

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

**Радіотехнічний факультет**

**Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури**

До захисту допущено:

В.о.зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Є. А. Нелін

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології  
мікросистемної радіоелектронної техніки»**

**за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

**на тему: «Інтерактивна гра "Giant Foot Piano"»**

Виконав:

студент III курсу, РІ-п71

Косовець Іван Андрійович \_\_\_\_\_

Керівник:

асистент

Зінгер Яна Леонідівна \_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці

к.б.н., доцент

Гусев Аркадій Миколайович \_\_\_\_\_

Рецензент:

к.т.н., доцент каф. РОС

Сушко Ірина Олександрівна \_\_\_\_\_

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ-2020 рік

### ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	PI71.334149.001 ТЗ	Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	PI71.334149.001 ПЗ	Пояснювальна записка	74	
3	A3	PI71. 334149.001 Е1	Схема електрична структурна	1	
4	A3	PI71.431121.001 Е3	Схема електрична принципова	1	
5	A3	PI71. 431121.001 СК	Друкований вузол	1	
6	A3	PI71.758724.001	Друкована плата	1	
7	A1		Конструкція виробу	1	Плакат

				PI71.334149.001			
	ПБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проєкту	Лист 1		
Розробн.	Косовець І.А.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. КіВРА Гр. РІ-п71	Листів 1
Керівн.	Зінгер Я.Л.						
Консульт.	Сушко І. О						
Н/контр.	Попсуй В. І.						
Зав.каф.	Нелін Є. А.						

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту  
на тему: «Інтерактивна гра “Giant Foot Piano”»**

Київ – 2020 року

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

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 “Телекомунікації та радіотехніка”

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Євгеній НЕЛІН

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломний проєкт студенту

**Косовцю Івану Андрійовичу**

1. Тема проєкту: «Інтерактивна гра "Giant Foot Piano"»

Керівник проєкту Зінгер Яна Леонідівна, асистент, затверджені наказом по університету від «21» травня 2020 р. №1126-с

2. Термін подання студентом проєкту 07 червня 2020 року \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проєкту Живлення від мережі 220 В; Керування: дві кнопки для перемикання режимів, один регулятор гучності; порт Jack 3.5 мм; Габаритні розміри, не більше 1250×2250×60.

4. Зміст пояснювальної записки Вступ; Аналіз ринку; Аналіз ТЗ; Розробка схеми принципової; Проектування Електронного модуля; Розрахунки, що підтверджують працездатність вузла; Охорона праці; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Структурна схема; Схема електрична принципова; складальне креслення друкованого вузла; друкована плата.

6. Консультанти розділів проєкту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<b>З охорони праці</b>	к.б.н., доцент Гусєв А М		

7. Дата видачі завдання 13 квітня 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Узгодження ТЗ з керівником	18.05.20-19.05.20	
2	Огляд ринку готової продукції	20.05.20-21.05.20	
3	Аналіз ТЗ	22.05.20-23.05.20	
4	Розробка принципової схеми	24.05.20-26.05.20	
5	Проектування електронного модуля	27.05.20-29.05.20	
6	Розрахунки що підтвердж. працездатність	30.05.20-31.05.20	
7	Виконання граф матеріалів	01.06.20-05.06.20	
8	Охорона праці	06.06.20-09.06.20	

Студент

І. А. Косовець

Керівник

Я. Л. Зінгер

\* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проєкту.

## АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті розроблено конструкцію електронної гри “Giant Foot Piano”. Розробка складалась з таких етапів: аналіз ринку існуючих аналогів та їх характеристик, синтез принципової схеми, проєктування електронного модуля та опис конструкції, розрахунків що підтверджують працездатність, огляду охорони праці в надзвичайних ситуаціях. В загалом дипломний проєкт складається з 74 сторінок, що включають 39 рисунків, 8 таблиць, 4 додатки та 29 бібліографічних посилань.

Ключові слова: електронні ігри, інтерактивні ігри.

КОСОВЕЦЬ І.А. РІПМ, 2020

## ANNOTATION

In the thesis project developed electronic game design "Giant Foot Piano". The development consisted of the following stages: market analysis of existing analogues and their characteristics, synthesis of the schematic diagram, design of the electronic module and description of the design, calculations confirming the efficiency, review of occupational safety in emergencies. In general thesis project consists of 74 pages, including 39 figures, 8 tables, 4 annexes and 29 citations.

Keywords: electronic games, interactive games.

КОСОВЕЦЬ І.А. РІПМ, 2020

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**до дипломного проекту**

на тему: Інтерактивна гра "Giant Foot Piano"

Київ — 2020 року



## ЗМІСТ

Перелік скорочень .....	2
Вступ .....	3
1 Аналіз ринку .....	4
1.1 Огляд ринку готової продукції .....	4
1.1.1 Аналоги доступні в Україні.....	4
1.1.2 Аналоги на світовому ринку .....	5
1.2 Огляд варіантів виконання.....	9
2 Аналіз ТЗ.....	11
2.1 Аналіз завдання з точки зору конструктора.....	11
2.1.1 Призначення та об'єкт встановлення апаратури.....	11
2.1.2 Умови експлуатації апаратури.....	11
2.1.3 Децимальний номер.....	11
2.1.4 Вибір матеріалу корпусу .....	12
2.2 Аналіз з точки зору технолога .....	12
2.2.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати .....	12
2.2.2 Вибір матеріалу плати .....	12
2.2.3 Вибір класу точності плати та щільності виробництва .....	12
3 Розробка схеми принципової.....	13
3.1 Структурна схема .....	13
3.2 Принципова схема підсилювача НЧ.....	14
3.2.1 Схеми аналогів підсилювачів.....	14
3.2.2 Принципова схема підсилювача НЧ.....	17

**PI71.334149.001 ПЗ**

ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Косовець І. А.			<b>Інтерактивна гра "Giant Foot Piano"</b>	Літ.	Лист	Листів
Перевірив		Зінгер Я. Л.					1	
Н. Конто.		Попсвій В. І.			<b>PI-п71 РТФ</b>			
Затвердив		АдаменкоЮ.Ф.						

3.3 Принципова схема пристрою.....	18
4 Проектування електронного модуля .....	20
4.1 Вибір компонентів.....	20
4.1.1 Вибір пасивних компонентів.....	20
4.1.2 Вибір активних компонентів.....	24
4.2 Розрахунок площі плати і вибір її розмірів .....	26
4.3 Розрахунок діаметра монтажних отворів та розмірів контактних майданчиків .....	27
4.4 Вибір класу точності друкованої плати та щільність друкованого монтажу.....	28
4.5 Розрахунок ширини друкованих провідників.....	29
4.6 Результати проектування друкованого вузла.....	31
4.7 Опис конструкції .....	33
5 Розрахунки, що підтверджують працездатність вузла .....	36
5.1 Розрахунок надійності.....	36
5.2 Розрахунок вібростійкості.....	37
6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	39
6.1 Шкідливі фактори при роботі з ПЕОМ .....	39
6.1.1 Освітлення робочої зони .....	39
6.1.2 Вплив шуму та вібрації .....	40
6.1.3 Заходи по нормалізації умов праці .....	41
6.1.4 Електробезпека .....	41
6.1.5 Пожежна безпека .....	43
6.2 Фактори що виникають при виготовлені ДП.....	44

**PI71.334149.001 ПЗ**

ЗМ.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата				
Розробив		Косовець І. А.			Інтерактивна гра "Giant Foot Piano"	Літ	Лист	Листів
Перевірів		Зінгер Я. Л.					1	
Н. Конто.		Попсвй В. І.			<b>PI-п71 РТФ</b>			
Затвердив		АдаменкоЮ.Ф.						

Висновки..... 46

Перелік джерел посилань..... 47

КОСОВЕЦЬ І.А. РІ-п71, 2020

					<b>РІ71.334149.001 ПЗ</b>			
<i>ЗМ.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>Інтерактивна гра "Giant Foot Piano"</b>	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
Розробив	Косовець І. А.						1	
Перевірів	Зінгер Я. Л.							
Н. Конто.	Попсвій В. І.							
Затвердив	АдаменкоЮ.Ф.							
						<b>РІ-п71 РТФ</b>		

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

LED — Light-emiting diode

ЕСКД — Єдина система конструкторської документації

ШИМ — Широтно-імпульсна модуляція

ПНЧ — Підсилювач низької частоти

SMD — Surface mounted device

ДП — Друкована плата

ЕРЕ — Електро-радіо елемент

ПЕОМ — Персональна обчислювальна машина

КЗ — Коротке замикання

КОСОВЕЦЬ І.А. РІ-ПІ71, 2020

					<i>PI71.334149.001 ПЗ</i>	Лист
						2
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВСТУП

Галузь розваг завжди користується попитом та є найпоширенішою у світі, але не всі мають можливість відвідувати парки розваг. Тому «домашні» варіанти атракціонів розповсюджені в багатьох країнах світу. Серед таких атракціонів особливу нішу займають електронні музикальні ігри.

Існує безліч варіантів «гігантського піаніно», ця електронна гра є відмінною розвагою для дітей та дорослих, що сприяє розвиненню музичного слуху. Такий пристрій використовують в музичних школах, так як діти і не помічають, як вони навчаються під час гри. допомагає вивчати теорію музики, тренувати слух, розпізнавати ноти, ритми та композиції. Також гра допомагає розвивати дітям мозок, нервову систему та м'язи заохочуючи як фізичний так і когнітивний розвиток. Ідея розробки "Giant Foot Piano".полягає в тому що це відмінний засіб для приваблення абітурієнтів до лабораторії RTF Lab.

					<i>PI71.334149.001 ПЗ</i>	Лист
						3
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ РИНКУ

## 1.1 Огляд ринку готової продукції

При розгляді існуючих аналогів виявилось що незважаючи на всі переваги такої інтерактивної гри, в Україні практично немає аналогів.

### 1.1.1 Аналоги доступні в Україні

- 1) Атракціон «Напольное пианино» [1] Рис. 1.1. Надійний, має жорстку основу, може витримати навантаження дорослої людини.



Рисунок 1.1 — Атракціон «Напольное пианино».

Даний пристрій пропонується в оренду на 6 годин, що коштує 3000 грн. В комплекті також йдуть тенсатори для огороження зони. Для програвання звуку необхідно під'єднання колонок.

Характеристики пристрою:

- Габаритні розміри пристрою: 1000×1500×50 мм;
- Живлення від мережі 220 В;
- Кількість клавiш: 25;
- Ширина однієї білої клавiши приблизно 100 мм;
- Ширина однієї чорної клавiши приблизно 80 мм;
- Матеріали: фанера, полікарбонат, алюмінієвий профіль.

					PI71.334149.001 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

2) Музичний килимок Fisher Price 2615 «Гигантское музыкальное пианино» [2] Рис. 1.2. Гнучкий, зручний для транспортування. Має низьку надійність, призначений тільки для дітей. Вартість цього приладу 1584 грн, поставляється експортом з Польщі.



Рисунок 1.2 — Музичний килимок Fisher Price 2615.

Прилад має чотири режими: Запис, відтворення, демонстрація та гра. Присутня можливість перемикання восьми інструментів. Для режиму демонстрації записано 10 мелодій. Звук регулюється за допомогою двох клавiш та програється через вбудований динамік.

Характеристики пристрою[3]:

- Габаритні розміри пристрою: 755×1830×40 мм;
- Живлення: три елементи АА 1,5 В;
- Кількість клавiш: 24;
- Ширина однієї білої клавiши приблизно 130 мм;
- Ширина однієї чорної клавiши приблизно 90 мм.

### 1.1.2 Аналоги на світовому ринку

В світі розповсюджено багато варіацій «гігантського піаніно», більшість з них майже не відрізняються одне від одного, тому розглядається по представнику з популярних конфігурацій.

					PI71.334149.001 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

1) Атракціон «Monster Piano»[4] Рис. 1.3. Даний пристрій постачається в варіаціях: одна октава(12 клавiш), три октави(36 клавiш), п'ять октав(60 клавiш) та сім октав(84 клавiші). Має гарну надійність, вага кожної октави близько 45 кг, для переміщення піаніно необхідно від двох людей. Гра рекомендується без взуття.



Рисунок 1.3 — Атракціон «Monster Piano».

Вартість за кожну октаву 9500\$ (більше 250000 грн), розмір однієї октави 4' на 4' 7". Далі будуть розглядатись характеристики пристрою на три октави. Серед доступних функцій має підсвічування клавiш за допомогою вбудованих LED (Light-emitting diode) стрічок. Керується через wifi за допомогою смартфона, планшету або комп'ютера. Має десять записаних демонстраційних пісень та двадцять одну повільну пісню для тренувань. Звук програється через вбудовані динаміки.

Характеристики пристрою:

- Габаритні розміри пристрою: 1400×3660×127 мм;
- Живлення від мережі 220 В;
- Кількість клавiш: 36;
- Ширина однієї білої клавiши приблизно 174 мм;
- Ширина однієї чорної клавiши приблизно 104 мм.

					<i>PI71.334149.001 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		6



2) Ігровий килимок EvoLife «Музыкальное напольное пианино»[5]  
Рис 1.4. Зручний для транспортування. Має низьку надійність. Вартість цього приладу еквівалентна 1450 грн



Рисунок 1.4 — Ігровий килимок EvoLife.

Прилад має чотири режими: Запис, відтворення, демонстрація та гра. Записується до 80-ти нот. Доступно вісім видів музикальних інструментів для програвання. Звук програвється через вбудовані динаміки, гучність якого налаштовується круглим регулятором.

Характеристики пристрою:

- Габаритні розміри пристрою: 740×2600×40 мм;
- Живлення: чотири елементи АА 1,5 В;
- Кількість клавiш: 24;
- Ширина однієї білої клавiши приблизно 180 мм;
- Ширина однієї чорної клавiши приблизно 90 мм.

3) Атракціон «Пианино Великан»[6] Рис. 1.5. Постачається в різних конфігураціях, може включати: LED підсвітку клавiш, торцеву підсвітку клавiш, вбудовані динаміки, режим програвання різних інструментів. Має високу надійність

					PI71.334149.001 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 — «Пианино Великан».

Вартість оренди двох октав еквівалентна 12000 грн, розмір однієї октави 1400x1110 мм. В базовій конфігурації для програвання звуку необхідні колонки.

Характеристики пристрою:

- Габаритні розміри пристрою: 1110×1400×30 мм;
- Живлення від мережі 220 В;
- Кількість клавiш: 12;
- Ширина однієї білої клавiши приблизно 200 мм;
- Ширина однієї чорної клавiши приблизно 120 мм.

3) «Напольное пианино»[7] Рис. 1.6. Пристрій характеризується як надійний, м'який. Призначений для дітей від трьох років. Вартість еквівалентна 12280 грн. Звук програвється через вбудовані динаміки.



Рисунок 1.6 — «Напольное пианино»

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

8

Характеристики пристрою:

- Габаритні розміри пристрою: 1250×2500×80 мм;
- Живлення : три елементи АА 1,5 В;
- Кількість клавiш: 8;
- Ширина однієї клавiши приблизно 100 мм.

## 1.2 Огляд варіантів виконання

Для визначення функціоналу розроблюваного пристрою проаналізовано можливості аналогів, для зручності були зіставлені порівняльні таблиця 1.1 та таблиця 1.2.

Таблиця 1.1 — характеристики аналогів

Пристрій	ВхL, мм	Уж, В	Кільк. Клав., шт.	Шир. Б. Клав., мм	Шир. Ч. Клав., мм
Атракціон «Напольное пианино»	1000x1500	220	25	100	80
Килимок Fisher Price	755x1830	4,5	24	130	90
«Monster Piano»	1400x3660	220	36	174	104
Килимок EvoLife	740x2600	6	24	180	90
«Пианино Великан»	1110x1400	220	12	200	120
«Напольное пианино»	1250x2500	4,5	8	100	-

Таблиця 1.2 — Функціонал аналогів

Пристрій	Режими інструментів	Запис	демо	Підсвітка	Динаміки
Атракціон «Напольное пианино»	—	—	—	—	—
Килимок Fisher Price	+	+	+	—	+
«Monster Piano»	—	+	+	+	+
Килимок EvoLife	+	+	+	—	+
«Пианино Великан»	+	—	+	+	+
«Напольное пианино»	—	—	—	—	+

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

9

Видно, що єдиний вітчизняний аналог не має жодної з розповсюджених функцій. Для розроблюваного приладу за конструкцією краще обрати жорсткий корпус, та пожертвувати можливістю легкого транспортування на користь надійності. Розміри корпусу не більше 1250×2250 мм, як середнє значення від аналогів. Для зручності гри ширину білих клавіш обрано 200 мм, а ширину чорних 150 мм, кількість клавіш 17. З функціональних переваг розроблюваного приладу є вбудовані динаміки та можливість перемикання режимів інструментів.

КОСОВЕЦЬ І.А. РІ-ПТ1, 2020

					<i>PI71.334149.001 ПЗ</i>	Лист
						10
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2 АНАЛІЗ ТЗ

### 2.1 Аналіз завдання з точки зору конструктора

#### 2.1.1 Призначення та об'єкт встановлення апаратури

Інтерактивна гра "Giant Foot Piano" призначена для розваг та навчання за допомогою гри ногами на піаніно.

Встановлюється пристрій на підлогу у просторному приміщенні на рівну площадку, площею не менше 1250×2250 мм.

#### 2.1.2 Умови експлуатації апаратури

Кліматичне виконання за ГОСТ 15150-69 УХЛ-4.2 [8]. УХЛ — макрокліматичний район з помірним та холодним кліматом. 4.2 — Експлуатація в лабораторіях, капітальних житлових та інших, подібного типу приміщеннях.

Умови експлуатації згідно ГОСТ 16019-2001, С1 [8]. Вказаній категорії відповідає стаціонарна апаратура, що встановлюється в опалюваних наземних і підземних спорудах.

#### 2.1.3 Децимальний номер

Децимальний номер обрано згідно класифікатора ЕСКД(Єдина система конструкторської документації) [9].

- 33 – Вироби культурно-побутового призначення та господарського вжитку
- 334 – Іграшки, Ігри, атракціони, пересувні заклади культури, технічні та спеціальні транспортні засоби.
- 3341 – Іграшки, ігри
- 33414 – Предмети ігрового вжитку
- 334149 – Інші

Отриманий децимальний номер – РІ71.334149.001

					<i>РІ71.334149.001 ПЗ</i>	Лист
						11
Зм.	Лист	№ док.м.	Підпис	Дата		

#### **2.1.4 Вибір матеріалу корпусу**

Для забезпечення міцності конструкції корпусу обрано такі матеріали: алюмінієві профілі, дерев'яні бруски, фанера. Зовнішнє покриття клавіш полікарбонат

### **2.2 Аналіз з точки зору технолога**

#### **2.2.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати**

Плата підсилювача орієнтовно матиме двосторонній монтаж та два шари металізації, оскільки будуть використовуватись елементи як поверхневого так і виводного монтажу.

Доцільним є виготовлення комбінованим позитивним методом, тобто спочатку свердлять та металізують отвори, а потім витравляються провідники. Цей метод є доцільним оскільки забезпечується отримання чітких ліній провідників та характеризується меншою трудомісткістю в порівнянні з електрохімічним методом. Також друковані плати надійніші, оскільки при цьому діелектрик знаходиться в сприятливішій умові, тому що фольга оберігає його від дії електроліту.[10]

#### **2.2.2 Вибір матеріалу плати**

Вибір проводився між гетинаксом та склотекстолітом, оскільки пристрій піддається вібраційним навантаженням та ступінь вологозахисту планується не високий. Матеріалом плати обрано фольгований склотекстоліт FR4-2 35/35 2mm, ТУ И03.0107.006-94 який є більш вологостійким та стійким до механічних впливів.

#### **2.2.3 Вибір класу точності плати та щільності виробництва**

Відповідно до ГОСТ 23751-86 для плати обрано третій клас точності друкованої плати.

					<b>PI71.334149.001 ПЗ</b>	Лист
						12
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

## 3 РОЗРОБКА СХЕМИ ПРИНЦИПОВОЇ

### 3.1 Структурна схема

Перед проектуванням принципової схеми було розроблено та проаналізовано структурну схему зображену на Рис. 3.1

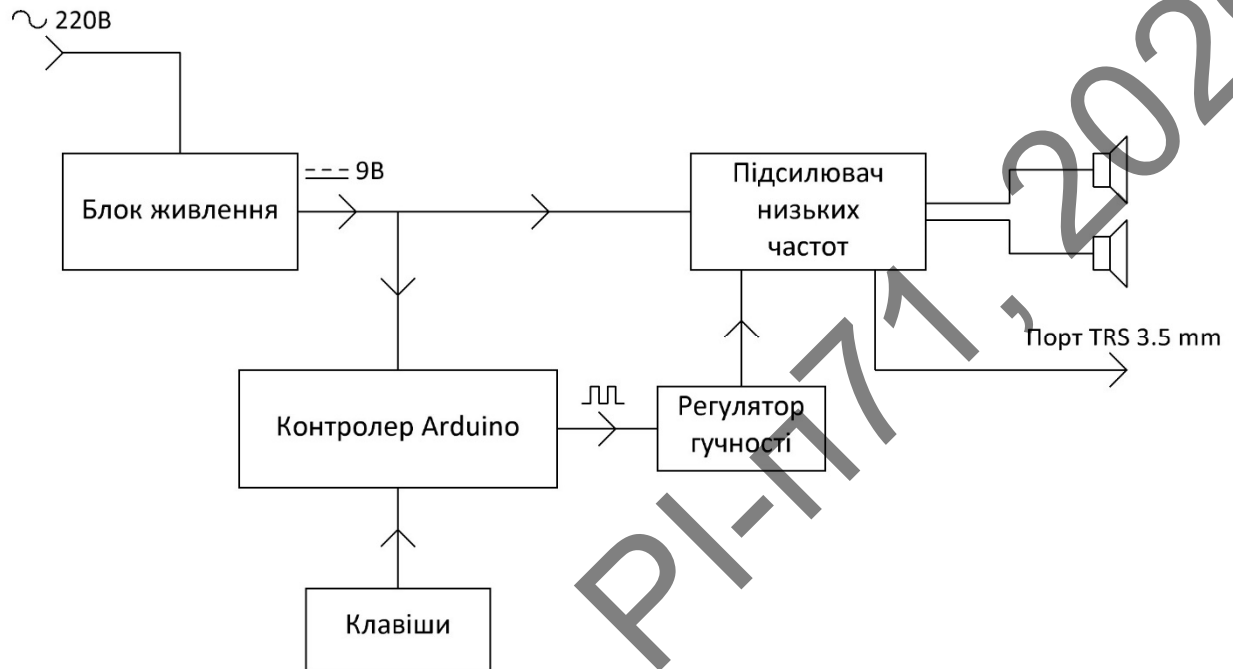


Рисунок 3.1 — Схема структурна

Живлення пристрою іде від мережі 220 В, тому необхідне встановлення понижуючого блоку живлення. Блок живлення трансформаторний для зниження створюваних завад роботи пристрою. Для отримання постійної напруги 9 В використовується лінійний стабілізатор.

В якості головного контролера обрано плату Arduino UNO r3 через більший об'єм пам'яті, зручність середовища для написання програми, простоту встановлення та достатню кількість роз'ємів для 17 клавіш та 2х перемикачів. У відповідності до клавіш що натискаються генерується ШІМ (Широтно-імпульсна модуляція) сигнал частоти відповідної ноти, є можливість одночасного натискання до 4х клавіш.

Клавіши реалізовані механічно та кожна являє собою контакт двох металічних пластин.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

13

Регулятором гучності є змінний резистор що керує напругою ШІМ модульованого сигналу.

ПНЧ(Підсилювач низької частоти) живиться напругою 9 В, підсилює сигнал що поступає з Arduino та має виходи до динаміків та порту TRS 3,5 мм.

## 3.2 Принципова схема підсилювача НЧ

### 3.2.1 Схеми аналогів підсилювачів

Для розробки було розглянуто варіанти підсилювачів НЧ як частини колонок та схеми окремих підсилювачів НЧ.

#### 1) GENIUS SP-200

Система побудована на мікросхемі SJ2025 з вихідною потужністю до 2,4 Вт на канал з пасивними регуляторами тону та гучності. Схема двоканальна, з виводом сигналу на порт TRS та динаміки. Мікросхема підтримує схеми включення моно та стерео з навантаженнями 4 та 8 Ом. Живлення схеми забезпечується блоком живлення який являє собою однополярний випрямляч з понижуючим трансформатором.

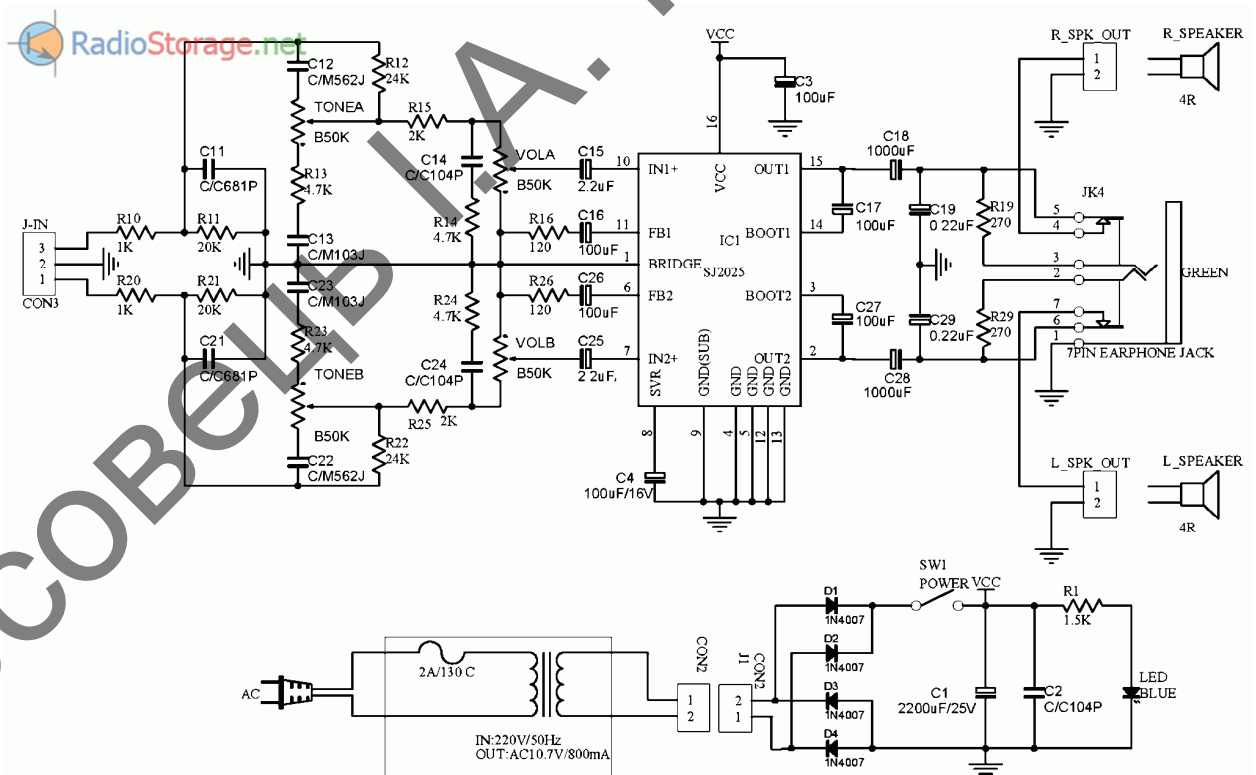


Рисунок 3.2 — Принципова схема акустичної системи GENIUS SP-200[11]

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

14



## 2) GENIUS SW-G106

Схема активної акустичної системи GENIUS SW-G106 рис. 3.2 яка складається з фільтра низьких частот, трьохканального підсилювача потужності та блоку живлення. Підсилювач звукової частоти зібрано на мікросхемі LA4630N з максимальною вихідною потужністю 37,5 Вт, яка має три канали. Живлення забезпечується понижуючим трансформатором з однополярним випрямлячем.

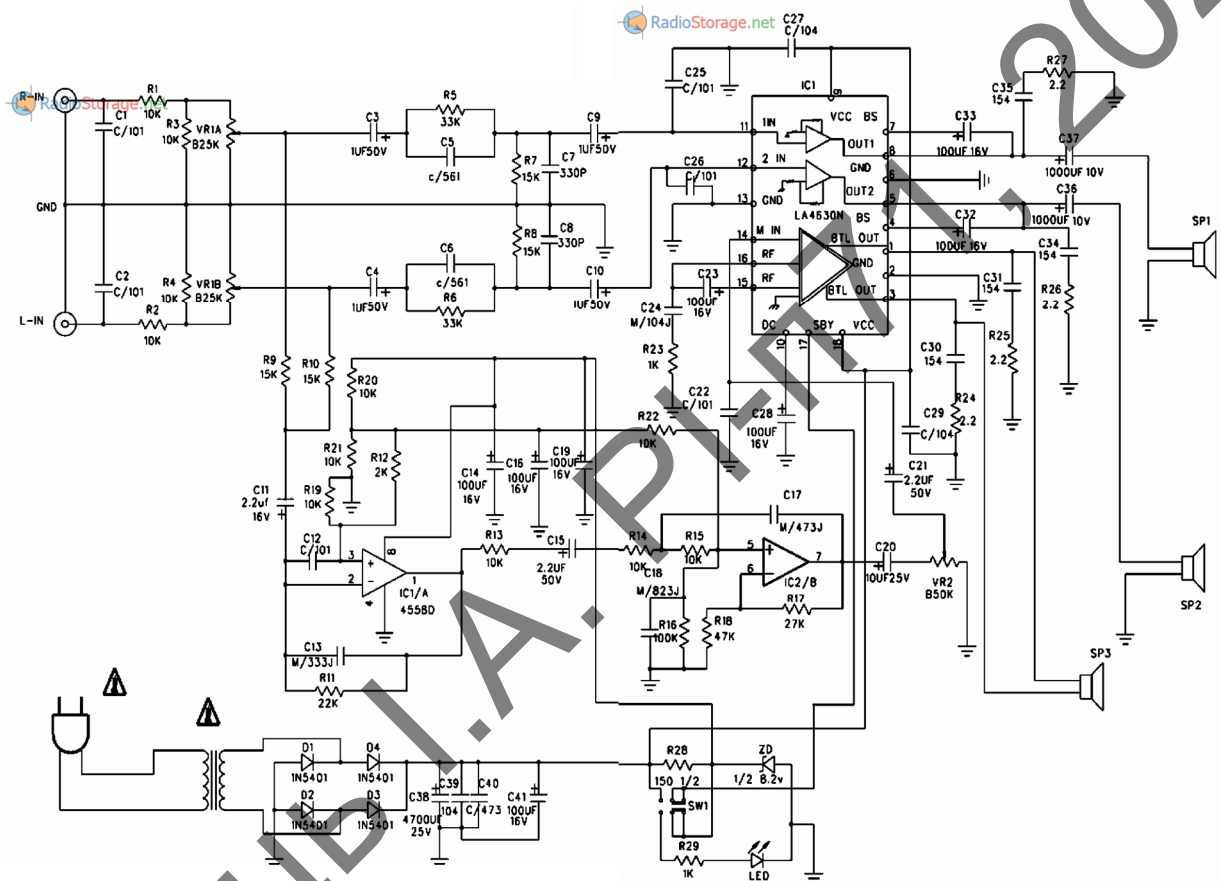


Рисунок 3.3 — Принципова схема акустичної системи GENIUS SW-G106 [12]

## 3) Підсилювач НЧ на основі AN5285

Підсилювач розроблено на основі інтегральної мікросхеми AN5285, що представляє собою одноканальний підсилювач потужності звукової частоти з однополярним живленням, електронним регулюванням гучності та вихідною потужністю 2,3 Вт на навантаженні з опором 16 Ом. В даній схемі для можливості приєднання динаміку з опором 8 Ом на мікросхему подається знижена напруга відносно номінального значення.

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

15

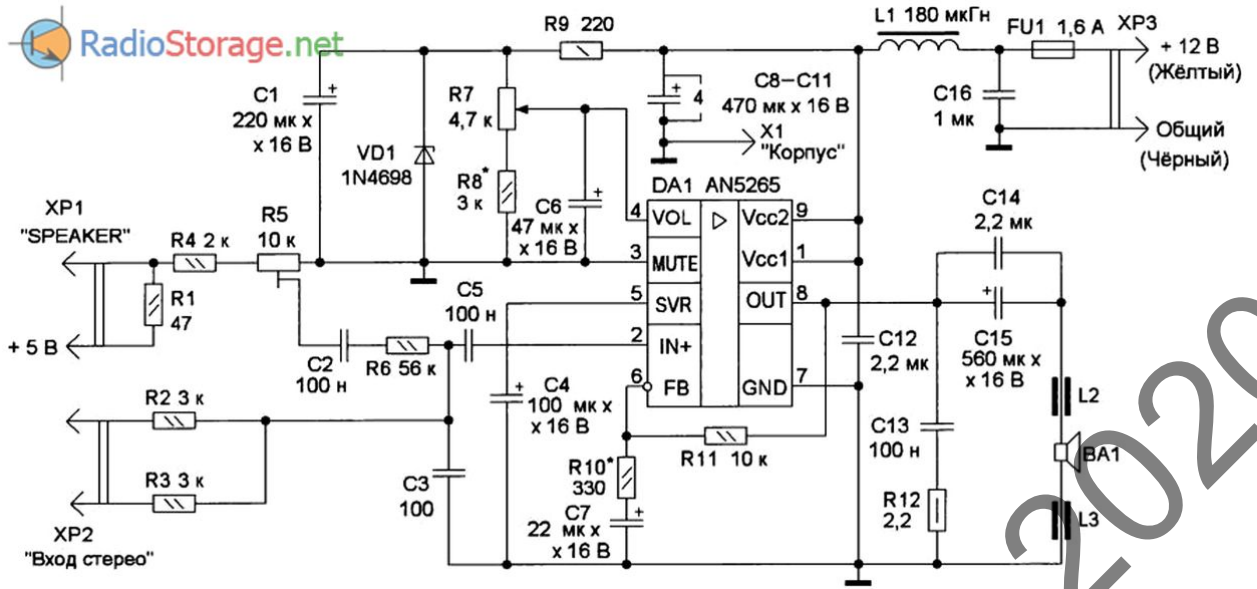


Рисунок 3.4 — Принципова схема підсилювача НЧ на AN5285 [13]

#### 4) Підсилювач на основі TDA1519C

Модуль XY-BT-MINI в даній схемі потрібен для бездротового підключення до підсилювача звукової частоти. Мікросхема TDA1519C включена по типовій схемі за виключенням використання лише одного розділового конденсатора C6 на обидва канали. Вихідна потужність мікросхеми 11 Вт на кожен канал.

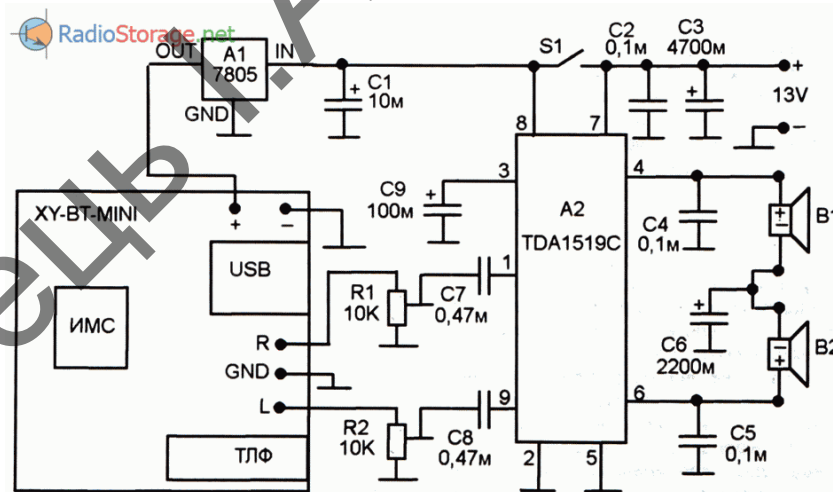


Рисунок 3.5 — Принципова схема підсилювача на TDA1519C [14]

#### 5) Підсилювач на основі транзисторів

Представлена схема реалізується на транзисторах КТ3102, КТ502, КТ503. Підсилювач стереофонічний, розрахований на навантаження з опором до 200 Ом, при підключенні більшого опору порушується режим роботи під-

					Лист
<i>PI71.334149.001 ПЗ</i>					16
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата	

силювача НЧ, тому необхідно на виході встановити еквівалентний опір та з нього знімати сигнал.

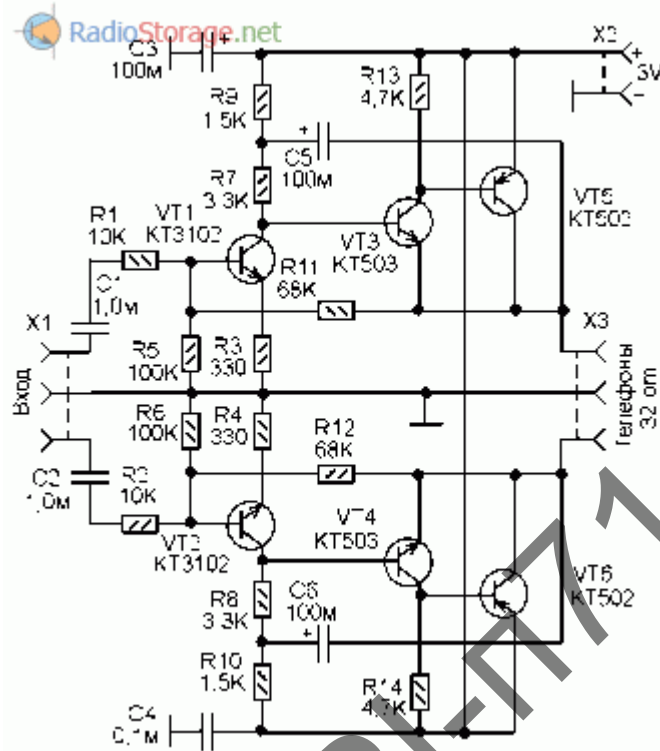


Рисунок 3.6 — Принципова схема підсилювача на транзисторах [15]

На основі аналізу схемотехнічних рішень було вирішено розробляти вузол підсилювача на основі мікросхеми. В результаті було синтезовано схему детальний розгляд якої розписаний далі.

### 3.2.2 Принципова схема підсилювача НЧ

Виходячи з вимог завдання було прийнято рішення виконання на одній платі стабілізуючого каскаду блока живлення та підсилювача низької частоти. В основу підсилювача обрано малопотужну, дешеву мікросхему ТВА2025В. Схема включення для входу типова, включення вихідного каскаду схеми змінено відповідно з необхідністю включення роз'єму TRS 3,5 мм. Так як є можливість під'єднання до роз'єму колонок з власним підсилювачем паралельно до виходу включено резистори для узгодження кіл. Опір резисторів обрано з номінального ряду E24 47 Ом. Такий опір прийнятний для роботи підсилювача та не порушує робочий режим з динаміками на 8 Ом. Потужність резисторів обрана 1 Вт з великим запасом для гарантії їх працездатності

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

17

при короткочасних пікових значеннях сигналу. Схема вузлів зображена на рис. 3.7

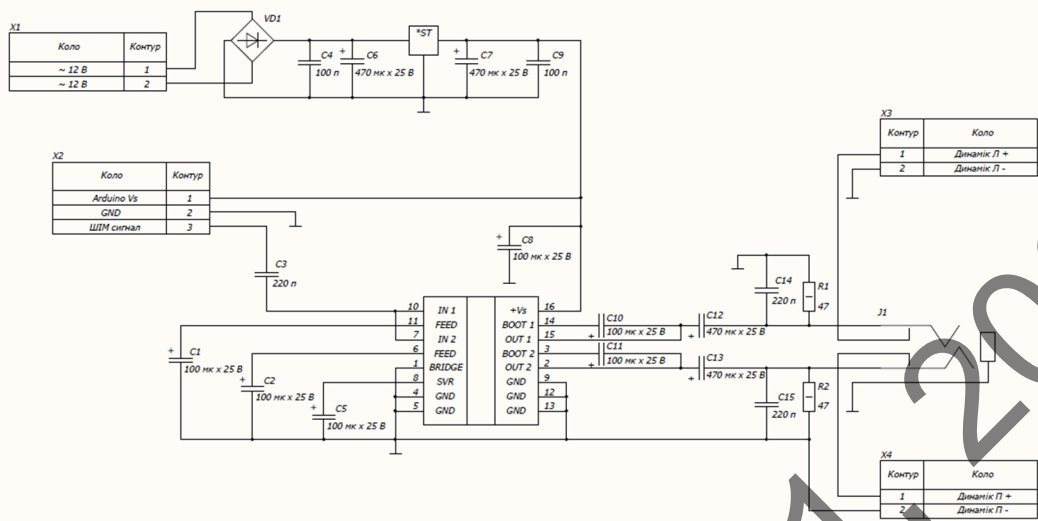


Рисунок 3.7 — Принципова схема підсилювача

Для роботи Arduino Uno живлення 9 В та "земля" виводяться з плати через роз'єм X2, на третій контакт цього роз'єму надходить ШІМ сигнал з ардуіно. Сигнал на виході подається на контакти однакової полярності динаміків для синфазного звучання.

### 3.3 Принципова схема пристрою

На рисунку 3.8 зображена принципова схема всього пристрою

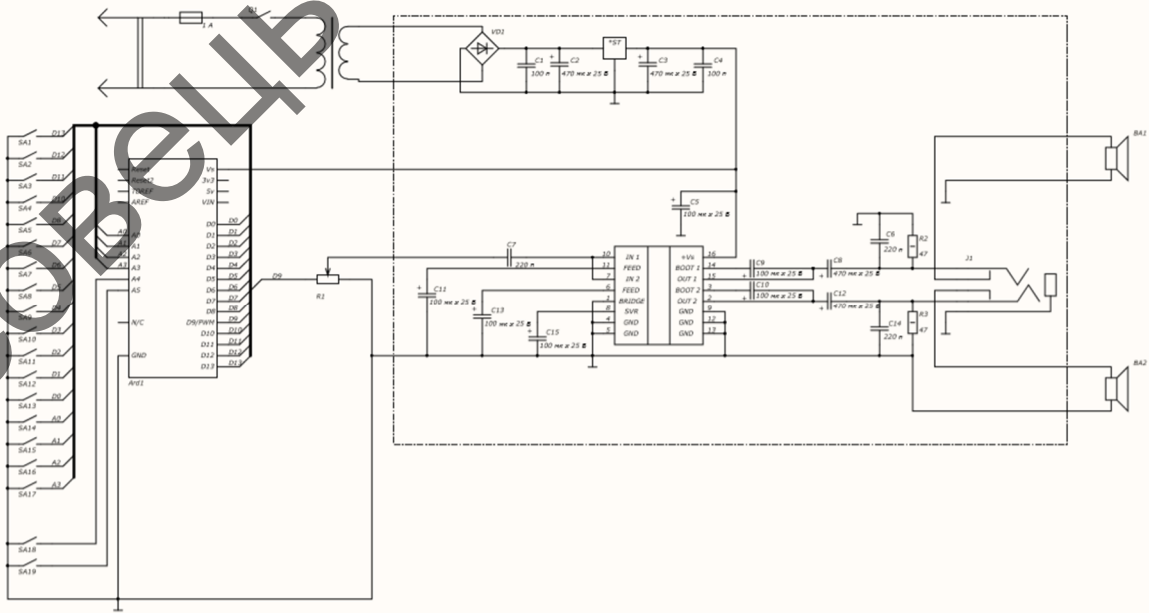


Рисунок 3.8 — Принципова схема пристрою

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

18

Окрім синтезуємого вузла в пристрій входять понижуючий трансформатор, динаміки, та Arduino Uno з клавішами. Трансформатор винесено за плату для зменшення впливу завад на сигнальну лінію. Arduino не закріплюється на розроблюваній платі для можливості легкої заміни Arduino Uno на Arduino Mega при необхідності реалізації більшої кількості клавіш. Всього в пристрої 17 клавіш та дві кнопки, кожна з 17 клавіш, SA1-SA17, відповідає своїй ноті в діапазоні від "до" третьої октави(261,626 Гц) по "мі" четвертої октави(659,255 Гц) включно, кнопки SA19 та SA18 циклічно перемикають режими інструментів вперед та назад відповідно. Функціонал клавіш та кнопок визначається програмою в Ардуіно, лістинг програми приведений у додатку Г.

КОСОВЕЦЬ І.А. РІ-ПТМ, 2020

					<i>PI71.334149.001 ПЗ</i>	Лист
						19
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 4 ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ

### 4.1 Вибір компонентів

Для зменшення кількості монтажних отворів та впливу вібрацій вирішено обирати елементи поверхневого монтажу для всіх категорій по наявності відповідних елементів.

#### 4.1.1 Вибір пасивних компонентів

##### 1) Вибір резисторів

Вибір резисторів виконувався за такими критеріями як опір, точність та максимальна потужність.

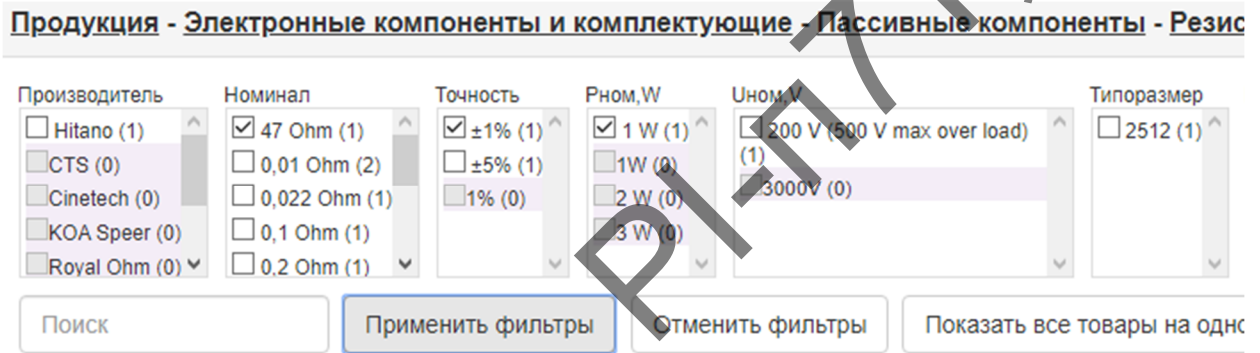
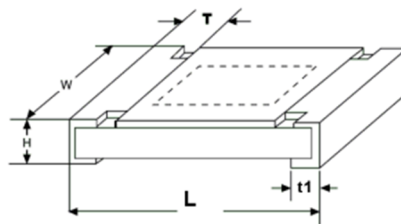


Рисунок 4.1 — Вибір резисторів. [16]

Резистори що відповідають обраному опору та мають найбільшу потужність серед SMD (Surface mounted device) елементів обидва від виробника Hitano та відрізняються точністю.



EIA Size	Power Rating (at 70°C)	L	W	H	T	t <sub>1</sub>
0201	1/20W	0.6±0.10	0.3±0.05	0.25±0.05	0.15±0.10	0.15±0.10
0402	1/16W	1.0±0.10	0.5±0.05	0.30±0.05	0.20±0.10	0.25±0.10
0603	1/10W	1.6±0.10	0.8±0.10	0.45±0.10	0.25±0.15	0.25±0.15
0805	1/8W	2.0±0.10	1.20±0.10	0.55±0.10	0.35±0.20	0.35±0.20
1206	1/4W	3.1±0.15	1.55±0.15	0.55±0.10	0.45±0.20	0.40±0.20
1210	1/3W	3.1±0.15	2.60±0.15	0.55±0.10	0.50±0.20	0.50±0.20
2010	3/4W	5.0±0.15	2.50±0.15	0.55±0.10	0.60±0.20	0.50±0.20
2512	1W	6.4±0.15	3.20±0.15	0.55±0.10	0.60±0.20	0.50±0.20

Рисунок 4.2 — Типорозміри SMD резисторів

Оскільки опори стоять у паралельних каналах, вони повинні мати невеликий розкид параметрів тому обрано резистори з найменшим доступним відхиленням SMD-2512-1-47 Ом± 1%, Hitano. На рис. 4.2 зображено зовнішній вигляд та розміри резисторів фірми Hitano.

## 2) Вибір конденсаторів

Керамічні конденсатори, з максимальним розкидом параметрів 5% та 10% не відрізнялись по вартості для обраних ємностей, тому обрано більш точні елементи.

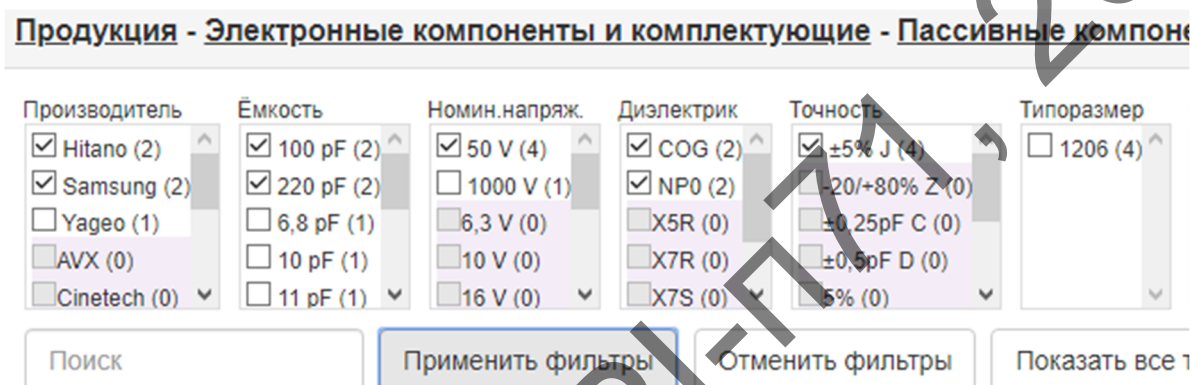


Рисунок 4.3 — Вибір конденсаторів [17]

Вибір проводився між елементами виробників Hitano та Samsung. Hitano пропонує конденсатори з діелектриком NP0 в той час як у Samsung зазначений COG. Оскільки це різні найменування одного типу діелектрика, а інші параметри рівні, вибір проводився по вартості. Вартість при замовленні від 10 одиниць складає:

Hitano – 0,8 грн,

Samsung – 0,7 грн.

На рис. 4.4 зображено зовнішній вигляд та розміри конденсаторів фірми Samsung.

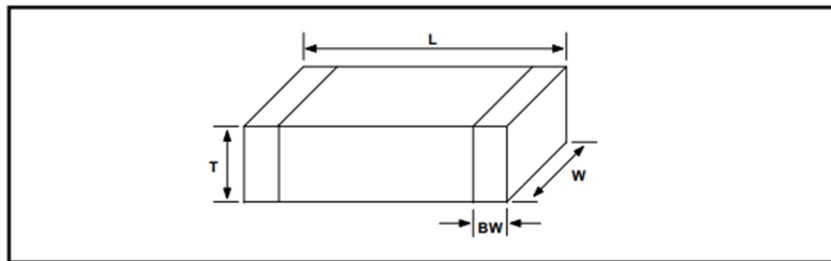
Пристрій встановлюється в кімнаті, отже спеціальних вимог по температурі до електролітичних конденсаторів немає тому елементи обираються по вартості.

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

21



CODE	EIA CODE	DIMENSION ( mm )			
		L	W	T (MAX)	BW
03	0201	0.6 ± 0.03	0.3 ± 0.03	0.33	0.15 ± 0.05
05	0402	1.0 ± 0.05	0.5 ± 0.05	0.55	0.2 +0.15/-0.1
10	0603	1.6 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.9	0.3 ± 0.2
21	0805	2.0 ± 0.1	1.25 ± 0.1	1.35	0.5 +0.2/-0.3
31	1206	3.2 ± 0.15	1.6 ± 0.15	1.40	0.5 +0.2/-0.3
		3.2 ± 0.2	1.6 ± 0.2	1.8	0.5 +0.3/-0.3

Рисунок 4.4 — Типорозміри SMD конденсаторів Samsung

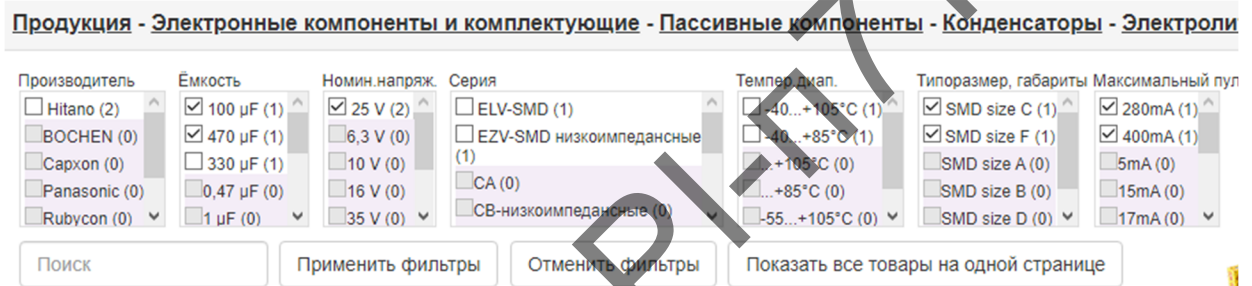


Рисунок 4.5 — Вибір електролітичних конденсаторів [18]

Конкуренція у виробника Hitano немає. Розміри та зовнішній вигляд представлені на рис. 4.6

SIZE	Dφ	L	A	C	B	W	P
A	4	5.5	4.3	4.3	5.1	0.5~0.8	1.0
B	5	5.5	5.3	5.3	5.9	0.5~0.8	1.4
C	6.3	5.7	6.6	6.6	7.2	0.5~0.8	2.0
C8	6.3	7.7	6.6	6.6	7.2	0.5~0.8	2.0
D	8	6.5	8.3	8.3	9.0	0.5~0.8	2.2
E	8	10.5	8.3	8.3	9.0	0.8~1.1	3.1
F	10	10.5	10.3	10.3	11.0	0.8~1.1	4.5

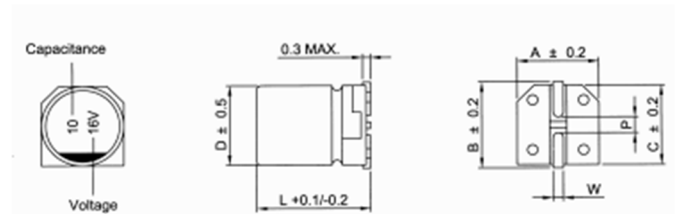


Рисунок 4.6 — Типорозміри електролітичних SMD конденсаторів

У таблиці 4.1 наведено обрані конденсатори та їх кількість на один вузол.

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

22



Таблиця 4.1 — Таблица найменувань та кількості конденсаторів на виріб

Найменування	Кількість
SMD-1206-50B-100нФ± 5%, Samsung	2
SMD-1206-50B-220нФ± 5%, Samsung	3
SMD size C8-25B-100мкФ± 20%, Hitano	6
SMD size F-25B-470мкФ± 20%, Hitano	4

3) Вибір інших елементів

До інших елементів у вузлі відносяться роз'єми та порт Jack 3.5.

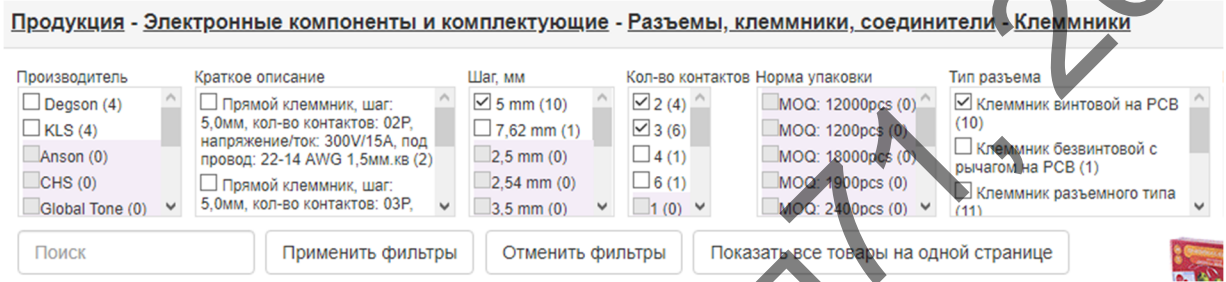


Рисунок 4.7 — Вибір роз'ємів [19]

Для зручності комутації та надійного закріплення клемників на платі обрано вивідні клемники з серії KLS2-301. По вартості вони є одними з найдешевших, у таблиці 4.2 наведено обрані роз'єми та їх кількість на один вузол.

Таблиця 4.2 — Таблица найменувань та кількості роз'ємів на виріб

Найменування	Кількість
KLS2-301-500-02P-2C	3
KLS2-301-5.00-03P-2C	1

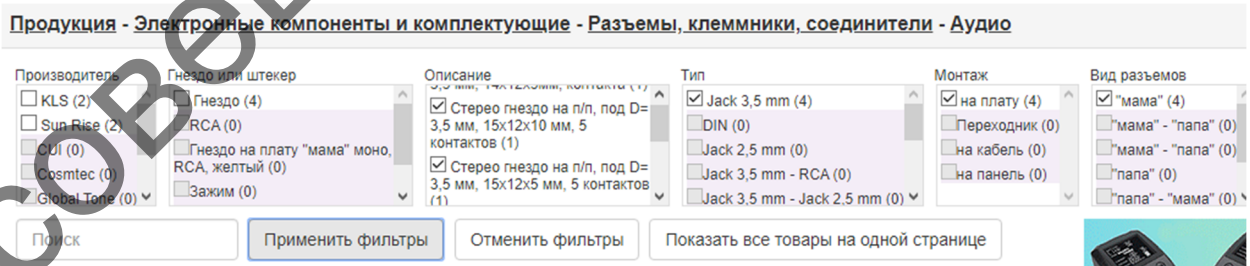


Рисунок 4.8 — Вибір порту Jack [20]

Порт Jack 3.5 обрано на п'ять виводів для відключення динаміків пристрою при під'єднанні зовнішнього засобу програвання звуку. Серед пропо-

зицій виробників, найменшу вартість пропонує фірма KLS, тому обрано порт KLS1-TSJ3.5-001A.

#### 4.1.2 Вибір активних компонентів

##### 1) Вибір мікросхем

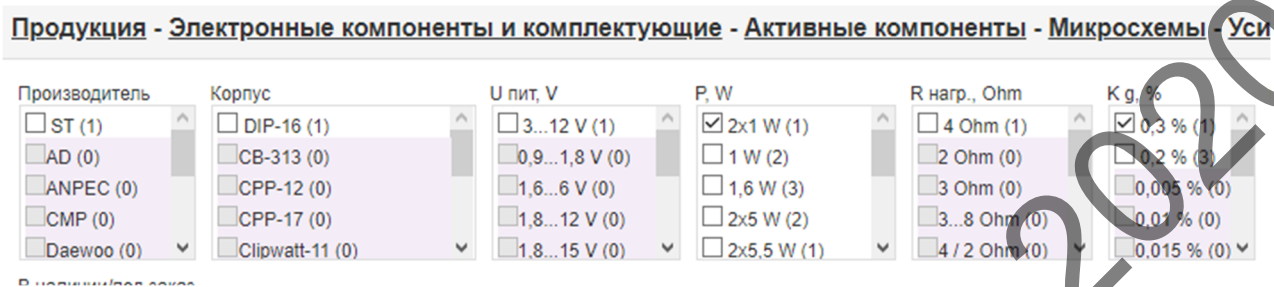


Рисунок 4.9 — Вибір підсилювача НЧ [21]

Обраний підсилювач низької частоти TEA2025B поставляється в корпусі DIP-16 (рис. 4.10). Цей підсилювач є малопотужним, та не потребує великого струму живлення. Напруга живлення від 3 до 15 В. Опір навантаження номінальній в діапазоні від 4 до 32 Ом, максимально допустимий опір навантаження 200 Ом.

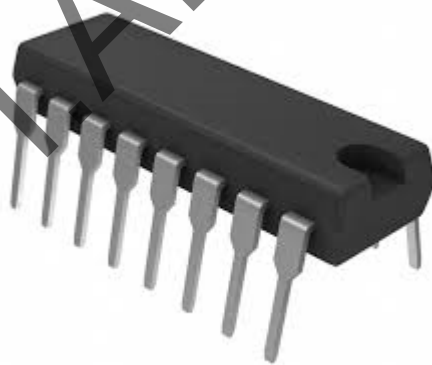


Рисунок 4.10 — Зовнішній вигляд TEA2025B

Стабілізатор напруги обрано в корпусі D-Пак.

В такому корпусі з вихідною напругою 9 В постачається тільки стабілізатор L78M09ABDT(рис. 4.12) виробника ST. Вихідний струм 0,5 А що є не-доліком, але споживання струму не перевищує дане значення.

Производитель <input type="checkbox"/> ST (1) <input type="checkbox"/> AAC (0) <input type="checkbox"/> AD (0) <input type="checkbox"/> Bay Linear (0) <input type="checkbox"/> Diodes (0)	Корпус <input checked="" type="checkbox"/> D-Pak (TO-252) (1) <input type="checkbox"/> TO-220 (3) <input type="checkbox"/> TO-220F (1) <input type="checkbox"/> D2PAK (TO-263) (0) <input type="checkbox"/> D2PAK-5 (0)	Uin, V <input type="checkbox"/> 30 V (1) <input type="checkbox"/> +/-16 V (0) <input type="checkbox"/> -40 V (0) <input type="checkbox"/> -35 V (0) <input type="checkbox"/> -30 V (0)	Uout, V <input checked="" type="checkbox"/> 9 V (1) <input type="checkbox"/> -12 V (1) <input type="checkbox"/> -5 V (2) <input type="checkbox"/> 1,2...37 V (1) <input type="checkbox"/> 1,2...37 V (1)	Iout, A <input checked="" type="checkbox"/> 0,5 A (1) <input checked="" type="checkbox"/> 1 A (0) <input type="checkbox"/> 0,01 A (0) <input type="checkbox"/> 0,02 A (0) <input type="checkbox"/> 0,03 A (0)	Udrop, V <input type="checkbox"/> 1,7 V (1) <input type="checkbox"/> 0,003 V (0) <input type="checkbox"/> 0,01 V (0) <input type="checkbox"/> 0,025 V (0) <input type="checkbox"/> 0,03 V (0)
---	--	---	---	--	--

Рисунок 4.11 — Вибір лінійного стабілізатора[22]

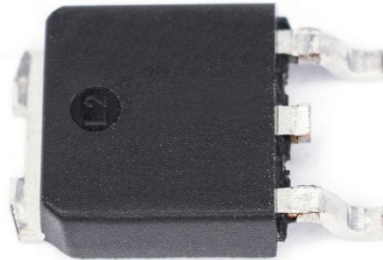


Рисунок 4.12 — Зовнішній вигляд L78M09ABDT

2) Вибір діодного мосту

Діодний міст обрано в корпусі DB-1S(рис. 4.14)

Производитель <input type="checkbox"/> Diotec (2) <input type="checkbox"/> LTN (1) <input checked="" type="checkbox"/> MIC (1) <input type="checkbox"/> TSC (5) <input checked="" type="checkbox"/> YJ (4)	Корпус <input checked="" type="checkbox"/> DBS (DB-1S, SO-DIL), SMD (5) <input type="checkbox"/> DB-1 (DIL (8.3x6.4)), DIP (3) <input type="checkbox"/> DFS (1) <input type="checkbox"/> KBP (1)	Uобр, V <input type="checkbox"/> 400 V (2) <input type="checkbox"/> 1000 V (3) <input type="checkbox"/> 9 V (0) <input type="checkbox"/> 50 V (0) <input type="checkbox"/> 65 V (0)	I пр, A <input checked="" type="checkbox"/> 1 A (5) <input type="checkbox"/> 1,5 A (2) <input type="checkbox"/> 0,2 A (0) <input type="checkbox"/> 0,5 A (0) <input type="checkbox"/> 0,8 A (0)	Тип диодного моста <input type="checkbox"/> Однофазный (5) <input type="checkbox"/> Диодная сборка (0) <input type="checkbox"/> Трехфазный (0)
---	--	--	--	---

Рисунок 4.13 — Вибір діодного мосту[23]

Вибір проводився між пропозиціями виробників YJ та MIC. По характеристикам пропозиції відрізняються лише значенням зворотної напруги, вибір за цим параметром, в даному випадку, робити недоцільно оскільки найменше запропоноване значення 400 В, що вже є великим запасом. Тому по вартості було обрано DB107S виробника YJ.

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата



Рисунок 4.14 — Зовнішній вигляд DB107S

Всі обрані елементи задовольняють вимоги завдання та є доступними.

#### 4.2 Розрахунок площі плати і вибір її розмірів

Для визначення розмірів ДП(Друкована плата) використані такі дані:

- встановлювальна площа розміщених на платі ЕРЕ(Електро-радіо елемент)  $S_m$ ;
- площа допоміжних зон  $S_o$ ;
- допустимі габарити ДП згідно з вибраним класом точності та щільності друкованого монтажу;
- умови експлуатації;
- допустимі співвідношення сторін (за жорсткістю зовнішніх впливів, способом закріплення ДП, її товщиною, тощо);

Знаючи габарити компонентів розрахуємо площу плати. Для зручності розрахунок проводився в Excel, результати зображено на рисунку 4.15 де можна побачити, що мінімальна площа плати повинна бути — 2763 мм<sup>2</sup>, з якої елементи поверхневого монтажу займають — 1151 мм<sup>2</sup>, а вивідні елементи — 1613 мм<sup>2</sup>.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Корпус	W	L	n	k	S	Ss	S(ЧІП)	S(вивід)
1206	2,6	4,2	5	1	54,6	2762,82	1150,18	1612,64
2512	4,2	8	2	1	67,2			
DB-S	8,9	10,3	2	1	183,34			
DPAK	10	6,6	1	2	132			
WCAP-AS5H_C	7,4	6,6	6	1	293,04			
WCAP-AS5H_F	10,5	10	4	1	420			
DIP-16	9,2	20	1	2	368			
SJ-1	12	12	1	2	288			
KLS2-301-500-02P-2C	7,8	10,5	3	2	491,4			
KLS2-301-500-03P-2C	7,8	15,4	1	2	240,24			
M2,5	7,5	7,5	4	1	225			

Рисунок 4.15 — Площа компонентів

Умовні позначення таблиці: W — ширина елементів; L — довжина елементів; n — кількість елементів; k — коефіцієнт форми; S — загальна площа елементів певного корпусу; Ss — мінімальна площа плати; S (ЧІП) — загальна площа елементів поверхневого монтажу; S (вивід) — загальна площа вивідних елементів.

Оскільки відсутні особливі вимоги до розміщення елементів за тепловими або частотними параметрами, обрано плату стандартної, прямокутної, форми з чотирма кріпильними отворами у кутах. Обраний розмір плати 50x60 мм, тобто загальна оптимальна площа плати — 3000 мм<sup>2</sup>

### 4.3 Розрахунок діаметра монтажних отворів та розмірів контактних майданчиків

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу за формулою:

$$Dk = Dv + 0,3 ,$$

де Dk — розміри контактних майданчиків; Dv — розміри виводів.

Отримані значення наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 — Розміри для елементів поверхневого монтажу

Назва елемента	<i>Dv, мм</i>	<i>Dk, мм</i>
R1, R2	3,35 x 0,70	3,65 x 1,00
C1, C2, C5, C8, C10, C11	0,80 x 2,75	1,10 x 3,05
C3, C4, C9, C14, C15	1,80 x 0,80	2,10 x 1,10

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

27

Назва елемента	$D_v$ , мм	$D_k$ , мм
C6, C7, C12, C13	1,10 x 3,35	1,40 x 3,65
DA1	1,50 x 0,90	1,80 x 1,20
	5,10 x 4,70	5,40 x 5,00
VD1	1,10 x 1,50	1,40 x 1,80

Розрахуємо діаметри отворів для вивідних елементів за формулою:

$$D_o = D_v + 0,2$$

де  $D_o$  — розміри отворів для вивідних елементів.

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для вивідних елементів за формулою:

$$D_k = D_o + 0,6$$

За умови  $D_o \geq 1,1$  розміри контактних майданчиків розрахуємо за формулою:

$$D_k = D_o + \frac{2}{3} D_o$$

Отримані значення наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.4 — Розміри для вивідних елементів

Назва елемента	$D_v$ , мм	$D_o$ , мм	$D_k$ , мм
DA2	0,7	0,8	1,3
J1	1	1,2	2
X1	1	1,2	2

Оскільки мінімальний діаметр отвору складає 0,8 мм, допускається робити перехідні отвори такого самого діаметру.

#### 4.4 Вибір класу точності друкованої плати та щільність друкованого монтажу

Для розроблюваної друкованої плати обрано третій клас точності виготовлення для мікросхем зі штирьовими і планарними виводами при серед-

ньому і високому насичені елементами згідно ГОСТ 23751-86. Також метод виготовлення ДП допускає обраний клас точності.

Таблиця 4.5 — Клас точності ДП

№	Умовні позначення елементів друкованого монтажу	Клас точності друкованої плати				
		1	2	3	4	5
1	t, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
2	s, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
3	b, мм	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025
4	$\gamma = d/H$	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2
5	$\Delta t$ , мм (без покриття)	$\pm 0,15$	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	$-0,03$
6	$\Delta t$ , мм (з покриттям)	-0,2	-0,1	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
7	T <sub>1</sub> , мм (ОПП, ДПП, ГПК і МПП — по верхневі шари)	0,15	0,1	0,05	0,03	0,03
8	T <sub>1</sub> , мм (МПП — по верхневі шари)	0,2	0,12	0,1	0,05	0,03

Матеріалом плати обрано фольгований склотекстоліт FR4-2 35/35 2mm, ТУ И03.0107.006-94.

#### 4.5 Розрахунок ширини друкованих провідників

Ширина друкованих провідників залежить від максимальних струму та напруги що проходять через сигнальні та силові ланцюги. Після аналізу завдання визначено, що для сигнальних провідників  $I_{\max} = 0,040$  А, а для силових  $I_{\max} = 0,5$  А. Було розраховано мінімальну ширину друкованих провідників у вузькому та широкому місці за допомогою формули:

$$t_1 = t_{\min} D_s + |\Delta t_{\text{но}S}|,$$

де  $t_{\min} D_s$  — мінімальне значення ширини друкованого провідника;  $\Delta t_{\text{но}S}$  — допуск ширини провідника.

Відповідно мінімальна ширина друкованого провідника у вузькому місці  $t_{1B} = 0,3$  мм, а мінімальна ширина друкованого провідника у широкому місці визначається по параметрам на один клас точності нижче, тобто  $t_{1ш} = 0,55$  мм.

Мінімальна допустима ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%) розраховується за формулою:

$$t_2 = \frac{l_p \cdot I_{max_p} \cdot \rho}{h_p \cdot U_p \cdot 0,03},$$

де  $l_p$  — довжина провідника;  $I_{max_p}$  — максимальний струм у провіднику;  $\rho$  — питомий опір провідників;  $h_p$  — товщина фольги провідника;  $U_p$  — прикладена напруга на провідник.

Для сигнальних провідників  $U_p = 5$  В, для силових 9 В. За довжину провідника прийнято довгу сторону плати в метрах.

$$t_{2s} = 0,008 \text{ мм},$$

$$t_{2p} = 0,055 \text{ мм}.$$

де  $t_{2s}$  — мінімальна ширина сигнального провідника;  $t_{2p}$  — мінімальна ширина силового провідника.

Мінімальна допустима ширина провідника з урахуванням допустимого рівня струму на ньому розраховується за формулою:

$$t_3 = \frac{I_{max_p}}{h_p \cdot j_p},$$

де  $I_{max_p}$  — максимальний струм;  $h_p$  — товщина фольги;  $j_p$  — допустима щільність струму в провіднику.

$$t_{3s} = 0,057 \text{ мм},$$

$$t_{3p} = 0,715 \text{ мм}$$

Для зручності сприйняття результатів розрахунків створено таблицю в Excel яка приведена на рис. 4.16:

Name	I	U	t1	t2	t3	tmin
Силова	500мА	9В	0,30/0,55 мм	0,067 мм	<b>0,715 мм</b>	0,8 мм
Сигнальна	40мА	5В	0,30/0,55 мм	0,008 мм	0,057 мм	0,4/0,6 мм

Рисунок 4.16 — Узагальнюючі результати



По технологічним вимогам ширина провідників була округлена до десятих мм в більшу сторону та складає для силових провідників 0,8 мм. Для сигнальних провідників 0,4 мм у вузькому місці, 0,6 мм у широкому місці.

#### 4.6 Результати проектування друкованого вузла

Відповідно до отриманих результатів розрахунків та обраних елементів в середовищі програми Altium Designer були створені та адаптовані елементи з футпрінтами для проектування друкованого вузла по сформованій раніше принциповій схемі. При проектуванні в першу чергу було створено друковану плату розрахованих розмірів та розміщено заборонені зони навколо монтажних отворів. Після чого було розміщено вивідні елементи — роз'єми по периметру плати, мікросхема по центру. Далі встановлювались елементи поверхневого монтажу які розташовувались попарно симетрично. Провідники було розведено з дотриманням усіх правил, а саме дотримана мінімальна відстань між провідниками, по можливості провідники проведено найкоротшим шляхом та відсутні "антени"

Топологія верхнього та нижнього шару зображена на рисунках 4.17 та 4.18 відповідно.

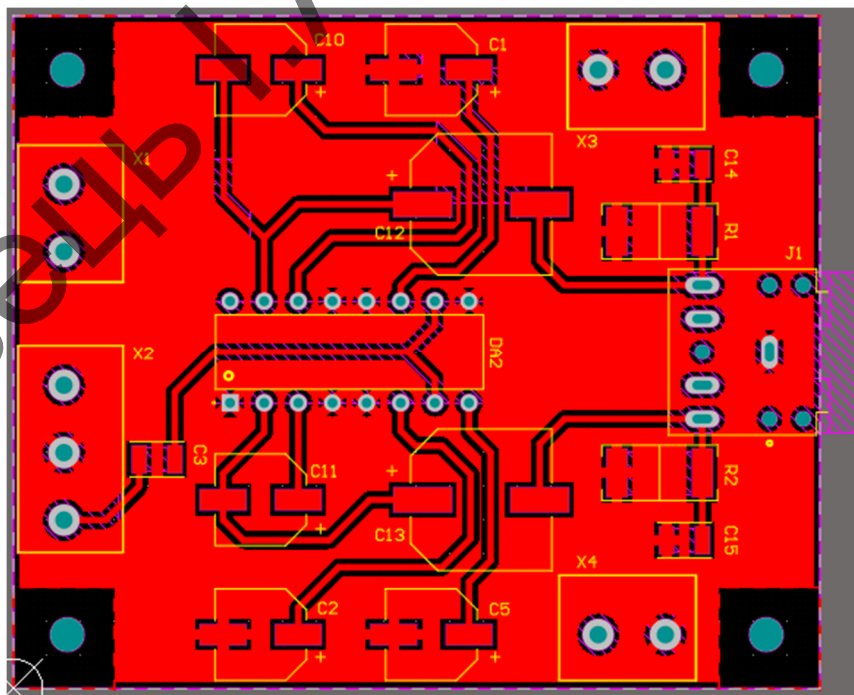


Рисунок 4.17 — Топологія верхнього шару.

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

31

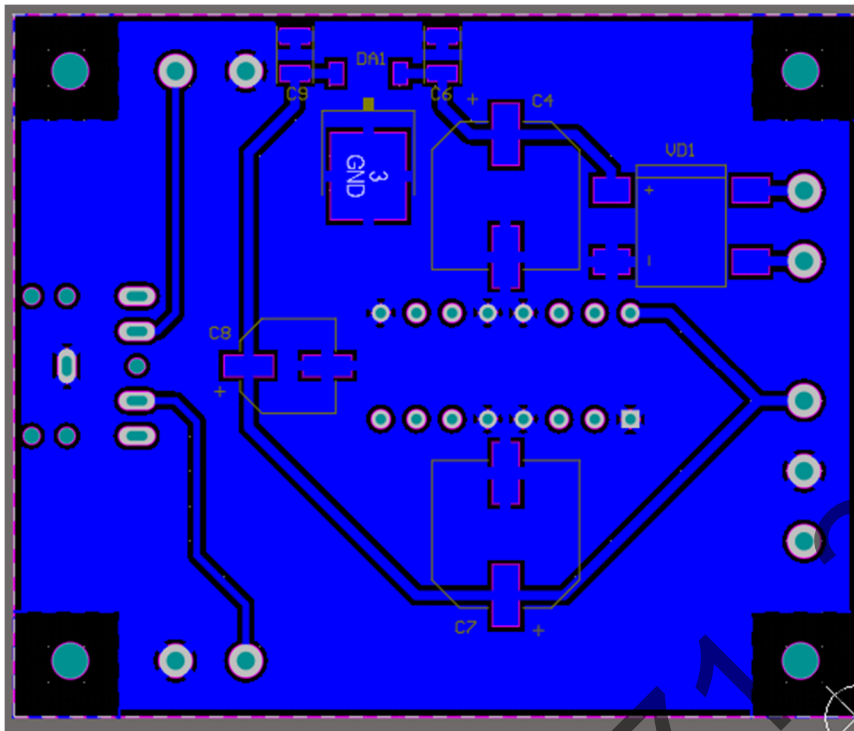


Рисунок 4.18 — Топологія нижнього шару.

При розміщенні всіх елементів поверхневого монтажу на одній стороні плати виникли труднощі, тому було прийнято рішення елементи "силової" частини схеми розмістити на зворотній стороні.

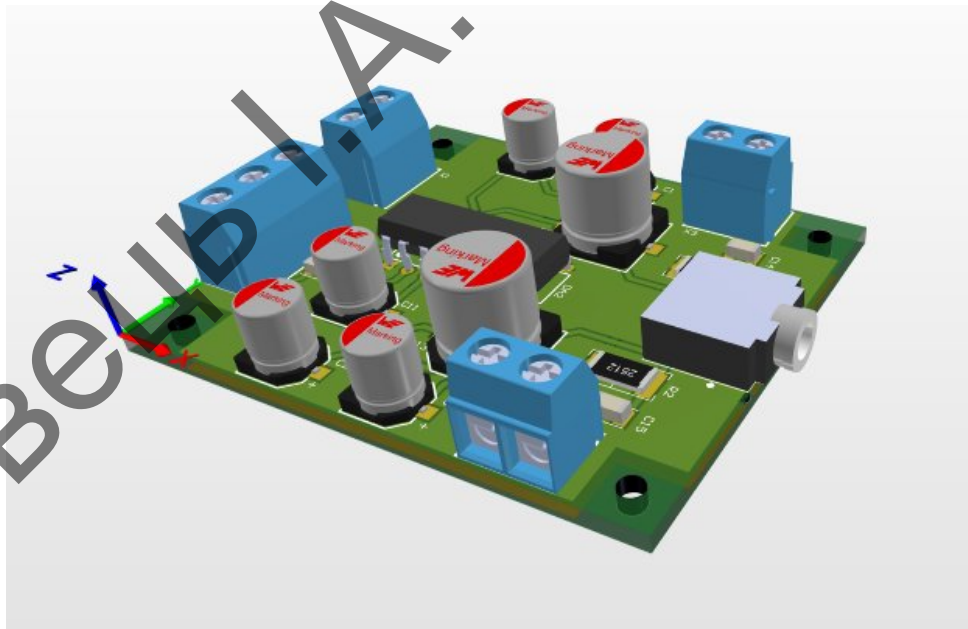


Рисунок 4.19 — Друкований вузол

На рисунку 4.19 зображено зовнішній вигляд спроектованого друкованого вузла в середовищі Altium Designer.

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

## 4.7 Опис конструкції

Розроблена конструкція пристрою відповідає габаритним розмірам вказаним у технічному завданні, загальний вигляд пристрою в середовищі SolidWorks зображено на рисунку 4.20.

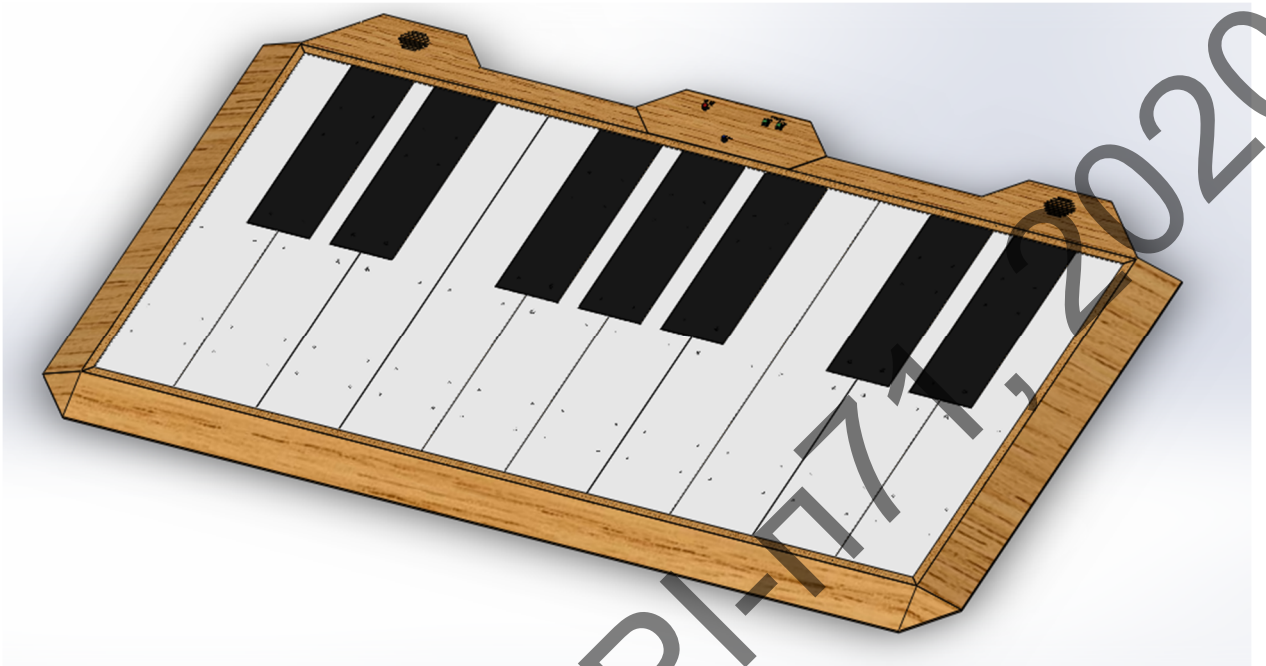


Рисунок 4.20 — Зовнішній вигляд виробу

Вузол підсилювача НЧ разом з Arduino Uno розміщуються на стійках в центральній верхній частині корпусу рис. 4.21. На центральній панелі розміщені кнопки перемикання режимів, регулятор гучності та кнопка живлення.

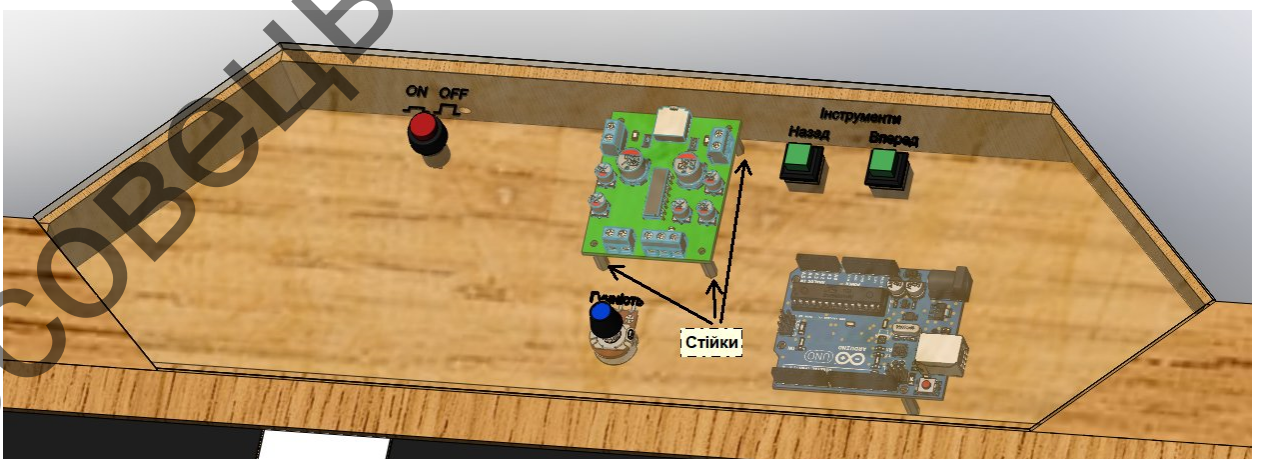


Рисунок 4.21 — Центральна панель та розміщення плат

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

33

На торцевій стороні центральної панелі знаходиться доступ до роз'єму Jack 3.5 та вивід кабелю живлення рис. 4.22. Динаміки рознесені по бокам верхньої панелі.

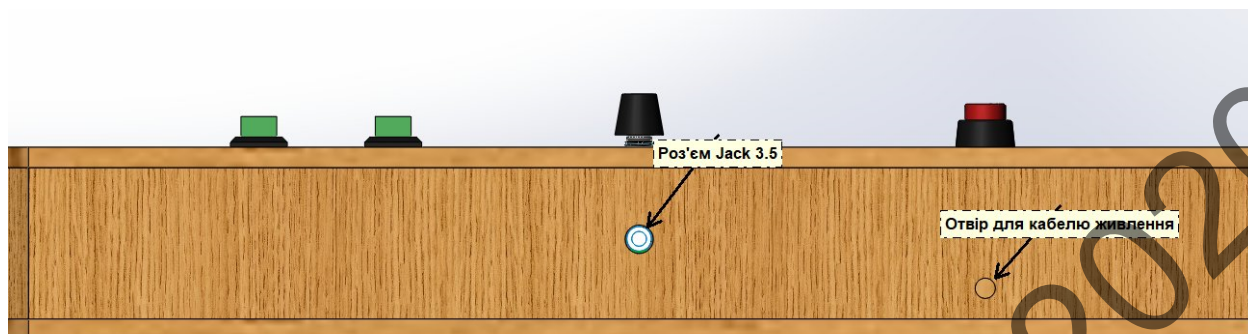


Рисунок 4.22 — Торцева сторона центральної панелі

Більшу частину пристрою займають клавіші, "відтискання" клавіш відбувається за рахунок пружин. Для запобігання випадіння клавіш поперек них в корпусі встановлені балки за які ті тримаються петлями, ці ж балки не дають вдавлювати клавіші рис.4.23 та рис.4.24.

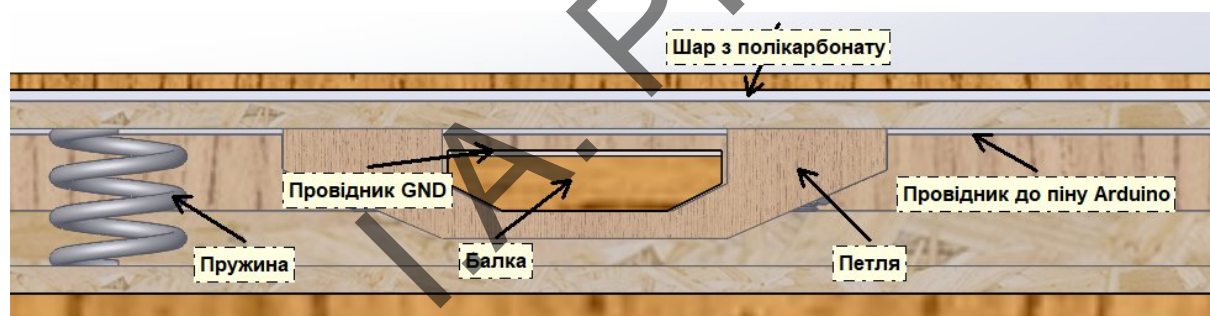


Рисунок 4.23 — Конструкція кнопки, вигляд з боку

На верхній стороні балок прокладено тонкий шар сталі під'єднаний до землі, а вздовж клавіш на їх нижній стороні закріплено шар сталі під'єднаний до відповідного контакту, поки на клавіші не діє вага пружини не дають контактам замкнутись. При натисканні на клавішу провідник закріплений на ній стикається з провідником під'єднаним до землі що замикає контакт та спрацьовує програвання звуку відповідної ноти.

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

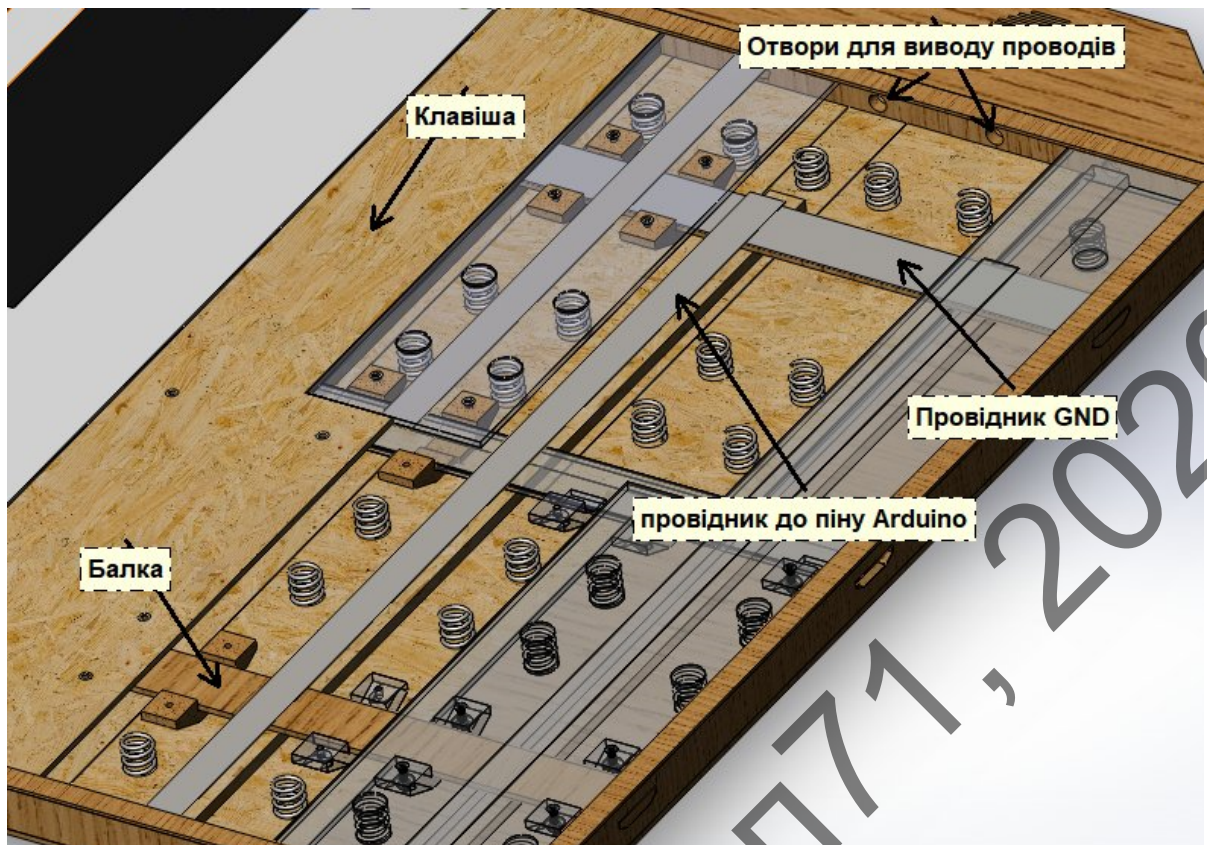


Рисунок 4.24 — Конструкція кнопок, загальний вид

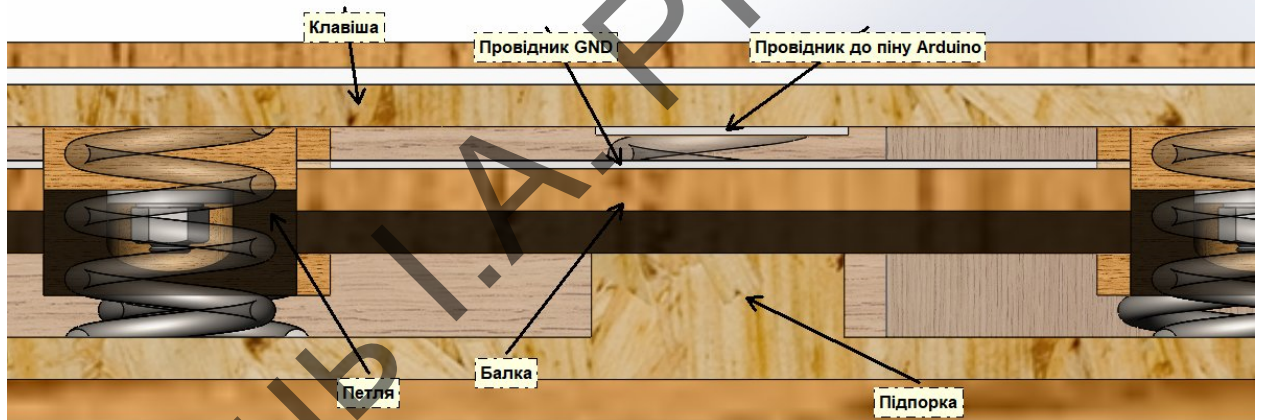


Рисунок 4.25 — Конструкція кнопок, вид з переду

Для виключення можливості поломки балок, під ними вздовж клавіш встановлені підпорки що не дають балкам сильно прогинатись що видно на рисунку 4.25.

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

35

## 5 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВУЗЛА

При розробці пристрою важливо забезпечити виконання певних функцій при збереженні значень параметрів в межах, заданих нормативно-технічною документацією при певних умовах експлуатації. Тому, потрібно враховувати надійність і механічну дію на розроблюваний пристрій. Тепловий розрахунок робити немає необхідності оскільки елементів що постійно та в великих об'ємах виділяють тепло не застосовано.

### 5.1 Розрахунок надійності

Розрахунок проведено за методичними вказівками[24].

Умови для розрахунку напрацювання на відмову:

- відмова будь-якого елемента електронного пристрою призводить до його відмови загалом;
- відмови елементів – випадкові і взаємонезалежні події;
- інтенсивності відмов ( $\lambda_0$ ) або потоки відмов ( $\omega_0$ ) не залежать від часу, тобто  $\lambda_0 = const$  і  $\omega_0 = const$ .

Робочу інтенсивність відмов кожного елемента визначено за формулою:

$$\lambda_p = \lambda_0 \cdot K_1 \cdot K_E \cdot K_H$$

де  $\lambda_p$  – робоче значення інтенсивності відмов;  $\lambda_0$  – середньостатистичне значення інтенсивності відмов;  $K_1$  – поправний коефіцієнт, що враховує теплове та електричне навантаження;  $K_E$  – поправний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації;  $K_H$  – коефіцієнт навантаження.

Пристрій знаходиться в побутових стаціонарних умовах, тому  $K_E = 2$  для всіх елементів.

Таблиця 5.1 — Параметри надійності елементів пристрою

Назва елемента	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ , 1/год	$K_1$	$K_H$	Кількість елементів	$\lambda_p \cdot 10^{-6}$ , 1/год
Конденсатори керамічні	0,7	0,01	0,1	5	0,007
Конденсатори електро- літичні	3	0,4	0,25	9	5,4

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

36

Назва елемента	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ , 1/год	$K_1$	$K_n$	Кількість елементів	$\lambda_p \cdot 10^{-6}$ , 1/год
Мікросхеми	3	0,3	0,5	2	1,8
Порт Jack 3.5	0,5	0,4	0,01	1	0,004
Резистори	0,06	0,5	0,2	2	0,024
Діодний міст	0,5	0,55	0,7	1	0,385
Роз'єми клемники	0,5	0,3	0,01	4	0,012
Паяння друк. монтажу	0,15	1	1	69	20,7
Плата двостороння	1	1	1	1	2

Визначено потік відмов за формулою:

$$\omega = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \cdot N_i = 3,0332 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{год}}$$

де  $\omega$  – потік відмов;  $n$  – кількість елементів;  $\lambda_{pi}$  – робоче значення інтенсивності відмов;  $N_i$  – Кількість елементів кожного типу.

Розраховано час безвідмовної роботи за формулою:

$$T_0 = \frac{1}{\omega} \approx 32968 \text{ год}$$

де  $T_0$  – час напрацювання на відмову.

Отримане теоретичне значення напрацювання на відмову, при експлуатаванні пристрою 24 години, 7 днів на тиждень прилад здатен пропрацювати три з половиною роки що відповідає вимогам технічного завдання.

## 5.2 Розрахунок вібростійкості

Проведено розрахунок стійкості плати до вібрацій.

Вхідні дані:

- довжина плати  $a = 0,060$  м;
- ширина плати  $b = 0,050$  м;
- товщина плати  $h = 2 \cdot 10^{-3}$  м.

Характеристики матеріалу плати що необхідні для розрахунку:

- щільність  $\rho = 2,05 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;
- модуль пружності  $E = 3,02 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

— коефіцієнт Пуассона  $\mu = 0,22$ .

Маса елементів на платі  $M \approx 0,074$  кг.

Розрахунок приведеної маси плати:

$$m_p = \rho \cdot h = 4,1 \text{ кг/м}^2$$

Розрахунок приведеної маси плати з деталями:

$$m = m_p + m_e = 28,7 \text{ кг/м}^2$$

Розрахунок циліндричної жорсткості:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = 21,15 \text{ Н/м}$$

Розрахунок співвідношення сторін плати:

$$\beta = \frac{a}{b} = 1,2$$

Розрахунок функції для кріплення плати в чотирьох кутах:

$$\varphi(\beta) = \pi^2 \sqrt{\frac{1 + 1,621 \cdot \frac{\mu}{\beta} + \frac{1}{\beta^2}}{1 + 1,621 \cdot \frac{1}{\beta^3} + \frac{1}{\beta^6}}} = 7,4$$

Розрахунок резонансної частоти плати:

$$f_0 = \frac{\varphi(\beta)}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D}{m}} \approx 281 \text{ Гц}$$

Зовнішній вібраційний вплив за технічним завданням сягає значення 70 Гц що у чотири рази менше резонансної частоти плати, тим самим задовольняє критерій вібраційної міцності.

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

PI71.334149.001 ПЗ

Лист

38



## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Робота над дипломним проектом потребує використання засобів обчислювальної техніки, тому в даному розділі розглянуто технічні рішення та практичні заходи для створення безпечних умов праці при роботі з ПЕОМ (персональна електронно-обчислювальна машина). Також приділено увагу шкідливим факторам що виникають при виготовлені друкованих плат.

### 6.1 Шкідливі фактори при роботі з ПЕОМ

Основними шкідливими та небезпечними факторами на робочому місці з ПЕОМ є:

- Недостатня освітленість робочого місця
- Підвищений рівень шуму
- Значна напруга органів зору і пов'язане з цим перевтомлення
- Тривале перебування в положенні сидючи
- Можливість ураження електричним струмом
- Можливість виникнення пожежі

#### 6.1.1 Освітлення робочої зони

Робоча зона має два чинники освітлення природне та штучне. Джерелом природнього освітлення – вікно площею:

$$S' = 0,9 \cdot 1,8 = 1,6 \text{ м}^2$$

Вікно виконує роль бокового освітлення. Загальний обсяг освітленості у робочій кімнаті має складати 200-400 лк, так як робота за екраном монітора відноситься до III розряду робіт за нормами штучного та природного освітлення виробничих приміщень [25].

Для перевірки параметрів штучного освітлення на відповідність нормам обрахуємо наявний світловий потік. Від енергозберігаючої лампи SL-469/1 виходить 4250 лм. В робочій кімнаті використовується плафон на три лампи. Висота підвісу визначається за формулою:

$$h = H - h_c - h_p - h_n$$

					PI71.334149.001 ПЗ	Лист
						39
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

де  $H = 2.6$  м – висота приміщення, м;  $h_c = 0.1$  м – висота світильника, м;  $h_p = 0.7$  – висота робочої поверхні, м;  $h_n = 0.1$  – відстань від стелі до підвісу.

Світильник встановлено на стелі посередині кімнати, відстань до стін 1,5 метри. За визначеними даними розраховується освітленість в конкретній робочій точці, використавши метод коефіцієнта використання світлового потоку.

Формула для розрахунку світлового потоку:

$$\Phi_{л} = \frac{K_3 \cdot E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n}$$

де:  $K_3 = 1.5$  - коефіцієнт запасу;  $N = 3$  - число світильників в кімнаті;  $\Phi_{л} = 4250$  Лм - світловий потік лампи SL-469/1;  $n = 0,42$  – коефіцієнт використання світлового потоку;  $Z = 1,1$  – коефіцієнт нерівномірності;  $S = 9$  м<sup>2</sup> – площа приміщення;  $E$  – освітленість, створювана всіма світильниками.

Освітленість на робочому місці виражаємо через формулу:

$$E = \frac{\Phi_{л} \cdot N \cdot n}{K_3 \cdot S \cdot Z} \approx 360 \text{ Лк}$$

Отже освітленість на робочому столі відповідає розряду зорових робіт.

### **6.1.2 Вплив шуму та вібрації**

Головним джерелом шуму у робочому приміщенні є персональна обчислювальна машина. Кулери комп'ютера мають низький рівень шуму, оскільки вони оснащені спеціальними сучасними підшипниками. Відповідно до технічної документації, що йшла в комплекті разом з електронікою, шум у блоці живлення комп'ютера складає 7-12 дБ, Кулера встановленого на процесорі також 7-12 дБ, а разом близько 20 дБ. Також враховуючі незначний шумовий рівень іншої техніки в приміщенні та низький рівень фонового шуму, сумарно усі шумові забруднення не перевищують допустимого рівня коригованої звукової потужності у 50 дБ.

Загалом на робочому місці вібрації не будуть перевищувати допустимих норм.

					<b>PI71.334149.001 ПЗ</b>	Лист
						40
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

### **6.1.3 Заходи по нормалізації умов праці**

У відповідності до [26] площина екрана монітору повинна бути виставлена перпендикулярно нормалі лінії зору. Також повинна бути можливість переміщення монітору навколо вертикальної осі в межах  $\pm 30^\circ$  та нахилу вперед до  $85^\circ$  і назад до  $105^\circ$  з фіксацією положення. Клавіатура повинна розміщуватись на поверхні столу на відстані 100-300 мм від краю поверхні робочого простору столу. Кут нахилу клавіатури повинен бути в межах  $5-15^\circ$  так щоб зап'ястя розташовувалися горизонтально до площини столу. Робоче місце повинно бути розташовано так щоб природне освітлення падало переважно з лівого боку.

Для зниження втомленості зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, підвищення фізичної активності та зниження нервово-емоційного напруження рекомендується робити перерви в роботі на виконання комплексів вправ передбачених у ДСанПіН 3.3.2.007 – 98.

### **6.1.4 Електробезпека**

Згідно ГОСТ 12.2.007.0-75 способом захисту людини від ураження електричним струмом системні блоки ПЕОМ мають I клас по електрозахисту, а периферійні пристрої відносяться до II та III класів за електрозахистом.

Приміщення відноситься до сухих, так як відносна вологість у приміщеннях не перевищує 60%.

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом, згідно з ПУЕ, дане приміщення відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, тому що в ньому відсутні умови, які створюють підвищену або особливу небезпеку: вологість, струмопровідний пил, хімічно активне середовище, струмопровідна підлога, підвищена температура, а також можливість випадкового дотику до металевих частин електрообладнання з одного боку, та до заземлених частин металоконструкцій будівлі і технічного обладнання з іншого боку.

ЕОМ, периферійні пристрої, інше устаткування, електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту відповідають класу зони за ПВЕ,

					<b>PI71.334149.001 ПЗ</b>	Лист
						41
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

мають апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Заземлення відповідає вимогам [27] “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”.

Для протирання підлоги застосовують рідини, пара яких не утворює вибухонебезпечних та пожежонебезпечних сумішей з повітрям та не викликає корозії контактів електричних з'єднань.

Захист від ураження електричним струмом для даного приміщення забезпечується недоступністю струмоведучих частин, що знаходяться під напругою від випадкового дотику, організацією безпечної експлуатації електронагрівальних приладів а також зануленням устаткування використовуючи автомати струмового захисту. При наявності занулення замикання фази на корпус перетворюється в одноразове коротке замикання струму, від якого спрацьовує пристрій максимального струмового захисту і вимикає пошкоджений електроприлад.

Виконаємо розрахунок електромережі на здатність переривання електромережі що включає знаходження величини струму КЗ(коротке замикання) і розрахунок номінального струму спрацювання пристрою максимального струмового захисту.

Вихідні дані для розрахунку:

$U_{\phi}=220$  В – фазна напруга;

трьохжильний кабель  $3 \times 1,5$  мм<sup>2</sup> плюс  $1 \times 0,85$  мм<sup>2</sup>, матеріал – алюміній( $\rho=0,031$  Ом мм<sup>2</sup>/м);

$L=200$  м – відстань від трансформатора до споживача;

Розраховано активний опір фазного та нульового проводів:

$$r_H = r_{\phi} = \frac{\rho \cdot L}{S_{\phi}} = 4,13 \text{ Ом}$$

Струм однофазового КЗ знаходиться по формулі:

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{U_{\phi}}{r_H + r_{\phi} + r_u} = 25,7 \text{ А,}$$

де  $r_u = 0,3$  Ом – опір трансформатора потужністю 250 Вт.

					<b>PI71.334149.001 ПЗ</b>	Лист
						42
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Номінальний струм спрацювання автомату струмового захисту розраховується за формулою ( $K$  – необхідна кратність струму КЗ до струму спрацювання автомату струмового захисту):

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{I_{\text{КЗ}}}{K} = \frac{25,7}{1,4} = 18,4 \text{ А}$$

З розрахунків видно, що при однофазному КЗ номінальний струм спрацювання автомату захисту повинен бути рівним 20 А.

При однофазному КЗ нульовий провід і з'єднаний з ним корпус електроустаткування за час спрацювання максимального струмового захисту знаходяться під напругою відносно землі:

$$U_{\text{дот}} = I_{\text{КЗ}} \cdot r_H = 76 \text{ В}$$

Розрахована напруга  $U_{\text{дот}} < U_{\text{дот.доп.}}$  у відповідності з ГОСТ 12.1.038-88 при  $t < 0,2 \text{ с}$  ( $U_{\text{дот.доп.}} = 250 \text{ В}$ ).

#### **6.1.5 Пожежна безпека**

Приміщення офісу має у собі матеріали, що можуть легко горіти, такі як деревина, пластик, папір, тканини, тощо. Промисловий пил та волокна, а також горючі рідини в приміщенні не знаходяться і не виробляються, тому у відповідності до [28] даний простір відноситься до робочої зони II-Па, а також у відповідності до [29] до категорії В вибухопожежної небезпеки.

Оскільки в приміщенні знаходиться дорога обчислювальна техніка, то надзвичайна ситуація така як пожежа може призвести до серйозних матеріальних втрат.

Причини виникнення пожежі можуть бути такі:

- коротке замикання проводки;
- паління в недозволених місцях;
- користування побутовими електронагрівальними приладами.

Щоб уникнути небажаних наслідків треба запровадити спеціальний комплекс заходів та правил, що будуть активно регулювати надзвичайні ситуації у приміщенні, а саме:

					<b>PI71.334149.001 ПЗ</b>	Лист
						43
Зм.	Лист	№ док.м.	Підпис	Дата		

- Попередження персоналу про заборону використання відкритого вогню в приміщеннях.
- Встановлення автоматичних вимикачів ланок мережі у разі виникнення перевантаження чи замикання в системі
- Ознайомлення персоналу із правилами поведінки в офісах а також у питаннях, пов'язаних з охороною праці.
- Встановлення системи пожежної сигналізації, яка буде реагувати на дим чи відкритий вогонь.
- Розробка детального плану евакуації із приміщення та ознайомлення усіх робітників з ним.

У будинку, де знаходиться робоче приміщення, є два виходи. З робочої кімнати можна вийти лише одним шляхом, бо в ньому працює менше, ніж 25 співробітників.

У робочій кімнаті на постійній основі знаходяться ручні вуглекислотні вогнегасники ВВК-1.4. А у коридорі знаходиться пінний вогнегасник ВВП.

Отже можна зробити висновок, що приміщення відповідає усім нормам пожежної безпеки.

## 6.2 Фактори що виникають при виготовлені ДП

Під час виконання процесів виготовлення друкованих плат можуть виникнути такі небезпеки як: ураження струмом, опіки, отруєння, травмування, негативний вплив шуму та вібрацій.

Велика кількість речовин та матеріалів, що застосовуються при виготовлені друкованої плати, є небезпечними для здоров'я людини. Небезпека викликана можливістю потрапляння парів речовин в організм людини через органи дихання або шкіру. До ураження верхніх дихальних шляхів може привести вдихання речовин у будь-якому агрегатному стані. Через їжу та воду частки шкідливих речовин можуть потрапити у травний тракт. Для шкіри особливо небезпечними речовинами являються концентровані кислоти, луги та розчинники.

					<b>PI71.334149.001 ПЗ</b>	Лист
						44
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Ручні роботи при виготовлені ДП допустимі при використанні засобів індивідуального і колективного захисту працівників та відсутності в технологічному процесі речовин 1 та 2 класів небезпеки, таких як свинець. Тому при виготовлені розроблюваного пристрою обов'язковим є використання без свинцевих припою та паяльної пасти.

Особливо увагу потрібно приділити заміні токсичних речовин на менш токсичні та заміні шкідливих операцій на більш безпечні, наприклад використання присадок дозволяє знизити витрати на вентиляцію. Кожне робоче місце має бути обладнано витяжною вентиляцією, а працівники застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, очей та шкіри.

КОСОВЕЦЬ І.А. РІ-ПТ1, 2020

					<i>PI71.334149.001 ПЗ</i>	Лист
						45
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу існуючих рішень визначено їх функціонал та переваги. Перевагою є надійність жорстких конструкцій до регулярного механічного впливу, недоліком такої конструкції є вартість, що може сягати десятків тисяч доларів, тому вирішено реалізувати більш дешевий пристрій з функціоналом подібним аналогам.
2. По розробленій структурній схемі визначено три головні вузли пристрою: блок живлення, контролер Arduino та підсилювач низької частоти. Програмно Arduino забезпечує більшу частину функціоналу пристрою, а підсилювач необхідний для забезпечення автономної гри. В результаті аналізу готових схемотехнічних рішень синтезовано принципову схему яка включає в себе стабілізуючий каскад блоку живлення та підсилювач з клемниками для комутації з іншими вузлами приладу та виводом сигналу на порт Jack 3.5
3. Після вибору компонентів проведено розрахунки параметрів друкованої плати по результатам яких спроектовано друкований вузол в середовищі Altium Designer.
4. Проведено розрахунки що підтверджують працездатність вузла, а саме вібраційної стійкості що показали резонансну частоту плати 281 Гц що в чотири рази більше зовнішнього вібраційного впливу за технічним завданням та розрахунок надійності за яким час безвідмовної роботи складає 32968 годин.

					<i>PI71.334149.001 ПЗ</i>	Лист
						46
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Атракціон «Напольное пианино» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://xrent.com.ua/product/napolnoe-pianino/>
2. Музичний килимок Fisher Price 2615 «Гигантское музыкальное пианино» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/ua/92597840/p92597840/>
3. Fisher Price 2615 Giant Piano Music Mat [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.walmart.com/ip/Fisher-Price-Giant-Piano-Music-Mat/55825541>
4. Атракціон «Monster Piano» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.monsterpiano.com/products.php>
5. Ігровий килимок EvoLife «Музыкальное напольное пианино» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://vdomedetki.ru/kovriki-muzykalnye/5171-igrovoy-kovrik-evolife-muzykalnoe-napolnoe-pianino-zippy-mat-260-x-74-sm-.html>
6. Атракціон «Пианино Великан» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://пианино-великан.рф/купить>
7. «Напольное пианино» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://activitypark.kz/p35781819-napolnoe-pianino.html>
8. ГОСТ 16019-2001 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://docs.cntd.ru/document/gost-16019-2001>
9. Класифікатор ЕСКД [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://classinform.ru/ok-eskd/kod.html>
10. Методи виготовлення друкованих плат [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://studopedia.org/6-116440.html>
11. Схема акустичної системи GENIUS SP-200 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://radiostorage.net/4304-skhema-akusticheskoy-sistemy-genius-sp-200.html>

12. GENIUS SW-G106, принципиальная схема активной АС [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://radiostorage.net/4411-genius-sw-g106-principialnaya-skhem-aktivnoj-as.html>
13. Схема усилителя ЗЧ для компьютера на микросхеме AN5285 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://radiostorage.net/5222-skhem-usilitelya-zch-dlya-kompyutera-na-mikroskhem-an5285.html>
14. Автомобильный усилитель ЗЧ на микросхеме TDA1519C [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://radiostorage.net/5221-avtomobilnyj-usitel-zch-na-mikroskhem-tda1519c-2x11w.html>
15. Схема простого усилителя для стерео наушников 32 Ом (КТ3102, КТ502, КТ503) [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://radiostorage.net/3902-skhem-prostogo-usilitelya-dlya-sterео-naushnikov-32-om-kt3102-kt502-kt503.html>
16. Вибір резисторів — Режим доступу : <https://www.rcscomponents.kiev.ua/catalog/2512/185>
17. Вибір конденсаторів — Режим доступу : <https://www.rcscomponents.kiev.ua/catalog/1206/79>
18. Вибір електролітичних конденсаторів — Режим доступу : <https://www.rcscomponents.kiev.ua/catalog/elektroliticheskie-smd/490>
19. Вибір роз'ємів — Режим доступу : <https://www.rcscomponents.kiev.ua/catalog/klemmniki/285/sort=prices>
20. Вибір порту Jack — Режим доступу : <https://www.rcscomponents.kiev.ua/catalog/audio/491>
21. Вибір підсилювача низької частоти — Режим доступу : <https://www.rcscomponents.kiev.ua/catalog/usiliteli-nizkoj-chastoty/469>
22. Вибір лінійного стабілізатора — Режим доступу : <https://www.rcscomponents.kiev.ua/catalog/stabilizatory-napryazheniya-linejnye/97>
23. Вибір діодного мосту — Режим доступу : <https://www.rcscomponents.kiev.ua/catalog/diodnye-mosty/516>

					<b>PI71.334149.001 ПЗ</b>	Лист
						48
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

24. Фізико-теоретичні основи конструювання електронних апаратів [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до розрахункових та контрольних робіт для студентів напряму підготовки 06050902 «Радіоелектронні апарати» / Уклад.: С. М. Перегудов, М. В. Зінченко. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 56 с.
25. ДБН В.2.5-28-2018 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : [https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/09/DBN\\_Osvitlennya-ostatochna.pdf](https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/09/DBN_Osvitlennya-ostatochna.pdf)
26. ДСанПіН 3.3.2.007 – 98 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98>
27. НПАОП 40.1-1.21-98 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98>
28. НПАОП 40.1–1.32–01 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01>
29. ДСТУ Б В.1.1 – 36:2016 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : [https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu\\_b\\_v\\_1\\_1\\_36/5-1-0-1759](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759)

КОСОВЕЦЬ І.А. РІВНЯ 2020

					<i>PI71.334149.001 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		49

КОСОВЕЦЬ І.А. РІПТІ, 2020

Додаток А  
Технічне завдання

Міністерство освіти та науки України  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Радіотехнічний факультет  
Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

ПОГОДЖЕНО  
асист. Зінгер Я.Л.  
(керівник)

ЗАТВЕРДЖЕНО  
д.т.н., проф. Нелін Є.А.  
(Завідувач кафедри КіВРА)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ  
Інтерактивна гра "Giant Foot Piano"

Косовець І. А.  
(виконавець)  
  
(підпис)

# 1 НАЗВА ТА ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

Назва дипломного проекту «Інтерактивна гра "Giant Foot Piano"»

Підставою для виконання є завдання, видане кафедрою радіоконструювання та виробництва радіоапаратури від «13» Квітня 2020 р.

## 2 ВИКОНАВЕЦЬ

Виконавець — студент групи РІ-п71 Косовець Іван Андрійович

## 3 МЕТА ТА ПРИЗНАЧЕННЯ РОЗРОБКИ

Метою проекту є розробка конструкції інтерактивної гри "Giant Foot Piano", перевірка її на працездатність та оформлення необхідної конструкторської документації.

Інтерактивна гра "Giant Foot Piano" призначена для розваги і навчання дітей та дорослих.

## 4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

### 4.1 Технічні характеристики

Живлення від мережі 220В;

### 4.2 Вимоги до надійності

Пристрій повинен бути відновлюваний і ремонтпридатний по ГОСТ 27.002-89.

Середній наробіток на відмовлення не менше 17000 годин.

Імовірність безвідмовної роботи на протязі 1000 годин не менше 0,9.

Середній строк служби не менше 3-х років.

### 4.3 Вимоги до конструкції

Габаритні розміри Д×Ш×В, не більше, мм: 1250×2250×50.

Встановити дві кнопки керування режимами та кнопку ON/OFF.

Встановити круглий регулятор звуку.

Наявність 1-го порту Jack 3.5 мм.

### 4.4 Вимоги до стандартизації та уніфікації

Використовувати стандартні та уніфіковані деталі та вузли.

### 4.5 Вимоги до складальних частин конструкції, сировини та експлуатаційних матеріалів

Повинні бути використані радіоелементи, що серійно випускаються

промисловістю та дозволені до застосування в РЕА загального призначення.

Матеріали конструкції повинні бути міцними та витримувати механічні навантаження прописані в технічному завданні.

#### **4.6 Умови експлуатації і вимоги до технічного обслуговування та ремонту**

Кліматичне виконання виробу – УХЛ 4.2 (згідно ГОСТ 15150-69):

Робочі температури: мінімальна +1°C; максимальна +40°C; середня +20°C.

Відносна вологість, при 25°C – 80%.

Норми механічного впливу С1(В3) згідно ГОСТ 16019-2001:

Діапазон частот, Гц – 10-70.

Прискорення, не більше,  $m/c^2$  (g) – 19,6(2).

Тривалість вібрації, хв – 90.

Пікове ударне прискорення,  $m/c^2$ (g) – 147(15).

Тривалість ударного імпульсу, мс – 6.

Загальна кількість ударів, не менше – 4000

Пікове ударне прискорення при експлуатації,  $m/c^2$ (g) – 98(10).

Тривалість ударного імпульсу при експлуатації, мс – 16.

Загальна кількість ударів при експлуатації, не менше – 1000.

#### **4.7 Вимоги до електромагнітної сумісності до індустриальних радіозавод**

Пристрій повинен відповідати вимогам до електромагнітної сумісності і індустриальним радіозавадам по ГОСТ 22505–97 (Технічний Регламент №22).

#### **4.8 Естетичні та ергономічні вимоги**

Органи керування маркувати відповідно до їх функціонального призначення.

#### **4.9 Вимоги до маркування та упаковки**

Органи під'єднання маркувати відповідно до їх функціонального призначення. Маркування виконувати за ДСТУ 4171-2003.

#### **4.10 Вимоги до транспортування та зберігання**

Умови транспортування згідно ГОСТ 16019-2001.

Зберігання відповідно до ГОСТ 15150-69 за умови 1-Л.

#### **4.11 Вимоги до експлуатації, зручності технологічного обслуговування та ремонту**

Виріб має відповідати вимогам ГОСТ 15150-69. Ремонт виробу проводити тільки в спеціалізованих центрах.

#### **4.12 Економічні показники**

Одиночне виробництво.

Забезпечити мінімальну вартість продукції.

#### **4.13 Екологічні показники**

Використання безсвинцевого припою.

### **5 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ**

Оформлення документації згідно ДСТУ 3008:2015

### **6 ОРІЄНТОВНИЙ ЗМІСТ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ**

- Титульний лист
- Завдання на курсовий проект
- Зміст
- Вступ
- 1 Аналіз ринку
- 2 Аналіз технічного завдання та схеми електричної принципової
- 3 Принцип функціонування
- 4 Проектування приладу
- 5 Аналіз працездатності
- 6 Охорона праці
- Висновки
- Перелік посилань
- Додатки

### **7 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ**

1. Представлення завершеного дипломного проекту керівнику;
2. Перевірка дипломного проекту на наявність плагіату;
3. Захист дипломного проекту перед екзаменаційною комісією.

Виконавець

Косовець І. А. \_\_\_\_\_

Керівник

асист. Зінгер Я. Л. \_\_\_\_\_



КОСОВЕЦЬ І.А. РІПТІ, 2020

Додаток Б  
Перелік елементів

Поз. Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
	Конденсатори		
C1, C2	SMD size C8-25B-100мкФ± 20%, Hitano	2	
C3	SMD-1206-50B-220нФ± 5%, Samsung	1	
C4	SMD-1206-50B-100нФ± 5%, Samsung	1	
C5	SMD size C8-25B-100мкФ± 20%, Hitano	1	
C6, C7	SMD size F-25B-470мкФ± 20%, Hitano	2	
C8	SMD size C8-25B-100мкФ± 20%, Hitano	1	
C9	SMD-1206-50B-100нФ± 5%, Samsung	1	
C10, C11	SMD size C8-25B-100мкФ± 20%, Hitano	2	
C12, C13	SMD size F-25B-470мкФ± 20%, Hitano	2	
C14, C15	SMD-1206-50B-220нФ± 5%, Samsung	2	
	Мікрокосхеми		
DA1	L78M09ABDT D-Pak, ST	1	
DA2	TEA2025B DIP16, ST	1	
J1	Порт Jack 3.5 KLS1-TSJ3.5-001A	1	
	Резистори	1	
R1, R2	SMD-2512-1-47 Ом± 1%, Hitano	2	
VD1	Діодний міст DB107S DB-1S, YJ	1	

**PI71.431121.001 ПЕ**

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Косовець І.А.		
Перевір.		Зінгер Я.Л.		
Реценз.				
Н. Контр		Полсуй В.І.		
Затверд.		Адаменко Ю. Ф.		

**Перелік  
Елементів**

Лім.	Арк.	Аркушів
	1	2

**НТУУ «КПІ» РТФ**

Поз. Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
	Роз'єми		
X1	KLS2-301-500-02P-2C	1	
X2	KLS2-301-5.00-03P-2C	1	
X3, X4	KLS2-301-500-02P-2C	2	
		<b>PI71.431121.001 ПЕ</b>	
Зм.	Арх.	Недокум.	Гітис
			Дата
			Арк. 2

КОСОВЕЦЬ І.А. РІПМ, 2020

КОСОВЕЦЬ І.А. РНПГ1, 2020

Додаток В  
Специфікація

Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Прим.
				<b><u>Документація</u></b>		
A3			PI71.431121.001 E3	Схема електрична принципова	1	
A4			PI71.431121.001 ПЕ	Перелік елементів	1	
A3			PI71.431121.001 СК	Складальний кресленник	1	
				<b><u>Деталі</u></b>		
		1	PI71.758724.001	Друкована плата	1	
				<b><u>Інші вироби</u></b>		
				Конденсатори		
		2		SMD size C8-25B-100мкФ± 20%	6	C1, C2
						C5, C8
						C10, C11
		3		SMD-1206-50B-220нФ± 5%	3	C3, C14
						C15
		4		SMD-1206-50B-100нФ± 5%	2	C4, C9
		5		SMD size F-25B-470мкФ± 20%	4	C6, C7
						C14, C15
			<b>PI71.431121.001</b>			
Изм	Лист	№ докум.	Подп	Дата		
Разраб.		Косо́вецъ І. А.			Лит.	Лист
Пров.		Зінгер Я. П.				1
Т.конт					Листов	
Н.конт		Попсуй В.І.			2	
Утв		Адаменко Ю. Ф.			НТУУ «КПІ» РТФ	
<b>Друкований вузол</b>						

Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Прим
				Мікросхеми		
		6		L78M09ABDT	1	DA1
		7		TEA2025B	1	DA2
				Порт Jack 3.5		
		8		KLS1-TSJ3.5-001A	1	J1
				Резистори		
		9		SMD-2512-1-47 Ом± 1%	2	R1, R2
				Діодний міст		
		10		DB107S	1	VD1
				Роз'єми		
		11		KLS2-301-500-02P-2C	3	X1, X3
						X4
		12		KLS2-301-5.00-03P-2C	1	X2
				Матеріали		
				Приній Sn95.5/Ag3.8/Cu0.7		
				Паяльна паста LF320		
				Флюс F-3		
				PI71.431121.001		2
Изм	Лист	№ докум.	Подп	Дата		

КОСОВЕЦЬ І.А. РІПІУ, 2020

Додаток Г  
Лістинг програми

```
//визначення інструментів
#define ninstr 4 // піано гітара дзвоник метал
unsigned int ldness[ninstr] = { 64, 64, 64, 64}; // гучність
unsigned int pitch0[ninstr] = { 12, 12, 12, 12}; // зсув тону(0 на 1 окт нижче, 24 на 1 окт вище)
unsigned int ADSR_a[ninstr] = { 4096, 8192, 4096, 8192}; //швидкість зрост гучності від 0 до макс
unsigned int ADSR_d[ninstr] = { 8, 16, 8, 8}; //швидкість зменш гучності від макс до ADSR_s
unsigned int ADSR_s[ninstr] = { 0, 0, 0, 0}; // параметр підтримки
unsigned int ADSR_r[ninstr] = { 64, 32, 16, 32}; // release parameter
unsigned int FM_inc[ninstr] = { 256, 768, 200, 244}; // FM frequency wrt pitch
unsigned int FM_a1[ninstr] = { 128, 512, 512, 2048}; // FM amplitude start
unsigned int FM_a2[ninstr] = { 64, 128, 128, 512}; // FM amplitude end
unsigned int FM_dec[ninstr] = { 64, 128, 32, 128}; // FM decay
```

```
//Визначення відповідності нота - число
```

```
#define keyC4 0
#define keyC4s 1
#define keyD4 2
#define keyD4s 3
#define keyE4 4
#define keyF4 5
#define keyF4s 6
#define keyG4 7
#define keyG4s 8
#define keyA4 9
#define keyA4s 10
#define keyB4 11
#define keyC5 12
#define keyC5s 13
#define keyD5 14
#define keyD5s 15
#define keyE5 16
```

```
#define nokey 255
#define instrkey 254
#define tinstrkeyc 253
```

```
//Визначення відповідності нота – вивід ардуіно
```

```
#define pinD0 keyC5 //Пін D0
#define pinD1 keyB4 //Пін D1
#define pinD2 keyA4s //Пін D2
#define pinD3 keyA4 // Пін D3
#define pinD4 keyG4s // Пін D4
#define pinD5 keyG4 // Пін D5
#define pinD6 keyF4s // Пін D6
#define pinD7 keyF4 // Пін D7
#define pinB0 keyE4 // Пін D8
#define pinB1 nokey // Пін D9 використовується як аудіо вихід
#define pinB2 keyD4s // Пін D10
#define pinB3 keyD4 // Пін D11
#define pinB4 keyC4s // Пін D12
#define pinB5 keyC4 // Пін D13
```

```
#define pinC0 keyC5s // Пін A0
#define pinC1 keyD5 //Arduino pin A1
```



```
#define pinC2 keyD5s // Пін A2
#define pinC3 keyE5 // Пін A2
#define pinC4 instrkeyC // Пін A3 Кнопка перемикання назад
#define pinC5 instrkey // Пін A4 Кнопка перемикання вперед
```

```
//Встановлення масиву із значеннями синусів у 8-бітових числах
const float pi = 3.14159265;
char sine[256];
void setsine() {
    for (int i = 0; i < 256; ++i) {
        sine[i] = (sin(2 * 3.14159265 * (i + 0.5) / 256)) * 128;
    }
}
```

```
//встановлення частотного/фазового приросту, починаючи з C3=0 до B6. (A4 визначено як 440Hz)
unsigned int tone_inc[48];
void settones() {
    for (byte i=0; i<48; i++){
        tone_inc[i]= 440.0 * pow(2.0, ((i-21) / 12.0)) * 65536.0 / (16000000.0/512) + 0.5;
    }
}
```

```
byte butstatD=0;
byte butstatB=0;
byte butstatC=0;
byte prevbutstatD=0;
byte prevbutstatB=0;
byte prevbutstatC=0;
```

```
char instr=0;
```

```
void setup() {
```

```
    //відключення всіх преривань для уникнення збоїв
    noInterrupts();
```

```
    //встановлення масиву із значенням синусу
    setsine();
```

```
    //Налаштування масиву з кроком фазової частоти
    settones();
```

```
    //встановлення швидкого ШІМ сигналу на TIMER1A, 9-бітна роздільна здатність, 31250Гц
    pinMode(9, OUTPUT);
    TCCR1A = 0B10000010; //9-бітовий швидкий ШІМ
    TCCR1B = 0B00001001;
```

```
    // налаштування штифтів для введення з підтягуванням
    if(pinD0 != nokey){DDRD &=~(1<<0);PORTD |=(1<<0);};
    if(pinD1 != nokey){DDRD &=~(1<<1);PORTD |=(1<<1);};
    if(pinD2 != nokey){DDRD &=~(1<<2);PORTD |=(1<<2);};
    if(pinD3 != nokey){DDRD &=~(1<<3);PORTD |=(1<<3);};
```

```
if(pinD4 != nokey){DDRD &=~(1<<4);PORTD |=(1<<4);};
if(pinD5 != nokey){DDRD &=~(1<<5);PORTD |=(1<<5);};
if(pinD6 != nokey){DDRD &=~(1<<6);PORTD |=(1<<6);};
if(pinD7 != nokey){DDRD &=~(1<<7);PORTD |=(1<<7);};
if(pinB0 != nokey){DDRB &=~(1<<0);PORTB |=(1<<0);};
if(pinB1 != nokey){DDRB &=~(1<<1);PORTB |=(1<<1);};
if(pinB2 != nokey){DDRB &=~(1<<2);PORTB |=(1<<2);};
if(pinB3 != nokey){DDRB &=~(1<<3);PORTB |=(1<<3);};
if(pinB4 != nokey){DDRB &=~(1<<4);PORTB |=(1<<4);};
if(pinB5 != nokey){DDRB &=~(1<<5);PORTB |=(1<<5);};
if(pinB6 != nokey){DDRB &=~(1<<6);PORTB |=(1<<6);};
if(pinB7 != nokey){DDRB &=~(1<<7);PORTB |=(1<<7);};
if(pinC0 != nokey){DDRC &=~(1<<0);PORTC |=(1<<0);};
if(pinC1 != nokey){DDRC &=~(1<<1);PORTC |=(1<<1);};
if(pinC2 != nokey){DDRC &=~(1<<2);PORTC |=(1<<2);};
if(pinC3 != nokey){DDRC &=~(1<<3);PORTC |=(1<<3);};
if(pinC4 != nokey){DDRC &=~(1<<4);PORTC |=(1<<4);};
if(pinC5 != nokey){DDRC &=~(1<<5);PORTC |=(1<<5);};
if(pinC6 != nokey){DDRC &=~(1<<6);PORTC |=(1<<6);};
if(pinC7 != nokey){DDRC &=~(1<<7);PORTC |=(1<<7);};
```

```
// налаштування кнопки зберігання при запуску
butstatD = PIND;
butstatB = PINB;
butstatC = PINC;
}
```

```
// форматування основних параметрів налаштування тривалості імпульсу
#define nch 4 //кількість каналів які можуть видавати звук одночасно
unsigned int phase[nch] = {0,0,0,0};
int inc[nch] = {0,0,0,0};
byte amp[nch] = {0,0,0,0};
unsigned int FMphase[nch]= {0,0,0,0};
unsigned int FMinc[nch] = {0,0,0,0};
unsigned int FMamp[nch] = {0,0,0,0};
```

```
// Основна функція (примусовий інлайн), щоб оновити тривалість імпульсу
inline void setPWM() __attribute__((always_inline));
inline void setPWM() {
```

```
//очікування завершення циклу таймером
while ((TIFR1 & 0B00000001) == 0);
```

```
//Очищення(!)Біт переповнення шляхом запису 1 до нього
TIFR1 |= 0B00000001;
```

```
//приріст фаз FM
FMphase[0] += FMinc[0];
FMphase[1] += FMinc[1];
FMphase[2] += FMinc[2];
FMphase[3] += FMinc[3];
```

```

//збільшення фаз ноти
phase[0] += inc[0];
phase[1] += inc[1];
phase[2] += inc[2];
phase[3] += inc[3];

//обчислення вихідного значення та встановлення ширини імпульсу для таймера 2
int val = sine[(phase[0]+sine[FMphase[0]>>8]*FMamp[0]) >> 8] * amp[0];
val += sine[(phase[1]+sine[FMphase[1]>>8]*FMamp[1]) >> 8] * amp[1];
val += sine[(phase[2]+sine[FMphase[2]>>8]*FMamp[2]) >> 8] * amp[2];
val += sine[(phase[3]+sine[FMphase[3]>>8]*FMamp[3]) >> 8] * amp[3];

//встановити тривалість імпульсу
OCR1A = val/128 + 256;
}

//властивості кожної відтворюваної ноти
byte iADSR[nch] = {0, 0, 0, 0};
unsigned int envADSR[nch] = {0, 0, 0, 0};
unsigned int ADSRa[nch] = {0, 0, 0, 0};
unsigned int ADSRd[nch] = {0, 0, 0, 0};
unsigned int ADSRs[nch] = {0, 0, 0, 0};
unsigned int ADSRr[nch] = {0, 0, 0, 0};
byte amp_base[nch] = {0, 0, 0, 0};
unsigned int inc_base[nch] = {0, 0, 0, 0};
unsigned int FMa0[nch] = {0, 0, 0, 0};
int FMda[nch] = {0, 0, 0, 0};
unsigned int FMinc_base[nch]= {0, 0, 0, 0};
unsigned int FMdec[nch] = {0, 0, 0, 0};
unsigned int FMexp[nch] = {0, 0, 0, 0};
unsigned int FMval[nch] = {0, 0, 0, 0};
byte keych[nch] = {0, 0, 0, 0};
unsigned int tch[nch] = {0, 0, 0, 0};

// Основний цикл. Тривалість циклу визначається кількістю встановлених викликів PWM
// Кожному виклику setPWM відповідає 512 циклів = 32 мс
// Tloop= 32mus * #setPWM. #setPWM=15 gives Tloop=0.48ms
void loop() {

// читання та інтерпретування кнопок введення
prevbutstatD = butstatD;
prevbutstatB = butstatB;
prevbutstatC = butstatC;
butstatD = PIND;
butstatB = PINB;
butstatC = PINC;
byte keypressed = nokey;
byte keyreleased = nokey;
if(butstatD!=prevbutstatD){
if ( pinD0!=nokey and (butstatD & (1<<0)) == 0 and (prevbutstatD & (1<<0)) > 0 ) keypressed = pinD0;
if ( pinD0!=nokey and (butstatD & (1<<0)) > 0 and (prevbutstatD & (1<<0)) == 0 ) keyreleased = pinD0;
if ( pinD1!=nokey and (butstatD & (1<<1)) == 0 and (prevbutstatD & (1<<1)) > 0 ) keypressed = pinD1;
if ( pinD1!=nokey and (butstatD & (1<<1)) > 0 and (prevbutstatD & (1<<1)) == 0 ) keyreleased = pinD1;
}
}

```

```

if ( pinD2!=nokey and (butstatD & (1<<2)) == 0 and (prevbutstatD & (1<<2)) > 0 ) keypressed = pinD2;
if ( pinD2!=nokey and (butstatD & (1<<2)) > 0 and (prevbutstatD & (1<<2)) == 0 ) keyreleased = pinD2;
if ( pinD3!=nokey and (butstatD & (1<<3)) == 0 and (prevbutstatD & (1<<3)) > 0 ) keypressed = pinD3;
if ( pinD3!=nokey and (butstatD & (1<<3)) > 0 and (prevbutstatD & (1<<3)) == 0 ) keyreleased = pinD3;
if ( pinD4!=nokey and (butstatD & (1<<4)) == 0 and (prevbutstatD & (1<<4)) > 0 ) keypressed = pinD4;
if ( pinD4!=nokey and (butstatD & (1<<4)) > 0 and (prevbutstatD & (1<<4)) == 0 ) keyreleased = pinD4;
if ( pinD5!=nokey and (butstatD & (1<<5)) == 0 and (prevbutstatD & (1<<5)) > 0 ) keypressed = pinD5;
if ( pinD5!=nokey and (butstatD & (1<<5)) > 0 and (prevbutstatD & (1<<5)) == 0 ) keyreleased = pinD5;
if ( pinD6!=nokey and (butstatD & (1<<6)) == 0 and (prevbutstatD & (1<<6)) > 0 ) keypressed = pinD6;
if ( pinD6!=nokey and (butstatD & (1<<6)) > 0 and (prevbutstatD & (1<<6)) == 0 ) keyreleased = pinD6;
if ( pinD7!=nokey and (butstatD & (1<<7)) == 0 and (prevbutstatD & (1<<7)) > 0 ) keypressed = pinD7;
if ( pinD7!=nokey and (butstatD & (1<<7)) > 0 and (prevbutstatD & (1<<7)) == 0 ) keyreleased = pinD7;
}
if(butstatB!=prevbutstatB){
if ( pinB0!=nokey and (butstatB & (1<<0)) == 0 and (prevbutstatB & (1<<0)) > 0 ) keypressed = pinB0;
if ( pinB0!=nokey and (butstatB & (1<<0)) > 0 and (prevbutstatB & (1<<0)) == 0 ) keyreleased = pinB0;
if ( pinB1!=nokey and (butstatB & (1<<1)) == 0 and (prevbutstatB & (1<<1)) > 0 ) keypressed = pinB1;
if ( pinB1!=nokey and (butstatB & (1<<1)) > 0 and (prevbutstatB & (1<<1)) == 0 ) keyreleased = pinB1;
if ( pinB2!=nokey and (butstatB & (1<<2)) == 0 and (prevbutstatB & (1<<2)) > 0 ) keypressed = pinB2;
if ( pinB2!=nokey and (butstatB & (1<<2)) > 0 and (prevbutstatB & (1<<2)) == 0 ) keyreleased = pinB2;
if ( pinB3!=nokey and (butstatB & (1<<3)) == 0 and (prevbutstatB & (1<<3)) > 0 ) keypressed = pinB3;
if ( pinB3!=nokey and (butstatB & (1<<3)) > 0 and (prevbutstatB & (1<<3)) == 0 ) keyreleased = pinB3;
if ( pinB4!=nokey and (butstatB & (1<<4)) == 0 and (prevbutstatB & (1<<4)) > 0 ) keypressed = pinB4;
if ( pinB4!=nokey and (butstatB & (1<<4)) > 0 and (prevbutstatB & (1<<4)) == 0 ) keyreleased = pinB4;
if ( pinB5!=nokey and (butstatB & (1<<5)) == 0 and (prevbutstatB & (1<<5)) > 0 ) keypressed = pinB5;
if ( pinB5!=nokey and (butstatB & (1<<5)) > 0 and (prevbutstatB & (1<<5)) == 0 ) keyreleased = pinB5;
if ( pinB6!=nokey and (butstatB & (1<<6)) == 0 and (prevbutstatB & (1<<6)) > 0 ) keypressed = pinB6;
if ( pinB6!=nokey and (butstatB & (1<<6)) > 0 and (prevbutstatB & (1<<6)) == 0 ) keyreleased = pinB6;
if ( pinB7!=nokey and (butstatB & (1<<7)) == 0 and (prevbutstatB & (1<<7)) > 0 ) keypressed = pinB7;
if ( pinB7!=nokey and (butstatB & (1<<7)) > 0 and (prevbutstatB & (1<<7)) == 0 ) keyreleased = pinB7;
}
if(butstatC!=prevbutstatC){
if ( pinC0!=nokey and (butstatC & (1<<0)) == 0 and (prevbutstatC & (1<<0)) > 0 ) keypressed = pinC0;
if ( pinC0!=nokey and (butstatC & (1<<0)) > 0 and (prevbutstatC & (1<<0)) == 0 ) keyreleased = pinC0;
if ( pinC1!=nokey and (butstatC & (1<<1)) == 0 and (prevbutstatC & (1<<1)) > 0 ) keypressed = pinC1;
if ( pinC1!=nokey and (butstatC & (1<<1)) > 0 and (prevbutstatC & (1<<1)) == 0 ) keyreleased = pinC1;
if ( pinC2!=nokey and (butstatC & (1<<2)) == 0 and (prevbutstatC & (1<<2)) > 0 ) keypressed = pinC2;
if ( pinC2!=nokey and (butstatC & (1<<2)) > 0 and (prevbutstatC & (1<<2)) == 0 ) keyreleased = pinC2;
if ( pinC3!=nokey and (butstatC & (1<<3)) == 0 and (prevbutstatC & (1<<3)) > 0 ) keypressed = pinC3;
if ( pinC3!=nokey and (butstatC & (1<<3)) > 0 and (prevbutstatC & (1<<3)) == 0 ) keyreleased = pinC3;
if ( pinC4!=nokey and (butstatC & (1<<4)) == 0 and (prevbutstatC & (1<<4)) > 0 ) keypressed = pinC4;
if ( pinC4!=nokey and (butstatC & (1<<4)) > 0 and (prevbutstatC & (1<<4)) == 0 ) keyreleased = pinC4;
if ( pinC5!=nokey and (butstatC & (1<<5)) == 0 and (prevbutstatC & (1<<5)) > 0 ) keypressed = pinC5;
if ( pinC5!=nokey and (butstatC & (1<<5)) > 0 and (prevbutstatC & (1<<5)) == 0 ) keyreleased = pinC5;
if ( pinC6!=nokey and (butstatC & (1<<6)) == 0 and (prevbutstatC & (1<<6)) > 0 ) keypressed = pinC6;
if ( pinC6!=nokey and (butstatC & (1<<6)) > 0 and (prevbutstatC & (1<<6)) == 0 ) keyreleased = pinC6;
if ( pinC7!=nokey and (butstatC & (1<<7)) == 0 and (prevbutstatC & (1<<7)) > 0 ) keypressed = pinC7;
if ( pinC7!=nokey and (butstatC & (1<<7)) > 0 and (prevbutstatC & (1<<7)) == 0 ) keyreleased = pinC7;
}
}

```

```
setPWM(); // #1
```

```
// зміна інструменту вперед, якщо натиснута кнопка перемикання вперед
if ( keypressed==instrkey) {
```

```

instr++;
if (instr>=ninstr) instr=0;
keypressed=keyA4;
}
if (keyreleased==instrkey) keyreleased=keyA4;

setPWM();//#2
// зміна інструменту назад, якщо натиснута кнопка перемикання назад
if ( keypressed==tinstrkeyc) {
    instr--;
    if (instr<0) instr=ninstr-1;
    keypressed=keyA4;
}
if (keyreleased==tinstrkeyc) keyreleased=keyA4;

setPWM();//#3

//Знаходження кращого каналу для початку нової ноти
byte nextch = 255;
//first check if the key is still being played
if (iADSR[0] > 0 and keypressed == keych[0])nextch = 0;
if (iADSR[1] > 0 and keypressed == keych[1])nextch = 1;
if (iADSR[2] > 0 and keypressed == keych[2])nextch = 2;
if (iADSR[3] > 0 and keypressed == keych[3])nextch = 3;
//Тоді перевірка на пустий канал
if (nextch == 255) {
    if (iADSR[0] == 0)nextch = 0;
    if (iADSR[1] == 0)nextch = 1;
    if (iADSR[2] == 0)nextch = 2;
    if (iADSR[3] == 0)nextch = 3;
}
//в іншому випадку використовується канал з нотою що грає найдовше
if (nextch == 255) {
    nextch = 0;
    if (tch[0] > tch[nextch])nextch = 0;
    if (tch[1] > tch[nextch])nextch = 1;
    if (tch[2] > tch[nextch])nextch = 2;
    if (tch[3] > tch[nextch])nextch = 3;
}

setPWM();//#4

//Ініціалізація нової ноти, якщо потрібно
if (keypressed != nokey) {
    phase[nextch]=0;
    amp_base[nextch] = ldness[instr];
    inc_base[nextch] = tone_inc[pitch0[instr]+keypressed];
    ADSRa[nextch]=ADSR_a[instr];
    ADSRd[nextch]=ADSR_d[instr];
    ADSRs[nextch]=ADSR_s[instr]<<8;
    ADSRr[nextch]=ADSR_r[instr];
    iADSR[nextch] = 1;
    FMphase[nextch]=0;
    FMinc_base[nextch] = ((long)inc_base[nextch]*FM_inc[instr])/256;

```

```

FMa0[nextch] = FM_a2[instr];
FMda[nextch] = FM_a1[instr]-FM_a2[instr];
FMexp[nextch]=0xFFFF;
FMdec[nextch]=FM_dec[instr];
keych[nextch] = keypressed;
tch[nextch] = 0;
}

```

```
setPWM(); // #5
```

```

//Зупинка програвання ноти при відпусканні кнопки
if (keyreleased != nokey) {
    if (keych[0] == keyreleased)iADSR[0] = 4;
    if (keych[1] == keyreleased)iADSR[1] = 4;
    if (keych[2] == keyreleased)iADSR[2] = 4;
    if (keych[3] == keyreleased)iADSR[3] = 4;
}

```

```
setPWM(); // #6
```

```

// оновити показник розпаду FM
FMexp[0]-=(long)FMexp[0]*FMdec[0]>>16;
FMexp[1]-=(long)FMexp[1]*FMdec[1]>>16;
FMexp[2]-=(long)FMexp[2]*FMdec[2]>>16;
FMexp[3]-=(long)FMexp[3]*FMdec[3]>>16;

```

```
setPWM(); // #7
```

```

//регулювання ADSR конвертів
for (byte ich = 0; ich < nch; ich++) {
    if (iADSR[ich] == 4) {
        if (envADSR[ich] <= ADSRr[ich]) {
            envADSR[ich] = 0;
            iADSR[ich] = 0;
        }
        else envADSR[ich] -= ADSRr[ich];
    }
    if (iADSR[ich] == 2) {
        if (envADSR[ich] <= (ADSRs[ich] + ADSRd[ich])) {
            envADSR[ich] = ADSRs[ich];
            iADSR[ich] = 3;
        }
        else envADSR[ich] -= ADSRd[ich];
    }
    if (iADSR[ich] == 1) {
        if ((0xFFFF - envADSR[ich]) <= ADSRa[ich]) {
            envADSR[ich] = 0xFFFF;
            iADSR[ich] = 2;
        }
        else envADSR[ich] += ADSRa[ich];
    }
    tch[ich]++;
    setPWM(); // #8-11
}

```

```
// оновлення тону каналу 0
amp[0] = (amp_base[0] * (envADSR[0] >> 8)) >> 8;
inc[0] = inc_base[0];
FMamp[0] = FMa0[0] + ((long)FMda[0] * FMexp[0]>>16);
FMinc[0] = FMinc_base[0];
setPWM(); // #12
```

```
// оновлення тону каналу 1
amp[1] = (amp_base[1] * (envADSR[1] >> 8)) >> 8;
inc[1] = inc_base[1];
FMamp[1] = FMa0[1] + ((long)FMda[1] * FMexp[1]>>16);
FMinc[1] = FMinc_base[1];
setPWM(); // #13
```

```
// оновлення тону каналу 2
amp[2] = (amp_base[2] * (envADSR[2] >> 8)) >> 8;
inc[2] = inc_base[2];
FMamp[2] = FMa0[2] + ((long)FMda[2] * FMexp[2]>>16);
FMinc[2] = FMinc_base[2];
setPWM(); // #14
```

```
// оновлення тону каналу 3
amp[3] = (amp_base[3] * (envADSR[3] >> 8)) >> 8;
inc[3] = inc_base[3];
FMamp[3] = FMa0[3] + ((long)FMda[3] * FMexp[3]>>16);
FMinc[3] = FMinc_base[3];
setPWM(); // #15
```

```
//Оновлення лічильників
tch[0]++;
tch[1]++;
tch[2]++;
tch[3]++;
```

```
setPWM(); // #16
```

```
}
```

КОСОВЕЦЬ І.А. РІПМІ, 2020