки залишаються придатними для паяння, а інші ділянки плати захищаються від окиснення та випадкових замикань. Також може наноситися маркування елементів, яке спрощує монтаж і перевірку друкованого вузла.

Після виготовлення друкованої плати виконується механічна обробка її контуру. Плату обрізають до остаточних розмірів, обробляють краї та перевіряють відповідність габаритів кресленню. Також контролюють якість отворів, відсутність пошкоджень металізації, правильність розмірів контактних площадок і цілісність провідного рисунка.

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 45   |

Основні етапи виготовлення друкованої плати наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Технологічні етапи виготовлення друкованої плати

| № з/п | Етап виготовлення            | Зміст операції  |
|-------|------------------------------|---|
| 1     | Підготовка проектних даних   | Формування топології плати, перевірка правил проектування, підготовка файлів для виготовлення |
| 2     | Підготовка заготовки         | Вирізання заготовки з фольгованого склотекстоліту та очищення поверхні міді                   |
| 3     | Свердління отворів           | Виконання монтажних отворів діаметром 0,9 мм, 1,1 мм і 1,5 мм                                 |
| 4     | Металізація отворів          | Створення електричного зв'язку між шарами двосторонньої плати                                 |
| 5     | Нанесення фоторезисту        | Підготовка поверхні до формування провідного рисунка  |
| 6     | Експонування і проявлення    | Перенесення рисунка друкованих провідників на заготовку                                       |
| 7     | Травлення міді               | Видалення зайвої міді та формування провідного рисунка  |
| 8     | Видалення фоторезисту        | Очищення плати після травлення  |
| 9     | Нанесення захисного покриття | Захист провідного рисунка від окиснення і забруднення   |
| 10    | Маркування плати             | Нанесення позначень елементів і службової інформації  |
| 11    | Обробка контуру              | Доведення плати до остаточних габаритів 155 × 105 мм  |

### 1.6 Висновок до розділу 1

У першому розділі розглянуто технічну частину підсилювача звуку з Bluetooth керуванням. На основі технічного завдання визначено, що пристрій має приймати аудіосигнал через Bluetooth, підсилювати його у двох каналах і передавати на акустичні системи. Окрему увагу приділено живленню від джерела 12 В, роботі імпульсного перетворювача, вузлу захисту та індикації стану пристрою.

У процесі роботи описано структурну та електричну принципову схеми підсилювача, пояснено призначення основних вузлів і зв'язок між ними. Виконано необхідні розрахунки для стабілізатора живлення Bluetooth-вузла та вхідного кола підсилювачів звукової частоти. Також підібрано елементну базу, яка відповідає схемі пристрою і забезпечує роботу Bluetooth-модуля, імпульсного перетворювача та двох підсилювальних каналів.

Крім схемотехнічної частини, у розділі розглянуто друкований вузол: його компонування, параметри друкованого монтажу, надійність і технологію виготовлення плати. Прийняті рішення дозволяють реалізувати пристрій у вигляді двосторонньої друкованої плати з вивідним монтажем елементів, зручної для складання, перевірки та подальшого налагодження.

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 47   |

## 2. Спеціальна частина

### 2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для розв'язання поставленого завдання

Для розроблення підсилювача звуку з Bluetooth керуванням потрібно використати програмне середовище, яке дає змогу працювати не тільки зі схемою, але й з друкованою платою та конструкторською документацією. У даному пристрої на одній платі розміщуються різні за призначенням вузли: Bluetooth-аудіочастина, імпульсний перетворювач напруги, вузол контролю та індикації, а також два підсилювачі звукової частоти. Через це важливо мати можливість перевіряти правильність електричних з'єднань, контролювати зазори, ширину провідників і розміщення елементів ще на етапі проектування.

Для виконання основної частини проєкту вибрано програмне середовище Altium Designer. Це середовище підходить для розроблення електронних пристроїв, оскільки в ньому можна створити електричну принципову схему, підібрати посадкові місця елементів, виконати компонування друкованої плати та провести трасування провідників. Для підсилювача звуку це особливо важливо, оскільки силові кола перетворювача потрібно відокремити від сигнальних кіл Bluetooth-вузла і входів підсилювачів.

У середовищі Altium Designer зручно працювати з бібліотеками компонентів. Для елементів, які використовуються у схемі, задаються умовні графічні позначення, корпуси та посадкові місця. Це дає змогу правильно розмістити на платі мікросхеми LM393N, SG3525ANG, TDA2030AL, Bluetooth-мікросхему AC6905A, стабілізатор LP2985-33DBVR, транзистори, діоди, резистори, конденсатори, трансформатор, дросель та інші вивідні елементи.

|            |             |                 |              |             |                         |      |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                 |              |             | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 48   |

Перевагою Altium Designer є зв'язок між електричною принциповою схемою і друкованою платою. Після створення схеми перелік з'єднань передається у редактор друкованої плати, що зменшує ймовірність помилок під час трасування. Для даного пристрою це важливо, оскільки схема має значну кількість елементів, а помилки у колах живлення або вихідних каскадах можуть призвести до неправильної роботи підсилювача.

Під час компоновання плати у програмі можна задавати габарити друкованої плати, діаметри монтажних отворів, розміри контактних площадок, мінімальні зазори між провідниками та ширину провідників для різних груп кіл. Для силових ділянок імпульсного перетворювача і живлення підсилювачів приймаються ширші провідники, а для сигнальних кіл Bluetooth-вузла — менші, з урахуванням вимог до точності та зменшення наведень.

Також у Altium Designer можна виконувати перевірку проєкту за правилами ERC та DRC. Перевірка ERC дозволяє виявити помилки в електричній схемі, наприклад невідключені виводи або неправильні зв'язки між вузлами. Перевірка DRC використовується для контролю друкованої плати: мінімальних відстаней, ширини провідників, розмірів отворів і контактних площадок. Завдяки цьому можна виявити частину помилок до виготовлення плати.

Для оформлення графічної документації також може використовуватись AutoCAD. Його доцільно застосовувати для підготовки та редагування креслень, оформлення рамок, основних написів, розмірів і пояснювальних графічних елементів. У такому середовищі зручно доводити креслення до вигляду, який відповідає вимогам до конструкторської документації.

AutoCAD корисний саме на етапі оформлення, коли потрібно підготувати креслення друкованої плати, складальне креслення друкованого вузла або інші графічні матеріали для пояснювальної записки. Програма дає змогу точно наносити розміри, позначення, технічні вимоги та примітки, які потрібні для правильного читання креслення.

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 49   |

## 2.2 Створення друкованого вузла у середовищі Altium Designer

Робота над друкованим вузлом підсилювача звуку з Bluetooth керуванням починалася зі створення та перевірки бібліотеки елементів у середовищі Altium Designer. Для компонентів, які входять до схеми, були підготовлені умовні графічні позначення, посадкові місця та зв'язки між схемними символами і відповідними footprint-моделями. На цьому етапі враховувалися габарити корпусів, кількість і розміщення виводів, крок між ними, тип монтажу, діаметри монтажних отворів та розміри контактних площадок.

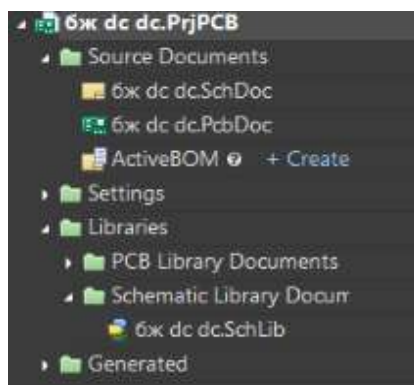


Рисунок 2.1 – Створення бібліотеки елементів у середовищі Altium Designer

Оскільки в підсилювачі застосовується вивідний монтаж елементів, основну увагу було приділено правильному формуванню посадкових місць з монтажними отворами. Для резисторів, конденсаторів, діодів, мікросхем, транзисторів, дроселя, трансформатора, запобіжника та роз'ємів були підібрані або відредаговані footprint-моделі відповідно до їх реальних розмірів. Для силових і габаритних елементів контактні площадки виконано більшими, ніж для малогабаритних компонентів, оскільки такі елементи мають товстіші виводи і створюють більше механічне навантаження на плату.

Під час підготовки бібліотеки окремо перевірялися елементи, від яких найбільше залежить правильність складання друкованого вузла. До них належать підсилювачі звукової частоти TDA2030AL, ШІМ-контролер

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 50   |

SG3525ANG, компаратор LM393N, Bluetooth-вузол на AC6905A, стабілізатор LP2985-33DBVR, силові транзистори IRF3205, діоди UF5408, трансформатор TV1, дросель DR1 та запобіжник FU1. Для цих компонентів важливо було правильно задати нумерацію виводів, посадкові розміри та відстані між контактами, щоб після виготовлення плати не виникло проблем із встановленням елементів.

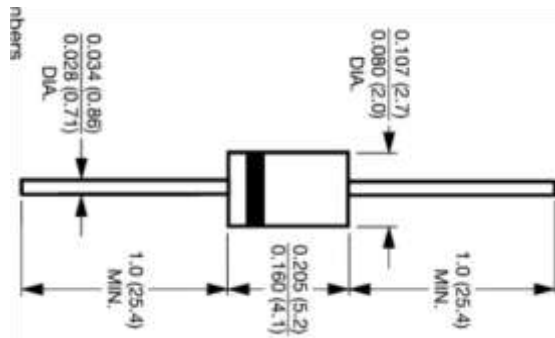


Рисунок 2.2 – Габаритні розміри для 1n4007

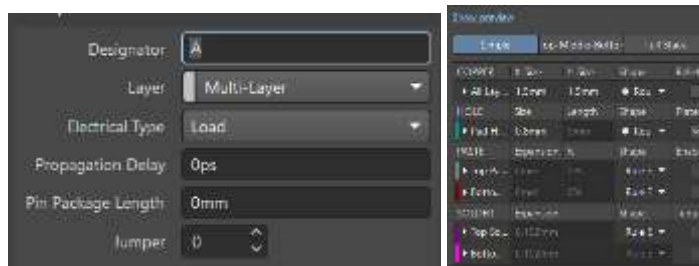


Рисунок 2.3 - Вікно властивостей контактної площадки при створенні посадкового місця



Рисунок 2.4 - Розміщення контактних площадок посадкового місця



Рисунок 2.5 - Створення контуру корпусу та шовкографії посадкового місця

```
Altium Designer System: Library Component Rule Check
PCB File : 5x dc dc
Date    : 07.06.2026
Time    : 21:43:44

Name           Warnings
```

Рисунок 2.6 - Перевірка посадкового місця компонента в Altium Designer

Створення бібліотеки елементів є важливим етапом, оскільки помилка у схемному позначенні або посадковому місці може перейти на друковану плату. Наприклад, неправильна нумерація виводів мікросхеми або транзистора може призвести до помилкового підключення елемента, а невірно вибраний діаметр отвору — до ускладнення монтажу. Тому перед перенесенням елементів на плату виконувалася перевірка відповідності схемних символів їхнім посадковим місцям.

Після підготовки схемних символів і посадкових місць було виконано прив'язку компонентів до відповідних footprint-моделей. Для кожного елемента перевірено кількість виводів, їх нумерацію та відповідність між умовним графічним позначенням і реальним корпусом. Це особливо важливо для мікросхем, транзисторів, діодів і роз'ємів, оскільки помилка у нумерації контактів може призвести до неправильного підключення елемента на друкованій платі.

Далі у редакторі Schematic середовища Altium Designer було створено електричну принципову схему підсилювача звуку з Bluetooth керуванням. Для побудови схеми використано підготовлені бібліотечні елементи. На схемі розміщено вхідне коло живлення, запобіжник, вузол контролю та індикації, ШІМ-контролер імпульсного перетворювача, силові транзистори, імпульсний трансформатор, випрямляч із фільтром, стабілізатор живлення Bluetooth-вузла, Bluetooth-аудіомікросхему, два підсилювачі звукової частоти та вихідні кола для підключення акустичних систем.

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 52   |

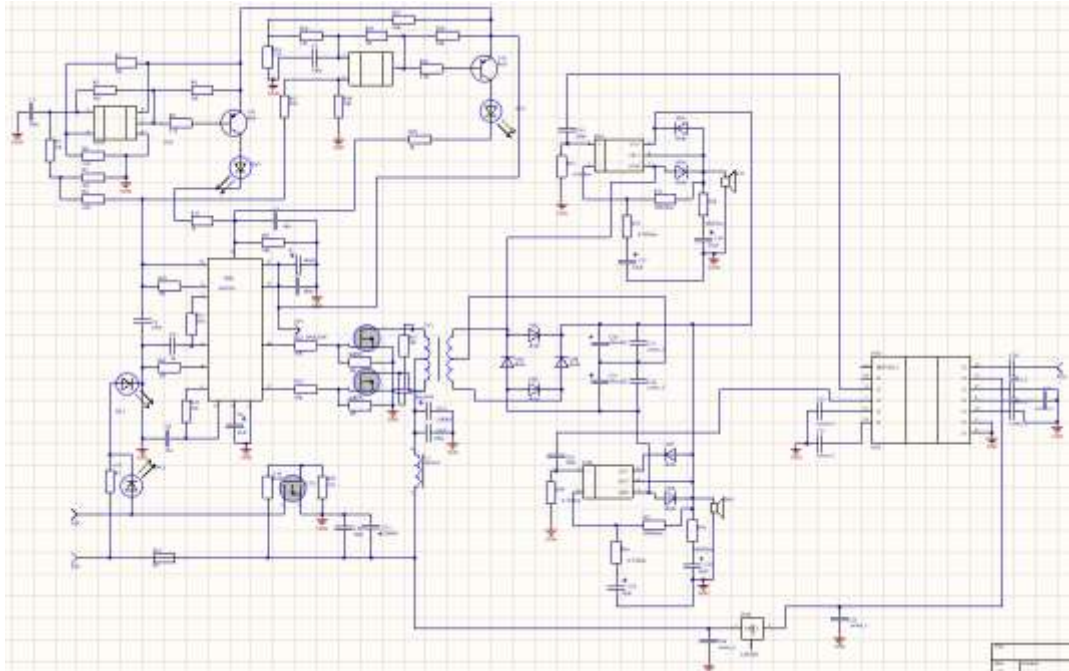


Рисунок 2.7 – Загальний вигляд електричної принципової схеми підсилювача звуку з Bluetooth керуванням

Після завершення схеми було виконано перевірку ERC. Вона дала змогу перевірити коректність електричних з'єднань, наявність підключень до кіл живлення, правильність типів виводів та відсутність критичних помилок у схемі. Зауваження, які з'явилися під час перевірки, були переглянуті та виправлені перед передаванням схеми у редактор друкованої плати. Після цього схема була готова для подальшого створення друкованого вузла.

Наступним кроком компоненти було передано у редактор друкованої плати Altium Designer. У PCB-редакторі задано контур плати розміром 155 × 105 мм, налаштовано правила проектування, вибрано параметри провідників, зазорів, контактних площадок і монтажних отворів. Оскільки в пристрої застосовується вивідний монтаж, для елементів були використані посадкові місця з металізованими отворами.

Розміщення компонентів на платі виконувалося з урахуванням роботи окремих вузлів. Силу частину імпульсного перетворювача, до якої входять транзистори IRF3205, трансформатор TV1, дросель DR1, випрямні діоди та електролітичні конденсатори, розміщено компактно, щоб зменшити довжину

силових з'єднань. Bluetooth-вузол на AC6905A та стабілізатор LP2985-33DBVR розміщено окремо від силових елементів, щоб зменшити вплив імпульсних завад на аудіосигнал і бездротовий прийом.

Мікросхеми підсилювачів TDA2030AL розташовано ближче до вихідних кіл і місць підключення акустичних систем. Поруч із ними розміщено елементи обв'язки, зворотного зв'язку та захисні діоди. Вузол контролю та індикації розміщено так, щоб світлодіоди були доступні для візуального контролю під час перевірки та налагодження пристрою.

Трасування друкованої плати виконувалося на двох шарах. Верхній і нижній шари використовувалися для розведення сигнальних та силових кіл з урахуванням мінімальних зазорів і прийнятої ширини провідників. Для силових кіл живлення та імпульсного перетворювача застосовано збільшену ширину провідників, а для сигнальних кіл Bluetooth-вузла і входів підсилювачів — меншу ширину, достатню для передавання низькорівневих сигналів. Перехід між шарами виконувався через металізовані отвори.

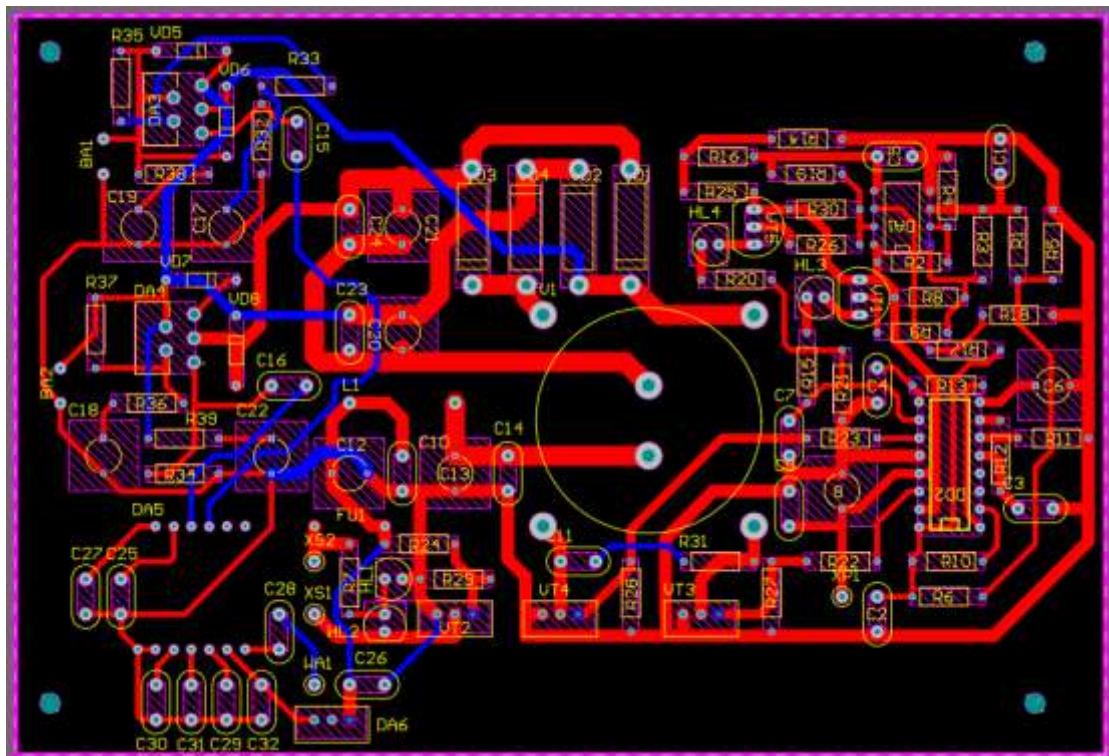


Рисунок 2.8 – Результат трасування друкованої плати у середовищі Altium Designer

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 54   |

Після завершення трасування було виконано перевірку DRC, яка дозволила проконтролювати відстані між провідниками, контактними площадками, перехідними отворами та краєм плати. Також перевірено відповідність діаметрів отворів, ширини провідників і розмірів контактних площадок прийнятним параметрам друкованої плати. Після усунення зауважень було сформовано кінцевий варіант друкованої плати.

Для додаткового контролю компоновки виконано тривимірний перегляд плати. 3D-модель дає змогу оцінити розміщення габаритних елементів, взаємне положення компонентів, висоту встановлення деталей і зручність подальшого монтажу. Це дозволяє ще до виготовлення плати виявити можливі конструктивні неточності.

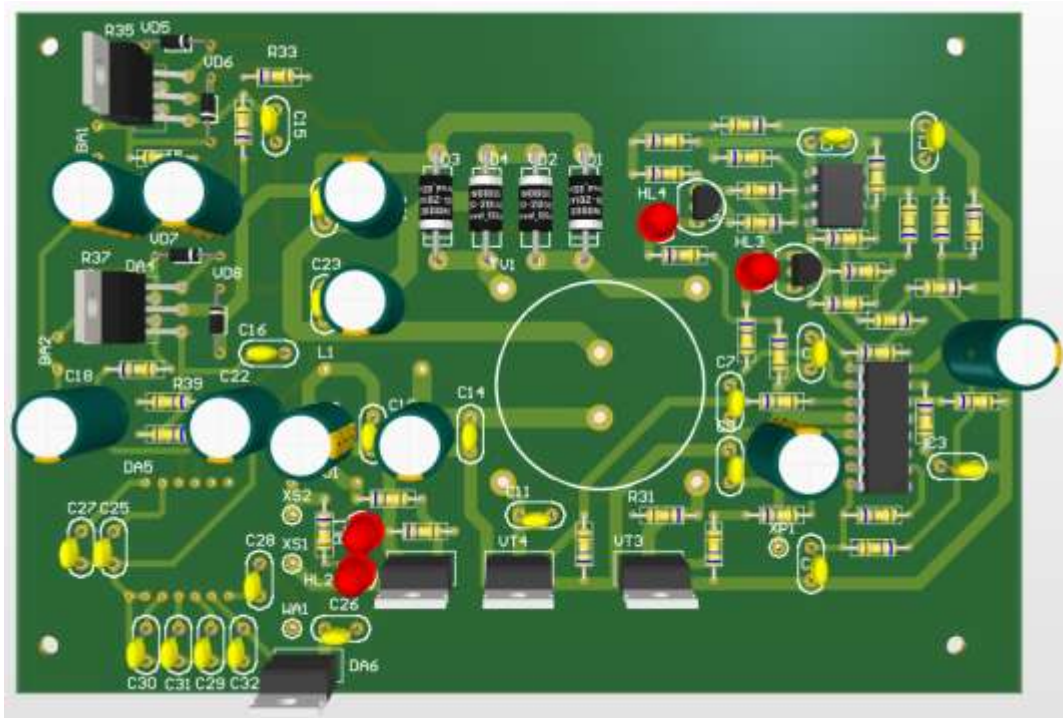


Рисунок 2.9 – 3D-виділення друкованої плати підсилювача звуку з Bluetooth керуванням у Altium Designer

### 2.3 Висновок до розділу 2

У другому розділі описано етапи розроблення друкованого вузла підсилювача звуку з можливістю керування через Bluetooth за допомогою

|     |      |          |       |      |                         |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                         | 55   |

програмного комплексу Altium Designer. Вибір цього середовища зумовлений його широкими можливостями для виконання всіх основних етапів проєктування — від створення електричної схеми та бібліотек компонентів до розроблення друкованої плати й контролю правильності проєкту. Для підготовки та оформлення конструкторської документації також може використовуватися AutoCAD.

У ході проєктування були сформовані необхідні бібліотечні компоненти, розроблена принципова електрична схема та виконана її перевірка засобами ERC. Після цього елементи було перенесено до редактора друкованих плат, де здійснено їх розміщення з урахуванням функціонального поділу пристрою на окремі вузли: блок живлення, Bluetooth-модуль, підсилювачі звукової частоти та систему індикації.

Завершальним етапом стало трасування двосторонньої друкованої плати, проведення перевірки за правилами проєктування (DRC) та аналіз конструкції в тривимірному режимі. Отримані результати підтвердили коректність компонування і трасування плати та забезпечили готовність проєкту до виготовлення й подальшого монтажу виробу.

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 56   |

### 3. Охорона праці та безпека життєдіяльності

#### 3.1 Моделювання та прогнозування небезпечних ситуацій

Під час виконання кваліфікаційної роботи на тему підсилювача звуку з Bluetooth керуванням пристрій розглядається як реальний друкований вузол, який проходить етапи проектування, виготовлення, монтажу, перевірки та налагодження. Тому безпека роботи з таким пристроєм не обмежується тільки загальними правилами поводження з електронною апаратурою. Необхідно заздалегідь визначити, які небезпечні ситуації можуть виникнути саме під час роботи з цією платою, які причини можуть до них призвести та як зменшити ймовірність їх появи [8].

Розроблюваний пристрій живиться від автомобільної мережі 12 В, однак у його складі є імпульсний перетворювач напруги, силові MOSFET-транзистори IRF3205, трансформатор TV1, дросель DR1, випрямні діоди, електролітичні конденсатори значної ємності та два канали підсилення на мікросхемах TDA2030AL. Таке поєднання елементів створює підвищені вимоги до правильності монтажу, трасування силових кіл, дотримання полярності та порядку першого ввімкнення [9].

Моделювання небезпечних ситуацій у даному випадку полягає у попередньому розгляді можливих відмов або помилок ще до фактичного ввімкнення пристрою. Для автомобільного підсилювача такими ситуаціями можуть бути коротке замикання у вхідному колі живлення, неправильне встановлення електролітичного конденсатора, помилка у підключенні силового транзистора, перегрівання мікросхем підсилювачів, неправильне підключення акустичного навантаження або випадкове замикання щупом мультиметра сусідніх контактів під час вимірювання.

Небезпечну ситуацію під час роботи з підсилювачем можна подати у вигляді послідовності:

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 57   |

помилка або несправність → розвиток небезпечного режиму → наслідок → захисний або профілактичний захід.

Для даного пристрою такий підхід є зручним, оскільки він дозволяє розділити всі можливі небезпеки за етапами роботи: виготовлення друкованої плати, монтаж елементів, перший запуск, перевірка режимів живлення, перевірка Bluetooth-вузла та перевірка вихідних каналів підсилювача.

Таблиця 3.1 - Моделювання можливих небезпечних ситуацій під час роботи з підсилювачем

| Етап роботи             | Можлива небезпечна ситуація                          | Причина виникнення   | Можливий наслідок                                       | Попереджувальні дії  |
|-------------------------|--|--|---|--|
| Монтаж елементів        | неправильна полярність електролітичного конденсатора | помилка при встановленні або погане читання маркування       | нагрівання, пошкодження конденсатора, пошкодження плати | перевірка полярності за схемою і шовкографією перед паянням              |
| Монтаж елементів        | перемичка припою між сусідніми контактами            | надлишок припою, мала відстань між площадками                | коротке замикання після ввімкнення                      | візуальний контроль пайки, перевірка омметром                            |
| Перший запуск           | коротке замикання у колі живлення                    | помилка монтажу, пошкоджена доріжка, неправильне підключення | спрацювання запобіжника, перегрівання провідників       | перший запуск через джерело з обмеженням струму                          |
| Перевірка перетворювача | перегрів силових транзисторів IRF3205                | неправильне керування, перевантаження, помилка монтажу       | вихід транзисторів з ладу, перегрів плати               | короткочасний запуск, контроль температури, перевірка сигналів керування |

Продовження таблиці 3.1

|                        |  |  |   |   |
|------------------------|--|--|---|---|
| Перевірка живлення     | заряд конденсаторів після вимкнення                | наявність ємнісних елементів у силовій частині           | випадковий електричний вплив або пошкодження елементів при перепаюванні | розрядження конденсаторів перед повторною роботою з платою          |
| Перевірка аудіоканалів | неправильне підключення акустичного навантаження   | помилка у підключенні ВА1, ВА2                           | перегрів вихідного каскаду, спотворення сигналу                         | перевірка підключення навантаження перед подаванням сигналу         |
| Вимірювання            | замикання щупом мультиметра сусідніх контактів     | незручне положення плати, товсті щупи                    | коротке замикання, пошкодження мікросхем                                | використання тонких щупів, фіксація плати на столі                  |
| Робота з платою        | опік під час паяння або після нагрівання елементів | контакт із жалом паяльника або гарячим корпусом елемента | локальне травмування шкіри  | використання підставки, пінцета, перерви після нагрівання елементів |

З таблиці видно, що більшість небезпечних ситуацій пов'язана не з самим фактом використання напруги 12 В, а з наявністю силових ділянок, імпульсного перетворювача, накопичувальних конденсаторів та можливістю помилки під час монтажу. Тому основним способом прогнозування небезпечних ситуацій є попередній аналіз схеми, контроль правильності встановлення елементів і поетапне ввімкнення пристрою.

Перед першим увімкненням автомобільного підсилювача виконується перевірка друкованої плати без подавання живлення. На цьому етапі

контролюють відсутність механічних пошкоджень плати, правильність встановлення мікросхем DA1-DA6, транзисторів VT1-VT5, діодів VD1-VD8, електролітичних конденсаторів, запобіжника FU1, роз'ємів XS1, XS2 та елементів вихідних кіл BA1 і BA2. Також перевіряють відсутність короткого замикання між лініями живлення та загальним проводом [10].

Для прогнозування небезпечних режимів важливо враховувати особливості імпульсного перетворювача. У цій частині схеми працюють ШІМ-контролер SG3525, силові транзистори, трансформатор, випрямляч і фільтруючі конденсатори. Якщо у цьому вузлі є помилка монтажу, вона може проявитися не одразу, а після подавання живлення та появи навантаження. Тому перший запуск перетворювача потрібно виконувати без поспіху, з обмеженням струму джерела живлення та контролем нагрівання силових елементів [11].

Окремої уваги потребує прогнозування небезпечних ситуацій, пов'язаних із тепловим режимом. Мікросхеми TDA2030AL і транзистори IRF3205 під час роботи можуть нагріватися, особливо при підвищеному навантаженні або помилках у підключенні. Якщо не контролювати температуру елементів під час першого запуску, можна пропустити початок аварійного режиму. Тому на етапі налагодження доцільно виконувати короткі пробні ввімкнення, після яких перевіряти нагрівання корпусів силових елементів.

Під час роботи з друкованим вузлом потрібно також прогнозувати безпеки, пов'язані з людським фактором. Помилки часто виникають через втому, погане освітлення, неуважність, поспіх або невпорядковане робоче місце. Для даного пристрою це особливо важливо, оскільки на платі є велика кількість вивідних компонентів, силові доріжки, дрібні пасивні елементи, мікросхеми, полярні конденсатори та світлодіоди. Навіть одна неправильно встановлена деталь може призвести до несправності всього вузла.

Прогнозування небезпечних ситуацій дає змогу сформувати безпечну послідовність роботи з підсилювачем. Спочатку виконується перевірка

|            |             |                 |              |             |                         |      |
|------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                 |              |             | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 60   |

креслення друкованої плати та схеми, потім - контроль відповідності встановлених елементів специфікації, далі - перевірка монтажу без живлення, після цього - перший запуск з обмеженням струму. Лише після цього переходять до перевірки напруг живлення, Bluetooth-вузла, підсилювачів потужності та вихідних кіл.

Для зменшення ймовірності небезпечних ситуацій під час роботи з автомобільним підсилювачем приймаються такі технічні та організаційні заходи:

- перед першим запуском перевіряється полярність живлення та електролітичних конденсаторів;
- силові кола перевіряються омметром на відсутність короткого замикання;
- перше ввімкнення виконується через лабораторне джерело живлення з обмеженням струму;
- плата розміщується на діелектричній поверхні;
- під час вимірювань застосовуються справні щупи з цілою ізоляцією;
- після вимкнення живлення перед перепаяванням перевіряється стан конденсаторів;
- паяльник встановлюється тільки на підставку;
- робоче місце очищається від обрізків виводів, зайвих провідників і легкозаймистих матеріалів.

Моделювання та прогнозування небезпечних ситуацій для даного дипломного проекту показує, що найбільш відповідальними етапами є монтаж силових елементів, перший запуск і перевірка імпульсного перетворювача. Саме на цих етапах найімовірніші короткі замикання, перегрівання елементів, пошкодження конденсаторів або помилки під час вимірювань. Завчасне визначення таких ситуацій дозволяє побудувати безпечний порядок

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>ХМВ 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 61   |

налагодження пристрою і зменшити ризик пошкодження як самого підсилювача, так і робочого обладнання.

### 3.2 Вимоги до виробничого освітлення та його нормування

Під час розроблення автомобільного підсилювача звуку з Bluetooth керуванням значна частина роботи пов'язана з візуальним контролем. Студент виконує схему в Altium Designer, перевіряє розміщення елементів, аналізує трасування друкованої плати, а після виготовлення вузла контролює якість монтажу, пайки, маркування елементів і відсутність коротких замикань. Для таких операцій виробниче освітлення має важливе значення, оскільки недостатня освітленість збільшує ймовірність помилок, знижує точність роботи та швидше викликає втоми очей [12].

Робота з друкованим вузлом підсилювача є зорво напруженою. На платі розміщені резистори, діоди, конденсатори, мікросхеми, транзистори, запобіжник, дросель, трансформатор, роз'єми та інші елементи. Частина операцій вимагає розрізнення дрібних позначень, полярності електролітичних конденсаторів, напрямку встановлення діодів, нумерації виводів мікросхем та якості паяних з'єднань. За недостатнього освітлення виконавець може неправильно визначити маркування елемента, пропустити перемичку припою або не помітити дефект монтажу.

Виробниче освітлення на робочому місці під час монтажу та перевірки підсилювача має забезпечувати рівномірну видимість робочої поверхні, відсутність різких тіней, достатню освітленість зони плати та комфортну роботу з екраном комп'ютера. Це особливо важливо, оскільки робота поєднує два різні види зорового навантаження: перегляд електронної документації на моніторі та контроль реальної друкованої плати на робочому столі [13].

Для такого робочого місця доцільно застосовувати комбіноване освітлення: загальне освітлення приміщення та місцеве освітлення робочої

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 62   |

зони. Загальне освітлення забезпечує рівномірний світловий фон у приміщенні, а місцева лампа дозволяє додатково освітити друковану плату під час паяння, огляду доріжок і вимірювання напруг. Місцеве джерело світла потрібно розміщувати так, щоб воно не створювало засліплення, відблисків від паяльної маски та тіні від рук або інструментів.

Нормування освітлення виконується з урахуванням характеру зорової роботи. Монтаж і перевірка друкованих плат належать до робіт, де потрібно розрізняти дрібні об'єкти: виводи елементів, контактні площадки, маркування, тонкі провідники та сліди припою. Тому для робочого місця з монтажу електронного пристрою доцільно передбачати підвищену освітленість порівняно зі звичайним офісним робочим місцем [14].

Для робочого місця, на якому виконується монтаж і перевірка друкованого вузла підсилювача, можна прийняти такі орієнтовні вимоги до освітленості.

Таблиця 3.2 - Вимоги до освітлення робочого місця під час монтажу та перевірки підсилювача

| Ділянка робочого місця          | Характер роботи  | Рекомендований рівень освітленості | Пояснення  |
|---------------------------------|--|------------------------------------|--|
| Робочий стіл для монтажу ДП     | паяння, встановлення елементів, огляд пайки              | 500-750 лк                         | потрібне розрізнення дрібних деталей і контактних площадок |
| Зона візуального контролю плати | перевірка доріжок, перемичок припою, маркування          | 750 лк                             | потрібна підвищена точність зорової роботи                 |
| Робоче місце з комп'ютером      | робота в Altium Designer, перегляд схеми та документації | 300-500 лк                         | важлива відсутність відблисків на екрані                   |

|                 |  |        |   |
|-----------------|--|--------|---|
| Зона вимірювань | робота з мультиметром, джерелом живлення, осцилографом | 500 лк | потрібно чітко бачити щупи, шкали, контакти та полярність |
|-----------------|--|--------|---|

Для перевірки достатності освітлення можна використати просте практичне правило: позначення на друкованій платі, номінали елементів і місця пайки мають читатися без нахилення корпусу близько до плати та без додаткового напруження зору. Якщо виконавець змушений постійно наближатися до плати, змінювати кут огляду або підсвічувати окремі ділянки випадковими джерелами світла, освітлення робочого місця є недостатнім.

Окрім рівня освітленості, важливим є напрямок світлового потоку. Під час паяння автомобільного підсилювача світло має падати збоку або зверху під таким кутом, щоб не утворювалася тінь від паяльника, руки або щупів мультиметра. Якщо виконавець правша, місцеве джерело світла доцільно розташовувати зліва або зверху-зліва. Якщо виконавець лівша, світильник краще розміщувати справа. Це зменшує перекриття робочої зони рукою.

Світло не повинно створювати сильних відблисків на металізованих контактних площадках, корпусах електролітичних конденсаторів, радіаторах або екрані монітора. Відблиски ускладнюють виявлення дефектів пайки, можуть маскувати тонкі перемички припою між сусідніми контактами та погіршувати якість візуального контролю. Тому для місцевого освітлення краще застосовувати світильник із розсіювачем, а не відкритим яскравим джерелом світла.

Під час роботи в Altium Designer освітлення також має бути правильно організоване. Екран монітора не повинен бути розташований навпроти вікна або яскравого світильника, оскільки це створює відблиски та знижує контрастність зображення. Для роботи зі схемою та друкованою платою на екрані важливо чітко бачити позначення елементів, назви електричних кіл,

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 64   |

тонкі лінії трасування, зазори між провідниками та результати перевірки правил проєктування [15].

Недостатнє або неправильно організоване освітлення може впливати не тільки на здоров'я виконавця, а й на якість самого пристрою. Наприклад, під час огляду друкованого вузла можна не помітити холодну пайку, тріщину в паяному з'єднанні, залишки флюсу, переплутану полярність конденсатора або зайву перемичку між контактами. Для підсилювача з імпульсним перетворювачем така помилка може призвести до неправильної роботи, перегрівання елементів або пошкодження силової частини.

Щоб зменшити зорове навантаження, під час тривалої роботи потрібно робити короткі перерви. Це стосується як проєктування в САПР, так і ручного монтажу. Під час перерви бажано змінити фокус зору, відвести погляд від монітора і робочої плати, перевірити порядок на столі та положення інструментів. Такий підхід знижує втому, підтримує уважність і зменшує ймовірність помилки при подальшій роботі.

Для робочого місця, на якому виконується монтаж і перевірка підсилювача звуку з Bluetooth керуванням, приймаються такі організаційні рішення:

- забезпечити загальне рівномірне освітлення приміщення;
- використовувати місцевий світильник для зони друкованої плати;
- розташувати світильник так, щоб він не створював тіней і відблисків;
- підтримувати чистоту робочої поверхні та не закривати світловий потік інструментами;

Правильно організоване освітлення є важливою умовою безпечного і якісного виконання робіт з автомобільним підсилювачем звуку з Bluetooth керуванням. Для даного пристрою воно впливає не лише на комфорт виконавця, а й на точність монтажу, якість контролю друкованої плати,

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 65   |

своєчасне виявлення дефектів і зменшення ризику помилок під час налагодження.

### 3.3 Висновок до розділу 3

У розділі «Охорона праці та безпека життєдіяльності» розглянуто питання безпечного виконання робіт під час виготовлення, монтажу, перевірки та налагодження підсилювача звуку з Bluetooth керуванням. Основну увагу приділено можливим небезпечним ситуаціям, які можуть виникати під час роботи з друкованим вузлом: коротким замиканням у силових колах, помилкам полярності електролітичних конденсаторів, перегріванню силових транзисторів і мікросхем підсилювачів, а також випадковим замиканням під час вимірювань.

Встановлено, що найбільш відповідальними етапами є монтаж елементів, перший запуск пристрою та перевірка імпульсного перетворювача напруги. Для зменшення ризику пошкодження плати та електронних компонентів передбачено попередній візуальний контроль монтажу, перевірку силових кіл омметром, подавання живлення через лабораторне джерело з обмеженням струму, контроль температури елементів та дотримання порядку роботи з паяльним і вимірювальним обладнанням.

Також розглянуто вимоги до виробничого освітлення робочого місця, оскільки під час монтажу та перевірки підсилювача виконується значний обсяг зорovo напружених операцій. Правильно організоване загальне і місцеве освітлення дає змогу якісно контролювати паяні з'єднання, маркування елементів, полярність компонентів і стан друкованих провідників. Дотримання цих вимог підвищує безпеку роботи, зменшує втому виконавця та знижує ймовірність помилок під час налагодження пристрою.

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 66   |

## Висновки

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено підсилювач звуку з Bluetooth керуванням, призначений для приймання бездротового аудіосигналу, його підсилення у двох каналах та передавання на акустичні системи. У пристрої поєднано Bluetooth-аудіовузол, підсилювачі звукової частоти, імпульсний перетворювач напруги, вузол контролю, захисту та світлодіодної індикації.

Під час роботи проаналізовано технічне завдання та розглянуто реальні аналоги пристрою. На основі цього обґрунтовано доцільність розроблення власного підсилювача, який працює від джерела постійної напруги 12 В, має Bluetooth-приймання, два канали підсилення, власний вузол живлення та друковану плату.

Розроблено структурну та електричну принципову схеми пристрою. Розглянуто роботу основних вузлів: імпульсного перетворювача на ШІМ-контролері SG3525ANG, Bluetooth-вузла на мікросхемі AC6905A, підсилювачів звукової частоти на TDA2030AL, стабілізатора живлення Bluetooth-модуля та вузла захисту. Виконані розрахунки підтвердили правильність вибору стабілізатора LP2985-33DBVR та вхідного RC-кола підсилювачів.

Проведено вибір і обґрунтування елементної бази відповідно до функціонального призначення пристрою. Для реалізації схеми використано мікросхеми, транзистори, діоди, резистори, конденсатори, дросель, трансформатор, запобіжник і світлодіоди, які забезпечують роботу аудіотракту, силової частини, живлення, захисту та індикації.

Розроблено друкований вузол підсилювача. Для нього прийнято двосторонню друковану плату розміром 155 × 105 мм на основі матеріалу СФ-2-35 / FR-4 товщиною 1,5 мм. Під час компоновання враховано розділення силових і сигнальних кіл, розміщення Bluetooth-вузла окремо від імпульсного перетворювача, а також зручність монтажу та перевірки пристрою.

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>ХМВ 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 67   |

У середовищі Altium Designer створено бібліотечні елементи, електричну принципову схему та друковану плату. Виконано перевірки ERC і DRC, проведено трасування двосторонньої плати та переглянуто конструкцію у 3D-режимі. Це дало змогу підготувати проєкт до виготовлення друкованого вузла.

Також у роботі розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності під час монтажу, перевірки й налагодження підсилювача. Визначено можливі небезпечні ситуації, пов'язані з короткими замиканнями, перегріванням елементів, неправильним підключенням компонентів і роботою з паяльним обладнанням.

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>XMB 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 68   |

## Список використаних джерел

1. Дунець В. Л., Дедів І. Ю., Хвостівський М. О. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю 172 “Телекомунікації та радіотехніка”. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 72 с.
2. Хвостівська Л. В., Дунець В. Л. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни “Системи автоматизованого проектування радіоелектронних засобів” для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка. Тернопіль : ТНТУ, 2020. 109 с.
3. Ткачук Р. А., Дозорський В. Г., Дедів Л. Є., Дедів І. Ю. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 336 с.
4. ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=102586](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102586).
5. ДСТУ 3334-96. Плати друковані. Загальні вимоги до технологічних процесів регенерації, знешкодження та утилізації розчинів. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=90096](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90096).
6. ДСТУ 2.104:2006 Єдина система конструкторської документації. Основні написи (ДСТУ 2.104-2006, IDT). З Поправками (ІПС № 5 2007), (ІПС № 6-2007), (ІПС № 8-2007), (ІПС № 5-2008). URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=55417](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=55417).
7. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ : Книжк. палата України ім. Ів. Федор., 2015. 26 с. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=64411](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64411).
8. Атаманчук П.С. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 276 с.
9. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. / В.В. Сокурєнко, О.М. Бандурка та ін. Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.

|     |      |         |       |      |                         |      |
|-----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|     |      |         |       |      | <i>ХМВ 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підп. | Дата |                         | 69   |

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

11. Кодекс цивільного захисту України від 01.07.2013 року.

12. Бедрій Я.І. Основи охорони праці : навч. посіб. 4-е вид. перероб. і доп.  
Тернопіль : Навчальна книга - Богдан, 2018. 240 с.

13. Жидецький В.Ц. Охорона праці користувачів комп'ютерів :  
підручник. Львів : Афіша, 2020. 176 с.

14. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон  
України, 2018. 133 с.

15. НПАОП 0,00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я  
працівників під час роботи з екранними пристроями, від 14.02.2018 року  
№207.

|            |             |                |              |             |                         |      |
|------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|------|
|            |             |                |              |             | <i>ХМВ 2.032.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> |                         | 70   |

# ДОДАТКИ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру РТ

\_\_\_\_\_ к.т.н. Дунець В.Л.

“ 28 ” \_\_\_\_\_ квітня \_\_\_\_\_ 2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему: «Підсилювач звуку з Bluetooth керуванням»

Узгоджено:

Керівник роботи

Дунець В.Л. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РАС-41

Харевіч М.В. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026р.

Тернопіль, 2026

# 1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Підсилювач звуку з Bluetooth керуванням ”

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

## 2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Харевіч Максим Вікторович, групи РАС-41 кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

## 3 КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка підсилювача звуку з Bluetooth керуванням, що включає:

- аналіз технічного завдання та існуючих аналогів пристрою;
- розробку структурної схеми підсилювача;
- розробку електричної принципової схеми пристрою;
- опис принципу роботи основних функціональних вузлів;
- розрахунок окремих вузлів електричної принципової схеми;
- вибір і обґрунтування елементної бази;
- компоновання друкованого вузла;
- розрахунок надійності та параметрів друкованого монтажу;
- розробку друкованої плати і конструкторської документації;
- розгляд питань безпеки життєдіяльності та охорони праці.

## 4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1.1 Підсилювач звуку з Bluetooth керуванням повинен забезпечувати приймання аудіосигналу через бездротовий Bluetooth-канал.

4.1.2 Пристрій повинен забезпечувати підсилення звукового сигналу у двох каналах.

4.1.3 Вихідний сигнал пристрою повинен подаватися на акустичні системи лівого та правого каналів.

4.1.4 Живлення пристрою повинно здійснюватися від джерела постійної напруги 12 В.

4.1.5 Орієнтовна вихідна потужність підсилювача повинна становити до 20 Вт.

4.1.6 Для підсилення звукового сигналу повинні використовуватися мікросхеми підсилювачів звукової частоти TDA2030AL.

4.1.7 Для приймання аудіосигналу через Bluetooth повинен використовуватися Bluetooth-аудіовузол на мікросхемі AC6905A.

4.1.8 Для формування живлення підсилювачів потужності повинен використовуватися імпульсний перетворювач напруги.

4.1.9 Імпульсний перетворювач напруги повинен бути виконаний на основі ШІМ-контролера SG3525ANG.

4.1.10 Силова частина імпульсного перетворювача повинна містити силові MOSFET-транзистори IRF3205, імпульсний трансформатор, випрямні діоди та фільтруючі елементи.

4.1.11 Для живлення Bluetooth-вузла повинна формуватися стабілізована напруга 3,3 В.

4.1.12 Для стабілізації напруги живлення Bluetooth-вузла повинен використовуватися стабілізатор LP2985-33DBVR.

4.1.13 У схемі повинен бути передбачений вузол контролю та захисту від неправильного підключення і аварійних режимів.

4.1.14 Для контролю режимів роботи пристрою повинна використовуватися світлодіодна індикація.

4.1.15 Друкована плата пристрою повинна бути двосторонньою.

4.1.16 Матеріал основи друкованої плати - фольгований склотекстоліт СФ-2-35 / FR-4.

4.1.17 Товщина друкованої плати повинна становити 1,5 мм.

4.1.18 Товщина мідної фольги повинна становити 35 мкм.

4.1.19 Тип монтажу елементів - вивідний.

4.1.20 Габаритні розміри друкованої плати повинні становити 155 × 105 мм.

## **4.2 Технічні вимоги**

4.2.1 Підсилювач звуку з Bluetooth керуванням повинен відповідати вимогам технічного завдання, конструкторської документації та чинних стандартів щодо розробки електронних пристроїв і друкованих вузлів.

4.2.2 Пристрій повинен забезпечувати стабільну роботу після подавання живлення та запуску основних функціональних вузлів.

4.2.3 Bluetooth-вузол повинен забезпечувати приймання аудіосигналу від зовнішнього пристрою, наприклад смартфона, ноутбука або іншого джерела звуку.

4.2.4 Аудіотракт пристрою повинен забезпечувати передавання сигналів лівого і правого каналів на відповідні підсилювачі звукової частоти.

4.2.5 Підсилювачі звукової частоти повинні забезпечувати підсилення сигналу до рівня, достатнього для роботи акустичних систем.

4.2.6 Імпульсний перетворювач напруги повинен формувати необхідне живлення для роботи підсилювачів потужності.

4.2.7 Стабілізатор напруги повинен забезпечувати стабільне живлення Bluetooth-вузла та зменшувати вплив пульсацій силової частини.

4.2.8 У схемі повинні бути передбачені елементи захисту, зокрема запобіжник, вузол контролю живлення та захисні діоди у вихідних колах.

4.2.9 Елементи пристрою повинні бути підібрані з урахуванням напруг живлення, струмового навантаження, типу корпусу, умов експлуатації та можливості встановлення на друковану плату.

4.2.10 Друкована плата повинна забезпечувати надійне електричне з'єднання елементів, достатні технологічні зазори, розділення силових і сигнальних кіл, а також зручність монтажу та перевірки.

4.2.11 Силові кола імпульсного перетворювача та живлення підсилювачів повинні виконуватися провідниками збільшеної ширини.

4.2.12 Bluetooth-вузол і вхідні аудіокола повинні розміщуватися на платі окремо від силових елементів імпульсного перетворювача для зменшення впливу завад.

4.2.13 Напрацювання на відмову проектованого виробу повинне бути не менше 12000 год.

4.2.14 Середній термін служби пристрою повинен бути не менше 5 років за умови дотримання правил експлуатації.

4.2.15 Конструкція пристрою повинна забезпечувати зручність підключення, налагодження, обслуговування та безпечну експлуатацію.

### **4.3 Правила приймання**

4.3.1 Розроблений пристрій повинен піддаватися перевірці відповідності технічному завданню та конструкторській документації.

4.3.2 Під час перевірки необхідно проконтролювати правильність монтажу, відсутність коротких замикань, якість паяння та відповідність встановлених елементів електричній принциповій схемі.

4.3.3 Перевірці підлягають вхідне коло живлення, вузол контролю та індикації, імпульсний перетворювач напруги, стабілізатор живлення Bluetooth-вузла, Bluetooth-модуль, підсилювачі лівого і правого каналів та вихідні кола акустичних систем.

4.3.4 Під час першого запуску необхідно перевірити наявність вхідної напруги 12 В, роботу вузла захисту, наявність стабілізованої напруги 3,3 В, запуск Bluetooth-вузла, роботу імпульсного перетворювача та наявність вихідного аудіосигналу.

4.3.5 Під час перевірки підсилювача необхідно проконтролювати відсутність перегрівання силових транзисторів, мікросхем підсилювачів, трансформатора, дроселя та електролітичних конденсаторів.

4.3.6 У разі виявлення несправностей або невідповідності технічним вимогам пристрій повинен бути доопрацьований, після чого проводиться повторна перевірка.

## **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;
- структурної схеми пристрою;

- електричної принципової схеми пристрою;
- переліку елементів;
- друкованої плати пристрою;
- складального креслення друкованого вузла;
- специфікації;
- додатків з графічними матеріалами.

## 6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

| № з/п | Назва етапів роботи  | Термін виконання етапів роботи |
|-------|--|--------------------------------|
| 1     | Розробка та затвердження технічного завдання   | 12.03.2026                     |
| 2     | Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи         | 14.03.2026                     |
| 3     | Аналіз принципу роботи підсилювача звуку з Bluetooth керуванням та вимог до автомобільної аудіосистеми | 21.03.2026                     |
| 4     | Розробка структурної схеми підсилювача звуку з Bluetooth керуванням                                    | 23.03.2026                     |
| 5     | Розробка електричної принципової схеми пристрою  | 10.04.2026                     |
| 6     | Вибір та обґрунтування елементної бази підсилювача звуку з Bluetooth керуванням                        | 12.04.2026                     |
| 7     | Аналіз роботи Bluetooth-вузла, імпульсного перетворювача напруги та підсилювачів потужності            | 16.04.2026                     |
| 8     | Розрахунок основних вузлів схеми та параметрів пристрою  | 22.04.2026                     |
| 9     | Розрахунок надійності пристрою та параметрів друкованого монтажу                                       | 02.05.2026                     |
| 10    | Компонування елементів і трасування друкованої плати підсилювача звуку з Bluetooth керуванням          | 15.05.2026                     |
| 11    | Перевірка конструкції друкованої плати, уточнення посадкових місць та параметрів друкованого вузла     | 23.05.2026                     |
| 12    | Розробка конструкторської документації на підсилювач звуку з Bluetooth керуванням                      | 03.06.2026                     |
| 13    | Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці   | 09.06.2026                     |
| 14    | Нормоконтроль  | 10.06.2026                     |
| 15    | Попередній захист кваліфікаційної роботи   | 11.06.2026                     |

|    |                                 |            |
|----|---------------------------------|------------|
| 16 | Перевірка роботи на антиплагіат | 13.06.2026 |
| 17 | Захист кваліфікаційної роботи   | 25.06.2026 |

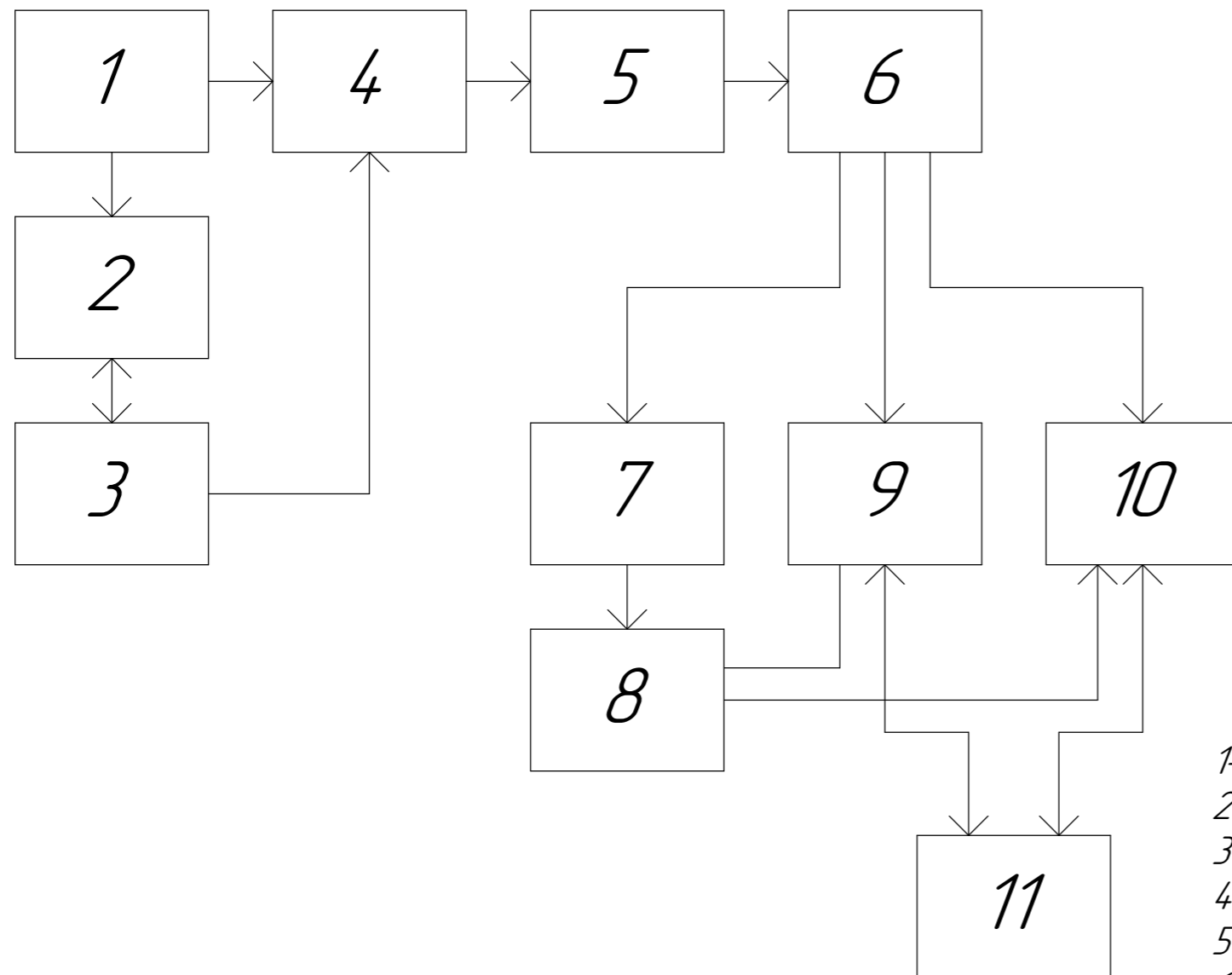
Термін виконання кваліфікаційної роботи узгоджується з керівником і з графіком виконання.

## 7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

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

7.2 Зміни до технічного завдання допускаються за погодженням із керівником кваліфікаційної роботи.

7.3 Остаточний склад конструкторської документації уточнюється під час виконання роботи відповідно до розробленої схеми, друкованого вузла та вимог кафедри.

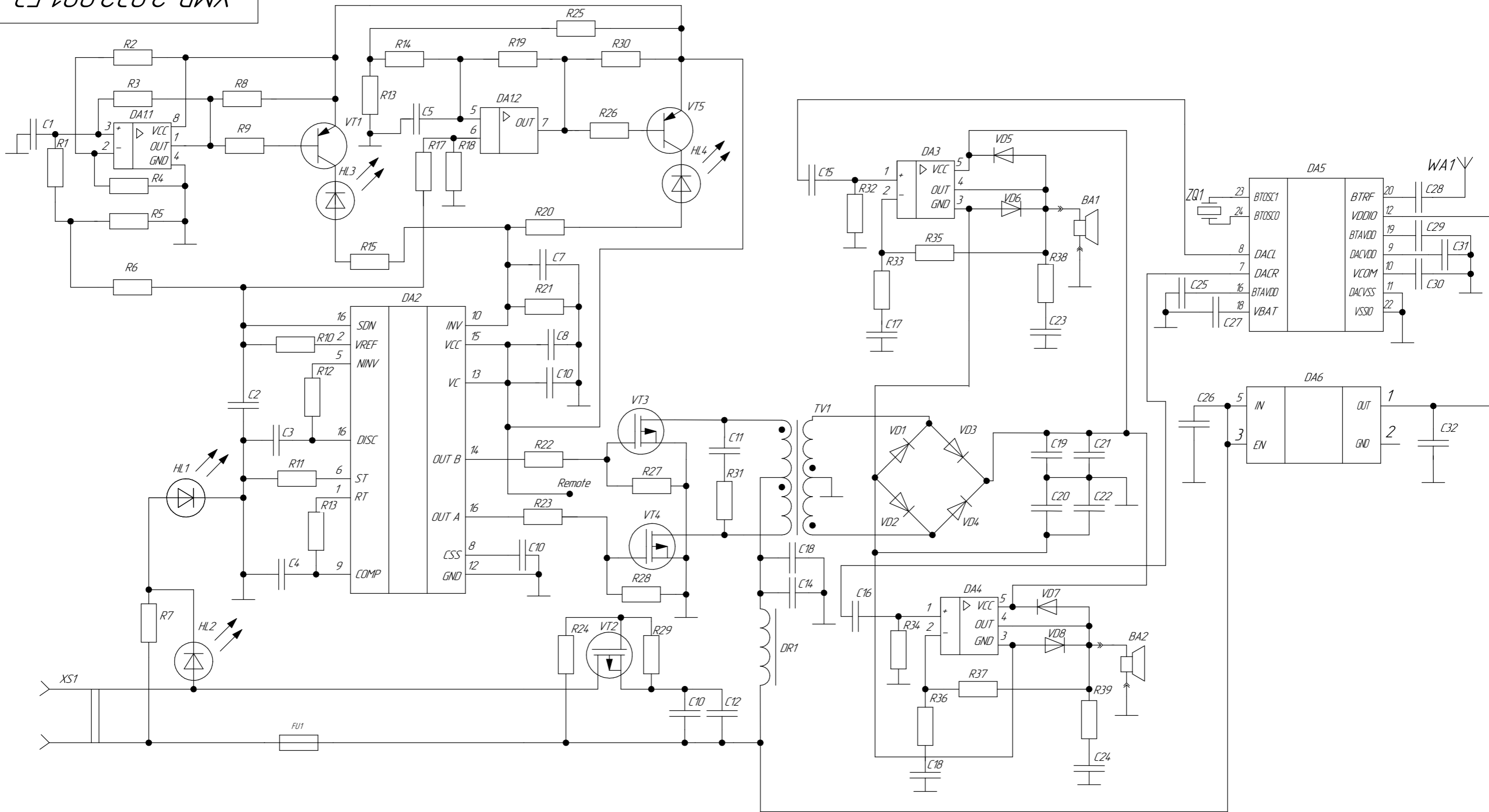


- 1- Джерело живлення
- 2- ШІМ-контролер перетворювача
- 3- Вузол контролю та індикації
- 4- Силовий ключовий каскад
- 5- Імпульсний трансформатор
- 6- Випрямляч і фільтр живлення
- 7- Стабілізатор живлення Bluetooth-модуля
- 8- Bluetooth-модуль
- 9- Підсилювач лівого каналу
- 10- Підсилювач правого каналу
- 11- Акустичний випромінювач

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

|           |                  |        |      |   |   |         |         |
|-----------|------------------|--------|------|---|---|---------|---------|
|           |                  |        |      | <b>XMB 2.032.001 E1</b>   |   |         |         |
| Змн. Лист | № докум.         | Підпис | Дата | <b>Підсилювач звуку<br/>з Bluetooth керуванням<br/>Структурна схема</b> | Літ.                                      | Вага    | Масштаб |
| Розроб.   | Харевіч М.В.     |        |      |   |   |         | 1:1     |
| Перевір.  | Дунець В.Л.      |        |      |   | Арк                                       | Аркушів | 1       |
| Реценз.   |                  |        |      |   | <b>ТНТУ ім. І. Пулюя<br/>група РАС-41</b> |         |         |
| Н.контр.  | Хвастівська Л.В. |        |      |   |   |         |         |
| Затверд.  | Дунець В.Л.      |        |      |   |   |         |         |

# XMB 2.032.001 E3



|           |                  |        |      |  |         |         |
|-----------|------------------|--------|------|--|---------|---------|
|           |                  |        |      | <b>XMB 2.032.001 E3</b>                        |         |         |
|           |                  |        |      | <b>Підсилювач звуку з Bluetooth керуванням</b> |         |         |
|           |                  |        |      | <b>Схема електрична принципова</b>             |         |         |
| Змн. Лист | № докум.         | Підпис | Дата | Лім.   | Вага    | Масштаб |
| Розроб.   | Харевіч М.В.     |        |      |  |         |         |
| Перевір.  | Дунець В.Л.      |        |      |  |         |         |
| Реценз.   |                  |        |      | Арк  | Аркушів | 1       |
| Н.контр.  | Хвастівська Л.В. |        |      | <b>ТНТУ ім. Пулюя м. Тернопіль</b>             |         |         |
| Затверд.  | Дунець В.Л.      |        |      | Формат А3                                      |         |         |

| Позн.               | Найменування                                   | Кіл. | Примітка |
|---------------------|--|------|----------|
| <u>Конденсатори</u> |  |      |          |
| С1,С2               | ССК-100N 100нФ ±20% "SR PASSIVES"              | 2    |          |
| С3                  | СС10К 1нФ ±20% "SR PASSIVES"                   | 1    |          |
| С4                  | ССЗК-10N 10нФ 3кВ ±20% "SR PASSIVES"           | 1    |          |
| С5                  | ССК-100N 100нФ ±20% "SR PASSIVES"              | 1    |          |
| С6                  | ЕСАР-50В-22мкФ ±20% "СарХоп"                   | 1    |          |
| С7                  | ССЗК-10N 10нФ ±20% "SR PASSIVES"               | 1    |          |
| С8                  | ЕСАР-16В-100мкФ ±20% "СарХоп"                  | 1    |          |
| С9,С10              | ССК-100N 100нФ ±20% "SR PASSIVES"              | 2    |          |
| С11                 | ССЗК-10N 10нФ ±20% "SR PASSIVES"               | 1    |          |
| С12,С13             | ЕСАР-25В-2200мкФ ±20% "Jamicon"                | 2    |          |
| С14                 | ССК-100N 100нФ ±20% "SR PASSIVES"              | 1    |          |
| С15,С16             | ЕСАР-50В-2.2мкФ ±20% "JB"                      | 2    |          |
| С17,С18             | ЕСАР-50В-22мкФ ±20% "СарХоп"                   | 2    |          |
| С19,С20             | ЕСАР-35В 1000мкФ ±20% "JB"                     | 2    |          |
| С21,С22             | CL21 63В 100нФ ±10% "Weidy Industrial"         | 2    |          |
| С23,С24             | МКР4 630В 220нФ ±10% "WIMA"                    | 2    |          |
| С25-С32             | CL21 63В 100нФ ±10% "Weidy Industrial"         | 8    |          |
| <u>Мікросхеми</u>   |  |      |          |
| DA1                 | LM393N, "Texas Instruments"                    | 1    |          |
| DA2                 | SG3525ANG "Fairchild "                         | 1    |          |
| DA3,DA4             | TDA2030AL-TB5-T "STMicroelectronics"           | 2    |          |
| DA5                 | АС6905А "Jie Li Technology"                    | 1    |          |
| DA6                 | LP2985-33DBVR "Texas Instruments"              | 1    |          |
| DR1                 | <u>Дросель</u> DTMSS 15V 10мкГн 15А "FERYSTER" | 1    |          |
| FU1                 | <u>Запобіжник</u> 12А 250В "Eternalfar"        | 1    |          |

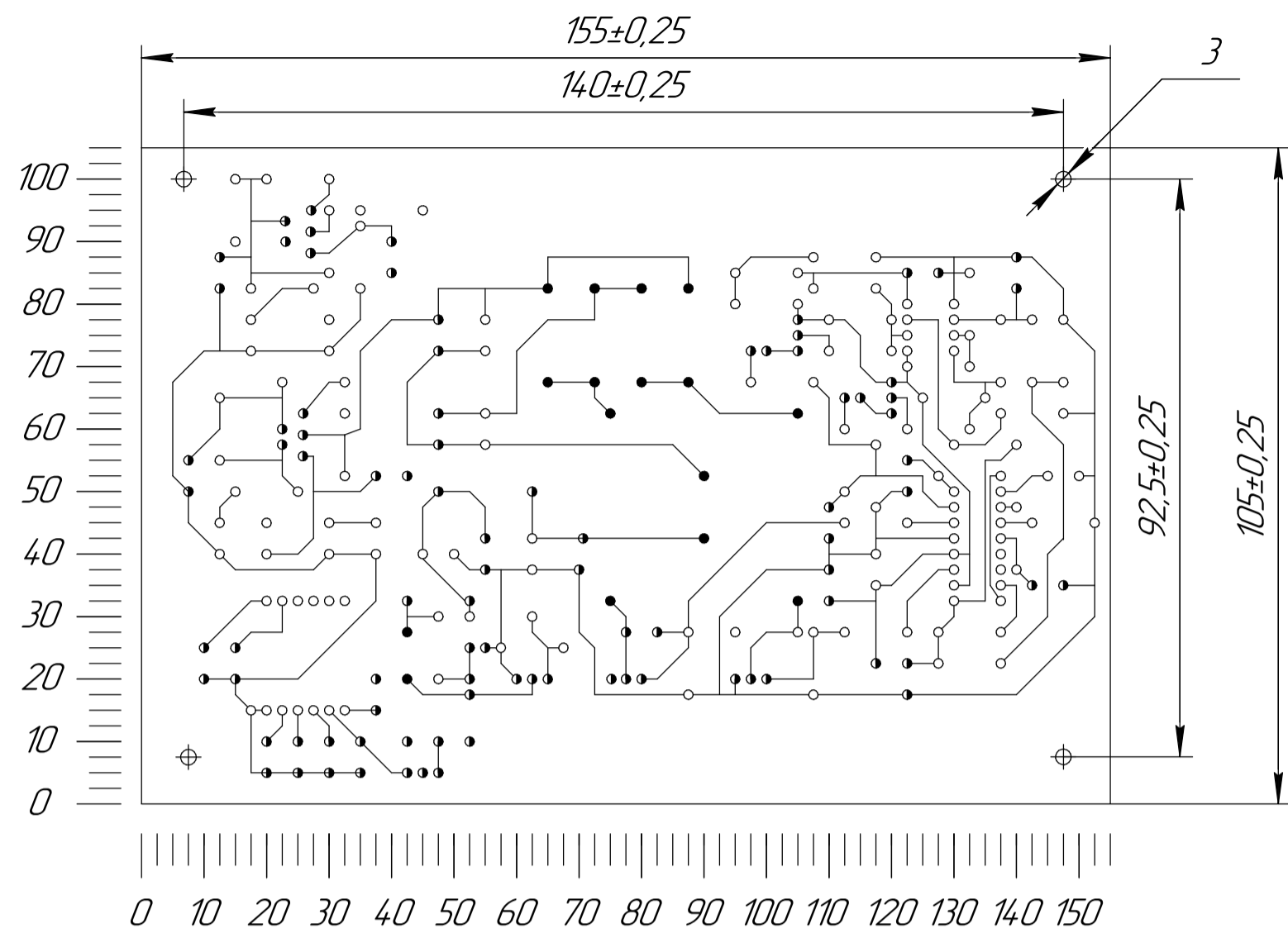
**ХМВ 2.032.001 ПЕ**

| Змн.      | Лист | № докум.         | Підпис | Дата |  |                                   |      |         |
|-----------|------|------------------|--------|------|--|-----------------------------------|------|---------|
| Розроб.   |      | Харевіч М.В.     |        |      | Підсилювач звуку з Bluetooth керуванням<br>Перелік елементів | Лім.                              | Арк. | Аркушів |
| Перевір.  |      | Дунець В.Л.      |        |      |  |                                   | 1    | 3       |
| Реценз.   |      |                  |        |      |  | ТНТУ ім. І. Пулюя<br>група РАС-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Хвостівська Л.В. |        |      |  |                                   |      |         |
| Затверд.  |      | Дунець В.Л.      |        |      |  |                                   |      |         |

| Позн.              | Найменування                              | Кіл.     | Примітка |
|--------------------|---|----------|----------|
| <u>Світлодіоди</u> |   |          |          |
| HL1-HL4            | Світлодіод GNL-3012ED "G-nor Electronics" | 4        |          |
| <u>Резистори</u>   |   |          |          |
| R1, R2             | MF50-10кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 2        |          |
| R3                 | MF50-1МОм ±1% "Multicomp Pro"             | 1        |          |
| R4                 | MF50-2.2кОм ±1% "Multicomp Pro"           | 1        |          |
| R5                 | MF50-10кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 1        |          |
| R6                 | MF50-6.8кОм ±1% "Multicomp Pro"           | 1        |          |
| R7                 | MF50-4.7кОм ±1% "Multicomp Pro"           | 1        |          |
| R8                 | MF50-10кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 1        |          |
| R9                 | MF50-2.2кОм ±1% "Multicomp Pro"           | 1        |          |
| R10                | MF50-10кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 1        |          |
| R11                | MF50-15кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 1        |          |
| R12                | MF50-10кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 1        |          |
| R13                | MF50-470м ±1% "Multicomp Pro"             | 1        |          |
| R14                | MF50-5.1кОм ±1% "Multicomp Pro"           | 1        |          |
| R15                | MF50-1кОм ±1% "Multicomp Pro"             | 1        |          |
| R16                | MF50-10кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 1        |          |
| R17                | MF50-22кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 1        |          |
| R18                | MF50-30кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 1        |          |
| R19                | MF50-1МОм ±1% "Multicomp Pro"             | 1        |          |
| R20                | MF50-1кОм ±1% "Multicomp Pro"             | 1        |          |
| R21                | MF50-10кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 1        |          |
| R22,R23            | MF50-100м ±1% "Multicomp Pro"             | 2        |          |
| R24                | MF50-2.2кОм ±1% "Multicomp Pro"           | 1        |          |
| R25                | MF50-10кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 1        |          |
| R26                | MF50-2.2кОм ±1% "Multicomp Pro"           | 1        |          |
| R27,R28            | MF50-10кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 2        |          |
| R29                | MF50-22кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 1        |          |
| R30                | MF50-10кОм ±1% "Multicomp Pro"            | 1        |          |
| R31                | MF50-10м ±1% "Multicomp Pro"              | 1        |          |
|                    |   |          | Арк.     |
|                    |   |          | 2        |
| Змн.               | Лист                                      | № докум. | Підпис   |
|                    |   |          | Дата     |

**XMB 2.032.001 ПЕ**





Первинне застосування

Довідковий №

Підп. і дата

Інв. № дубл.

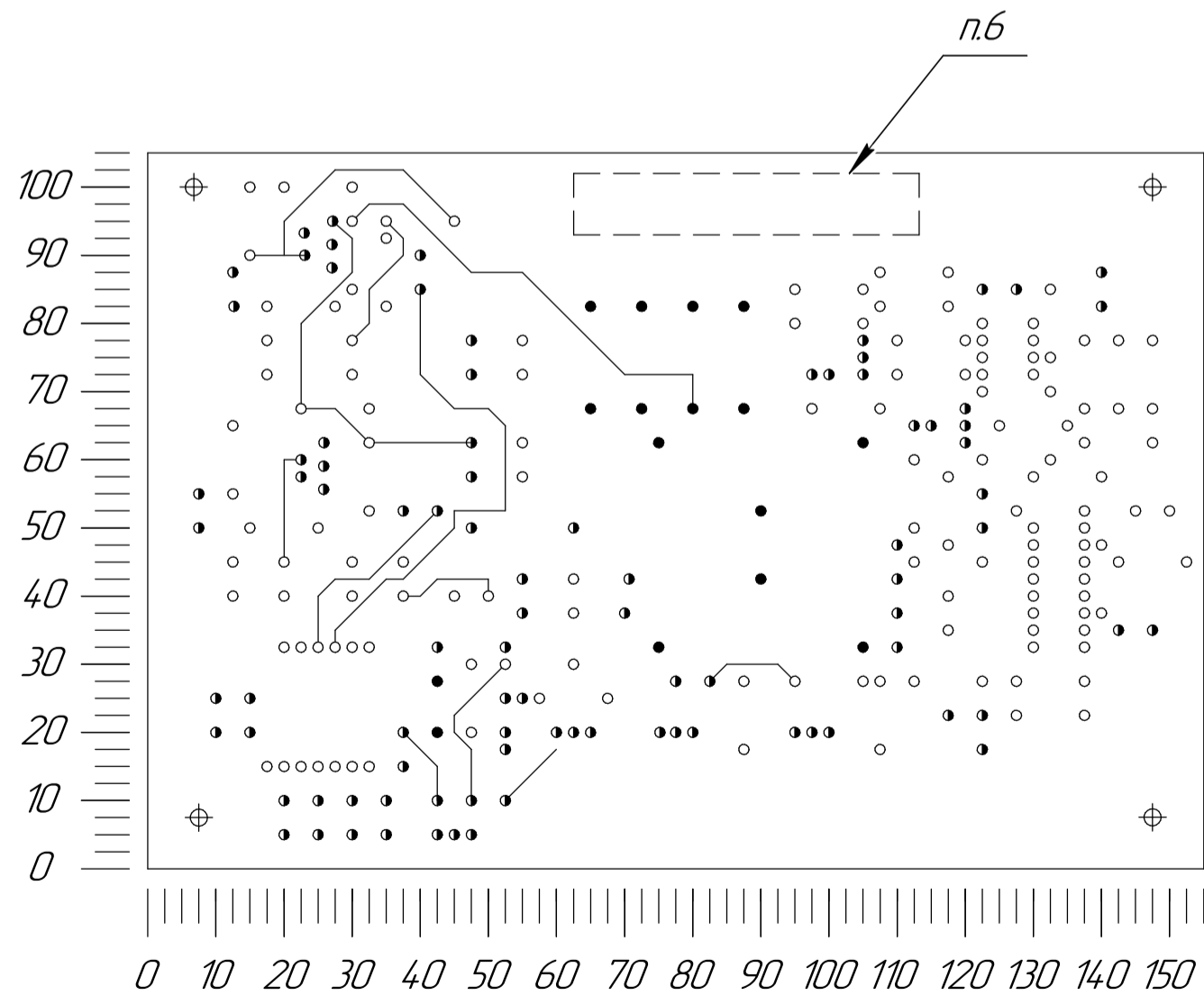
Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № ар.

Таблиця отворів 1

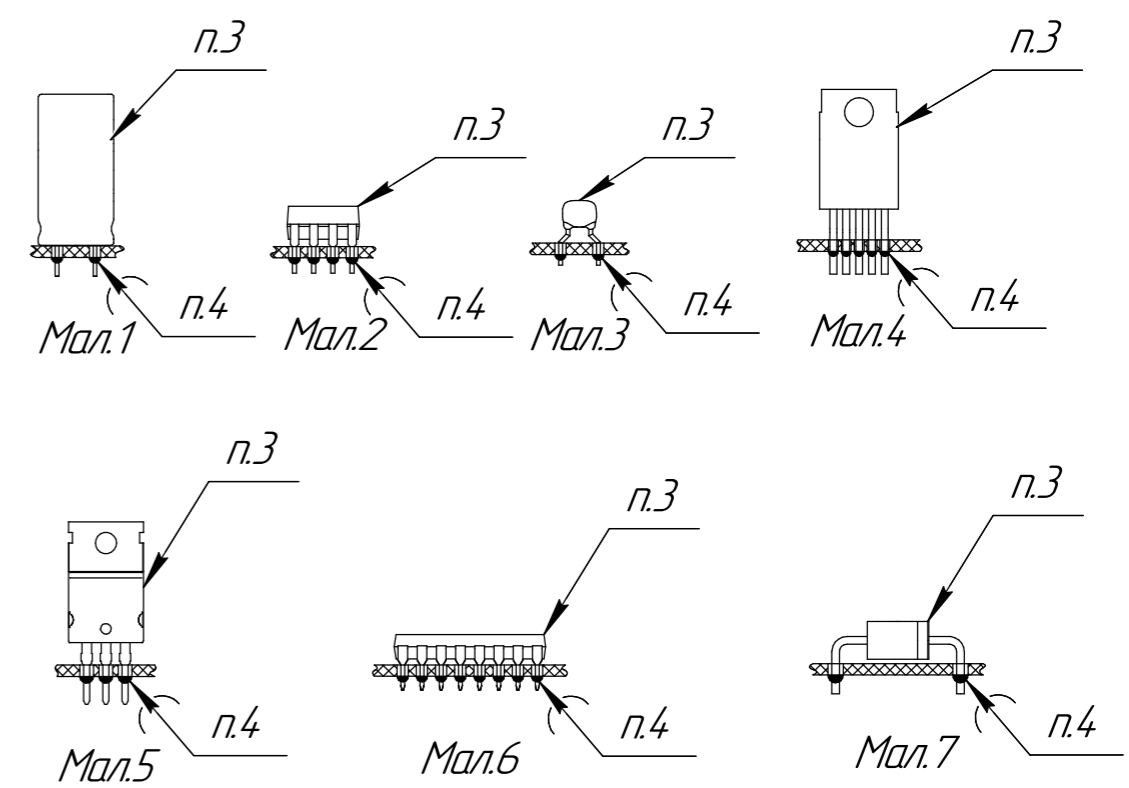
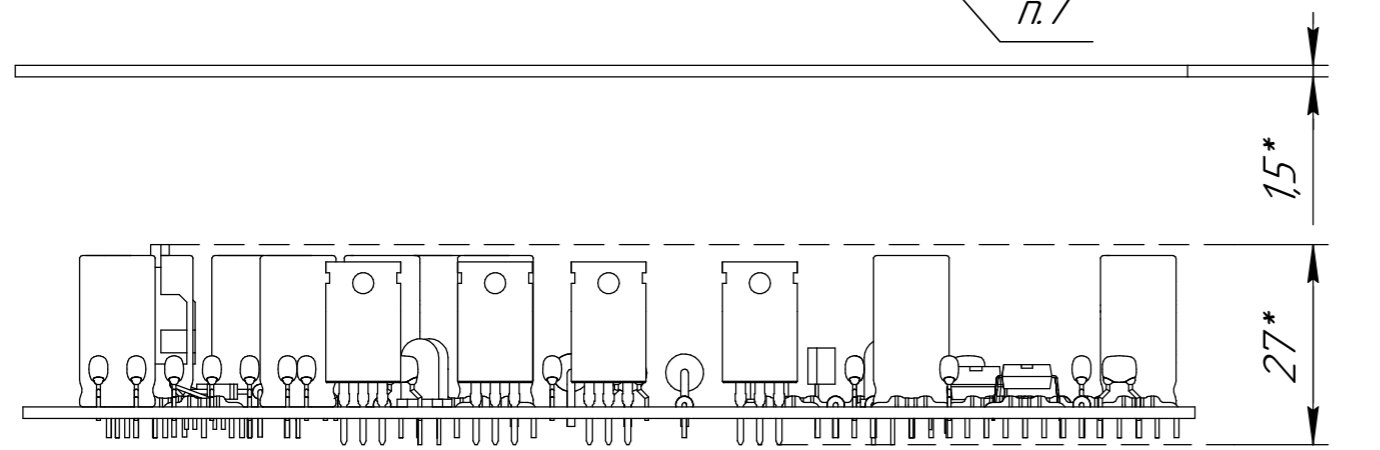
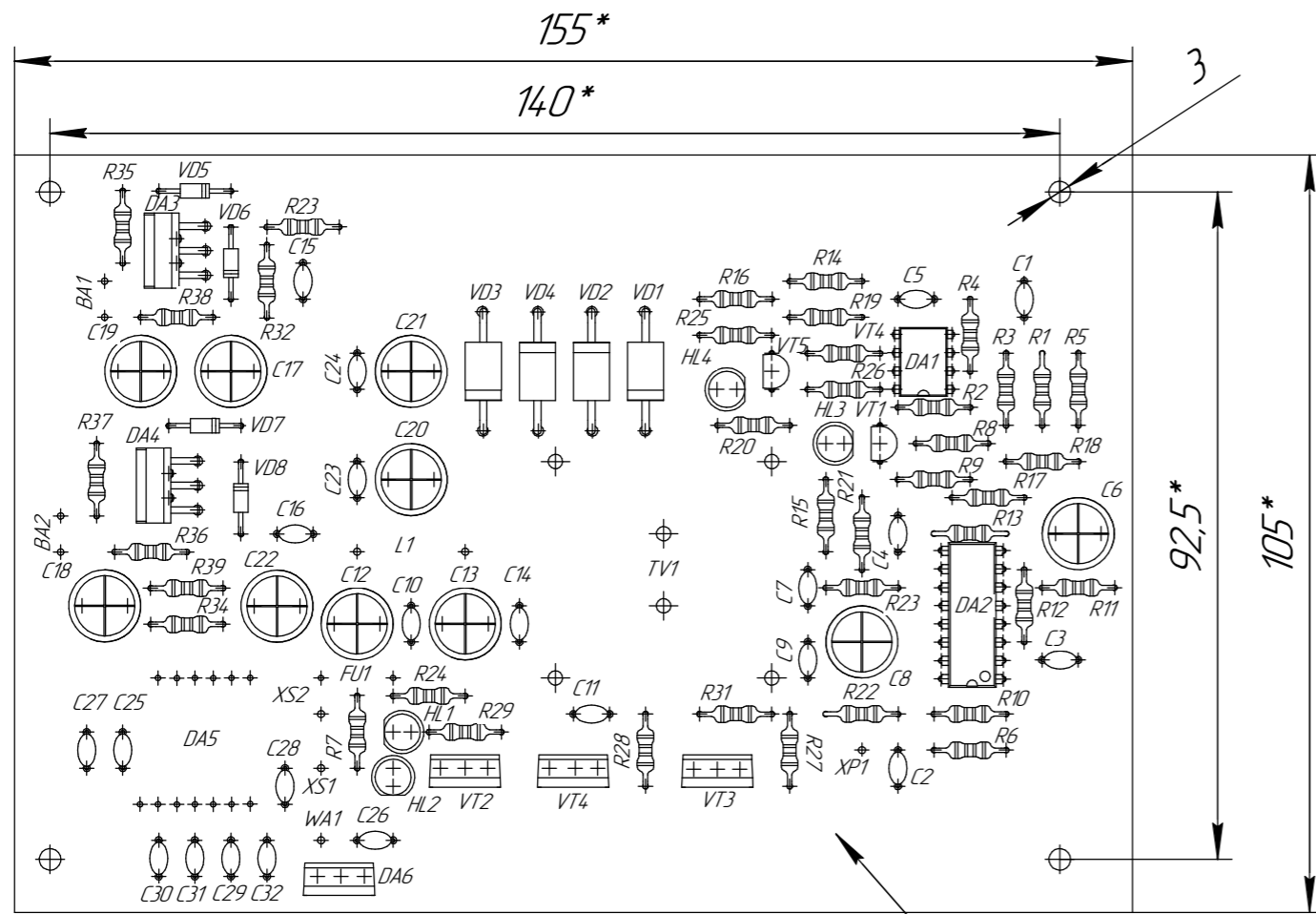
| Позначення отвору | Діаметру отвору | Діаметр конт. площадки | Наявність металізації | Кількість отворів |
|-------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|-------------------|
| ○                 | 0,9             | 1,8                    | з метал.              | 141               |
| ◐                 | 1,1             | 2                      | з метал.              | 90                |
| ●                 | 1,5             | 2,5                    | з метал.              | 16                |



- \*Розмір для довідок
- Плата повинна відповідати вимогам ДСТУ EN 61188, група жорсткості 2, клас точності 3 ДСТУ EN 61188 крок координатної сітки 2,5мм.
- Плату виконати комбінованим позитивним методом.
- Конфігурація друкованих провідників згідно креслення.
- Параметри отворів див. таблицю 1.
- Таврувати штамп ВТК, маркувати заводський номер фарбою маркувальною ТУМС-01 чорною, У1.ТУ29-02-890-88 шрифт 2,5-Прз ДСТУ ISO 3098.

|           |                  |        |      | XMB 7.103.001     |         |         |
|-----------|------------------|--------|------|-------------------|---------|---------|
| Змн. Лист | № докум.         | Підпис | Дата | Друкована плата   |         |         |
| Разроб.   | Харевич М.В.     |        |      | Лит.              | Вага    | Масштаб |
| Перевір.  | Дунець В.Л.      |        |      |                   |         | 1:1     |
| Реценз.   |                  |        |      | Арк               | Аркцифр | 1       |
| Нжентр.   | Хвостівська Л.В. |        |      | СФ1-35-15         |         |         |
| Затверд.  | Дунець В.Л.      |        |      | ІРС-4101          |         |         |
|           |                  |        |      | ТНТУ ім. І. Пулюя |         |         |
|           |                  |        |      | РАС-41            |         |         |
|           |                  |        |      | Копіював          |         |         |
|           |                  |        |      | Формат А2         |         |         |

**ХМВ 2.032.001 СК**



1. \*Розмір для довідок
2. Підготовку до монтажу виконати згідно ДСТУ2779
3. Встановлення елементів виконати згідно ДСТУ2783  
Елементи встановити відповідно до зображених варіантів на кресленні
4. Пайка елементів виконувати у відповідності з ОСТ4ГО.054.267. Паяти припоєм ПОС-61 ДСТУ 2784.
5. Паста КПТ-8 ОСТ21831-65
6. Різьбові з'єднання стопорити емаллю ПФ-115
7. Друкований вузол покрити лаком УР-231  
ТУ 6-21-14-90
8. Елементи схеми позначенням показані умовно

|           |                  |        |      |  |                                   |           |         |
|-----------|------------------|--------|------|--|-----------------------------------|-----------|---------|
|           |                  |        |      | <b>ХМВ 2.032.001 СК</b>  |                                   |           |         |
| Змн. Лист | № докум.         | Підпис | Дата | Друкований вузол підсилювача<br>звучу з Bluetooth керуванням<br>Складальне креслення | Літ.                              | Вага      | Масштаб |
| Розроб.   | Харевич М.В.     |        |      |  |                                   | 0,36      | 1:1     |
| Перевір.  | Дунець В.Л.      |        |      |  | Арк                               | Аркушів   | 1       |
| Реценз.   |                  |        |      |  | ТНТУ ім. І. Пулюя<br>група РАС-41 |           |         |
| Н.контр.  | Хвастівська Л.В. |        |      |  |                                   |           |         |
| Затверд.  | Дунець В.Л.      |        |      |  |                                   |           |         |
|           |                  |        |      | Копіював   |                                   | Формат А3 |         |

| Форм. | поз. | Позначення       | Назва                                  | Кіл. | Примітка   |
|-------|------|------------------|--|------|------------|
|       |      |                  | <u>Документація</u>                    |      |            |
| A3    |      | XMB 2.032.001 E3 | Схема електрична принципова            | 1    |            |
| A4    |      | XMB 2.032.001 PE | Перелік елементів                      | 3    |            |
| A3    |      | XMB 2.032.001 СК | Вузол друкований                       | 1    |            |
|       |      |                  | <u>Деталі</u>                          |      |            |
| A2    | 1    | XMB 7.103.001    | Плата друкована                        | 1    |            |
|       |      |                  | <u>Інші вироби</u>                     |      |            |
|       | 5    |                  | СС10К 1нФ ±20% "SR PASSIVES"           | 1    | С3         |
|       | 6    |                  | СС3К-10N 10нФ ±20% "SR PASSIVES"       | 2    | С7,С11     |
|       | 7    |                  | СС3К-10N 10нФ 3кВ ±20% "SR PASSIVES"   | 1    | С4         |
|       | 8    |                  | ССК-100N 100нФ ±20% "SR PASSIVES"      | 6    | С1,С2,С5   |
|       |      |                  |  |      | С9,С10,С14 |
|       | 9    |                  | CL21 63В 100нФ ±10% "Weidy Industrial" | 10   | С21,С22    |
|       |      |                  |  |      | С25,С32    |
|       | 10   |                  | МКР4630В 220нF ±10% "WIMA"             | 2    | С23,С24    |
|       | 11   |                  | ЕСАР-50В-2.2мкФ ±20% "JB"              | 2    | С15,С16    |
|       | 12   |                  | ЕСАР-50В-22мкФ ±20% "СарХоп"           | 3    | С6,С17,С18 |
|       | 13   |                  | ЕСАР-16В-100мкФ ±20% "СарХоп"          | 1    | С8         |
|       | 14   |                  | ЕСАР-35В 1000мкФ ±20% "JB"             | 2    | С19,С20    |
|       | 15   |                  | ЕСАР-25В-2200мкФ ±20% "Jamicon"        | 2    | С12,С13    |
|       |      |                  | <u>Мікросхеми</u>                      |      |            |
|       | 16   |                  | LM393N, "Texas Instruments"            | 1    | DA1        |
|       | 17   |                  | SG3525ANG "Fairchild"                  | 1    | DA2        |

|  |       |                  |                             |      |
|--|-------|------------------|-----------------------------|------|
| <b>XMB 2.032.001</b>                       |       |                  |                             |      |
| Змн.                                       | Лист. | № докум.         | Підпис                      | Дата |
| Розроб.                                    |       | Харевіч М.В.     |                             |      |
| Перевір.                                   |       | Дунець В.Л.      |                             |      |
| Реценз.                                    |       |                  |                             |      |
| Н.контр.                                   |       | Хвостівська Л.В. |                             |      |
| Затверд.                                   |       | Дунець В.Л.      |                             |      |
| Підсилювач звуку<br>з Bluetooth керуванням |       |                  | Лім.                        | Арк. |
| Специфікація                               |       |                  |                             | 1    |
|  |       |                  | ТНТУ ім. І. Пулюя<br>РАС-41 |      |
|  |       |                  | Аркушів                     | 3    |



