

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем

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

172"Електронні комунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Тетеря Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дедів І.Ю.
(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 Тетері Дмитру Олексійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем

Керівник роботи Дедів Ірина Юріївна, 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 Система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем повинна забезпечувати приймання аудіо потоку через мережу Wi-Fi, обробку аудіо даних мікроконтролером ESP32-S3, відтворення звуку через вбудовані динамічні головки, передавання сформованого аудіосигналу у FM-діапазоні, відображення інформації на TFT-дисплеї акумуляторне живлення, заряджання акумулятора та контроль живлення

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 системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем

2. Схема електрична принципова системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем

3. Друкований вузол системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем

4. Креслення друкованої плати системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем

6. Консультанти розділів роботи

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

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

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка та затвердження технічного завдання	12.03.2026	
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	14.03.2026	
3	Аналіз існуючих систем інтернет-радіомовлення та пристроїв передавання аудіосигналу у FM-діапазоні	21.03.2026	
4	Розробка структурної схеми системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем	23.03.2026	
5	Розробка електричної принципової схеми пристрою	10.04.2026	
6	Вибір та обґрунтування елементної бази системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем	12.04.2026	
7	Розробка алгоритму роботи мікроконтролера та опис принципу функціонування пристрою	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 системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем	15.05.2026	
11	Перевірка конструкції друкованої плати, уточнення посадкових місць та параметрів друкованого вузла	23.05.2026	
12	Розробка конструкторської документації на систему інтернет-радіомовлення з FM-передавачем	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)**Тетеря Д.О.*

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

*(підпис)**Дедів І.Ю.*

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем». Кваліфікаційна робота бакалавра// Тернопільський факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РАС-41. // Тернопіль, 2026р. // с.–66, рис.–26, табл.–3, біолог.–16, додат.–6.

Ключові слова: ІНТЕРНЕТ-РАДІОМОВЛЕННЯ, FM-ПЕРЕДАВАЧ, ESP32-S3, WI-FI, АУДІОТРАКТ, TFT-ДИСПЛЕЙ, ДРУКОВАНА ПЛАТА, ALTIUM DESIGNER.

У кваліфікаційній роботі розроблено систему інтернет-радіомовлення з FM-передавачем, призначену для приймання аудіопотоку через Wi-Fi, його обробки мікроконтролером та подальшого відтворення через динамічні головки або передавання у FM-діапазоні.

У роботі розроблено структурну та електричну принципову схеми пристрою, обґрунтовано вибір елементної бази, описано алгоритм роботи системи та виконано основні розрахунки. Також розроблено друкований вузол пристрою та розглянуто питання безпеки життєдіяльності й охорони праці під час монтажу та налагодження системи.

ANNOTATION

Qualification work topic: “Internet radio broadcasting system with an FM transmitter”. Bachelor’s qualification work // Ternopil Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RAs-41. // Ternopil, 2026. // 66 pages, 26 figures, 3 tables, 16 references, 6 appendices.

Keywords: INTERNET RADIO BROADCASTING, FM TRANSMITTER, ESP32-S3, WI-FI, AUDIO PATH, TFT DISPLAY, PRINTED CIRCUIT BOARD, ALTIUM DESIGNER.

The bachelor’s qualification work presents the development of an Internet radio broadcasting system with an FM transmitter. The device is intended for receiving an audio stream via Wi-Fi, processing it by a microcontroller and further playing it through loudspeakers or transmitting the signal in the FM range.

The structural and electrical schematic diagrams of the device were developed, the component base was justified, the system operation algorithm was described, and the main calculations were performed. The printed circuit assembly was also developed, and issues of life safety and occupational safety during device assembly and adjustment were considered.

Зміст

Вступ.....	8
1. Основна частина	10
1.1 Аналіз технічного завдання	10
1.2 Аналіз структурної схеми пристрою.....	17
1.3 Проектування і розрахунок вузлів пристрою.....	20
1.3.1 Опис електричної принципової схеми	21
1.3.3 Розрахунок вузла схеми електричної принципової	25
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази	28
1.4.1 Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера	28
1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази.....	31
1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу.....	42
1.5.1 Компоновка друкованого вузла	42
1.5.2 Розрахунок надійності проектованого пристрою.....	45
1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу	47
1.6 Висновок до розділу 1.....	51
2. Спеціальна частина.....	52
2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для розв'язання поставленого завдання	52
2.2 Створення друкованого вузла у середовищі Altium Designer.....	54
2.3 Висновок до розділу 2.....	57
3. Охорона праці та безпека життєдіяльності	57
3.1 Надзвичайні ситуації метеорологічного характеру	57

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>						
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем</i> <i>Пояснювальна записка</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>	
<i>Розроб.</i>		<i>Тетеря Д.О.</i>								6	60
<i>Перевір.</i>		<i>Дедів І.Ю.</i>									
<i>Рецензент</i>											
<i>Н. Контр.</i>		<i>Хвостівська Л.В.</i>									
<i>Затверд.</i>		<i>Дценець В.Л.</i>			<i>ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41</i>						

3.2 Інженерно-технічні рішення з охорони праці під час монтажу та налагодження друкованого вузла системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем	58
3.3 Висновок до розділу 2.....	61
Висновки.....	62
Список використаних джерел.....	64
Додатки.....	66

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		7

Вступ

Розвиток бездротових технологій суттєво змінив підхід до передавання та відтворення аудіоінформації. Якщо раніше радіоприймання було прив'язане переважно до ефірних передавачів і обмеженого набору локальних станцій, то зараз користувач може отримувати аудіопотік через мережу Інтернет практично з будь-якого джерела. Це зробило інтернет-радіомовлення зручним варіантом для побутового використання, навчальних лабораторій, невеликих інформаційних систем та автономних мультимедійних пристроїв.

Разом з тим звичайне інтернет-радіо не завжди повністю закриває задачу локального поширення звуку. У багатьох випадках зручно не тільки відтворити аудіопотік через вбудовані динаміки, але й передати його на невелику відстань у FM-діапазоні. Такий підхід дозволяє використовувати наявні FM-приймачі, автомобільні магнітоли або портативні радіоприймачі без додаткового підключення до мережі Wi-Fi. Тому поєднання інтернет-приймання аудіопотоку з FM-передаванням є практичним рішенням для створення універсального радіомовного пристрою.

Актуальність теми полягає у розробці компактної системи, яка поєднує можливості приймання інтернет-аудіопотоку, цифрової обробки сигналу, локального відтворення звуку та передавання аудіосигналу у FM-діапазоні. Такий пристрій повинен мати зручний інтерфейс, автономне або напівавтономне живлення, стабільний аудіотракт і можливість подальшого вдосконалення програмної частини. Важливим є також створення друкованого вузла з раціональним розміщенням цифрових, аналогових і силових ділянок схеми, оскільки від цього залежить стабільність роботи, рівень завад і зручність налагодження.

У межах кваліфікаційної роботи розробляється система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем на базі мікроконтролера ESP32-S3. Вибір даного мікроконтролера є доцільним, оскільки він підтримує бездротовий зв'язок Wi-Fi, має достатню продуктивність для роботи з аудіопотоками та

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		8

дозволяє підключати периферійні вузли через цифрові інтерфейси. Для формування аналогового аудіосигналу використовується цифро-аналоговий перетворювач PCM5100A, після якого сигнал може подаватися на підсилювачі потужності та динамічні головки. Візуальна взаємодія з користувачем реалізується за допомогою TFT-дисплея з сенсорним керуванням.

Окреме значення у пристрої має вузол живлення. Система містить USB Type-C роз'єми, контролер заряджання акумулятора, стабілізатор напруги та вузол контролю електричних параметрів. Це дозволяє живити цифрову частину, дисплей, аудіотракт і допоміжні вузли від акумуляторного джерела або зовнішнього живлення. Наявність годинника реального часу розширює функціональні можливості пристрою і дозволяє використовувати часові дані в інтерфейсі або алгоритмах роботи.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем, яка забезпечує приймання аудіопотоку через Wi-Fi, формування аудіосигналу, його відтворення та можливість передавання у FM-діапазоні, а також створення конструкторської документації на друкований вузол пристрою.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати технічне завдання та визначити основні вимоги до системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем;
- розробити структурну схему пристрою та пояснити взаємодію його основних функціональних вузлів;
- виконати аналіз електричної принципової схеми та описати роботу мікроконтролерного, аудіо-, живильного та інтерфейсного вузлів;
- обґрунтувати вибір основних електронних компонентів, зокрема ESP32-S3, TFT-дисплея, PCM5100A, підсилювачів звуку, вузлів живлення та контролю параметрів;
- виконати компоновання друкованого вузла з урахуванням особливостей цифрових, аналогових і силових кіл;

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		9

– розробити друковану плату у середовищі Altium Designer та провести перевірку проєктних рішень;

– розглянути питання безпеки життєдіяльності та охорони праці під час монтажу, налагодження й експлуатації пристрою.

Об’єктом розробки є процес приймання, обробки, відтворення та локального передавання аудіосигналу в системі інтернет-радіомовлення.

Предметом розробки є мікроконтролерна система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем, побудована на базі ESP32-S3, з аудіотрактом, дисплеєм, акумуляторним живленням та друкованим вузлом.

Під час виконання роботи використовуються методи схемотехнічного аналізу, конструктивного проєктування друкованих плат, вибору компонентної бази та комп’ютерного моделювання друкованого вузла у середовищі Altium Designer. Практичним результатом роботи є комплект технічних рішень і конструкторської документації, які можуть бути використані для виготовлення, перевірки та подальшого вдосконалення системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		10

1 Основна частина

1.1 Аналіз технічного завдання

Основні технічні характеристики системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем

Центральний контролер.....	ESP32-S3-WROOM-1 N16R8
Тип бездротового зв'язку.....	Wi-Fi
Тип індикації.....	TFT-дисплей ILI9341 з сенсорним керуванням
Аудіоінтерфейс.....	I2S
Цифро-аналоговий перетворювач.....	PCM5100A
Підсилювачі звукової частоти.....	NS4150B
Кількість аудіоканалів.....	2
Тип акустичного навантаження.....	динамічні головки 8 Ом
Інтерфейс програмування та налагодження.....	USB-UART, CH340
Тип роз'єму живлення та підключення.....	USB Type-C
Тип основного джерела живлення.....	Li-ion акумулятор 3,7 В
Тип резервного живлення годинника.....	CR2032
Стабілізована напруга живлення цифрових вузлів.....	3,3 В
Контроль параметрів живлення.....	INA226
Годинник реального часу.....	DS3231

Технічне завдання на розробку системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем передбачає створення радіоелектронного пристрою, який забезпечує приймання аудіопотоку через бездротову мережу Wi-Fi, його обробку, формування звукового сигналу та подальше відтворення через акустичну систему. Додатково в пристрої передбачена можливість передавання сформованого аудіосигналу у FM-діапазоні за допомогою окремого передавального вузла.

З технічного завдання також випливає, що пристрій повинен бути зручним у користуванні та придатним для автономної роботи. Для цього

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

доцільно передбачити TFT-дисплей, сенсорне керування, USB Type-C підключення, акумуляторне живлення та контроль параметрів живлення. Окрему увагу потрібно приділити якості аудіотракту, оскільки пристрій працює саме зі звуковим сигналом. Тому в схемі доцільно використовувати зовнішній цифро-аналоговий перетворювач і окремі підсилювачі звукової частоти.

Основним вузлом пристрою є мікроконтролер ESP32-S3-WROOM-1 N16R8. Він приймає дані через Wi-Fi, керує дисплеєм, працює з периферійними мікросхемами та передає цифровий аудіосигнал на аудіотракт. Використання мікроконтролера з вбудованим Wi-Fi спрощує схему, оскільки не потрібно встановлювати окремий бездротовий модуль.

Для відображення інформації використовується кольоровий TFT-дисплей із сенсорним керуванням. На ньому можуть відображатися режим роботи пристрою, стан радіостанції, рівень гучності, час, параметри живлення та службові повідомлення. Сенсорне керування дає змогу зробити інтерфейс зручнішим і зменшити кількість механічних кнопок.

Аудіотракт пристрою побудований за цифровим принципом. Мікроконтролер передає цифровий аудіосигнал через інтерфейс I2S на цифро-аналоговий перетворювач PCM5100A. Після цього аналоговий сигнал подається на підсилювачі звукової частоти NS4150B, які працюють із двома динамічними головками. Такий варіант дає кращу якість звуку, ніж використання простого ШІМ-виходу мікроконтролера.

FM-передавальний вузол використовується як додатковий вихід системи. Він отримує вже сформований аудіосигнал і передає його у FM-діапазоні. Завдяки цьому пристрій можна використовувати не тільки як інтернет-радіоприймач із власними динаміками, але і як невелике джерело FM-сигналу для приймання на звичайних FM-приймачах у межах обмеженої зони.

Живлення пристрою виконується від Li-ion акумулятора з номінальною напругою 3,7 В. Для заряджання акумулятора передбачено окремий зарядний

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		12

вузол, а для живлення цифрової частини формується стабілізована напруга 3,3 В. Це потрібно для стабільної роботи мікроконтролера, дисплея, годинника реального часу, вимірювального вузла та інших мікросхем.

Для контролю параметрів живлення використовується мікросхема INA226. Вона дозволяє контролювати напругу, струм і споживану потужність пристрою. Це корисно під час налагодження, оскільки можна оцінити навантаження на акумулятор і перевірити роботу окремих вузлів.

У схемі також передбачено годинник реального часу DS3231. Він потрібен для збереження поточного часу навіть після вимкнення основного живлення. Час може відображатися на дисплеї, а в подальшому цей вузол можна використати для додаткових службових функцій.

Для програмування та налагодження пристрою використовується USB-UART інтерфейс на мікросхемі CH340. Через нього виконується підключення до комп'ютера, завантаження програмного забезпечення та перевірка роботи системи. Використання USB Type-C робить підключення зручнішим і сучаснішим.

Конструктивно пристрій виконується у вигляді друкованого вузла, на якому розміщуються основні електронні компоненти. Під час компонування потрібно розділити цифрову частину, вузол живлення, аудіотракт, USB-інтерфейс, дисплейне підключення та зовнішні з'єднання. Особливу увагу слід приділити аудіолініям, силовим провідникам, фільтрувальним конденсаторам і зручному розташуванню роз'ємів.

Перед вибором остаточної структури пристрою було розглянуто декілька аналогів. Повністю однакового готового пристрою знайти складно, тому для порівняння взято вироби, які виконують окремі схожі функції: інтернет-радіоприймачі, автомобільний FM-передавач і окремий малопотужний FM-передавач.

Першим аналогом можна розглянути інтернет-радіоприймач Sangean WFR-28BT. Це готовий побутовий пристрій для приймання інтернет-радіо,

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		13

DAB+/FM-RDS, Bluetooth та USB-відтворення. Він має дисплей і призначений для зручного прослуховування радіостанцій. Його недолік для даної роботи полягає в тому, що він працює саме як приймач і не передає власний аудіосигнал у FM-діапазоні.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд інтернет-радіоприймача Sangean WFR-28BT

Ще одним схожим пристроєм є Ocean Digital WR-336M. Він підтримує Wi-Fi інтернет-радіо, Bluetooth, USB-відтворення, FM-радіо та має кольоровий дисплей. Такий пристрій можна використовувати як готове домашнє інтернет-радіо, але він також не поєднує приймання інтернет-аудіо з передаванням сформованого сигналу у FM-діапазоні.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд інтернет-радіоприймача Ocean Digital WR-336M

До іншої групи належать автомобільні FM-передавачі, наприклад Nulaxy KM18. Такий пристрій передає звук на штатний FM-приймач автомобіля, має

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		14

Bluetooth-з'єднання та LCD-дисплей. Його зручно використовувати в автомобілі, але він не приймає інтернет-радіо через Wi-Fi самостійно, не має власних динаміків і працює від автомобільної мережі.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд автомобільного FM-передача Nulaxy KM18

Також можна розглянути малопотужний FM-передач Reteless TR508. Він призначений для локального передавання аудіосигналу у FM-діапазоні та має входи для підключення зовнішнього джерела звуку. Проте такий пристрій не є інтернет-радіоприймачем. Він не може самостійно приймати аудіопотік через Wi-Fi, обробляти його і відтворювати через власну акустичну систему.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд малопотужного FM-передача Reteless TR508

Порівняння розглянутих аналогів із розроблюваною системою наведено в таблиці 1.1.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		15

Таблиця 1.1 – Порівняння розроблюваної системи з аналогами

Характеристика	Sangean WFR-28BT	Ocean Digital WR-336M	Nulaxy KM18	Retekess TR508	Розроблювана система
Приймання інтернет-радіо через Wi-Fi	так	так	ні	ні	так
Відтворення звуку через власні динаміки	так	так	ні	ні	так
Передавання аудіосигналу у FM-діапазоні	ні	ні	так	так	так
Робота як самостійний інтернет-радіоприймач	так	так	ні	ні	так
Наявність дисплея	так	так	так	так	так
Сенсорне керування	ні	ні	ні	ні	передбачене
Акумуляторне живлення	залежить від виконання	переважно зовнішнє	від автомобільної мережі	зовнішнє	передбачене
Контроль напруги, струму та потужності	обмежений	обмежений	обмежений	не передбачений	передбачений через INA226
Поєднання Wi-Fi-приймання і FM-передавання	ні	ні	ні	ні	так
Можливість подальшого розширення функцій	обмежена	обмежена	обмежена	обмежена	можлива завдяки ESP32-S3

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ТДО 2.000.001 ПЗ

Арк.

16

Перевага розроблюваної системи полягає в тому, що вона об'єднує ці можливості в одному пристрої. Вона може самостійно приймати аудіопотік через Wi-Fi, обробляти його мікроконтролером, відтворювати через власні динаміки та передавати сигнал у FM-діапазоні. Крім того, у пристрої передбачено акумуляторне живлення, дисплей, сенсорне керування і контроль параметрів живлення. За рахунок мікроконтролера ESP32-S3 систему можна надалі розширювати програмним способом.

1.2 Аналіз структурної схеми пристрою

Структурна схема системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем розроблена для відображення загальної будови пристрою та взаємодії його основних функціональних вузлів. На відміну від електричної принципової схеми, вона не показує окремі резистори, конденсатори, діоди та інші елементи обв'язки, а подає пристрій у вигляді укрупнених блоків. Такий підхід дозволяє простіше зрозуміти, як проходить інформаційний та аудіосигнал, які вузли беруть участь у керуванні системою і як організовано живлення пристрою.

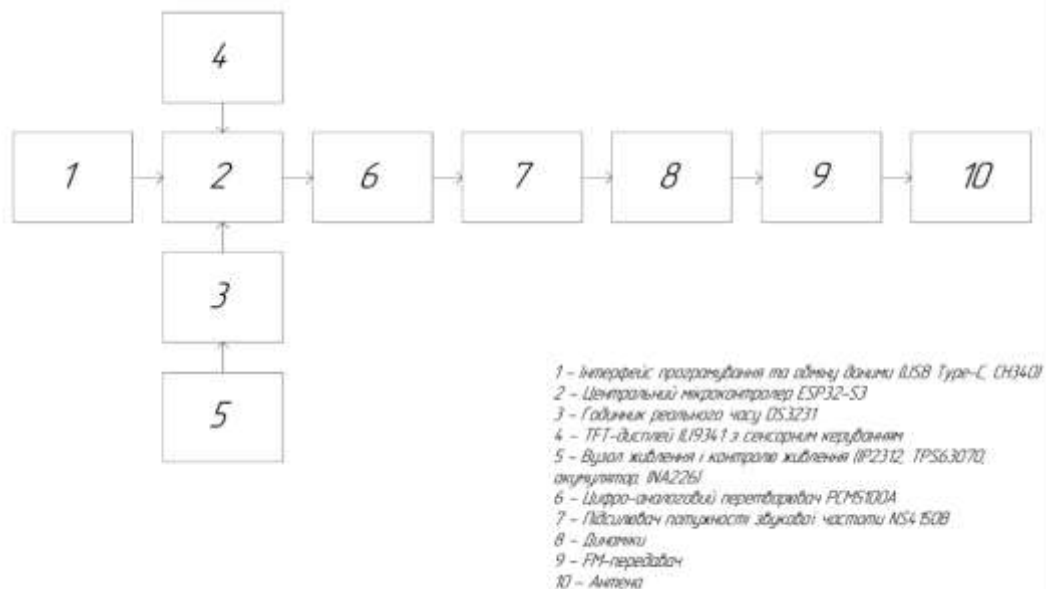


Рисунок 1.5 – Структурна схема системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем

До складу структурної схеми входять такі основні блоки:

- 1 – інтерфейс програмування та обміну даними USB Type-C, CH340;
- 2 – центральний мікроконтролер ESP32-S3;
- 3 – годинник реального часу DS3231;
- 4 – TFT-дисплей ILI9341 з сенсорним керуванням;
- 5 – вузол живлення і контролю живлення IP2312, TPS63070, акумулятор, INA226;
- 6 – цифро-аналоговий перетворювач PCM5100A;
- 7 – підсилювач потужності звукової частоти NS4150B;
- 8 – динаміки;
- 9 – FM-передавач;
- 10 – антена.

Центральним елементом системи є мікроконтролер ESP32-S3. Він виконує роль основного керуючого блока, який координує роботу всіх інших вузлів. Через вбудований Wi-Fi мікроконтролер приймає аудіопотік інтернет-радіостанції, обробляє отримані дані, формує цифровий аудіосигнал і передає його далі на аудіотракт. Крім цього, ESP32-S3 керує дисплеєм, обмінюється даними з годинником реального часу, контролює службові сигнали та забезпечує роботу інтерфейсу користувача.

Блок 1 призначений для програмування, налагодження та обміну даними з комп'ютером. Він побудований на основі роз'єму USB Type-C та мікросхеми CH340, яка виконує перетворення інтерфейсу USB у UART. Через цей вузол можна завантажувати програмне забезпечення у мікроконтролер, виконувати діагностику пристрою та контролювати його роботу під час налагодження. Наявність USB Type-C робить підключення зручнішим і більш сучасним порівняно зі старими типами роз'ємів.

Блок 3, виконаний на мікросхемі DS3231, забезпечує відлік реального часу. Його дані можуть використовуватись для відображення часу на дисплеї, ведення службової інформації або реалізації додаткових режимів роботи.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		18

Перевагою цього вузла є наявність резервного живлення, завдяки чому годинник може зберігати час навіть при вимкненні основного живлення пристрою.

Для взаємодії з користувачем у структурній схемі передбачено блок 4 — TFT-дисплей ІІІ9341 з сенсорним керуванням. Дисплей використовується для виведення інформації про стан системи, вибрану радіостанцію, рівень гучності, параметри живлення, час та інші службові дані. Сенсорне керування дозволяє реалізувати меню пристрою без великої кількості механічних кнопок, що спрощує конструкцію і робить керування більш зручним.

Блок 5 відповідає за живлення та контроль енергетичних параметрів системи. До його складу входять акумулятор, контролер заряджання ІР2312, стабілізатор ТРS63070 та мікросхема ІNА226. Акумулятор забезпечує автономну роботу пристрою, контролер заряджання відповідає за правильний режим заряду, а стабілізатор формує напругу, необхідну для живлення цифрових та аналогових вузлів. ІNА226 використовується для контролю напруги, струму і споживаної потужності. Це важливо для пристрою з акумуляторним живленням, оскільки дозволяє оцінювати стан живлення та навантаження під час роботи.

Після обробки аудіопотоку мікроконтролер передає цифровий аудіосигнал на блок 6 — цифро-аналоговий перетворювач РСМ5100А. Передавання сигналу здійснюється через цифровий аудіоінтерфейс І2S. Використання окремого аудіоперетворювача є доцільним, оскільки він забезпечує якісніше формування аналогового звукового сигналу, ніж прості виходи мікроконтролера.

З виходу РСМ5100А аналоговий аудіосигнал надходить до блока 7 — підсилювача потужності звукової частоти. У пристрої використовується підсилювач NS4150В, який забезпечує підсилення аудіосигналу до рівня, достатнього для роботи динамічних головок. Після підсилення сигнал

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		19

подається на блок 8 — динаміки, через які здійснюється локальне відтворення інтернет-радіо.

Окремим вихідним вузлом системи є блок 9 — FM-передавач. Він призначений для передавання сформованого аудіосигналу у FM-діапазоні. Завдяки цьому пристрій може працювати не лише як інтернет-радіоприймач із власними динаміками, але й як джерело сигналу для звичайних FM-приймачів. На структурній схемі FM-передавач показано після аудіотракту, оскільки він використовує вже сформований звуковий сигнал. Блок 10 — антена — забезпечує випромінювання радіосигналу в простір.

У процесі роботи пристрій функціонує таким чином. Після подачі живлення вузол живлення формує необхідні напруги для мікроконтролера, дисплея, аудіоперетворювача та інших частин схеми. Мікроконтролер ESP32-S3 ініціалізує периферійні пристрої, встановлює з'єднання з Wi-Fi мережею та приймає аудіопотік інтернет-радіостанції. Паралельно він обмінюється даними з дисплеєм, годинником реального часу та вузлом контролю живлення. Після обробки аудіоданих цифровий сигнал передається на PCM5100A, перетворюється в аналоговий сигнал і надходить на підсилювачі звукової частоти. Далі звук відтворюється через динаміки або може бути переданий на FM-передавач для подальшого випромінювання через антену.

Розроблена структурна схема показує, що пристрій має модульну будову. Кожен вузол виконує окрему функцію, але всі блоки пов'язані між собою через центральний мікроконтролер та спільну систему живлення. Такий принцип побудови спрощує аналіз роботи пристрою, полегшує налагодження окремих частин схеми та дозволяє в майбутньому модернізувати систему, наприклад змінити аудіовихід, розширити інтерфейс керування або додати інші режими роботи FM-передавача.

1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		20

1.3.1 Опис електричної принципової схеми

Електрична принципова схема системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем відображає повний склад електронних вузлів пристрою та електричні зв'язки між ними. На схемі показано мікроконтролерний блок, вузол програмування, дисплейний модуль, вузол живлення, контролер параметрів живлення, годинник реального часу, аудіоперетворювач, підсилювачі звукової частоти та вихідні елементи аудіотракту.

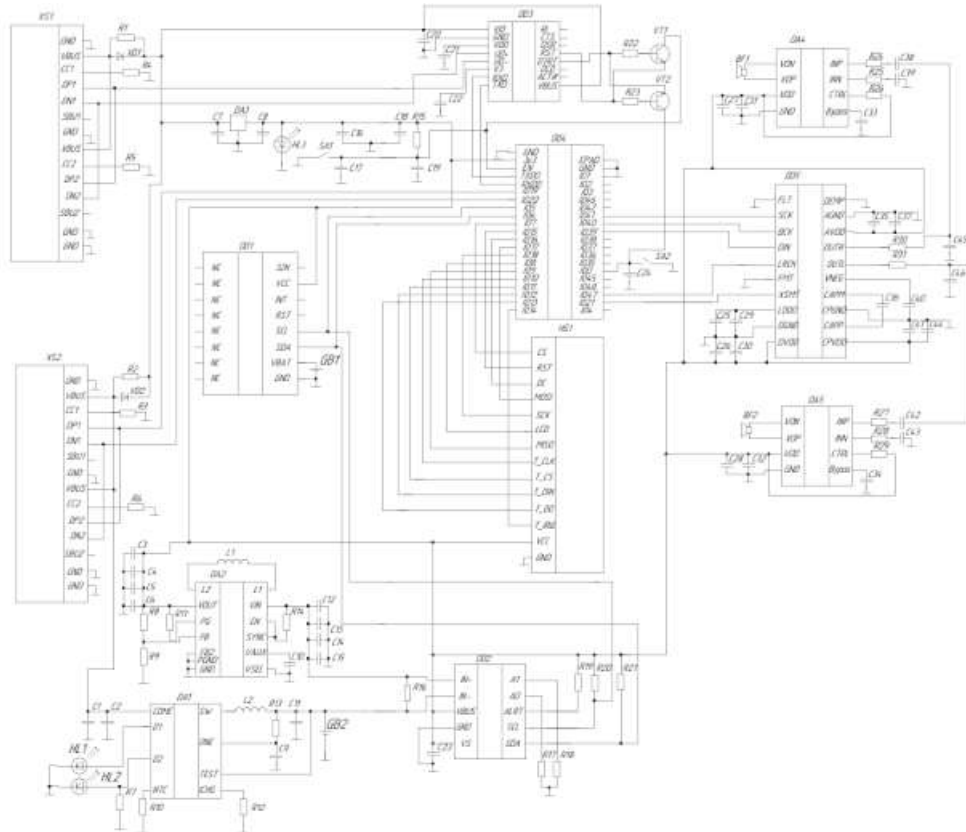


Рисунок 1.6 – Схема електрична принципова системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем

Основним елементом пристрою є мікроконтролер DD4 ESP32-S3-WROOM-1 N16R8. Він виконує функції центрального керуючого вузла: приймає аудіопотік через Wi-Fi, обробляє отримані дані, керує дисплеєм, взаємодіє з периферійними мікросхемами та формує цифровий аудіосигнал для подальшого перетворення. Використання ESP32-S3 є доцільним для такого пристрою, оскільки в одному модулі поєднано мікроконтролерну

частину, бездротовий зв'язок і достатню кількість ліній вводу-виводу для підключення зовнішніх вузлів.

Для програмування та налагодження пристрою в схемі використовується USB-UART перетворювач DD3 CH340. Він забезпечує обмін даними між комп'ютером і мікроконтролером через USB-інтерфейс. Підключення до комп'ютера здійснюється через роз'єм USB Type-C. Через цей вузол можна завантажувати програму в ESP32-S3, переглядати службові повідомлення під час налагодження та виконувати первинну перевірку роботи системи. У колах USB передбачені резистори та захисні елементи, які забезпечують правильне узгодження ліній і зменшують ризик пошкодження інтерфейсу.

Вузол індикації реалізований на базі TFT-дисплея HG1 ILI9341 з сенсорним керуванням. Дисплей підключений до мікроконтролера через цифрові сигнальні лінії та використовується для виведення інформації про стан пристрою. На ньому можуть відображатися вибрана інтернет-радіостанція, режим роботи, рівень гучності, параметри живлення, час та інші службові дані. Сенсорна частина дисплея дає можливість реалізувати керування без великої кількості окремих кнопок, що спрощує конструкцію передньої панелі пристрою.

Годинник реального часу виконаний на мікросхемі DD1 DS3231. Даний вузол підключений до мікроконтролера через шину I2C і забезпечує збереження поточного часу. Для резервного живлення годинника використовується елемент GB2 типу CR2032, завдяки чому час не скидається при вимкненні основного живлення. Наявність RTC корисна для відображення часу на дисплеї, ведення службових даних або реалізації додаткових режимів роботи пристрою.

Вузол контролю параметрів живлення побудований на мікросхемі DD2 INA226. Вона призначена для вимірювання напруги, струму та споживаної потужності. У схемі цей вузол використовується для контролю стану акумуляторного живлення та навантаження пристрою. Дані з INA226

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		22

передаються до ESP32-S3, після чого можуть бути використані програмою для індикації стану живлення або для контролю роботи системи під час налагодження.

Живлення пристрою організоване від Li-ion акумулятора GB1 та зовнішнього джерела через роз'єм USB Type-C. Заряджання акумулятора виконується за допомогою мікросхеми DA1 IP2312. Цей вузол забезпечує правильний режим заряджання акумулятора та узгоджує роботу зовнішнього живлення з акумуляторною частиною. У схемі також передбачені світлодіодні індикатори HL1, HL2, які можуть використовуватися для відображення стану заряджання або наявності живлення.

Стабілізація напруги для основних вузлів пристрою виконується за допомогою перетворювача DA2 TPS63070. Він формує стабілізовану напругу, необхідну для роботи мікроконтролера, дисплея, цифрових мікросхем та інших вузлів. У колах стабілізатора встановлені індуктивні елементи, резистори зворотного зв'язку та фільтрувальні конденсатори. Вони потрібні для стабільної роботи перетворювача, зменшення пульсацій і підтримання необхідного рівня напруги при зміні навантаження.

Додатковий стабілізатор DA3 CJ6107A33GW використовується для формування стабілізованої напруги 3,3 В. Такий рівень живлення необхідний для більшості цифрових вузлів системи, зокрема ESP32-S3, периферійних мікросхем і сигнальних інтерфейсів. Конденсатори, підключені біля входу та виходу стабілізатора, виконують функцію фільтрації та запобігають нестабільній роботі схеми при короткочасних змінах споживаного струму.

Аудіотракт пристрою побудований на базі цифро-аналогового перетворювача DD5 PCM5100A. Мікроконтролер передає на нього цифровий аудіосигнал через інтерфейс I2S. Перетворювач формує аналогові сигнали лівого та правого каналів, які далі подаються на підсилювачі звукової частоти. Використання окремого аудіоперетворювача дозволяє отримати якісніший аналоговий сигнал порівняно з формуванням звуку безпосередньо засобами

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		23

мікроконтролера.

Підсилення звукового сигналу здійснюється мікросхемами DA4 та DA5 NS4150B. Кожна з них працює з окремим аудіоканалом і забезпечує підсилення сигналу до рівня, достатнього для роботи динамічних головок. На входах і виходах підсилювачів встановлені конденсатори та резистори, які задають режими роботи, фільтрують завади та забезпечують стабільність аудіотракту. Вихідний сигнал подається на динамічні головки BA1 і BA2, через які здійснюється локальне відтворення інтернет-радіо.

У пристрої також передбачені кнопки SA1 і SA2, які можуть використовуватися для ручного керування, скидання або вибору окремих режимів роботи. Світлодіод HL3 виконує функцію додаткової індикації стану пристрою. Транзистори VT1 і VT2 у схемі використовуються як керуючі елементи для допоміжних ліній або навантажень, оскільки безпосередньо навантажувати виходи мікроконтролера підвищеним струмом недоцільно.

FM-передавач у даній системі розглядається як окремий функціональний вихідний вузол, який отримує сформований аудіосигнал і забезпечує його передавання у FM-діапазоні. У структурі пристрою він пов'язаний з аудіотрактом після формування аналогового сигналу. Такий підхід дозволяє використовувати розроблювану систему не тільки як інтернет-радіоприймач із власними динаміками, але і як локальне джерело FM-сигналу для приймання на зовнішні радіоприймачі.

Пасивні елементи схеми виконують допоміжні, але важливі функції. Резистори застосовуються для обмеження струму, формування подільників напруги, підтягування сигнальних ліній і задання режимів роботи мікросхем. Конденсатори використовуються для фільтрації живлення, розв'язки між каскадами, зменшення пульсацій та пригнічення високочастотних завад. Діоди VD1 і VD2 виконують захисні або розв'язувальні функції у колах живлення.

У цілому електрична принципова схема побудована за модульним принципом. Центральний мікроконтролер об'єднує дисплей, годинник

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		24

реального часу, вузол контролю живлення, USB-UART інтерфейс та аудіотракт. Вузол живлення забезпечує необхідні напруги для цифрової та аналогової частини, а аудіотракт виконує перетворення і підсилення сигналу. Така структура є зручною для налагодження, оскільки окремі вузли можна перевіряти послідовно: спочатку живлення, потім програмування мікроконтролера, роботу дисплея, контроль параметрів живлення і лише після цього аудіовихід та FM-передавання.

1.3.2 Розрахунок вузла схеми електричної принципової

У системі інтернет-радіомовлення з FM-передачем передбачено вузол контролю параметрів живлення на мікросхемі INA226. Даний вузол використовується для вимірювання напруги, струму та споживаної потужності пристрою. Для визначення струму INA226 вимірює падіння напруги на шунтовому резисторі, встановленому послідовно у колі живлення. За цим падінням напруги мікроконтролер може розраховувати поточний струм споживання системи та відображати відповідну інформацію на дисплеї.

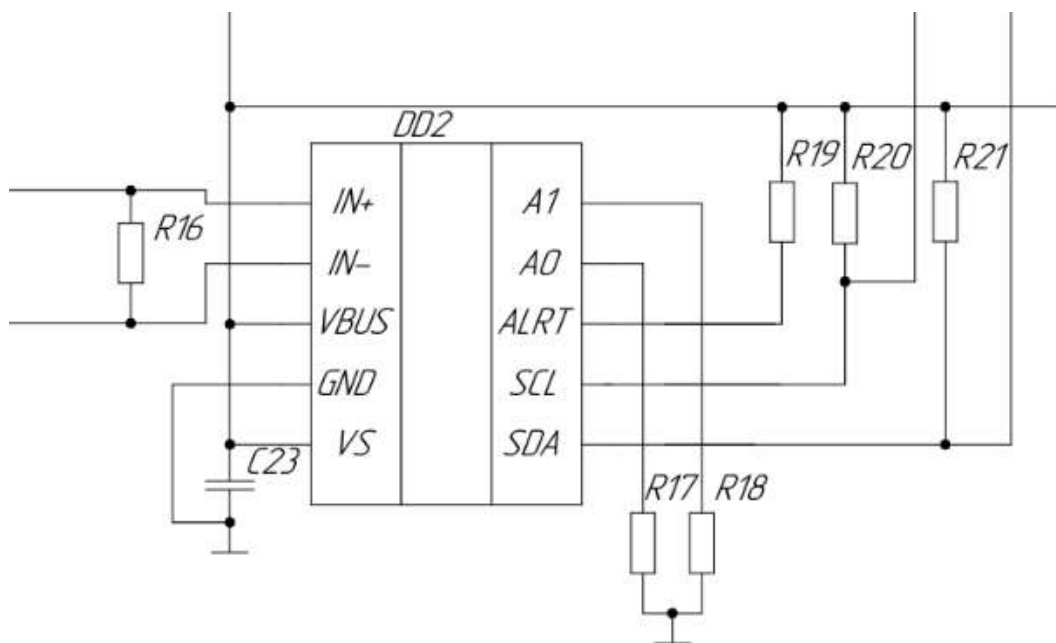


Рисунок 1.7 – Вигляд стабілізатора в схемі електричній принциповій

Розрахунок шунтового резистора виконується для перевірки правильності вибору його опору та допустимої потужності розсіювання. Шунт повинен мати достатньо малий опір, щоб не створювати помітного падіння напруги у колі живлення, але при цьому напруга на ньому має бути достатньою для вимірювання мікросхемою INA226.

Максимальний струм споживання пристрою приймаємо:

$$I_{max} = 3 \text{ A.}$$

Таке значення вибрано з урахуванням роботи мікроконтролера ESP32-S3, TFT-дисплея з підсвіткою, аудіоперетворювача, підсилювачів звукової частоти, вузла живлення та можливого підключення FM-передавача. Опір шунтового резистора приймаємо 0,01 Ом.

Падіння напруги на шунтовому резисторі визначається за формулою:

$$U_{ш} = I_{max} \cdot R_{ш}, \quad (1.1)$$

$$U_{ш} = 3 \cdot 0,01 = 0,03 \text{ В.}$$

де, $U_{ш}$ – падіння напруги на шунтовому резисторі, В;

I_{max} – максимальний струм споживання пристрою, А;

$R_{ш}$ – опір шунтового резистора, Ом.

Отже, при максимальному струмі 3 А падіння напруги на шунтовому резисторі становить 0,03 В, або 30 мВ. Таке значення є невеликим і не створює суттєвого зниження напруги живлення пристрою.

Для оцінки впливу шунта на коло живлення визначимо відносне падіння напруги відносно номінальної напруги акумулятора 3,7 В:

$$\delta_U = \frac{U_{ш}}{U_{ак}} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

$$\delta_U = \frac{0,03}{3,7} \cdot 100 = 0,81\%.$$

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		26

де, δU – відносне падіння напруги на шунті, %;

$U_{ак}$ – номінальна напруга акумулятора, В.

Отримане значення менше 1 %, тому вплив шунтового резистора на роботу вузла живлення можна вважати незначним.

Потужність, яка розсіюється на шунтовому резисторі, визначається за формулою:

$$P_{ш} = I_{max}^2 \cdot R_{ш}, \quad (1.3)$$

$$P_{ш} = 3^2 \cdot 0,01 = 0,09 \text{ Вт.}$$

Отже, при максимальному струмі споживання 3 А на шунтовому резисторі розсіюється потужність 0,09 Вт. Для надійної роботи елемент потрібно вибирати із запасом за потужністю. Приймаємо коефіцієнт запасу 2.

Мінімальна допустима потужність шунтового резистора з урахуванням запасу становить:

$$P_{ном} > k_з \cdot R_{ш}, \quad (1.4)$$

$$P_{ном} > 2 \cdot 0,09 = 0,18 \text{ Вт.}$$

За результатами розрахунку для вузла контролю струму доцільно використати шунтовий резистор опором 0,01 Ом з допустимою потужністю розсіювання не менше 0,25 Вт. Такий резистор забезпечує мале падіння напруги у колі живлення та має достатній запас за потужністю.

Струм споживання пристрою через виміряну напругу на шунті визначається за формулою:

$$\delta U = \frac{U_{ш}}{R_{ш}} = \frac{0,02}{0,01} = 2 \text{ А}, \quad (1.5)$$

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		27

Таким чином, вибраний шунтовий резистор дозволяє контролювати струм споживання системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем без помітного впливу на напругу живлення. Розрахована потужність розсіювання підтверджує, що застосування резистора 0,01 Ом з номінальною потужністю не менше 0,25 Вт є достатнім для нормальної роботи вузла контролю живлення.

1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

1.4.1 Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера

Під час розробки системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем основну увагу потрібно приділити не тільки вибору окремих електронних компонентів, але й узгодженню їх роботи в одному пристрої. У схемі поєднуються цифрові інтерфейси, бездротовий зв'язок, аудіотракт, сенсорний дисплей, акумуляторне живлення та контроль параметрів живлення. Тому центральний мікроконтролер повинен мати достатню продуктивність, підтримувати необхідні інтерфейси та забезпечувати стабільну роботу декількох вузлів одночасно.

Як основний керуючий елемент у пристрої використовується мікроконтролерний модуль ESP32-S3-WROOM-1 N16R8. Він виконує роль ядра системи, оскільки саме через нього проходить керування більшістю функцій пристрою. Мікроконтролер приймає аудіопотік через Wi-Fi, обробляє мережеві дані, формує цифровий аудіосигнал, передає його на цифро-аналоговий перетворювач PCM5100A, керує TFT-дисплеєм ILI9341, обмінюється даними з годинником реального часу DS3231 та вузлом контролю живлення INA226.

Вибір ESP32-S3 є доцільним для даного пристрою, оскільки він має вбудований Wi-Fi, достатній обсяг пам'яті, високу швидкодію та підтримує цифрові інтерфейси, необхідні для роботи аудіотракту і периферії. Наявність

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		28

інтерфейсу I2S дозволяє передавати цифровий аудіосигнал на зовнішній цифро-аналоговий перетворювач без використання програмного формування аналогового сигналу. Це позитивно впливає на якість звуку та зменшує навантаження на програмну частину.

У процесі роботи мікроконтролер виконує декілька основних задач. Першою задачею є ініціалізація апаратних вузлів після подачі живлення. До таких вузлів належать дисплей, сенсорне керування, інтерфейс I2C, аудіоінтерфейс I2S, годинник реального часу, вузол контролю живлення та Wi-Fi-модуль. Другою задачею є встановлення бездротового з'єднання з мережею та отримання аудіопотоку. Третьою задачею є обробка аудіоданих і передавання їх на PCM5100A. Паралельно з цим мікроконтролер оновлює інформацію на дисплеї, реагує на дії користувача та контролює стан живлення.

Після увімкнення пристрою програма мікроконтролера починається з початкової ініціалізації. Перевіряється стабільність живлення, запускаються основні інтерфейси та налаштовуються виводи, які використовуються для роботи дисплея, аудіоперетворювача і периферійних мікросхем. Далі на дисплеї може виводитися стартова інформація або початковий екран системи.

Наступним етапом є підключення до Wi-Fi мережі. Якщо з'єднання встановлено успішно, мікроконтролер переходить до вибору або запуску інтернет-радіостанції. Якщо підключення не виконалося, на дисплеї відображається повідомлення про помилку або пропонується повторна спроба підключення. Такий підхід дозволяє користувачу бачити поточний стан пристрою і не сприймати відсутність звуку як несправність схеми.

Після встановлення з'єднання з мережею ESP32-S3 приймає аудіопотік інтернет-радіостанції. Отримані дані обробляються програмою мікроконтролера і передаються через інтерфейс I2S на цифро-аналоговий перетворювач PCM5100A. Далі аналоговий сигнал надходить на підсилювачі звукової частоти та динамічні головки. Якщо використовується FM-передавач, сформований аудіосигнал також може подаватися на відповідний

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		29

передавальний вузол.

Під час відтворення мікроконтролер постійно обробляє дії користувача. Через сенсорний дисплей можна змінювати режим роботи, перемикає радіостанцію, регулювати гучність або переглядати службову інформацію. Одночасно з цим мікроконтролер періодично зчитує дані з INA226, що дозволяє контролювати напругу, струм і споживану потужність. Інформація про стан живлення може виводитися на екран, що особливо корисно при роботі пристроєм від акумулятора.

Годинник реального часу DS3231 використовується для збереження та відображення поточного часу. Мікроконтролер зчитує дані з RTC через шину I2C і може використовувати їх в інтерфейсі користувача або в додаткових програмних функціях. Наявність резервного живлення годинника дозволяє зберігати час після вимкнення основного живлення.

Алгоритм роботи мікроконтролера можна подати у вигляді такої послідовності:

1. Початок роботи програми.
2. Ініціалізація мікроконтролера ESP32-S3 та його виводів.
3. Ініціалізація дисплея ILI9341 і сенсорного керування.
4. Запуск інтерфейсів I2C та I2S.
5. Ініціалізація годинника реального часу DS3231.
6. Ініціалізація вузла контролю живлення INA226.
7. Перевірка наявності живлення та стану основних вузлів.
8. Підключення до Wi-Fi мережі.
9. Перевірка успішності підключення до мережі.
10. Вибір або запуск інтернет-радіостанції.
11. Приймання аудіопотоку через Wi-Fi.
12. Обробка аудіоданих мікроконтролером.
13. Передавання цифрового аудіосигналу через I2S на PCM5100A.
14. Відтворення аудіосигналу через підсилювачі та динаміки.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		30

15. За потреби передавання аудіосигналу на FM-передавач.
16. Оновлення інформації на TFT-дисплеї.
17. Зчитування дій користувача із сенсорного екрана.
18. Контроль напруги, струму та споживаної потужності.
19. Перевірка необхідності зміни станції, гучності або режиму роботи.
20. Повторення основного циклу роботи.

Узагальнено алгоритм роботи мікроконтролера має циклічний характер. Після початкового запуску та налаштування всіх вузлів ESP32-S3 переходить в основний робочий цикл. У цьому циклі він одночасно підтримує Wi-Fi-з'єднання, приймає аудіопотік, передає аудіодані на PCM5100A, оновлює інформацію на дисплеї, обробляє команди користувача та контролює параметри живлення. Така структура програми дає змогу забезпечити стабільну роботу пристрою без необхідності окремого керуючого модуля.

Розроблений алгоритм відповідає функціональній побудові пристрою. Він враховує наявність мережевого аудіопотоку, зовнішнього аудіоперетворювача, дисплея з сенсорним керуванням, акумуляторного живлення та можливість передавання сигналу на FM-передавач. Завдяки цьому мікроконтролер ESP32-S3 забезпечує повне керування системою інтернет-радіомовлення з FM-передавачем і узгоджену роботу всіх основних вузлів.

1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Під час розробки системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем було підібрано елементну базу, яка забезпечує роботу всіх основних вузлів пристрою: мікроконтролерного блока, вузла живлення, дисплея, аудіотракту, інтерфейсу програмування та допоміжних елементів індикації. При виборі компонентів враховувалися їх електричні параметри, габаритні розміри, тип корпусу, можливість монтажу на друковану плату та відповідність функціям пристрою.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		31

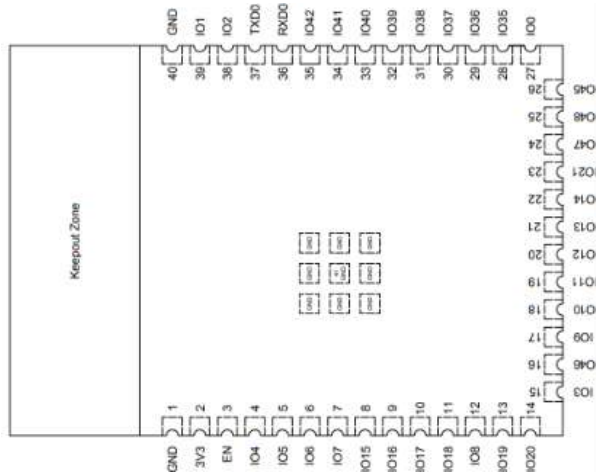


Рисунок 1.8 – Габаритні розміри модуля ESP32-S3-WROOM-1 N16R8

Основним керуючим елементом пристрою є модуль ESP32-S3-WROOM-1 N16R8. Він містить мікроконтролер ESP32-S3, вбудовані засоби бездротового зв'язку та пам'ять, необхідну для виконання програми пристрою. У схемі цей модуль позначений як DD4. Він забезпечує приймання аудіопотоку через Wi-Fi, обробку даних, керування дисплеєм, взаємодію з периферійними мікросхемами та передавання цифрового аудіосигналу на цифро-аналоговий перетворювач. Використання готового модуля спрощує розробку, оскільки антена, пам'ять та основні високочастотні вузли вже інтегровані в конструкцію.

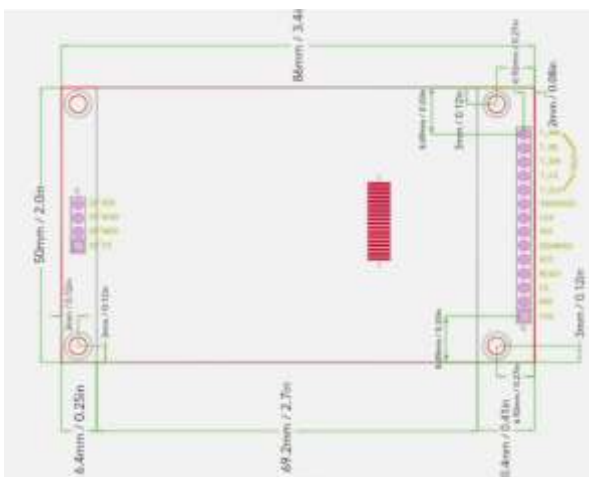


Рисунок 1.9 – Габаритні розміри TFT-дисплея ILI9341 240×320 LCD TOUCH 2.8"

Для відображення інформації у пристрої використовується TFT-дисплей ІЛ19341 з роздільною здатністю 240×320 пікселів і сенсорним керуванням. У схемі він позначений як НG1. Дисплей призначений для виведення основної інформації про роботу системи: стану підключення до Wi-Fi, вибраної радіостанції, рівня гучності, часу, параметрів живлення та службових повідомлень. Сенсорне керування дає змогу реалізувати меню пристрою без значної кількості механічних кнопок.

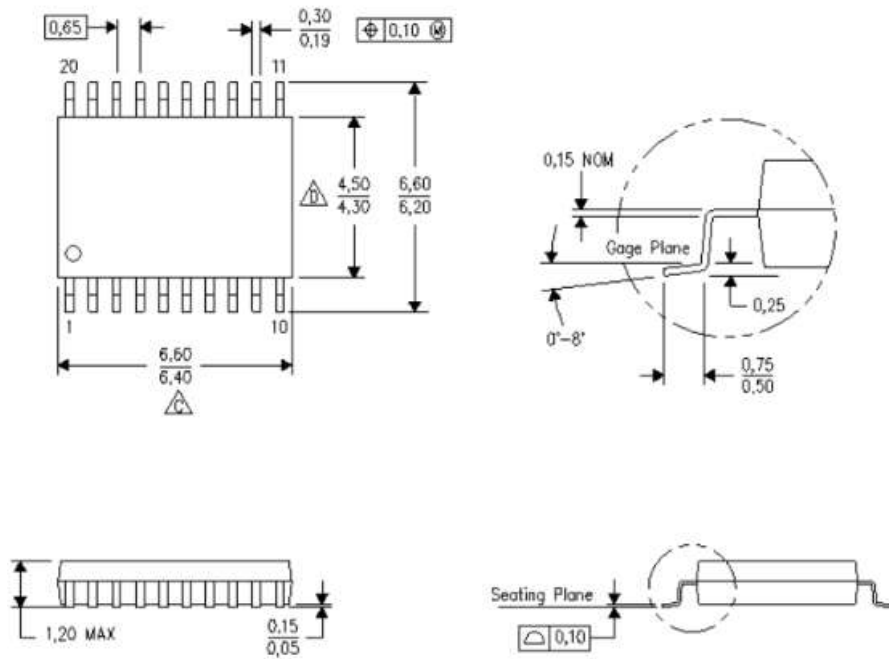


Рисунок 1.10 – Габаритні розміри цифро-аналогового перетворювача PCM5100A

Цифро-аналоговий перетворювач PCM5100A використовується для формування аналогового аудіосигналу з цифрового потоку, який надходить від мікроконтролера. У схемі він позначений як DD5. Передавання аудіоданих виконується через інтерфейс I2S. Застосування окремого аудіоперетворювача є доцільним, оскільки він забезпечує якісніше формування звукового сигналу, ніж просте програмне формування аудіо безпосередньо виходами мікроконтролера.

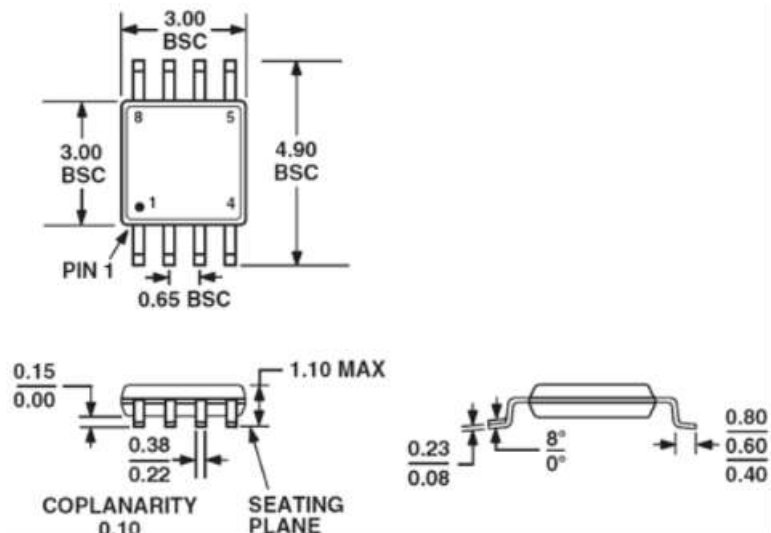


Рисунок 1.11 – Габаритні розміри підсилювача звукової частоти NS4150B

Для підсилення аудіосигналу в пристрої застосовано мікросхеми NS4150B, які на схемі позначені як DA4 і DA5. Кожна мікросхема працює з окремим каналом звуку та забезпечує підсилення сигналу до рівня, достатнього для роботи динамічних головок. Використання готових інтегральних підсилювачів спрощує аудіотракт, зменшує кількість дискретних елементів і дозволяє компактно розмістити підсилювальну частину на друкованій платі.



Рисунок 1.12 – Зовнішній вигляд динамічної головки 8 Ом 5Вт 99×45×21мм

У пристрої використовуються дві динамічні головки ВА1 і ВА2 з опором 8 Ом та потужністю 5 Вт. Вони призначені для локального відтворення аудіосигналу після підсилення. Наявність двох динаміків дозволяє реалізувати

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		34

стереофонічне звучання. Таке рішення робить пристрій самостійною системою інтернет-радіомовлення, яка може працювати без підключення зовнішньої акустики.

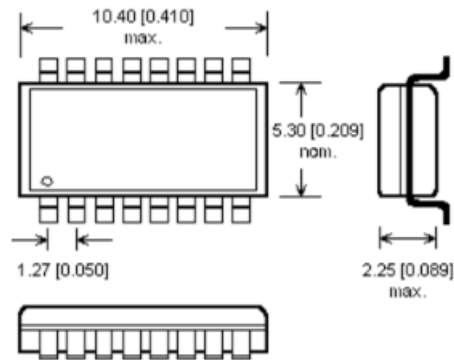


Рисунок 1.13 – Габаритні розміри USB-UART перетворювача CH340

Мікросхема CH340 використовується для організації інтерфейсу USB-UART. У схемі вона позначена як DD3. Через цей вузол здійснюється програмування мікроконтролера ESP32-S3, обмін даними з комп'ютером та налагодження пристрою. CH340 є поширеним рішенням для мікроконтролерних пристроїв, оскільки забезпечує просте підключення до USB-порту комп'ютера і підтримує стандартний послідовний інтерфейс.

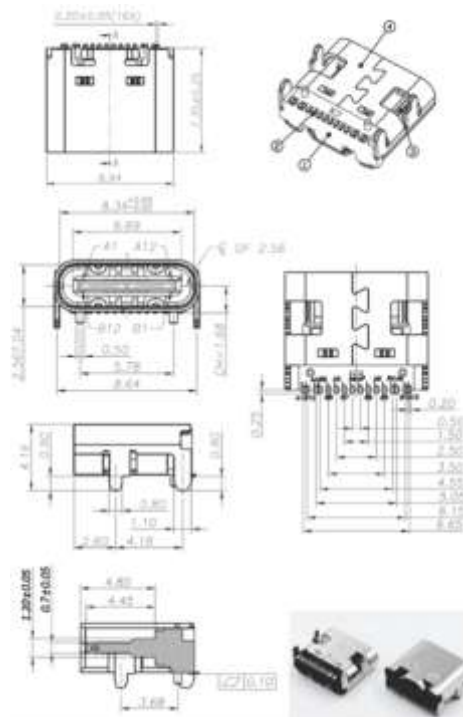


Рисунок 1.14 – Габаритні розміри роз'єма USB Type-C

У схемі застосовано два роз'єми USB Type-C, позначені як XS1 і XS2. Вони використовуються для підключення зовнішнього живлення, програмування та обміну даними. USB Type-C вибрано через компактні розміри, механічну зручність і поширеність у сучасній портативній електроніці. Такі роз'єми зручні в експлуатації, оскільки кабель можна підключати без орієнтації за положенням.



Рисунок 1.15 – Зовнішній вигляд годинника реального часу DS3231

Мікросхема DS3231, позначена у схемі як DD1, використовується як годинник реального часу. Вона забезпечує збереження та відлік поточного часу, який може відображатися на дисплеї або використовуватися в програмних режимах пристрою. Для резервного живлення годинника застосовується батарея CR2032, тому час зберігається навіть після вимкнення основного живлення.

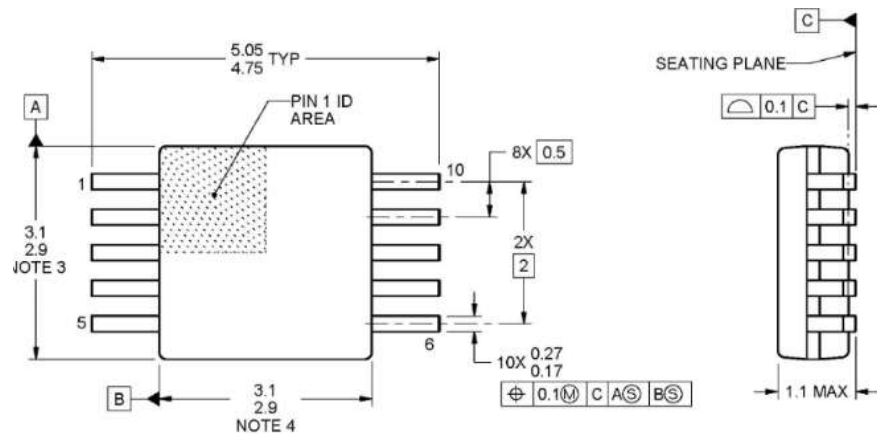


Рисунок 1.16 – Габаритні розміри мікросхеми INA226

Мікросхема INA226 використовується у вузлі контролю параметрів живлення. У схемі вона позначена як DD2. Цей елемент вимірює напругу, струм і споживану потужність пристрою. Для портативної системи з акумуляторним живленням такий вузол є корисним, оскільки дозволяє контролювати стан живлення, навантаження на акумулятор і роботу пристрою під час налагодження.

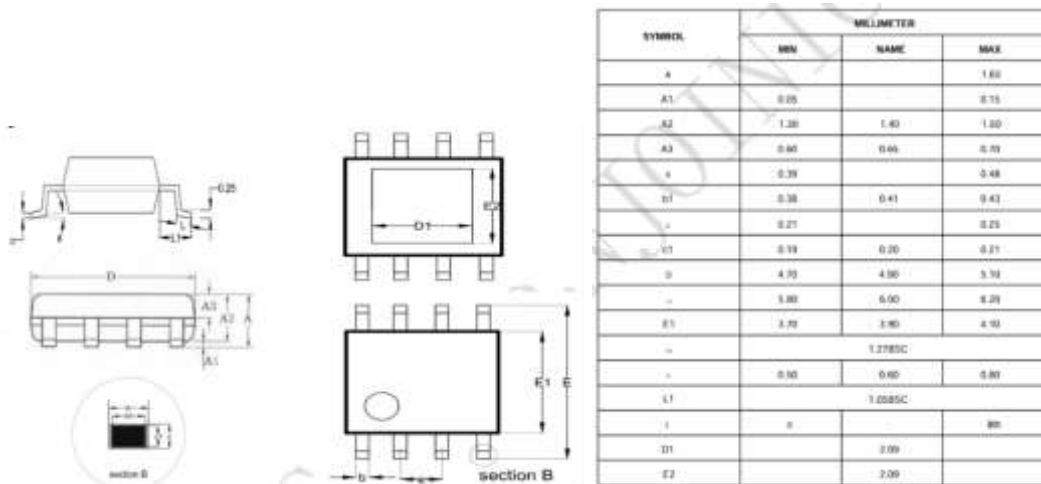


Рисунок 1.17 – Габаритні розміри контролера зарядки IP2312

Мікросхема IP2312, позначена як DA1, використовується у вузлі заряджання акумулятора. Вона забезпечує заряджання Li-іон елемента від USB-живлення та узгоджує роботу акумуляторного вузла з основною схемою пристрою. Її застосування необхідне, оскільки Li-іон акумулятор потребує контрольованого режиму заряджання і не може безпечно заряджатися напряму від джерела живлення.



Рисунок 1.18 – Зовнішній вигляд перетворювача напруги TPS63070

Мікросхема TPS63070, позначена у схемі як DA2, використовується для перетворення та стабілізації напруги живлення. Вона забезпечує стабільне живлення пристрою при зміні напруги акумулятора в процесі розряду. Це важливо для нормальної роботи мікроконтролера, дисплея, аудіотракту та інших вузлів, які потребують стабільного рівня напруги.

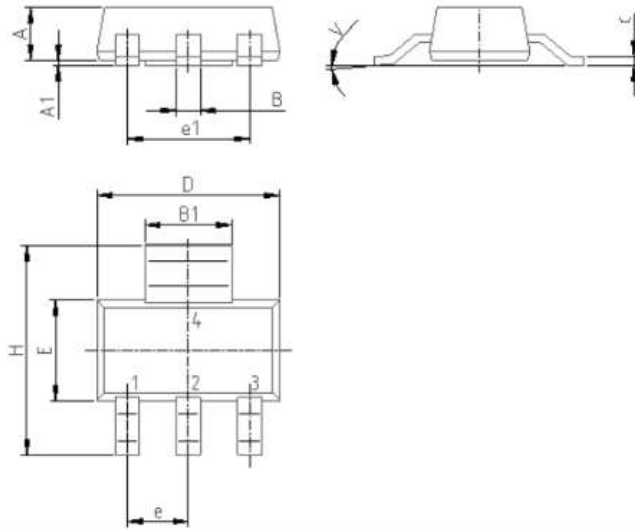


Рисунок 1.19 – Габаритні розміри стабілізатора напруги CJ6107A33GW

Стабілізатор CJ6107A33GW, позначений як DA3, використовується для формування стабілізованої напруги 3,3 В. Така напруга необхідна для живлення цифрових мікросхем, мікроконтролера та частини периферійних вузлів. Застосування окремого стабілізатора дозволяє зменшити вплив просідань і пульсацій напруги на роботу цифрової частини пристрою.

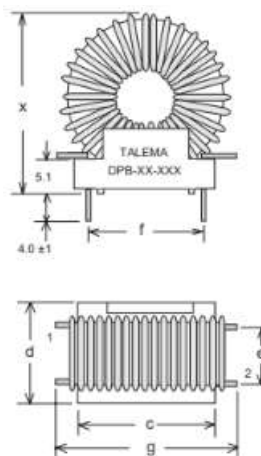


Рисунок 1.20 – Габаритні розміри індуктивності DPO-5.0-47 1uH

Індуктивності L1 і L2 типу DPO-5.0-47 1uH застосовуються у вузлі перетворення живлення. Вони працюють разом з імпульсним стабілізатором і беруть участь у накопиченні та передаванні енергії під час перетворення напруги. Їх використання є необхідним для стабільної роботи імпульсного перетворювача та зменшення пульсацій у колах живлення.

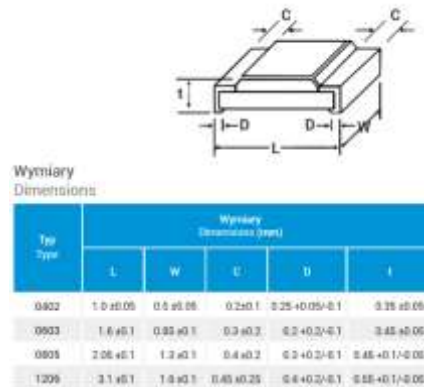


Рисунок 1.21 – Габаритні розміри SMD-конденсаторів MLCC-SMD/SMT у корпусі 1206

У схемі застосовуються керамічні SMD-конденсатори MLCC-SMD/SMT у корпусі 1206. Вони мають різні номінали, зокрема 1 нФ, 100 нФ, 1 мкФ, 2,2 мкФ, 10 мкФ та 22 мкФ, але виконують подібні функції у схемі. Конденсатори використовуються для фільтрації живлення, розв'язки мікросхем, зменшення пульсацій і пригнічення високочастотних завад. Конденсатори меншої ємності встановлюються біля цифрових вузлів, а більшої ємності — у колах живлення та стабілізації.

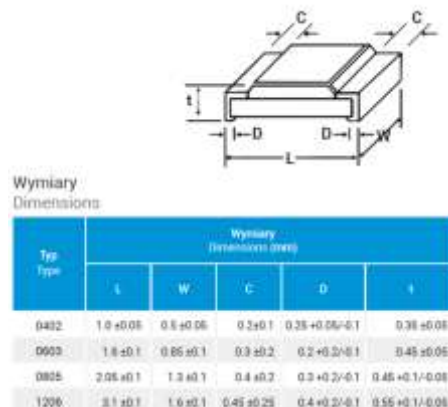


Рисунок 1.22 – Габаритні розміри SMD-резисторів RES-1206

У схемі використовуються SMD-резистори RES-1206 різних номіналів. Вони застосовуються для формування подільників напруги, підтягування сигнальних ліній, обмеження струму світлодіодів, задання режимів роботи мікросхем і формування зворотного зв'язку у вузлах живлення. Окремо у схемі використовується низькоомний резистор R14 опором 0,01 Ом, який працює як шунт у вузлі вимірювання струму на мікросхемі INA226.

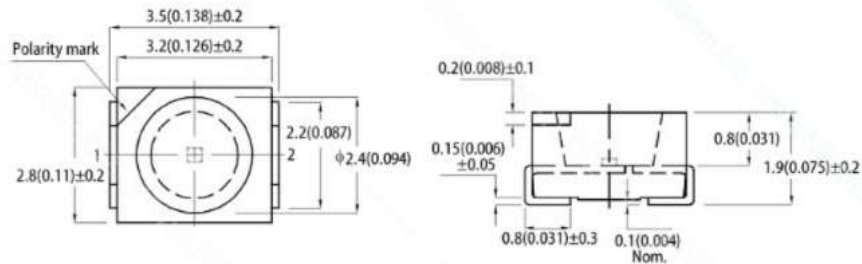


Рисунок 1.23 – Габаритні розміри світлодіода LED SMD 3528 RGB

Світлодіоди HL1–HL3 типу LED SMD 3528 RGB використовуються для світлової індикації стану пристрою. Вони можуть показувати наявність живлення, процес заряджання, службові режими або помилки роботи. RGB-виконання дозволяє відображати різні стани різними кольорами, що зручно для користувача та не потребує встановлення великої кількості окремих індикаторів.

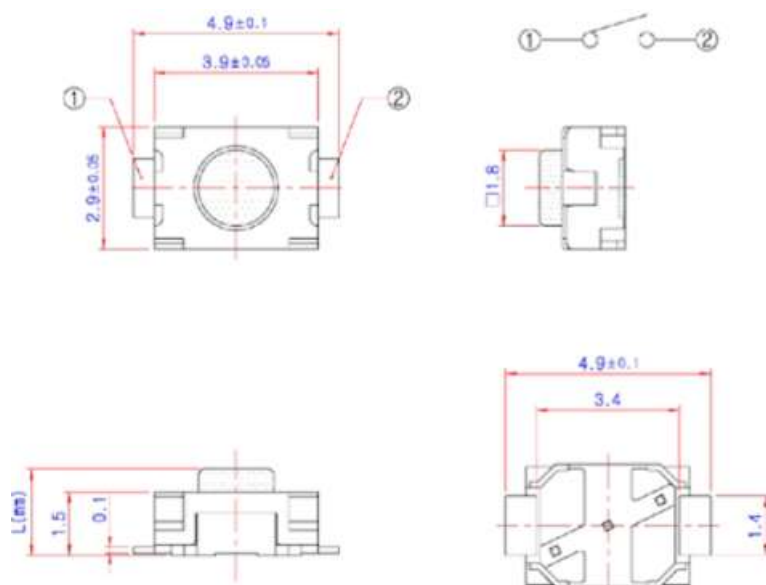


Рисунок 1.24 – Габаритні розміри кнопки ST-1185S

Кнопки SA1 і SA2 типу ST-1185S використовуються як елементи ручного керування. Вони можуть застосовуватися для скидання, вибору режиму, запуску окремої функції або допоміжного керування під час налагодження. Наявність кнопок є корисною навіть при використанні сенсорного дисплея, оскільки частина базових дій може виконуватися апаратно.

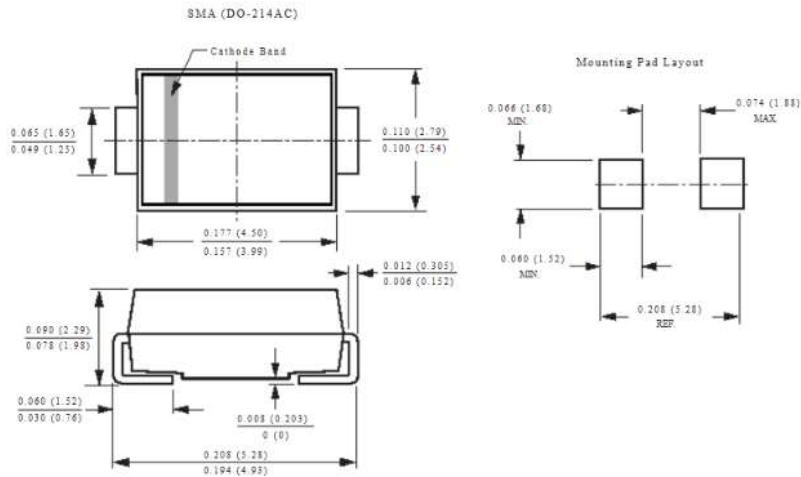


Рисунок 1.25 – Габаритні розміри діода SS14

Діоди VD1 і VD2 типу SS14 є діодами Шоттки. Вони застосовуються у колах живлення та захисту. Їх перевагою є мале падіння напруги у прямому напрямку та швидке перемикання. Такі діоди добре підходять для низьковольтних пристроїв з акумуляторним живленням, де важливо зменшити втрати напруги та підвищити ефективність роботи вузла живлення.

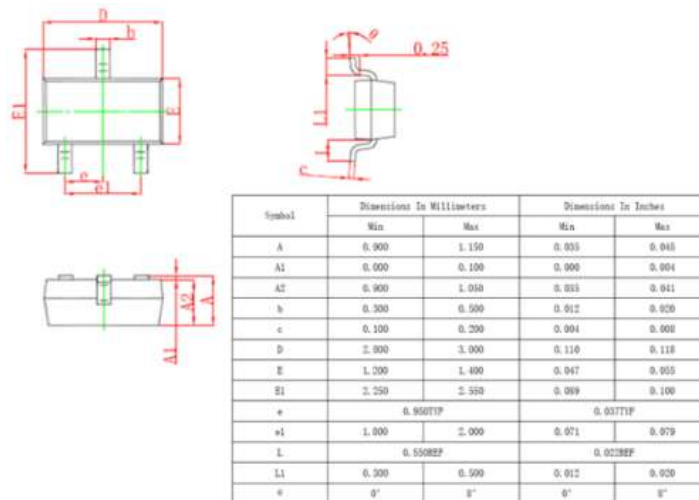


Рисунок 1.26 – Габаритні розміри транзистора SS8050

Транзистори VT1 і VT2 SS8050 використовуються як керуючі елементи у допоміжних колах схеми. Вони дозволяють комутувати сигнали або навантаження, які не слід підключати безпосередньо до виводів мікроконтролера. Використання транзисторних ключів зменшує навантаження на GPIO ESP32-S3 та підвищує надійність роботи пристрою.

Отже, вибрана елементна база забезпечує виконання всіх основних функцій системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем. Мікроконтролер ESP32-S3 відповідає за керування і приймання аудіопотоку, PCM5100A та NS4150B формують аудіотракт, ILI9341 забезпечує інтерфейс користувача, а вузли IP2312, TPS63070, CJ6107A33GW та INA226 відповідають за живлення і його контроль. Використання SMD-компонентів дозволяє зменшити розміри друкованого вузла, а застосування поширених компонентів спрощує виготовлення, ремонт і подальше налагодження пристрою.

1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу

1.5.1 Компоновка друкованого вузла

Компоновка друкованого вузла системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем виконана з урахуванням електричної принципової схеми, габаритів компонентів, зручності монтажу, підключення зовнішніх вузлів і подальшого налагодження пристрою. Основою конструкції є друкована плата прямокутної форми з габаритними розмірами $117,5 \times 82,5$ мм. Така форма є технологічною для виготовлення, зручною для встановлення в корпус і дозволяє раціонально розмістити як цифрові, так і аналогові вузли пристрою.

На друкованій платі розміщені основні елементи системи: мікроконтролерний модуль ESP32-S3, дисплейний роз'єм, USB Type-C роз'єми, вузол заряджання акумулятора, стабілізатор напруги, годинник реального часу, мікросхема контролю параметрів живлення, цифро-

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		42

аналоговий перетворювач, підсилювачі звукової частоти, пасивні компоненти, кнопки, світлодіоди та контактні елементи для підключення зовнішніх вузлів. Компоненти розміщені з одного боку плати, що спрощує монтаж і візуальний контроль якості паяння.

У лівій частині друкованого вузла розташовані USB Type-C роз'єми XS1 і XS2. Таке розміщення є зручним для підключення кабелів живлення, програмування та налагодження пристрою. Біля роз'ємів розміщені елементи їх обв'язки, зокрема резистори, діоди та фільтрувальні конденсатори. Це зменшує довжину сигнальних і живильних провідників, пов'язаних з USB-інтерфейсом, та спрощує трасування цієї частини схеми.

Мікроконтролерний модуль DD4 ESP32-S3 розміщений ближче до лівої верхньої частини плати. Його положення вибрано так, щоб забезпечити зручне підведення сигнальних ліній до дисплея, аудіотракту, вузла живлення та периферійних мікросхем. Під час компонування враховано також наявність антенної частини модуля, тому навколо неї не потрібно розміщувати масивні металеві елементи або провідники, які можуть погіршувати умови роботи бездротового зв'язку.

Центральна частина плати використана для розміщення дисплейного підключення HG1 та частини елементів керування. Таке рішення є зручним, оскільки дисплей є одним із головних елементів взаємодії з користувачем і потребує компактного підведення значної кількості сигнальних ліній. Поруч із ним розміщені кнопки SA1, SA2 та світлодіодні індикатори, що полегшує компонування передньої панелі пристрою.

Вузол живлення розташований переважно в нижній та лівій частинах друкованої плати. До нього належать контролер заряджання акумулятора, стабілізатор напруги, фільтрувальні конденсатори, індуктивні елементи та захисні діоди. Таке розміщення дозволяє відокремити силові кола від чутливих аудіоліній і зменшити вплив імпульсних завад на аудіотракт та

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		43

мікроконтролерну частину. Елементи, через які проходить більший струм, розміщені компактно, щоб скоротити довжину силових провідників.

Аудіотракт розміщений у правій частині плати. До нього входять цифро-аналоговий перетворювач DD5 PCM5100A, підсилювачі потужності DA4 і DA5 та елементи їх обв'язки. Таке розташування дає можливість відокремити аналогову частину від вузла USB і імпульсного живлення. Динамічні головки BA1 і BA2 підключаються до вихідної частини аудіопідсилювачів, тому їх контактні площадки розміщені ближче до правого краю плати. Це зручно для підключення акустичних елементів під час складання пристрою.

Мікросхема годинника реального часу DD1 DS3231 розміщена в нижній правій частині плати. Поруч із нею розташовані елементи обв'язки та резервне живлення. Таке компонування зменшує довжину з'єднань між RTC, резервним елементом живлення та лініями обміну з мікроконтролером. Вузол контролю параметрів живлення на мікросхемі INA226 розміщений так, щоб забезпечити зручне підключення до силового кола та коректне вимірювання струму через шунтовий резистор.

Під час компонування друкованого вузла враховано необхідність розділення ділянок різного призначення. Цифрові сигнальні лінії, що йдуть від ESP32-S3 до дисплея, RTC, INA226 та аудіоперетворювача, прокладаються окремо від силових провідників живлення. Аудіолінії від PCM5100A до підсилювачів бажано виконувати короткими та не проводити їх поруч із імпульсними ділянками стабілізатора. Це зменшує ймовірність появи завад у звуковому тракті.

Для фіксації друкованого вузла в корпусі на платі передбачені монтажні отвори. Їх розміщення по кутах плати забезпечує надійне кріплення та зменшує механічне навантаження на електронні компоненти при встановленні або підключенні зовнішніх кабелів. Розташування отворів вибрано так, щоб вони не заважали трасуванню основних ліній і не потрапляли в зони щільного розміщення компонентів.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

Висота встановлених компонентів врахована при виконанні складального креслення. На вигляді збоку показано, що більшість елементів має невелику висоту, а найбільш виступаючими частинами є роз'єми та окремі корпуси компонентів. Це важливо при подальшому виборі корпусу, оскільки необхідно забезпечити достатній зазор між платою, дисплеєм, кришкою корпусу та зовнішніми елементами підключення.

Під час монтажу друкованого вузла необхідно дотримуватися послідовності встановлення елементів. Спочатку доцільно монтувати дрібні SMD-компоненти, після цього мікросхеми, модуль ESP32-S3, роз'єми, кнопки та інші габаритніші елементи. Така послідовність спрощує паяння та зменшує ризик випадкового пошкодження вже встановлених компонентів.

1.5.2 Розрахунок надійності проектного пристрою

Під час проектування системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем доцільно враховувати не лише правильність роботи окремих функціональних вузлів, а й надійність пристрою в цілому. Надійність характеризує здатність пристрою зберігати працездатність упродовж заданого проміжку часу за нормальних умов використання. Для розроблюваної системи цей показник має практичне значення, оскільки до складу пристрою входять мікроконтролерний вузол, дисплей, аудіотракт, блок живлення, акумуляторна частина, динамічні головки та зовнішній вузол FM-передавання.

Оцінювання надійності виконується на основі елементної бази пристрою. Для спрощення розрахунку приймається, що основні компоненти з погляду надійності утворюють послідовну структуру. За такого підходу відмова одного з важливих елементів може спричинити порушення роботи всього пристрою або втрату одного з його основних режимів. Значення інтенсивностей відмов беруться за довідковими даними для нормальних умов експлуатації.

Сумарна інтенсивність відмов пристрою визначається за формулою:

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		45

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \lambda_i, \quad (1.6)$$

де N_i — кількість елементів одного типу;

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

λ_{Σ} — сумарна інтенсивність відмов пристрою.

Таблиця 1.2 – Розрахунок сумарної інтенсивності відмов

Група елементів	Кількість, N_i	λ_i , 10^{-6} 1/год	$N_i \cdot \lambda_i$
Конденсатори	46	0,15	6,9
Мікросхеми	10	3,0	30,0
Резистори	30	0,05	1,5
Індуктивності	2	0,4	0,8
Діоди	2	0,3	0,6
Транзистори	2	0,4	0,8
Світлодіоди	3	0,5	1,5
Кнопки	2	1,0	2,0
Роз'єми USB Type-C	2	2,0	4,0
Дисплей TFT ILI9341	1	4,0	4,0
Динаміки	2	2,5	5,0
Акумулятор і батарея RTC	2	2,0	4,0
FM-передавач	1	4,5	4,5
Антенa	1	0,5	0,5
Разом			66,6

Отже, сумарна інтенсивність відмов проектованого пристрою становить:

$$\lambda_{\Sigma} = 66,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год,}$$

Середнє напрацювання до відмови визначається за формулою:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{66,6 \cdot 10^{-6}} = 15\,015 \text{ год,} \quad (1.7)$$

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підп.	Дата		46

Отже, середнє напрацювання до відмови проектованого пристрою становить 15 015 год.

Ймовірність безвідмовної роботи пристрою протягом заданого часу визначається за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (1.8)$$

Для часу роботи $t = 1000$ год: $P(1000) = 0,936$.

Для часу роботи $t = 5000$ год: $P(5000) = 0,717$.

Для часу роботи $t = 10000$ год: $P(10000) = 0,514$.

1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу

Для друкованої плати системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем приймається двостороння конструкція з металізованими отворами. Такий варіант є доцільним, оскільки на платі розміщуються мікроконтролерний модуль ESP32-S3, дисплейний вузол, USB Type-C роз'єми, вузол живлення, аудіотракт, мікросхеми контролю та значна кількість SMD-компонентів. Використання двох провідникових шарів спрощує трасування і дає можливість раціонально розвести сигнальні, живильні та аудіолінії.

Як матеріал основи друкованої плати приймається FR-4 товщиною 1,5 мм. Цей матеріал є поширеним для виготовлення друкованих плат, має достатню механічну міцність, добрі електроізоляційні властивості та підходить для комбінованого монтажу. Товщина мідної фольги приймається 35 мкм, що є стандартним значенням для плат такого типу і забезпечує нормальне проходження струму в сигнальних та живильних колах.

Для виготовлення друкованої плати приймається комбінований позитивний метод. Він підходить для двосторонніх плат з металізованими отворами і дозволяє отримати якісний провідниковий рисунок. За класом точності приймається 3-й клас, оскільки він забезпечує достатню щільність

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		47

монтажу для SMD-компонентів, мікросхем, роз'ємів і сигнальних ліній мікроконтролера.

Габаритні розміри друкованої плати приймаються $117,5 \times 82,5$ мм. Такі розміри відповідають розробленій конструкції плати і дають змогу розмістити основні вузли пристрою: мікроконтролер, дисплейне підключення, вузол живлення, аудіотракт, роз'єми, кнопки, світлодіоди та контактні елементи для підключення зовнішніх вузлів.

Для сигнальних провідників приймається мінімальна ширина 0,25 мм. Такі провідники використовуються для з'єднання мікроконтролера ESP32-S3 з дисплеєм, годинником реального часу, мікросхемою INA226, цифро-аналоговим перетворювачем PCM5100A та іншими малострумівими вузлами. Оскільки через ці лінії протікають невеликі струми, ширина 0,25 мм є достатньою і відповідає технологічним можливостям 3-го класу точності.

Для кіл живлення та заземлення приймається ширина провідників 0,6 мм. Такі провідники використовуються у колах акумулятора, USB-живлення, стабілізатора напруги, вузла заряджання та аудіопідсилювачів. Через ці ділянки може протікати більший струм, тому їх ширина повинна бути більшою, ніж у звичайних сигнальних ліній. На найбільш навантажених ділянках, пов'язаних з акумулятором, стабілізатором та аудіопідсилювачами, доцільно додатково використовувати ширші ділянки провідників або полігони живлення.

На друкованій платі передбачено два типорозміри металізованих отворів. Отвори діаметром 0,7 мм приймаються для перехідних з'єднань між шарами та малогабаритних монтажних з'єднань. Для них приймається діаметр контактної площадки 1,5 мм. Такий розмір забезпечує достатній кільцевий поясок навколо отвору і не займає надмірної площі на платі. Кількість таких отворів становить 58 шт.

Отвори діаметром 1,1 мм приймаються для вивідних елементів і контактів, які потребують більшого діаметра отвору. Для них приймається

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		48

діаметр контактної площадки 2,0 мм. Такий розмір забезпечує надійне паяння, достатню механічну міцність і технологічний запас при свердлінні. Кількість отворів цього типу становить 27 шт. Загальна кількість отворів на платі становить 85 шт.

Оскільки в конструкції пристрою використовується переважно SMD-монтаж, для резисторів, конденсаторів, діодів, транзисторів, світлодіодів і мікросхем передбачаються планарні контактні площадки без монтажних отворів. Для SMD-резисторів і керамічних конденсаторів у корпусі 1206 приймаються прямокутні контактні площадки орієнтовним розміром 1,6 × 1,8 мм. Такі площадки забезпечують достатню площу паяння та зручність монтажу.

Для SMD-світлодіодів типорозміру 3528 контактні площадки приймаються відповідно до габаритів корпусу світлодіода. Для мікросхем у планарних корпусах контактні площадки виконуються прямокутної форми з урахуванням кроку виводів. Їх розміри вибираються так, щоб забезпечити якісне паяння, необхідний зазор між сусідніми виводами та відповідність прийнятому класу точності плати.

Мінімальна відстань між провідниками приймається 0,25 мм. Такий самий зазор приймається між контактною площадкою і провідником, а також між двома контактними площадками. Оскільки пристрій працює з низьковольтними колами 3,3 В та 5 В, електричний зазор не є основним обмеженням. Тому прийняті відстані визначаються технологічними вимогами виготовлення друкованої плати.

Мінімальна відстань від краю друкованої плати до провідного рисунка приймається 1,0 мм. Це потрібно для того, щоб під час механічної обробки контуру плати не пошкодити провідники або контактні площадки. Також цей запас підвищує надійність плати при встановленні її в корпус і під час подальшої експлуатації.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		49

Під час розміщення провідників також враховується функціональне призначення окремих ділянок схеми. Сигнальні лінії мікроконтролера прокладаються окремо від силових провідників вузла живлення, щоб зменшити вплив завад на роботу цифрової частини. Аудіолінії від цифро-аналогового перетворювача до підсилювачів бажано виконувати короткими та не прокладати поруч із імпульсними колами стабілізатора напруги. Це зменшує ймовірність наведення завад у звуковому тракті та покращує стабільність роботи пристрою.

Таблиця 1.3 - Прийняті параметри друкованого монтажу

Параметр	Прийняте значення
Тип друкованої плати	двостороння
Метод виготовлення	комбінований позитивний
Матеріал основи	FR-4
Товщина основи друкованої плати	1,5 мм
Товщина мідної фольги	35 мкм
Габаритні розміри друкованої плати	117,5 × 82,5 мм
Ширина провідників кіл живлення та заземлення	0,6 мм
Мінімальна ширина сигнальних провідників	0,25 мм
Діаметр отвору першого типу	0,7 мм
Діаметр контактної площадки для отвору 0,7 мм	1,5 мм
Кількість отворів діаметром 0,7 мм	58
Діаметр отвору другого типу	1,1 мм
Діаметр контактної площадки для отвору 1,1 мм	2,0 мм
Кількість отворів діаметром 1,1 мм	27
Загальна кількість отворів	85
Мінімальна відстань між провідниками	0,25 мм
Мінімальна відстань між контактною площиною і провідником	0,25 мм
Мінімальна відстань між двома контактними площадками	0,25 мм
Мінімальна відстань від краю ДП до провідного рисунка	1,0 мм

1.6 Висновок до розділу 1

У першому розділі розглянуто основні технічні рішення для розробки системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем. На основі технічного завдання визначено призначення пристрою, його функціональні можливості та вимоги до основних вузлів.

Розроблено структурну та електричну принципову схеми пристрою. Центральним вузлом системи є мікроконтролер ESP32-S3-WROOM-1 N16R8, який забезпечує приймання аудіопотоку через Wi-Fi, керування дисплеєм, роботу з периферійними мікросхемами та передавання цифрового аудіосигналу на PCM5100A. Для підсилення звуку використано мікросхеми NS4150B, а живлення організовано від Li-ion акумулятора та USB Type-C.

Також у розділі обґрунтовано вибір елементної бази, описано алгоритм роботи пристрою, виконано розрахунок шунтового резистора, надійності та параметрів друкованого монтажу. За результатами розрахунків встановлено, що вибрані технічні рішення відповідають вимогам до пристрою, а прийняті параметри забезпечують можливість виготовлення надійного друкованого вузла.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		51

2. Спеціальна частина

2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для розв'язання поставленого завдання

Створення бібліотеки елементів виконувалося в середовищі Altium Designer. Для системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем були підібрані або створені умовні графічні позначення, посадкові місця та зв'язки між схемними символами і footprint-моделями. Під час створення бібліотеки враховувались габаритні розміри корпусів, крок виводів, тип монтажу та прийняті параметри друкованого монтажу.

Елементна база пристрою складається переважно з компонентів поверхневого монтажу. До них належать резистори, конденсатори, діоди, транзистори, світлодіоди, мікросхеми живлення, USB-UART перетворювач, годинник реального часу, аудіоперетворювач і підсилювачі звуку. Крім цього, у проєкті використовуються посадкові місця для модуля ESP32-S3, TFT-дисплея, USB Type-C роз'ємів, кнопок, акумуляторного живлення та виходів на динамічні головки.

Оскільки всі компоненти розміщуються на верхній стороні друкованої плати, під час створення посадкових місць враховувалось розташування контурів корпусів, шовкографії та позиційних позначень. Це спрощує монтаж, перевірку правильності встановлення елементів і подальше обслуговування друкованого вузла.

Після створення умовних графічних позначень та посадкових місць була виконана прив'язка footprint-моделей до відповідних компонентів схеми. На цьому етапі перевірялась кількість виводів, їх нумерація та відповідність призначення контактів. Особлива увага приділялась компонентам із великою кількістю підключень: ESP32S3-WROOM-1 N16R8, TFT-дисплею, USB Type-C роз'ємам, аудіоперетворювачу та мікросхемам живлення.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		52

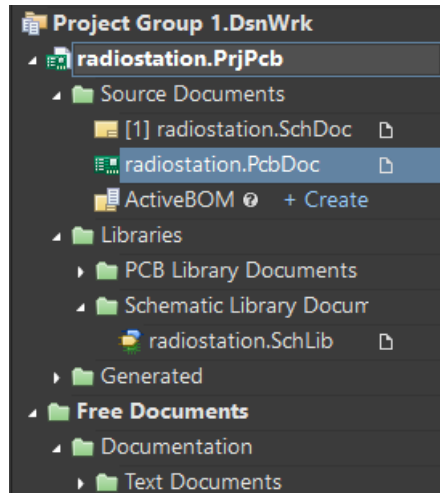


Рисунок 2.1 - Структура проєкту системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем у середовищі Altium Designer

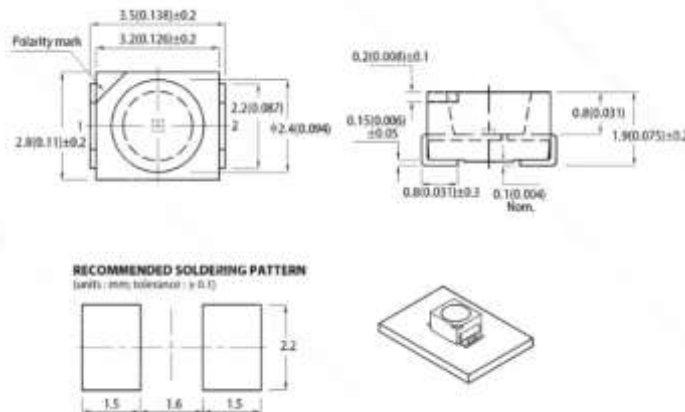


Рисунок 2.2 – Datasheet для елемента led smd 3528 rgb

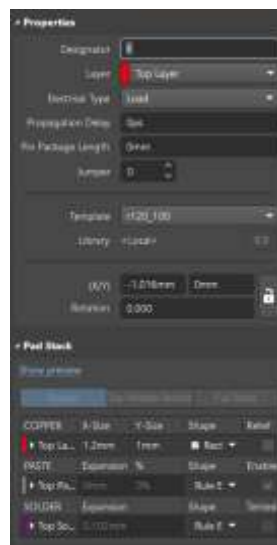


Рисунок 2.3 - Налаштування параметрів контактної площадки

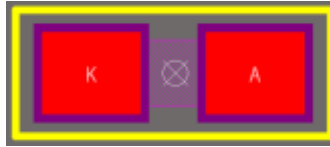


Рисунок 2.4 - Формування контуру та шовкографії компонента

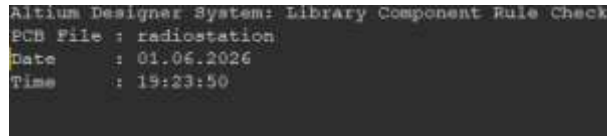


Рисунок 2.5 - Перевірка створеного посадкового місця в Altium Designer

2.2 Створення друкованого вузла у середовищі Altium Designer

Електрична принципова схема системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем була виконана у редакторі Schematic середовища Altium Designer. На схемі були розміщені основні компоненти пристрою: мікроконтролерний модуль DD4 ESP32S3-WROOM-1 N16R8, дисплейний модуль HG1, вузол живлення, мікросхема USB-UART DD3, годинник реального часу DD1, мікросхема контролю живлення DD2, аудіоперетворювач DD5, підсилювачі DA4 і DA5, роз'єми USB Type-C, кнопки, світлодіоди та пасивні компоненти.

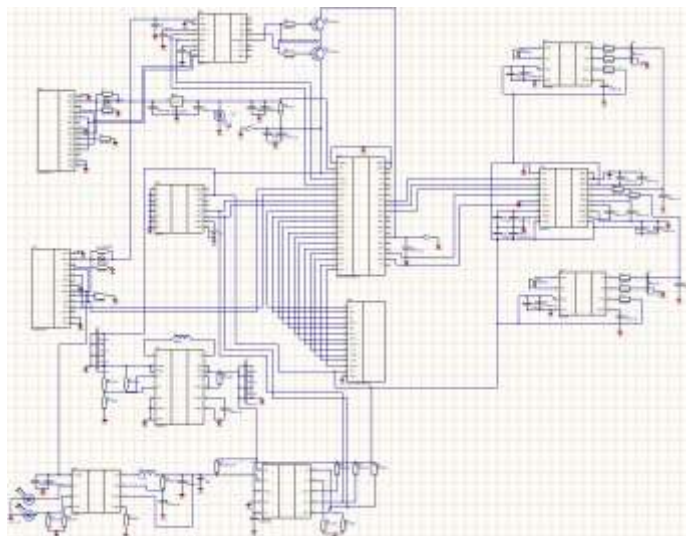


Рисунок 2.6 - Загальний вигляд електричної принципової схеми системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		54

Після завершення побудови схеми була виконана перевірка ERC. Під час перевірки контролювалися правильність електричних з'єднань, наявність живлення в мікросхемах, непідключені виводи та відповідність типів контактів. Виявлені попередження були проаналізовані, а помилки, які могли вплинути на подальше трасування друкованої плати, були виправлені перед передаванням проєкту в редактор PCB.

Після завершення електричної принципової схеми проєкт було передано в редактор друкованих плат Altium Designer. На цьому етапі було задано контур плати, розміщено компоненти, встановлено правила проєктування та виконано трасування електричних з'єднань.

Для системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем розроблено двосторонню друковану плату прямокутної форми розміром 122,5×82,5 мм. Усі компоненти встановлюються на верхній стороні плати. Провідниковий рисунок виконано на двох шарах: Top Layer і Bottom Layer. Нижній шар використовується тільки для трасування та допоміжних з'єднань.

Компонування виконувалося з урахуванням функціонального призначення вузлів. Мікроконтролер ESP32-S3 розміщено ближче до центральної частини плати, оскільки до нього підключається більшість периферійних пристроїв. USB Type-C роз'єми винесені до лівого краю плати, що забезпечує зручне підключення кабелів. Вузли живлення розміщені ближче до відповідних силових елементів, а аудіопідсистема розміщена у правій частині плати біля виходів на динаміки.

На верхньому шарі переважно прокладалися короткі з'єднання між SMD-компонентами та мікросхемами. Нижній шар використовувався для обходу складних ділянок, перетину груп провідників і прокладання окремих довших з'єднань. Перехід між шарами здійснювався через металізовані перехідні отвори.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		55

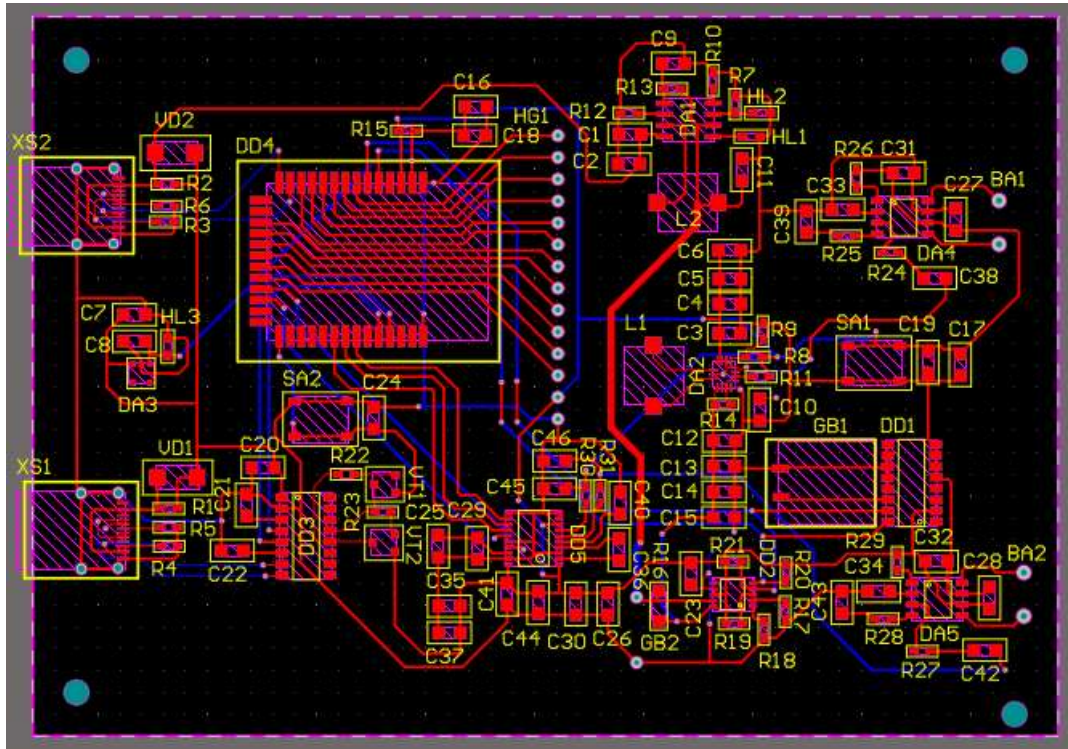


Рисунок 2.7 – Результат трасування друкованої плати у Altium Designer

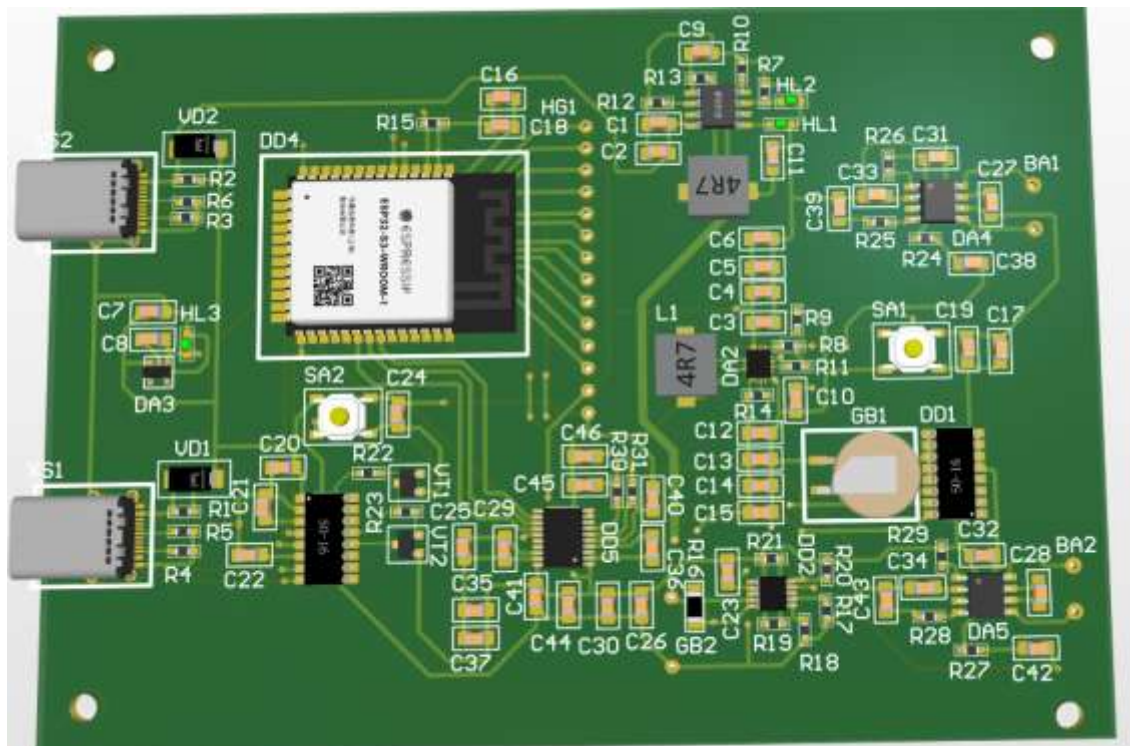


Рисунок 2.8 – 3Д вигляд друкованої плати у Altium Designer вид

3 Охорона праці та безпека життєдіяльності

3.1 Використання засобів радіомовлення для оповіщення населення під час надзвичайних ситуацій

Система оповіщення населення є одним із важливих заходів безпеки життєдіяльності під час виникнення або загрози виникнення надзвичайних ситуацій. Своєчасне отримання достовірної інформації дає змогу людям правильно оцінити обстановку, уникнути паніки та виконати необхідні дії для захисту життя і здоров'я [11].

Надзвичайні ситуації можуть мати природний, техногенний, соціальний або воєнний характер. У таких умовах важливим є швидке передавання повідомлень про небезпеку, порядок дій населення, необхідність евакуації, укриття або обмеження пересування. Якщо інформація надходить із запізненням або є неповною, зростає ризик неправильних дій людей і збільшення наслідків небезпечної події [15].

Для оповіщення населення використовують сирени, мобільні повідомлення, телебачення, інтернет-ресурси, гучномовці та радіомовлення. Радіомовлення залишається зручним способом передавання інформації, оскільки радіоприймачі є простими у використанні та можуть працювати автономно від батарей або акумуляторів. Через радіоканал можна передавати короткі повідомлення, інструкції, інформацію про небезпечну зону, маршрути евакуації та порядок подальших дій [15].

У межах даної кваліфікаційної роботи розробляється система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем. Основна функція пристрою полягає у прийманні аудіопотоку через Wi-Fi, його обробці, відтворенні через динаміки та можливості передавання сформованого аудіосигналу у FM-діапазоні. Тому така система може розглядатися не тільки як мультимедійний пристрій, але і як приклад технічного засобу для локального поширення звукової інформації.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		57

Застосування FM-передавального вузла дає змогу передати повідомлення на звичайні FM-приймачі без необхідності підключення кожного користувача до Wi-Fi. Це може бути корисним у межах навчального кабінету, лабораторії, майстерні або іншої локальної зони, де потрібно швидко донести коротке інформаційне повідомлення до декількох приймачів одночасно.

Під час надзвичайної ситуації повідомлення повинно бути коротким, чітким і зрозумілим. У ньому вказують характер небезпеки, місце або зону можливого впливу, порядок дій населення та джерело офіційної інформації. Повідомлення не повинно містити зайвих подробиць, які можуть викликати паніку. У разі пожежі, наприклад, необхідно повідомити про потребу евакуації, заборону користування ліфтом і рух до найближчого безпечного виходу [14].

Важливо враховувати, що локальна система радіомовлення не замінює офіційні системи цивільного захисту. Вона може використовуватися лише як допоміжний або демонстраційний засіб передавання інформації в межах обмеженої території. Офіційні повідомлення під час реальної надзвичайної ситуації повинні надходити від уповноважених органів, а населення має виконувати їхні вказівки [15].

3.2 Інженерно-технічні рішення з охорони праці під час монтажу та налагодження друкованого вузла системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем

Під час виконання кваліфікаційної роботи система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем розглядається як друкований вузол, що потребує монтажу, паяння, перевірки та налагодження. До складу пристрою входять мікроконтролер ESP32-S3, TFT-дисплей, USB Type-C роз'єми, вузол заряджання акумулятора, стабілізатор напруги, аудіоперетворювач, підсилювачі звуку, динамічні головки та можливість підключення виносного

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		58

FM-передавача. Тому під час роботи з таким пристроєм враховуються вимоги охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки [11], [12], [13], [14].

Робоче місце для монтажу та налагодження друкованого вузла організовується так, щоб забезпечити зручний доступ до плати, інструментів і вимірювальних приладів. На робочому столі розміщують паяльну станцію, мультиметр, лабораторне джерело живлення з обмеженням струму, пінцет, припій, флюс, ізоляційні матеріали та засоби очищення плати. Робоча поверхня має бути стійкою до нагрівання, а зайві предмети, папір і легкозаймисті матеріали прибираються із зони паяння [11], [14].

Оскільки на платі використовуються SMD-компоненти, мікросхеми та модуль ESP32-S3, під час монтажу враховується захист від електростатичних розрядів. Перед встановленням елементів застосовується антистатичний браслет або антистатичний килимок. Особливо це стосується мікроконтролера, USB-UART перетворювача, аудіоперетворювача PCM5100A, INA226 та інших мікросхем, які можуть бути пошкоджені статичною електрикою.

Паяння елементів виконується справною паяльною станцією з ізольованою ручкою та надійним електричним підключенням. Температура жала вибирається відповідно до типу припою та компонентів, щоб не перегрівати контактні площадки й корпуси мікросхем. Робота виконується при достатньому освітленні та за наявності провітрювання або локального відведення диму, оскільки під час нагрівання припою і флюсу утворюються шкідливі випари. Такі заходи відповідають загальним вимогам створення безпечних умов праці під час виконання монтажних робіт [11], [12].

Перед першим увімкненням друкованого вузла проводиться візуальний контроль плати. Перевіряється правильність встановлення мікросхем, діодів, світлодіодів, конденсаторів, роз'ємів USB Type-C, акумулятора та елементів живлення. Okремо контролюється відсутність перемичок припою між виводами мікросхем, коротких замикань між лініями VBUS, BAT, 3V3 і GND,

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		59

а також якість паяння контактів динаміків і роз'ємів. Така перевірка зменшує ризик пошкодження елементів під час першого запуску.

Налагодження пристрою починається з перевірки вузла живлення. Спочатку контролюється вхідне живлення від USB Type-C, робота контролера заряду IP2312, стабілізатора напруги та наявність напруги 3,3 В. Для першого запуску використовується лабораторне джерело живлення з обмеженням струму. Це дає змогу захистити плату від пошкодження у разі прихованого короткого замикання або помилки монтажу. Підключення акумулятора виконується тільки після перевірки основних ліній живлення. Під час таких робіт враховуються вимоги електробезпеки при експлуатації та перевірці електроустановок [13].

Особлива увага приділяється роботі з літій-іонним акумулятором NCR18650. Не допускається коротке замикання його контактів, механічне пошкодження, перегрівання або підключення з неправильною полярністю. Під час перевірки заряджання контролюється температура акумулятора і вузла заряджання. При появі сильного нагрівання, запаху, нестабільної роботи або різкого зростання струму живлення вимикається, а монтаж повторно перевіряється.

Під час перевірки аудіопідсистеми враховується, що підсилювачі DA4 і DA5 можуть споживати підвищений струм, особливо при великій гучності. Тому перше випробування аудіотракту виконується на невеликій гучності. Динамічні головки BA1 і BA2 підключаються до передбачених контактів без замикання вихідних ліній підсилювачів між собою або на загальний провід. Це зменшує ризик перегрівання підсилювачів та пошкодження аудіовиходу.

Підключення виносного FM-передавача виконується при вимкненому живленні пристрою. Перед підключенням перевіряється призначення виводів мікроконтролера, рівень логічної напруги, наявність спільного проводу GND та відповідність живлення зовнішнього модуля. Неправильне підключення

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		60

FM-передавача може призвести до пошкодження GPIO ESP32-S3 або нестабільної роботи всієї системи.

Під час роботи з комп'ютером і САПР Altium Designer також враховуються вимоги охорони праці при роботі з екранними пристроями. Робоче місце має бути достатньо освітлене, монітор розміщується на зручній відстані від очей, а під час тривалої роботи виконуються короткі перерви. Це знижує зорове навантаження та втому під час проектування схеми, перевірки трасування і підготовки конструкторської документації [16].

Для забезпечення пожежної безпеки під час монтажу та налагодження паяльник не залишають увімкненим без нагляду, використовують підставку для паяльника, не зберігають легкозаймисті матеріали біля нагрітих інструментів і не виконують паяння поблизу відкритих джерел вогню. У разі перегрівання плати, появи диму або запаху горіння живлення одразу вимикається. Електронні пристрої з акумуляторним живленням перевіряються тільки на справному робочому місці з можливістю швидкого вимкнення живлення [14].

2.3 Висновок до розділу 3

У третьому розділі розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці, пов'язані з розробкою системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем. Показано, що засоби радіомовлення можуть використовуватися для швидкого передавання інформаційних повідомлень під час надзвичайних ситуацій, а розроблювана система може розглядатися як допоміжний засіб локального оповіщення в межах обмеженої зони.

Також визначено основні вимоги до безпечного монтажу, паяння, перевірки та налагодження друкованого вузла. Основну увагу приділено організації робочого місця, використанню справного паяльного і вимірювального обладнання, захисту від електростатичних розрядів, перевірці кіл живлення, безпечній роботі з Li-ion акумулятором, аудіопідсилувачами та виносним FM-передавачем.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		61

Висновки

У результаті виконання кваліфікаційної роботи на тему «Система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем» було розроблено пристрій, призначений для приймання аудіопотоку через Wi-Fi, його обробки, відтворення через вбудовані динаміки та передавання сформованого сигналу у FM-діапазоні.

У ході роботи проаналізовано технічне завдання, визначено основні вимоги до пристрою та обґрунтовано його структурну побудову. Розроблено структурну схему системи, у якій виділено мікроконтролерний вузол, дисплейний модуль, вузол живлення, аудіотракт, інтерфейс програмування, FM-передавальний вузол та антену.

Розроблено електричну принципову схему пристрою. Центральним елементом системи обрано модуль ESP32-S3-WROOM-1 N16R8, який забезпечує керування роботою пристрою, приймання аудіоданих через Wi-Fi, взаємодію з дисплеєм, периферійними мікросхемами та аудіотрактом. Для формування аналогового звукового сигналу використано PCM5100A, для підсилення звуку — мікросхеми NS4150B, а для живлення та контролю параметрів живлення — IP2312, TPS63070, CJ6107A33GW та INA226.

Проведено вибір і обґрунтування елементної бази. Для основних компонентів визначено їх призначення у схемі, функції в роботі пристрою та конструктивні особливості. Використання SMD-компонентів дало змогу зменшити габарити друкованого вузла та забезпечити компактне розміщення елементів на платі.

У розрахунковій частині виконано розрахунок шунтового резистора вузла контролю струму, розрахунок надійності пристрою та розрахунок друкованого монтажу. За результатами розрахунку середнє напрацювання до відмови становить близько 15015 год, що є прийнятним для портативного радіоелектронного пристрою з акумуляторним живленням, дисплеєм та аудіотрактом.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		62

У середовищі Altium Designer розроблено друкований вузол системи. Було виконано розміщення компонентів, трасування провідників, перевірку правил проєктування та підготовку конструкторської документації. Друкована плата виконана двосторонньою, з металізованими отворами, а компоновання вузлів враховує поділ на цифрову частину, живлення, аудіотракт та інтерфейсні елементи.

У розділі з безпеки життєдіяльності та основ охорони праці розглянуто небезпечні й шкідливі фактори, які можуть виникати під час монтажу, паяння, перевірки та налагодження пристрою. Запропоновано організаційні й технічні заходи для безпечного виконання робіт з друкованим вузлом, електронними компонентами, паяльним обладнанням та вимірювальними приладами.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		63

Список використаних джерел

1. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Основи радіоелектроніки". Ч.1. Для студентів напряму підготовки 6.050902 - Радіоелектронні апарати : . / . — Тернопіль : ТНТУ , 2014 — 89 с.
2. Програма для розробки схем "Altium Designer".
3. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Системи автоматизованого проектування радіоелектронних засобів" для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / укл. : Л. В. Хвостівська, В. Л. Дунець. - Тернопіль : ТНТУ, 2020. - 109 с.
4. Галаган Р.М. Комп'ютерне проектування електронних схем. Комп'ютерний практикум. / К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 420 с.
5. ДСТУ 2226-93. Автоматизовані системи. Терміни та визначення. – [Чинний від 1994-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1994. 93 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=61937.
6. ДСТУ 2.702:2013 «Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60892.
7. ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102586.
8. 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.
9. ДСТУ 2.104:2006 Єдина система конструкторської документації. Основні написи (ГОСТ 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.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		64

10. 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.

11. Безпека життєдіяльності та охорона праці: методичні вказівки до виконання розділу в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня “бакалавр”. Тернопіль: ТНТУ, 2026.

12. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ // База даних “Законодавство України” / Верховна Рада України.

13. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів: наказ Мінпраці України від 09.01.1998 № 4.

14. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні: наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417.

15. Кодекс цивільного захисту України: Кодекс України від 02.10.2012 № 5403-VI // База даних “Законодавство України” / Верховна Рада України.

16. Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроями: наказ Міністерства соціальної політики України від 14.02.2018 № 207.

					<i>ТДО 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		65

ДОДАТКИ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою РТ

_____ к.т.н. Дунець В.Л.

“28” _____квітня__2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему: «Система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем»

Узгоджено:

Керівник роботи

Дедів І.Ю. _____

“ _____ ” _____2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РАС-41

Тетеря Д.О. _____

“ _____ ” _____2026р.

Тернопіль, 2026

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “ Система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем”

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 Тетеря Дмитро Олексійович, групи РАс-41 кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем, що включає:

- аналіз технічного завдання та існуючих аналогів пристрою;
- розробку структурної схеми системи;
- розробку електричних принципів схеми пристрою;
- опис алгоритму роботи мікроконтролера;
- розрахунок основних вузлів схеми;
- 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. Основні параметри

4.1.1 Система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем повинна забезпечувати приймання аудіопотоку через бездротову мережу Wi-Fi.

4.1.2 Пристрій повинен виконувати обробку прийнятого аудіопотоку за допомогою мікроконтролера ESP32-S3.

4.1.3 Система повинна забезпечувати відтворення аудіосигналу через вбудовані динамічні головки.

4.1.4 У пристрої повинна бути передбачена можливість передавання сформованого аудіосигналу у FM-діапазоні за допомогою окремого передавального вузла.

4.1.5 Основним керуючим елементом системи повинен бути мікроконтролерний модуль ESP32-S3-WROOM-1 N16R8.

4.1.6 Для формування аналогового аудіосигналу повинен використовуватися цифро-аналоговий перетворювач PCM5100A.

4.1.7 Для підсилення звукового сигналу повинні використовуватися підсилювачі звукової частоти NS4150B.

4.1.8 Для відображення інформації про роботу пристрою повинен використовуватися TFT-дисплей ILI9341 з сенсорним керуванням.

4.1.9 Пристрій повинен мати інтерфейс програмування та налагодження на основі USB-UART перетворювача CH340.

4.1.10 Підключення зовнішнього живлення та програмування повинно виконуватися через роз'єми USB Type-C. 4.2.1 IoT-метеостанція повинна відповідати вимогам технічного завдання, конструкторської документації та чинних стандартів щодо розробки електронних пристроїв і друкованих вузлів.

4.1.11 Живлення пристрою повинно здійснюватися від Li-ion акумулятора з номінальною напругою 3,7 В та від зовнішнього джерела живлення 5 В.

4.1.12 У пристрої повинен бути передбачений вузол заряджання акумулятора та стабілізації напруги живлення.

4.1.13 Для живлення цифрових вузлів повинна формуватися стабілізована напруга 3,3 В.

4.1.14 Для контролю параметрів живлення повинна використовуватися мікросхема INA226, яка забезпечує вимірювання напруги, струму та споживаної потужності.

4.1.15 Для збереження поточного часу повинен використовуватися годинник реального часу DS3231 з резервним живленням від елемента CR2032.

4.1.16 Друкована плата пристрою повинна бути двосторонньою, виготовленою з матеріалу FR-4 товщиною 1,5 мм.

4.1.17 Габаритні розміри друкованої плати повинні становити 117,5 × 82,5 мм.

4.2 Технічні вимоги

4.2.1 Система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем повинна 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 подачі живлення та запуску основних функціональних вузлів.

4.2.3 Система повинна забезпечувати приймання аудіопотоку через Wi-Fi та його подальше передавання на аудіотракт.

4.2.4 Аудіотракт пристрою повинен забезпечувати перетворення цифрового аудіосигналу в аналоговий сигнал, його підсилення та відтворення через динамічні головки.

4.2.5 FM-передавальний вузол повинен забезпечувати можливість локального передавання сформованого аудіосигналу у FM-діапазоні.

4.2.6 Дисплейний модуль повинен забезпечувати відображення основної службової інформації про роботу пристрою.

4.2.7 У схемі повинні бути передбачені вузли програмування, налагодження, контролю живлення та заряджання акумулятора.

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

4.2.9 Друкована плата повинна забезпечувати надійне електричне з'єднання елементів, достатні технологічні зазори, розділення сигнальних кіл, кіл живлення та аудіоліній.

4.2.10 Напрацювання на відмову проєктованого виробу повинне бути не менше 12000 год.

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

4.2.12 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 вузол живлення, мікроконтролер ESP32-S3, USB-UART інтерфейс, TFT-дисплей, годинник реального часу, вузол контролю параметрів живлення, аудіоперетворювач, підсилювачі звукової частоти, динамічні головки та FM-передавальний вузол.

4.3.4 Під час першого запуску необхідно перевірити наявність стабілізованої напруги 3,3 В, роботу зарядного вузла, працездатність дисплея, підключення до Wi-Fi, відтворення аудіосигналу та можливість передавання сигналу на FM-передавач.

4.3.5 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

№ етапу	Назва етапу виконання КР	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	12.03.2026
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	14.03.2026
3	Аналіз існуючих систем інтернет-радіомовлення та пристроїв передавання аудіосигналу у FM-діапазоні	21.03.2026
4	Розробка структурної схеми системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем	23.03.2026
5	Розробка електричної принципової схеми пристрою	10.04.2026
6	Вибір та обґрунтування елементної бази системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем	12.04.2026
7	Розробка алгоритму роботи мікроконтролера та опис принципу функціонування пристрою	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 системи інтернет-радіомовлення з FM-передавачем	15.05.2026
11	Перевірка конструкції друкованої плати, уточнення посадкових місць та параметрів друкованого вузла	23.05.2026
12	Розробка конструкторської документації на систему інтернет-радіомовлення з FM-передавачем	03.06.2026
13	Розділ безпеки життєдіяльності, основ охорони праці	09.06.2026
14	Нормоконтроль	10.06.2026
15	Попередній захист кваліфікаційної роботи	11.06.2026
16	Перевірка роботи на антиплагіат	12.06.2026
17	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2026

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

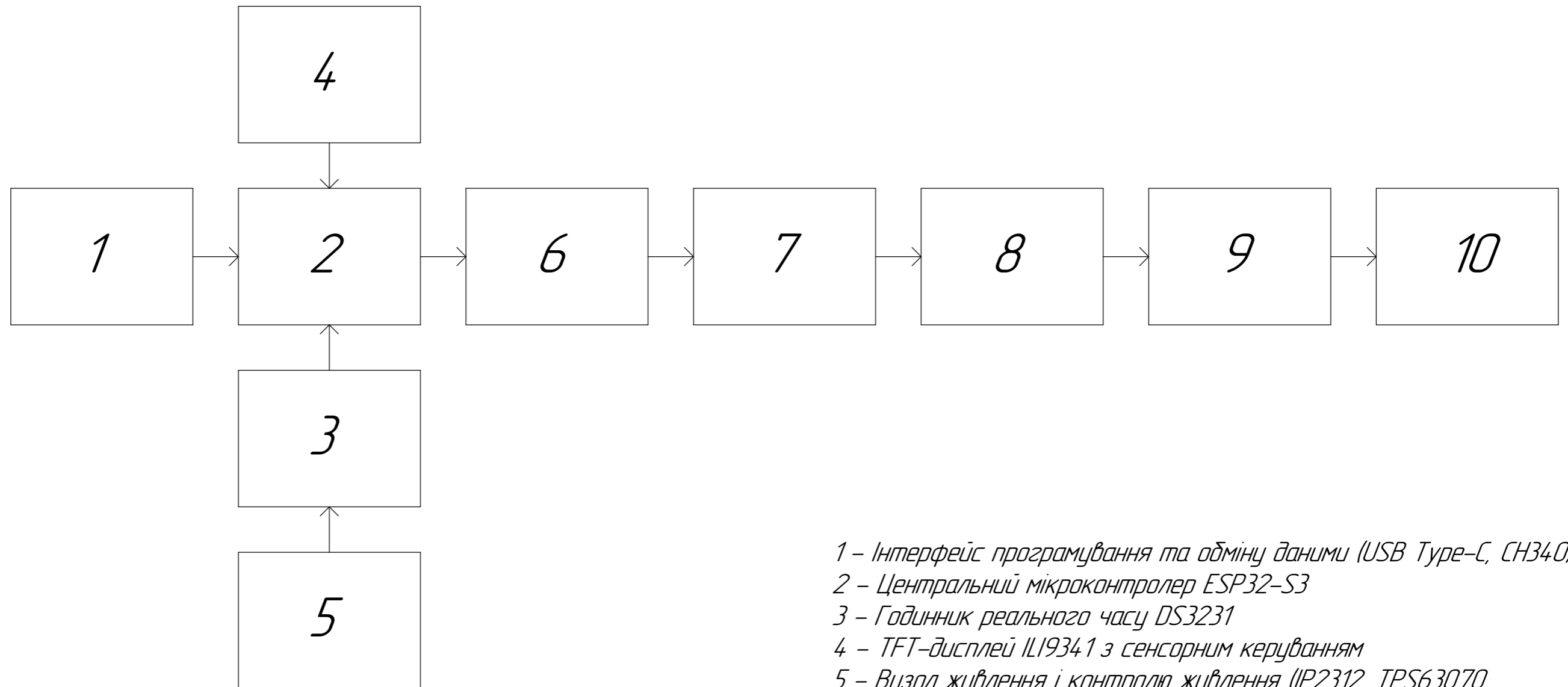
7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

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.

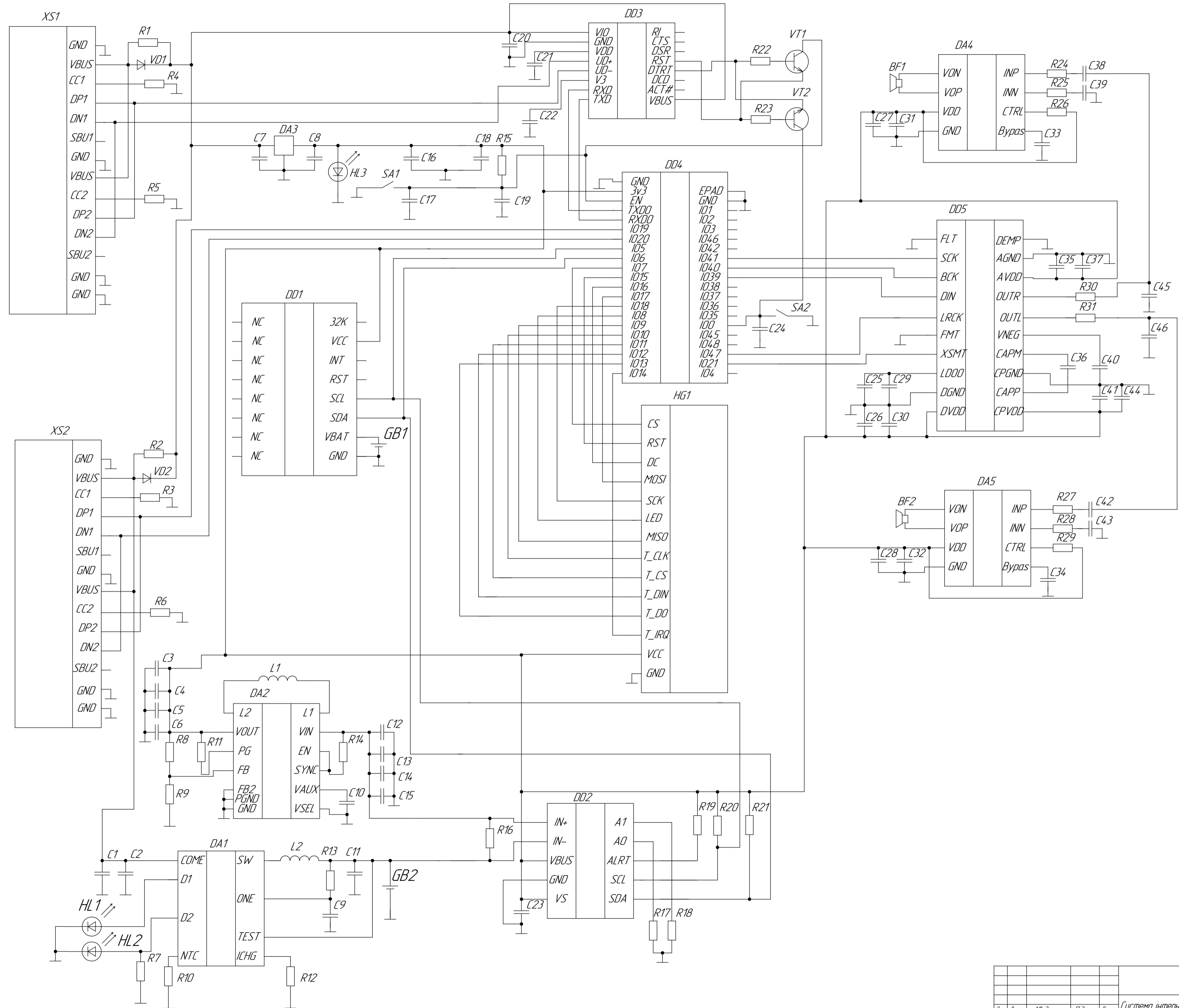
7.3 Остаточний склад конструкторської документації уточнюється під час виконання роботи відповідно до розробленої схеми, друкованого вузла та вимог кафедри.

ТДО 2.000.001 Е1



- 1 – Інтерфейс програмування та обміну даними (USB Type-C, CH340)
 2 – Центральний мікроконтролер ESP32-S3
 3 – Годинник реального часу DS3231
 4 – TFT-дисплей ILI9341 з сенсорним керуванням
 5 – Вузол живлення і контролю живлення (IP2312, TPS63070, акумулятор, INA226)
 6 – Цифро-аналоговий перетворювач PCM5100A
 7 – Підсилювач потужності звукової частоти NS4 150B
 8 – Динаміки
 9 – FM-передавач
 10 – Антена

					ТДО 2.000.001 Е1			
					Система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем Схема структурна	Літ.	Вага	Масштаб
Змн. Лист	№ докум.	Підпис	Дата				1:1	
Розроб.	Тетеря Д.О.							
Перевір.	Дедів І. Ю.							
Реценз.								
Н.контр.	Хвастівська Л.В.				Арк	Аркушів	1	
Затверд.	Дунець В.Л.				ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41			



ТДО 2.000.001 ЕЗ				Лист	Вага	Масштаб
Зм.	Лист	№ док.	Підпис	Дата		
Розроб.		Тетеря Д.О.				
Перевір.		Девід Ю.				
Реценз.						
Начальн.		Хвостівська Л.В.				
Затверд.		Щучень В.Г.				
Система інтернет-радіомовлення з FM-передавачем				Арх.	Архивів	1
Схема електрична принципова				ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-4.1		
Копія				Формат А1		

Перш ніж застосувати
Додаткова №
Підп. і дата
Зем. від. №
Лист № док.
Підп. і дата
Ім'я пр.

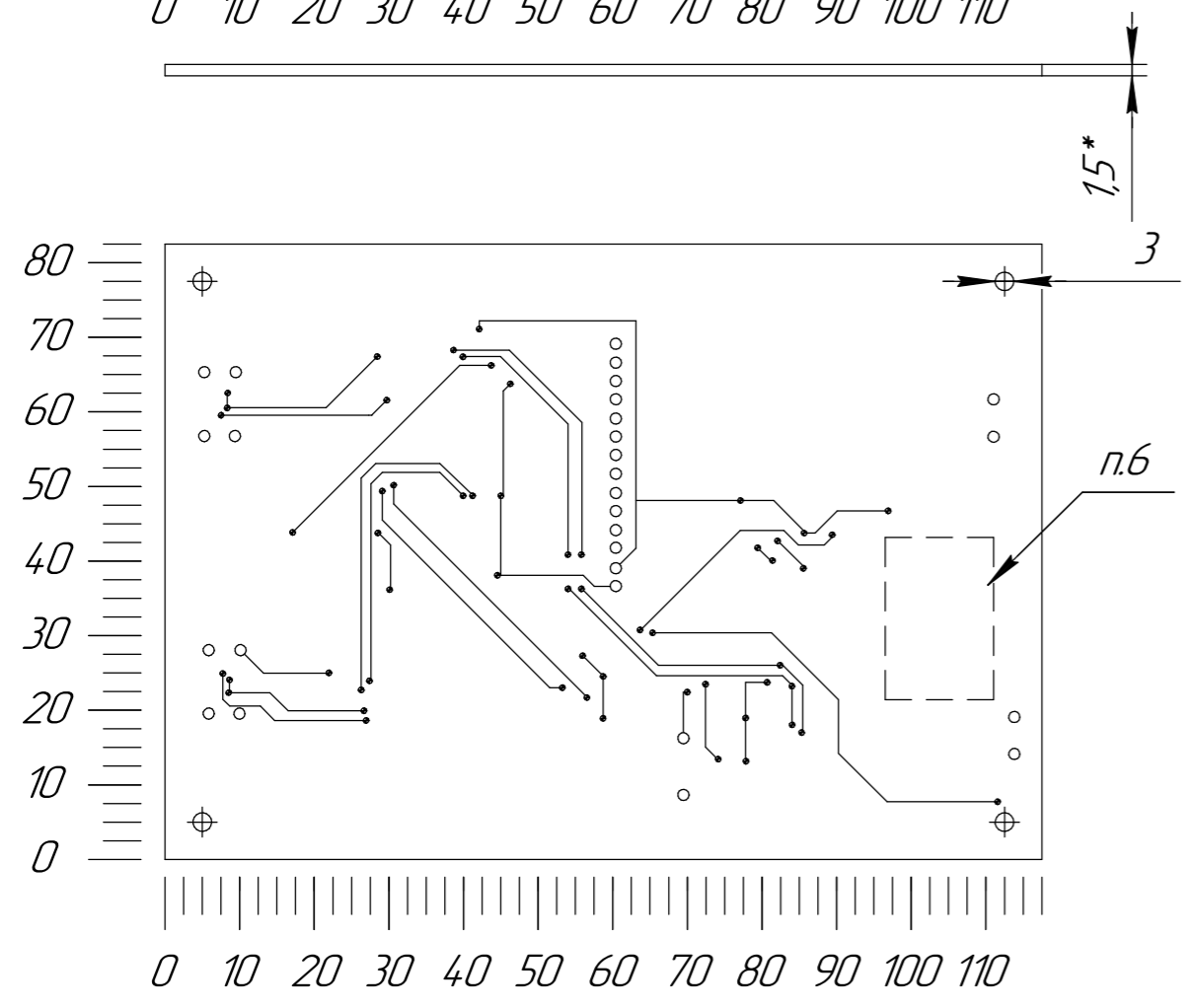
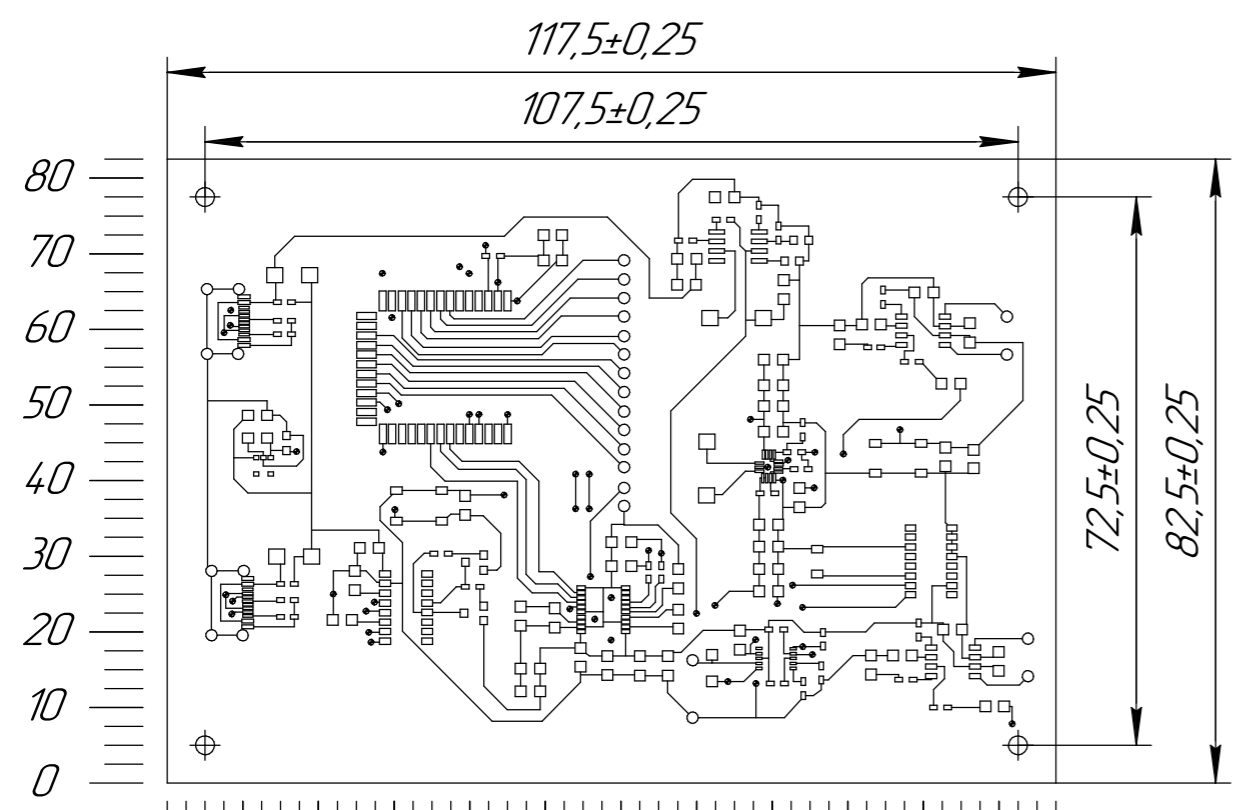
Позн.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Динаміки</u>		
BA1,BA2	8 Ом 5Вт 99x45x21мм "Waveshare"	2	
	<u>Конденсатори</u>		
C1,C2	MLCC-SMD/SMT 50V 1uF COG1206 ±10% "KEMET"	2	
C3	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C4-C6	MLCC-SMD/SMT 50V 10uF COG1206 ±10% "KEMET"	3	
C7,C8	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	2	
C9	MLCC-SMD/SMT 50V 1uF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C10	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C11	MLCC-SMD/SMT 50V 10uF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C12-C15	MLCC-SMD/SMT 50V 22uF COG1206 ±10% "KEMET"	4	
C16-C19	MLCC-SMD/SMT 50V 1uF COG1206 ±10% "KEMET"	4	
C20-C23	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	4	
C24	MLCC-SMD/SMT 50V 1uF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C25,C26	MLCC-SMD/SMT 50V 10uF COG1206 ±10% "KEMET"	2	
C27,C28	MLCC-SMD/SMT 50V 1uF COG1206 ±10% "KEMET"	2	
C29,C30	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	2	
C31,C32	MLCC-SMD/SMT 50V 1nF COG1206 ±10% "KEMET"	2	
C33,C34	MLCC-SMD/SMT 50V 1uF COG1206 ±10% "KEMET"	2	
C35	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C36	MLCC-SMD/SMT 50V 2.2uF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C37	MLCC-SMD/SMT 50V 10uF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C38,C39	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	2	
C40	MLCC-SMD/SMT 50V 2.2uF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C41-C43	MLCC-SMD/SMT 50V 100nF COG1206 ±10% "KEMET"	3	
C44	MLCC-SMD/SMT 50V 10uF COG1206 ±10% "KEMET"	1	
C45.C46	MLCC-SMD/SMT 50V 2.2uF COG1206 ±10% "KEMET"	2	

ТДО 2.000.001 ПЕ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Тетеря Д.О.			Система інтернет-радіомовлення з FM-передатвачем Перелік елементів	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Ледів І.Ю.					1	3
Реценз.						ТНТУ ім. І. Пулюя РАС-41		
Н. Контр.		Хвостівська/І.В.						
Затверд.		Дценець В.Л.						

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

ТДО 7.103.001



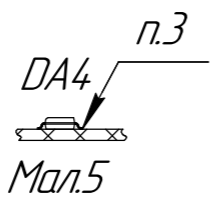
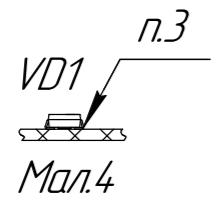
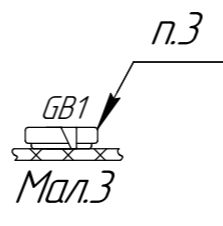
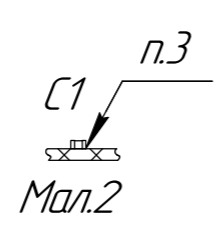
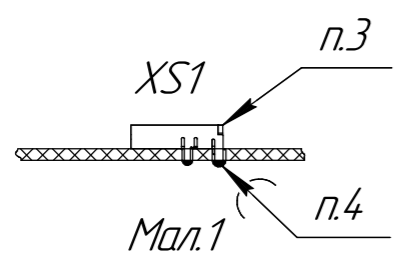
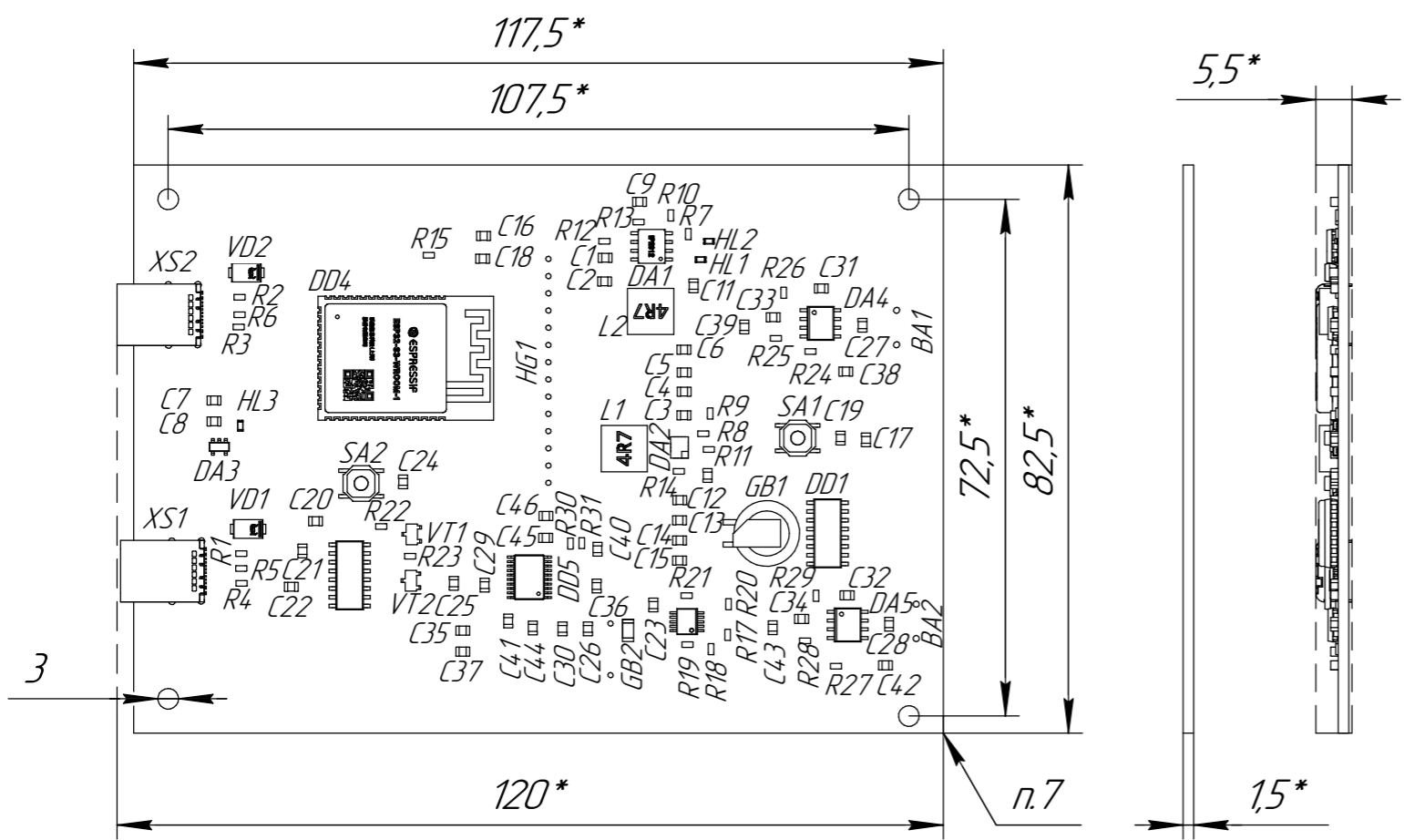
Таблиця отворів 1

Позначення отвору	Діаметр отвору	Діаметр конт. площадки	Наявність металізації	Кількість отворів
⊕	0,7	1,5	з метал.	58
○	1,1	2	з метал.	27

- *Розмір для довідок
- Плата повинна відповідати вимогам ДСТУ, клас точності 3 ДСТУ, крок координатної сітки 1,25мм.
- 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.

				ТДО 7.103.001			
Змн. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Друкована плата	Літ.	Вага	Масштаб
Розроб.	Тетеря Д.О.						1:1
Перевір.	Дедів І.Ю.				Арк	Аркушів	1
Реценз.					СФ1-35-15 ДСТУ 10316-78 ТНТУ ім. І. Пулюя РАС-41		
Н.контр.	Хвастівська Л.В.						
Затверд.	Дунець В.Л.						
				Копіявав			
				Формат А3			

ТДО 2.000.001 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 та варіантів встановлення у datasheet
4. Паїрка елементів виконувати у відповідності з ОСТ4ГО.054.267.
5. Паяти припоєм ПОС-61 ДСТУ 2784.
6. Різьбові з'єднання стопорити емаллю ПФ-115.
7. Друковану плату покрити лаком УР-231 ТУ 6-21-14-90.
8. Елементи схеми позначенням показані умовно.

				ТДО 2.000.001 СК			
Змн. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Друкований вузол системи інтернет-радіомовлення з FM-передатчиком Складальне креслення	Літ.	Вага	Масштаб
Розроб.	Тетеря Д.О.					0,24	1:1
Перевір.	Дедів І.Ю.				Арк	Аркушів	1
Реценз.							
Н.контр.	Хвастівська Л.В.						
Затверд.	Дунець В.Л.			СФ1-35-15 ДСТУ 10316-78			
				ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41			
				Копіював Формат А3			

Форм.	поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
			<u>Документація</u>		
A1		ТДО 2.000.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
A4		ТДО 2.000.001 ПЕ	Перелік елементів	4	
A3		ТДО 2.000.001 СК	Вузол друкований	1	
			<u>Деталі</u>		
A3	1	ТДО 7.103.001	Плата друкована	1	
			<u>Інші вироби</u>		
			<u>Динаміки</u>		
	5		8 Ом 5Вт 99x45x21мм "Waveshare"	2	BA1,BA2
			<u>Конденсатори</u>		
			COG1206 ±10% "KEMET"		
			MLCC-SMD/SMT 50V 1nF	2	C31,C32
			MLCC-SMD/SMT 50V 100nF	16	C3,C7,C8
					C10,C20-C23
					C29,C30,C35
					C38,C39
					C41-C43
			MLCC-SMD/SMT 50V 1µF	12	C1,C2,C9
					C16-C19
					C24,C27,C28
					C33,C34

ТДО 2.000.001				
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Тетеря Д.О.		
Перевір.		Дедів І.Ю.		
Реценз.				
Н.контр.		Хвостівська Л.В.		
Затверд.		Дунець В.Л.		
Специфікація			Літ.	Арк.
				1
			ТНТУ ім. І. Пулюя РАС-41	
			Арк.	3

