

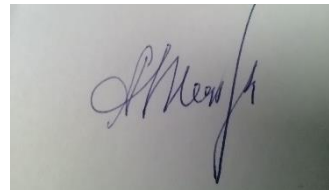
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
РАДІОТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

**Звіт з практики  
На тему «Електронна флейта»**

Виконала:

студентка групи РІ-91

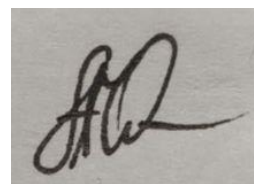
Анастасія МЕЛЬНИЧЕНКО



Керівник дипломного проєкту

к.т.н., доцент каф. ПРЕ

Юлія АДАМЕНКО



Керівник практики

к.т.н., доцент каф. ПРЕ

Аліна Шульга



Київ – 2023 року

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Постановка технічного завдання.....	5
2 Огляд існуючих рішень.....	6
2.1 Аналіз ринку MIDI-клавіатур.....	6
2.1.1 IK MULTIMEDIA iRIG KEYS2 PRO.....	6
2.1.2 ALESIS VORTEX WIRELESS 2.....	6
2.2 Аналіз ринку електродухових інструментів.....	7
2.2.1 Електрофлейта Sylphyo.....	7
2.2.2 Електронний духовий інструмент AKAI Professional EWI Solo9	9
2.2.3 Аерофон Roland mini AE-01.....	10
3 Вибір та обґрунтування схемотехнічних рішень.....	12
3.1 Розробка схеми електричної принципової.....	12
4 Вибір елементної бази.....	14
4.1 Вибір мікроконтролера.....	14
4.2 Вибір інших мікросхем.....	15
4.2.1 Вибір мікросхем блоку заряду.....	15
4.2.2 Вибір демультиплектора.....	16
4.3 Вибір кнопок та перемикачів.....	17
4.3.1 Вибір кнопок для гри безпосередньо.....	17
4.3.2 Вибір перемикача для включення-виключення приладу.....	18
4.4 Вибір роз'ємів.....	19
4.4.1 Вибір роз'єму зарядки.....	19
4.4.2 Вибір роз'єму для під'єднання програматора.....	19

4.4.3 Вибір роз'єму для підключення кнопок .....	20
5 Розрахунок технологічних параметрів друкованої плати та її виготовлення.....	21
5.1 Розрахунок габаритів плати.....	21
5.2 Виготовлення друкованої плати в програмному середовищі Altium Designer.....	21
Висновки .....	23
Перелік джерел посилань .....	24

## ВСТУП

Під час проходження практики я працювала над своїм дипломним проектом – платою для міді-контролера у вигляді флейти.

Цей прилад буде актуальним для досить вузького кола людей. Він створений для тих, хто стикнувся з такими проблемами як я – неможливістю нормального запису флейти, неможливістю купити наявні на ринку аналоги через ціну та недостатній їх функціонал, а також неможливість проявити себе творчо у записі музики через обмеження звичайного інструменту.

## 1 ПОСТАНОВКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Технічним завданням передбачений ряд чинників, що мають знаходитись в певних рамках для запобігання негативного впливу на прилад [1].

Прилад планується використовувати в приміщенні і діапазон температур у приміщенні для даної кліматичної зони становить від +55 до +1 °С, максимальне значення вологості до 98%, а атмосферний тиск 106, кПа, оскільки прилад наземний. Проте він носимий і його використання можливе також в інших типах приміщень або на вулиці і тому бажано, аби прилад також між функціонувати при тих параметрах, які призначені для приладів, що експлуатуються поза приміщеннями (для температури це від +60 до -70 °С).

Вимоги надійності мають відповідати аналогічним приладам на ринку. Оскільки, вимоги надійності зазвичай не є основним параметром для приладів подібного типу і їх немає у відкритому доступі, за час напрацювання на відмову візьмемо найменший цей параметр серед усіх радіокомпонентів – це 10000 год для кнопки.

Габаритні розміри приладу мають відповідати реальній флейті і тому довжина корпусу має не перевищувати 650 мм, а діаметр бути не більше 36 мм. Спосіб кріплення плати обраний, в першу чергу, з міркувань економії місця в корпусі.

Усі компоненти корпусу та друкованого вузла можуть бути замінені у разі необхідності за механічними або електричними параметрами.

Виготовляти корпус планується методом 3D-друку з ABS-пластику, оскільки він серед інших матеріалів для друку проявляє найкращі механічні властивості, а також є найбільш доступним.

Оскільки конструкція має тонкі стінки і може бути не досить стійкою, транспортування та експлуатація має відповідати транспортуванню крихких предметів – прилад має бути добре зафіксований в коробці або кейсі, порожнечі заповнені наповнювачем для посилок.

## 2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

### 2.1 Аналіз ринку MIDI-клавiатур

Аналізуючи ринок мiдi-клавiатур, я керувалась тим, щоб iнструмент був наближений за вимогами хоча б частково до мого приладу – тобто дiапазон 3 октави, можливість розпiзнавання сили натиску (у мене ця функцiя реалiзована через силу дмухання). Також бажано бездротове пiдключення, але таку клавiатуру менi вдалось знайти лише одну.

#### 2.1.1 IK MULTIMEDIA iRIG KEYS2 PRO

Одна з мiдi-клавiатур (рис. 2.1) з потрібними параметрами [2]. Загалом, це звичайна клавiатура на 37 клавiш, що має декiлька програмованих кнопок та кнопку переключення октав. Її розміри 605x212x77 мм, вага 1,87 кг. Це досить компактна клавiатура, яка є носимою та має можливість пiдключення в тому числі до телефону. Цiна виробу 7600 грн.



Рисунок 2.1 – IK MULTIMEDIA iRIG KEYS2 PRO

#### 2.1.2 ALESIS VORTEX WIRELESS 2

Це трьохоктавна мiдi-клавiатура (рис. 2.2) [3]. Вона є більш цікавою за попереднiй варіант, оскільки є можливість бездротового пiдключення USB-ресивер. Вона також може пiдключатись до будь-якого девайсу – телефону, ПК тощо. Під час бездротової роботи живиться від батарейок AA в кількості 4

штуки. Габаритні розміри клавіатури: 894x254x74 мм, вага 3 кг. Ціна інструменту дещо вища за попередній варіант – 11800 грн.



Рисунок 2.2 – ALESIS VORTEX WIRELESS 2

## 2.2 Аналіз ринку електродухових інструментів

### 2.2.1 Електрофлейта Sylphyo

Пошуки існуючих електрофлейт показали лише один результат, що дійсно позиціонується саме як флейта, хоча фактично є гібридом блок-флейти та саксофону.

Це електрофлейта французької фірми Audo, яка має назву Sylphyo (рис. 2.3). За описом з офіційного сайту виробника [4], ця флейта також функціонує як MIDI-клавіатура та на ній можна виконувати музику будь-якого духового інструменту, оскільки програмний код передбачає можливість переключення аплікатур 50 різних інструментів, більшість з яких духові. Але варто розуміти,

що кількість клавіш та конфігурація корпусу не дозволить грати на такому інструменті людині, що знайома тільки з поперечною флейтою – запропонований варіант гри виробником ближче до блок-флейти або саксофону.

Функціонально флейта має можливість безпроводного підключення, проте для цього потрібно встановлювати додатковий девайс. Висота звуку регулюється сенсорним повзунком, що на мою думку не дуже зручно під час швидкої гри, де потрібне переключення в процесі. Вібрато реалізовано окремим давачем, що у моєму інструменті буде працювати за рахунок зміни вібрацій на п'єзі та програмної обробки контролером.

Технічні характеристики:

- Ємність акумулятора 2400 мАг;
- Зарядка через micro USB;
- Довжина 430 мм;
- Вага 395 г.



Рисунок 2.3 – Електрофлейта Audo Sylpho



Ціна такої флейти непомірно висока – 880 євро на сайті виробника та 600 євро на сайті музичного магазину Thomann [5] без врахування доставки.

### ***2.2.2 Електронний духовий інструмент AKAI Professional EWI Solo***

Не набагато більше на ринку представлено мультидухових інструментів – тобто таких, які не претендують на звання одного інструменту і як ззовні, так і за принципом гри дійсно є просто інструментом, який маж підійти більшості «духовиків». Так представником такого інструменту є EWI Solo від фірми AKAI (рис. 2.4) [6], яка випускає досить багато різних міді-інструментів. Не виключення і цей – ззовні це, фактично, повнорозмірний саксофон, проте структурно трохи схожий на інші інструменти, проте не можу сказати, що його можливо використовувати як флейту.



Рисунок 2.4 – Електронний духовий інструмент AKAI Professional EWI Solo

За функціоналом цей інструмент теж є міді-інструментом, проте збудований на давачі тиску. В цілому має досить багато давачів та перемикачів, що може бути не зручно при швидкій грі, адже це духовий інструмент, а не клавішний.

Технічні характеристики:

- Акумулятор, що тримає більше 12 годин (у минулого представника б);
- Зарядка через USB-B;
- Розміри 765x76x82 мм;
- Вага 800 г.

Загалом можна сказати, що цей інструмент більше підходить для заміни великих інструментів типу саксофону та труби, проте зовсім не підійде для поперечної флейти, проте загалом за характеристиками цей товар є кращим за попередній, він має більший функціонал при меншій вартості - 470 євро.

### ***2.2.3 Аерофон Roland mini AE-01***

Досить цікавий та відносно бюджетний представник електронних духових інструментів (рис. 2.5) [7]. Має 6 вбудованих звучань, проте аплікатура не підлаштовується під конкретний інструмент – вона для всіх однакова. Має вбудований динамік, живиться від батарейок типу АА. Бездротове підключення через Bluetooth 4.2. В порівнянні з іншими ближче до першого варіанту – довжина 451 мм, вага – 500 г.



Рисунок 2.5 – Аерофон Roland mini AE-01

Як на мене, це не зовсім професійний музичний інструмент, а скоріше варіант погратися та спробувати взагалі подібного роду річ. Ціна товару 311 євро.

## 3 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

### 3.1 Розробка схеми електричної принципової

Схема електрична принципова (рис. 3.2) була створена в середовищі Altium Designer.

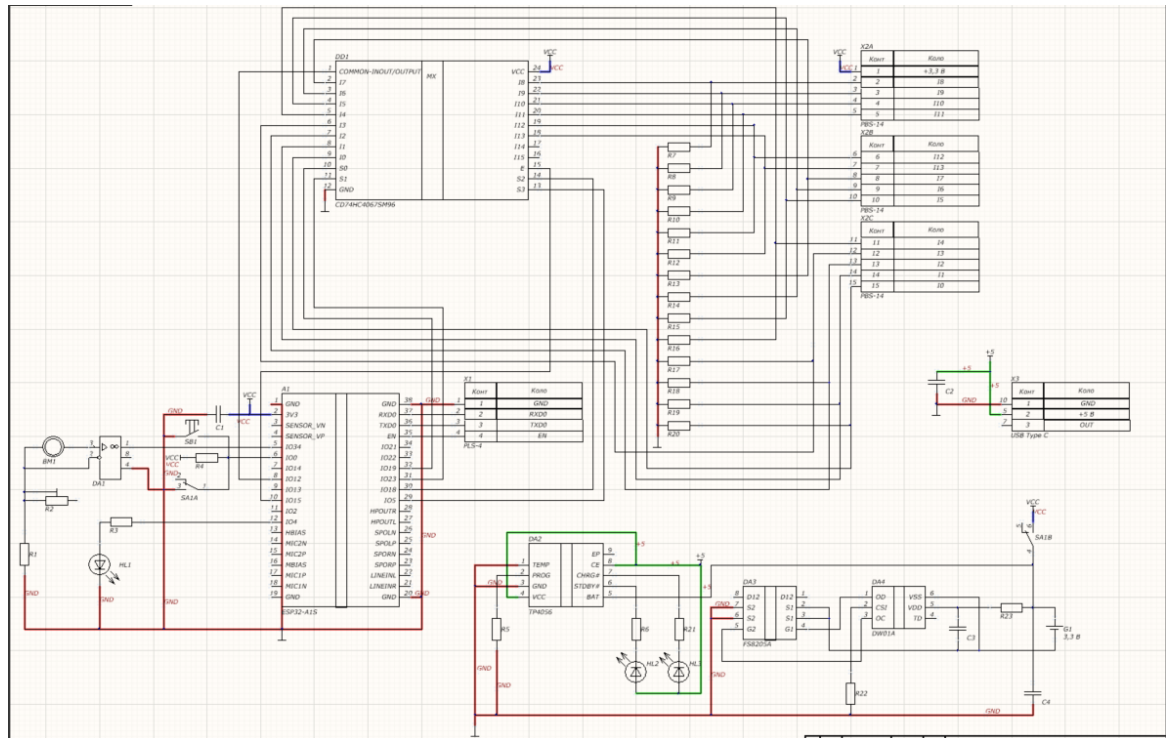


Рисунок 3.2 – Схема електрична принципова

П'єзодавач знімає амплітуду коливань резонатора, яка через операційний підсилювач DA1 MCP 6002 у неінвертуючому ввімкненні, де резистор R2 подільника є змінним для регулювання коефіцієнту підсилення, потрапляє на вхід з АЦП мікроконтролера A1 ESP32-A1S, що живиться від лінії VCC 3,3 В, де його рівень аналізується для подальшого використання, як одного з параметрів вихідного звуку. З іншого боку роз'єми X2A-X2C під 14 функціональних кнопок, які одним виводом під'єднані до 3,3В, а іншим - на землю через шунтуючі резистори R7-R20. Кнопки нормально розімкнуті, отже при замиканні вони підтягуються до живлення. Кнопки під'єднані до демультіплектора DD1 CD74HC4067SM96, який також живиться від VCC. Демультіплексор в даному випадку виконує роль хабу для кнопок, щоб можна

було підбирати контролер не за кількістю виводів I/O, а за функціоналом і загалом не підводити до контролеру забагато доріжок при проектуванні плати.

Схема живлення та зарядки приладу побудована на чіпі DA2 TP4056 (живлення від 5 В), що є контролером заряду літій-іонних акумуляторів. Він дозволяє заряджати акумулятор струмом до 1000 мА, що регулюється струмозадаючим резистором R5. Чіп автоматично завершає цикл зарядки при досягненні напруги, яку видає батарея, 4,2 В (безпечний максимум, що може видавати літій-іонна батарея, 2,4 В – показник, що акумулятор розряджений) та зниженні струму до 1/10 від запрограмованої величини (тобто мінімальної величини струму, що споживає батарея. За експоненційною залежністю – чим більше споживається струм, тим менше заряд). Індикаторами стану заряду є два світлодіоди. HL3 вказує на те, що триває зарядка, а HL2 – що батарея заряджена. Резистори R21 та R6 – струмообмежуючі для цих світлодіодів. DA3 FS8205A (модуль з двома транзисторами MOSFET) та чіп DA4 DW01A - у тандемі це захист акумулятора від перезаряду, перерозряду, перевантаження, короткого замикання. Один транзистор із збірки, що під'єднаний до виводу 1 чіпу DW01A контролює розрядку, а другий – перезаряд. Вивід 2 DW01A – це давач падіння напруги на польових транзисторах і він є захистом від перевантаження по струму. R23 – струмообмежуючий резистор. C4 – фільтр по живленню від батареї. C3 – фільтр живлення схеми DW01A.

Безпосередньо живлення схеми відбуватиметься через роз'єм X3 Type-C. Конденсатор C2 – фільтр по живленню. Ввімкнення/вимкнення схеми виконується через перемикач SA1A-SA1B. Це кнопка-слайдер з двома парами контактів. Друга функція цієї кнопки – підготовка контролера до перепрошивання шляхом підтягнення виводу контролера IO0 на землю у вимкненому стані. Тоді при підключенні програматора до роз'єму X1, живлення відбуватиметься уже від нього і контролер можна буде прошивати. Кнопка SB1 також може використовуватись для прошивки або інших цілей.

Світлодіод HL1 є індикатором роботи Bluetooth. Bluetooth є однією з функцій даного контролера, що відіграло важливу роль у його виборі.

## 4 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

При підборі елементної бази я керувалась наступними критеріями:

- Елементна база має забезпечувати необхідні електричні параметри схеми;
- Елементна база має відповідати заданим технічним завданням кліматичним умовам;
- Елементна база повинна мати високу надійність та достатній час безвідмовної роботи;
- Елементна база повинна бути якомога меншою для того, аби не перевищити заданих габаритів плати;
- Елементна база має бути доступною для придбання як за наявністю, так і за ціною.

### 4.1 Вибір мікроконтролера

Оскільки це музичний інструмент, контролер має бути достатньо швидкодіючим, аби не створювати затримок під час гри. Також контролер має задовольняти можливість бездротового підключення через Bluetooth. Третім критерієм при виборі стала наявність достатньої кількості input-output виводів для можливості підключення усієї периферії, проте цей критерій вдалось обійти, застосувавши демультіплексор. Останнім параметром стала можливість поверхневого монтажу.

За усіма вимогами підійшов модуль ESP32-A1S (рис. 4.1) [8].

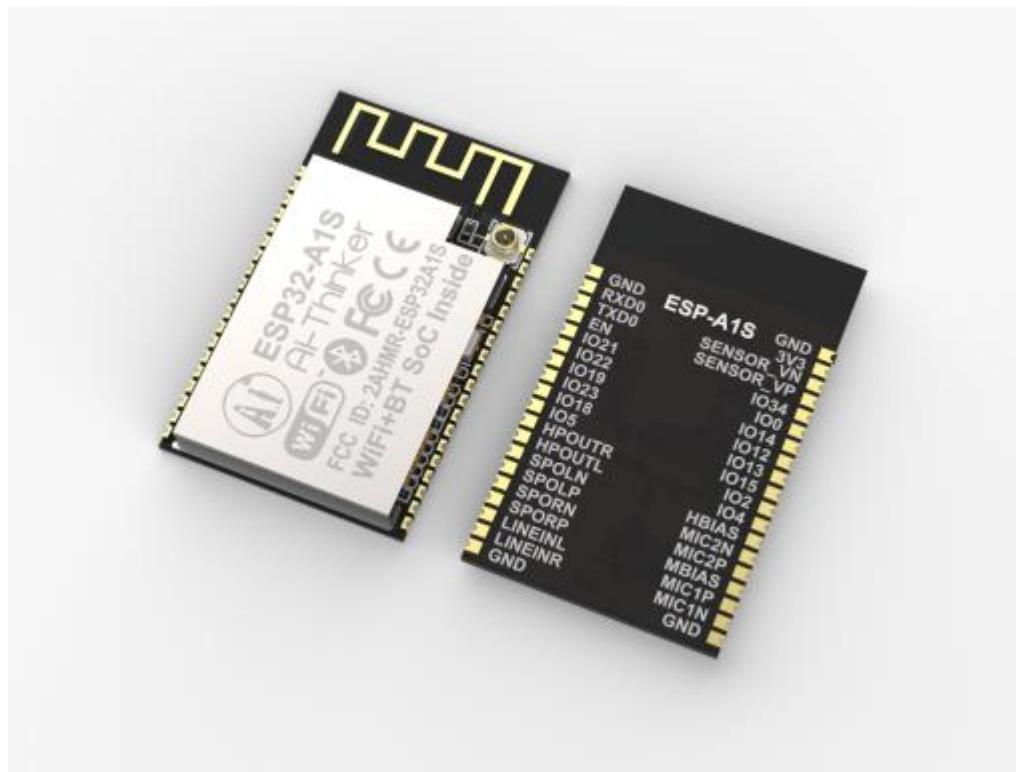


Рисунок 4.1 – Зображення ESP32-A1S

## 4.2 Вибір інших мікросхем

### 4.2.1 Вибір мікросхем блоку заряду

Вибір мікросхем, що входять до блока зарядки приладу я обирала спираючись на стандартну схему включення контролера заряду TP4056 [9-10], який в свою чергу є одним з найбільш розповсюджених та доступних. Цей чіп цілком задовольнив мої критерії, тому у своїй схемі я вирішила використати схему модуля (рис. 4.2 та рис. 4.3), у складі якого цю мікросхему можна часто зустріти на ринку.

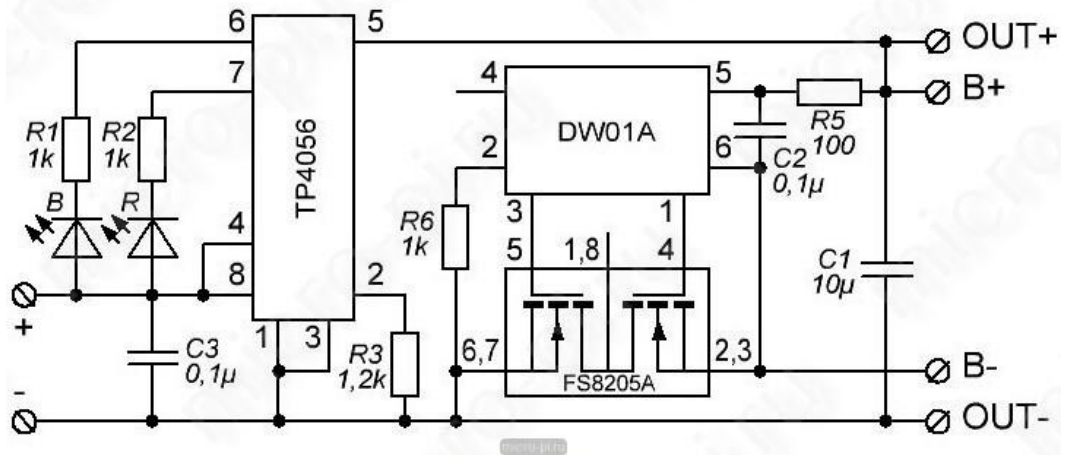


Рисунок 4.2 – Схема модуля контролю заряду та захисту батареї на базі TP4056

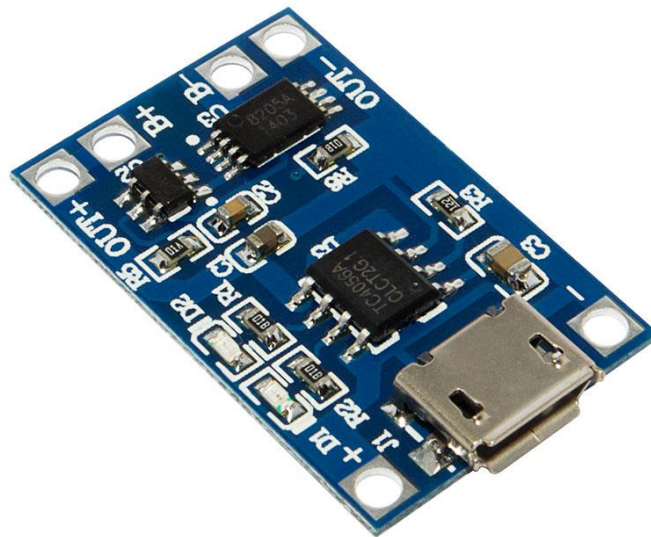


Рисунок 4.3 – Модуль на основі TP4056, DW01A та FS8205A

Інші мікросхеми, що входять до складу готового модуля, а саме мікросхема захисту батареї DW01A та сдвоєний MOSFET FS8205A також цілком задовольняють мої вимоги, тому не бачу сенсу їх змінювати.

#### 4.2.2 Вибір демультіплексора

Необхідність встановлення була викликана потребою зняти обмеження на кількість входів у контролера. Під час його вибору я керувалась лише одним параметром – кількістю входів, їх мало бути 14. CD74HC4067SM96 (рис 4.4)



підійшов ідеально не лише за цим показником (у нього 15 портів input/output), але і можливістю поверхневого встановлення – корпус SSOP-24, та діапазоном робочих температур – від  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

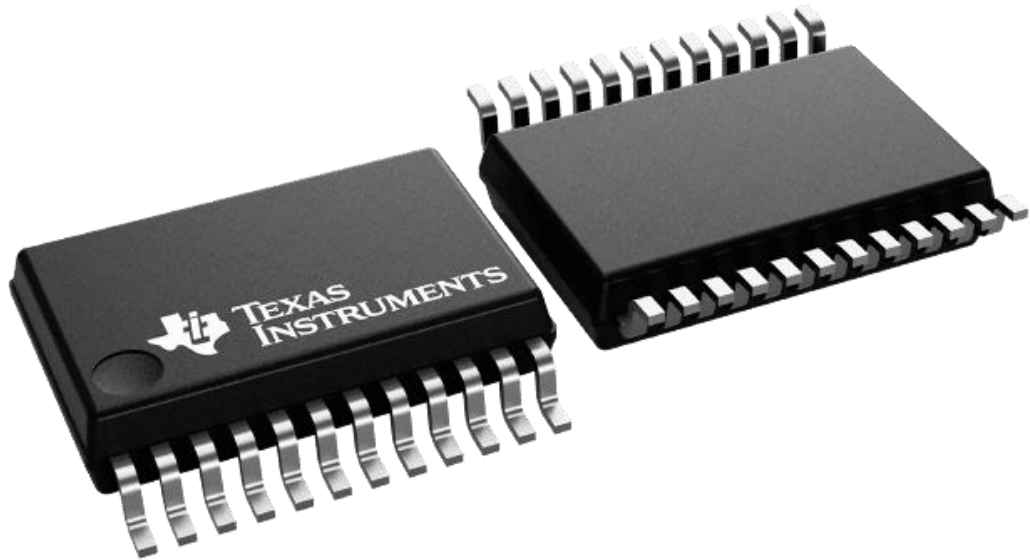


Рисунок 4.4 – Зображення CD74HC4067SM96

### **4.3 Вибір кнопок та перемикачів**

#### ***4.3.1 Вибір кнопок для гри безпосередньо***

Кнопки повинні мати маленький хід, відповідати вимогам за габаритами та бути доступними за ціною. Так, я обрала кнопки китайського виробника ВЕНКРАК (рис. 4.5). Їх ціна 58 грн за 5 штук.



Рисунок 4.5 – Кнопки для гри

Розміри кнопки: 16x24 мм.

#### ***4.3.2 Вибір перемикача для включення-виключення приладу***

В якості способу включення-виключення приладу, а також включення контролера в режим прошивки обрано двохпозиційний слайдер MSS-2235 (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 – Зображення слайдера MSS-2235

Наявність двох груп контактів дозволить реалізувати його використання як для включення та виключення, так і для вмикання режиму прошивки.

## 4.4 Вибір роз'ємів

### 4.4.1 Вибір роз'єму зарядки

Що стосується роз'єму живлення, він обраний таким, що відповідав би загальній вимозі поверхневого монтажу та універсальності. Наразі, найбільш поширеним є саме USB Type-C роз'єм [11] (рис. 4.7). Він більш компактний, має вищу швидкість передачі даних та, відповідно, зарядки пристрою – до 10 Гбіт/с в порівнянні з 0,5 Гбіт/с у Micro USB. Також цей роз'єм конструктивно більш надійний та слугує довше, ніж, наприклад, класичний Micro USB. До того ж, USB Type-C має ще одну чисто утилітарну перевагу – він двосторонній, а отже зручніший під час встановлення на зарядку.



Рисунок 4.7 – Зображення роз'єму USB Type-C

### 4.4.2 Вибір роз'єму для під'єднання програматора

В якості роз'єму для програматора достатньо використати звичайну гребінку типу PLS-4 (рис. 4.8), це є стандартним рішенням для підключення програматорів.



Рисунок 4.8 – Штирьовий роз'єм PLS-4

#### ***4.4.3 Вибір роз'єму для підключення кнопок***

Для подальшого підключення кнопок вирішено використати гніздо типу PBS-5 (рис. 4.9) у кількості 3 штук.

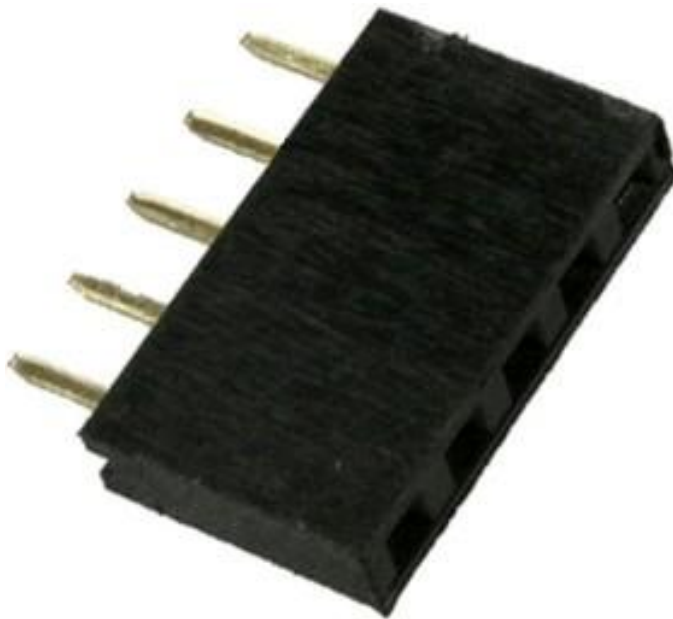


Рисунок 4.9 – Гніздо PBS-5

## 5 РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ТА ЇЇ ВИГОТОВЛЕННЯ

### 5.1 Розрахунок габаритів плати

Вибір габаритних розмірів плати обумовлений конструкцією корпусу.

Розрахувати мінімальну площу плати можна склавши загальну площу усіх елементів. Але враховуючи, що плата двостороння, можемо врахувати лише габаритні мікросхеми та усі вивідні елементи. Таким чином мінімальна площа складає 2631,845 мм<sup>2</sup>.

Кріплення плати відбуватиметься шляхом затиснення між половинками корпусу в спеціальних пазах (рис. 5.1).

Габаритні розміри плати становитимуть 34 мм x 84 мм.

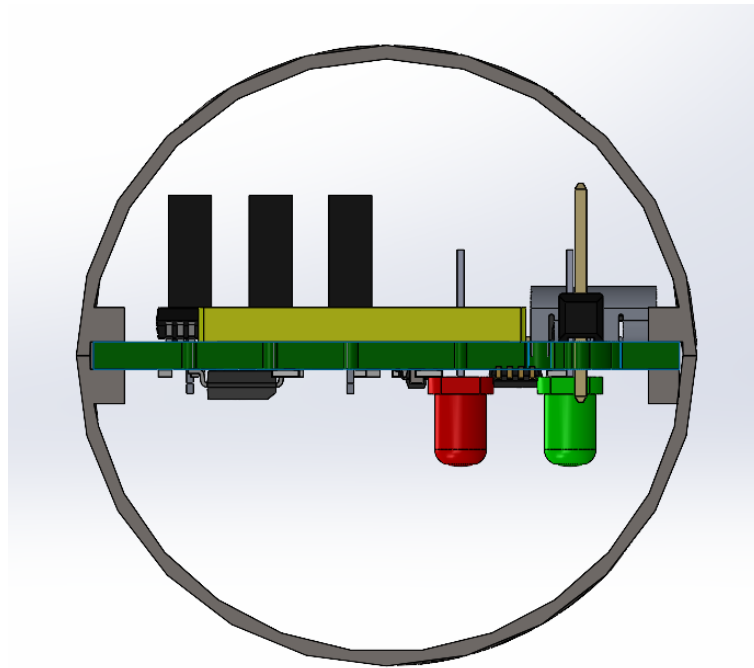


Рисунок 5.1 – Кріплення плати в корпусі

### 5.2 Виготовлення друкованої плати в програмному середовищі Altium Designer

Проектування друкованої плати (рис. 5.2) виконувалось у середовищі Altium Designer на основі правил проектування, що були встановлені згідно проведених розрахунків.

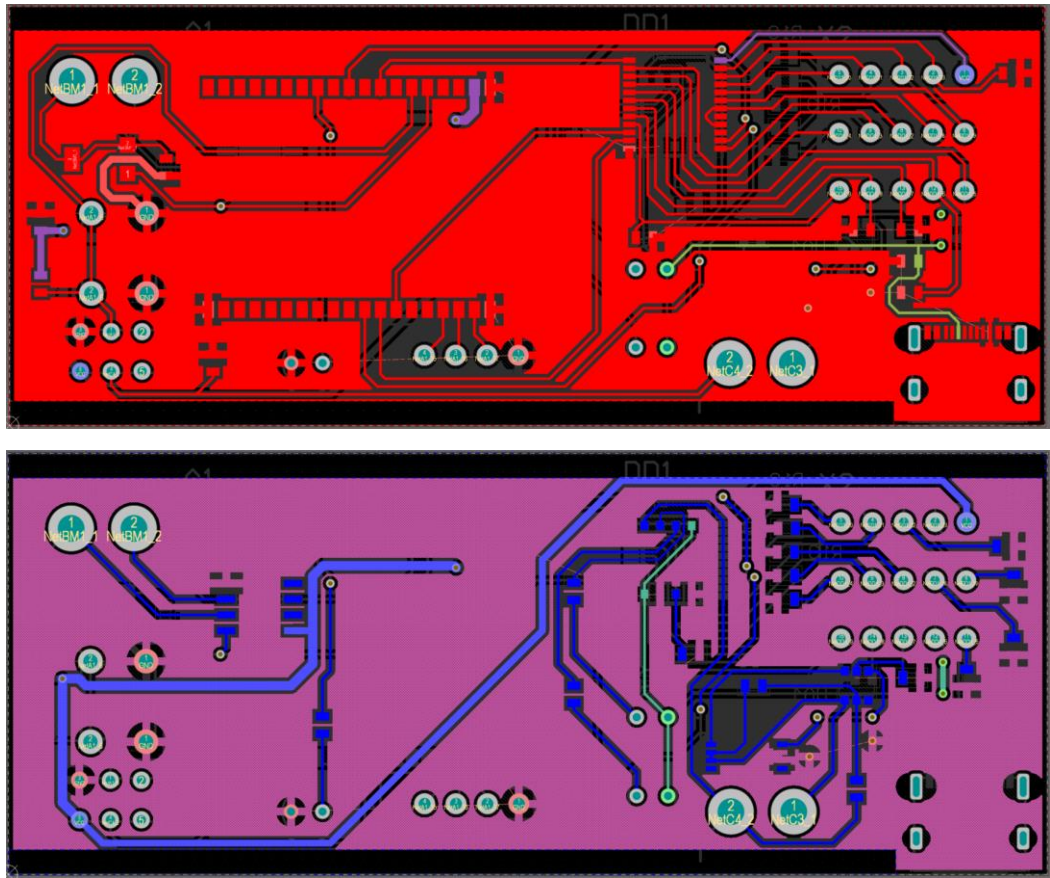


Рисунок 5.2 – Зовнішній вигляд друкованої плати.

Плата відповідає висунутим правилам проектування. Виконана заливка землі з обох сторін плати.

## ВИСНОВКИ

У результаті роботи було створено плату для MIDI-контролера у форматі флейти.

Сформовано та проведено аналіз технічного завдання, в результаті якого встановлені вимоги до приладу з точки зору кліматичних чинників, надійності, конструктивних особливостей, правил експлуатації та транспортування тощо.

Проведено аналіз ринку існуючих рішень, в результаті якого встановлено, що недоліками представлених продуктів є надвисока ціна та функціонал, що підходить більшості музикантів, проте не враховує специфічних потреб. Тобто жоден виробник не представив повного аналогу флейти.

Створено та проведено аналіз електричної принципової схеми пристрою. На його основі обрано елементну базу.

Спираючись на елементну базу, проведено розрахунок параметрів друкованої плати та спроектовано її у середовищі Altium Designer.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ГОСТ 15150-69 – URL: <https://packtech.com.ua/files/GOST.15150-69.pdf>
2. IK MULTIMEDIA iRig Keys 2 Pro MIDI клавіатура. URL: <https://jam.ua/ua/ikmultimedia-irig-keys2-pro>.
3. ALESIS VORTEX WIRELESS 2 RED MIDI клавіатура типу Keytar. URL: <https://jam.ua/ua/alesis-vortex-wireless2-red>
4. Sylphyo. URL: <https://aodyo.com/sylphyo/>
5. Aodyo Sylphyo V2. URL: [https://www.thomann.de/gb/aodyo\\_sylphyo\\_447669.htm](https://www.thomann.de/gb/aodyo_sylphyo_447669.htm).
6. AKAI Professional EWI Solo. URL: [https://www.thomann.de/gb/akai\\_ewi\\_solo.htm](https://www.thomann.de/gb/akai_ewi_solo.htm).
7. Roland Aerophone mini AE-01. URL: [https://www.thomann.de/intl/roland\\_aerophone\\_mini\\_ae\\_01.htm?shp=eyJjb3VudHJ5IjoiZ2liLCJjdXJyZW5jeSI6MiwibGFuZ3VhZ2UiOjJ9&reload=1](https://www.thomann.de/intl/roland_aerophone_mini_ae_01.htm?shp=eyJjb3VudHJ5IjoiZ2liLCJjdXJyZW5jeSI6MiwibGFuZ3VhZ2UiOjJ9&reload=1)
8. ESP32-A1S Audio Module. URL: <https://docs.ai-thinker.com/en/esp32-a1s>
9. Модуль TP4056. URL: [https://3v3.com.ua/product\\_210.html](https://3v3.com.ua/product_210.html).
10. TP4056/TC4056A - контроллер заряда. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/kontroller-zaryada-li-ion-tp4056-smd>.
11. USB TYPE-C Connector. URL: <https://components101.com/connectors/usb-type-c-connector-pinout-datasheet>.