

Міністерство освіти і науки України
Відокремлений структурний підрозділ
«Тернопільський фаховий коледж
Тернопільського національного технічного університету імені Івана
Пулюя»

(повне найменування вищого навчального закладу)
відділення телекомунікацій та електронних систем
(назва відділення)
циклова комісія телекомунікацій та радіотехніки
(повна назва циклової комісії)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи

фаховий молодший бакалавр

(освітньо-професійний ступінь)

на тему: Розробка конструкції лабораторного стенду для вивчення
інтерфейсу I2C

Виконав: студент (ка) IV курсу, групи ТР-402

Спеціальність: 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма: «Конструювання, виробництво та
технічне обслуговування радіотехнічних пристроїв».

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Смоляк М. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Штогрин П.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

**Відокремлений структурний підрозділ
«Тернопільський фаховий коледж
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»
Відділення телекомунікацій та електронних систем
Циклова комісія телекомунікацій та радіотехніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень молодший спеціаліст
Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
Спеціалізація «Конструювання, виробництво та технічне обслуговування
радіотехнічних пристроїв».**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова циклової комісії
телекомунікацій та радіотехніки
_____ Ольга ВАСИЛИШИН
“20” _____ квітня 2026 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

_____ Смоляк Михайло Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Розробка конструкції лабораторного стенду для вивчення інтерфейсу I2C

керівник кваліфікаційної роботи _____ Штогрин Павло Ігорович _____,
(прізвище, ім'я, по батькові)

КР затверджені наказом закладу фахової передвищої освіти від 27.02.2026 року №4/9-133.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи: 16.06.2026 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

Напруга живлення 12В

Максимальний струм 830 мА

Максимальна вихідна потужність аудіо 5 Вт

Габаритні розміри 250×320 мм

Вага 1,3 кг

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Анотація

Вступ. Призначення і область застосування радіопристрою

Розділ 1 Загальна частина

1.1 Розробка технічного завдання

1.2 Вибір і опис структурної схеми виробу

1.3 Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз

Розділ 2 Спеціальна частина

2.1 Розрахунково-конструкторська частина

2.1.1 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покриттів

2.1.2 Обґрунтування вибору конструкції.

- 2.1.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази
- 2.1.4 Опис програми мікроконтролера
- 2.1.5 Опис конструкції друкованої плати
- 2.1.6 Розрахунок надійності проектного виробу
- 2.1.7 Техніко-економічний аналіз конструкції виробу
- 2.2 Технологічна частина
 - 2.2.1 Загальні відомості про складання і монтаж проектного виробу. Вибір типу технології
 - 2.2.2 Якісна оцінка технологічності конструкції
 - 2.2.3 Опис технології виготовлення друкованої плати. Вибір основних та допоміжних матеріалів
 - 2.2.4 Розробка і оформлення маршрутно-операційної технології складання і монтажу виробу
- Розділ 3 Економічна частина
 - 3.1 Розрахунок обсягу інвестицій, необхідних для реалізації проектних рішень.
 - 3.2 Розрахунок собівартості продукції.
 - 3.3 Оцінка економічної ефективності та доцільності впровадження проектних рішень.
- Розділ 4 Охорона праці
 - 4.1 Відповідальність за порушення законодавства про охорону праці.
 - 4.2 Призначення та класифікація систем вентиляції.
- Висновки
- Перелік посилань
- Додатки

Додаткові вказівки:

Виконання проекту (з виготовленням макета, стенда, приладу і т.д.)

3. ВИГОТОВЛЕННЯМ МАКЕТА

- 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 - Аркуш №1 Схема електрична принципова
 - Аркуш №2 Схема електрична структурна або функціональна (при необхідності)
 - Аркуш №3 Креслення плати друкованої
 - Аркуш №4 Складальне креслення друкованого вузла
 - Аркуш №5 Таблиця ТЕП

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	Оксана КУЩАК		
Охорона праці	Генадій ГОРЯЧИК		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Отримання і аналіз технічного завдання	05.05	
2	Збір і узагальнення інформації по проекту	13.05	
3	Написання першого розділу	25.05	
4	Розробка технічного та робочого проекту	29.05	
5	Написання спеціального розділу	29.05	
6	Розрахунок економічної частини	25.05	
7	Написання розділу охорони праці	26.05	
8	Виконання графічної частини	19.05	
9	Оформлення проекту	08.06	
10	Погодження нормоконтролю	12.06	
11	Попередній захист проекту	16.06	
12	Захист проекту		

7. Дата видачі завдання 20 квітня 2026р.

Студент

(підпис)

Смоляк М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Штогрин П.І.

ЗМІСТ

Анотація.....	7
Вступ. Призначення і область застосування радіопристрою.....	9
Розділ 1 Загальна частина.....	10
1.1 Розробка технічного завдання.....	10
1.2 Вибір і опис структурної схеми виробу.....	11
1.3 Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз.....	12
Розділ 2 Спеціальна частина.....	17
2.1 Розрахунково-конструкторська частина.....	17
2.1.1 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покриттів.....	17
2.1.2 Обґрунтування вибору конструкції.....	18
2.1.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази.....	19
2.1.4 Опис програми мікроконтролера.....	38
2.1.5 Опис конструкції друкованої плати.....	55
2.1.6 Розрахунок надійності проектного виробу	55
2.1.7 Техніко-економічний аналіз конструкції виробу.....	57
2.2 Технологічна частина.....	59
2.2.1 Загальні відомості про складання і монтаж проектного виробу. Вибір типу технології.....	59
2.2.2 Якісна оцінка технологічності конструкції.....	60
2.2.3 Опис технології виготовлення друкованої плати. Вибір основних та допоміжних матеріалів.....	61
2.2.4 Розробка і оформлення маршрутної технології складання і монтажу виробу.....	63

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ		
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата			
Виконав	Смоляк М. В.				Розробка конструкції лабораторного стенду для вивчення інтерфейсу I2C Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш
Перевірив	Штогрин П. І.						Аркушів
Реценз.							
Н. Контр	Задорожний В.Ю.					5	92
Затверд.						ВСП "ТФК ТНТУ" ТР-402 м.Тернопіль	

Розділ 3 Економічна частина.....	65
3.1 Розрахунок обсягу інвестицій, необхідних для реалізації проектних рішень.....	65
3.2 Розрахунок собівартості продукції.....	67
3.3 Оцінка економічної ефективності та доцільності впровадження проектних рішень.....	73
Розділ 4 Охорона праці.....	78
4.1 Відповідальність за порушення законодавства про охорону праці.....	78
4.2 Призначення та класифікація систем вентиляції.....	82
Висновки.....	89
Перелік посилань.....	90
ДОДАТКИ	

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АНОТАЦІЯ

Смоляк М.В. Розробка конструкції лабораторного стенду для вивчення інтерфейсу I2C: кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-професійного ступеня фаховий молодший бакалавр, за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка. Тернопіль: ВСП «ТФК ТНТУ», 2026.

Тема дипломного проекту - розробка конструкції лабораторного стенду для вивчення інтерфейсу I2C. Проектований виріб є навчальним стендом на основі мікроконтролера ATmega8, призначеним для практичного освоєння принципів роботи послідовного інтерфейсу I2C. Конструкція виконана у безкорпусному варіанті на ДСП-основі.

До дипломного проекту належать наступні частини: детальний підбір та аналіз необхідної електричної принципової схеми, обґрунтування конструкторсько-технологічних рішень, розрахунок параметрів друкованого монтажу, створення програми мікроконтролера, економічні розрахунки та розділ охорони праці.

В процесі розробки топології друкованої плати було використано сучасне середовище САПР Altium Designer - на етапі проектування схеми електричної принципової та розробки топології друкованої плати. Для виготовлення плати обґрунтовано застосування хімічного комбінованого методу травлення.

Ключові слова: лабораторний стенд, інтерфейс I2C, мікроконтролер, аудіопроцесор, плата друкована, елементна база.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Smolyak M.V. Development of a Laboratory Stand Design for Studying the I2C Interface: qualification work for the educational and professional degree of Professional Junior Bachelor, specialty 172 – Telecommunications and Radio Engineering. Ternopil: VSP "TFK TNTU", 2026.

The subject of the diploma project is the development of a laboratory stand design for studying the I2C interface. The designed unit is an educational stand based on the ATmega8 microcontroller, intended for hands-on mastering of the operating principles of the I2C serial interface. The construction is implemented in a caseless configuration on a chipboard base.

The diploma project includes the following sections: detailed selection and analysis of the required electrical schematic, justification of design and technological decisions, calculation of printed circuit board parameters, development of the microcontroller program, economic calculations, and a labor protection section.

During the development of the PCB layout, the modern CAD environment Altium Designer was used at the stages of schematic design and PCB layout development. The chemical combined etching method has been justified for board fabrication.

Keywords: laboratory stand, I2C interface, microcontroller, audio processor, printed circuit board, component base.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ. Призначення і область застосування радіопристрою

Проектований виріб є мікропроцесорною системою відтворення та обробки аудіосигналу з цифровим керуванням. Пристрій призначений для прийому радіосигналів у FM-діапазоні, комутації зовнішніх стереосигналів, їхньої цифрової обробки (регулювання гучності, тембру, балансу) та подальшого посилення для відтворення через акустичні системи.

Основними функціональними можливостями пристрою є:

- Цифровий радіоприйом у діапазоні FM за допомогою інтегрованого модуля RDA7805.
- Попередня обробка звуку (аудіопроцесор TDA7315) з керуванням по шині I2C.
- Підсилення потужності звукової частоти (клас D, мікросхема TPA3110) для роботи на динамічні головки потужністю до 5 Вт на канал.
- Візуалізація робочих параметрів на рідкокристалічному дисплеї (LCD 1602) через розширювач портів PCF8574AT.
- Можливість розробки та налагодження програмного забезпечення "на борту" завдяки вбудованому USB-програмуєру на базі ATmega8.

Область застосування:

Завдяки модульній структурі та широкому функціоналу, виріб має наступні сфери застосування:

- Побутова електроніка: як основа для створення стаціонарного радіоприймача, активної акустичної системи або медіацентру початкового рівня.
- Навчальний процес: як лабораторний стенд для вивчення архітектури мікроконтролерів AVR, принципів роботи шини I2C, побудови підсилювачів класу D та систем цифрового радіоприйому.
- Системи оповіщення: у складі локальних систем гучномовного зв'язку або автоматизованих систем відтворення голосових повідомлень у приміщеннях.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Розробка технічного завдання

Даний пристрій розробляється як багатофункціональний модуль, призначений для комутації та цифрового регулювання параметрів звуку (гучності, тембру, балансу), його подальшого підсилення, а також прийому радіосигналів. Також прилад призначений для використання у навчальному процесі як лабораторний стенд для дослідження послідовних інтерфейсів передачі даних шини I2C та архітектури 8-бітних мікроконтролерів AVR. Пристрій повинен експлуатуватися в умовах закритих приміщень за нормальних кліматичних умов

На основі аналізу схемотехнічних рішень та використаної елементної бази, пристрій має наступні параметри:

Таблиця 1.1 – Технічні параметри

Параметр	Значення
Номінальна напруга живлення	12 В
Напруги внутрішніх шин живлення	9 В, 5 В, 3.3 В
Тип архітектури керування	Мікропроцесорна (AVR 8-bit)
Максимальна вихідна потужність аудіо (на канал)	5 Вт
Клас підсилювача потужності	D
Діапазон частот радіоприймача	FM (76-108 МГц)
Інтерфейс зв'язку між модулями	I2C
Пристрій візуалізації	LCD 1602 (символьний, 2 рядки по 16 знаків)
Інтерфейс програмування	USB (через вбудований перетворювач USB-ISP)
Максимальний струм	830 мА
Габаритні розміри	250×320 мм
Вага	1,3 кг

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

10

1.2 Вибір і опис структурної схеми виробу

Структурна електрична схема пристрою зображена на рисунку 1.1.

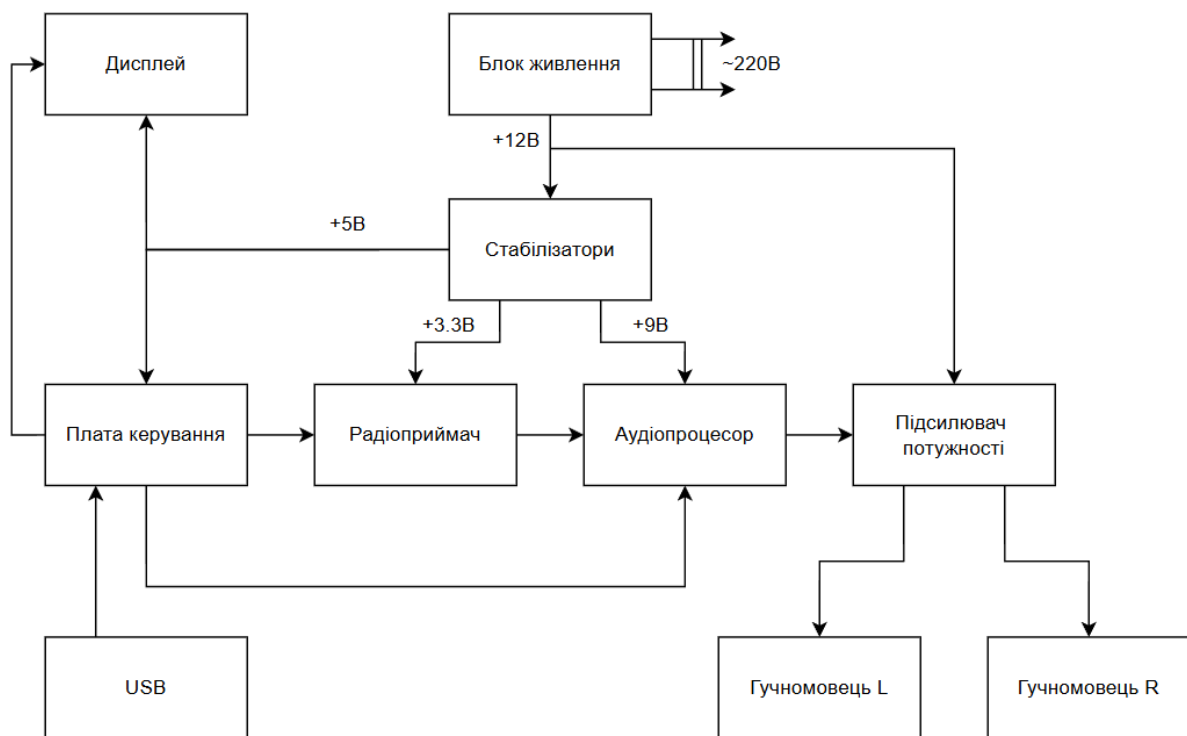


Рисунок 1.1 - Схема електрична структурна

Основу пристрою становить плата керування, якв виконує функції керування периферійними модулями, обробки команд користувача та управління режимами роботи системи через цифровий інтерфейс I2C.

Подача живлення здійснюється зовнішнім джерелом 12 В. Після чого стабілізатори корегують робочі напруги до значень 5 В, 9 В та 3,3 В, в необхідних для живлення пристроїв.

Для програмування мікроконтролера на платі передбачено вбудований програматор на базі мікроконтролера ATmega8, який виконує функцію перетворювача USB-ISP. Завантаження програми здійснюється через роз'єм USB без використання зовнішнього програматора.

Оброблений аудіосигнал лівого та правого каналів з виходу аудіопроцесора надходить на підсилювач потужності класу D, який живиться напругою 12 В та забезпечує вихідну потужність 5 Вт. До виходів підсилювача підключені два гучномовці опором навантаження 5 Вт кожен.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

11

Система призначена для використання у навчальних середовищах, має модульну структуру і може застосовуватись забезпечуючи якісне відтворення радіосигналу з програмним керуванням параметрами звуку.

1.3 Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз.

Робота пристрою базується на взаємодії центрального мікроконтролера з периферійними модулями по цифровій шині. Мікроконтролер DD1 Atmega8 ми програмуємо, він підключається до інших пристроїв для дослідження їх роботи. Живиться від 5В через конектор XS3. Для індикації наявності живлення призначений світлодіод HL4 з струмообмежуючим резистором R11. Конденсатори C11 і C13 виконують роль фільтрації напруги живлення по високих і низьких частотах. Для можливості тактування мікроконтролера передбачено резонатор ZQ1, який підключений до виводів мікроконтроллера PB6, PB7 за допомогою перемички. До кола задавання частоти входять конденсатори C2, C3. Для того щоб підключати зовнішні пристрої всі лінії вводу-виводу портів В, С, і D з'єднані з відповідними штирьовими роз'ємами: XP3 це порт С, XP10 це порт В, і XP9 це порт D. Кнопка S1 дозволяє здійснити скидання мікроконтролера. Для підвищення надійності роботи здійснена зовнішня підтяжка до напруги живлення виводу RES резистором R1 опором 10кОм. Безпосередньо біля виводів живлення мікроконтроллера розміщені конденсатори фільтрації імпульсних завад C6, C4. C6 біля виводу подавання основної напруги живлення. І C4 біля виводу подавання напруги живлення аналогової частини, ємністю 1мкФ кожний. Також для додаткової фільтрації передбачений дросель ємністю 10мкГн в колі напруги живлення аналогової частини, через який вивід AVCC підключений до основної напруги живлення 5В.

Для програмування мікроконтроллера на цій платі є ще один мікроконтролер, також Atmega 8 - це DD2. В який завантажена прошивка програматора. Він підключається до основного мікроконтроллера через інтерфейс SPI (роз'єм XP6). Відповідна з'єднувачі можна роз'єднати і тоді порти

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроконтролера будуть працювати в нормальному режимі, і програматор на них впливати не буде. Зі сторони мікроконтролера програматора відповідні лінії програмування включені через обмежувальні резистори (R12, R13, R14, R15, R16) опором 330 Ом. Фактично програматор виконує роль перетворювача USB ISP. Програма завантажується для основного мікроконтролера через гніздо USB. Дані спочатку подаються на мікроконтролер програматора, а через нього вже завантажуються в пам'ять робочого мікроконтролера DD1. Резистори R2, R3 опором 68 Ом і резистори R6, R7 опором 1,5 кОм і 1 МОм - утворюють стандартну схему включення USB інтерфейсу. Живиться мікроконтролер програматора не від загальної напруги живлення, а від напруги живлення порта USB, яка подається з контакту 1 роз'єму XS1, через 2 послідовно включених діода, і в колі живлення включений фільтрувальний конденсатор C1 ємністю 0.1 мкФ. Тактування мікроконтролера програматора відбувається за допомогою кварцового резонатора ZQ2 з частотою 12 МГц. Роботу схеми тактування забезпечують конденсатори C7, C8 ємністю 22 пФ. Світлодіоди HL1, HL2 призначені для індикації передавання даних під час запису (HL2 позначений як RW) і під час зчитування в процесі перевірки коректності завантаження програми (HL1 позначений як RD). Світлодіод HL3 здійснює індикацію напруги живлення, фактично підключення програматора до USB. Для підтягування напруги на виводі RES до напруги живлення призначений резистор R8. Роз'єм XP15 призначений для вибору режиму роботи мікроконтролера програматора. Це може бути або робочий режим, коли прошивка мікроконтролера завантажена і він працює як перетворювач USB ISP, і через нього програма завантажується в робочий мікроконтролер DD1. Для того щоб перезавантажити прошивку самого програматора DD2, потрібно мікроконтролер треба перепрограмувати через роз'єм XP20, через ISP, підключати його до другого програматора. XP15 окрема треба перевести в режим програмування змінивши положення перемички, і тоді завантажити в нього прошивку через роз'єм XP20.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Плата дисплея з інтерфейсом I2C. Для того щоб можна було підключати дисплей 1602 до шини I2C він підключений через плату розширювача портів на мікросхемі PCF8574AT, яка здійснює приймання байтів по шині I2C і видачу значення того байту на свої порти від P0 до P7. 8 ліній вводу-виводу вистачає для того щоб підключити чотирьох розрядну шину до дисплея. Тобто він тоді може працювати тільки в 4-ри розрядному режимі. Підключити можна 3 лінії керування: команди/дані, запис/зчитування, і струм/імпульс. І крім того можна ще програмно керувати прошивкою підсвічуванням дисплея (До порта P3 підключений транзисторний ключ VT1, якщо на виводі P3 встановлена логічна одиниця то тоді транзистор VT1 відкритий і через нього струм, замикається коло протікання струму через схему підсвічування, і ми маємо підсвічування індикатора. Якщо потрібно примусово вимкнути підсвічування незалежно від того чи є сигнал керування включення підсвічення чи не, потрібно зняти перемичку JP4, і тоді живлення на схему підсвічування взагалі не подається, команда включення/виключення підсвічування не буде мати ефекту). Резистор R7 здійснює регулювання контрастності зображення на екрані дисплея, напруга живлення 5В подається на контакт VCC плати. світлодіод HL1 призначений для індикації напруги живлення. Резистори R2, R3 опором 4.7 кОм здійснюють підтягування ліній SDA і SCL шини I2C до напруги живлення згідно стандартної схеми включення. До виводів A0, A1, A2 мікросхеми розширювача портів підключається або напруга живлення через підтягувальний резистор R4, R5, R6 відповідно, або ці виводи підключаються до спільного провідника за допомогою перемичок JP1, JP2, JP3. Таким чином ми можемо встановлювати 8 різних значень адреси A0, A1, A2, якщо на шині повинно бути кілька таких мікросхем. Але в даному конкретному випадку всі ці виводи підключені до напруги живлення, перемички відсутні. Конденсатор C1 виконує роль фільтра імпульсних завад в колі живлення.

Плата аудіопроцесора TDA7315. Її також потрібно підключати по шині I2C. Має 2 входи стереосигналу, який підключається до аудіопроцесора через

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розділові конденсатори C1, C2 ємністю 2.2 мкФ. Виводи SDA і SCL підключаються до шини I2C і мікроконтролера. Виходи OUTL і OUTR лівого і правого каналу відповідно підключаються до входів плати підсилювача потужності.

В якості підсилювача потужності використовується широко розповсюджений підсилювач потужності класу D TPA3110. Рекомендована напруга живлення 8В - 26В. В проекті буде використовуватися напруга живлення 12В від зовнішнього блоку живлення. До виходу підсилювача підключаються 2 гучномовці потужністю 5Вт кожен. Існує можливість програмно керувати переходом в режим очікування напругою на виводі CON2 STBY, і про відповідний режим свідчить світлодіод HL1. А HL2 - це індикатор живлення. Всі елементи підключаються стандартно.

Радіоприймач RDA7805. Це повністю інтегрований в одну мікросхему радіоприймач діапазону FM. Практично не потребує зовнішніх елементів крім кварцового резонатора, на частоту 32768Гц, і кількох конденсаторів. Конденсатор C1 виконує роль розділового конденсатора між входом приймача і антеною. Конденсатор C4 здійснює фільтрацію імпульсних завад в колі живлення. Напруга живлення мікросхеми 3.3В. Конденсатори C2, C3 потрібні для роботи вихідного підсилювача мікросхеми. Через резистори R3, R4 сигнали лівого і правого каналів відповідно поступають на вхід підсилювача звукової частоти. Приймач має стереодекодер вбудований, тому при наявності сигналу з стерео звуком він буде присутній на виході. Якщо передається звичайний звуковий сигнал монофонічний то тоді на виходах L і R будуть одні і ті самі сигнали. Резистори R1 і R2 здійснюють підтягування ліній шини I2C, що відповідає стандартному включенню. Напруга живлення, яка подається на резистори підтягування 5В.

На окремій платі зібрані понижуючі стабілізатори, які забезпечують напругу живлення аудіопроцесора TDA7315, напруга 9В, стабілізатор L7809. Напруга живлення 5В для мікроконтролера плати керування, забезпечується

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стабілізатором L7805. І напругу 3.3В для живлення мікросхеми ФМ-радіоприймача, забезпечується стабілізатором LD1117V33. Вхідною напругою для всіх стабілізаторів є напруга з блока живлення 12В, яка також живить підсилювач потужності звукової частоти.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунково-конструкторська частина

2.1.1 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покрить

У верхній лівій частині стенду розміщено гучномовець, другий гучномовець розміщено у верхній правій частині. Між ними встановлено блок живлення з вхідною напругою 220В та вихідною 12В. У центральній частині встановлено плату підсилювача потужності ТРА3110 з радіатором. У нижній центральній частині стенду розміщено плату керування на базі мікроконтролера АТmega8, а у нижній правій частині - символний дисплей 1602 з підсвічуванням. З'єднання між модулями виконано проводами.

Плата керування виготовлена методом хімічного травлення на односторонньому фольгованому склотекстоліті FR4. На платі розміщені два мікроконтролери АТmega8 у корпусі DIP-28, роз'єм USB типу В для підключення програматора, кварцові резонатори, світлодіоди індикації, резистори, конденсатори та роз'єми для підключення зовнішніх модулів.

Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покрить:

Для виготовлення друкованої плати обрано односторонній фольгований склотекстоліт марки FR4 завтовшки 1,5 мм. Даний матеріал має високі діелектричні властивості, достатню механічну міцність та стійкість до дії хімічних реагентів, що використовуються при травленні. Товщина мідної фольги складає 35 мкм.

Провідники плати вкриті шаром припою методом лудіння, що забезпечує захист від окислення та покращує якість паяння компонентів. Для монтажу компонентів використано каніфольний флюс АТІ-120 та припій ПОС-61,

Основа стенду виконана з деревини, покритої лаком, що забезпечує електричну ізоляцію від елементів схеми та естетичний вигляд виробу. Деревина обрана як конструкційний матеріал завдяки доступності, легкості обробки та достатній міцності для утримання всіх модулів пристрою.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.2 Обґрунтування вибору конструкції

Проектований виріб є лабораторним навчальним стендом, призначеним для використання в навчальних цілях. Головною конструктивною особливістю є повна відсутність захисного корпусу, що забезпечує візуальну доступність усіх вузлів схеми та спрощує процес демонстрації принципів роботи пристрою. Основою стенду є деревно-стружкова плита ДСП розміром 320×250 мм завтовшки 15 мм, на якій закріплені всі функціональні модулі системи.

Зважаючи на вузькоспеціалізоване призначення проектованого виробу як навчального для коледжу, програма випуску стенду характеризується як одинична. Такий обсяг виробництва безпосередньо впливає на вибір технологічних рішень, тому зважаючи на призначення, виріб було спроектовано з порушенням принципів конструювання.

Основним конструктивним рішенням, зумовленим малою програмою випуску та потребою у максимальній наочності, є відмова від виготовлення індивідуального захисного корпусу. Замість складного у виробництві пластикового або металевого кожуха, що потребував би значних витрат на проектування прес-форм чи гнуття металу, у конструкції використано основу з деревностружкової дошки.

Тип виробництва визначає метод складання як стаціонарний, за якого всі операції - від пайки друкованої плати до фінального закріплення вузлів на дерев'яній основі - виконуються на одному робочому місці. Використання наскрізного ТНТ-монтажу та рознімних штирьових з'єднань у межах такої програми випуску є економічно доцільним, оскільки вони забезпечують високу ремонтпридатність та можливість ручної корекції схеми без ризику пошкодження матеріалів. Спрощена конструкція стенда дозволяє мінімізувати виробничий цикл, зосередивши основні зусилля на контрольно-діагностичних операціях, що гарантує надійність кожної випущеної одиниці обладнання.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Під час добору елементної бази для розроблення виробу необхідно враховувати низку ключових критеріїв. Це є доступність деталей у виробництві, дотримання технічних вимог до конструкції, економічна доцільність використання, уніфікованість радіоелементів, стабільність їхніх характеристик.

Резистори:

Таблиця 2.1 – Резистори типу CF-25

Позиційне позначення	R1-R27
Виробник	Taiwan
Назва та тип компонента	резистор типу CF-25
Критерії вибору	Номінальний опір та допустиме відхилення, максимальна потужність розсіювання для запобігання перегріву, гранична робоча напруга, стабільність параметрів при зміні температури, тип конструктивного виконання, матеріал резистивного шару, стійкість до механічних навантажень при експлуатації без корпусу, наявність кольорового маркування.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.1
Параметри та характеристики	
Номінальна потужність	0,125Вт
Допустиме відхилення опору	±10%
Максимальна робоча напруга	250В
Діапазон робочих температур	Від -60 °С до

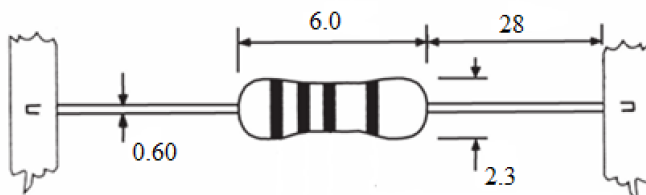


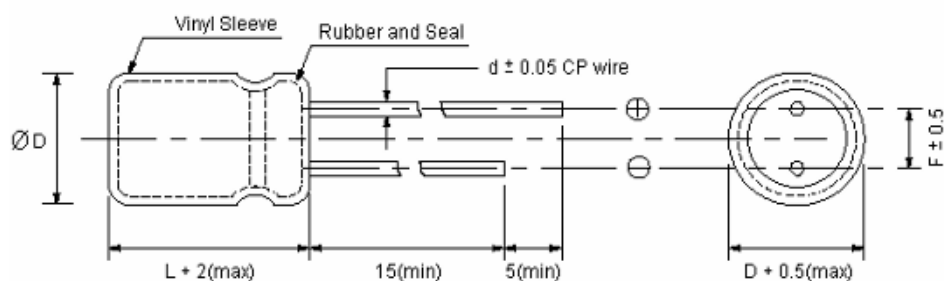
Рисунок 2.1 - Габаритні розміри резистора типу CF-25 виробника фірми «Taiwan»

Конденсатор:

Вибір обумовлений їхньою високою надійністю, стабільністю ємності та розширеним робочим температурним діапазоном. Конструктивне виконання з радіальними виводами забезпечуючи надійне механічне кріплення методом наскрізного монтажу.

Таблиця 2.2 – Конденсатори типу ECAP-RD

Позиційне позначення	C10, C13
Виробник	Samwha Electric
Назва та тип компонента	конденсатор типу ECAP-RD
Критерії вибору	Номінальна ємність для фільтрації низькочастотних завад, робоча напруга з запасом не менше 20% від напруги живлення, температурний діапазон, механічна стійкість корпусу до вібрацій та зовнішніх дотиків, наявність запобіжного клапана на торці для безпечного виходу газів при перевантаженні, термін служби.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.2
Параметри та характеристики	
Допуск ємності (120 Гц, 25°C)	±20 %
Номінальна робоча напруга	160–400 В; 450 В
Робоча температура	–40°C ... +105°C
Струм витoku (25°C)	$I \leq 0,06CV + 10$
Імпульсна напруга	200–500 В
Коефіцієнт втрат (120 Гц, 25°C)	0,15–0,24



розміри в мм

Рисунок 2.2 - Габаритні розміри конденсаторів типу ECAP-RD виробника фірми «Samwha Electric»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

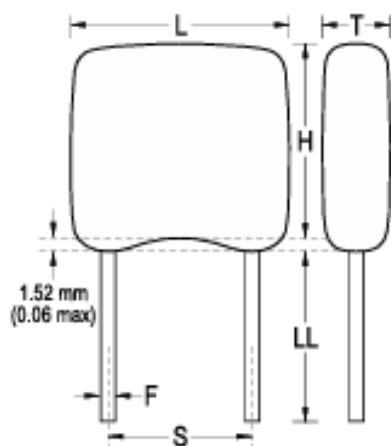
20

Конденсатор керамічний:

Вибір даного компонентів обумовлений їхніми низькими значеннями власної індуктивності та стабільністю ємності при зміні частоти.

Таблиця 2.3 – Керамічні конденсатори

Позиційне позначення	C1-C9, C11, C12
Виробник	КЕМЕТ
Назва та тип компонента	Конденсатор керамічний
Критерії вибору	Номінальна ємність для шунтування високочастотних завад, тип діелектрика, низька власна індуктивність, робоча напруга, допустиме відхилення ємності, виконання для наскрізного монтажу, мінімальні діелектричні втрати, стійкість до температурних коливань.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.3
Параметри та характеристики	
Ємність	22 пФ
Робоча напруга	200 В
Допуск	±10 %
Температурний діапазон	−55°C ... +125°C
Коефіцієнт втрат	0,1 %
Опір ізоляції	100 ГОм
Пробивна напруга	500 В



L	3.81
H	3.14
T	2.54
S	2.54
LL	7
F	0.51

розміри в мм

Рисунок 2.3 - Габаритні розміри конденсатора керамічного фірми «КЕМЕТ»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

21

USB роз'єм B-type:

Для підключення пристрою до персонального комп'ютера та подачі напруги живлення на вузол програматора DD1 обрано роз'єм USB типу B.

Таблиця 2.4 – Роз'єм USB B-type

Позиційне позначення	XS1
Виробник	Omron
Назва та тип компонента	USB 2.0 Full Speed
Критерії вибору	Швидкість передачі даних, тип фізичного роз'єму USB Type-B, номінальний струм живлення, хвильовий опір диференціальної пари, наявність захисного екрану для мінімізації електромагнітних завад, позолочені або нікельовані контакти для запобігання окисленню на відкритому повітрі, температурний діапазон експлуатації.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.4
Параметри та характеристики	
Номінальний струм	1 А
Номінальна напруга	30 В AC
Контактний опір	не більше 30 Ом
Опір ізоляції	не менше 1000
Електрична міцність	750 В AC
Зносостійкість	1500 циклів

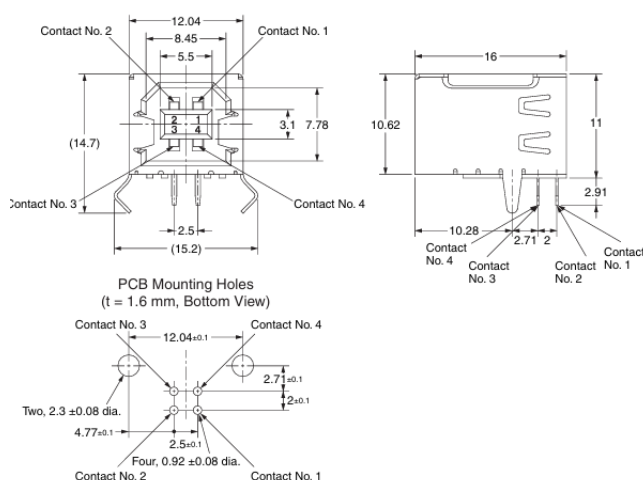


Рисунок 2.4 - Габаритні розміри USB B-type фірми «Omron»

Кнопка:

Для реалізації функції ручного скидання мікроконтролерів обрано кнопку, яка розрахована на монтаж у наскрізні отвори. Контакти кнопки виготовлені з мідного сплаву.

Таблиця 2.5 – Кнопка

Позиційне позначення	SA1
Виробник	Mountain Switch
Назва та тип компонента	Кнопка
Критерії вибору	Тип комутації, максимальний робочий струм та напруга, зусилля натискання, ресурс кількості натискань, конструктивне виконання для наскрізного монтажу, опір контактів у замкненому стані, наявність захисту від бруду та пилу, стійкість матеріалу корпусу до нагрівання при пайці.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.5
Параметри та характеристики	
Механічний ресурс	не менше 300 000 циклів
Робоча температура	від -25°C до +70°C
Номінальний струм/напруга	50mA / 12V DC
Опір контактів	макс. 100 МОм
Опір ізоляції	мін. 100 МОм
Діелектрична міцність	250V AC протягом 1

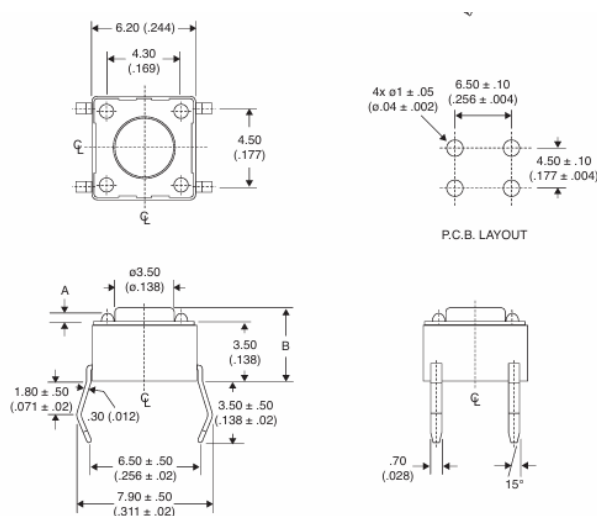


Рисунок 2.5 - Габаритні розміри кнопки «Mountain»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 KP 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

23

Котушка:

Для фільтрації напруги живлення аналогового каскаду мікроконтролера та придушення високочастотних завад обрано котушку індуктивності з номінальною індуктивністю 10 мкГн. Висока добротність та низький активний опір обмотки мінімізують падіння напруги, що є забезпечує стабільну опорну напругу АЦП. Використання феритового осердя з високою магнітною проникністю дозволило отримати необхідні параметри фільтрації.

Таблиця 2.6 – Котушка

Позиційне позначення	L1
Виробник	Würth electronics
Назва та тип компонента	Котушка
Критерії вибору	Номінальна індуктивність, максимальний робочий струм, низький активний опір обмотки, тип осердя, тип конструктивного виконання, робочий діапазон частот, стабільність параметрів, якість дроту, стійкість до вібрацій та механічних впливів.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.6
Параметри та характеристики	
Індуктивність	10,0 мкГн
Опір постійному струму	10,0 мОм
Номінальний струм	10,0 А

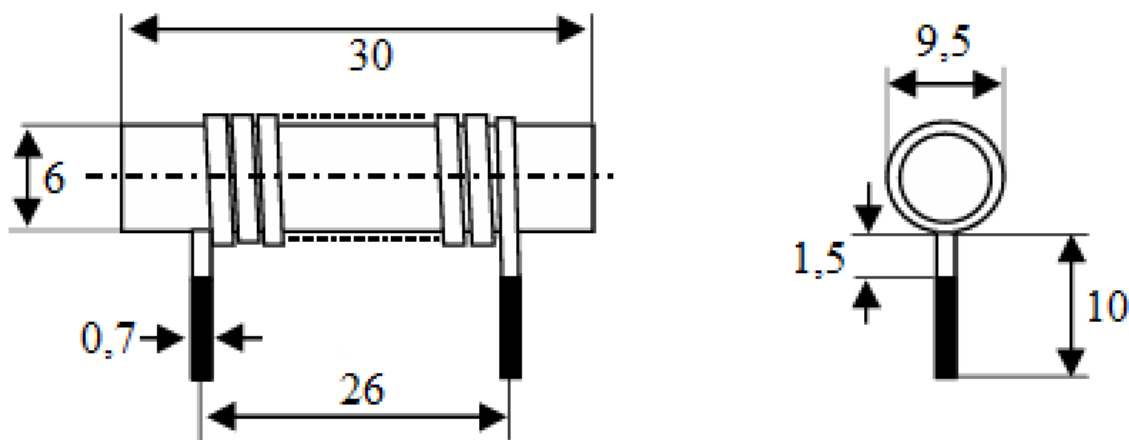


Рисунок 2.6 - Габаритні розміри котушки «Würth electronics»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

24

Конектор DC:

Для подачі основної напруги живлення +12В на плату керування обрано стандартний конектор живлення постійного струму типу DJ-005.

Таблиця 2.7 – Конектор DC

Позиційне позначення	XS3
Виробник	Agelectronica
Назва та тип компонента	Конектор DC
Критерії вибору	Тип конструктивного виконання, номінальний струм для забезпечення живлення, робоча напруга, матеріал діелектрика, наявність вбудованого перемикаючого контакту для відсікання батарейного живлення, ресурс кількості циклів комутації, стійкість до бокових механічних навантажень, захисне покриття контактів.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.7
Параметри та характеристики	
Опір контактів	макс. 30 мОм
Діелектрична міцність	500В АС протягом 1 хвилини
Опір ізоляції	мін. 100 МОм (при 500В DC)
Ресурс (цикли)	не менше 5 000 циклів

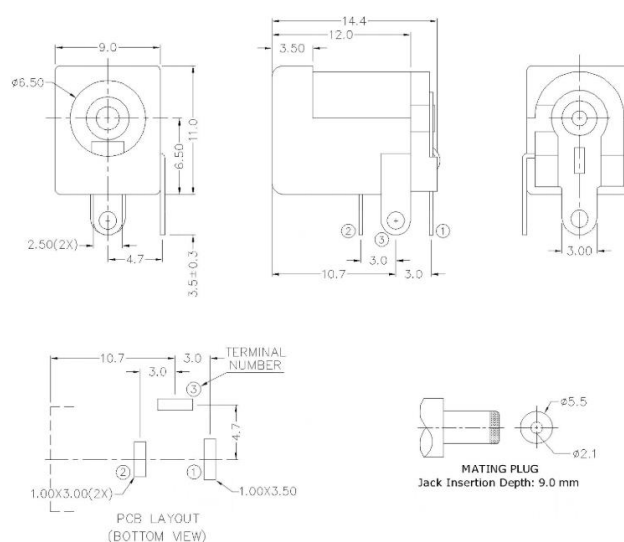


Рисунок 2.7 - Габаритні розміри Конектора DC «Agelectronica»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

25

Діод:

Для забезпечення захисту від неправильної полярності підключення джерела живлення та розв'язки ліній живлення USB і зовнішнього адаптера обрано кремнієві випрямні діоди серії 1N4007.

Таблиця 2.8 – Діоди

Позиційне позначення	VD1-VD2
Виробник	Fairchild Semiconductor
Назва та тип компонента	Діод
Критерії вибору	Максимальний прямий струм, низьке пряме падіння напруги, здатність витримувати короточасні імпульсні перевантаження, низький зворотний струм витоку, стійкість до температурного дрейфу параметрів, механічна міцність корпусу.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.8
Параметри та характеристики	
Пікова повторювана зворотна напруга	1000 В
Максимальна середньоквадратична (RMS)	700 В
Постійна зворотна напруга	1000 В
Макс. зворотний струм при 25°C	5 мкА
Макс. пряма напруга при 1,0 А	1.1 В
Макс. повний зворотний струм при повному	30 мкА
Типова ємність переходу	15 пФ

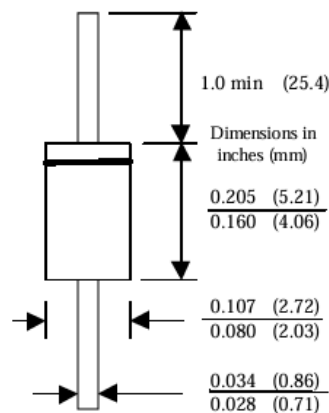


Рисунок 2.8 - Габаритні розміри діода 1N4007 «Fairchild Semiconductor»

Стабілізатори напруги:

ТО-220

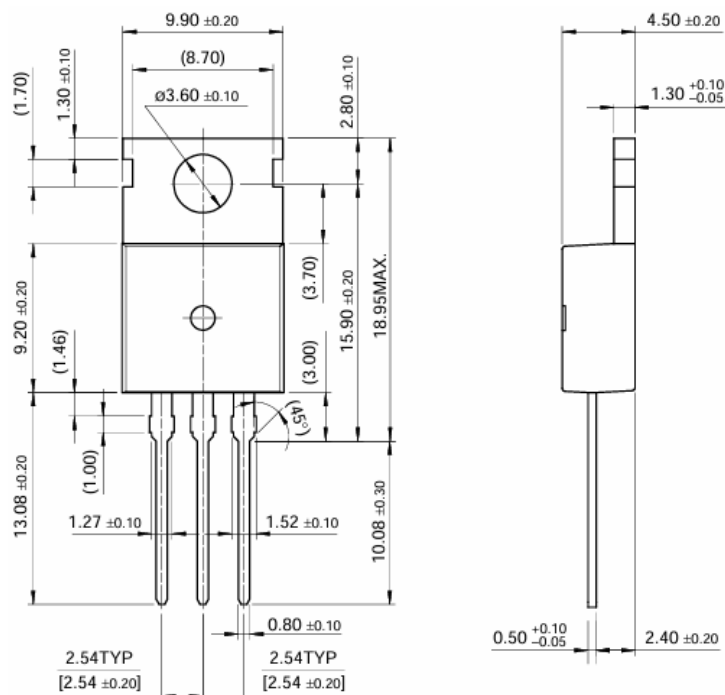


Рисунок 2.9 - Габаритні розміри стабілізаторів напруги «STMicroelectronics» LM7805:

Використовується для формування напруги +5В. Використовується тип корпусу ТО-220.

Таблиця 2.9 – Стабілізатор напруги LM7805

Позиційне позначення	DA2
Виробник	STMicroelectronics
Назва та тип компонента	Стабілізатор напруги
Критерії вибору	Максимальний прямий струм для забезпечення живлення схеми, низьке пряме падіння напруги, тип конструктивного виконання, здатність витримувати короточасні імпульсні перевантаження, низький зворотний струм витоку, стійкість до температурного дрейфу параметрів, механічна міцність корпусу.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.9

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

27

Параметри та характеристики	
Вихідна напруга	5.0 В
Вхідна напруга (мін. / макс.)	7.0 - 25.0 В
Максимальний вихідний струм	1.5 А
Напруга випадіння	2.0 В
Струм споживання	4.2 - 8.0 мА
Піковий струм короткого замикання	0.75 А
Діапазон робочих температур	0 до +125 °С

LM7809:

Призначений для живлення аналогового аудіопроцесора TDA7315 напругою +9В.

Таблиця 2.10 – Стабілізатор напруги LM7809

Позиційне позначення	DA1
Виробник	STMicroelectronics
Назва та тип компонента	Стабілізатор напруги
Критерії вибору	Фіксована вихідна напруга для живлення, максимальний вихідний струм, робота в широкому діапазоні вхідних напруг, наявність вбудованого теплового захисту від перевантаження, захист від короткого замикання по виходу, виконання в корпусі ТО-220, низький коефіцієнт нестабільності по навантаженню, мінімальна різниця між вхідною та вихідною напругою, висока надійність при постійній.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.9
Параметри та характеристики	
Вихідна напруга	9.0 В
Вхідна напруга (мін. / макс.)	11.5 - 26.0В
Максимальний вихідний струм	1.5 А
Напруга випадіння	2.0 В
Струм споживання	4.2 - 8.0 мА
Піковий струм короткого замикання	0.5 А
Діапазон робочих температур	0 до +125 °С

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

28

LD1117V33:

Це стабілізатор з низьким падінням напруги, що забезпечує стабільні +3.3В для живлення FM-радіоприймача RDA7805.

Таблиця 2.11 – Стабілізатор напруги LD1117V33

Позиційне позначення	DA3
Виробник	STMicroelectronics
Назва та тип компонента	Стабілізатор напруги
Критерії вибору	Малий перепад напруги між входом і виходом, максимальний вихідний струм, наявність вбудованого обмеження струму, низький рівень вихідного шуму, тип конструктивного виконання корпус TO-220, висока стабільність вихідної напруги.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.9
Параметри та характеристики	
Вихідна напруга	3.3 В
Вхідна напруга (макс.)	15.0 В
Максимальний вихідний струм	0.8 - 1.0 А
Напруга випадіння	1.1 - 1.3 В
Струм споживання	5.0 - 10.0 мА
Піковий струм короткого замикання	0.75 А
Діапазон робочих температур	-40 до +125 °С

LCD дисплей I2C:

Дисплей LCD 1602: Має два рядки по 16 символів у кожному. Використовує контролер HD44780, що забезпечує сумісність з бібліотеками для мікроконтролерів AVR. Рідкокристалічна панель має вбудоване LED-підсвічування, що дозволяє зчитувати інформацію при будь-якому освітленні.

Інтерфейсний модуль I2C: Побудований на 8-бітному розширювачі портів PCF8574AT. Він перетворює послідовні дані шини I2C у паралельний код для керування дисплеєм.

Таблиця 2.12 – Технічні характеристики LCD дисплея I2C

Позиційне позначення	HG1
Виробник	Dfrobot
Назва та тип компонента	Рідкокристалічний символьний дисплей 1602B
Критерії вибору	Кількість символів, кодова таблиця з кириличними символами, світлодіодні підсвічування для зменшення споживання струму.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.10, 2.11
Параметри та характеристики	
Розмір дисплея	16 символів × 2 рядки
Розмір символів	5x8 пікселів на символ
Інтерфейс	Паралельний
Напруга живлення	5В
Споживання струму	20-30 мА з підсвіткою
Регулювання контрастності	Потенціометр
Підсвітка	LED
Час оновлення	~10-50 мс для
Робочий діапазон температур	0–50°C



Рисунок 2.10 - Зовнішній вигляд модуля I2C

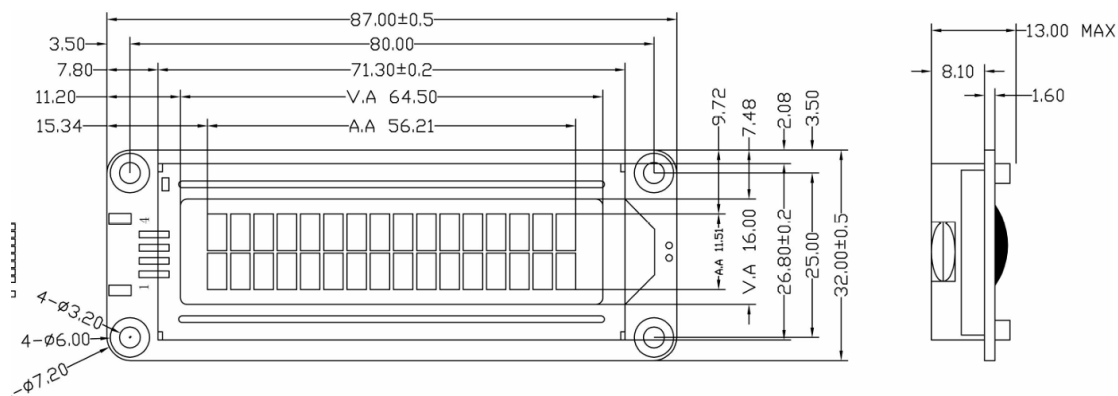


Рисунок 2.11 - Габаритні розміри LCD дисплея «Dfrobot»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

30

Світлодіод:

Для візуального контролю режимів роботи плати керування та процесу завантаження програмного забезпечення обрано світлодіоди. Проте, для зменшення енергоспоживання та забезпечення комфортної яскравості, вони підключені через струмообмежувальні резистори номіналом 330 Ом, що обмежує робочий струм до 5–8 мА.

Таблиця 2.13 – Електричні характеристики LED діода

Позиційне позначення	HG1-HG4
Виробник	Avago technologies
Назва та тип компонента	LED діод
Критерії вибору	Робочий прямий струм, колір світіння, тип корпусу, довжина виводів для зручного позиціонування над платою, термін служби, стійкість до статичної електрики та перегріву при ручній пайці.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.12
Параметри та характеристики	
Прямий струм	50
Імпульсний прямий струм	100
Розсіювана потужність	120
Зворотна напруга	5
Температура переходу LED	130
Діапазон робочих температур	від -40 до +100
Діапазон температур зберігання	від -40 до +100

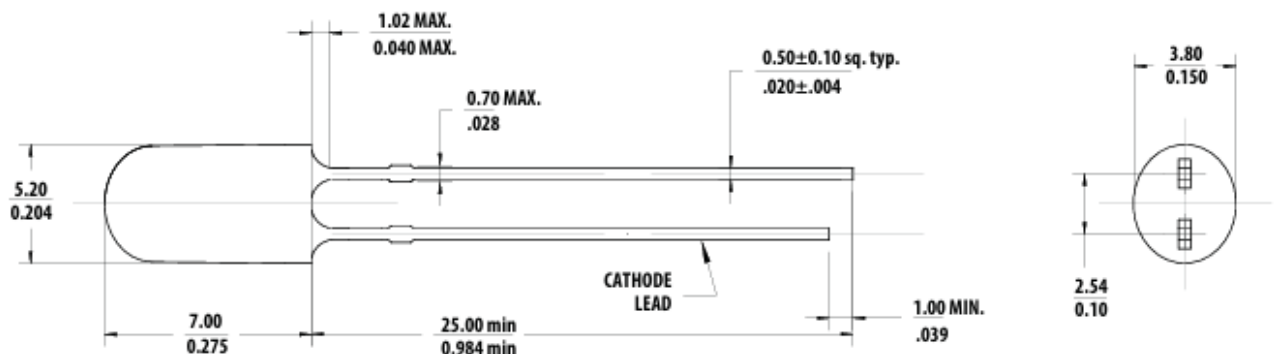


Рисунок 2.12 - Габаритні розміри LED діода «Avago technologies»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 KP 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

31

Піни:

Для забезпечення можливості підключення периферійних пристроїв та виконавчих механізмів, на платі використано однорядні штирьові роз'єми з кроком 2.54 мм. Порти вводу-виводу (XP8, XP9, XP17): Усі лінії портів В, С та D мікроконтролера DD2 виведені на ці роз'єми. Це дозволяє здійснювати швидку комутацію.

Роз'єм інтерфейсу програмування (XP5) та режимів (XP1, XP2): Використання штирьових з'єднувачів дозволяє роз'єднувати лінії програматора від основного контролера, що виключає вплив програмуючого пристрою на роботу портів у робочому режимі. Контакти роз'ємів виготовлені з латуні з золотим або нікелевим напиленням, що забезпечує високу корозійну стійкість та низький опір контакту навіть після багаторазових циклів перемикавання.

Для встановлення змінних модулів та забезпечення можливості швидкого демонтажу вузлів на платі керування передбачено використання однорядних гніздових роз'ємів.

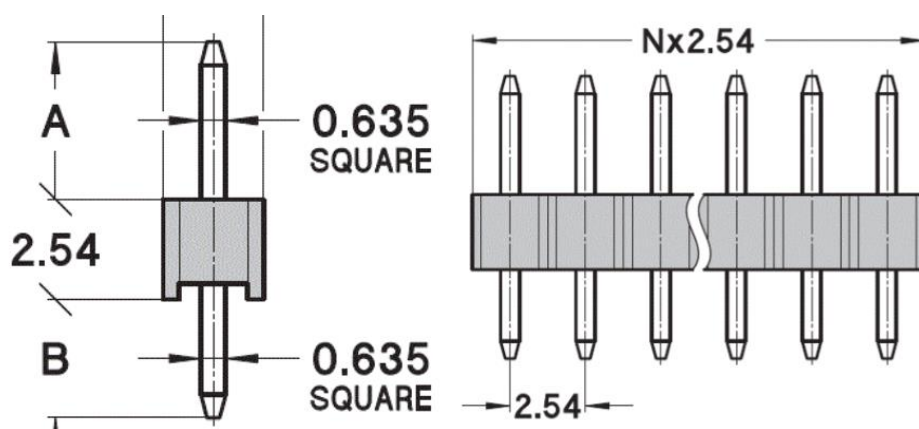


Рисунок 2.13 - Габаритні розміри піна «Precidip»

Таблиця 2.14 - Піни

Позиційне позначення	XP1-XP24	
Назва та тп	штировий з'єднувач PLS	
Виробник	Precidip	
Критерії вибору	крок 2,54 мм, вертикальне розташування штирків	
Параметри конструкції	див. рисунок 2.13	
Параметри та характеристики		
Крок		2,54 мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

32

Роз'єм:

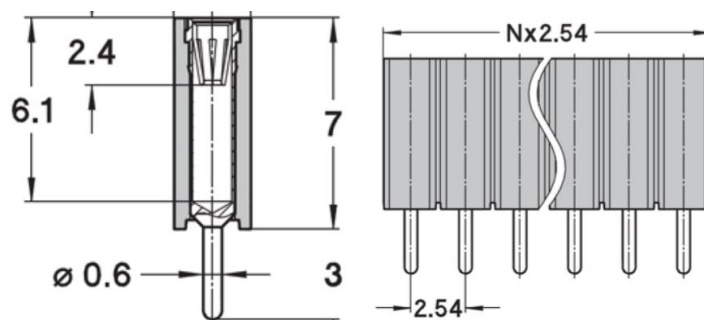


Рисунок 2.14 - Габаритні розміри роз'єма «Precidip»

Таблиця 2.15 - Роз'єм

Позиційне позначення	XS2
Назва та тип	штировий з'єднувач PLS
Виробник	Precidip
Критерії вибору	крок 2,54 мм
Параметри конструкції	див. рисунок 2.14
Параметри та характеристики	
Крок	2,54 мм

Кварцовий резонатор:

Для стабілізації тактової частоти використано кварцові резонатори. Резонатор ZQ1 забезпечує тактування мікроконтролера-програмактора DD1. Вибір частоти 12 МГц є важливим для реалізації програмного протоколу USB, оскільки він гарантує необхідну точність часових інтервалів для синхронізації з шиною USB комп'ютера. Резонатор ZQ2 призначений для тактування робочого мікроконтролера DD2. На платі передбачена можливість підключення резонатора через перемичку, що дозволяє досліджувати роботу контролера на різних частотах або перемикатися на внутрішній RC-генератор.

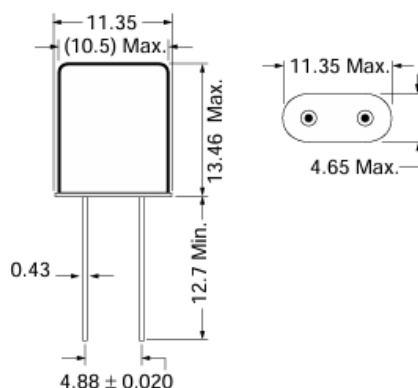


Рисунок 2.15 - Габаритні розміри кварца «Enc International»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

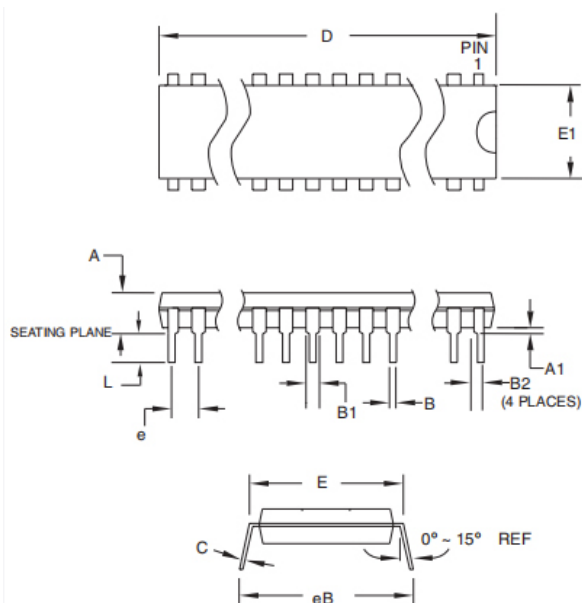
Арк.

33

Таблиця 2.16 – Кварцовий резонатор

Позиційне позначення	ZQ1, ZQ2
Виробник	Enc International
Назва та тип компонента	Кварц
Критерії вибору	Номінальна частота та точність, стабільність частоти в робочому діапазоні температур, ємність навантаження, низька паразитна ємність корпусу, стійкість до механічних ударів та вібрацій, тривалий термін служби.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.15
Параметри та характеристики	
Діапазон частот	1.800-100.000 МГц
Допуск частоти	від -30 до +40 PPM
Стабільність частоти	від -50 до +50 PPM
Робоча температура	від -10 до +70 °C
Температура зберігання	від -30 до +85 °C
Шунтова ємність	7.0 пФ
Ємність навантаження	10.0 пФ
Рівень збудження	2.0, 1.0 мВт
Старіння (перший рік)	-5.0 PPM

Мікроконтролер Atmega8:



A	4.5724
A1	0.508
D	34.798
E	8.255
E1	7.493
B	0.533
B1	1.397
B2	1.143
L	3.429
C	0.356
eB	10.160
e	2.54

розміри в мм

Рисунок 2.16 - Габаритні розміри Atmega8 «Atmel»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

34

Таблиця 2.17 – Мікроконтролер Atmega8

Позиційне позначення	DD1, DD2
Виробник	Atmel
Назва та тип компонента	Atmega8
Критерії вибору	Напруга живлення, тактова частота для забезпечення програмної реалізації протоколу USB, об'єм пам'яті програм, оперативна пам'ять та енергонезалежна пам'ять, кількість універсальних портів вводу/виводу, наявність 10-розрядного АЦП, вбудовані інтерфейси UART, SPI та I2C (TWI), наявність таймерів-лічильників з підтримкою ШІМ, конструктивне виконання, низьке енергоспоживання в сплячих режимах.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.16
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	4.5 – 5.5 В
Тактова частота	0 – 16 МГц
Струм споживання (Активний режим)	3.6 мА
Струм споживання (сплячий режим)	1.0 мА
Струм споживання	< 1 мкА
Максимальний струм на один I/O вивід	40 мА
Flash-пам'ять програм	8 КБ (до 10,000 циклів)
EEPROM (енергонезалежна)	512 Б (до 100,000 циклів)
SRAM (оперативна)	1 КБ
АЦП	10-бітний
Таймери	два 8-бітних та один 16-
Інтерфейси	UART, SPI, I2C

Основою пристрою є 8-бітний високопродуктивний мікроконтролер з низьким енергоспоживанням серії AVR. Вибір даного контролера обумовлений його розвиненою периферією, високою надійністю та оптимальним об'ємом пам'яті для виконання завдань керування аудіопроцесором та реалізації протоколу USBasp. Контролер базується на архітектурі RISC, що дозволяє виконувати більшість команд за один такт синхронізації. При тактовій частоті 12 МГц (ZQ1) або 16 МГц (ZQ2) досягається продуктивність до 12–16 MIPS, що

забезпечує стабільну роботу цифрових інтерфейсів. Пам'ять та ресурси: Мікроконтролер має 8 КБ внутрішньої Flash-пам'яті з можливістю самопрограмування, 1 КБ оперативної пам'яті (SRAM) та 512 Б енергонезалежної пам'яті (EEPROM) для зберігання налаштувань користувача після вимкнення живлення. Наявність вбудованого 10-бітного АЦП, апаратних інтерфейсів SPI та I2C. Конструктивні особливості: Корпус PDIP28 обрано для зручності встановлення, що важливо для навчального стенду.

Радіоприймач RDA5807M:

Для реалізації функції прийому радіомовлення у FM-діапазоні обрано RDA5807M. Даний модуль базується на архітектурі CMOS і забезпечує високу якість прийому при мінімальному споживанні енергії. RDA5807M використовує повністю цифрову архітектуру низької проміжної частоти, що включає в себе синтезатор частоти з фазовою автопідстройкою, адаптивне шумозаглушення та підсилювач низької частоти.

Взаємодія з мікроконтролером DD2 здійснюється через послідовну шину I2C. Модуль працює при напрузі від 2.7В до 3.6В, тому для його живлення застосовано окремий стабілізатор LD1117V33 3.3В.

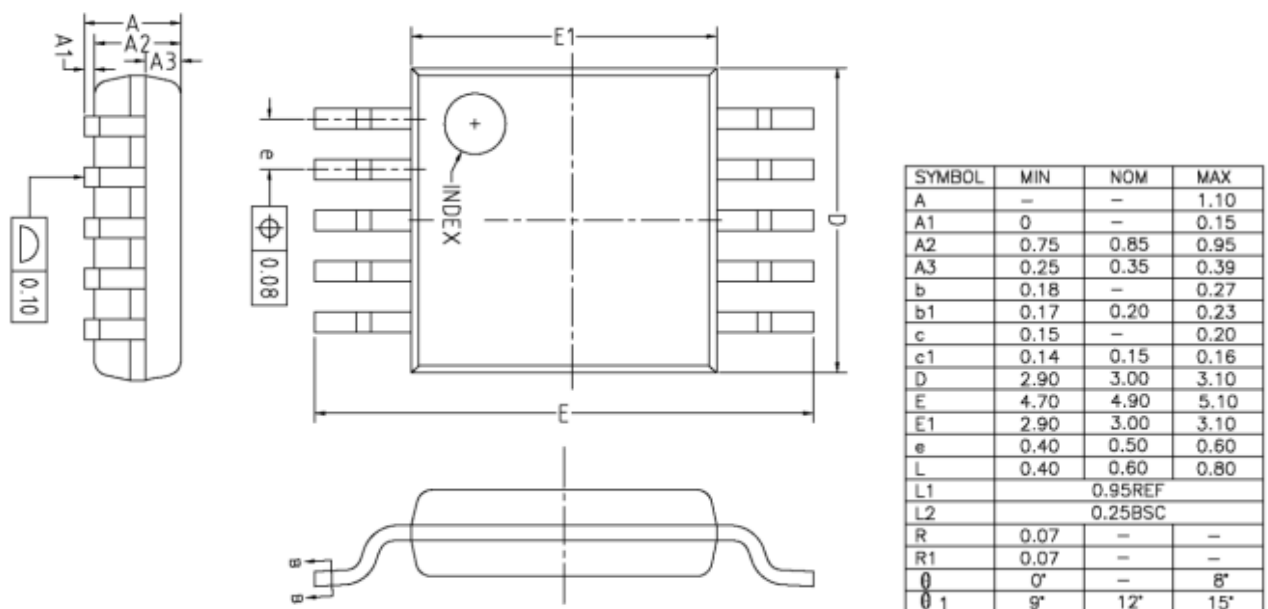


Рисунок 2.17 – Габаритні розміри RDA5807M «RDA Microelectronics»

Таблиця 2.18 – RDA5807M

Позиційне позначення	-
Виробник	RDA Microelectronics
Назва та тип компонента	RDA5807M
Критерії вибору	Напруга живлення для забезпечення роботи від стабілізатора 3,3 В, струм споживання в робочому та сплячому режимах, наявність вбудованого стереодекодера, цифровий інтерфейс керування I2C, максимальна частота шини I2C, наявність вбудованого підсилювача низької частоти, коефіцієнт нелінійних викривлень вихідного сигналу, рівень придушення завад та чутливість приймача, низьке енергоспоживання.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.17
Параметри та характеристики	
Напруга живлення	1,8 – 3,3 В
Струм споживання (робочий)	до 21 мА
Струм споживання (сплячий режим)	5 мкА
Коефіцієнт нелінійних викривлень	0,15 – 0,2 %
Цифровий інтерфейс	I2C
Макс. частота шини I2C	400 кГц

Аудіо підсилювач ТРА3110:

Для забезпечення якісного відтворення звукового сигналу у стереорежимі обрано цифровий підсилювач потужності класу D на базі мікросхеми ТРА3110. Вибір підсилювача класу D обумовлений його надзвичайно високим ККД.

Модуль забезпечує вихідну потужність 2×15 Вт при опорі навантаження 8 Ом та напрузі живлення 12 В. Завдяки широкому діапазону вхідної напруги від 8В до 26В, він стабільно працює від основного джерела живлення плати.

Мікросхема має вбудовану технологію придушення електромагнітних завад, що дозволяє використовувати підсилювач без складних вихідних фільтрів. Також реалізовано захист від короткого замикання на виході, перегріву, перенапруги та зниженої напруги живлення.

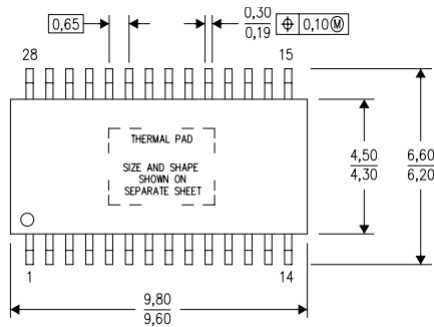


Рисунок 2.18 – Габаритні розміри ТРА3110 «Texas Instruments»

Таблиця 2.19 – ТРА3110

Позиційне позначення	-
Виробник	Texas Instruments
Назва та тип компонента	ТРА3110
Критерії вибору	Висока енергоефективність, вихідна потужність до 15Вт на канал, діапазон напруги живлення, що дозволяє працювати від стандартних, наявність вбудованого захисту від короткого замикання, перегріву та перенапруги, наявність входу керування, тип корпусу HTSSOP-28, високий коефіцієнт придушення завад по живленню, стійкість до електромагнітних наведень.
Параметри конструкції	див. рисунок 2.18
Параметри та характеристики	
Модель	ХН-А232
Кількість каналів	Два (Стерео)
Робоча напруга	від 12 до 24В DC (постійного)
Вихідна потужність	30 Вт + 30 Вт
Співвідношення сигнал/шум	100 дБ
Довжина	53 мм
Ширина	45 мм
Висота	13 мм

2.1.4 Опис програми мікроконтролера

У цьому коді використовуються дві основні бібліотеки, які використовуються для проєктів з LCD-екранами та I2C-пристроями. I2C

(Inter-Integrated Circuit) - послідовний двопровідний інтерфейс зв'язку, розроблений компанією Philips. Шина складається лише з двох сигнальних ліній:

1. SDA (Serial Data) - лінія передачі даних;
2. SCL (Serial Clock) - лінія тактування.

Обидві лінії підтягнуті до напруги живлення через резистори. Кожен пристрій на шині має унікальну 7-бітну або 10-бітну адресу. Один пристрій виступає головним і ініціює передачу, решта - підпорядкованими.

Як відбувається сеанс зв'язку (Короткий алгоритм):

1. Старт: Головний пристрій подає на лінію SDA низький рівень, поки на SCL тримається високий рівень. Це є сигналом початку сесії зв'язку, який змушує всі підпорядковані пристрої перейти в режим очікування команди.
2. Передача адреси: Головний пристрій передає 7 біт адреси конкретного пристрою, до якого звертається, та 1 біт напрямку (0 - запис, 1 - читання).
3. Підтвердження: Пристрій, чия адреса збіглася, подає на лінію SDA низький рівень на один такт. Це означає, що пристрій готовий до роботи.
4. Передача даних: Головний або підпорядкований пристрій передає пакети даних по 8 біт. Після кожного байта отримувач обов'язково повертає біт підтвердження.
5. Стоп: Коли передачу завершено, головний пристрій спочатку утримує лінію SCL на високому рівні, після чого переводить лінію SDA з низького рівня на високий. Саме цей перехід SDA при вже високому SCL є сигналом зупинки - шина знову вільна.

Бібліотека Wire.h

Це стандартна бібліотека, яка забезпечує зв'язок по протоколу I2C. Без неї Arduino не зможе надіслати жодного байту ні до LCD-дисплея, ні до аудіопроцесора.

Функції з цієї бібліотеки, які використовуються в коді:

- Wire.begin() - ініціалізує Arduino як головний пристрій на шині I2C.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

39

- Wire.beginTransmission(0x40) - починає підготовку до передачі даних пристрою з адресою 0x40.
- Wire.write(param) - записує байт даних у буфер для відправки.
- Wire.endTransmission() - фізично відправляє всі накопичені в буфері байти по шині I2C і завершує сеанс зв'язку.

Бібліотека LiquidCrystal_I2C.h

Ця бібліотека створена для того, щоб керувати текстовими рідкокристалічними дисплеями за допомогою розширювача портів на мікросхемі PCF8574 через шину I2C.

Функції з цієї бібліотеки, які використовуються в коді:

- LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2) - створення об'єкта екрана з адресою 0x27, шириною 16 символів та 2 рядками.
- lcd.init() - первинне налаштування дисплея, скидання його регістрів та підготовка до роботи.
- lcd.backlight() - увімкнення світлодіодного підсвічування екрана.
- lcd.clear() - повне очищення екрана від тексту.
- lcd.setCursor(X, Y) - встановлює позицію курсору на дисплеї за вказаними координатами: X - номер колонки, Y - номер рядка.
- lcd.print() - виведення тексту або значень змінних на екран.
- lcd.write(' ') - виведення одного конкретного символу.

TDA7315 - цифровий аудіопроцесор, призначений для регулювання гучності, тембру (НЧ і ВЧ). Всі параметри програмуються через послідовну шину I2C. Вміст і функції бітів регістрів керування TDA7315 зображені на рисунках від 2.19 до 2.23

MSB						LSB		FUNCTION
0	0	B2	B1	B0	A2	A1	A0	Volume control
1	0	0	B1	B0	A2	A1	A0	Speaker ATT L
1	0	1	B1	B0	A2	A1	A0	Speaker ATT R
0	1	0	X	X	L	X	X	Loudness
0	1	1	0	C3	C2	C1	C0	Bass control
0	1	1	1	C3	C2	C1	C0	Treble control

Ax = 1.25dB steps; Bx = 10dB steps; Cx = 2dB steps; X = don't care.

Рисунок 2.19 – Регістр керування аудіопараметрами TDA7315

Пояснення до рисунку 2.19: Ах = крок 1.25 дБ; Вх = крок 10 дБ; Сх = крок 2 дБ; Х = не використовується, MSB – старший біт, LSB – молодший біт.

Volume

MSB			LSB			FUNCTION		
0	0	B2	B1	B0	A2	A1	A0	Volume 1.25dB steps
					0	0	0	0
					0	0	1	-1.25
					0	1	0	-2.5
					0	1	1	-3.75
					1	0	0	-5
					1	0	1	-6.25
					1	1	0	-7.5
1	1	1	-8.75					
0	0	B2	B1	B0	A2	A1	A0	Volume 10dB steps
		0	0	0				0
		0	0	1				-10
		0	1	0				-20
		0	1	1				-30
		1	0	0				-40
		1	0	1				-50
		1	1	0				-60
1	1	1	-70					

Рисунок 2.20 – Структура байта керування гучністю

Speaker Attenuators

MSB			LSB			FUNCTION
1	0	0	B1	B0	A2 A1 A0	Speaker L
1	0	1	B1	B0	A2 A1 A0	Speaker R
					0 0 0	0
					0 0 1	-1.25
					0 1 0	-2.5
					0 1 1	-3.75
					1 0 0	-5
					1 0 1	-6.25
					1 1 0	-7.5
					1 1 1	-8.75
			0	0		0
			0	1		-10
			1	0		-20
			1	1		-30
			1	1	1	Mute

Рисунок 2.21 – Структура байтів керування атенюаторами динаміків

Loudness

MSB						LSB		FUNCTION
0	1	0	X	X	L	X	X	
					0			LOUDNESS ON LOUDNESS OFF
					1			

Рисунок 2.22 – Структура байтів керування гучністю

Bass and Treble

0	1	1	0	C3	C2	C1	C0	Bass Treble
0	1	1	1	C3	C2	C1	C0	
				0	0	0	0	-14
				0	0	0	1	-12
				0	0	1	0	-10
				0	0	1	1	-8
				0	1	0	0	-6
				0	1	0	1	-4
				0	1	1	0	-2
				0	1	1	1	0
				1	1	1	1	0
				1	1	1	0	2
				1	1	0	1	4
				1	1	0	0	6
				1	0	1	1	8
				1	0	1	0	10
				1	0	0	1	12
				1	0	0	0	14

Рисунок 2.23 – Структура байтів керування тембром низьких та високих частот

Загальна структура алгоритму роботи коду:

Алгоритм побудований як нескінченний цикл, що постійно моніторить стан двох фізичних пристроїв вводу. Весь основний блок обгорнутий у прямокутник, що символізує саме цей цикл.

Покроковий розбір:

1. Початок. Запуск мікроконтролера, ініціалізація регістрів тощо.
2. Ініціалізація бібліотек. Підключаються та налаштовуються бібліотеки LiquidCrystal_I2C.h та Wire.h
3. Очікування зміни параметрів. Програма входить у цикл очікування.

Гілка 1 - Кнопка

- Перевіряється чи було натиснення або відпускання кнопки
- Так → Зміна режиму - перемикається поточний режим роботи → Оновити дані дисплею - на екрані відображається новий режим → повернення до очікування
- Ні → Гілка 2

Гілка 2 – Енкодер

- Перевіряється чи значення енкодера змінилось
- Так → Визначення кроку - розраховується на скільки одиниць змінити параметр → Зміна параметру - поточний параметр

- збільшується або зменшується → Оновити дані дисплею - нове значення виводиться на екран → повернення до очікування
- Ні → одразу повернення до очікування

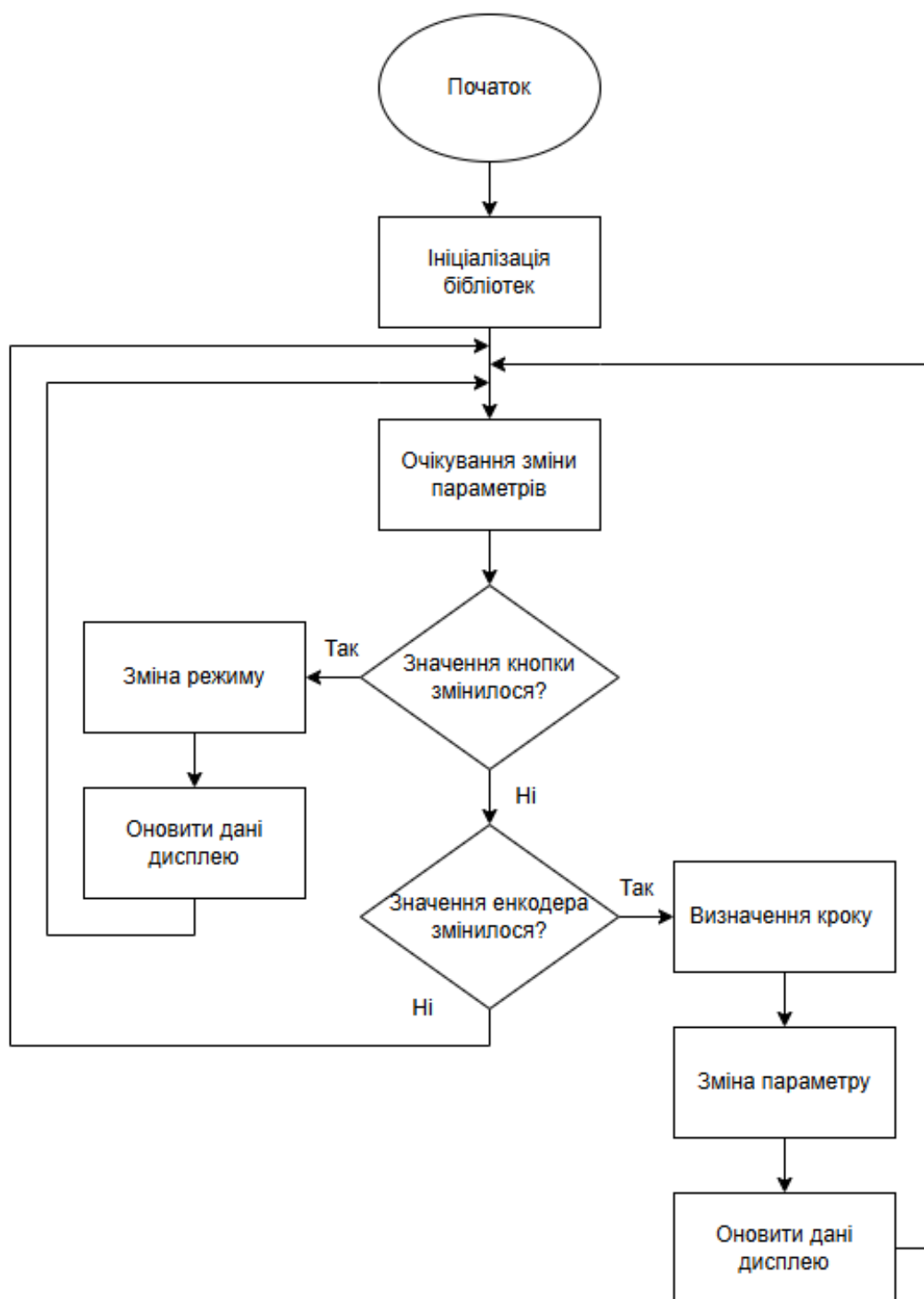


Рисунок 2.24 - Алгоритм роботи коду

Опис тексту програми:

Блок 1: Підключення бібліотек та налаштування дисплея

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

Підключаються базові бібліотеки: Wire.h для роботи з інтерфейсом I2C та LiquidCrystal_I2C.h для керування LCD-екраном. Створюється об'єкт екрана lcd із вказанням його I2C-адреси (0x27) та розміру (16 символів у 2 рядки).

Блок 2: Конфігурація пінів та глобальні змінні

```
#define BTN_PIN 4           // вивід для підключення кнопки
#define ENC_A 2
#define ENC_B 3

int stableBtnState = HIGH;   // стабільний стан кнопки
int lastBtnState = HIGH;    // попередній стан кнопки
unsigned long debounceTimer = 0; // таймер тремтіння контактів
int counter;

unsigned long encTimer, printTimer;
int encCntr;
uint8_t enc;

uint8_t mode;

#define VOLUME 0
#define BASS 1
#define TREBLE 2
#define MAX_MODE 2
```

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
#define UP 0
```

```
#define DOWN 1
```

```
uint8_t volume = 60; //0b00111111;
```

```
uint8_t volume_step = 4;
```

```
uint8_t bass = 7, treble = 7;
```

```
boolean printAudio;
```

Визначаються піни для кнопки та енодера. Оголошуються змінні для захисту кнопки від брязкоту контактів, змінні для збереження поточних значень звуку (початкова гучність 60, тембри по 7) та програмні таймери. Також створюються константи для трьох режимів роботи (VOLUME, BASS, TREBLE).

Блок 3: Ініціалізація системи (setup)

```
void setup(){
```

```
  Wire.begin(); // Ініціалізація I2C
```

```
  pinMode(BTN_PIN, INPUT_PULLUP);
```

```
  pinMode(ENC_A, INPUT);
```

```
  pinMode(ENC_B, INPUT);
```

```
  lcd.init();          // ініціалізація дисплея
```

```
  lcd.backlight();     // включення підсвічування екрану
```

```
  pinMode(7, OUTPUT);
```

```
  digitalWrite(7, HIGH);
```

```
  mode = VOLUME;
```

```
  pinMode(0, OUTPUT);
```

```
  Wire.beginTransmission(0x40);
```

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

Wire.write(volume);
Wire.write(0b10011111); // mute
Wire.write(0b10111111); // mute
Wire.write(0b01101111);
Wire.write(0b01111111);
Wire.write(0b01000100);
byte error = Wire.endTransmission();

if(error) digitalWrite(0, HIGH);

delay(2000);

Wire.beginTransmission(0x40);
Wire.write(0b10000000);
Wire.write(0b10100000);
Wire.endTransmission();

printScreen();

encTimer = micros();
printTimer = millis();
}

```

Функція запускається один раз при старті. Налаштовуються входи/виходи, запускається екран. Важлива частина - надсилання початкових конфігураційних байтів в аудіопроцесор по I2C (адреса 0x40). Спочатку звук глушиться, щоб не було шипіння у динаміках, а через 2 секунди очікування заглушення знімається. Наприкінці виводиться перша інформація на екран.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Блок 4: Головний цикл програми (loop)

```
void loop(){  
    int reading = digitalRead(BTN_PIN);    // зчитування стану кнопки в локальну  
    змінну  
  
    if (reading != lastBtnState) {        // якщо стан кнопки змінився  
        debounceTimer = millis();        // перезапустити таймер на тремтіння  
        контактів  
    }  
  
    if ((millis() - debounceTimer) > 50) { // перевірка таймера 50 мс  
  
        if (reading != stableBtnState) { // порівняння поточного стану із стабільним  
            stableBtnState = reading;    // новий стабільний стан  
  
            if (stableBtnState == LOW) { // якщо це натискання кнопки  
                nextMode();  
            }  
        }  
    }  
  
    lastBtnState = reading;                // запам'ятати поточний стан кнопки  
  
    if(micros() - encTimer > 1000){  
        encTimer = micros();  
        enc = encoderProc();  
        if (enc == 1){  
            setAudioParam(UP);  
        }  
    }  
}
```

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    printAudio = true;
}
else if (enc == 2){
    setAudioParam(DOWN);
    printAudio = true;
}
}

if(millis() - printTimer > 500){
    printTimer = millis();
    if(printAudio){
        printAudio = false;
        printAudioParam();
    }
}
}

```

Працює безперервно. Містить три блоки:

1. Спочатку зчитується стан кнопки через `digitalRead(BTN_PIN)`. Якщо стан змінився порівняно з попереднім - перезапускається таймер дебаунсу. Лише після 50 мс стабільного сигналу стан вважається достовірним. Якщо підтверджено натискання (LOW) - викликається `nextMode()` для зміни режиму роботи.

2. Далі кожні 1000 мкс викликається `encoderProc()`, яка повертає напрямок повороту енкодера. Якщо повернула 1 - викликається `setAudioParam(UP)`, якщо 2 - `setAudioParam(DOWN)`. Після будь-якої зміни параметра встановлюється прапорець `printAudio = true` як сигнал для оновлення дисплея.

3. Останній блок кожні 500 мс перевіряє прапорець `printAudio`. Якщо він встановлений - скидається і викликається `printAudioParam()` для виведення актуальних значень на екран.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Блок 5: Обробка обертання енкодера

```
uint8_t encoderProc() {  
    static const int8_t state_table[] = {  
        0, -1, 1, 0,  
        1, 0, 0, -1,  
        -1, 0, 0, 1,  
        0, 1, -1, 0  
    };  
  
    static uint8_t state = 0;  
    static int8_t counter = 0; // Накопичувач "напівкроків"  
    uint8_t pinState = (digitalRead(ENC_A) << 1) | digitalRead(ENC_B);  
    state = (state << 2) | pinState;  
  
    int8_t motion = state_table[state & 0x0F];  
  
    if (motion != 0) {  
        counter += motion;  
        if (counter >= 2) {  
            counter = 0;  
            return 1; // Крок вправо  
        }  
        else if (counter <= -2) {  
            counter = 0;  
            return 2; // Крок вліво  
        }  
    }  
    return 0;  
}
```

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтелектуальний алгоритм зчитування енкодера на основі таблиці станів. Програма відстежує послідовність зміни фаз на пінах ENC_A та ENC_B. Завдяки накопичувачу counter, який чекає два напівкроки, енкодер працює чітко.

Блок 6: Перемикання режимів меню

```
void nextMode(){
    if(++mode > MAX_MODE) mode = 0;
    printScreen();
}
```

При натисканні на кнопку збільшує змінну mode на 1. Якщо значення перевищує MAX_MODE, тобто стає більше 2, скидає його в 0. Таким чином режими змінюються по колу: Гучність → Бас → Високі → Гучність. В кінці оновлює екран під новий режим.

Блок 7: Логіка зміни аудіопараметрів та відправка в I2C

```
void setAudioParam(uint8_t dir){
    boolean action = false;
    uint8_t param;

    if(mode == VOLUME){
        if(dir == UP){
            if(volume >= volume_step){
                volume -= volume_step;
                param = volume;
                action = true;
            }
        }
        else{
            if(volume <= (63 - volume_step)){
                volume += volume_step;
                param = volume;
                action = true;
            }
        }
    }
    if(action){
        I2C_Write(param);
    }
}
```

```

    param = volume;
    action = true;
}
}
}
else if (mode == BASS){
    if(dir == UP){ if(bass < 14) { bass++; action = true; } }
    else{ if(bass > 0) { bass--; action = true; } }
    if(action){
        if(bass < 8) param = 0x60 | bass;
        else param = 0x68 | (14-bass);
    }
}
else if (mode == TREBLE){
    if(dir == UP){ if(treble < 14) { treble++; action = true; } }
    else{ if(treble > 0) { treble--; action = true; } }
    if(action){
        if(treble < 8) param = 0x70 | treble;
        else param = 0x78 | (14-treble);
    }
}

if(action){
    Wire.beginTransmission(0x40);
    Wire.write(param);
    Wire.endTransmission();
}
}

```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

51

Функція `setAudioParam()` змінює аудіопараметри залежно від поточного режиму та напрямку повороту енкодера.

У режимі гучності є одна особливість: для збільшення гучності (UP) значення змінної `volume` зменшується, а для зменшення - збільшується. Це пов'язано з тим, що в аудіочіпі нуль означає максимальний звук. Зміна відбувається кроками `volume_step` у межах від 0 до 63.

У режимах басів і високих частот значення змінюється на одиницю в межах від 0 до 14.

Якщо будь-який параметр змінився, сформований байт команди одразу надсилається в аудіочіп по шині I2C за адресою 0x40 через `Wire.beginTransmission()`, `Wire.write()` та `Wire.endTransmission()`.

Блок 8: Розрахунок децибел та вивід даних на дисплей

```
void printAudioParam(){
    float volume_db;
    int tone_db;
    uint8_t _tone;

    if(mode == VOLUME){
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print(volume);
        if(volume < 10) lcd.write(' ');

        volume_db = volume * -1.25;
        lcd.setCursor(7,1);
        if(volume == 0) lcd.write(' ');
        if(volume < 8) lcd.write(' ');
        lcd.print(volume_db);
        lcd.print(" dB");
    }
}
```

```

else if ((mode == BASS) || (mode == TREBLE)){
    _tone = (mode == BASS) ? bass : treble;

    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(_tone);
    if(_tone < 10) lcd.write(' ');

    tone_db = 2 * _tone - 14;
    lcd.setCursor(10,1);

    if((tone_db >= 0) && (tone_db < 10)) lcd.write(' ');
    if(tone_db > -10) lcd.write(' ');

    lcd.print(tone_db);
    lcd.print(" dB");
}
}

void printScreen(){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    switch(mode){
        case VOLUME: lcd.print("VOLUME"); break;
        case BASS:   lcd.print("BASS  "); break;
        case TREBLE: lcd.print("TREBLE"); break;
    }
    printAudioParam();
}

```

Блок інтерфейсу складається з двох функцій:

Функція `printScreen` відповідає за верхній рядок екрана і виводить назву поточного режиму.

Функція `printAudioParam` працює з нижнім рядком і перераховує внутрішні змінні у зрозумілі людині децибели. Для гучності діапазон становить від 0.00 dB до -75.00 dB. Для басів та високих частот діапазон від -14 dB до +14 dB, де значення 7 відповідає 0 dB.

Також у кодї є перевірки з виводом пробілів через `lcd.write(' ')`. Це потрібно для очищення залишків старих цифр на екрані, щоб нові значення не накладалися на попередні.

Керування аудіосистемою за допомогою енкодера та LCD:

Робота з енкодером складається з безперервного відстеження фазових імпульсів, обробки натискання вбудованої кнопки та миттєвої передачі цих дій у систему для коригування звуку.

Цей проєкт реалізує цифровий блок керування для якісного аудіопроцесора за допомогою мікроконтролера Arduino. Система дозволяє користувачеві налаштовувати три головні параметри звуку: гучність (Volume), низькі частоти (Bass) та високі частоти (Treble).

Як це працює (Короткий огляд):

1. Інтерфейс користувача. Вся інформація виводиться на рідкокристалічний дисплей LCD 1602.
2. Перемикання режимів. Перемикає меню по колу: Гучність → Баси → Високі частоти. На екрані при цьому надпис.
3. Регулювання: Обертання ручки змінює рівень обраного параметра. Програма автоматично перераховує кроки у зрозумілі для людини децибели і виводить їх на екран.
4. Передача команди: Щойно користувач повертає ручку, Arduino миттєво формує цифровий код і відправляє його по двопровідній шині I2C в аудіочип для миттєвої зміни звуку.

2.1.5 Опис конструкції друкованої плати

Усі компоненти встановлено за технологією наскрізного монтажу ТНТ з використанням наскрізних отворів у друкованій платі керування. Такий підхід забезпечує високу механічну міцність і надійність роз'ємних з'єднань, при підключенні чи відключенні модулів та периферії.

Є кілька друкованих плат і до них висуваються різні вимоги:

Плата аудіопроцесора: є загальною і до неї не висувається конкретних вимог. Присутні штирьові з'єднання для підключення в різних конфігураціях.

Плата керування: для забезпечення швидкої переналагоджуваності стенду передбачено штирьові роз'єми ХР5, ХР8, ХР9 та ХР17. Вони дозволяють без пайки замінювати окремі модулі або підключати зовнішнє обладнання, що значно підвищує експлуатаційну гнучкість і надійність пристрою в умовах лабораторної експлуатації з частою зміною конфігурації.

Плата підсилювача потужності звукової частоти класу D: тепловідвід організований з урахуванням високого коефіцієнта корисної дії. Завдяки низьким тепловим втратам розміри радіаторів мінімальні, що відповідає відкритій конструкції стенду без корпусу і не потребує додаткових заходів щодо примусового охолодження. Радіатори приклеюються на мікросхему.

З метою захисту аналогового звукового тракту від цифрових шумів мікроконтролера конструктивно реалізовано розділення ланцюгів живлення. Для цього застосовано дроселі та фільтруючі конденсатори С7, С8, С12 і С13, що забезпечує ефективне придушення перешкод без ускладнення топології плати та зберігає високу технологічність виготовлення.

Такий комплекс конструктивних рішень забезпечує оптимальне поєднання функціональності, надійності та зручності експлуатації лабораторного стенду з урахуванням його відкритого виконання.

2.1.6 Розрахунок надійності проектного виробу

Метою розрахунку є визначення імовірності безвідмовної роботи пристрою протягом заданого часу. Основним показником надійності є

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтенсивність відмов, яка обчислюється як сума інтенсивностей відмов усіх її компонентів. Використовується комп'ютерна програма NAD_Release.

В даному розрахунку обчислюється надійність плати керування. Для розрахунку використаємо середні значення інтенсивності відмов для кожного типу елементів за нормальних умов експлуатації:

Таблиця 2.20 – Вихідні дані розрахунку надійності плати керування

№	Назва групи елементів	К-сть Шт.	Кп.	Івідм 1×10^{-6}	Кіл.×Кнав Івід× 1×10^{-6}
1	Мікросхеми	2	1	0,03	0,06
2	Світлодіоди	4	1	4	16
3	Конденсатор електролітичний	2	0.4	2,4	1,92
4	Резистори постійні 0,125-0,5 Вт.	27	0.42	0,8	9,072
5	Плата друкована	1	1	0,1	0,1
6	Провідники та пайки навісні	12	1	0,02	0,24
7	Роз'єми	3	1	0,05	0,15
8	Конденсатори керамічні	11	0,1	1,4	1,54
9	Пін	72	1	0,02	1,44
10	Діоди випрямні малої потужності	2	0,35	0,7	0,49
11	Резонатори кварцові	2	1	0,2	0,4
12	Котушка індуктивності	1	0,1	0,5	0,05
13	Кнопка	1	1	0,16	0,16
14	Пайки	250	1	0,02	5

Коефіцієнти впливу:

Коефіцієнт механічних впливів: 1

Коефіцієнт впливу вологості і температури: 1

Коефіцієнт атомосферних впливів: 1

Результати розрахунку:

Інтенсивність відмов: 3.6622×10^{-5} 1/год

Середня наробка до відмови: 27306.0 год.

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$:

$t = 10$ год. $P(t) = 0.999634$

$t = 100$ год. $P(t) = 0.996344$

$t = 1000$ год. $P(t) = 0.964040$

$t = 10000$ год. $P(t) = 0.693350$

$t = 100000$ год. $P(t) = 0.025676$

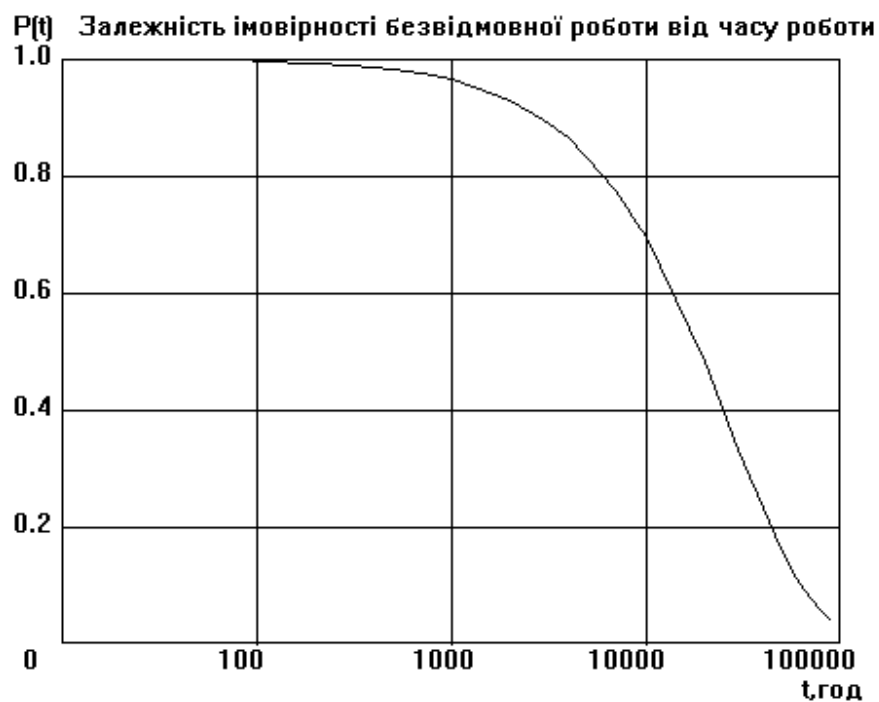


Рисунок 2.25 - Графік залежності ймовірності безвідмовної роботи плати керування від часу роботи

Середня наробка до відмови становить 27306 годин. Виріб є досить надійним. Залежність безвідмовної роботи зображена на рисунку 2.25.

2.1.7 Техніко-економічний аналіз конструкції виробу

Лабораторний стенд для вивчення інтерфейсу I2C призначений для реалізації навчально-демонстраційних функцій на базі мікроконтролера ATmega8, що поєднує в собі цифровий FM-приймач, аудіопроцесор, підсилювач

потужності класу D та USB-програматор на платі керування. Завдяки широкому функціоналу пристрій може застосовуватися як у навчальних лабораторних практикумах, так і в демонстраційних установках для вивчення архітектури AVR-мікроконтролерів та принципів роботи шини I2C.

Для виготовлення стенду використовуються загальнодоступні елементи в корпусах DIP та THT, що дозволяє уникнути складного обладнання при монтажі. Компонентна база - резистори CF-25, конденсатори KEMET та ECAP-RD, мікроконтролери ATmega8, стабілізатори серії LM78xx - легко замінюється доступними аналогами за потреби. Друкована плата розмірами 77,5×110 мм виготовляється стандартним хімічним методом із застосуванням матеріалів масового імпорту, що значно знижує витрати на виробництво та спрощує налагодження виробу.

Конструкція стенду виконана у відкритому вигляді без захисного корпусу, що забезпечує повну візуальну доступність усіх вузлів схеми та контрольних точок під час лабораторних робіт. Основою слугує деревостружкова плита розміром 320×250×15 мм. Завдяки простій конструкції пристрій легко піддається обслуговуванню та модернізації. Зміни в прошивці мікроконтролера дозволяють реалізовувати додаткові функції без потреби у втручанні в апаратну частину, що відкриває можливості для розширення навчального функціоналу стенду.

Модульність конструкції забезпечується різніми штирьовими роз'ємами, які дозволяють без пайки підключати зовнішні модулі та периферійні пристрої. Це є суттєвою перевагою при адаптації стенду до конкретних навчальних завдань. Відповідно до результатів розрахунку надійності, середнє напрацювання до відмови становить 27 306 годин, що підтверджує високу надійність пристрою при дотриманні умов експлуатації. Сукупність низької собівартості та простоти виготовлення робить конструкцію економічно доцільною для впровадження в освітні програми технічних спеціальностей, лабораторні практикуми з вивчення мікроконтролерних систем та цифрових інтерфейсів.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Технологічна частина

2.2.1 Загальні відомості про складання і монтаж проектованого виробу. Вибір типу технології

Для виготовлення лабораторного стенду з вивчення інтерфейсу I2C передбачається одиничне виробництво, що зумовлено навчальним призначенням пристрою. Конструкція спроектована з урахуванням максимальної простоти складання, доступності компонентної бази та можливості ручного монтажу без застосування спеціалізованого промислового обладнання.

Основним методом монтажу є наскрізна технологія ТНТ, за якої всі компоненти встановлюються у просвердлені отвори друкованої плати з кроком координатної сітки 1,25 мм. Така технологія забезпечує високу механічну міцність паяних з'єднань, що є особливо важливим в умовах інтенсивної лабораторної експлуатації з частим підключенням та відключенням зовнішніх модулів і периферійних пристроїв.

Процес складання виробу включає такі послідовні технологічні етапи: комплектування елементів у кількості 70 одиниць, розконсервація та підготовка друкованої плати, маркування заводського номера, підготовка та формування виводів компонентів, встановлення елементів на плату, автоматизована пайка хвилею припою ПОС-61 відповідно до вимог, для 250 паяних з'єднань, ручний електромонтаж 8 елементів, промивання залишків флюсу спиртобензиновою сумішшю, контроль якості з'єднань, нанесення захисного лаку АК-113, регулювання та технічний контроль готового виробу.

Оскільки конструкція стенду виконана у відкритому вигляді на основі деревостружкової плити розміром 320×250×15 мм без захисного корпусу, монтаж друкованої плати керування та інших вузлів здійснюється безпосередньо на основі за допомогою кріпильних елементів. Це суттєво спрощує процес складання, виключає необхідність у додаткових з'єднувальних кабелях між платою та корпусом і забезпечує вільний доступ до всіх елементів схеми під час налагодження та експлуатації.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для організації виробничого процесу застосовується стаціонарний метод складання, за якого всі технологічні операції - від пайки друкованої плати керування до фінального закріплення вузлів на основі - виконуються на одному робочому місці. Це є економічно доцільним рішенням для одиничного виробництва, оскільки дозволяє мінімізувати витрати на організацію виробничого циклу та зосередитись на контрольно-діагностичних операціях.

При проектуванні друкованої плати керування дотримані необхідні монтажні зазори відповідно до класу точності 3 за ДСТУ 23751-86: мінімальна відстань між провідником і контактною площадкою становить 1,7 мм, між двома контактними площадками - 0,5 мм, між двома провідниками - 0,8 мм. Стандартизація посадкових місць компонентів та використання уніфікованої елементної бази забезпечують відтворюваність конструкції та спрощують процес складання.

2.2.2 Якісна оцінка технологічності конструкції

Проектований лабораторний стенд для вивчення інтерфейсу I2C характеризується високим рівнем технологічності конструкції в умовах одиничного виробництва.

Уніфікація та стандартизація елементної бази є одним з ключових чинників технологічності виробу. Переважна більшість застосованих компонентів належать до широко розповсюджених стандартних виробів, які випускаються масово і є доступними на ринку електронних компонентів.

Друкована плата керування має стандартну прямокутну форму розміром 77,5×110 мм з координатною сіткою 1,25 мм і виготовляється хімічним методом з класом точності 3 за ДСТУ 23751-86. Застосування одношарової плати додатково спрощує технологічний процес виготовлення та знижує його вартість порівняно з багатошаровими рішеннями.

Елементи на основні платі згруповані за функціональними блоками - що скорочує довжину провідників, зменшує вплив перехресних завад і спрощує трасування. Між компонентами дотримані необхідні монтажні зазори.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відкрита конструкція виробу без захисного корпусу є свідомим технологічним рішенням, що підвищує ремонтпридатність пристрою. Усі вузли та елементи схеми знаходяться у вільному доступі, що дозволяє оперативно виявляти та усувати несправності, замінювати окремі компоненти без демонтажу корпусних деталей, зводячи трудомісткість ремонтних операцій до мінімуму.

Застосування штирьових з'єднувачів для підключення зовнішніх модулів та периферійних пристроїв забезпечує можливість швидкої переконфігурації стенду без застосування паяльного інструменту. Це є важливою перевагою в умовах навчального процесу з частою зміною конфігурації підключень.

Основа стенду з деревостружкової плити розміром 320×250×15 мм є простим у виготовленні, що не потребує складного технологічного обладнання для обробки. Кріплення всіх вузлів здійснюється стандартними кріпильними елементами, що забезпечує швидке та надійне складання конструкції в цілому.

2.2.3 Опис технології виготовлення друкованої плати. Вибір основних та допоміжних матеріалів

Друкована плата керування лабораторного стенду для вивчення інтерфейсу I2C виготовляється хімічним методом, що є найбільш доцільним для одиничного виробництва завдяки простоті технологічного процесу, доступності обладнання та матеріалів. Клас точності друкованої плати - 3 відповідно до ДСТУ 23751-86.

Як основний матеріал для виготовлення друкованої плати керування обрано склотекстоліт фольгований одношаровий марки FR-4 товщиною 1,5 мм з мідною фольгою товщиною 35 мкм. Вибір цього матеріалу обумовлений його високими діелектричними властивостями, механічною міцністю, стійкістю до підвищених температур при пайці, широкою доступністю та помірною вартістю.

Технологічний процес виготовлення друкованої плати хімічним методом включає такі основні етапи:

1. На першому етапі виконується підготовка заготовки - розрізання листа склотекстоліту до розміру 77,5×110 мм, механічне зачищення та знежирення

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхні мідної фольги для забезпечення якісного нанесення захисного покриття.

2. На другому етапі на поверхню мідної фольги наноситься захисний малюнок провідників за допомогою хімічно стійкої фарби або лаку. У випадку хімічного методу малюнок провідників наноситься безпосередньо від руки або за допомогою трафарету на основі розробленого в Altium Designer файлу з топологією плати. Як допоміжний матеріал використовується нітролак або спеціальний маркер, стійкий до дії травильного розчину.

3. На третьому етапі проводиться травлення міді - основна операція хімічного методу. Плата занурюється у розчин хлорного заліза концентрацією 400–500 г/л при температурі 40–50°C. У процесі травлення незахищені лаком ділянки мідної фольги розчиняються, формуючи малюнок провідників плати. Тривалість травлення становить 20–40 хвилин залежно від концентрації та температури розчину. Після завершення травлення плата ретельно промивається у проточній воді для видалення залишків травильного розчину.

4. На четвертому етапі захисне лакове покриття видаляється з поверхні провідників за допомогою розчину ацетону або спиртобензинової суміші, після чого провідники зачищаються до металевого блиску дрібнозернистим абразивом.

5. П'ятий етап передбачає свердління монтажних отворів відповідно до розрахованих діаметрів: 0,9 мм для більшості компонентів та 1,1 мм для компонентів з більшим діаметром виводу. Свердління виконується за допомогою свердлильного верстата з твердосплавними свердлами.

6. На шостому етапі проводиться лудіння контактних площадок та провідників припоєм ПОС-61 для захисту мідної поверхні від окислення та покращення паяності при подальшому монтажі компонентів. Як допоміжний матеріал при лудінні використовується флюс СКФ на основі каніфолі.

7. Завершальним етапом є нанесення захисного лаку АК-113 на змонтовану плату після встановлення та пайки всіх компонентів. Лак наноситься

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівномірним шаром за допомогою пензля або розпилювача і захищає плату від впливу вологи, пилу та агресивних середовищ в умовах лабораторної експлуатації.

Таким чином, обрана технологія виготовлення друкованої плати хімічним методом та підібрані матеріали повністю відповідають вимогам до якості, надійності та економічності виробництва лабораторного стенду в умовах одиничного виготовлення.

2.2.4 Розробка і оформлення маршрутно-операційної технології складання і монтажу виробу

Маршрутно-операційна технологія складання друкованого вузла описує послідовність операцій при складанні друкованого вузла. Включає в себе наступні кроки:

- Комплектування. Складається з 70 елементів;
- Розконсервація друкованої плати. Розконсервовуємо за допомогою скальпеля;
- Маркування заводського номера. Маркування здійснюється біркою штрих-коду;
- Слюсарна. Здійснюється розклепування 12 розклепок, Для операції необхідний мініпрес;
- Обпаювання. Потрібно обпаяти пустотілі заклепки. Потрібен паяльник, припой, флюс і спиртобензинова суміш;
- Захист. Проводимо захист площадок, які не підлягають автоматизованій пайці латексом, тут використовуємо дозатор латексу. Захищаємо 12 контактних площадок;
- Сушка. Виконується в шафах сушильних;
- Залудження. При залудженні використовується автоматизований метод припоєм ПОС-61. Кількість виводів для залудження 198;
- Установка ЕРЕ. Установлюємо електрорадіоелементи, які будуть паятися автоматизованим способом. Кількість елементів 63;

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Автоматизована пайка. Установка пайки здійснюється хвилею припою. Кількість елементів які запаюються 250 виводів;
- Електромонтаж. Здійснюємо рихтування елементів вручну 8 штук. Встановлюємо і запаюємо елементи за допомогою електропаяльника;
- Регулювання. Регулюємо згідно інструкції за допомогою установки для регулювання;
- Лакування. Операція проводиться автоматизовано на установці для лакування, використовується лак АК-113;
- Технічний контроль. Проводимо перевірку по інструкції за допомогою установки для регулювання.

Маршрутно-операційна технологія складання і монтажу виробу наведена в додатках.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок обсягу інвестицій, необхідних для реалізації проектних рішень

Для реалізації проектних рішень необхідно визначити обсяг інвестицій для їх здійснення. Обсяг інвестицій складається з вартості основних фондів за групами та витрат, пов'язаних із їх придбанням і вводом в експлуатацію.

1) Вартість будівель визначається, виходячи із орендної плати за них. Приймається середня величина оренди виробничих приміщень у даному регіоні на час написання дипломного проекту, яка становить 2000 грн м² за місяць. При цьому вартість передавальних пристроїв включається в орендну плату будівель.

Розрахунок вартості оренди будівлі виконується за формулою:

$$V_{\text{буд}} = C_{\text{буд}} \times S_{\text{буд}} \quad (3.1)$$

де $V_{\text{буд}}$ - вартість будівлі (оренди), грн;

$C_{\text{буд}}$ - орендна плата за 1 м² будівлі, грн м² (2000 грн/м²);

$S_{\text{буд}}$ - площа будівлі, яка необхідна для організації робочого місця (приймається 120 м²).

$$V_{\text{буд}} = 2000 \times 120 = 240\,000 \text{ (грн)}$$

Будівлі орендуються разом із необхідним технологічним обладнанням (паяльні станції, осцилографи, вимірювальні прилади, ПК тощо), тому їх вартість слід збільшити на 50%, тобто за формулою:

$$V_{\text{буд}\Sigma} = V_{\text{буд}} + V_{\text{обл}} \quad (3.2)$$

де $V_{\text{буд}\Sigma}$ - вартість оренди будівель включно з вартістю обладнання, грн;

$V_{\text{обл}}$ - вартість обладнання, грн.

При цьому вартість обладнання складає (40% – 60%) від вартості будівлі та розраховується за формулою:

$$V_{\text{обл}} = V_{\text{буд}} \times K_o \quad (3.3)$$

$$V_{\text{обл}} = 240\,000 \times 0,5 = 120\,000 \text{ (грн)}$$

де K_o - коефіцієнт, що враховує вартість обладнання ($K_o = 0,4 - 0,6$).

$$V_{\text{буд}\Sigma} = 240\,000 + 120\,000 = 360\,000 \text{ (грн)}$$

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Вартість інструментів та приладів ($V_{\text{інстр}}$) складає 2% від вартості обладнання. При цьому витрати на їх доставку приймають в розмірі 10% від їх вартості. Таким чином, вартість інструментів та приладів розраховується за формулою:

$$V_{\text{інстр}} = V_{\text{обл}} \times 0,02 \times 1,1 \quad (3.4)$$

$$V_{\text{інстр}} = 120\,000 \times 0,02 \times 1,1 = 2640 \text{ (грн)}$$

3) Вартість виробничого та господарського інвентарю ($V_{\text{інв}}$) складає 3% від вартості обладнання. При цьому витрати на його доставку приймають в розмірі 10% від його вартості. Таким чином, вартість інвентарю розраховується за формулою:

$$V_{\text{інв}} = V_{\text{обл}} \times 0,03 \times 1,1 \quad (3.5)$$

$$V_{\text{інв}} = 120,000 \times 0,03 \times 1,1 = 3960 \text{ (грн)}$$

4) Загальний обсяг виробничих інвестицій розраховується формулою:

$$\Pi = V_{\text{буд}\Sigma} + V_{\text{інстр}} + V_{\text{інв}} \quad (3.6)$$

$$\Pi = 360,000 + 2640 + 3960 = 366\,600 \text{ (грн)}$$

5) Загальний обсяг первісних виробничих інвестицій, балансова вартість основних фондів $S_{\text{бал}}$, які безпосередньо стають на баланс підприємства розраховується за формулою:

$$S_{\text{бал}} = V_{\text{інстр}} + V_{\text{інв}} \quad (3.7)$$

$$S_{\text{бал}} = 2640 + 3960 = 6600 \text{ (грн)}$$

6) Величина річних амортизаційних відрахувань розраховується виходячи з балансової вартості власного майна та встановлених законодавством річних норм амортизації для відповідних груп фондів. Норма амортизації для інструментів, приладів та господарського інвентарю становить $H_a = 25\%$.

Розрахунок річної суми амортизації (A) виконується за формулою:

$$A = \frac{S_{\text{бал}} \times H_a}{100} \quad (3.8)$$

де $S_{\text{бал}}$ - балансова вартість основних фондів, грн;

H_a - річна норма амортизації, %.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для інструментів та приладів:

$$A_{\text{інстр}} = \frac{2640 \times 25}{100} = 660 \text{ грн}$$

Для виробничого та господарського інвентарю:

$$A_{\text{інстр}} = \frac{3960 \times 25}{100} = 990 \text{ грн}$$

Загальна річна сума амортизаційних відрахувань становить:

$$A_{\Sigma} = 660 + 990 = 1650 \text{ грн}$$

Результати розрахунку річної суми амортизаційних відрахувань зведено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

№ з/п	Найменування основних фондів	Балансова вартість основних фондів, грн.	Річна сума амортизаційних відрахувань, грн.
1	Інструменти та прилади	2640	660
2	Виробничий та господарський інвентар	3960	990
-	Всього:	6600	1650

3.2 Розрахунок собівартості продукту.

Собівартість продукції - це виражені в грошовій формі поточні витрати підприємства на її виробництво і збут. Розрахунок собівартості є основою для визначення ціни виробу та оцінки економічної ефективності проекту.

Витрати на сировину, матеріали та куповані комплектуючі вироби розраховуються на основі розробленої специфікації пристрою та діючих ринкових цін.

В загальному вигляді калькуляція собівартості продукції включає такі статті витрат:

1. Сировина і матеріали.
2. Енергія технологічна.

3. Заробітна плата виробничих робітників (основна і додаткова).
4. Відрахування на соціальні заходи.
5. Утримання та експлуатація машин і механізмів.
6. Загальновиробничі витрати. Виробнича собівартість
7. Адміністративні витрати.
8. Витрати на збут.
9. Інші операційні витрати.

Повна собівартість

1) Витрати матеріалів (покупних виробів) на одиницю продукції визначають за формулою:

$$B_m = \sum_{i=1}^m (H_{mi} \times C_{mi}) \times K_{tr} \quad (3.9)$$

де m - кількість видів матеріалів, які використовують для виробництва одиниці продукції;

H_{mi} - норма витрат i -го виду матеріалу (покупних виробів) на виробництво одиниці продукції, натур. од.;

C_{mi} - ціна придбання i -го виду матеріалу (покупних виробів), грн. од.;

K_{tr} - коефіцієнт, що враховує транспортні витрати на доставку матеріалів до підприємства (для розрахунку приймається в розмірі 4 % від вартості матеріалів: $K_{tr}=1.04$).

Розрахунки слід звести в табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Вартість елементів лабораторного стенду

№ з/п	Назва матеріалу	Кількість, шт.	Ціна за од., грн.	Загальна вартість, грн.
1	2	3	4	5
1	Склотекстоліт	1	50,00	50,00
2	Мікроконтролер ATmega8A-PU	2	85,00	170,00
3	Модуль LCD 1602 з I2C	1	85,00	85,00
4	TDA7315	1	60,00	60,00

Продовження Таблиці 3.2

1	2	3	4	5
5	Модуль радіоприймача на мікросхемі RDA7805M	1	20,00	20,00
6	Підсилювач потужності звукової частоти класу D	1	70,00	70,00
7	Стабілізатор напруги LM1117	1	20,00	20,00
6	Стабілізатор напруги L7805	1	10,00	10,00
7	Стабілізатор напруги L7809	1	10,00	10,00
8	Резистори CF-25	29	0,25	7,25
9	Конденсатори керамічні	22	0,15	3,30
10	Конденсатори електролітичні	9	1,00	9,00
11	Діоди 1N4007	2	0,50	1,00
12	Кварцові резонатори HC-49U	2	6,00	12,00
13	Кнопка	1	2,00	2,00
14	Котушка індуктивності	1	3,00	3,00
15	USB роз'єм B-type	1	9,00	9,00
16	Роз'єм живлення DC-005-2.1R	1	3,00	3,00
17	Прямий гніздовий роз'єм 1x3	1	1,50	1,50
18	Світлодіоди індикаторні	4	0,70	2,80
19	Штирьовий з'єднувач PLS 1x1	2	0,15	0,30
20	Штирьовий з'єднувач PLS 2x1	7	0,30	2,10
21	Штирьовий з'єднувач PLD 2x2	1	0,60	0,60
22	Штирьовий з'єднувач PLD 2x5	1	2,10	2,10
23	Штирьовий з'єднувач PLD 2x6	1	2,40	2,40
24	Штирьовий з'єднувач PLD 2x8	1	2,10	2,10
25	Штирьовий з'єднувач PLS 3x1	1	0,45	0,45
26	Штирьовий з'єднувач PLT 3x8	1	4,80	4,80
27	Вимикач KCD1-101	1	4,00	4,00

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

69

Продовження Таблиці 3.2

1	2	3	4	5
28	Клемники DG306-5.0-02P	4	2,60	10,40
29	П-подібні радіатори для ТО-220	3	3,00	9,00
30	Склотекстоліт	1	40,00	40,00
31	Гніздо RCA x2	1	6,00	6,00
32	Динаміки	2	45,00	90,00
33	Дроти з'єднувальні	40	0,55	22,00
34	Основа стенду (ДСП 300×230×15 мм)	1	50,00	50,00
35	Блок живлення 12V 5A	1	125,00	125,00
Всього вартість компонентів:				840,1

Підставивши значення у формулу (3.9), отримаємо загальні матеріальні витрати:

$$B_m = 1,04 \times 840,1 = 873,704 \text{ (грн)}$$

Розрахунок витрат на основну заробітну плату основних робітників слід звести в таблиці.3.3

Таблиця 3.3 – Розрахунок основної заробітної плати

№ з/п	Назва операції	Тшт, год	Розряд	Годинна тарифна ставка (Сг), грн/год	Відрядна розцінка (Рвід), грн
1	2	3	4	5	6
1	Комплектування	0,005	III	150	0,75
2	Розконсервація ДП	0,005	III	150	0,75
3	Маркування заводського номеру	0,005	III	150	0,75
4	Слюсарна	0,01	III	150	1,5
5	Обпаювання	0,01	III	150	1,5
6	Захист	0,01	III	150	1,5
7	Сушка	0,005	III	150	0,75
8	Залудження	0,05	IV	180	9

1	2	3	4	5	6
9	Установка ЕРЕ	0,018	IV	180	3,24
10	Автоматизована пайка	0,005	IV	180	0,9
11	Електромонтаж	0,005	IV	180	0,9
12	Регулювання	0,005	IV	180	0,9
13	Лакування	0,005	III	150	0,75
14	Технічний контроль	0,026	III	150	3,9
Всього					27,09

Для розрахунку заробітної плати працівників визначають відрядну розцінку за кожну операцію (одиницю роботи чи продукції), виконану працівником, за формулою:

$$P_{\text{від}} = \sum_{i=1}^m T_{\text{шт}_i} \times C_{\Gamma} \quad (3.10)$$

де $T_{\text{шт}_i}$ – час виконання однієї операції (одиниці роботи чи продукції);

C_{Γ} – годинна тарифна ставка відповідно до розряду виконуваних робіт

$$P_{\text{від}} = 27,09 \text{ грн}$$

Витрати на додаткову заробітну плату працівників ($V_{\text{дод.з.пл.}}$):

приймаються в розмірі 11% від основної заробітної плати виробничих працівників і розраховують за формулою:

$$V_{\text{дод.з.пл.}} = P_{\text{від}} \times 0.11 \quad (3.11)$$

$$V_{\text{дод.з.пл.}} = 27,09 \times 0.11 \approx 2,98 \text{ (грн)}$$

Сума відрахувань на соціальні заходи ($C_{\text{в.с.з.}}$) визначається за встановленими законодавством нормами у відсотках від витрат на основну й додаткову заробітну плату:

$$C_{\text{в.с.з.}} = \frac{\alpha}{100} \times (P_{\text{від}} + V_{\text{дод.з.пл.}}) \quad (3.12)$$

де α відсоток відрахувань на соціальні заходи становить 22%;

$$C_{\text{в.с.з.}} = \frac{22}{100} \times (27,09 + 2,98) = 6,62 \text{ (грн)}$$

Витрати на утримання та експлуатацію машин і механізмів є комплексними, оскільки охоплюють витрати, що безпосередньо необхідні для експлуатації обладнання; амортизаційні відрахування на відтворення машин і механізмів, тощо. Оскільки такі витрати неможливо обчислити безпосередньо на одиницю продукції, їх розподіляють за вибраною базою розподілу. Найчастіше за таку базу беруть заробітну плату виробничих працівників.

Витрати на утримання та експлуатацію машин і механізмів розраховуються за формулою:

$$V_{\text{уео}} = \frac{\alpha_{\text{уео}}}{100} \times (P_{\text{від}} + V_{\text{дод.з.пл.}}) \quad (3.13)$$

де $\alpha_{\text{уео}}$ - відсоток витрат на утримання та експлуатацію обладнання приймається 74%.

$$V_{\text{уео}} = \frac{74}{100} \times (27,09 + 2,98) = 22,25 \text{ грн}$$

Витрати за статтею “Загальновиробничі витрати” також комплексні. Загальновиробничі витрати охоплюють витрати на управління, виробниче та господарське обслуговування в межах виробництва, а також витрати на заробітну плату з відрахуванням на соціальні заходи управлінських працівників, спеціалістів, обслуговуючого персоналу, охорону праці, тощо. Вказані витрати розраховують за формулою:

$$V_{\text{зв}} = \frac{\alpha_{\text{зв}}}{100} \times (P_{\text{від}} + V_{\text{дод.з.пл.}}) \quad (3.14)$$

де $\alpha_{\text{зв}}$ - відсоток загальновиробничих витрат приймається 144%.

$$V_{\text{зв}} = \frac{144}{100} \times (27,09 + 2,98) = 43,3$$

Разом виробнича собівартість ($S_{\text{вир}}$) визначається формулою:

$$S_{\text{вир}} = V_{\text{м}} + (P_{\text{від}} + V_{\text{дод.з.пл.}} + C_{\text{в.с.з.}}) + V_{\text{уео}} + V_{\text{зв}} \quad (3.15)$$

$$S_{\text{вир}} = 873,704 + (27,09 + 2,98 + 6,62) + 22,25 + 43,3 = 975,944 \text{ (грн)}$$

На підставі розрахованих вище даних складають калькуляцію собівартості одиниці продукції (однієї деталі) та запланованого випуску. Калькуляція собівартості представлена в табл. 3.4

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 – Калькуляція собівартості

№ з/п	Найменування статей витрат	Величина витрат, грн.
1	2	3
1	Витрати матеріалів	832,104
2	Основна заробітна плата виробничих робітників	27,09
3	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	2,98
4	Відрахування на соціальні заходи.	6,62
5	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	22,25
6	Загальновиробничі витрати $B_{зв}$	43,3
Разом виробнича собівартість (сума 1-6), в тому числі:		975,944
7	-змінні (сума 1-4)	910,394
8	-умовно-постійні (сума 5-6)	65,55

Ціна одиниці продукції (одного виробу) розраховується за формулою:

$$Ц_{одпр} = S_{пов} \times \frac{100 + \alpha_{пр}}{100} \quad (3.16)$$

$$Ц_{одпр} = 975,944 \times \frac{100 + 35}{100} \approx 1317,52 \text{ (грн)}$$

де $\alpha_{пр}$ – відсоток запланованого прибутку становить 35%

3.3. Оцінка економічної ефективності та доцільності впровадження проектних рішень

Розрахунок економічної ефективності інвестиційного проекту проводиться за наступними критеріями:

1) Річний прибуток від реалізації проекту розраховується за формулою:

$$П_p = (Ц_{одпр} - S_{пов.}) \times N_p \quad (3.17)$$

$$П_p = (1317,52 - 975,944) \times 860 = 293\,755,36 \text{ (грн)}$$

де $П_p$ - річний прибуток від реалізації проекту, грн.;

$Ц_{одпр}$ - ціна одиниці продукції, грн.;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

73

$S_{\text{пов}}$ - собівартість одиниці продукції, грн.;

N_p - річна виробнича програма (план виробництва), од.

2) Чистий прибуток від реалізації проекту розраховується за формулою:

$$\text{ЧП} = \Pi_p - \Pi_p \times \frac{\Pi_{\text{п}}}{100} \quad (3.18)$$

$$\text{ЧП} = 293\,755,36 - 293\,755,36 \times \frac{18}{100} \approx 240\,879,4 \text{ (грн)}$$

де ЧП - чистий прибуток від реалізації проекту, грн.;

$\Pi_{\text{п}}$ - ставка податку на прибуток, % (приймається відповідно до чинного законодавства – 18%).

3) Собівартість всього виробництва розраховується за формулою:

$$S_{\text{повq}} = S_{\text{пов}} \times N_p \quad (3.19)$$

$$S_{\text{повq}} = 975,944 \times 860 = 839\,311,84 \text{ (грн)}$$

4) Рентабельність продукції визначається за формулою:

$$R_{\text{п}} = \frac{\text{ЧП}}{S_{\text{повq}}} \times 100\% \quad (3.20)$$

$$R_{\text{п}} = \frac{240\,879,4}{839\,311,84} \times 100\% = 28,7\%$$

де $R_{\text{п}}$ - рентабельність продукції, %;

$S_{\text{повq}}$ - собівартість всього виробництва, грн.

5) Сума чистих грошових надходжень від інвестицій розраховується за формулою:

$$\Gamma\text{П} = \text{ЧП}_t + A_t \quad (3.21)$$

$$\Gamma\text{П} = 240\,879,4 + 1650 = 242\,529,4 \text{ (грн)}$$

де ЧП_t - сума чистих грошових надходжень у t-му році, грн.;

A_t величина амортизаційних відрахувань у t-му році, грн.

6) Загальний абсолютний ефект від реалізації інвестицій характеризує чиста теперішня (дисконтована) вартість проекту, яка розраховується за формулою:

$$\text{ЧТВ} = \text{ТВ} - \text{ПІ} \quad (3.22)$$

$$\text{ЧТВ} = 420\,918,79 - 366\,600 = 54\,318,79 \text{ (грн)}$$

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де ЧТВ - чиста теперішня вартість проекту, грн.;

ТВ - теперішня вартість майбутніх грошових потоків від інвестиційного проекту, грн.

Теперішню вартість майбутніх грошових потоків від інвестиційного проекту обчислюють за формулою:

$$ТВ = \sum_{i=1}^n \frac{ГП_t}{(1+r)^t} \quad (3.23)$$

$$ТВ = \sum_{i=1}^n \frac{242\,529,4}{(1+0,1)^1} = 220\,481,27 \text{ (грн) за 1 рік}$$

$$ТВ = \sum_{i=1}^n \frac{242\,529,4}{(1+0,1)^2} = 200\,437,52 \text{ (грн) за 2 рік}$$

$$ТВ = 420\,918,79 \text{ (грн) загалом}$$

де ГП_t - грошовий потік, який очікується у t-му році від реалізації проекту, грн.;

$\frac{1}{(1+r)^t}$ - коефіцієнт коригування майбутніх сум грошових потоків (дисконтний множник);

r - норматив приведення різночасових витрат (ставка дисконту) у вигляді десяткового дробу (r = 0,1-0,2);

n - кількість років інвестування, t = 1,2, ... ,n (приймається з розрахунку виконання умови ТВ>ПІ).

Якщо чиста теперішня вартість перевищує нуль, проект має бути схвалений як прибутковий, якщо ж вона має від'ємну величину або дорівнює нулю, то проект слід відхилити, оскільки його реалізація призведе до збитків або не принесе підприємству додаткового доходу на вкладений капітал.

Іншою характеристикою інвестиційного проекту є індекс прибутковості інвестицій, який порівнює теперішню вартість майбутніх грошових потоків з початковими інвестиціями:

$$ІП = \frac{ТВ}{ПІ} \quad (3.24)$$

$$ІП = \frac{420\,918,79}{366\,600} = 1,15$$

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де ІІ - індекс прибутковості інвестицій.

Проект, який має індекс прибутковості більший за одиницю, схвалюється як прибутковий, а якщо цей індекс менший за одиницю - відхиляється.

Дисконтований термін окупності інвестицій (Ток_{диск}) характеризує кількість років, за які будуть відшкодовані початкові інвестиції та розраховується за формулою:

$$Ток_{диск} = \frac{П}{ГП_{диск}} \quad (3.25)$$

$$Ток_{диск} = \frac{366\,660}{210\,459,395} \approx 1,74р$$

де ГП_{диск} - середньорічна величина дисконтованих грошових потоків:

$$ГП_{диск} = \frac{ТВ}{t}, \quad (3.26)$$

$$ГП_{диск} = \frac{420\,918,79}{2} = 210\,459,395 \left(\frac{грн}{р}\right)$$

де t - кількість років інвестування.

Підсумки вищенаведених розрахунків доцільно звести в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - Показники оцінки економічної ефективності використання елементів виробничо-ресурсного потенціалу

№ з/п	Найменування показника	Одиниця виміру	Величина показника
1	2	3	4
1	Річний обсяг виробництва виробу:	од.	860
2	Собівартість виробу	грн./од.	934,344
3	Ціна одиниці виробу	грн./од.	1261,36
4	Початкові інвестиції для реалізації інвестиційного проекту	грн.	366 660
5	Чистий прибуток	грн.	230 611,68
6	Рентабельність виробу	%	28,7

Продовження Таблиці 3.5

1	2	3	4
7	Чиста теперішня вартість проекту	грн.	33 635,15
8	Індекс прибутковості	-	1,09
9	Дисконтований термін окупності інвестицій	років	1,83

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Відповідальність за порушення законодавства про охорону праці

Дотримання законодавства у сфері охорони праці є обов'язком як роботодавців, так і працівників. За порушення законодавчих та інших нормативних актів про охорону праці, а також за створення перешкод для діяльності органів державного нагляду і представників профспілок винні особи притягуються до чотирьох видів юридичної відповідальності: дисциплінарної, адміністративної, матеріальної та кримінальної.

Дисциплінарна відповідальність:

Дисциплінарна відповідальність є найпоширенішим видом відповідальності у трудових правовідносинах. Вона застосовується у разі, якщо працівник не виконує або неналежно виконує покладені на нього обов'язки щодо дотримання вимог нормативно-правових актів з охорони праці. Зокрема, підставою для притягнення до дисциплінарної відповідальності є ухилення працівника від проходження обов'язкового медичного огляду. У такому випадку роботодавець або уповноважений ним орган зобов'язаний відсторонити такого працівника від роботи без збереження заробітної плати.

Дисциплінарна відповідальність реалізується у формі догани або звільнення з роботи. Відповідно до статей 148 і 149 Кодексу законів про працю України (КЗпП), стягнення може бути накладене лише після одержання письмового пояснення від порушника (а в разі відмови - складання відповідного акта) і виключно в місячний строк з дня виявлення проступку. Якщо проступок виявлено пізніше шести місяців з дня його вчинення, накладення стягнення не допускається.

Варто зазначити, що сумлінне виконання працівником обов'язків у сфері охорони праці може бути підставою для його заохочення, надання пільг і переваг відповідно до правил внутрішнього трудового розпорядку та колективного договору (ст. 145 КЗпП України).

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Адміністративна відповідальність:

Адміністративна відповідальність настає за протиправні дії або бездіяльність, що створюють перешкоди для діяльності органів державного нагляду у сфері охорони праці та представників профспілок. До таких порушень належать, зокрема:

- ухилення від участі в переговорах щодо укладання, зміни або доповнення колективного договору чи угоди;
- умисне порушення встановленого законодавством терміну початку переговорів;
- невиконання зобов'язань за колективним договором або угодою;
- ненадання інформації, необхідної для ведення переговорів і здійснення контролю за виконанням колективних договорів.

Адміністративна відповідальність реалізується у формі накладання штрафів на працівників, службових осіб підприємств, установ та організацій, а також на громадян - власників підприємств або уповноважених ними осіб. Крім того, відповідно до статті 43 Закону України «Про охорону праці», штрафні санкції можуть накладатися на юридичних та фізичних осіб, які використовують найману працю.

Матеріальна відповідальність:

Матеріальна відповідальність є самостійним видом юридичної відповідальності і застосовується за наявності трьох обов'язкових умов у сукупності: прямої дійсної шкоди, протиправних дій або бездіяльності працівника, а також причинно-наслідкового зв'язку між діями працівника та завданою шкодою. Відсутність хоча б однієї з цих умов виключає можливість притягнення до матеріальної відповідальності.

Законодавством передбачено два види матеріальної відповідальності залежно від характеру діяння:

- Повна матеріальна відповідальність - застосовується за наявності в діях працівника ознак кримінального злочину;

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Обмежена матеріальна відповідальність - застосовується за відсутності таких ознак і обмежується розміром середнього місячного заробітку працівника.

Важливо, що притягнення до кримінальної, адміністративної або дисциплінарної відповідальності не звільняє працівника від матеріальної відповідальності. Водночас, якщо шкоду заподіяно в стані крайньої необхідності або необхідної оборони, працівник звільняється як від кримінальної, так і від матеріальної відповідальності.

Кримінальна відповідальність

Кримінальна відповідальність є найсуворішим видом юридичної відповідальності у сфері охорони праці. Вона настає не за будь-яке порушення, а лише за такі порушення вимог законодавства, які створювали реальну небезпеку для життя або здоров'я людей. Суб'єктом злочину є службові особи підприємств, установ та організацій незалежно від форми власності, а також громадяни - власники підприємств або уповноважені ними особи.

Кримінальний кодекс України передбачає відповідальність за такі склади злочинів у сфері охорони праці:

Стаття 271 КК України - Порушення вимог законодавства про охорону праці.

За порушення вимог нормативно-правових актів про охорону праці, якщо воно заподіяло шкоду здоров'ю потерпілого, передбачено штраф або виправні роботи до двох років, або обмеження волі до двох років. Якщо ж таке порушення спричинило загибель людей або інші тяжкі наслідки - позбавлення волі до семи років з позбавленням права обіймати певні посади.

Стаття 272 КК України - Порушення правил безпеки під час виконання робіт з підвищеною небезпекою.

За порушення, що створило загрозу загибелі людей або заподіяло шкоду здоров'ю, передбачено штраф або виправні роботи до двох років, або обмеження волі до трьох років. У разі загибелі людей - обмеження волі до п'яти років або

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

позбавлення волі до восьми років.

Стаття 273 КК України - Порухення правил безпеки на вибухонебезпечних підприємствах.

За порушення, що створило загрозу загибелі або заподіяло шкоду здоров'ю, - виправні роботи або обмеження чи позбавлення волі до трьох років. У разі тяжких наслідків - обмеження волі до п'яти років або позбавлення волі від двох до десяти років.

Стаття 274 КК України - Порухення правил ядерної або радіаційної безпеки.

Порушення, що спричинило шкоду здоров'ю, карається обмеженням або позбавленням волі до чотирьох років; у разі загибелі людей — позбавленням волі від трьох до дванадцяти років.

Стаття 275 КК України - Порухення правил безпечного використання промислової продукції або експлуатації будівель і споруд.

Передбачає штраф або виправні роботи до двох років або обмеження волі до трьох років; якщо наслідки є тяжкими - позбавлення волі від двох до п'яти років.

Стаття 270 КК України - Порухення вимог пожежної безпеки.

Порушення, що спричинило виникнення пожежі та шкоду здоров'ю або значні майнові збитки, карається штрафом або виправними роботами до двох років, або обмеженням волі до трьох років. У разі загибелі людей або особливо великої майнової шкоди - позбавленням волі від трьох до восьми років. Майнова шкода вважається великою, якщо прямі збитки перевищують триста неоподатковуваних мінімумів доходів громадян, а особливо великою - тисячу і більше мінімумів.

Таким чином, законодавство України передбачає комплексну систему відповідальності за порушення у сфері охорони праці. Дисциплінарна, адміністративна, матеріальна та кримінальна відповідальності доповнюють одна одну й можуть застосовуватися одночасно залежно від характеру та тяжкості

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вчиненого порушення. Така багаторівнева система покликана забезпечити ефективний захист права працівників на безпечні та здорові умови праці, гарантовані Конституцією України та Законом України «Про охорону праці».

4.2. Призначення та класифікація систем вентиляції

Призначення вентиляції:

Вентиляція є одним із найважливіших елементів виробничої санітарії та гігієни праці. У процесі виробничої діяльності в повітрі робочих приміщень можуть накопичуватися шкідливі речовини: пари, гази, пил, надлишкове тепло та волога, що негативно впливають на здоров'я і працездатність персоналу. Саме тому головне призначення вентиляції полягає в організованій і регулярній заміні забрудненого повітря у приміщеннях на чисте і свіже, а також у підтриманні нормативних параметрів мікроклімату на робочих місцях.

Відповідно до санітарних норм і вимог охорони праці, система вентиляції повинна забезпечувати:

- підтримання концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони на рівні, що не перевищує гранично допустимих концентрацій (ГДК), встановлених ДСТУ EN 482:2022;
- нормалізацію температури, відносної вологості та рухливості повітря відповідно до вимог санітарних норм;
- видалення надлишків тепла, вологи, газів та пилу, що виникають у ході технологічних процесів;
- захист суміжних приміщень від поширення шкідливих речовин.

Недостатня вентиляція або її відсутність призводить до накопичення у повітрі шкідливих речовин понад ГДК, що може спричинити гострі отруєння, хронічні професійні захворювання, зниження концентрації уваги та підвищення ризику виробничого травматизму. Особливо критичною є ситуація у приміщеннях, де використовуються легкозаймисті або токсичні речовини - в таких випадках вентиляція стає не лише гігієнічним, а й протипожежним заходом.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Класифікація систем вентиляції:

Залежно від принципу дії, охоплення простору та напрямку переміщення повітря, системи вентиляції поділяються за кількома основними ознаками.

1. За способом переміщення повітря

Природна вентиляція здійснюється без механічних пристроїв - за рахунок природних сил: вітрового тиску та гравітаційних (теплових) сил. Вітер, обдуваючи будівлю, створює перед нею зону підвищеного тиску, а з протилежного боку - зону розрідження. Під дією цієї різниці тиску зовнішнє повітря через фрамуги, кватирки та інші отвори проникає у приміщення, а відпрацьоване виходить назовні.

Теплова (гравітаційна) тяга виникає через різницю густини теплого і холодного повітря: тепле повітря легше і піднімається вгору, витісняючи холодне через нижні отвори.

Переваги природної вентиляції:

- висока економічність (не потребує електроенергії);
- простота монтажу й обслуговування;
- відсутність механічних вузлів, що зношуються.

Недоліки:

- залежність від кліматичних умов (швидкості вітру, температури) — взимку тяга посилюється, влітку суттєво слабшає;
- неможливість попереднього очищення або підігріву припливного повітря;
- відсутність очищення витяжного повітря перед викидом у атмосферу.

Природна вентиляція поділяється на:

- Неорганізована - відбувається через нерегульовані отвори в конструкціях будівлі. Такий повітрообмін є нерівномірним і некерованим.
- Організована - здійснюється через спеціально передбачені регульовані отвори: кватирки, фрамуги, ліхтарі, шахти, дефлектори. Є більш ефективним і керованим видом природної вентиляції.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними конструктивними елементами організованої природної вентиляції є:

- Аераційні ліхтарі - конструкції, розташовані на даху будівлі й оснащені регульованими отворами або фрамугами. Є найефективнішим засобом природного провітрювання великих промислових приміщень і можуть одночасно слугувати для природного освітлення.
- Шахти - вертикальні канали для виведення відпрацьованого повітря назовні.
- Дефлектори - аеродинамічні насадки на шахтах, які посилюють тягу за рахунок кінетичної енергії вітру, створюючи зону розрідження над вихідним отвором шахти.

Механічна вентиляція - це примусове переміщення повітря за допомогою вентиляційних агрегатів (вентиляторів). На відміну від природної, вона дозволяє:

- подавати повітря незалежно від погодних умов;
- очищати, підігрівати, зволожувати або осушувати припливне повітря;
- очищати витяжне повітря перед викидом у атмосферу;
- точно регулювати обсяги повітрообміну.

Сукупність вентилятора, повітроводів, фільтрів, калориферів, регулювальної арматури та інших елементів становить вентиляційну систему.

2. За напрямом руху повітря для механічної вентиляції

Припливна вентиляція - подає у приміщення чисте зовнішнє повітря, витісняючи відпрацьоване через нерегульовані отвори та нещільності.

Застосовується тоді, коли необхідно забезпечити надходження великої кількості свіжого повітря або підтримати у приміщенні надлишковий тиск (наприклад, у чистих виробничих зонах для запобігання проникненню пилу чи шкідливих речовин ззовні).

Витяжна вентиляція - призначена для видалення забрудненого або перегрітого повітря з приміщення. Зовнішнє повітря при цьому надходить через нерегульовані отвори. Застосовується в приміщеннях, де є інтенсивні виділення

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шкідливих речовин, і де необхідно створити розрідження, щоб запобігти поширенню забруднення в суміжні зони.

Припливно-витяжна (комбінована) вентиляція - поєднує одночасну подачу чистого та видалення відпрацьованого повітря. Є найбільш ефективною та найпоширенішою у виробничих умовах. При її роботі кількість повітря, що надходить ззовні, має не перевищувати або бути на 10-15% меншою від кількості повітря, що видаляється витяжними пристроями - це запобігає поширенню шкідливих речовин за межі виробничої зони.

3. За зоною охоплення

Загальнообмінна вентиляція - забезпечує нормалізацію повітряного середовища у всьому об'ємі виробничого приміщення, рівномірно розбавляючи шкідливі речовини до допустимих концентрацій. Застосовується:

- для видалення надлишкового тепла та вологи;
- при рівномірному розподілі шкідливих речовин по всьому приміщенню без локальних джерел;
- коли не можна застосувати місцеву вентиляцію.

Загальнообмінна вентиляція є менш ефективною щодо локальних джерел забруднення: щоб знизити концентрацію шкідливих речовин до ГДК, доводиться переміщати дуже великі об'єми повітря, що потребує значних витрат енергії.

Важливим параметром є мінімальний об'єм повітря на одного працівника: якщо на кожного з них припадає не менше 20 м³ об'єму приміщення, система вентиляції має забезпечувати не менше 20 м³/год зовнішнього повітря на особу.

Місцева вентиляція - призначена для нормалізації повітряного середовища безпосередньо на конкретних робочих місцях або поблизу локальних джерел забруднення. Є значно ефективнішою за загальнообмінну, оскільки уловлює або подає повітря прямо там, де це необхідно, витрачаючи набагато менше енергії.

Місцева вентиляція, у свою чергу, поділяється на:

- Місцеву припливну вентиляцію, яка передбачає цілеспрямоване подавання чистого або охолодженого/нагрітого повітря до конкретних робочих місць.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До неї належать:

- Повітряні душі - потоки повітря, спрямовані безпосередньо на тіло працівника; застосовуються в гарячих цехах для компенсації теплового навантаження.
- Повітряні завіси - вертикальні або горизонтальні плоскі потоки повітря, що перешкоджають проникненню холодного зовнішнього повітря через ворота, двері або технологічні прорізи у приміщення.
- Повітряно-теплові завіси - аналог повітряних завіс із підігрівом повітряного потоку; забезпечують підтримання необхідної температури в приміщенні при відкритих дверях та воротах (14°C при легкій фізичній роботі, 12°C при середньому навантаженні, 8°C при важкій роботі).
- Місцеву витяжну вентиляцію - уловлює шкідливі речовини безпосередньо біля місць їх утворення, не даючи їм поширитися по приміщенню. До неї належать:
 - Витяжні шафи - напіввідкриті кабінки, всередині яких виконуються роботи зі шкідливими речовинами (широко застосовуються в хімічних лабораторіях та виробництвах);
 - Витяжні зонти - козиркові укриття над джерелами тепла чи газовиділення;
 - Бортові відсмоктувачі - встановлюються по периметру відкритих ємностей з рідинами, що випаровуються;
 - Аспіраційні пристрої - системи для уловлювання пилу безпосередньо у місцях його утворення.

Комбінована вентиляція - поєднання загальнообмінної та місцевої систем в одному приміщенні. Вважається найбільш раціональним рішенням для більшості виробничих умов: загальнообмінна система підтримує нормальний мікроклімат у всьому просторі, тоді як місцева витяжка ефективно видаляє шкідливі речовини безпосередньо у джерел їх виникнення.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. За конструктивним виконанням

Крім наведених вище класифікацій, розрізняють також системи вентиляції за конструктивним виконанням:

- Канальна вентиляція - повітря транспортується по розгалуженій мережі повітроводів. Підходить для великих будівель і дозволяє точно розподіляти повітряні потоки по зонах.
- Безканальна вентиляція - повітря переміщується без повітроводів, безпосередньо через отвори в стінах, перекриттях або за допомогою настінних/стельових вентиляторів. Простіша та дешевша, але менш керована.

5. Кондиціювання повітря як вищий рівень вентиляції

Окремо слід виділити кондиціювання повітря - автоматичну підтримку в приміщенні заданих параметрів мікроклімату: температури, вологості, швидкості руху та чистоти повітря. Кондиціювання є вдосконаленим різновидом механічної вентиляції і застосовується там, де ставляться підвищені вимоги до стабільності умов праці: у приміщеннях точного приладобудування, фармацевтичних виробництвах, операційних, серверних тощо.

Вибір системи вентиляції та її ефективність

Вибір типу вентиляційної системи визначається низкою факторів:

- Характер виробничого процесу та вид шкідливих речовин, що виділяються: гази, пари, пил, надлишкове тепло;
- Густина виділюваних речовин відносно повітря: якщо шкідливі пари важчі за повітря (наприклад, пари кислот), витяжна вентиляція має видаляти 60% повітря з нижньої зони приміщення і 40% - з верхньої. Якщо речовини легші за повітря - видалення здійснюється переважно з верхньої зони;
- Інтенсивність виділення шкідливих речовин: при значних виділеннях перевагу надають витяжній системі, щоб запобігти поширенню забруднення;
- Планування та розміри приміщення: великі відкриті прольоти (ливарні,

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механічні цехи) потребують потужної загальнообмінної вентиляції.

Невеликі кімнати з локальними джерелами - місцевої витяжки;

- Кліматичний регіон та пора року: у холодному кліматі припливне повітря потрібно підігрівати, тому перевагу надають механічним системам із калориферами.

Ефективність вентиляційної системи залежить від правильного розміщення припливних та витяжних каналів: припливні розміщуються у верхній частині поздовжніх стін на 40–45 см нижче перекриття, а витяжні - у стелі з виходом на гребінь покрівлі. Швидкість руху повітря у повітроводах також нормується: для видалення газів із холодних приміщень - 0,5-1 м/с, для теплих - 1,0-1,5 м/с; для видалення пилу - 0,8-2,5 м/с залежно від умов.

Таким чином, системи вентиляції є невід'ємним елементом забезпечення здорових і безпечних умов праці на виробництві. Їх різноманіття - за способом переміщення повітря, напрямом потоку, зоною охоплення та конструктивним виконанням - дозволяє обрати оптимальне рішення для кожного конкретного виробничого приміщення та технологічного процесу. Правильно спроектована та змонтована вентиляційна система не лише захищає здоров'я працівників, знижуючи концентрацію шкідливих речовин до допустимого рівня, а й підвищує продуктивність праці, скорочує захворюваність і зменшує ризик нещасних випадків, пов'язаних із впливом несприятливого повітряного середовища.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було розроблено навчально-демонстраційний стенд на базі мікроконтролера ATmega8, що поєднує в собі функції цифрового FM-приймача, аудіопідсилювача та вбудованого програматора. Пристрій призначений для використання в лабораторних умовах для вивчення архітектури AVR та принципів побудови аудіосистем.

Для проектування використовувалася система автоматичного проектування Altium Designer: За допомогою сучасного середовища САПР було розроблено 3D модель плати, та трасування друкованих провідників. В результаті спроектовано одношарову друковану плату з розмірами 77,5×110 мм. Крок координатної сітки дорівнює 1,25 мм, що дозволило забезпечити оптимальне розміщення компонентів.

Конструктивні особливості: Виріб реалізовано у вигляді безкорпусного лабораторного стенда, закріпленого на основі деревинностружкової плити. Це забезпечує повну простоту та легкий доступ до контрольних точок у навчальних цілях. Прилад має високу ремонтпридатність, тому що всі елементи у відкритому доступі. У разі поломки їх можна легко замінити на нові компоненти.

Технологічне обґрунтування: У технологічній частині проведена комплексна оцінка технологічності конструкції. Встановлено, що використання стандартної елементної бази дозволяє виготовляти пристрій за умов одиничного виробництва з мінімальними витратами часу та ресурсів.

Були визначені розміри друкованого монтажу. В результаті яких отримано ширину друкованих провідників, відстань між друкованими провідниками, між провідником і контактною площадкою, діаметри монтажних отворів.

Найкращим методом для виготовлення друкованої плати виявився хімічний метод. У даному методі проводиться травлення міді.

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мікроконтролер Atmega8 [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/80247/ATMEL/ATMEGA8.html> (Дата звернення 24.04.2026)
2. Кнопка [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Mountain-Switch/101TS6111T1602EV?qs=tOxFRg%2FqIe3Emt9e4hH6fA%3D%3D> (Дата звернення 24.04.2026)
3. Конденсатор керамічний [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/901953/KEMET/C315C220K2G5TA.html> (Дата звернення 24.04.2026)
4. Конденсатор електролітичний [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/212858/DBLECTRO/HL1A100KC.html> (Дата звернення 24.04.2026)
5. Котушка індуктивності [електронний ресурс] – Режим доступу: https://docs.rs-online.com/c71a/0900766b81548_be3.pdf (Дата звернення 24.04.2026)
6. Роз'єм DC-005-2.1R [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/2060313/AGELECTRONICA/DC-005-2.1R.html> (Дата звернення 24.04.2026)
7. Діод 1N4007 [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/diod-vyvodnoy-1n4007> (Дата звернення 24.04.2026)
8. Світлодіод [електронний ресурс] – Режим доступу: [AV02-1568EN_DS_HLMP-HG64 04Nov09.pdf](https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1572373/ETC/L7809.html) (Дата звернення 24.04.2026)
9. Дисплей LCD1602 I2C [електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.handsontec.com/dataspecs/module/I2C_1602_LCD.pdf (Дата звернення 24.04.2026)
10. Стабілізатор L7809 [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1572373/ETC/L7809.html> (Дата звернення 24.04.2026)

					<i>26 КР 172.402.027.000 ПЗ</i>	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Стабілізатор L7805 [електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.componentsinfo.com/7805-pinout-datasheet/> (Дата звернення
24.04.2026)
12. Стабілізатор LD1117V33 [електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/ld1117.pdf> (Дата звернення
24.04.2026)
13. Пін [електронний ресурс] – <https://precidip.com/product/890-18-002-10-002101/> (Дата звернення 24.04.2026)
14. Кварцовий резонатор [електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://makerselectronics.com/wpcontent/uploads/2023/04/hc49u-2577636.pdf>
(Дата звернення 24.04.2026)
15. Резистор [електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.chipdip.ru/product/cf-25-s1-4-0.25vt-1-kom-5rezistor-uglerod-isty-44435> (Дата звернення 24.04.2026)
16. RDA5807M [електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/1741404/RDA/RDA5807M.html> (Дата звернення 24.04.2026)
17. TDA7315 [електронний ресурс] – Режим доступу:
https://www.mouser.com/datasheet/2/389/CD00000148-73675.pdf?srltid=AfmBOooBZUJAsSwEIujcuroHNa6sNQLjh7T_7z4hRIXcDEh1fdQvUrCh
(Дата звернення 24.04.2026)
18. ТРА3110 [електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tpa3110d2.pdf?ts=1771414054104> (Дата
звернення 24.04.2026)
19. USB [електронний ресурс] – Режим доступу:
https://components.omron.com/eu-en/system/files/2026-02/datasheet_pdf/G079-E1.pdf (Дата звернення 24.04.2026)

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

20. Роз'єм [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://precidip.com/product/801-87-002-10-001101/> (Дата звернення 24.04.2026)
21. Васишин О.З. Конспект лекцій з дисципліни "Основи конструювання та технології виробництва РЕА" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2016
22. Васишин О.З. Конспект лекцій з дисципліни "Технологія виробництва РЕА" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2017
23. Гетьман О.О. Економіка підприємства: Навч. посіб. для студентів вузів. К.: ЦНЛ, 2006. - 488 с.
24. Економіка підприємства: Навч. посіб. для студентів вузів/ А.В.Шегда та ін. - К.: Знання, 2005. - 431 с.
25. Закон України «Про оподаткування прибутку підприємств» від 22.05.1997 № 283/97 - ВР (з подальшими змінами і доповненнями).
26. Закон України «Про систему оподаткування» від 26.06.1991 (з подальшими змінами і доповненнями).
27. Круш П.В. Капітал та основні засоби підприємства: Навч. посіб. - К.: ЦНЛ, 2005. - 186 с.
28. Примак Т.О. "Економіка підприємства" Київ: "Вікар", 2003. 219с.
29. Сідун В. А. Економіка підприємства: Навч. посіб. для студентів вузів, К.: ЦНЛ, 2006. - 356 с.
30. Міждержавний стандарт ГОСТ 12.0.230-2007 ССБТ. Системи управління охороною праці. Загальні вимоги.
31. Москальова В.М. Основи охорони праці: підручник. - К.: ВД —Професіонал, 2005. - 672 с.
32. Русаловський А. В. Правові та організаційні питання охорони праці: навч. посіб. / А.В. Русаловський. – 4-те вид., допов. і перероб. – К.: Університет «Україна», 2009. – 295 с.

ДОДАТКИ

Додаток А. Друкована плата

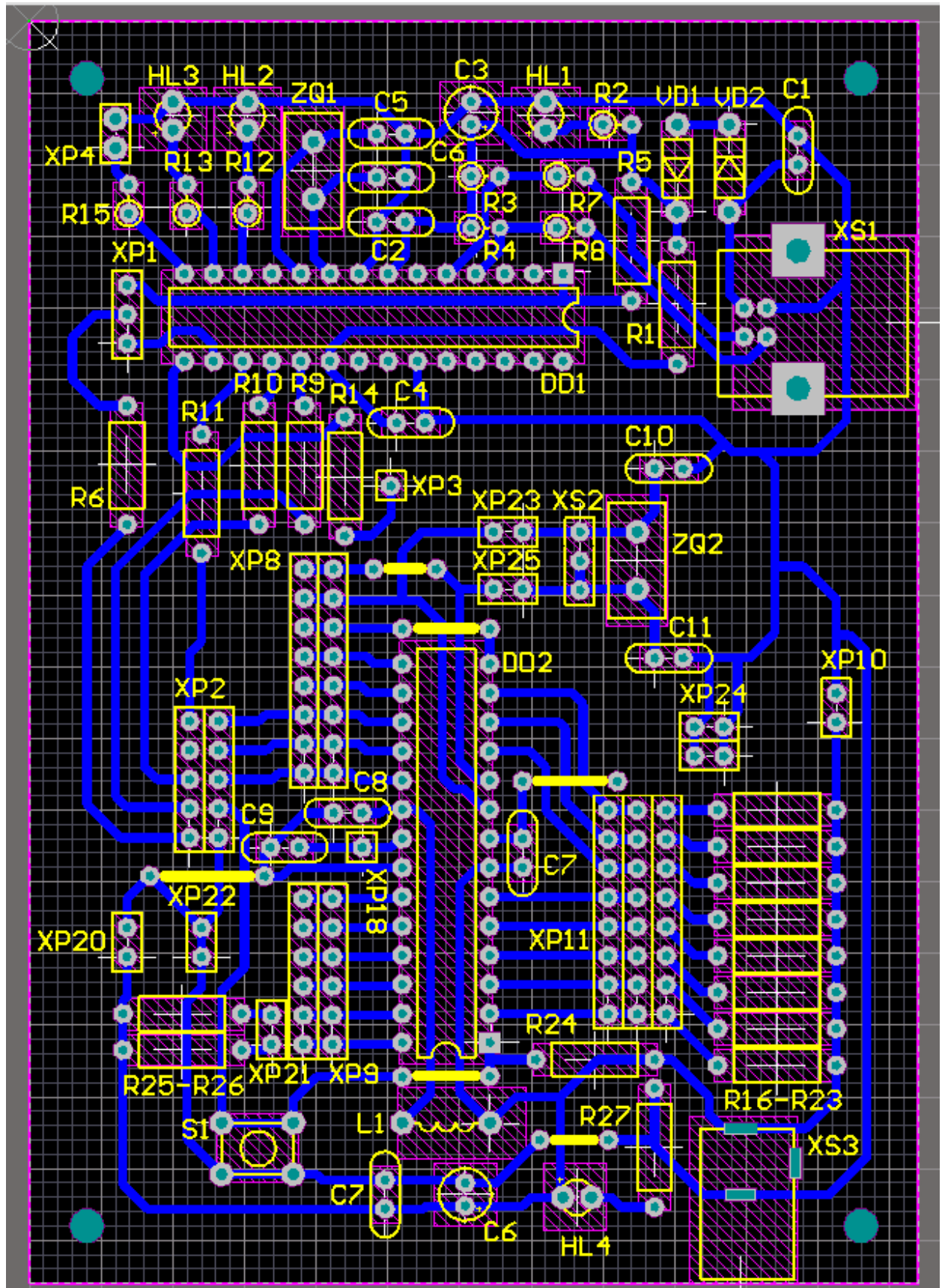


Рисунок А.1 – Загальний вигляд друкованої плати

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

1

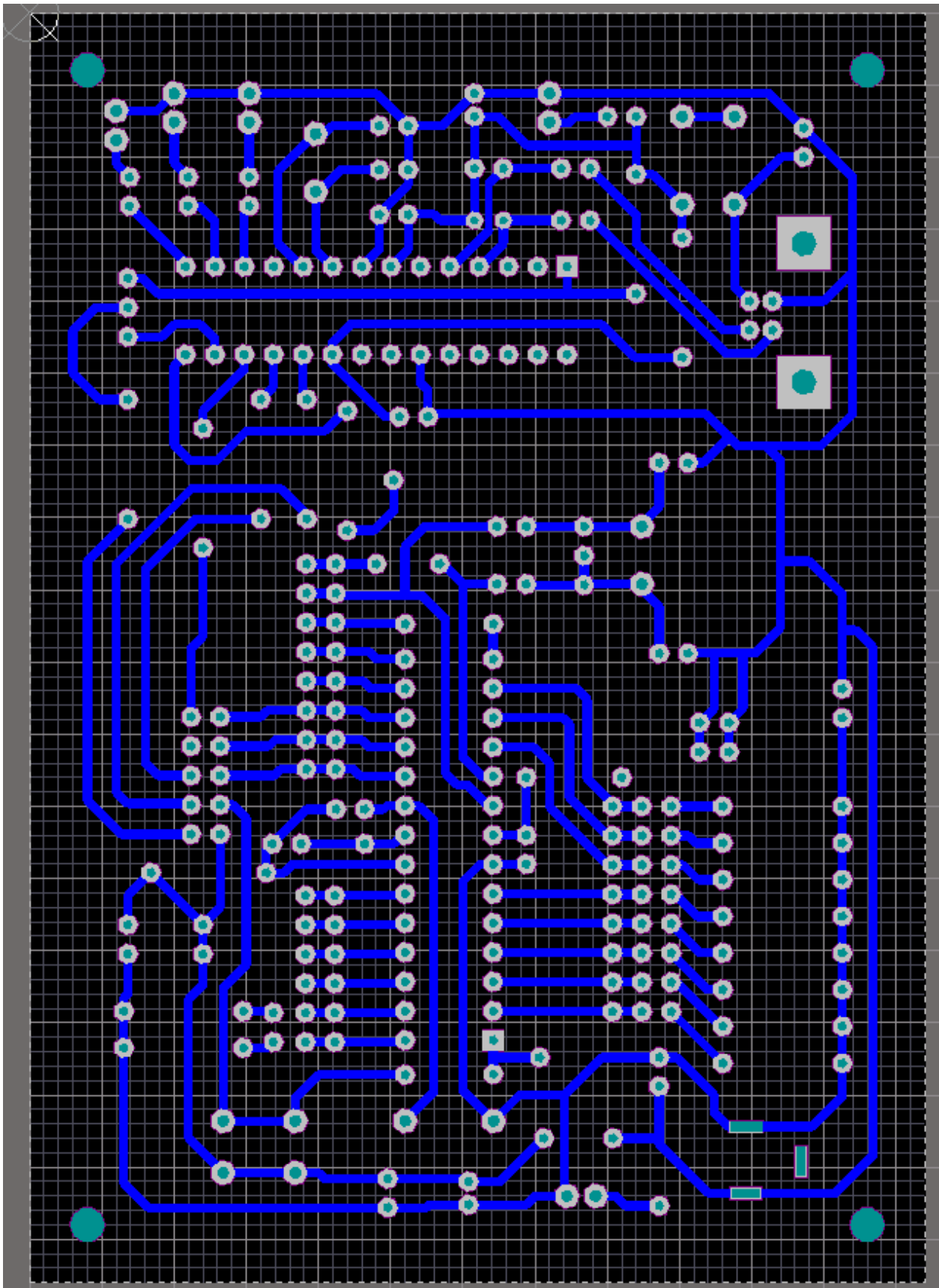


Рисунок А.2 – Нижній шар друкованої плати

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

2

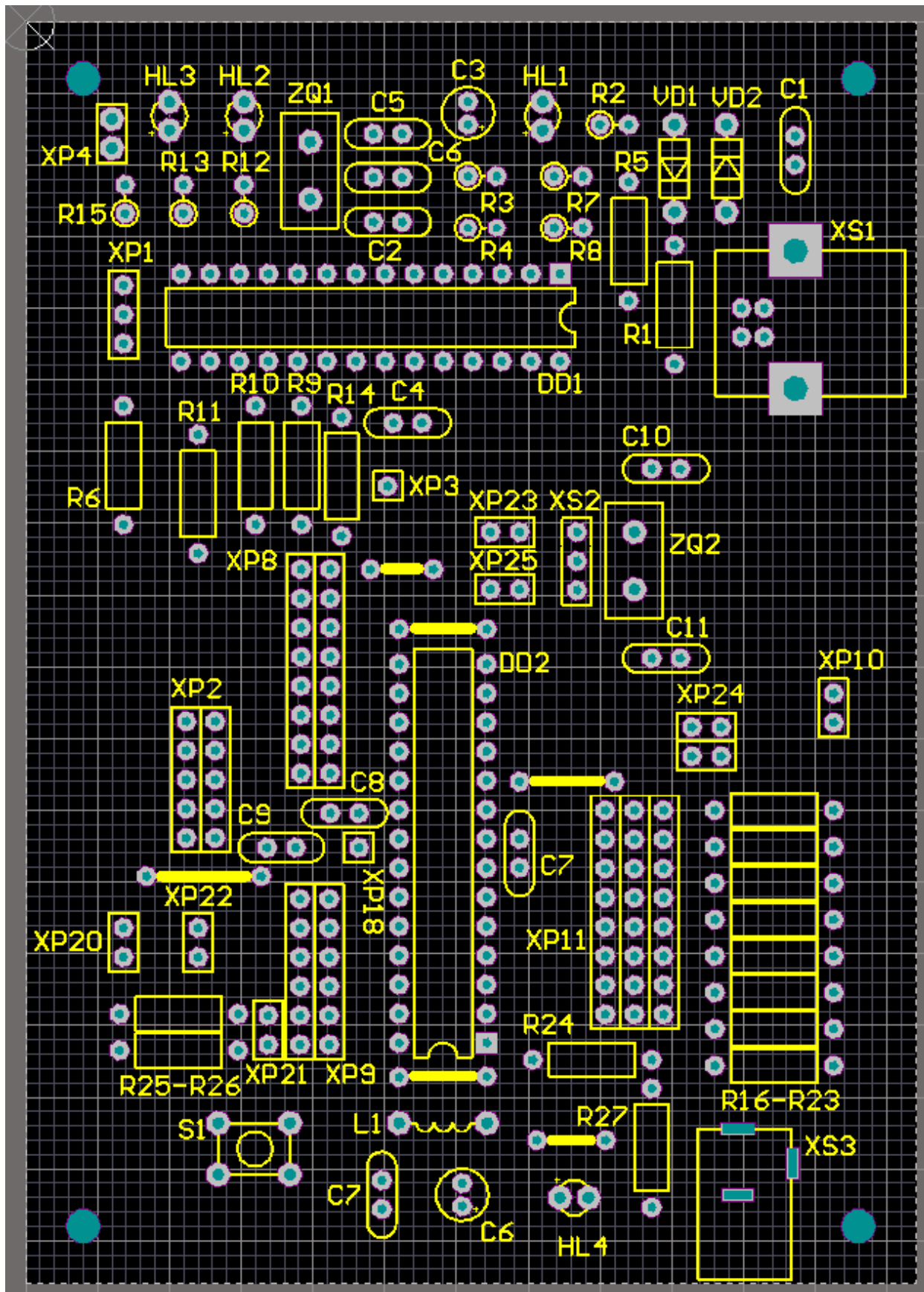


Рисунок А.3 – Шовкографія друкованої плати

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

3

Додаток Б. 3D модель друкованого вузла

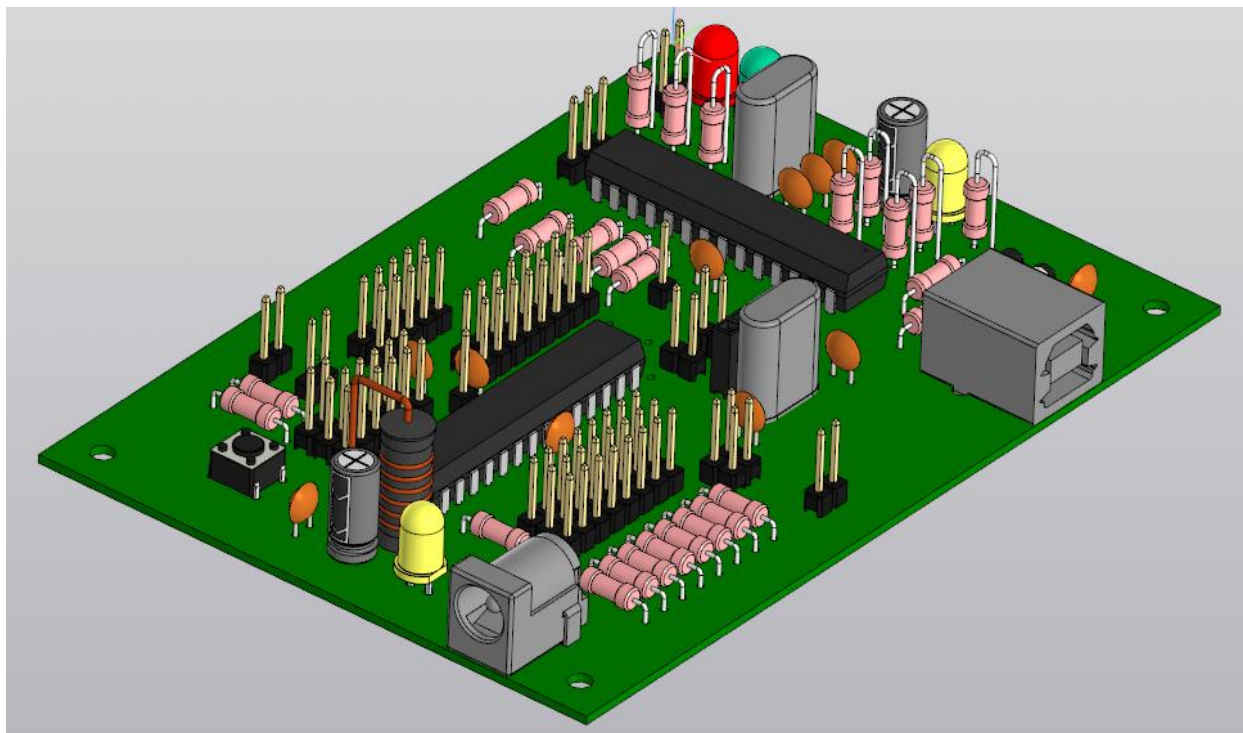


Рисунок Б.1 – 3D модель друкованої плати

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.027.000 ПЗ

Арк.

4

Додаток В. Код програми мікроконтролера

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

#define BTN_PIN 4                // вивід для підключення кнопки
#define ENC_A 2
#define ENC_B 3

int stableBtnState = HIGH;       // стабільний стан кнопки
int lastBtnState = HIGH;        // попередній стан кнопки
unsigned long debounceTimer = 0; // таймер тремтіння контактів
int counter;

unsigned long encTimer, printTimer;
int encCntr;
uint8_t enc;

uint8_t mode;

#define VOLUME 0
#define BASS 1
#define TREBLE 2
#define MAX_MODE 2

#define UP 0
#define DOWN 1

uint8_t volume = 60; //0b00111111;
uint8_t volume_step = 4;
uint8_t bass = 7, treble = 7;

boolean printAudio;

void setup(){
    Wire.begin(); // Ініціалізація I2C
    pinMode(BTN_PIN, INPUT_PULLUP);
    pinMode(ENC_A, INPUT);
    pinMode(ENC_B, INPUT);
```

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

lcd.init();           // ініціалізація дисплея
lcd.backlight();      // включення підсвічування екрану

pinMode(7, OUTPUT);
digitalWrite(7, HIGH);

mode = VOLUME;

pinMode(0, OUTPUT);

//Wire.setClock(100000);

Wire.beginTransmission(0x40);
Wire.write(volume);
Wire.write(0b10011111); // mute
Wire.write(0b10111111); // mute
Wire.write(0b01101111);
Wire.write(0b01111111);
Wire.write(0b01000100);
byte error = Wire.endTransmission();

if(error) digitalWrite(0, HIGH);

delay(2000);

Wire.beginTransmission(0x40);
Wire.write(0b10000000);
Wire.write(0b10100000);
Wire.endTransmission();

printScreen();

encTimer = micros();
printTimer = millis();
}

void loop(){
    int reading = digitalRead(BTN_PIN); // зчитування стану кнопки в локальну
    змінну

```

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

if (reading != lastBtnState) {           // якщо стан кнопки змінився
    debounceTimer = millis();             // перезапустити таймер на тремтіння
    КОНТАКТІВ
}

if ((millis() - debounceTimer) > 50) { // перевірка таймера 50 мс

    if (reading != stableBtnState) {      // порівняння поточного стану із стабільним
        stableBtnState = reading;         // новий стабільний стан

        if (stableBtnState == LOW) {      // якщо це натискання кнопки
            nextMode();
        }
        else {                            // якщо це відпускання кнопки
        }
    }
}

lastBtnState = reading;                   // запам'ятати поточний стан кнопки, але вже
                                         // в статусі "попередній"
if(micros() - encTimer > 1000){
    encTimer = micros();
    enc = encoderProc();
    if (enc == 1){
        setAudioParam(UP);
        //printAudioParam();
        printAudio = true;
    }
    else if (enc == 2){
        setAudioParam(DOWN);
        //printAudioParam();
        printAudio = true;
    }
}

if(millis() - printTimer > 500){
    printTimer = millis();
    if(printAudio){
        printAudio = false;
    }
}

```

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

printAudioParam();
}
}
}

uint8_t encoderProc() {
    static const int8_t state_table[] = {
        0, -1, 1, 0,
        1, 0, 0, -1,
        -1, 0, 0, 1,
        0, 1, -1, 0
    };

    static uint8_t state = 0;
    static int8_t counter = 0; // Накопичувач "напівкроків"

    uint8_t pinState = (digitalRead(ENC_A) << 1) | digitalRead(ENC_B);
    state = (state << 2) | pinState;

    int8_t motion = state_table[state & 0x0F];

    if (motion != 0) {
        counter += motion; // Додаємо 1 або -1 до накопичувача

        // Коли накопичилося 2 напівкроки в один бік — видаємо результат
        if (counter >= 2) {
            counter = 0;
            return 1; // Крок вправо
        }
        else if (counter <= -2) {
            counter = 0;
            return 2; // Крок вліво
        }
    }

    return 0;
}

void nextMode(){

```

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

if(++mode > MAX_MODE) mode = 0;
printScreen();
}

```

```

void setAudioParam(uint8_t dir){

```

```

    boolean action = false;
    uint8_t param;

```

```

    if(mode == VOLUME){
        if(dir == UP){
            if(volume >= volume_step){
                volume -= volume_step;
                param = volume;
                action = true;
            }
        }
        else{
            if(volume <= (63 - volume_step)){
                volume += volume_step;
                param = volume;
                action = true;
            }
        }
    }
    else if (mode == BASS){
        if(dir == UP){
            if(bass < 14){
                bass++;
                action = true;
            }
        }
        else{
            if(bass > 0){
                bass--;
                action = true;
            }
        }
        if(action){

```

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    if(bass < 8){
        param = 0x60 | bass;
    }
    else{
        param = 0x68 | (14-bass);
    }
}

else if (mode == TREBLE){
    if(dir == UP){
        if(treble < 14){
            treble++;
            action = true;
        }
    }
    else{
        if(treble > 0){
            treble--;
            action = true;
        }
    }
    if(action){
        if(treble < 8){
            param = 0x70 | treble;
        }
        else{
            param = 0x78 | (14-treble);
        }
    }
}

if(action){
    Wire.beginTransaction(0x40);
    Wire.write(param);
    Wire.endTransmission();
}
}

```

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void printAudioParam(){

    float volume_db;
    int tone_db;
    uint8_t _tone;

    if(mode == VOLUME){
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print(volume);
        if(volume < 10) {
            lcd.write(' ');
        }
        volume_db = volume * -1.25;
        lcd.setCursor(7,1);
        if(volume == 0){
            lcd.write(' ');
        }
        if(volume < 8){
            lcd.write(' ');
        }
        lcd.print(volume_db);
        lcd.print(" dB");
    }

    else if ((mode == BASS) || (mode == TREBLE)){

        if(mode == BASS){
            _tone = bass;
        }
        else{
            _tone = treble;
        }

        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print(_tone);
        if(_tone < 10){
            lcd.write(' ');
        }
    }
}

```

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

tone_db = 2 * _tone - 14;

lcd.setCursor(10,1);

// вирівняти вивід
if((tone_db >= 0) && (tone_db < 10)){
    lcd.write(' ');
}
if(tone_db > -10){
    lcd.write(' ');
}

lcd.print(tone_db);
lcd.print(" dB");
}

}

void printScreen(){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    switch(mode){
        case VOLUME:
            lcd.print("VOLUME");
            break;
        case BASS:
            lcd.print("BASS ");
            break;
        case TREBLE:
            lcd.print("TREBLE");
            break;
        default: break;
    }
    printAudioParam();
}

```

					26 КР 172.402.027.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поз. Познач.	Найменування				К-ть	Примітка
B.1	<u>Плата керування</u>					
	<u>Конденсатори</u>					
C1	NPO-0.1 мкФ ± 10% «KEMET»				1	
C2,C3	NPO-22 пкФ ± 10% «KEMET»				2	
C4-C6	NPO-0.1 мкФ ± 10% «KEMET»				3	
C7,C8	NPO-22 пкФ ± 10% «KEMET»				2	
C9	NPO-0.1 мкФ ± 10% «KEMET»				1	
C10	ECAP-22мкФ ± 20% «Samwha Electric»				1	
C11,C12	NPO-0.1 мкФ ± 10% «KEMET»				2	
C13	ECAP-22мкФ ± 20% «Samwha Electric»				1	
	<u>Мікросхеми</u>					
DD1,DD2	ATMEGA8-16PU «Atmel»				2	
	<u>Світлодіоди</u>					
HL1	HLMР-зелений «Avago technologies»				1	
HL2	HLMР-червоний «Avago technologies»				1	
HL3, HL4	HLMР-жовтий «Avago technologies»				2	
	<u>Котушки</u>					
L1	7447160 10мкГн «Wurth Elektronik»				1	
	<u>Резистори</u>					
R1	CF-25-0,125-10кОм ± 10% «Taiwan»				1	
					26 КР 172.402.027.000 ПЕЗ	
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		
Виконав	Смоляк М. В.					
Перевірив	Штогрин П. І.				Лабораторний стенд вивчення інтерфейсу I2C Перелік елементів	
Реценз.						
Н. Контр	Задорожний В.Ю.					
Затверд.						
					Літ.	Аркуш
						1
						7
					ВСП "ТФК ТНТУ" ТР-402 м. Тернопіль	

Поз. Познач.	Найменування	К-ть	Примітка					
R2,R3	CF-25-0,125-680M ± 10% «Taiwan»	2						
R4,R5	CF-25-0,125-3300M ± 10% «Taiwan»	2						
R6	CF-25-0,125-1к50M ± 10% «Taiwan»	1						
R7	CF-25-0,125-1M0M ± 10% «Taiwan»	1						
R8	CF-25-0,125-10к0M ± 10% «Taiwan»	1						
R9	CF-25-0,125-3300M ± 10% «Taiwan»	1						
R10	CF-25-0,125-1000M ± 10% «Taiwan»	1						
R11-R16	CF-25-0,125-3300M ± 10% «Taiwan»	6						
R17-R24	CF-25-0,125-10к0M ± 10% «Taiwan»	8						
R25,R26	CF-25-0,125-4к70M ± 10% «Taiwan»	2						
R27	CF-25-0,125-3300M ± 10% «Taiwan»	1						
	<u>Кнопка</u>							
SA1	101-TS6111T1602-EV «Mountain Switch»	1						
	<u>Діоди</u>							
VD1,VD2	1N4007 «Fairchild Semiconductor»	2						
	<u>Піни</u>							
XP1,XP2	PLS-1 1x1 «KLS electronic»	2						
XP3	PLD-12 2x6 «KLS electronic»	1						
XP4,XP5	PLS-2 1x2 «KLS electronic»	2						
XP6	PLD-10 2x5 «KLS electronic»	1						
XP7,XP8	PLS-1 1x1 «KLS electronic»	2						
XP9,XP10	PLD-8 1x8 «KLS electronic»	2						
XP11-XP13	PLS-1 1x1 «KLS electronic»	3						
XP14	PLT-24 3x8 «KLS electronic»	1						
XP15	PLS-2 1x2 «KLS electronic»	1						
XP16	PLS-3 1x3 «KLS electronic»	1						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	26 КР 172.402.027.000 ПЕЗ			Арк.
								2

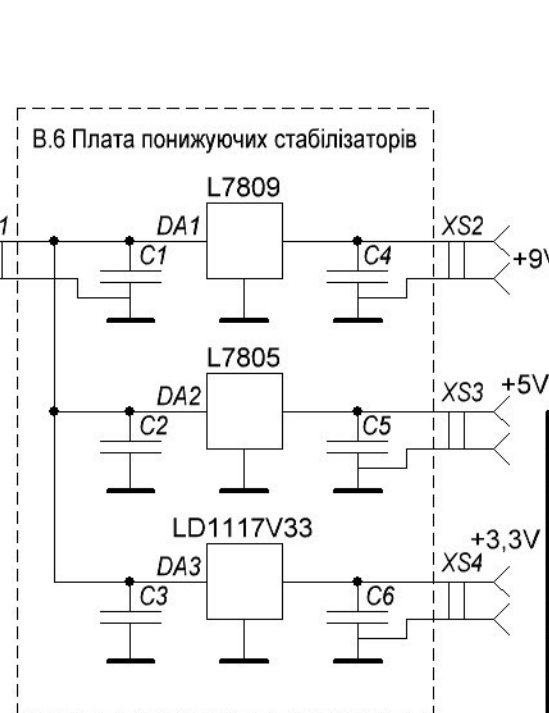
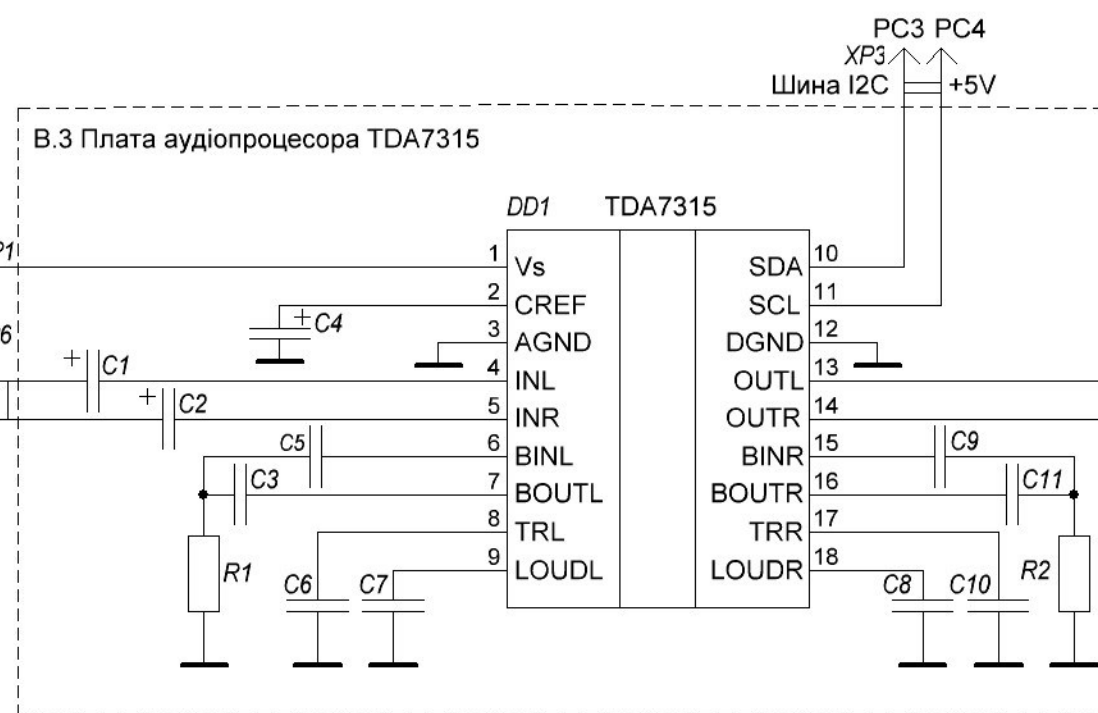
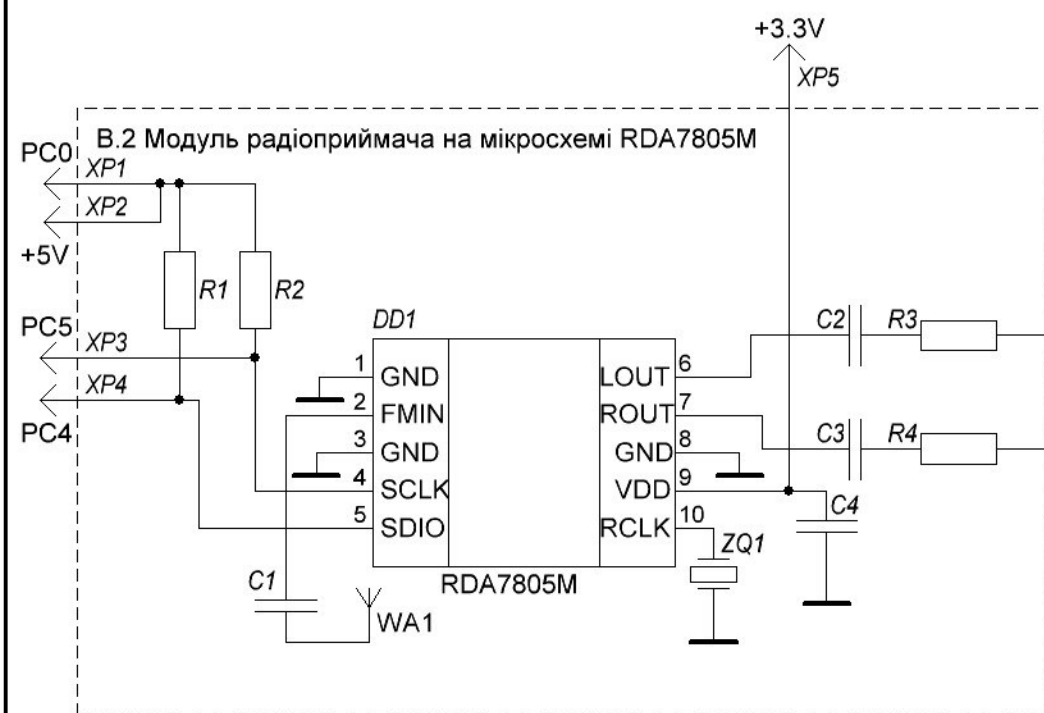
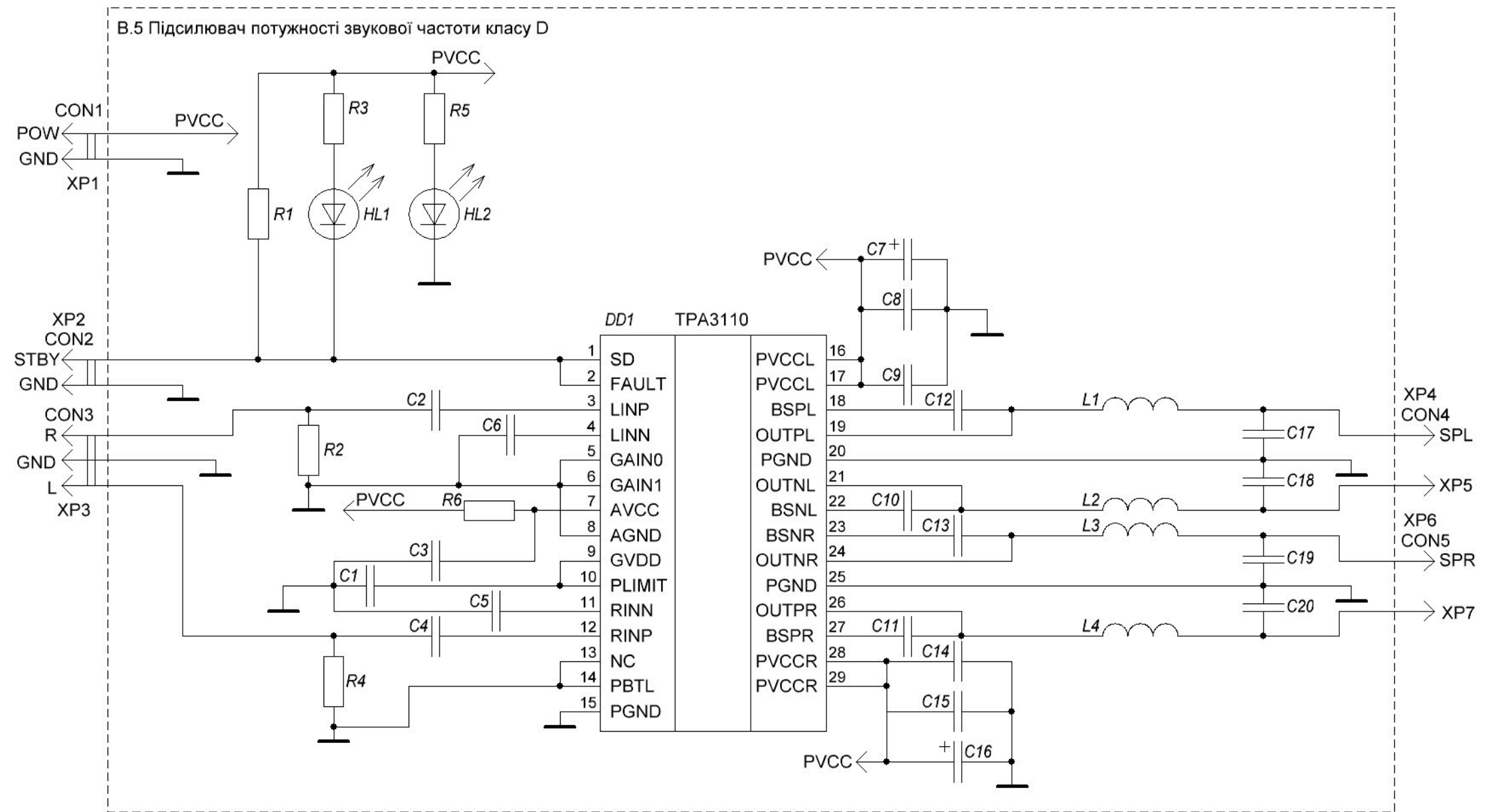
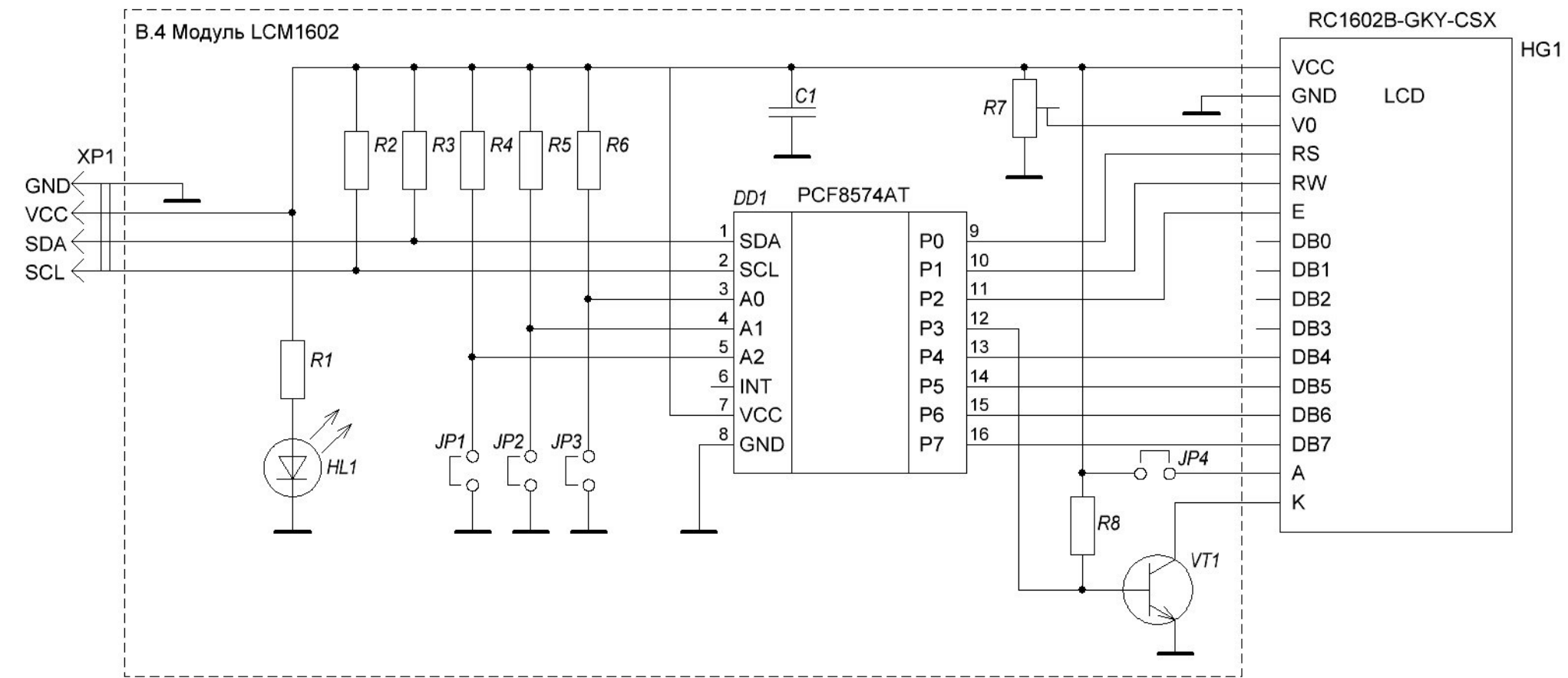
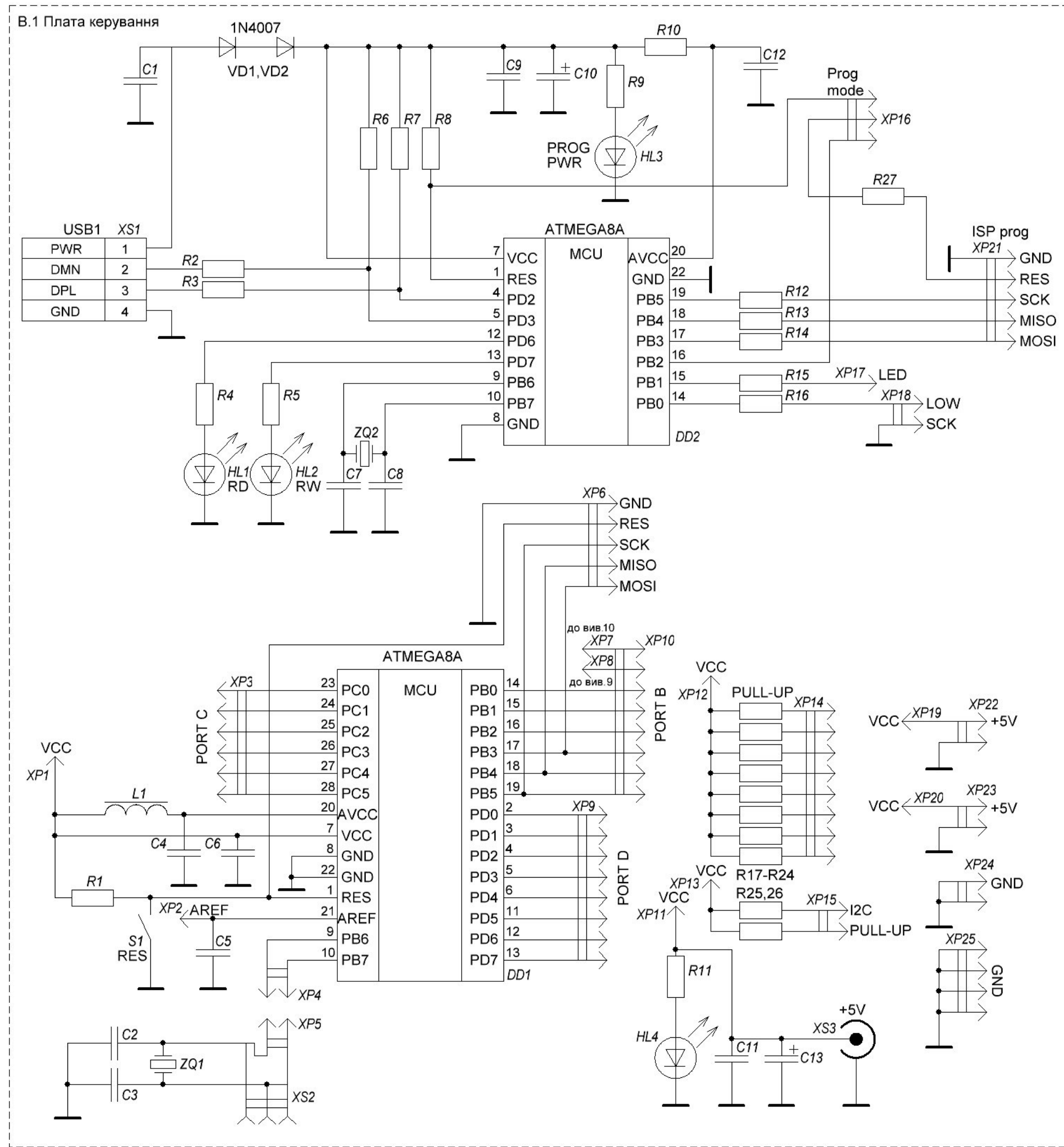
Поз. Познач.	Найменування	К-ть	Примітка
XP17	PLS-1 1x1 «KLS electronic»	1	
XP18	PLS-2 1x2 «KLS electronic»	1	
XP19,XP20	PLS-1 1x1 «KLS electronic»	2	
XP21	PLD-5 1x5 «KLS electronic»	1	
XP22-XP24	PLS-2 1x2 «KLS electronic»	3	
XP25	PLD-4 2x2 «KLS electronic»	1	
	<u>Роз'єми</u>		
XS1	XM7B-0442 «Omron»	1	
XS2	801-87-002-10-001101 «Precidip»	1	
XS3	DC-005-2.1R «Agelectronica»	1	
	<u>Кварцові резонатори</u>		
ZQ1,ZQ2	HC-49U «Inc International»	2	
B.2	Модуль радіоприймача на мікросхемі RDA 7805M		
	<u>Конденсатори</u>		
C1	NPO-10 нФ ± 10% «KEMET»	1	
C2-C4	NPO-22 нФ ± 10% «KEMET»	3	
	<u>Мікросхеми</u>		
DD1	RDA 7805M «RDA Microelectronics»	1	
	<u>Резистори</u>		
R1,R2	CF-25-0,125-4к70м ± 10% «Taiwan»	2	
R3,R4	CF-25-0,125-22к0м ± 10% «Taiwan»	2	
	<u>Піни</u>		

Поз. Познач.	Найменування	К-ть	Примітка			
XP1-XP7	PLS-1 1x1 «KLS electronic»	7				
	<u>Кварцові резонатори</u>					
ZQ1	HC-49U «Inc International»	1				
	<u>Антену</u>					
WA1	26 KP 172.402.027.010	1				
B.3	Плата аудіопроцесора TDA 7315					
	<u>Конденсатори</u>					
C1,C2	NPO-2,2 мкФ ± 10% «KEMET»	2				
C3	NPO-100 нФ ± 10% «KEMET»	1				
C4	NPO-22 мкФ ± 10% «KEMET»	1				
C5	NPO-100 нФ ± 10% «KEMET»	1				
C6	NPO-2,7 нФ ± 10% «KEMET»	1				
C7-C9	NPO-100 нФ ± 10% «KEMET»	3				
C10	NPO-2,7 нФ ± 10% «KEMET»	1				
C11	NPO-100 нФ ± 10% «KEMET»	1				
	<u>Мікросхеми</u>					
DD1	TDA 7315 «STMicroelectronics»	1				
	<u>Резистори</u>					
R1,R2	CF-25-0,125-5к60м ± 10% «Taoyuan»	2				
	<u>Піни</u>					
XP1	PLS-1 1x1 «KLS electronic»	1				
XP2-XP4	PLS-2 1x2 «KLS electronic»	3				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	26 KP 172.402.027.000 ПЕЗ	Арк.
						4

Поз. Познач.	Найменування	К-ть	Примітка
B.4	Модуль LCM1602		
	<u>Конденсатори</u>		
C1	NPO-0,1 мкФ ± 10% «KEMET»	1	
	<u>Мікросхеми</u>		
DD1	PCF8574AT «DFRobot»	1	
	<u>Індикатори цифрові</u>		
HG1	RC1602B-GKY-CSX «Raystar»	1	
	<u>Піни</u>		
XP1	PLS-4 1x4 «KLS electronic»	1	
	<u>Світлодіоди</u>		
HL1	HLMP-червоний «Avago technologies»	1	
	<u>Джампери</u>		
JP1-JP4	26 KP 172.402.027.011	4	
	<u>Резистори</u>		
R1	CF-25-0,125-1к0м ± 10% «Taoyuan»	1	
R2,R3	CF-25-0,125-4к70м ± 10% «Taoyuan»	2	
R4-R6	CF-25-0,125-10к0м ± 10% «Taoyuan»	3	
R7	3362P-1-504LF-10к0м «BOURNS»	1	
R8	CF-25-0,125-1к0м ± 10% «Taoyuan»	1	
	<u>Транзистори</u>		

[illegible]

[illegible]

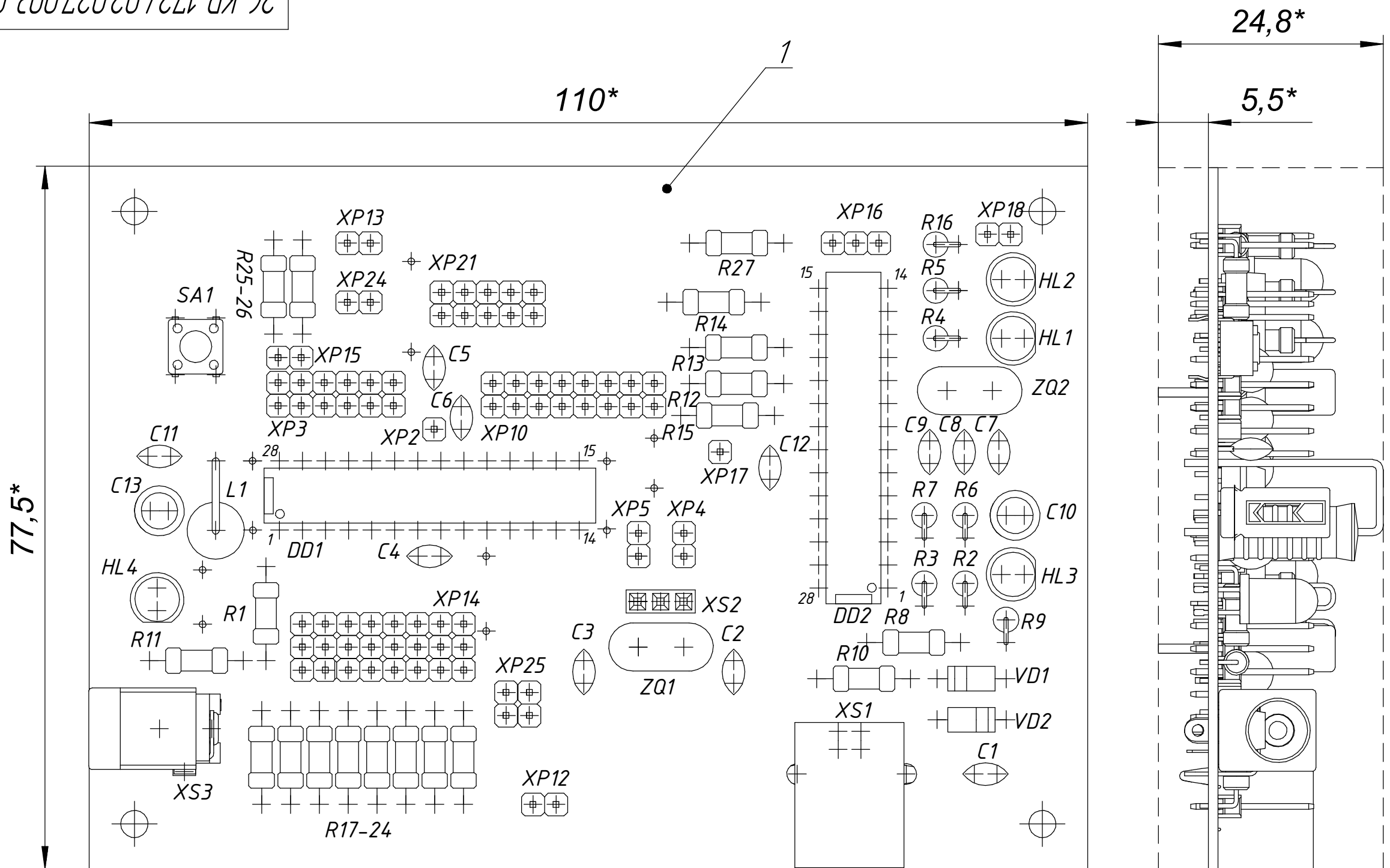


				26 КР 172.402.027.000 ЕЗ			
				Лабораторний стенд вивчення інтерфейсу I2C			
				Схема електрична принципова			
Зм. Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	Лім.	Маса	Масштаб	
Розроб.	Смоляк М. В.			Н	-	-	1:1
Перевір.	Штогрин П. І.			Аркуш	Аркушів	1	
Реценз.				ВСП "ТФК ТНТУ" ТР-402 м. Тернопіль			
Н.контр.	Задорожний В. Ю.			Копіював			
Затверд.				Формат А2			

[illegible]

[illegible]

[illegible]



77,5*

110*

24,8*

5,5*

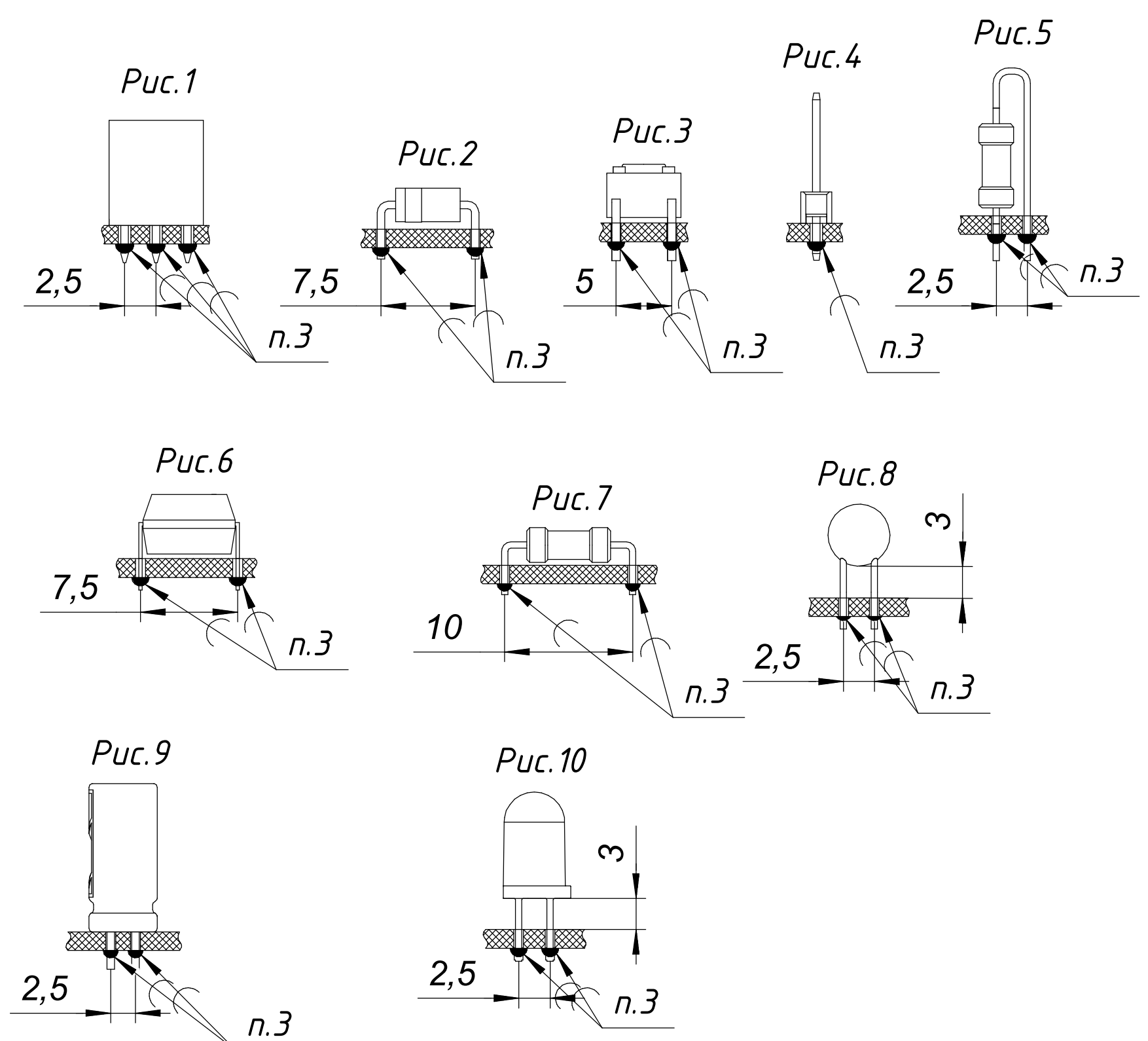


Рис. 14

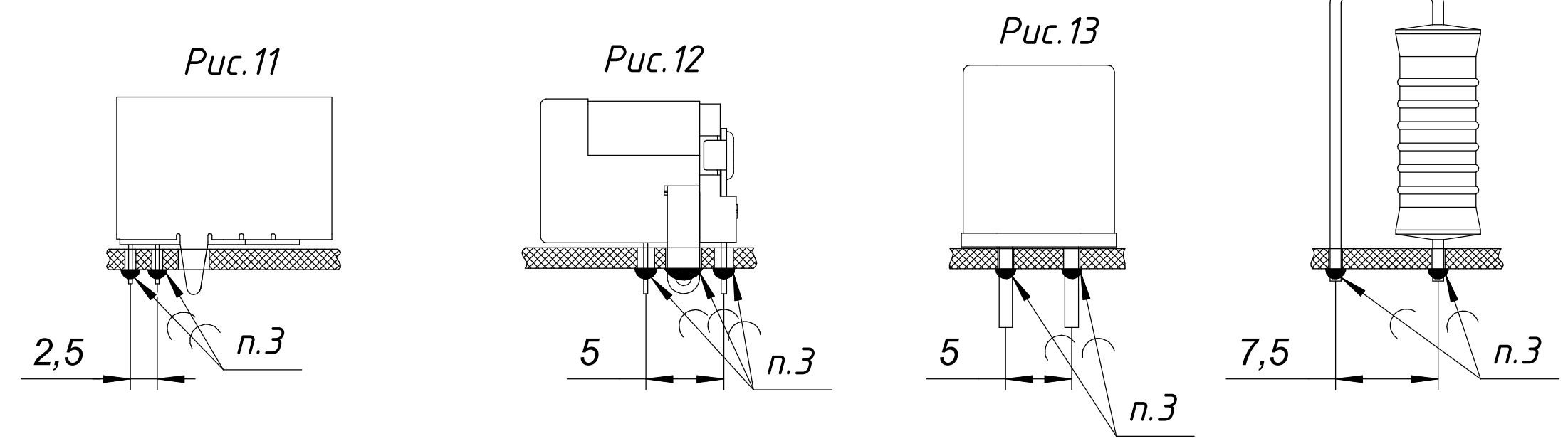


Рис. 11

Рис. 12

Рис. 13

- Розміри для довідок.*
- Установку ЕРЕ провести по ОСТ4.010.030-81
Елементи встановлювати:
R1, R8, R10, R11-R15, R17-R27 - згідно рис.7;
R2, R3, R4, R5, R6, R7, R9, R16 - згідно рис.5;
C1-C9, C11, C12 згідно - рис.8; C10, C13 згідно - рис.9;
VD1, VD2 згідно - рис.2; HG1-HG4 згідно - рис.10;
XS1 згідно - рис.11; XS2 згідно - рис.1;
XS3 згідно - рис.12; DD1, DD2 - згідно рис.6;
L1 згідно - рис.14; ZQ1, ZQ2 - згідно рис.13
XP1-XP25 - згідно рис.4; S1 - згідно рис.3
- Паяти ПОС-61 ГОСТ21931-76
- Покрити лаком АК-113 ТУ29-02-1126-86
- Позначення елементів показані умовно
- Інші технічні вимоги по ОСТ4.ГО.070.015

26 КР 172.402.027.003 СК				Вузол друкований		
Зм. Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	Лит.	Маса	Масштаб
Разроб.	Столяк М.В.			Н	-	0,11
Перевірив	Штогрин П.І.					2:1
Т.контр.				Аркуш	Аркушів	1
Н.контр.	Задорожний В.Ю.			ВСП "ТФК ТНТУ"		
Затвердив				ТР-402		
Копіював				Формат А2		

[illegible]

Дубл																				
Замість																				
Підпис																				
																Аркуш 2				
												26 КР 172.027.000 СК				26 КР 172.027.000.018				
А		Цех	Діл	РМ.	ОПЕР.		Код, назва операції				Позначення документа									
Б		Код, назва обладнання						СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОВД	ОН	ОП	К ШТ	Т ПЗ	Т ШТ		
К-М		Назва деталі, скл одиниці або матеріалу						Позначення. код						СПП	ОВ	ОН	КВ	Н витр		
A01		402		027	020	402.27.020 Слюсарна												0,01		
002		Розклепувати розклепки по ТТО 642845 (12 шт)																		
Т03		Мініпрес РТ 642832																		
К04		Пустотіла заклепка (GOEBEL)						ДСТУ 3242-83							796	100	1200			
05																				
A06		402		027	025	402.27.025 Обдяювання												0,01		
007		Обдяяти пустотілі заклепки по ТТО 654781																		
Т08		Паяльник РТ 452824																		
М09		Припой ПОС-61						ДСТУ 1429.14.2005							180	100	0,036			
10		Флюс АТІ-120						ДСТУ 19113							180	100	0,036			
11		Спиртобензинова суміш						ДСТУ 9403-80							180	100	0,036			
12																				
A13		402		027	030	402.27.030 Захист												0,01		
014		Захист проводити згідно ТТП 245789 (12 шт)																		
Т15		Дозатор латексу РТ 145792																		
М16		Латекс						ДСТУ 3242-83							180	100	0,01			
17																				
A18		402		027	035	402.27.035 Сушка												0,005		

[illegible]

Дубл																					
Замість																					
Підпис																					
																Аркуш 4					
												26 КР 172.027.000 СК				26 КР 172.027.000.018					
А	Цех	Діл	РМ.	ОПЕР.	Код, назва операції							Позначення документа									
Б	Код, назва обладнання							СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОВД	ОН	ОП	К ШТ	Т ПЗ	Т ШТ			
К-М	Назва деталі, скл одиниці або матеріалу							Позначення. код						СПП	ОВ	ОН	КВ	Н витр			
01		7. Установити мікросхеми поз.5(DD1, DD2) згідно рис.6, згідно карти ескізів по ТТП 254681																			
02		8. Установити котушку поз.9(Л1) згідно рис.14, згідно карти ескізів по ТТП 254681																			
03		9. Установити кварц поз.23(ZQ1, ZQ2) згідно рис.13, згідно карти ескізів по ТТП 254681																			
04		10. Установити пни поз.19(XP2-XP5, XP10, XP12-XP18, XP21, XP24, XP25), згідно рис.4, згідно карти ескізів по ТТП 254681																			
05		Кусочки РТ 145532																			
06		Пінцет РТ265641																			
07	1	Плата друкована							26 КР 172.402.027.001							796	100	100			
08	2	Конденсатор							NPO-22 пкФ ± 10%						«KEMET»		796	100	400		
09	3	Конденсатор							NPO-0.1 мкФ ± 10%						«KEMET»		796	100	700		
10	4	Конденсатор							ECAP-22мкФ ± 20%						«Samwha Electric»		796	100	200		
11	5	Мікросхема							Atmega8						«Atmel»		796	100	200		
12	9	Котушка							7447160-10мкГн						«Wurth Elektronik»		796	100	100		
13	10	Резистор							CF-25-0,125-680м ± 10%						«Taywan»		796	100	200		
14	11	Резистор							CF-25-0,125-1000м ± 10%						«Taywan»		796	100	100		
15	12	Резистор							CF-25-0,125-3300м ± 10%						«Taywan»		796	100	1000		
16	13	Резистор							CF-25-0,125-1к50м ± 10%						«Taywan»		796	100	100		
17	14	Резистор							CF-25-0,125-4к70м ± 10%						«Taywan»		796	100	200		
18	15	Резистор							CF-25-0,125-10к0м ± 10%						«Taywan»		796	100	1000		

Дубл																					
Замість																					
Підпис																					
																Аркуш 5					
												26 КР 172.027.000 СК				26 КР 172.027.000.018					
А	Цех	Діл	РМ.	ОПЕР.	Код, назва операції							Позначення документа									
Б	Код, назва обладнання							СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОВД	ОН	ОП	К ШТ	Т ПЗ	Т ШТ			
к-м	Назва деталі, скл одиниці або матеріалу							Позначення. код						СПП	ОВ	ОН	КВ	Н витр			
01	16	Резистор			CF-25-0,125-1M0m ± 10%							«Taiwan»					796	100	100		
02	18	Діод			1N4007							«Fairchild Semiconductor»					796	100	200		
03	19	Піни			PLS-1 1x1							«KLS electronic»					796	100	200		
04	20	Піни			PLS-2 1x2							«KLS electronic»					796	100	700		
05	21	Піни			PLS-3 1x3							«KLS electronic»					796	100	100		
06	22	Піни			PLD-4 2x2							«KLS electronic»					796	100	100		
07	23	Піни			PLD-10 2x5							«KLS electronic»					796	100	100		
08	24	Піни			PLD-12 2x6							«KLS electronic»					796	100	100		
09	25	Піни			PLD-16 2x8							«KLS electronic»					796	100	100		
10	26	Піни			PLT-24 3x8							«KLS electronic»					796	100	100		
11	30	Кварцовий резон.			HC-49U							«Inc International»					796	100	200		
12																					
A 13	402		27	050	402.22.50 Автоматизована пайка														0,005		
Б 14		Установка пайки хвилею АРП М6.890.001																			
О 15		Пайку проводити згідно ТТП 316530 (250шт)																			
М16		Притої ПОС-61							ДСТУ 1429.14 2005					180	100	0,75					
17		Флюс АТН-120							ДСТУ 19113					180	100	0,75					
18		Спиртобензинова суміш							ДСТУ 9403-80					180	100	0,75					

Дубл															
Замість															
Підпис															
														Аркуш 6	
											26 КР 172.027.000 СК			26 КР 172.027.000.018	
А	Цех	Діл	РМ.	ОПЕР.	Код, назва операції				Позначення документа						
Б	Код, назва обладнання				СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОВД	ОН	ОП	К ШТ	Т ПЗ	Т ШТ
к-м	Назва деталі, скл одиниці або матеріалу				Позначення. код						СПП	ОВ	ОН	КВ	Н витр
01															
A 02	402		27	055	402.27.055 Електромонтаж										0,005
003		1. Рихтувати елементи згідно ТТП 315826 (8шт)													
04		2. Установити світлодіоди поз.6(НЛ3, НЛ4), поз.7(НЛ1), поз.8(НЛ2) згідно рис.10, згідно карти ескізів по ТТП 254681													
05		3. Установити роз'єм поз.20(XS1) згідно рис.11, згідно карти ескізів по ТТП 254681													
06		4. Установити роз'єм поз.21(XS2) згідно рис.1, згідно карти ескізів по ТТП 254681													
07		5. Установити роз'єм поз.22(XS3) згідно рис.12, згідно карти ескізів по ТТП 254681													
08		6. Установити вимикач поз.17(SA1) згідно рис.3, згідно карти ескізів по ТТП 254681													
09		Паїку проводити згідно ТТП 316530 (22шт)													
T 10		Електропаяльник РТ 105278													
11		Кусачки РТ 145532													
12		Пінцет РТ 235641													
K 13	6	Світлодіод			HLMP-жовтий				«Avago technologies»			796	100	200	
14	7	Світлодіод			HLMP-зелений				«Avago technologies»			796	100	100	
15	8	Світлодіод			HLMP-червоний				«Avago technologies»			796	100	100	
16	17	Вимикач			101-TS611T1602-EV				«Mountain Switch»			796	100	100	
17	27	Роз'єм			XM7B-0442				«Omron»			796	100	100	
18	28	Роз'єм			801-87-002-10-001101				«Precidip»			796	100	100	

Дубл																			
Замість																			
Підпис																			
																Аркуш 7			
												26 КР 172.027.000 СК				26 КР 172.027.000.018			
А	Цех	Діл	РМ.	ОПЕР.	Код, назва операції				Позначення документа										
Б	Код, назва обладнання				СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОВД	ОН	ОП	К ШТ	Т ПЗ	Т ШТ				
к-м	Назва деталі, скл одиниці або матеріалу				Позначення. код						СПП	ОВ	ОН	КВ	Н витр				
01	29	Роз'єм			DC-005-2.1R				«Agelectronica»						796	100	100		
М02		Припой ПОС-61			ДСТУ 1429.14 2005								180	100	0,066				
03		Флюс АТИ-120			ДСТУ 19113								180	100	0,066				
04		Спиртобензинова суміш			ДСТУ 9403-80								180	100	0,066				
05																			
А06	402		027	060	402.027.060 Регулювання											0,26			
Б07		Установка для регулювання РД 6284 13																	
О08		Регулювати згідно інструкції 26 КР 172.402.027.003 І1																	
А09	402		027	065	402.027.065 Лакування											0,005			
Б10		Установка для лакування РД 640138																	
О11		Лакувати плату по ТТП 156324																	
М12		Лак		АК-113	ДСТУ Б В.2.3-29 2011							120	100	0,775					
13																			
А14	402		027	070	402.027.070 Технічний контроль											0,026			
Б15		Установка для регулювання РД 6284 13																	
О16		Перевірку провести по інструкції 26 КР 172.402.027.003 І2																	
17																			
18																			

[illegible]

Техніко-економічні показники лабораторного стенду для вивчення інтерфейсу I2C

<i>№</i>	<i>Технічні показники</i>	<i>Значення</i>	<i>Од. Вим.</i>	<i>№</i>	<i>Економічні показники</i>	<i>Значення</i>	<i>Од. Вим.</i>
1	Напруга живлення	12	В	1	Річний обсяг виробництва виробу	860	од.
2	Максимальний струм	830	мА	2	Собівартість виробу	934,344	грн./од.
3	Максимальна вихідна потужність аудіо	5	Вт	3	Ціна одиниці виробу	1261,36	грн./од.
4	Габаритні розміри	250x320	мм	4	Початкові інвестиції для реалізації інвестиційного проекту	366 660	грн.
5	Вага	1,3	кг	5	Чистий прибуток	230 611,68	грн.
				6	Рентабельність виробу	28,7	%
				7	Чиста теперішня вартість проекту	33 635,15	грн.
				8	Індекс прибутковості	1,09	-
				9	Дисконтований термін окупності інвестицій	1,83	років