

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

До захисту допущено:

Зав. кафедри

_____ Андрій МОВЧАНЮК

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньою програмою «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки», за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: __ Пристрій автоматичного налаштування електро-
гітари _____**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи РЕ-22

Костенко Нікіта Андрійович _____

Прізвище, ім'я, по батькові

Керівник: Доцент, к.т.н каф ПРЕ Зінгер Яна Леонідівна

Посада, науковий ступінь, вчене звання

Прізвище, ім'я, по батькові

Рецензент: _асист.каф.РТС Романенко Тарас Володимирович

Посада, науковий ступінь, вчене звання

Прізвище, ім'я, по батькові

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2026 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/П	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	PE22.468161.001.T3	Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	PE22.468161.001 ПЗ	Пояснювальна записка	67	
3	A3	PE22.468161. 001E1	Схема структурна	1	
4	A3	PE22.468161.001 E3	Схема електрична принципова	1	
5	A4	PE22.758721.001ПЕ	Перелік елементів	1	
6	A2	PE22.758721.001	Друкована плата	2	
7	A2	PE22.468161.001 СК	Складальний кресленик електронного модулю	2	
8	A4	PE22.468161.001 СП	Специфікація електронного модулю	1	

				PE22.468161.001		
	ПІБ	Підп.	Дата	Пристрій автоматичного налаштування електрогітари	Лист	Листів
Розробн.	Костенко Н.А				1	1
Керівн.	Зінгер Я.Л.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф.ПРЕ ,Гр. PE-22	
Н/контр.						
Зав.каф.						

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Андрій МОВЧАНЮК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студента

1. Тема проєкту «Пристрій автоматичного налаштування електрогітари»
_____»

2. Керівник проєкту _____ Зінгер Яна Леонідівна _____, затверджені
наказом по університету від «__» травня 2026 р. № _____

Строк подання студентом проєкту 08 червня 2026 року

3. Вихідні дані до проєкту: Система автоматичного налаштування звуку на гітарах, типу електро та акустика

4. Зміст пояснювальної записки 1) Аналіз існуючих рішень, 2) Розробка структури пристрою 3) Розробка пристрою 4) Розробка корпусу пристрою 5) Макетування та тестування.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Складальний кресленик плати, складальний кресленик пристрою, презентація 12 сторінок.

6. Дата видачі завдання 14 квітня 2026 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	14.04.26-06.05.26	
2	Розробка та аналіз завдання на проєкт	07.05.26-10.05.26	
3	Розробка функціональної схеми та вибір компонентів	11.05.26-18.05.26	
4	Розробка схеми електричної принципової	19.05.26-23.05.26	
5	Розробка друкованої плати	24.05.26-29.05.26	
6	Розробка конструкторської документації	30.05.26-05.06.26	
7	Оформлення текстової та графічної документації	06.06.26-08.06.26	

Студент

Костенко Нікіта Андрійович

Керівник

Зінгер Яна Леонідівна

АНОТАЦІЯ

У ході роботи на основі аналізу існуючих аналогів було розроблено портативну систему автоматичного налаштування гітари з функцією візуалізації даних у реальному часі. У проєкті детально розглянуто та обґрунтовано вибір елементної бази. Підбір усіх компонентів, необхідних для точного керування приводом та забезпечення стабільного автономного живлення всієї електроніки всередині пристрою, виконано відповідно до технічних вимог.

Також у роботі було створено тривимірну концепцію мобільного корпусу пристрою, побудовано складальне креслення макету, а також розроблено структурну й електричну принципову схеми. Для забезпечення коректної та злагодженої роботи всієї системи було написано програмне забезпечення для мікроконтролера.

ANNOTATION

Based on the analysis of existing solutions, a portable automatic guitar tuning system with real-time data visualization features has been designed. The project comprehensively reviews and justifies the choice of electronic components. All hardware elements required for precise motor control and maintaining stable autonomous power supply inside the case were selected and described in strict accordance with the technical requirements.

Furthermore, a three-dimensional design concept for the device body was developed, and the layout assembly drawing, structural, and electrical schematic diagrams were built. Finally, custom software was written for the microcontroller to ensure the correct and synchronized operation of the entire system.

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Пристрій автоматичного налаштування електрогітари»

Київ — 2026 року

ЗМІСТ

Вступ.....	2
1 Аналіз існуючих рішень	4
1.1 Портативні автоматичні тюнери Roadie 3	4
1.2 TC Electronic PolyTune Clip.....	5
1.3 Напівавтоматичні системи налаштування Gibson Min-ETune	7
2 Розробка структури пристрою	9
3 Розробка Пристрою.....	13
3.1 Синтез схеми електричної принципової та вибір елементної бази	13
3.1.1 Автономний блок живлення (акумулятор/батарея)	15
3.1.2 Кнопка живлення LB19-22E	18
3.1.3 Знижувальний перетворювач напруги.....	20
3.1.4 Екранний модуль пристрою.....	22
3.1.5 Мікрофонний модуль	24
3.1.6 Виконавчий сервопривід	27
3.1.7 Розробка спеціальної механічної насадки на гітарні кілки	29
3.2 Розробка друкованої плати	31
3.2.1 Визначення габаритів друкованої плати та вибір форми плати	31
3.2.2 Розрахунок ширини друкованих провідників та вибір матеріалу друкованої плати	33
3.2.3 Трасування плати	37
4 Розробка корпусу пристрою	40

					PE22.468161.001 ПЗ		
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Костенко				Пристрій автоматичного налаштування електрогітари		
Перевірів	Зінгер Я.Л						
Н. Контр.	П.І.Б.						
Затвер-	П.І.Б.				PE-22, РТФ		

5 Макетування та тестування.....	45
5.1 Тестовий друк корпусу та механічних вузлів	45
5.2 Розробка програмного забезпечення пристрою.....	46
Висновки	50
Перелік джерел посилання.....	51
ДОДАТОК А.....	53
ДОДАТОК Б	57
ДОДАТОК В.....	62
ДОДАТОК Г	64
ДОДАТОК Д.....	65
ДОДАТОК Е	67
ДОДАТОК Є.....	68

					РЕ22.468161.001 ПЗ			
ЗМ.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Костенко				Пристрій автоматичного налаштування електрогітари	Літ.	Лист	Листів
Перевірів	Зінгер Я.П						1	
						РЕ-22, РТФ		
Н. Контр.	П.І.Б.							
Затвер-	П.І.Б.							

ВСТУП

У сучасному світі технології розвиваються стрімкими темпами, проникаючи в усі сфери нашого життя та допомагаючи автоматизувати більшість рутинних процесів. З кожним днем ми все частіше прагнемо до оптимізації свого часу, зручності та комфорту, незалежно від того, чи це стосується повсякденного побуту, чи творчої діяльності.

Для музикантів, зокрема гітаристів, однією з постійних і найменш творчих рутин є процес налаштування інструменту. Особливо гостро ця проблема постає під час виступів, на інтенсивних репетиціях або в галасливих приміщеннях, де налаштовувати гітару на слух чи за допомогою класичного тюнера стає довго і незручно. Більшість існуючих на ринку рішень — це пасивні пристрої. Вони здатні лише візуально проінформувати про відхилення ноти, тоді як усю механічну роботу з обертання кілків музикант змушений виконувати самотійно.

Аналіз сучасного стану проблеми показує, що у світі вже існують портативні автоматичні системи, здатні самотійно натягувати струни (наприклад, тюнери типу Roadie). Проте зарубіжні аналоги мають високу вартість, а через ускладнену логістику їх постачання в Україну наразі є обмеженим. Водночас локальна музична індустрія, гітарні майстерні та репетиційні простори продовжують активно функціонувати й потребують доступного, сучасного та надійного обладнання. Тому створення вітчизняної, економічно вигідної альтернативи з гнучким функціоналом є актуальним і своєчасним завданням.

Метою даного дипломного проєкту є розробка інтелектуальної системи автоматичного налаштування гітари з функцією візуалізації даних. Основним проєктним рішенням стало об'єднання високоточного зчитування звуку, складної математичної обробки сигналів на базі сучасного енергоефективного мікроконтролера та виконавчого механізму в єдиному компактному корпусі. На відміну від звичайних тюнерів, цей пристрій працює як замкнена система: він сам «слухає» інструмент, обчислює похибку і за допомогою двигуна плавно

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						2
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

обертає кілок до ідеального звучання, паралельно виводячи інформацію на дисплей.

Можливі галузі застосування результатів проєкту досить різноманітні. Розроблена система стане в пригоді не лише музикантам-аматорам для комфортного домашнього дозвілля, але й знайде своє застосування у професійному середовищі — на концертних майданчиках, у студіях звукозапису, а також у сервісних центрах і гітарних майстернях для пришвидшення процесу обслуговування музичних інструментів.

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
						3
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Аналізуючи напрям розробки мобільних гітарних тюнерів, які я взяв за базу, я керувався тим, що такий прилад має не просто показувати помилку на екрані, а й сам її виправляти. Моєю метою було створити портативний гаджет, який поєднує в собі чутливий цифровий аналізатор частоти та виконавчий механізм з автоматичним приводом.

Більшість звичайних тюнерів, які зараз продаються, лише візуально інформують музиканта про те, чи дотягнута струна. У моєму ж проєкті реалізовано зовсім інший підхід: пристрій діє як замкнена розумна система. Він у реальному часі оцінює звук, миттєво обчислює похибку і сам плавно обертає кілок інструменту до точного результату, повністю звільняючи користувача від необхідності налаштовувати гітару на слух чи вручну.

1.1 Портативні автоматичні тюнери Roadie 3

Roadie 3[1] є одним із найбільш відомих комерційних автоматичних тюнерів. Пристрій оснащений вбудованим двигуном, який автоматично обертає кілок інструменту, коли мікрофон фіксує вібрацію струни. Він підтримує велику кількість альтернативних строїв та має високу швидкість роботи. (рис 1.1)



Рисунок 1.1 - Roadie 3

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						4
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Проте, його недоліками є висока вартість, закрите програмне забезпечення, що унеможливляє модифікацію алгоритмів під специфічні завдання користувача, та використання специфічного інтегрованого акумулятора, заміна якого в польових умовах є ускладненою.

Основні характеристики:

- Сумісність інструментів – «гітари (6/7/12 струн), укулеле, банджо»
- Діапазон розпізнавання частот – «27.5 Гц – 668.84 Гц»
- Дисплей – «кольоровий LCD (1.14")»
- Акумулятор – «LiPo 500 мАг (USB-C)»
- Максимальна швидкість обертання – «120 об/хв»

Габарити:

- Вага – «133 г»
- Висота – «8,89 см»
- Ширина – «5,08 см»
- Глибина – «2,54 см»

Ще одним важливим фактором вибору пристрою є його вартість, що варіюється від 4 700 грн і до 6 500 грн в залежності від продавця, комплектації та логістики доставки в Україну. [1]

1.2 TC Electronic PolyTune Clip

PolyTune Clip[2] представляє клас пасивних індикаційних тюнерів. Пристрій кріпиться на головку грифа гітари та зчитує вібрацію дерева за допомогою п'єзодатчика, відображаючи відхилення нот на яскравому LED/OLED екрані. (рис 1.2)

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						5
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 - PolyTune Clip

Перевагами є надзвичайна компактність, висока точність та низька ціна. Головний недолік — відсутність виконавчого механізму; користувач змушений обертати кілки вручну, що знижує швидкість налаштування та не забезпечує повної автоматизації процесу.

Основні характеристики:

- Тип зчитування звуку – «вібраційний (вбудований п'єзодатчик)»
- Точність налаштування – « ± 0.02 цента (у режимі стробоскопа)»
- Режим роботи – «хроматичний, поліфонічний, стробоскопічний»
- Дисплей – «яскрава LED-матриця з автопереворотом»
- Джерело живлення – «батарейка типу CR2032»

Габарити:

- Вага – «32 г»
- Висота – «2,8 см»
- Ширина – «2,5 см»
- Глибина – «6,0 см»

Ще одним важливим фактором вибору пристрою є його вартість, що варіюється від 300 грн (за базові китайські моделі) і до 2 500 грн (за професійні

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						6
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

флагманські рішення) в залежності від бренду, точності сенсора, матеріалу корпусу та наявності поліфонічного режиму.

1.3 Напівавтоматичні системи налаштування Gibson Min-ETune

Система Min-ETune інтегрується безпосередньо в тильну сторону головки грифа гітари і містить моторизовані блоки для кожного кілка. (рис 1.3)



Рисунок 1.3 - Gibson Min-ETune

Вона дозволяє налаштувати інструмент за лічені секунди натисканням однієї кнопки. Основні недоліки системи — значна зміна ваги та балансу інструменту, складність монтажу, високе енергоспоживання, що потребує частого заряджання, та жорстка прив'язка до конкретних моделей гітар.

Основні характеристики:

- Тип системи – «вбудований роботизований блок кілків»
- Передаточне число механізму – «40:1»
- Режими налаштування – «поліфонічний (всі струни одночасно), 12 заводських та 6 користувацьких строїв»
- Акумулятор – «знімний Li-Po 3.7В (вистачає на 80–100 налаштувань)»
- Індикація – «багатоколірна LED-панель керування»

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						7
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Габарити:

- Вага – «близько 245 г (монтажна пластина разом з усіма кілками та батареєю)»
- Висота – «~11,5 см (відповідно до тильної сторони голови грифа)»
- Ширина – «~5,0 см»
- Глибина – «~2,5 см»

Ще одним важливим фактором вибору пристрою є його вартість. Оскільки ця система розроблялася переважно для встановлення на гітари Gibson[3] ще на заводі і зараз знята з масового окремого продажу, її ціна на вторинному ринку (або зі старих складських запасів) варіюється від 8 000 грн до 14 000 грн в залежності від стану, версії прошивки та комплектації.

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						8
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ

У даному розділі представлено структурну схему пристрою автоматичного налаштування електрогітари (Рис. 2). З автономного блока живлення напруга подається на всі елементи, які використовуються в цьому пристрої. Для обробки сигналів, керування екраном та сервоприводом під'єднаємо їх до мікроконтролера ESP32-C3 SuperMini[4], який виступає обчислювальним ядром системи.

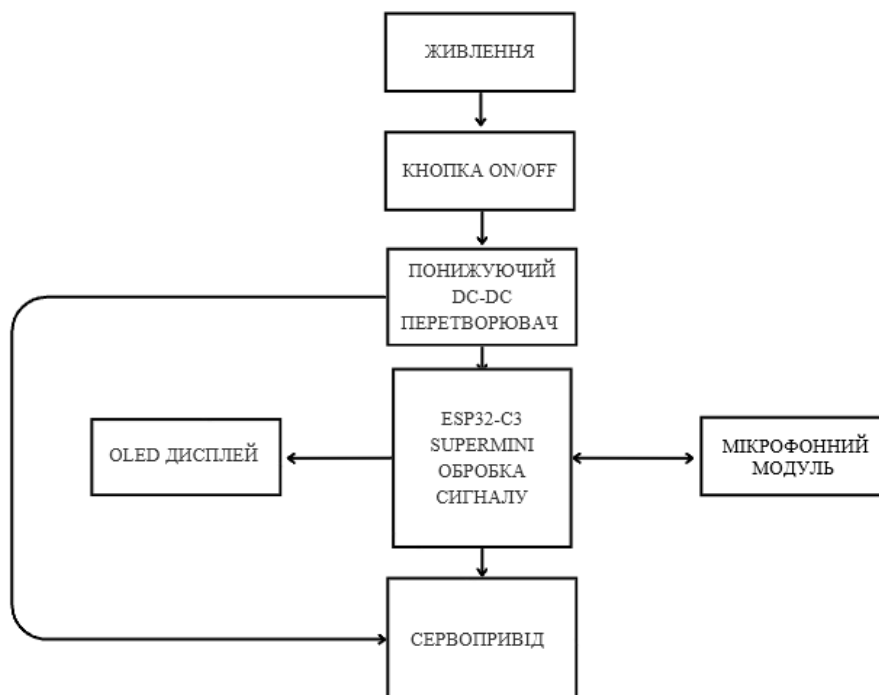


Рисунок 2 — Структурна схема процесів пристрою

Щоб автоматично підлаштовувати струну інструменту, будемо використовувати виконавчий механізм у вигляді сервоприводу, який напряду підключений до керуючого ШІМ-виходу мікроконтролера. При зчитуванні звукових хвиль мікрофонним модулем інформація про коливання струни передається на вбудований аналогово-цифровий перетворювач процесора. За допомогою математичних алгоритмів система самостійно визначає поточну частоту звуку та виводить значення ноти й графічну шкалу відхилення на OLED-

дисплей. Після цього мікроконтролер вираховує похибку, і сервопривід починає обертати кілок гітари у відповідний бік для отримання і підтримки ідеально точного музичного строю.

Мікроконтролер керує всіма процесами в автотюнері. Його головна задача — приймати сигнал з мікрофона, рахувати точну частоту струни, виводити інформацію на екран і керувати мотором, показуючи йому, в який бік і на скільки градусів повернути кілок.

Оскільки пристрій мав бути дуже швидким і при цьому крихітним, першим варіантом для розробки розглядалася класична плата Arduino Nano[5] (Рис. 2.1).

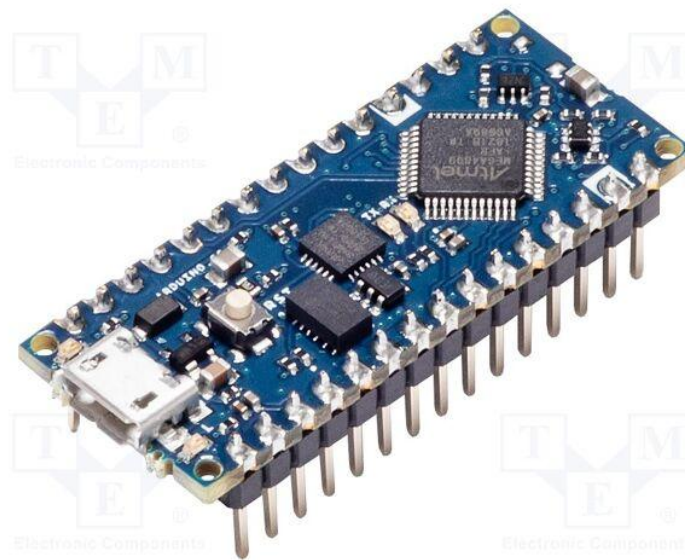


Рисунок 2.1 – Arduino Nano

Ця плата має наступні характеристики:

- Процесор: ATmega328P (8-бітний)
- Тактова частота: 16 МГц
- Об'єм оперативної пам'яті (SRAM): 2 КБ
- Вбудовані бездротові модулі (Wi-Fi / Bluetooth): відсутні

Її габарити:

- Довжина — 45.0 мм
- Ширина — 18.0 мм
- Висота — 7.0 мм

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		10

— Вага — 7.0 г

Як набагато сучаснішу, потужнішу та просто ультракомпактну альтернативу, для проекту було обрано мікроконтролер ESP32-C3 SuperMini (Рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – ESP32-C3 SuperMini

Ця плата має наступні характеристики:

- Процесор: RISC-V (32-бітний, одноядерний)
- Тактова частота: до 160 МГц
- Об'єм оперативної пам'яті (SRAM): 400 КБ
- Вбудовані бездротові модулі: Wi-Fi 2.4 ГГц та Bluetooth 5.0 (BLE)

Її габарити:

- Довжина — 22.5 мм
- Ширина — 18.0 мм
- Висота — 3.0 мм
- Вага — всього 1.5 г

Старенька Arduino Nano хоч і проста в роботі, але для такої задачі вона занадто слабка. Її процесор на 16 МГц та всього 2 КБ оперативки просто не

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE22.468161.001 ПЗ

Лис

11

зможуть швидко виконувати складні математичні розрахунки (наприклад, алгоритм швидкого перетворення Фур'є для точного визначення ноти) без помітних затримок. Крім того, за розмірами вона вдвічі більша за обраний варіант.

А от платка ESP32-C3 SuperMini підійшла ідеально. За розмірами вона як поштова марка, але працює неймовірно швидко. Завдяки такій потужності пристрій ловить і прораховує частоту струни миттєво, взагалі без жодних затримок чи підвисань. Класним бонусом став ще й вбудований Bluetooth — у майбутньому можна буде підключити тюнер до смартфона, щоб, наприклад, вибирати цікаві гітарні строї чи оновлювати прошивку. Кошують вони зараз приблизно однаково, десь 120–150 гривень, тому вибір був очевидним.

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
						12
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ

Для розробки пристрою автоматичного налаштування електрогітари потрібні наступні компоненти та блоки:

- Автономний блок живлення (акумулятор / батарея)
- Кнопка живлення LB19-22E[6]
- Імпульсний DC-DC знижувальний перетворювач MINI360[7]
- Екранний модуль OLED SSD1315[8]
- Чутливий мікрофонний підсилювач MAX9814 з АРП[9]
- Виконавчий сервопривід MG995 Tower-Pro[10]
- Спеціальна механічна насадка на гітарні кілки

Варто зауважити, що принцип роботи пристрою автоматичного налаштування базується на принципі замкненої системи зворотного зв'язку за частотою звукового сигналу.

3.1 Синтез схеми електричної принципової та вибір елементної бази

Після того як усі основні компоненти майбутнього автотюнера були обрані та проаналізовані, виникла потреба об'єднати їх у єдину систему. Для цього необхідно чітко визначити, як саме мікроконтролер, екран, мікрофон, мотор та елементи живлення будуть з'єднуватися між собою, які виводи плати будуть задіяні та як буде організовано захист і стабілізацію напруги.

Повний перелік електричних зв'язків між модулями, номери використаних пінів мікроконтролера ESP32-C3 та лінії розподілу живлення 5 В і 9 В детально зображені на схемі електричній принциповій (Рис. 3.1).

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
						13
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

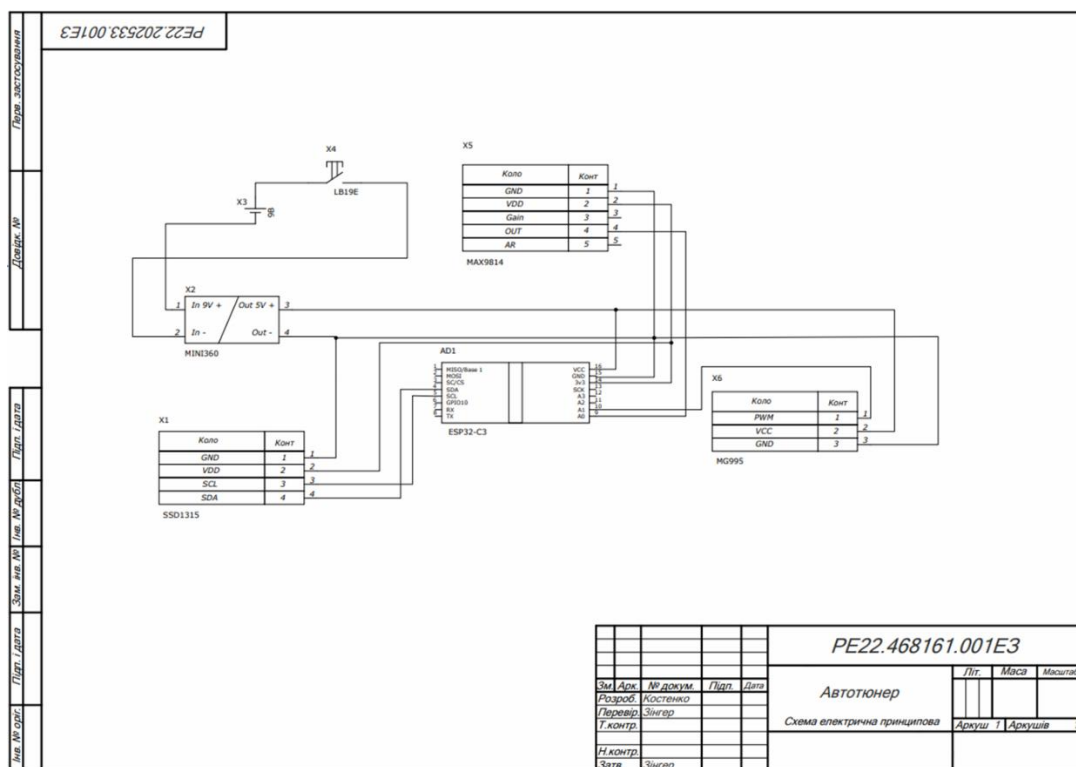


Рисунок 3.1 – Схема електрична принципова

Для живлення логічної частини схеми (мікроконтролера, OLED-дисплея та мікрофонного модуля) використовується напруга від основного джерела живлення через кнопку з фіксацією типу LB19E. Силовий сервопривід підключається до виходу понижуючого DC/DC-перетворювача Mini360, що дозволяє забезпечити його необхідним струмом і захистити мікроконтролер від просядок напруги.

Згідно з розробленою структурною та принциповою схемами, первинне підключення починається з модуля живлення та перетворювача Mini360. Вхідна напруга від акумулятора через механічну кнопку подається на контакт In 9V +, а спільний провід підключається до In -. Стабілізована напруга для силової частини знімається з вихідних контактів перетворювача Out 5V + та Out - і направляється безпосередньо до виконавчого сервоприводу MG995, забезпечуючи його живленням.

Центральний елемент системи, мікроконтролер ESP32-C3, підключається до загальної шини живлення логіки через вивід VCC, а його заземлення забезпечується з'єднанням виводу GND зі спільним проводом схеми. Це дозволяє

контролеру стабільно функціонувати та керувати всіма периферійними модулями.

Периферійні пристрої відображення та зняття сигналу підключаються до відповідних інтерфейсних ліній мікроконтролера. OLED-дисплей SSD1315 отримує живлення через контакти VDD і GND від шини контролера, а його лінії тактування SCL та даних SDA з'єднуються з однойменними виводами апаратного інтерфейсу I2C на платі ESP32-C3. Мікрофонний підсилювач MAX9814 так само підключається до ліній заземлення та живлення логіки через контакти GND і VDD. При цьому його аналоговий вихід OUT виводиться на аналоговий вхід A0 мікроконтролера, що дозволяє проводити постійне зчитування та обробку звукової хвилі.

Керування виконавчим механізмом реалізовано через окрему сигнальну лінію. Сервопривід MG995, окрім підключення до силових контактів живлення перетворювача Mini360, з'єднується своїм сигнальним проводом PWM з виводом A1 мікроконтролера. Через цей канал плата керування передає широтно-імпульсні сигнали для точного позиціонування валу двигуна під час налаштування інструменту.

3.1.1 Автономний блок живлення (акумулятор/батарея)

Система живлення — це, власне, те, завдяки чому наш автотюнер взагалі оживає. Її головна задача — стабільно «годувати» енергією всі компоненти: від примхливої цифрової логіки мікроконтролера до потужного двигуна, який крутить кілки.

Оскільки наш пристрій портативний і має зручно лежати в руці, живлення обов'язково повинно бути автономним. Найпрожорливіший елемент у схемі — це сервопривід MG995. Коли він натягує тугу гітарну струну, то в піках може споживати струм до 1.5 А. Звичайна дешева батарейка з цим просто не впорається. Тим не менш, для порівняння першим варіантом розглянули класичну сольову «Крону» 9В від GP[11] (Рис. 3.2).

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
						15
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.2 – «Крона» 9В від GP

Ця батарейка має наступні характеристики:

- Напруга: 9 В
- Ємність: близько 550 мАг
- Тип: вугільно-цинкова (сольова)
- Максимальний струм, який може видати: всього до 200 мА

Її габарити абсолютно стандартні для такого типу батарейок:

- Довжина — 48.5 мм
- Ширина — 26.5 мм
- Висота — 17.5 мм
- Вага — 36 г

Як набагато потужнішу й сучаснішу альтернативу, розглядав літій-іонний (Li-ion) акумулятор Pale Blue 9V[12] на 500 mAh, який заряджається через звичайний USB-C (Рис. 3.3).

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE22.468161.001 ПЗ

Лис
16



Рисунок 3.3 - Pale Blue 9V

Цей акумулятор має наступні характеристики:

- Напруга: стабільні 9 В (завдяки внутрішній платі)
- Ємність: 500 мАг
- Тип: Lithium-ion (з вбудованим портом USB-C)
- Максимальний струм розряду: до 2.0 А (завдяки розумній платі захисту)

Його габарити:

- Довжина — 48.0 мм
- Ширина — 26.0 мм
- Висота — 16.5 мм
- Вага — 28 г

За розмірами цей акумулятор один в один як звичайна «Крона», навіть трішки легший. Але його головна фішка — він без проблем видає струм до 2 Ампер і взагалі не просідає, коли моторчик автотюнера починає крутити тугий кілок гітари. Та й можливість просто зарядити тюнер від звичайного кабелю для смартфона робить його зручним гаджетом, а не річчю, де треба постійно міняти батарейки. Звісно, такий акумулятор дорожчий за звичайну батарейку

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						17
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

десь на 600 гривень, але для надійної та довгої роботи нашого пристрою — це найкращий варіант.

3.1.2 Кнопка живлення LB19-22E

Кнопка живлення — це елемент керування, який відповідає за комутацію електричного кола між акумулятором та всією іншою електронікою пристрою. Її головна задача — надійно вмикати та вимикати живлення автотюнера, щоб акумулятор не розряджався, коли пристрій просто лежить у чохлі.

Оскільки наш девайс має бути стильним та ергономічним, першим варіантом було розглянути звичайний пластиковий тумблер (перемикач) типу KCD1[13] (Рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Перемикач типу KCD1

Цей перемикач має наступні характеристики:

- Максимальний струм: до 6 А (при напрузі 250 В)
- Кількість контактів: 2 (просте замикання лінії)
- Матеріал корпусу: пластик
- Наявність підсвітки: відсутня

Його габарити:

- Довжина — 21.0 мм
- Ширина — 15.0 мм
- Висота — 25.0 мм

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		18

— Вага — 3.5 г

Як набагато сучаснішу, красивішу та надійнішу альтернативу, обрано металеву антивандальну кнопку з фіксацією та вбудованою LED-підсвіткою — **LB19-22E** (Рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Кнопка LB19-22E

Ця кнопка має наступні характеристики:

- Максимальний струм: до 3 А (цілком достатньо для нашої схеми)
- Напруга вбудованої підсвітки: 5 В (ідеально підходить під вихід нашого знижувача MINI360)
- Матеріал корпусу: нержавіюча сталь / нікельована латунь
- Тип роботи: з фіксацією (одне натискання — увімкнено, друге — вимкнено)

Її габарити:

- Діаметр посадкового отвору — 19.0 мм
- Загальна довжина — ~35.0 мм
- Вага — 15.0 г

Звичайний пластиковий тумблер KCD1 хоч і коштує копійки, але виглядає досить дешево і за замовчуванням не має ніякої індикації — тобто музи-

					<i>PE22.468161.001 ПЗ</i>	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		19

кант може випадково забути вимкнути тюнер, і акумулятор сяде в нуль. Кнопка LB19-22E зроблена з міцного металу, приємно натискається і має кругову світлодіодну підсвітку. Коли пристрій увімкнений — кнопка світиться, що візуально сигналізує про роботу тюнера і додає гаджету сучасного вигляду. Різниця в ціні між ними складає близько 80 гривень, але за рахунок надійності, вбудованої індикації та крутого зовнішнього вигляду для нашого корпусу я обрав саме модель LB19-22E.

3.1.3 Знижувальний перетворювач напруги

Знижувальний перетворювач — це критично важливий елемент нашої схеми, який діє як своєрідний «перекладач» енергії. Його головна задача — прийняти від акумулятора високу напругу (9 Вольт) і акуратно знизити її до стабільних 5 Вольт, які потрібні для безпечної роботи сервоприводу та мікроконтролера.

Оскільки наш пристрій має бути дуже компактним, кожен міліметр всередині корпусу на рахунок. Першим варіантом для зниження напруги я розглянув класичний лінійний стабілізатор типу LM7805[14] (Рис. 3.6).

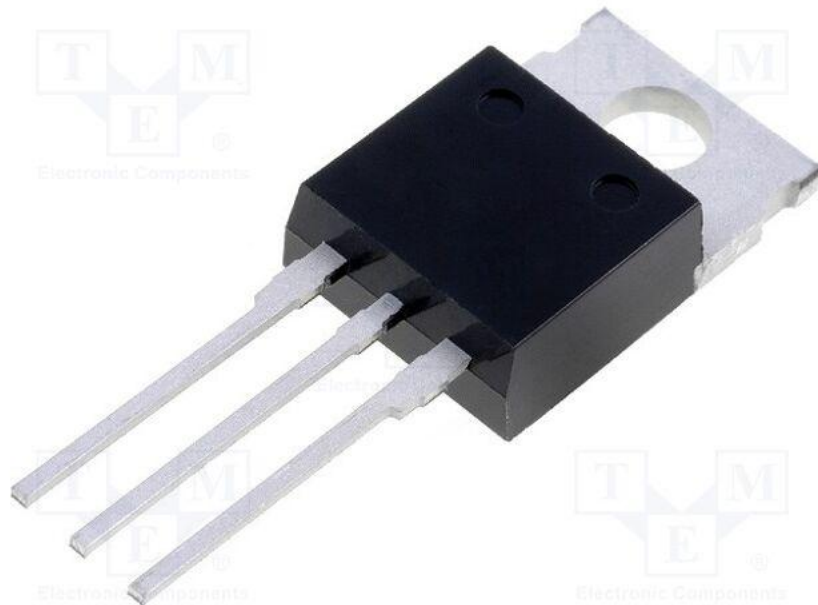


Рисунок 3.6 – Стабілізатор типу LM7805

Цей стабілізатор має наступні характеристики:

— Вихідна напруга: фіксована, 5 В

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
						20
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

- Максимальний вихідний струм: до 1.5 А (тільки з величезним радіатором)
- Тип роботи: лінійний
- Коефіцієнт корисної дії (ККД): близько 55% (при живленні від 9 В)

Його габарити:

- Довжина — 10.0 мм
- Ширина — 4.5 мм
- Висота — 15.5 мм (без урахування ніжок та радіатора)
- Вага — 2.0 г

Як набагато сучаснішу, ефективнішу та мініатюрнішу альтернативу, обрано імпульсний DC-DC знижувальний перетворювач — MINI360 (Рис. 3.7).



Рисунок 3.7 - імпульсний DC-DC знижувальний перетворювач MINI360

Цей модуль має наступні характеристики:

- Вихідна напруга: регульована (від 1 В до 17 В, налаштована нами на 5 В)
- Максимальний вихідний струм: 1.8 А (тривало), до 3 А (в піках)
- Тип роботи: імпульсний (високочастотний синхронний випрямляч)
- Коефіцієнт корисної дії (ККД): аж до 96%

Його габарити:

					<i>PE22.468161.001 ПЗ</i>	Лис
						21
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

- Довжина — 17.0 мм
- Ширина — 11.0 мм
- Висота — 3.8 мм
- Вага — всього 1.0 г

Старий добрий стабілізатор LM7805 працює за принципом «перепалювання» зайвої напруги в тепло. Тобто, знижуючи напругу з 9 В до 5 В при струмі, який споживає моторчик, він би грівся як шалена пічка і вимагав великого металевого радіатора, який просто не влізе в наш корпус. До того ж, через низький ККД він би просто в пусту висаджував акумулятор.

3.1.4 Екранний модуль пристрою

Екранний модуль — це головне вікно взаємодії між автотюнером та музикантом. Його основна задача — красиво та чітко показувати користувачеві, яка струна зараз налаштовується, яку ноту вловив мікрофон і куди саме (в плюс чи мінус) потрібно тягнути стрій.

Оскільки гаджет буде використовуватися в абсолютно різних умовах — від яскравого сонячного світла до повної темряви на сцені під час концертів, першим варіантом розглядалося використання класичного рідкокристалічного дисплея LCD 1602 з I2C-адаптером[15] (Рис. 3.9).

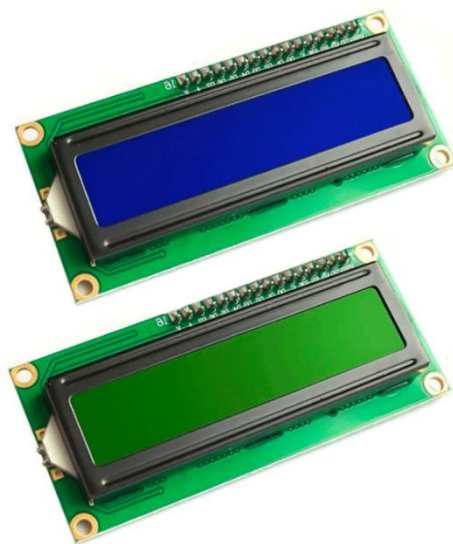


Рисунок 3.9 – Дисплей LCD1602

Цей дисплей має наступні характеристики:

- Тип матриці: LCD (рідкокристалічний, символьний)

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		22

- Роздільна здатність: 2 рядки по 16 символів
- Колір підсвітки: зазвичай зелений або синій
- Інтерфейс підключення: I2C (всього 4 дроти завдяки адаптеру)

Його габарити:

- Довжина — 80.0 мм
- Ширина — 36.0 мм
- Висота — 20.0 мм
- Вага — близько 35.0 г

Як набагато сучаснішу, яскравішу та дійсно мініатюрну альтернативу, для проєкту було обрано графічний OLED-дисплей на контролері SSD1315 з діагоналлю 0.96 дюйма (Рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – OLED-дисплей на контролері SSD1315

Цей модуль має наступні характеристики:

- Тип матриці: OLED (органічні світлодіоди, кожен піксель світиться сам)
- Роздільна здатність: 128x64 точок (можна малювати будь-яку графіку, стрілки та шрифти)
- Кути огляду: понад 160 градусів
- Енергоспоживання: ультранизьке (струм до 20 мА, коли світяться всі пікселі)

Його габарити:

					<i>PE22.468161.001 ПЗ</i>	Лис
						23
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

- Довжина — 27.3 мм
- Ширина — 27.3 мм
- Висота — 3.5 мм
- Вага — всього 3.5 г

Зі старим екраном LCD 1602 діла б не було. Це величезна та важка платка, яка зайняла б стільки місця, що весь тюнер став би громіздким і незручним. До того ж він вмiє показувати тільки сухі літери та цифри в два рядочки. Намалювати на ньому якусь гарну шкалу, що плавно рухається, або стрілку, яка показує відхилення струни, просто фізично нереально.

А от маленький дисплей на базі SSD1315 підійшов ідеально. Він крихітний, важить усього пару грамів, тому мені вдалося зробити корпус пристрою дійсно компактним. Оскільки це OLED-екран, у нього немає звичайної задньої підсвітки, а кожен піксель світиться сам по собі. Через це картинка виходить суперконтрастною і яскравою — гітарист спокійно побачить свій стрій навіть у повній темряві десь за лаштунками перед концертом. Коштує такий модуль всього 80–100 гривень, тому з огляду на його розміри та можливість малювати будь-яку графіку в реальному часі, я вибрав саме його.

3.1.5 Мікрофонний модуль

Мікрофонний модуль потрібен для того, щоб пристрій міг чути звук інструменту. Його головна задача — фіксувати коливання гітарної струни, підсилювати цей слабкий аудіосигнал і передавати його на мікроконтролер, який уже потім рахує точну частоту.

Оскільки гітара може звучати з різною гучністю, першим варіантом я розглянув звичайний і найдешевший модуль звуку на базі мікросхеми LM393[16] (Рис. 3.11).

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						24
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.11 – модуль звуку на базі LM393

Цей модуль має наступні характеристики:

- Тип підсилювача: простий компаратор / лінійний підсилювач
- Регулювання чутливості: ручне (механічним потенціометром)
- Функція автоматичного посилення: відсутня
- Тип виходу: цифровий (бачить тільки порogi «тихо/голосно») та грубий аналоговий

Його габарити:

- Довжина — 32.0 мм
- Ширина — 17.0 мм
- Висота — 15.0 мм
- Вага — 4.0 г

Як набагато сучаснішу, розумнішу та надійнішу альтернативу, для проєкту було обрано чутливий мікрофонний підсилювач MAX9814 з АРП (автоматичним регулюванням посилення) (Рис. 3.12).

					<i>РЕ22.468161.001 ПЗ</i>	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		25



Рисунок 3.12 – Мікрофонний модуль MAX9814

Цей модуль має наступні характеристики:

- Тип підсилювача: малошумний, з вбудованим електретним мікрофоном
- Функція АРП (автоматичне регулювання): вбудована (модуль сам підлаштовує гучність)
- Коефіцієнт підсилення: максимальний, до 40 дБ / 50 дБ / 60 дБ (налаштовується виводами)
- Напруга живлення: від 2.7 В до 5.5 В (ідеально підходить для нашої схеми)

Його габарити:

- Довжина — 26.0 мм
- Ширина — 14.0 мм
- Висота — 10.0 мм
- Вага — всього 2.7 г

Зі звичайним датчиком на LM393 була б суцільна мука. Він працює «тупо»: якщо струна звучить голосно (одразу після щипка), сигнал зашкалює, а коли звук починає затухати — модуль його взагалі перестає бачити. Щоб він

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		26

хоч щось зловив, довелося б постійно крутити викруткою маленький гвинтик на платі під кожну ноту, що для автоматичного тюнера взагалі не варіант.

А от модуль на МАХ9814 підійшов ідеально. Його головна фішка — це АРП (автоматичне регулювання посилення). Це працює так: коли гітара б'є по вухах, модуль сам притишує звук, щоб не було спотворень, а коли струна вже затухає і ледь коливається — він навпаки витягує і підсилює цей слабкий сигнал. Завдяки цьому мікроконтролер отримує красиву, чисту і стабільну синусоїду від початку і до кінця звучання ноти. Коштує така платка близько 90–110 гривень, але без її «розумного» підсилення зробити точний і швидкий тюнер просто не вийшло б.

3.1.6 Виконавчий сервопривід

Сервопривід — це силовий елемент схеми, який виконує всю механічну роботу в нашому пристрої. Його головна задача — обертати гітарний кілок у потрібний бік за командами з мікроконтролера, щоб підтягнути або послабити струну до ідеального строю.

Оскільки для обертання кілків потрібне хороше зусилля, першим варіантом я розглянув популярний і дуже дешевий мікросервопривід типу SG90[17] (Рис. 3.13).



Рисунок 3.13 – Мікросервопривід SG90

Цей сервопривід має наступні характеристики:

- Матеріал шестерень редуктора: нейлон (пластик)
- Зусилля на валу (крутний момент): 1.8 кг·см

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		27

- Робоча напруга: 4.8 В – 6.0 В
- Кут повороту: 180 градусів (або постійне обертання в спеціальних версіях)

Його габарити:

- Довжина — 22.2 мм
- Ширина — 11.8 мм
- Висота — 31.0 мм
- Вага — всього 9.0 г

Як набагато потужнішу та надійнішу альтернативу, яка здатна впоратися з реальними навантаженнями, для проєкту було обрано сервопривід MG995 Tower-Pro (Рис. 3.14).



Рисунок 3.14 – Сервопривід MG995

Цей сервопривід має наступні характеристики:

- Матеріал шестерень редуктора: повністю металеві (латунь та алюміній)
- Зусилля на валу (крутний момент): до 11.0–13.0 кг·см (залежно від напруги живлення)
- Швидкість роботи: поворот на 60 градусів за 0.2 секунди (при 4.8 В)
- Робоча напруга: 4.8 В – 7.2 В (ідеально підходить під вихід нашого перетворювача MINI360)

Його габарити:

					<i>PE22.468161.001 ПЗ</i>	Лис
						28
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

- Довжина — 40.7 мм
- Ширина — 19.7 мм
- Висота — 42.9 мм
- Вага — 55.0 г

З маленьким двигуном SG90 проєкт би просто не запрацював. Гітарні струни, особливо басові, натягнуті дуже сильно, і кілки крутяться туго. Пластикові шестерні моторчика SG90 просто злизалися б при першій спробі повернути кілок, та й потужності в 1.8 кг·см йому б банально не вистачило.

Сервопривід MG995 — це зовсім інша справа. У нього повністю металевий редуктор, який не зламється від великих навантажень. Крутний момент у нього більше 10 кілограмів на сантиметр, чого з величезним запасом вистачає, щоб впевнено і плавно крутити навіть найтугіші кілки на акустичних чи електрогітарах. Коштує він близько 150–180 гривень. Так, він більший і важчий за пластиковий мікросервопривід, але це єдиний варіант, який може фізично виконати цю роботу і не зламатися.

3.1.7 Розробка спеціальної механічної насадки на гітарні кілки

Механічна насадка — це сполучна ланка між сервоприводом та інструментом. Її головна задача — надійно зафіксуватися на валу моторчика і чітко передавати обертовий момент на ручку гітарного кілка, не прослизавши і не злітаючи під час роботи.

Оскільки насадка має підходити під форму кілка, першим варіантом я розглянув використання стандартної пластикової качалки (ріжка), яка йде в комплекті із сервоприводом MG995, та спробу закріпити її за допомогою звичайної термоусадкової трубки або клею

Цей варіант має наступні характеристики:

- Матеріал: м'який пластик (нейлон)
- Метод кріплення до кілка: кустарний (клей, епоксидна смола, ізолента або термоусадка)
- Сумісність: універсальна, але ненадійна
- Стійкість до зношування: дуже низька

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						29
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Її габарити:

— Довжина — ~40.0 мм

— Ширина — ~8.0 мм

— Висота (товщина) — ~2.5 мм

— Вага — менше 1.0 г

Оскільки такий підхід абсолютно ненадійний, для проєкту було розроблено та надруковано на 3D-принтері спеціальну знімну механічну насадку з міцного PETG-пластику (Рис. 3.15).

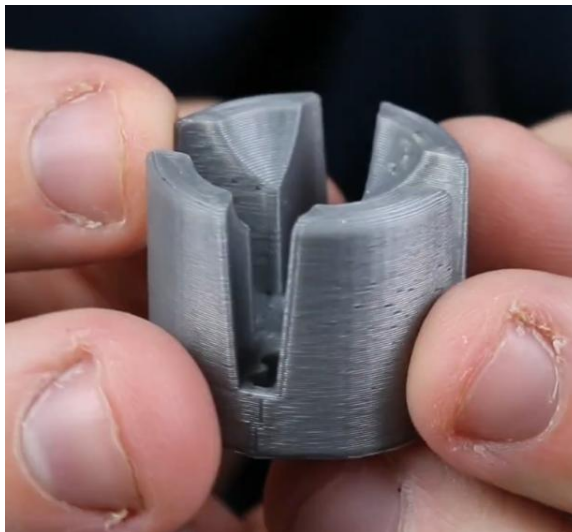


Рисунок 3.15 – Приклад друкованого варіанту

Ця насадка має наступні характеристики:

— Матеріал: PETG-пластик (стійкий до ударів та стирання)

— Внутрішній профіль: прямокутний паз, що точно повторює форму стандартної ручки гітарного кілка

— Кріплення до сервоприводу: посадкове місце під металеву шліцеву зірочку валу MG995 з фіксацією гвинтом

— Конструкція: монолітна, з товстими стінками для витримання крутного моменту

Її габарити:

— Зовнішній діаметр — 24.0 мм

— Загальна висота — 30.0 мм

					<i>PE22.468161.001 ПЗ</i>	Лис
						30
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

— Глибина пазу під кілок — 15.0 мм

— Вага — близько 6.0 г

Спроба адаптувати стандартну пластикову качалку за допомогою термоусадки чи клею — це завідомо невдалий варіант. Крутний момент від сервоприводу MG995 досить серйозний, тому м'який комплектний пластик або клей просто повернуться навколо металевої ручки кілка при першому ж зусиллі. До того ж, з таким кустарним кріпленням пристрій стане одноразовим, і його не можна буде просто зняти чи переставити на інший інструмент.

Спеціально спроектована насадка повністю вирішує цю проблему ще на етапі розробки. За задумом, з одного боку вона буде міцно сидати на металеві шліци валу двигуна і фіксуватися гвинтом, а з іншого — матиме глибокий паз, який просто накидається на вушко гітарного кілка за принципом гайкового ключа чи торцевої головки. Таку деталь можна буде легко змодельовати та надрукувати на 3D-принтері з міцного пластику. Собівартість виготовлення складе буквально кілька гривень, але це забезпечить жорстке зчеплення без люфтів і дозволить тюнеру працювати надійно.

3.2 Розробка друкованої плати

Наступний крок розробки — перенесення створеної схемотехніки на реальну друковану плату (PCB) в середовищі Altium Designer. На цьому етапі теоретична електрична схема та обрані компоненти перетворюються на фізичний пристрій. Для цього потрібно визначити оптимальну форму та габарити плати, зручно розставити елементи та правильно розвести (отрасувати) доріжки. Від якості проектування плати залежить стабільність роботи автотюнера, відсутність завад та надійність взаємодії між усіма модулями пристрою.

3.2.1 Визначення габаритів друкованої плати та вибір форми плати

На початковому етапі проектування топології було виконано розрахунок мінімально необхідної площі друкованої плати. Це дозволяє попередньо оцінити її майбутні габарити, щільність розміщення елементів та перевірити можливість вільного трасування провідників і надійного монтажу компонентів усередині корпусу.

					<i>PE22.468161.001 ПЗ</i>	Лис
						31
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Мінімальна площа друкованої плати визначається як сума площ, які займають конструктивні елементи та модулі різних габаритних груп, з урахуванням зон, необхідних для технологічних відступів та механічного кріплення.

Площу, яку займають компоненти кожної окремої габаритної групи, обчислюють за формулою:

$$S = S_k * n * k$$

де S_k — площа одного компонента, n — кількість однакових компонентів, k — коефіцієнт габаритності, що враховує технологічні відступи та умови монтажу.

Коефіцієнт k приймається рівним 1 для малогабаритних, 1,5 — для середньогабаритних і 2 — для великогабаритних компонентів.

Отримані результати розрахунку сумарної площі для кожного конструктивного елемента наведено в таблиці 3.1.

Компонент	Площа, $S \text{ мм}^2$	Коефіцієнт, k	Кількість, n	Сумма, S мм^2
ESP32-C3 Supermini	414	3	1	1242
DC/DC Mini360	187	1.5	1	280,5
LB-19-22	298,6	1.5	1	447,9
MAX9814	56	1.5	1	84
OLED Display 128x64	48	1.5	1	72
MG995 Servo	51,61	1.5	1	77,4
9v Battery	80	1	1	80
Кріплення	81	1	4	324
S				2607,8

Відповідно до розрахунків мінімальна площа плати становить 2607,8 мм².

Відповідно до того що це перша ітерація конкретних обмежень щодо розміру не надається виходячи з цього обрано плату прямокутної форми з габаритними розмірами 50x60mm.

Такий розмір обирається з невеличким запасом для зручності трасування та монтажу елементів на плату, а також зберігається концепція компактності виробу. Кріплення плати здійснюється за допомогою гвинтів діаметру М3.

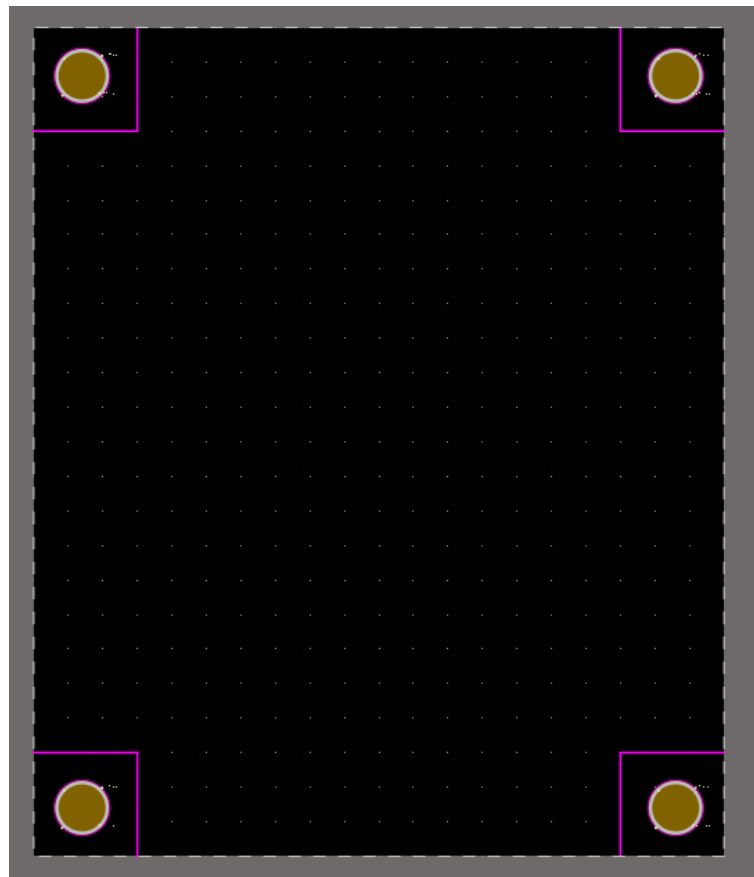


Рисунок 3.2 – Контур плати з місцями під кріплення

3.2.2 Розрахунок ширини друкованих провідників та вибір матеріалу друкованої плати

Для виготовлення друкованої плати автоматичного гітарного тюнера було обрано стандартизований шаруватий склотекстоліт марки FR-4. Цей матеріал є найбільш поширеним у сучасній радіоелектроніці завдяки збалансованому поєднанню своїх механічних, електричних та теплових характеристик. Оскільки розроблюваний автотюнер є портативним пристроєм і під час роботи зазнає постійних динамічних навантажень, таких як вібрація від силового сервоприводу, зусилля при взаємодії з кілками гітари та натискання кнопок, плата

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						33
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

повинна мати високу стійкість до згинання, зламів та геометричних деформацій. Основа з тканого скловолокна, просоченого епоксидною смолою, забезпечує необхідну жорсткість і міцність конструкції впродовж усього періоду експлуатації.

Електричні властивості склотекстоліту FR-4 гарантують надійну роботу цифрової та аналогової частин пристрою. Висока діелектрична міцність матеріалу у поєднанні з низьким тангенсом кута діелектричних втрат забезпечує якісну ізоляцію між близько розташованими струмопровідними доріжками живлення та чутливими сигнальними лініями мікроконтролера ESP32-C3. Це мінімізує ризик виникнення паразитних витоків струму, взаємних наведень або внутрішніх завад, що вкрай важливо для стабільної роботи високочастотного процесора та точного зчитування звукової хвилі з аналогового мікрофона.

Термічна та хімічна стійкість обраного матеріалу безпосередньо впливає на надійність монтажу компонентів. Індекс FR у назві матеріалу вказує на його вогнетривкі властивості та здатність до самозатухання, що підвищує загальну безпеку пристрою під час роботи із силовими струмами двигуна. Крім того, склотекстоліт без пошкоджень витримує термічні навантаження під час пайки за температур до 260°C, виключаючи ризик відшарування мідної фольги чи руйнування структури діелектрика під час ручного або автоматизованого збирання плати.

Додатковою перевагою FR-4 є його висока вологостійкість та низький коефіцієнт поглинання вологи з навколишнього середовища. Це дозволяє зберегти стабільні діелектричні та механічні параметри друкованої плати навіть за умов різкої зміни погоди чи експлуатації тюнера на відкритому повітрі, наприклад, під час репетицій або виступів. Використання двостороннього склотекстоліту FR-4 із класичною товщиною діелектрика 1.6 мм та базовою товщиною мідного фольгування 35 мкм є оптимальним та технічно обґрунтованим інженерним рішенням для реалізації даного проєкту.

Нижче наведено назви та параметри ланцюгів, для яких буде розрахована ширина провідника

Таблиця 3.2 – Параметри ланцюгів

					<i>PE22.468161.001 ПЗ</i>	Лис
						34
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Назва Net	I,A
9V	1
5V	0.5
Sig_group	0.05

Подальший розрахунок ширини друкованих провідників виконано за допомогою онлайн-калькулятора з урахуванням заданого струму, товщини мідного шару та допустимого підвищення температури.

Результати розрахунків для кожного ланцюга наведені на рисунках 3.3-3.5.

Current (I)

0.5

A

Ambient Temperature

30

°C

Thickness (t)

35

µm

Trace Length

40

mm

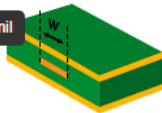
Temperature Rise (TRise)

5

°C

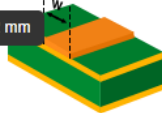
Minimum Trace Width

18.01112293 mil



Minimum Trace Width

0.1758574292 mm



*Internal Layers:

Required Trace Width (W)

18.01112293

mil

*External Layers in Air:

Required Trace Width (W)

0.1758574292

mm

Resistance

0.04412471454

Ω

Resistance

0.1147877904

Ω

Voltage Drop

0.02206235727

V

Voltage Drop

0.05739389518

V

Power Loss

0.01103117864

W

Power Loss

0.02869694759

W

Рисунок 3.3 — розрахунок ширини провідника для ланцюга +9V

Current (I)	1	A	Ambient Temperature	30	°C
Thickness (t)	35	µm	Trace Length	40	mm
Temperature Rise (T _{Rise})	5	°C			

Minimum Trace Width

46.85485278 mil

Minimum Trace Width

0.4574825225 mm

*Internal Layers:		*External Layers in Air:			
Required Trace Width (W)	46.85485278	mil	Required Trace Width (W)	0.4574825225	mm
Resistance	0.01696165095	Ω	Resistance	0.04412471454	Ω
Voltage Drop	0.01696165095	V	Voltage Drop	0.04412471454	V
Power Loss	0.01696165095	W	Power Loss	0.04412471454	W

Рисунок 3.4 — розрахунок ширини провідника для ланцюга +5V

Current (I)	0.05	A	Ambient Temperature	30	°C
Thickness (t)	35	µm	Trace Length	40	mm
Temperature Rise (T _{Rise})	5	°C			

Minimum Trace Width

0.7520218266 mil

Minimum Trace Width

0.007342608542 mm

*Internal Layers:		*External Layers in Air:			
Required Trace Width (W)	0.7520218266	mil	Required Trace Width (W)	0.007342608542	mm
Resistance	1.056798659	Ω	Resistance	2.749198136	Ω
Voltage Drop	0.05283993296	V	Voltage Drop	0.1374599068	V
Power Loss	0.002641996648	W	Power Loss	0.006872995339	W

Рисунок 3.5 — розрахунок ширини провідника для ланцюга Sig_group

За результатами розрахунків визначено узагальнені значення ширини друкованих провідників для основних ланцюгів з урахуванням електричних

вимог і технологічних обмежень виробника, що забезпечує стабільність топології.

Узагальнені результати наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри ланцюгів

Назва Net	t, mm
9V	0.45
5V	0.17
Sig_group	0.007

3.2.3 Трасування плати

Перед тим як розводити доріжки, потрібно було правильно розставити всі деталі на платі. Я компоновав їх так, щоб це було зручно для збирання та відповідало формі майбутнього корпусу.

Модуль ESP32-C3 SuperMini я поставив у верхній частині плати. Це зроблено для того, щоб роз'єм Type-C був доступний ззовні — так можна буде легко підключити кабель, щоб прошити або налаштувати контролер, не розбираючи весь тюнер.

Понижуючий DC/DC-перетворювач X2 я розмістив одразу поруч із входом живлення X3. Це логічно, адже напруга від акумулятора має спочатку пройти через перетворювач, тому таке сусідство спрощує розведення силових ліній і зменшує довжину доріжок, які підводять живлення до плати.

Контакти X6 для підключення сервоприводу я змістив ближче до самого мікроконтролера. Чим коротший дріт керування, тим менше завад та імпульсних наведень буде йти на інші елементи схеми від ШІМ-сигналу.

Контакти для мікрофона X5 та дисплея X1 я виніс на край плати за однаковим принципом. Оскільки екраном та мікрофоном користувач взаємодіє ззовні (дисплей монтується на верхню кришку корпусу, а мікрофон ховається глибше для ізоляції від шуму мотора), обидва ці модулі підключаються за допомогою дротів. Розміщення їхніх контактів на краю плати робить ручну пайку набагато зручнішою.

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						37
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Кнопку ввімкнення Х4 я розмістив зі зворотної сторони плати. Це дозволяє вивести її штовхач через отвір у корпусі, щоб пристрій було зручно вмикати однією рукою. Крім того, сама кнопка працює як додатковий упор, який допомагає надійно зафіксувати плату всередині корпусу.

Результат попереднього компоновання компонентів наведено на рис. 3.6.

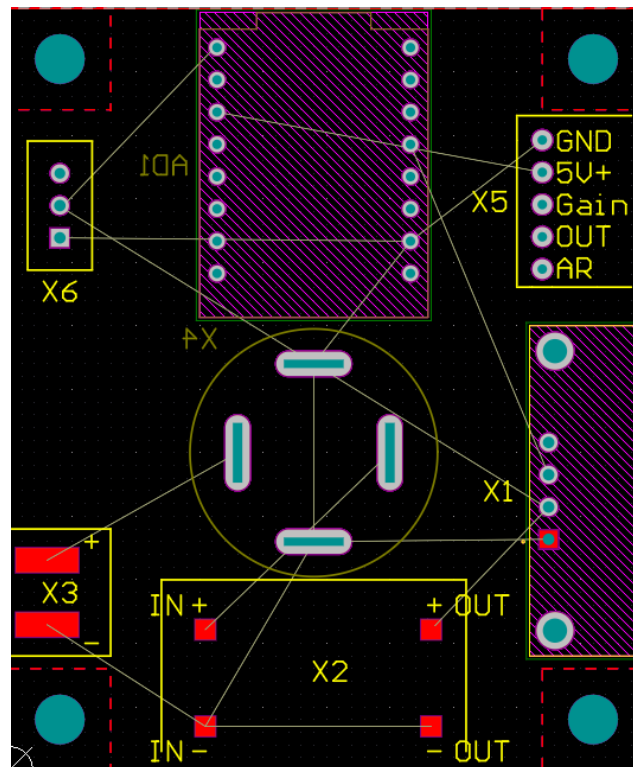


Рисунок 3.6 — Розташування елементів на платі

У редакторі РСВ виконано трасування друкованої плати, тобто прокладено провідники між контактними майданчиками відповідно до електричних з'єднань схеми та заданих правил проєктування. Результати трасування наведено на рис. 3.7.

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
						38
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

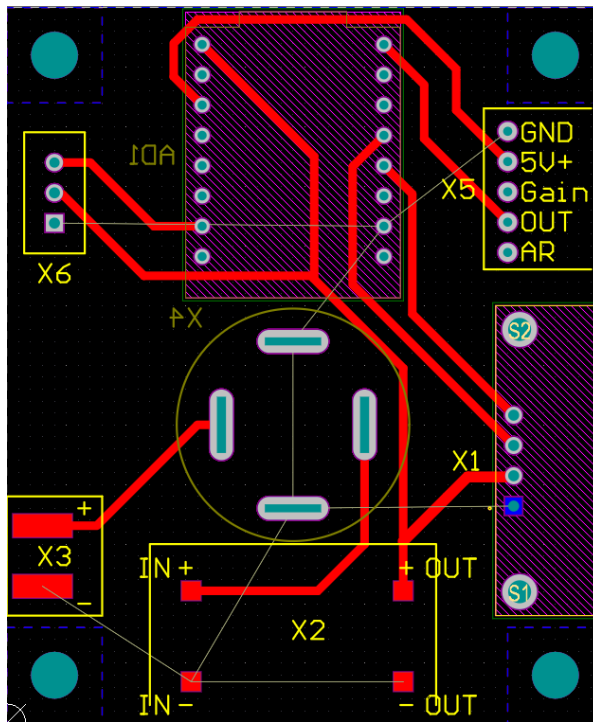


Рисунок 3.7 — Трасування верхнього шару

Трасування виконано для всіх ланцюгів, за винятком GND. Ланцюг заземлення реалізовано у вигляді полігону, що формує суцільну опорну площину та зменшує опір зворотного струму.

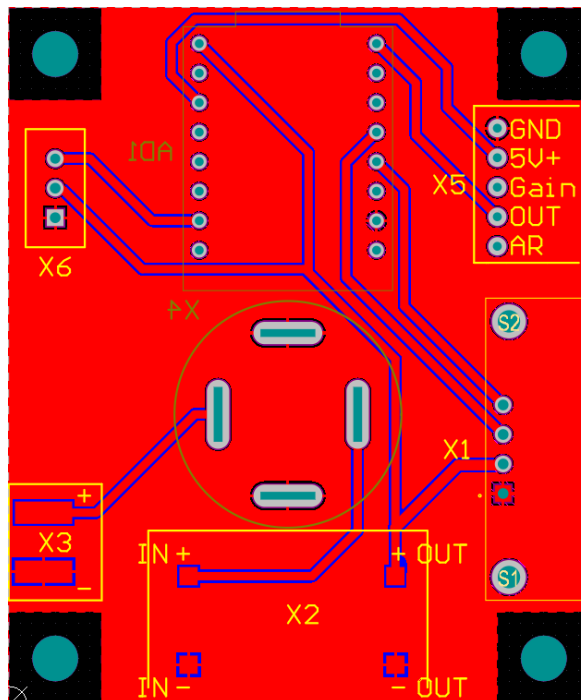


Рисунок 3.8 — Трасування верхнього шару з полігоном «Землі»+

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE22.468161.001 ПЗ

Лис

39

4 РОЗРОБКА КОРПУСУ ПРИСТРОЮ

Корпус є одним із найважливіших елементів будь-якого пристрою, оскільки саме від нього залежить перше враження, зовнішній вигляд та зручність використання. Автоматичний гітарний тюнер розрахований на музикантів, яким важливо швидко, точно і без зайвих зусиль налаштувати свій інструмент. Тому, окрім суто технічної функції (розміщення плати, мотора та екрана), корпус повинен забезпечувати правильну ергономіку, щоб пристрій було зручно тримати в одній руці під час роботи.

Дизайн корпусу має бути стриманим, сучасним і практичним, без жодних зайвих деталей, у стилі мінімалізму. Оскільки тюнером можуть користуватися як молоді гітаристи, так і досвідчені музиканти старшого покоління, конструкцію важливо зробити максимально зрозумілою та легкою. Головна мета — створити міцний, компактний та мобільний пристрій, який буде однаково зручно використовувати вдома, на репетиціях чи в умовах обмеженого простору за лаштунками перед концертом.

Пластиковий корпус призначений для захисту радіоелектронної апаратури від механічних пошкоджень і зовнішніх впливів. Завдяки діелектричним властивостям матеріалу він забезпечує електробезпеку та ізоляцію струмопровідних частин. Корпус також виконує функцію кріплення і розміщення елементів та покращує ергономіку виробу.

Перша ітерація корпусу передбачається до виготовлення за технологією FDM (Fused Deposition Modeling) із використанням матеріалу PETG, що дозволяє зменшити ймовірність браку на етапі прототипування. Такий підхід є доцільним з огляду на те, що як конструкція корпусу, так і сама друкована плата перебувають на стадії первинної відпрацювання та не є остаточно оптимізованими. Для проєктування корпусу обрано SolidWorks.

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						40
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

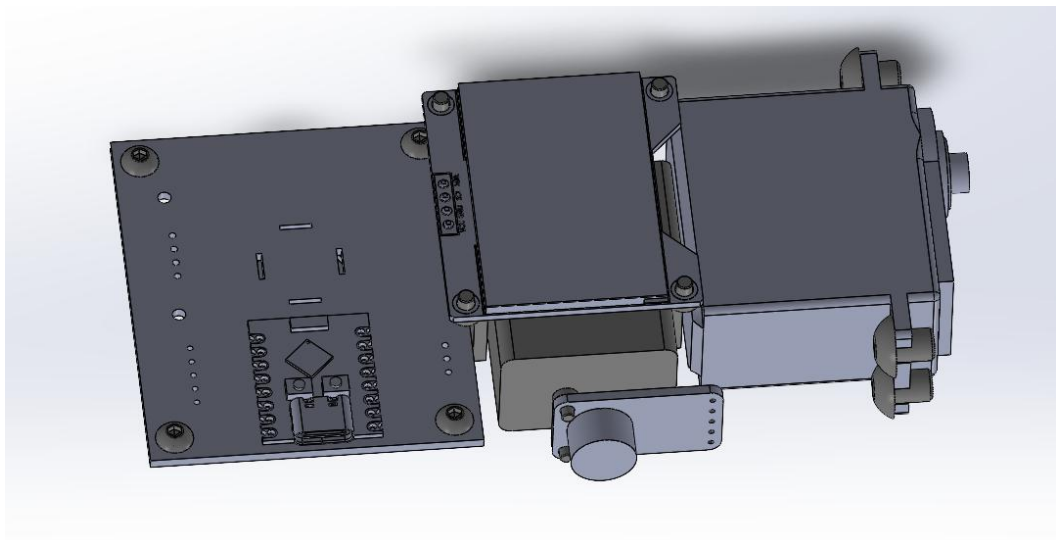


Рисунок 4.1 - Друкований вузол у просторі SolidWorks.

Під час розміщення всіх елементів було встановлено, що екран доцільно винести на з'єднувальних проводах. Для запобігання пошкодженню друкованої плати під час монтажу та подальшої експлуатації передбачено технологічний відступ між елементами та стінками корпусу, який становить 2,5 мм. З урахуванням конструктивних особливостей виробу товщину стінок корпусу прийнято рівною 3 мм.

Також під час проектування корпусу слід враховувати, що кріплення друкованої плати та інших елементів виконується за допомогою гвинтів. Для такого способу фіксації можливе застосування двох конструктивних рішень: використання гайок, встановлених у спеціально передбачені посадкові місця, або формування різьбових отворів безпосередньо в корпусі з урахуванням особливостей технології виготовлення.

У даній роботі обрано третій варіант, оскільки навіть для тестового зразка доцільно закладати рішення, орієнтовані на подальший розвиток конструкції з урахуванням вимог серійного виробництва.

					<i>РЕ22.468161.001 ПЗ</i>	Лис
						41
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Також для візуального вигляду додаємо скруглення.



Рисунок 4.2 – Вигляд основної частини корпусу

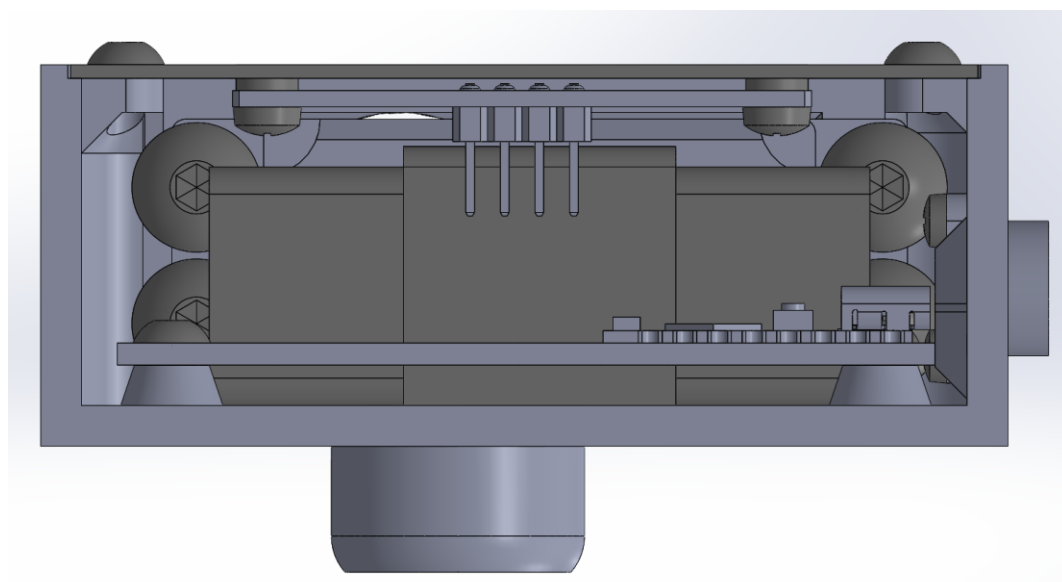


Рисунок 4.3- Розріз основної частини корпусу

За аналогією проєктуємо кришку отворами під кріплення до корпусу

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE22.468161.001 ПЗ

Лис
42

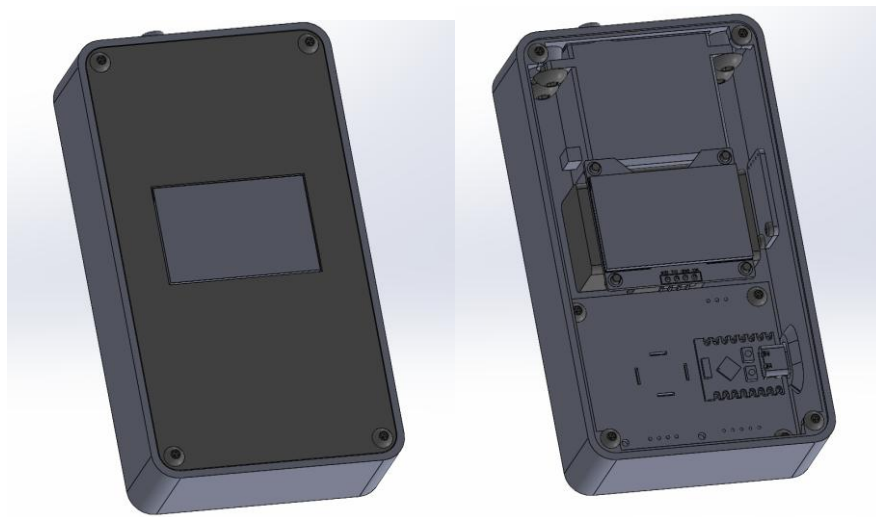


Рисунок 4.4- Готовий корпус під плату

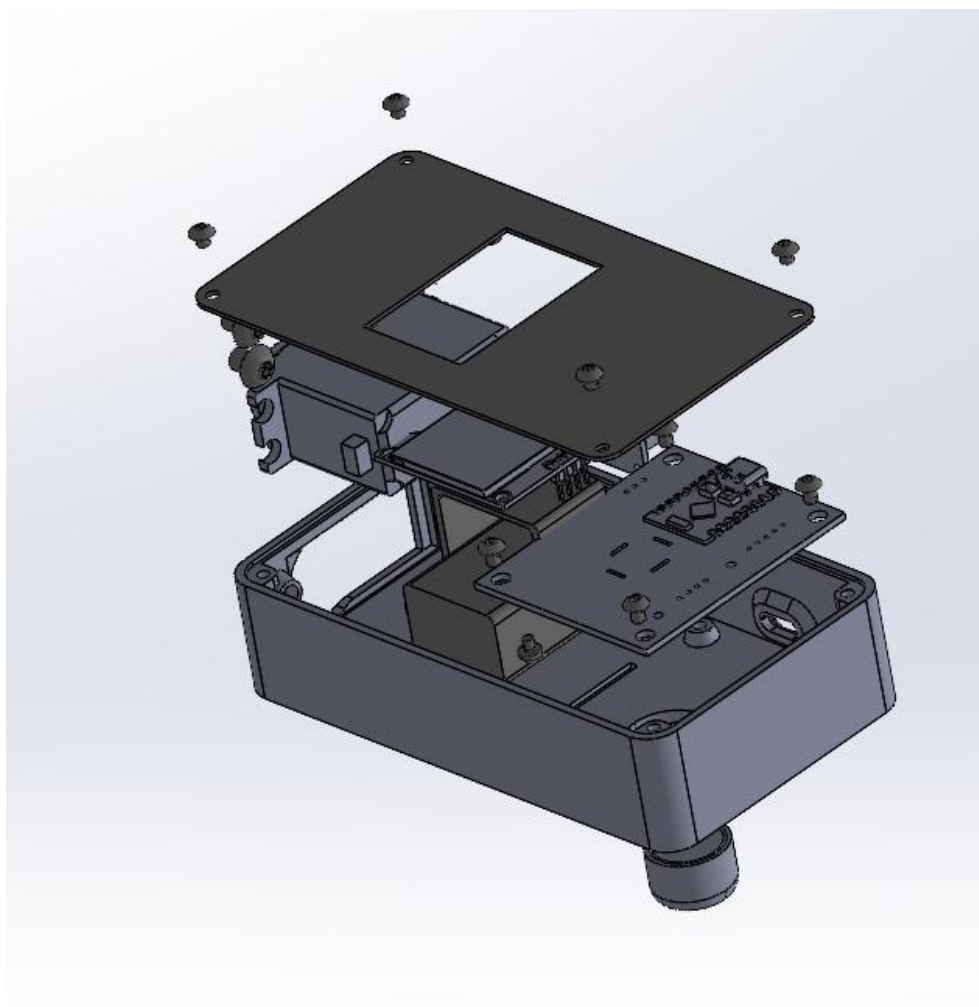


Рисунок — 4.5 Топологія пристрою

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE22.468161.001 ПЗ

Лис
43

Таблиця 4.1 — Основні параметри корпусу

Тип корпусу	Висота	Ширина	Довжина	Маса	Матеріал
Закритий	28мм	126мм	71мм	70г	Пластик PETG

5 МАКЕТУВАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ

Етап макетування та тестування призначений для практичної перевірки схемотехнічних рішень, оцінки взаємодії електронних модулів та виявлення конструктивних недоліків до фінального складання пристрою. У межах цього розділу проведено покрокове тестування всіх вузлів автоматичного гітарного тюнера, що включало тестовий 3D-друк елементів корпусу, а також написання, налагодження та верифікацію програмного забезпечення мікроконтролера ESP32-C3.

5.1 Тестовий друк корпусу та механічних вузлів

Для перевірки відповідності геометричних розмірів, розрахованих у середовищі SOLIDWORKS, та оцінки ергономіки було виконано тестовий 3D-друк прототипу корпусу. Оскільки корпус має витримувати вібраційні навантаження від роботи силового сервоприводу, як конструкційний матеріал обрано пластик PETG, який має високу міцність на злам та мінімальну термічну усадку.



Рисунок 5.1 – Вигляд зібраного корпусу

Тестова примірка внутрішніх компонентів показала, що плати, модулі живлення та перетворювачі успішно розмістилися у спроектованих ложементх.

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						45
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Проте реальне складання прототипу виявило брак вільного простору навколо інтерфейсних роз'ємів для безперешкодного підключення товстих конекторів стандартних кабелів. (рис 5.2)



Рисунок 5.2 – Приклад отворів під роз'єми тамодулі

Проведені випробування та ручна підгонка деталей дозволили оцінити поведінку прототипу в зборі, виявити ключові особливості взаємодії заліза з пластиком та зафіксувати всі необхідні геометричні зауваження до поточного макета автоматичного тюнера.

5.2 Розробка програмного забезпечення пристрою

Паралельно з підготовкою механічної частини відбувався процес написання та тестування прошивки в середовищі Arduino IDE. Основне інженерне завдання софту полягало в тому, щоб змусити мікроконтролер безперервно слухати звук, точно виділяти основну ноту та миттєво реагувати на неї через рух сервоприводу. Розробка та налагодження цього алгоритму відбувалися послідовно, крок за кроком, починаючи з конфігурації вбудованого аналого-цифрового перетворювача для зняття сигналу з мікрофонного модуля. Завдяки високій тактовій частоті процесора вдалося зафіксувати апаратну частоту дискретизації на рівні 4000 Гц. Згідно з базовими законами цифрової обробки сигналів, це дозволило системі коректно аналізувати звукові частоти до 2000 Гц, чого з великим запасом вистачає для роботи з усім частотним діапазоном шести струн гітари від найнижчих 82 Гц до верхніх 330 Гц.

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						46
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

```

8  #define MIC_PIN      1
9  #define SERVO_PIN    2
10 #define SCREEN_WIDTH 128
11 #define SCREEN_HEIGHT 64
12 #define OLED_RESET   -1
13
14 const uint16_t samples = 512;
15 const double samplingFrequency = 4000;
16 double vReal[samples];
17 double vImag[samples];
18
19
20 float targetFrequencies[] = {82.41, 110.00, 146.83, 196.00, 246.94, 329.63};
21 int currentString = 0;
22
23
24 ArduinoFFT<double> FFT = ArduinoFFT<double>(vReal, vImag, samples, samplingFrequency);
25 Servo guitarServo;
26 Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);
27
28 void setup() {
29     Serial.begin(115200);
30
31
32     if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
33         Serial.println(F("OLED дисплей не знайдено"));
34         for(;;);
35     }
36
37     display.clearDisplay();
38     display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
39     display.setTextSize(1);
40
41
42     ESP32PMM::allocateTimer(0);
43     guitarServo.setPeriodHertz(50);
44
45
46     guitarServo.attach(SERVO_PIN, 500, 2400);
47     guitarServo.write(90);
48     display.setCursor(10, 20);
49     display.setTextSize(2);
50     display.println("TUNER READY");
51     display.display();
52     delay(1500);
53 }

```

Рисунок 5.2 – Задання базових параметрів

Наступним і найскладнішим етапом стала реалізація математичного блоку швидкого перетворення Фур'є. Програма накопичує у внутрішньому буфері вибірку з 512 точок сигналу, після чого накладає на них згладжуюче вікно Геммінга, яке допомагає позбутися бічних спектральних пелюсток та сторонніх шумів. Завдяки цьому алгоритм чітко визначає домінуючий частотний пік, а практичні тести на макеті показали чудову точність, де похибка розпізнавання реальної частоти струни не перевищила половини Герца.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ22.468161.001 ПЗ

Лис
47

```

55 void loop() {
56
57
58     for (int i = 0; i < samples; i++) {
59         unsigned long samplingStartTime = micros();
60         vReal[i] = analogRead(MIC_PIN);
61         vImag[i] = 0;
62
63
64         while ((micros() - samplingStartTime) < 250) {
65
66         }
67     }
68
69
70     FFT.windowing(FFT_WIN_TYP_HAMMING, FFT_FORWARD);
71     FFT.compute(FFT_FORWARD);
72     FFT.complexToMagnitude();
73     double peakFrequency = FFT.majorPeak();

```

Рисунок 5.3 – Збір даних та перетворення Фур'є

Щоб пристрій працював стабільно і не намагався крутити мотор від випадкових розмов чи шумів у кімнаті, у логіку програми було закладено спеціальний амплітудний та частотний фільтр. Сервопривід MG995 отримує живлення та починає обертатися лише тоді, коли мікрофон фіксує чіткий і гучний звук у межах корисного діапазону від 50 до 500 Гц. Коли алгоритм ловить стабільну ноту, він порівнює її з масивом еталонних значень для обраної струни, обчислює різницю і миттєво формує ШІМ-сигнал керування. Якщо струна недотягнута, контролер плавно обертає сервопривід в один бік для натягування, а якщо перетягнута — реверсує рух мотора.

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
						48
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

```

float deadZone = 1;
float error = peakFrequency - targetFrequencies[currentString];

if (peakFrequency >= 50.0 && peakFrequency <= 500.0) {

    if (abs(error) <= deadZone) {

        guitarServo.write(90);
        display.setTextSize(2);
        display.setCursor(35, 40);
        display.println("<- OK ->");
    }
    else if (error > 0) {

        guitarServo.write(83);
        display.setTextSize(2);
        display.setCursor(10, 40);
        display.println("LOWERING...");
    }
    else {

        guitarServo.write(97);
        display.setTextSize(2);
        display.setCursor(5, 40);
        display.println("TIGHTENING...");
    }
}
else {

    guitarServo.write(90);
    display.setTextSize(1);
    display.setCursor(15, 45);
    display.println("Listening for string...");
}

```

Рисунок 5.4 – Ініціалізація руху мотору сервопривода та виведення даних на OLED екран

Для наочності та зручності користувача весь цей процес було візуалізовано на компактному OLED-дисплеї через інтерфейсну шину I2C. Програма виводить на екран цільову ноту, реальну частоту, яку зчитує мікрофон, та текстові підказки щодо напрямку регулювання, що робить інтерфейс інтуїтивно зрозумілим. Результати комплексного тестування прошивки разом із залізом підтвердили, що всі програмні таймінги підібрано правильно, контролер не зависає від просадок напруги під час старту двигуна, а сам пристрій витрачає на точне підстроювання однієї струни всього кілька секунд.

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
						49
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі успішно спроектовано та реалізовано прототип портативного автоматичного гітарного тюнера для швидкого й точного налаштування струнних інструментів без залучення ручних зусиль. На основі аналізу наявних аналогів було виявлено їхні ключові недоліки, такі як висока вартість та чутливість до сторонніх шумів, що повністю обґрунтувало доцільність створення власної доступної розробки. Для побудови системи було підібрано оптимальну елементну базу, яка поєднує енергоефективний мікроконтролер, чутливий мікрофонний модуль із системою автоматичного підсилення сигналу та потужний сервопривід із металевим редуктором для обертання тугих кілків інструменту.

Особливу увагу приділено схемотехнічній надійності пристрою: реалізовано розподілене живлення, де чутлива цифрова логіка відокремлена від силового контуру двигуна за допомогою імпульсного перетворювача напруги, що дозволило повністю усунути проблему просадок та завад. У межах конструкторської розробки в середовищі SOLIDWORKS було виконано тривимірне моделювання захисного корпусу пристрою, розрахованого на зручне утримання та керування однією рукою. Завдяки інструментам САПР вдалося точно підігнати внутрішні пази для надійної фіксації друкованої плати, акумулятора й механічних елементів, а також спроектувати спеціальну насадку на вал двигуна, яка запобігає прослизанню механізму на кілках гітари.

Топологію друкованої плати було успішно розроблено в середовищі Altium Designer на базі міцного склотекстоліту FR-4 з раціональним розміщенням усіх компонентів задля мінімізації довжини провідників та зручності подальшого збирання.

					<i>PE22.468161.001 ПЗ</i>	Лис
						50
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Roadie 3 Smart Automatic Guitar Tuner : official website. URL:
<https://www.roadiemusic.com/roadie3>
2. Гітарний тюнер-прищіпка TC Electronic PolyTune Clip : інтернет-магазин GuitarHouse. URL: <https://guitarhouse.com.ua/ru/tuner-prishchipka-tc-electronic-polytune-clip/>
3. Gibson Min-ETune Automatic Guitar Tuner System : official store Reidy's Home of Music. URL: <https://shop.reidys.com/products/gibson-min-etune>
4. ESP32-C3 Series Datasheet. Version 1.6 / Espressif Systems. 2023. 39 p. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3_datasheet_en.pdf
5. Модуль Arduino Nano V3.0 (AVR ATmega328P) з розпаяними конекторами : інтернет-магазин Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/ru/prod166-arduino-nano-v3-0-avr-atmega328p-z-rozpayanimi-konektorami>
6. Кнопка LB19E чорна з синьою підсвіткою (кільце, 220V, з фіксатором) : каталог компонентів ПКС Компоненти. URL:
https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/knopka-lb19e-chorna-z-synoiu-pidsvitkoiu-kiltse-220v-z-fiksatorom_202403.html
7. Mini360 DC-DC Buck Converter Datasheet / Component101. 2021. URL:
<https://component101.com/modules/mini360-dc-dc-buck-converter-module>
8. OLED display module 0.96" I2C (білий) : інтернет-магазин Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/ru/prod1263-oled-displei-modyl-beli>
9. MAX9814: Microphone Amplifier with AGC and Low-Noise Microphone Bias. Datasheet / Maxim Integrated. 2016. 12 p. URL:
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/MAX9814.pdf>
10. TowerPro MG995 High Torque Metal Gear Servo. Specification and Datasheet / TowerPro. URL:
https://www.components101.com/sites/default/files/component_datasheet/MG995-Servo-Motor-Datasheet.pdf

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						51
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

11. GP Greencell / Super Alkaline 9V 6F22/1604A Technical Data Sheet / GP Batteries. 2022. URL: <https://www.gpbatteries.com/pages/technical-downloads>
12. Pure Blue 6F22 9V Heavy Duty Battery Specification / Pure Blue Energy. URL: <https://www.purebluebattery.com/spec>
13. KCD1 Series Rocker Switch Specification / Daier Electron. URL: <https://www.daierswitch.com/wp-content/uploads/2021/KCD1-specification.pdf>
14. Лінійний стабілізатор напруги LM7805 (ТО-220) : інтернет-магазин Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/ru/prod1844-stabilizator-napryajeniya-lm7805-to-220>
15. LCD1602A Character Liquid Crystal Display Specification / Standard LCD. URL: <https://www.openhacks.com/uploadsproductos/eone-1602a1.pdf>
16. LM393: Low-Power Low-Offset Voltage Dual Comparators. Datasheet / Texas Instruments. 2022. 24 p. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393.pdf>
17. SG90 Micro Servo Motor. Specification and Datasheet / TowerPro. URL: https://www.components101.com/sites/default/files/component_datasheet/SG90-Servo-Motor-Datasheet.pdf

					<i>PE22.468161.001 ПЗ</i>	Лис
						52
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

ПОГОДЖЕНО

к.т.н., доц. Зінгер Я.Л.
(керівник)

ЗАТВЕРДЖЕНО

к.т.н., доцент. Мовчанюк А.В.
(Завідувач кафедри Приклад-
ної радіоелектроніки)

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

Пристрій автоматичного налаштування електрогітари

Костенко Н.А.

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
						53
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1 Назва, підстава для виконання

Пристрій: Пристрій автоматичного налаштування електрогітари.

Підставою для виконання є наказ по університету № від травня 2026 р.

1.2 Мета виконання і призначення розробки

Розробка мобільного електронно-механічного пристрою для автоматичного налаштування струнних музичних інструментів (гітар). Пристрій призначений для зчитування звукової частоти струни в реальному часі, візуалізації процесу налаштування на вбудованому дисплеї та автоматичного обертання кілків інструменту за допомогою силового електроприводу до досягнення точного еталонного підстроювання.

1.3 Технічні вимоги

1.3.1 Показники призначення

Напруга живлення приладу (внутрішній акумулятор): 3,7–9,0 В.

Максимальна споживана потужність пристрою (у піковому режимі роботи сервоприводу): не більше 15 Вт.

Точність визначення частоти звукового сигналу: не гірше ± 1 Гц.

1.3.2 Вимоги до життєдіяльності та стійкості до зовнішніх впливів

Кліматичне виконання — УЗ.1 (згідно з ДСТУ EN 60068-1), пристрій розрахований на експлуатацію в закритих приміщеннях (репетиційні бази, студії) та на відкритому повітрі в теплу пору року за температури від +5 °С до +40 °С.

1.3.3 Вимоги до надійності

Пристрій повинен бути відновлюваним і ремонтпридатним згідно з ДСТУ 2860-94.

Середній наробіток на відмову (MTBF), не менше: 5000 годин.

Середній термін служби пристрою: не менше 3 років.

1.3.4 Вимоги до технологічності

Вимоги до технологічності та контролю виготовлення плати й корпусу згідно з ДСТУ 3321:2017.

1.3.5 Вимоги до конструкції

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
						54
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Пристрій має бути виконаний у вигляді моноблока, адаптованого для утримання та керування однією рукою.

Корпус пристрою має надійно фіксувати внутрішні компоненти (мікроконтролер, плату, акумулятор) та захищати їх від механічних пошкоджень у разі падіння з невеликої висоти.

Маса пристрою в зборі (включаючи джерело живлення та насадку): не більше 0,35 кг (350 г).

Габарити пристрою (максимальні, без урахування виносної насадки), не більше:

Довжина: 140 мм.

Ширина: 65 мм.

Висота: 50 мм.

1.3.6 Вимоги до стандартизації та уніфікації

Рівень стандартизації та уніфікації має відповідати чинним нормам систем автоматизованого проєктування.

Коефіцієнт стандартизації (застосування стандартних кріплень, роз'ємів Type-C, гвинтів): не менше 0,6.

Коефіцієнт уніфікації (застосування поширених готових модулів — ESP32, MG995, MAX9814): не менше 0,7.

1.3.7 Вимоги до дизайну та ергономіки

Розробити сучасний, ергономічний корпус у стилі мінімалізму із пластику.

Кнопки керування та елементи інтерфейсу (екран) мають бути розташовані так, щоб користувач міг бачити графічну інформацію під час безпосереднього налаштування гітари однією рукою.

1.3.8 Вимоги до експлуатації та зручності технічного обслуговування

Вимоги до технологічності згідно ГОСТ 14.201-83. Всі комплектуючі вироби повинні проходити вхідний контроль на відповідність вимогам ТУ.

Пристрій повинен бути відновлюваний та ремонтпридатний згідно ГОСТ 27.002-89.

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						55
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.9 Вимоги безпеки життя, здоров'я та охорони довкілля

Керуватися положеннями стандартів про вимоги технічної безпеки, електробезпеки, пожежної безпеки.

Утилізація згідно вимог для промислових відходів за ГОСТ 30773-2001.

1.3.10 Вимоги до транспортування та зберігання

Умови експлуатації згідно ГОСТ 16019-2001. В4 — возимо, що встановлюється в автомобілях, на мотоциклах, в сільськогосподарсь-кої, дорожньої та будівельної техніки

1.3.11 Вимоги до якості і технічного рівня

Відповідає світовому рівню.

1.4 Вимоги до сировини, матеріалів і ПКВ

Для виготовлення корпусу та механічної насадки на кілки використо-
вувати конструкційні полімери (наприклад, PETG або ABS пластик) з ви-со-
кою міцністю на злам.

Покупні комплектуючі вироби (ПКВ) та електронні модулі повинні мати офіційні технічні специфікації (datasheets) від виробників.

1.5 Вимоги до консервації, пакування та маркування

Маркування: вимоги до маркування не висуваються.

Консервація: не передбачено.

1.6 Вимоги до розроблюваної документації

Документація оформлюється згідно ЄСКД.

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
						56
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

```
#include <arduinoFFT.h>
#include <ESP32Servo.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
```

```
#define MIC_PIN      1
#define SERVO_PIN    2
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET   -1
```

```
const uint16_t samples = 512;
const double samplingFrequency = 4000;
double vReal[samples];
double vImag[samples];
```

```
float targetFrequencies[] = {82.41, 110.00, 146.83, 196.00, 246.94, 329.63};
int currentString = 0;
```

```
ArduinoFFT<double> FFT = ArduinoFFT<double>(vReal, vImag, samples,
samplingFrequency);
Servo guitarServo;
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);
```

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						57
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
        Serial.println(F("OLED дисплей не найдено"));
        for(;;);
    }

    display.clearDisplay();
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
    display.setTextSize(1);

    ESP32PWM::allocateTimer(0);
    guitarServo.setPeriodHertz(50);

    guitarServo.attach(SERVO_PIN, 500, 2400);
    guitarServo.write(90);
    display.setCursor(10, 20);
    display.setTextSize(2);
    display.println("TUNER READY");
    display.display();
    delay(1500);
}

void loop() {

    for (int i = 0; i < samples; i++) {

```

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						58
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

```

unsigned long samplingStartTime = micros();
vReal[i] = analogRead(MIC_PIN);
vImag[i] = 0;

while ((micros() - samplingStartTime) < 250) {

}

}

FFT.windowing(FFT_WIN_TYP_HAMMING, FFT_FORWARD);
FFT.compute(FFT_FORWARD);
FFT.complexToMagnitude();
double peakFrequency = FFT.majorPeak();

// Очищення буфера екрана для оновлення кадрів відображення
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0, 0);

// Виведення поточної інформації про лад на дисплей
display.print("Target:  "); display.print(targetFrequencies[currentString]);
display.println(" Hz");
display.print("Current: "); display.print(peakFrequency); display.println("
Hz");
display.println("-----");

float deadZone = 1;
float error = peakFrequency - targetFrequencies[currentString];

```

					<i>PE22.468161.001 ПЗ</i>	Лис
						59
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

```
if (peakFrequency >= 50.0 && peakFrequency <= 500.0) {
```

```
    if (abs(error) <= deadZone) {
```

```
        guitarServo.write(90);
```

```
        display.setTextSize(2);
```

```
        display.setCursor(35, 40);
```

```
        display.println("<- OK ->");
```

```
    }
```

```
    else if (error > 0) {
```

```
        guitarServo.write(83);
```

```
        display.setTextSize(2);
```

```
        display.setCursor(10, 40);
```

```
        display.println("LOWERING...");
```

```
    }
```

```
    else {
```

```
        guitarServo.write(97);
```

```
        display.setTextSize(2);
```

```
        display.setCursor(5, 40);
```

```
        display.println("TIGHTENING..");
```

```
    }
```

```
}
```

```
else {
```

```
    guitarServo.write(90);
```

```
    display.setTextSize(1);
```

```
    display.setCursor(15, 45);
```

```
    display.println("Listening for string...");
```

					PE22.468161.001 ПЗ	Лис
						60
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

}

// Оновлення фізичного стану OLED матриці

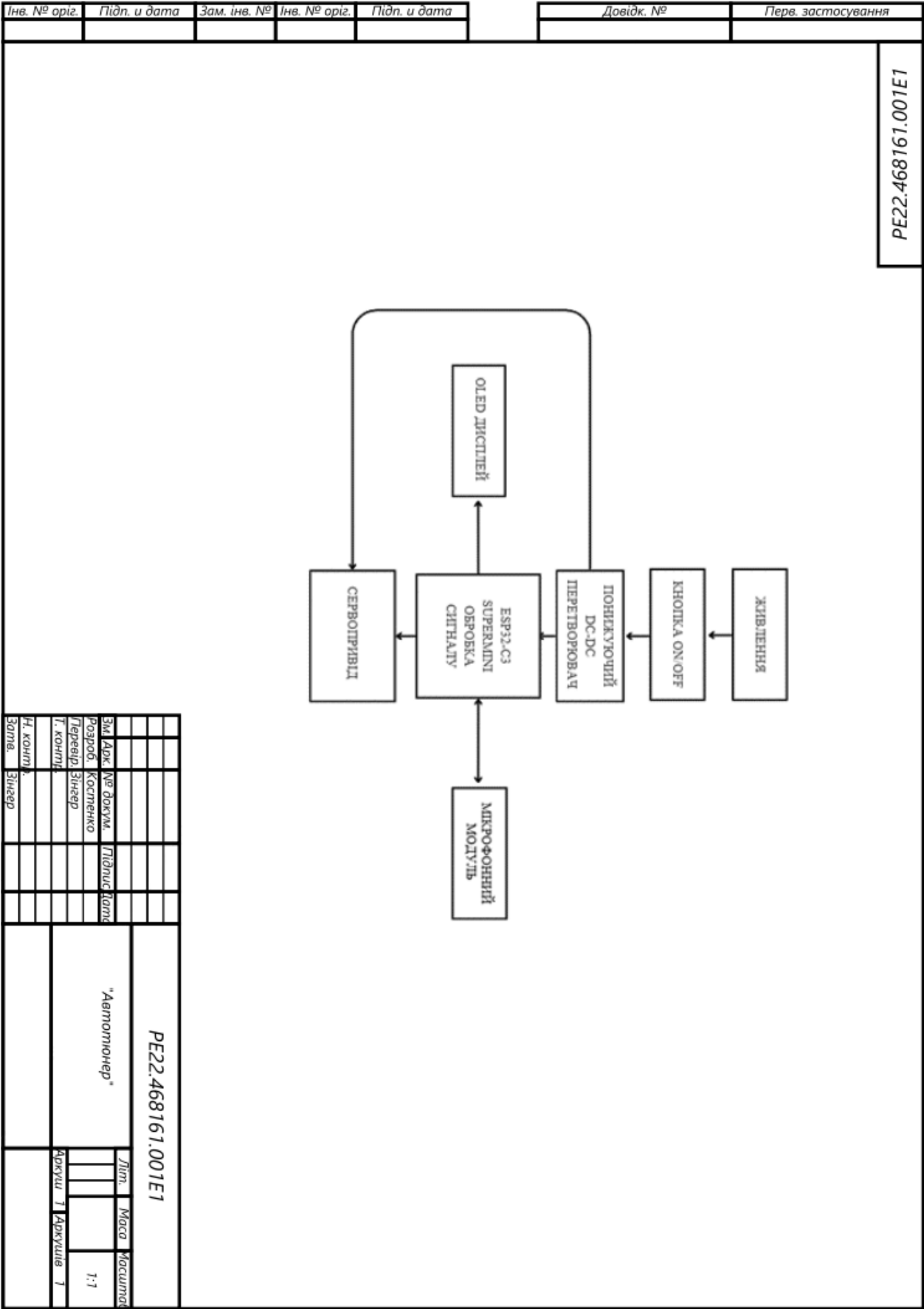
display.display();

delay(50); // Коротке затримання для стабілізації кадрів

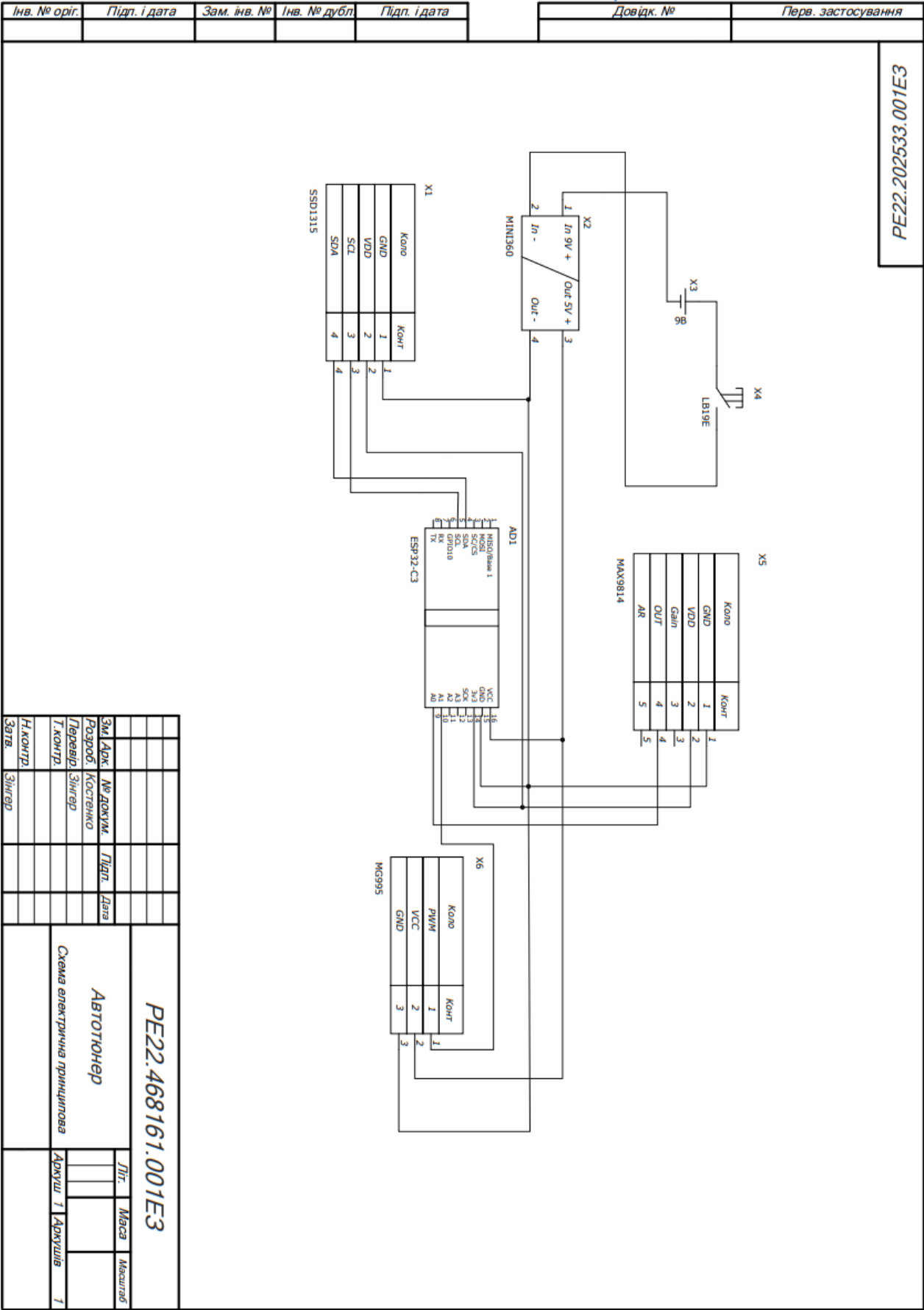
}

					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
						61
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК В



ДОДАТОК Г

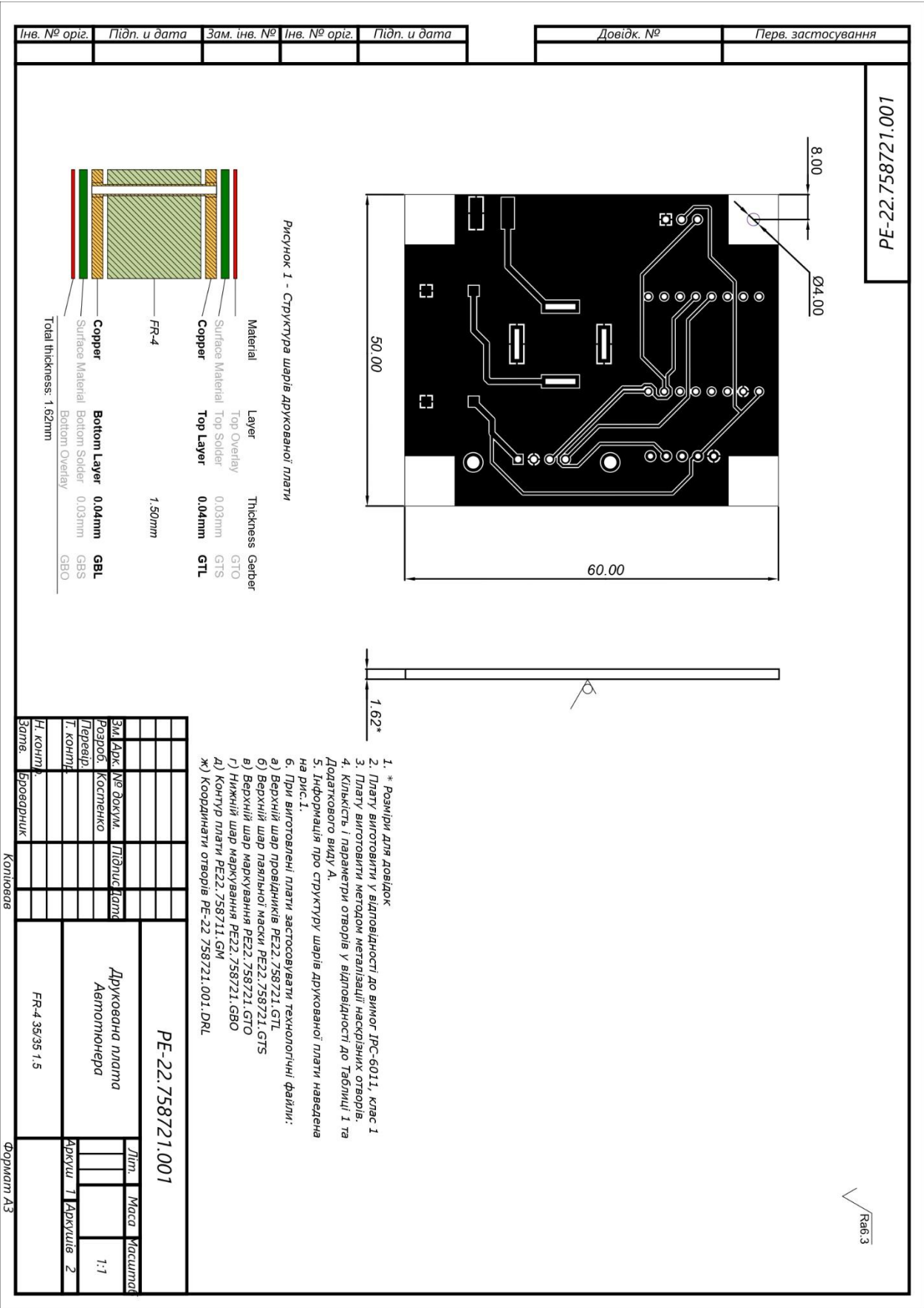


ДОДАТОК Д

Перешинне застосування	Поз. позн.	Найменування	Кільк.	Примітка		
		Модулі				
	AD1	ESP32-C3 SuperMini	1			
	X1	Дисплей OLED 128x64 SD1315	1			
	X2	Понижуючий DC/DC перетворювач Mini360	1			
	X5	Мікрофонний модуль MAX9814	1			
	X6	Сервопривід MG995	1			
Довідковий №						
		Кнопки				
	X3	Кнопка LB-19E	1			
Підпис і дата		Модулі живлення				
	X4	Батарея типу крона Pure Blue 6F22	1			
Зам. інв. №						
Підпис і дата						
Інв. №оріг.						
РЕ22.758721.001ПЕЗ						
Пристрій автоматичного налаштування електрогітари				Літера	Аркуш	Аркушів
					1	4

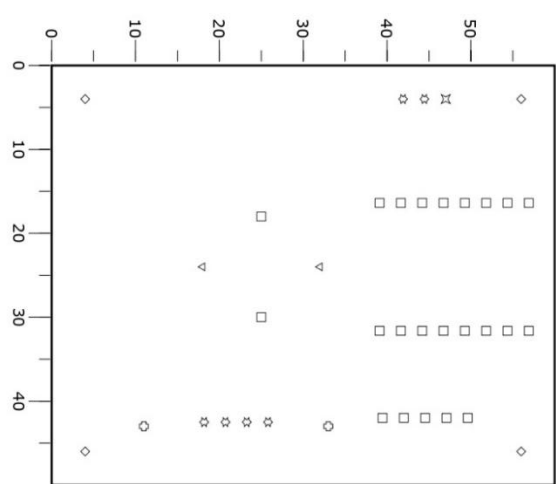
					РЕ22.468161.001 ПЗ	Лис
						64
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Е



PE-22.758721.001

Додатковий вид А



Таблиця 1

Symbol	Count	Hole Size	Plated	Hole Tolerance
◇	2	0.75mm	Plated	
□	23	0.84mm	Plated	
⊗	1	0.94mm	Plated	
⊗	6	1.00mm	Plated	
◇	2	2.00mm	Plated	
◇	4	4.00mm	Non-Plated	
38 Total				

Інв. № ориг.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № ориг.	Підп. і дата

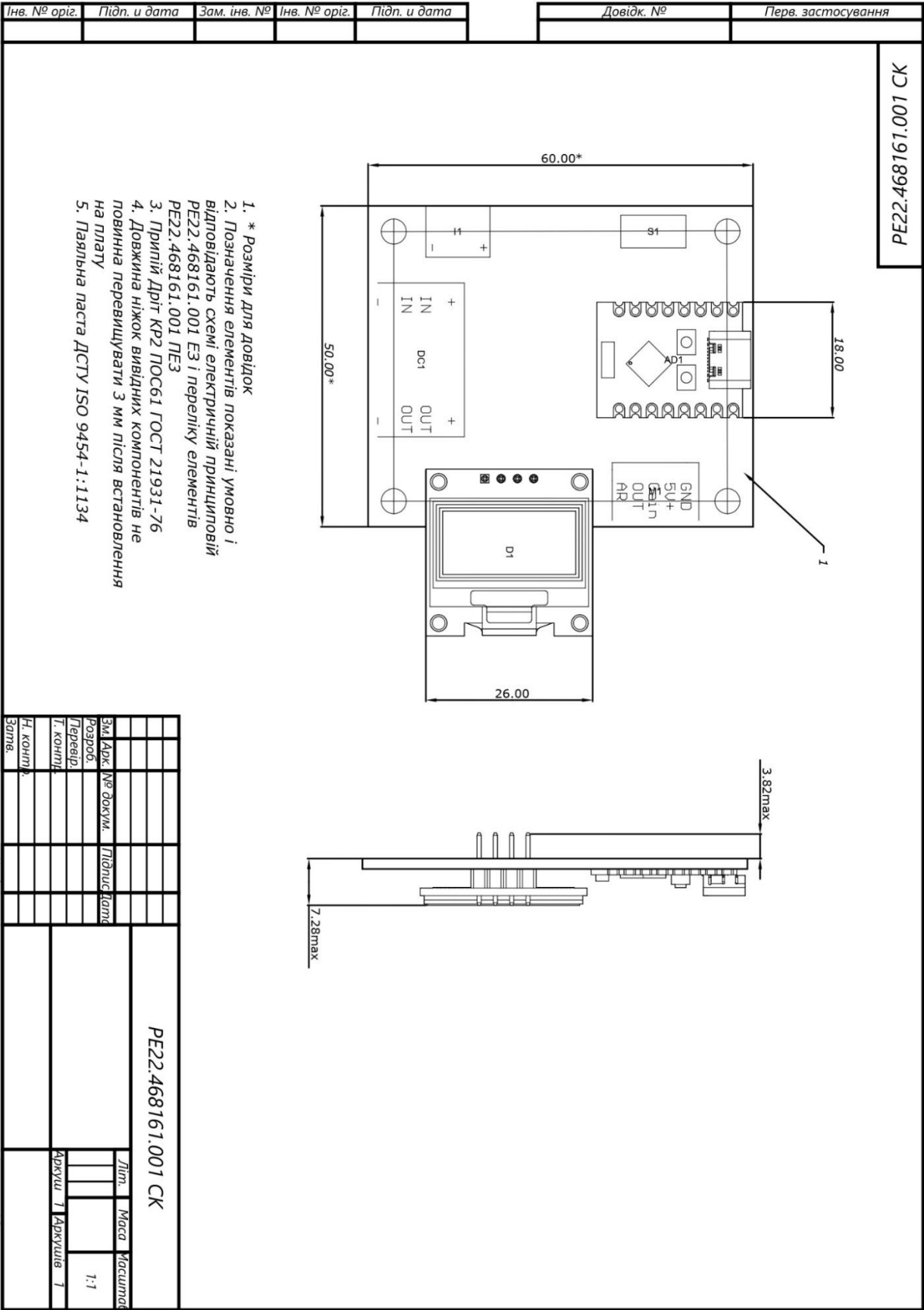
Зм.	Арку	№ докум.	Підп.	Дата

PE-22.758721.001

Копіював
Формат А3

2	Арку
---	------

ДОДАТОК Є



ДОДАТОК Ж

Первинне застосування		Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
Довідковий №								
						<u>Документація</u>		
	A3				PE22.468161.001 СК	<u>Складальний кресленик</u>		
	A3				PE22.468161.001 Е1	Схема електрична структурна		
	A3				PE22.468161.001 Е3	Схема електрична принципова		
	A4				PE22.758721.001 ПЕ	Перелік елементів		
						<u>Деталі</u>		
			1		PE-22.758721.001	Друкована плата	1	
						<u>Інші вироби</u>		
						ESP32-C3 SuperMini	1	AD1
						Модуль мікрофон MAX9814	1	X5
						OLED Display 0.96 I2C 128x64	1	X1
						Сервопривід MG995	1	X6
						Понижуючий перетворювач DC/DC MINI360	1	X2
						Батарейка типу крона 9V	1	X3
						Кнопка LB19-22	1	X4
					</			

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE22.468161.001 ПЗ

Лис
68