

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет**

**Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури**

До захисту допущено:

В.о. зав.кафедрою

Євгеній НЕЛІН

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

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

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

**на тему: «Пристрій для створення ефекту ехо»**

Виконав:

студент IV курсу, групи РІ-71

Чагаров Костянтин Сергійович

Керівник:

Старший викладач Новосад Андрій Анатолійович

Рецензент: Старший викладач РОС

Першин Микола Олексійович

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2021 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 радіoeлектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедрою

 Євгеній НЕЛІН

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Чагарову Костянтину Сергійовичу**

1. Тема проєкту «Пристрій для створення ефекту ехо», керівник проєкту Новосад Андрій Анатолійович, старший викладач, затверджені наказом по університету від «18» травня 2021 р. №1205-с
  2. Термін подання студентом проєкту 8 червня 2021 року
  3. Вихідні дані до проєкту: напруга живлення 9 В; габаритні розміри — 60x90x150 мм; робочі температури від 0 до +40°C; умови експлуатації: в побутових умовах, час затримки 20..340 мс.
  4. Зміст пояснювальної записки Аналіз завдання. Огляд існуючих рішень. Опис схемотехнічного рішення. Вибір елементної бази. Розробка друкованого вузла. Розробка конструкції. Розрахунок надійності
  5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): структурна схема, схема електрична принципова, кресленик друкованого вузла, кресленик збірки пристрою, плакат.
-

6. Дата видачі завдання 12 квітня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	16.05 — 18.05	
2	Огляд існуючих рішень	19.05 — 22.05	
3	Опис схемотехнічного рішення	23.05 — 26.05	
4	Обґрунтування елементної бази	27.05 — 29.05	
5	Розробка друкованого вузла	30.05 — 02.06	
6	Розробка конструкції	03.06 — 06.06	
7	Розрахунок надійності	07.06 — 08.06	
8	Оформлення текстової та графічної документації	09.05 — 12.06	

Студент

Костянтин ЧАГАРОВ

Керівник

Андрій НОВОСАД

## АНОТАЦІЯ

Розроблено пристрій для створення ефекту ехо при грі на електрогітарі. В процесі роботи проведено аналіз існуючих рішень, обрано схемотехнічне рішення, що має найбільші переваги.

Обрано елементну базу, яка задовольняє вимоги технічного завдання (ТЗ). Розраховано оптимальну площу друкованої плати і розроблено її в програмному середовищі Altium designer.

Корпус пристрою спроектовано в програмному середовищі SolidWorks. Розраховано надійність пристрою та проведено розрахунок віброміцності друкованого вузла.

Загальний обсяг роботи складає 48 сторінок, кількість рисунків — 40, посилань — 25, 4 додатки.

Ключові слова: звукові ефекти, затримка, педаль ефекту, ехо.

## ANNOTATION

A device has been developed to create an echo effect when playing an electric guitar. In the course of work the analysis of the existing decisions is carried out, the circuit design decision which has the greatest advantages is chosen.

An element base that satisfies the conditions of the technical task is selected. The optimal area of the printed circuit board is calculated and developed in the Altium designer software environment.

The device case is designed in the SolidWorks software environment. The reliability of the device is calculated and the vibration strength of the printed circuit board is calculated.

The total volume of the work is 48 pages, the number of figures - 40, references - 25, 4 applications.

Key words: sound effects, delay, effect pedal, echo.

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

на тему: “Пристрій для створення ефекту ехо”

Київ — 2021 року

## Зміст

Перелік скорочень.....	3
Вступ.....	4
1 Аналіз технічного завдання .....	5
2 Огляд існуючих рішень .....	6
2.1 Аналогові пристрої .....	6
2.2 Цифрові пристрої .....	7
2.3 Вибір схеми прототипу.....	9
3 Опис схемотехнічного рішення.....	10
3.1 Опис структурної схеми .....	10
3.2 Опис схеми електричної принципової.....	12
3.3 Моделювання основних вузлів схеми.....	13
4 Обґрунтування елементної бази.....	17
4.1 Вибір пасивних елементів.....	17
4.1.1 Вибір резисторів.....	17
4.1.2 Вибір конденсаторів .....	19
4.1.3 Вибір діодів.....	20
4.1.4 Вибір кнопки .....	21
4.1.5 Вибір роз'ємів на платі.....	22
4.1.6 Вибір роз'ємів для підключення штекерів типу Jack 6,35 мм.	24
4.1.7 Вибір роз'єму живлення.....	25
4.1.8 Вибір світлодіоду .....	26

					<i>PI71.331422.001 ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Чагаров К.С.				Пристрій для створення ефекту ехо		
Перев.	Новосад А.А.						
Н. Контр.							
Затв.	Новосад А.А.						
					Лист.	Арк.	Аркушів
						1	48
					НТУУ "КПІ ім. І.Сікорського", РТФ		

4.2 Вибір активних елементів .....	27
4.2.1 Вибір мікросхем .....	27
4.2.2 Вибір транзистора .....	28
4.2.3 Вибір стабілізаторів напруги .....	29
5 Розробка друкованого вузла .....	31
5.1 Проектування друкованого вузла .....	32
5.1.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати .....	32
5.1.2 Вибір матеріалу .....	33
5.1.3 Вибір класу точності плати та щільності виробництва .....	33
5.2 Трасування плати .....	34
5.3 Розрахунок віброміцності .....	36
6 Розробка конструкції пристрою .....	38
7 Розрахунок надійності .....	41
Висновки .....	44
Перелік посилань .....	45
Додатки .....	48



## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП — Аналого-цифровий перетворювач

ДВ — Друкований вузол

ДП — Друкована плата

ТЗ — Технічне завдання

ФНЧ — Фільтр низьких частот

ЦАП — Цифро-аналоговий перетворювач

BBD — Bucket-brigade device

SMD — Surface mounted device

3PDT — Three Pole, Double Throw

					PI71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Звукові ефекти для електрогітар на даний час є досить поширеними.

Найчастіше пристрої для створення звукових ефектів виконані у вигляді електронних пристроїв з педаллю та вмикаються ногою музиканта коли це потрібно. Вхід пристрою під'єднується до електрогітари, а вихід до гітарного підсилювача. Поки пристрій не увімкнено, до підсилювача надходить необроблений ефектом сигнал з електрогітари, а при увімкненні замикаються контакти, що дозволяють сигналу пройти через схему ефекту.

Ефектів існує велика кількість і всі вони по-різному змінюють звук гітари. Наприклад, можуть робити його різким, жорстким і агресивним або дають відчуття гри у великому залі. Також є ефекти, що змінюють частоту сигналу.

В даній роботі буде розглянуто пристрій, який створює ефект ехо, тобто декілька затриманих в часі повторів звуку з затухаючою амплітудою. Цей ефект використовується для створення об'ємного звуку і цікавого містичного звучання що повторюється. Дуже багато музичних творів містять ефект ехо в тій чи іншій мірі.

Пристрій використовується як окремо, так і разом з педалями інших ефектів. Якщо використовується разом з іншими ефектами, найчастіше встановлюється у педалборді. Це спеціальний контейнер, в якому встановлюються педалі ефектів. Через педалборд найчастіше проводиться живлення до пристроїв. Також він часто слугує кейсом для зручного зберігання та перенесення всіх пристроїв.

					РІ71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Пристрій для створення ефекту ехо призначений для додавання копій сигналу до основного сигналу, при грі на електрогітарі. Необхідно розробити конструкцію корпусу та друкований вузол. Параметри ефекту мають зручно регулюватися користувачем за допомогою потенціометрів. Пристрій живиться від постійної напруги 9 В.

У технічному завданні, відповідно до ГОСТ 15150-69, задано кліматичне виконання У 4.2 ,тобто експлуатації в лабораторних, капітальних житлових та інших подібного типу приміщеннях [1].

Температура навколишнього середовища при використанні пристрою від 0 °С до 40 °С. На ці параметри необхідно звернути увагу при виборі елементної бази пристрою.

Необхідно забезпечити ймовірність безвідмовної роботи не менше 80% при тривалості роботи 10000 годин. Пристрій має бути ремонтпридатним за ГОСТ 27.002-89. Це означає, що треба забезпечити легкий та зручний доступ до друкованої плати та інших компонентів приладу для заміни компонентів, які вийшли з ладу. Ввімкнення та вимкнення пристрою відбувається за допомогою педалі. Отже, необхідно розробити достатньо міцний корпус, стійкий до механічних впливів. Максимальна частота зовнішнього механічного впливу 70 Гц.

Габарити пристрою обмежені технічним завданням. Висота не має перевищувати 60 мм для зручності ввімкнення, ширина не має перевищувати 150 мм, довжина не більше 90 мм.

Для уникнення нелінійних спотворень внаслідок збудження підсилювача, вхід та вихід мають бути максимально віддаленими в просторі. Це дасть можливість мінімізувати рівень паразитних зворотніх зв'язків. Також слід звернути увагу на амплітудно-частотну характеристику, щоб забезпечити допустимий рівень лінійних спотворень.

					РІ71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Пристрої, що створюють ефект ехо можна поділити на аналогові та цифрові. Головна різниця полягає у методі обробки сигналу, застосування аналогового або цифрового оброблення.

### 2.1 Аналогові пристрої

Аналогові мікросхеми містять схему BBD (Bucket-brigade device) — це аналогова лінія затримки з дискретним часом [2]. Для аналогових пристроїв досить часто використовується мікросхема MN3005. На її основі розроблено багато аналогових пристроїв ефекту ехо. Наприклад, педаль BOSS DM-2 зображено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 — BOSS DM-2

					PI71.331422.001 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.2 зображено схему електричну принципову для педалі ефекту delay BOSS DM-2.

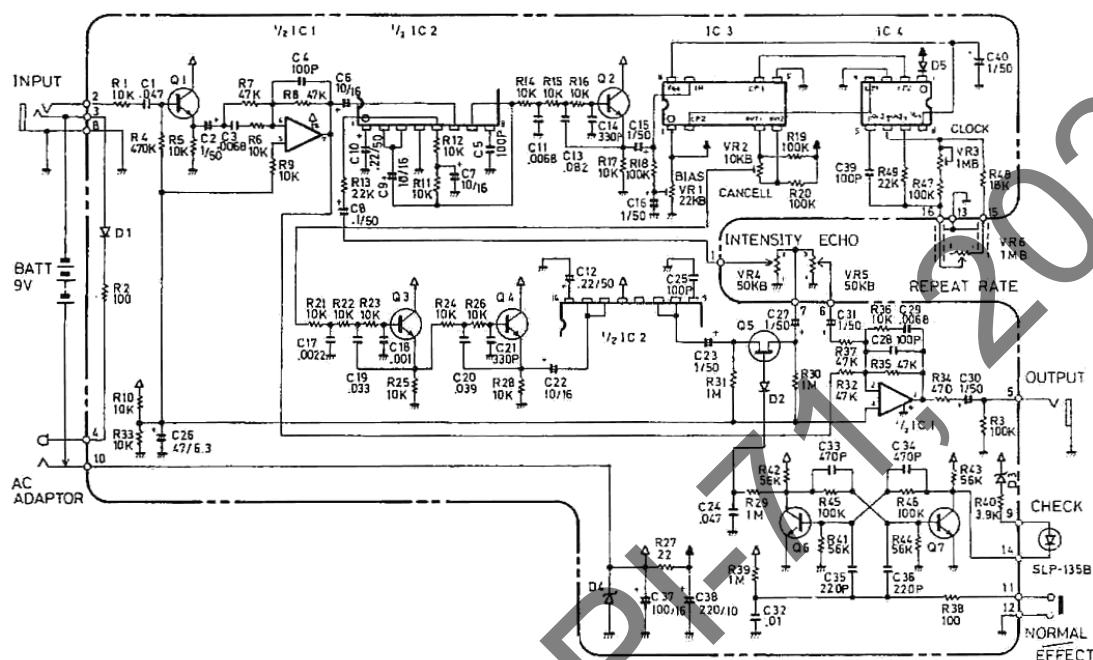


Рисунок 2.2 — Схема електрична принципова BOSS DM-2

## 2.2 Цифрові пристрої

Цифрові пристрої використовують перетворення аналогового сигналу зі звукознімача гітари на дискретний сигнал за допомогою АЦП. Для цифрових пристроїв використовуються мікросхеми, що містять вбудовану пам'ять [4]. Ця пам'ять потрібна для записування звукового сигналу для подальшої його затримки. На виході мікросхеми сигнал знову перетворюється на аналоговий за допомогою ЦАП.

Для цифрових пристроїв часто використовують мікросхему PT2399 [21]. Серед таких пристроїв розглянемо 2 пристрої — Deep Blue Delay та PT80 Delay. На рисунку 2.3 зображено педаль Deep Blue Delay [19].



Рисунок 2.4 — Схема електрична принципова Deep Blue Delay

На рисунку 2.5 зображено схему електричну принципову педалі PT80 Delay [18].

					ПІ71.331422.001 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## PT80 DELAY

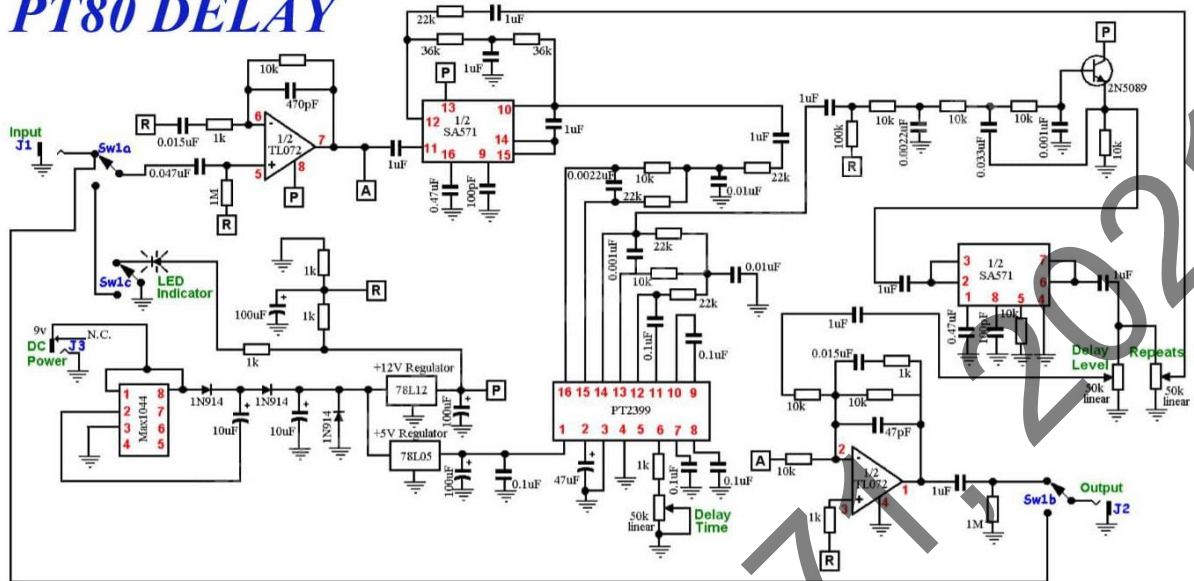


Рисунок 2.5 — Схема електрична принципова PT80 Delay

### 2.3 Вибір схеми прототипу

Цифрові схеми мають більш різкі повтори, які містять більш високочастотні гармоніки. Багато меломанів віддають перевагу аналоговим пристроям через їх більш «теплі» звук з нижчими частотами повторів. Саме тому, схема PT80 завдяки фільтрам і правильно підібраним компонентам імітує аналоговий звук.

В схемі PT80 Delay використано компандор SA571 для розширення динамічного діапазону при перетвореннях сигналу з аналогового в цифровий і навпаки [3].

За допомогою мікросхеми PT2399, можна зробити більший час затримки, ніж в аналоговій MN3005. PT2399 більш доступна і вона набагато дешевша за MN3005.

Отже, за основу розроблюваного пристрою доцільно обрати схему PT80 Delay на основі PT2399, через якість звуку і нижчий коефіцієнт гармонік, і, як наслідок, подібність звуку до аналогового.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.331422.001 ПЗ

Арк.

9

### 3 ОПИС СХЕМОТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ

#### 3.1 Опис структурної схеми

Структурна схема (рис. 3.2) має два шляхи проходження сигналу. Один проходить до виходу лише з підсиленням, а інший, крім підсилювача, додатково проходить через вузол затримки. Сигнал підсилюється операційним підсилювачем, після чого розділяється на ці два шляхи.

Сигнал, який буде затримано надходить до компандора, що розширює динамічний діапазон при перетворенні сигналу з аналогового на цифровий. Далі потрапляє на фільтр низьких частот (ФНЧ), що обмежує діапазон частот на вході АЦП лише діапазоном частот вхідного сигналу перед аналого-цифровим перетворювачем (АЦП).

Далі сигнал надходить до мікросхеми РТ2399 (рис. 3.3). В мікросхемі сигнал оцифровується і затримується вузлом обробки. На виході сигнал знову перетворюється на аналоговий.

Після цього затриманий сигнал знову фільтрується ФНЧ для обмеження гармонік, викликаних квантуванням та стрибкоподібними процесами при цифро-аналогових перетворенні. Далі сигнал знову потрапляє до компандора і надходить до суматора.

На виході отримується сигнал, що є сумою затриманого і необробленого вхідного сигналу.

					РІ71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



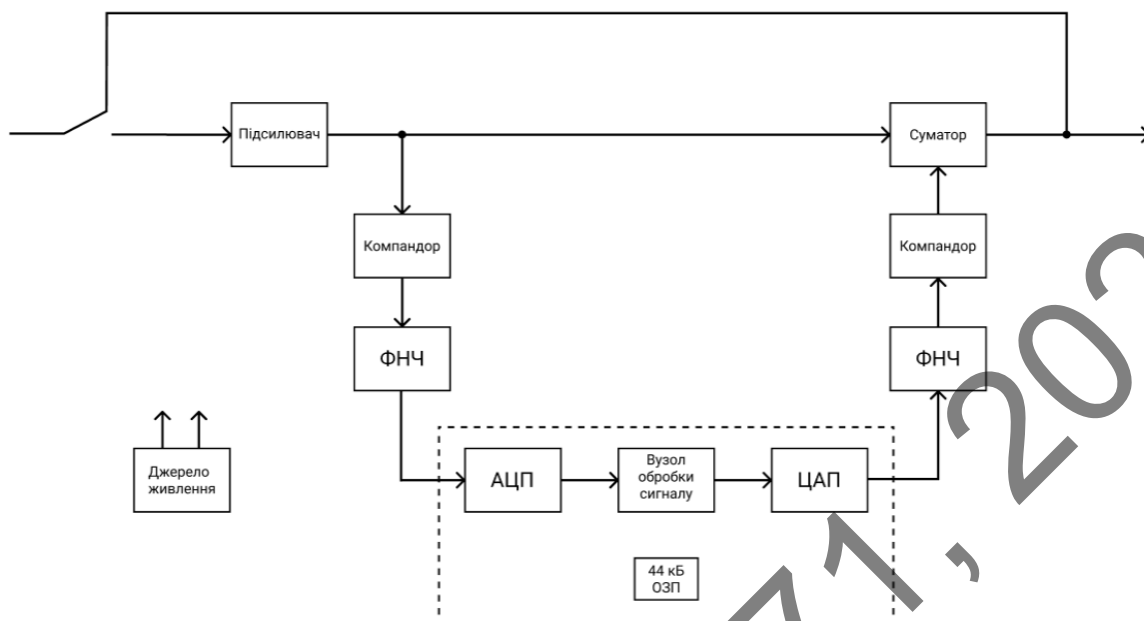


Рисунок 3.2 — Структурна схема

Мікросхема RT2399 створює затримку вхідного сигналу. Її структурну схему зображено на рисунку 3.3 [22].

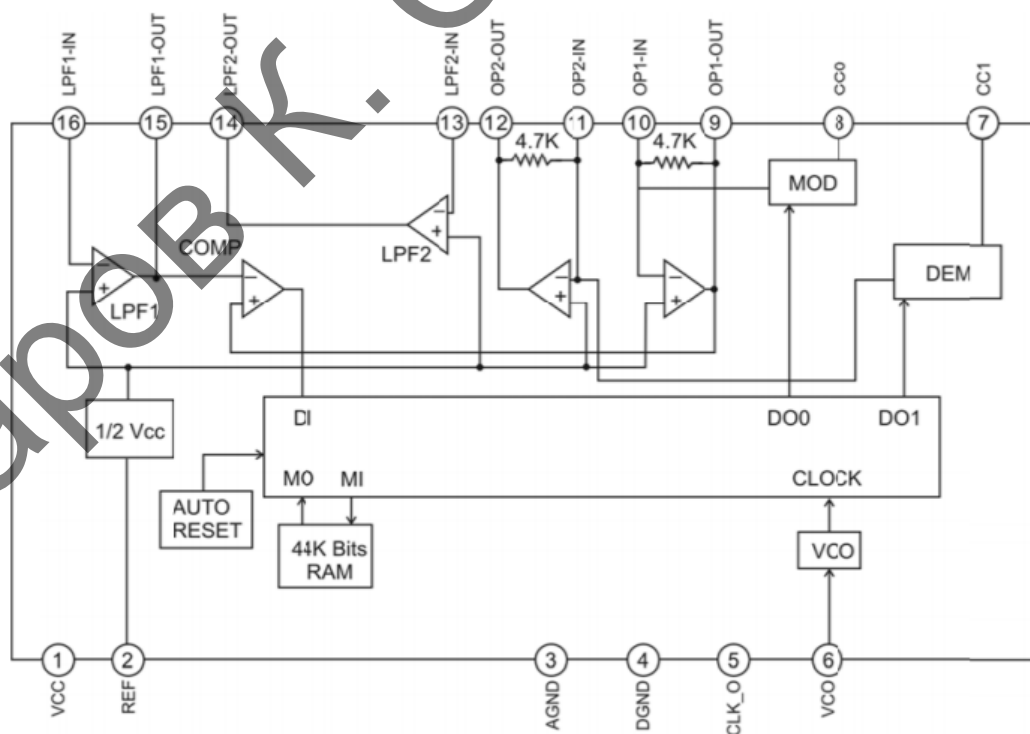


Рисунок 3.3 — Структурна схема мікросхеми RT2399

Мікросхема містить АЦП (MOD), ЦАП (DEM) і вбудовану оперативну пам'ять, що створює затримку.

### 3.2 Опис схеми електричної принципової

На рисунку 3.1 зображено схему електричну принципову PT80 delay змодельовану в програмі Altium Designer (20.1.14).

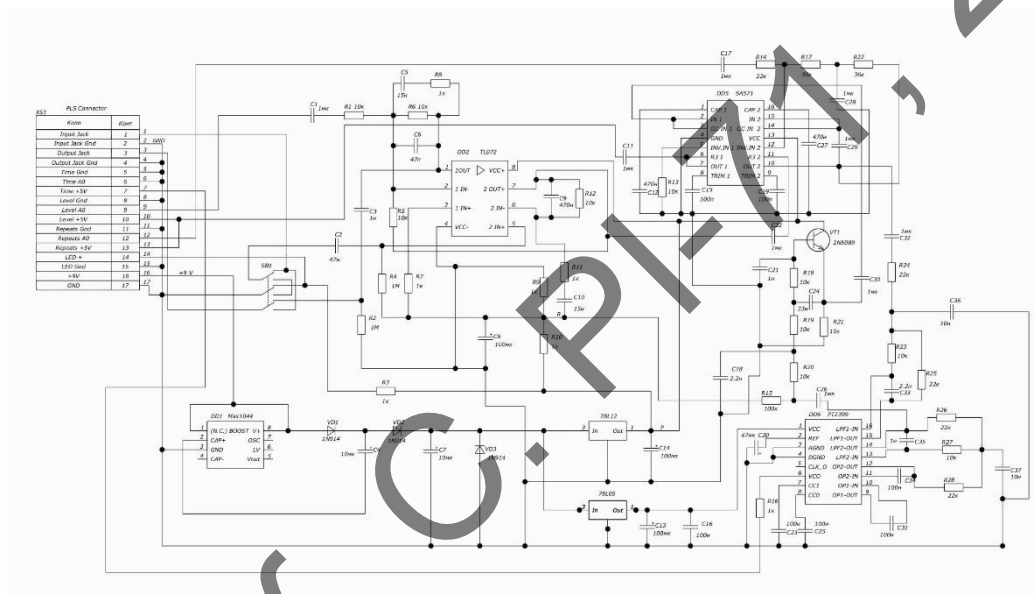


Рисунок 3.1 — Схема електрична принципова

Пристрій вмикається кнопкою SB1, при її натисненні загорасться світлодіод, що сигналізує про ввімкнення. Якщо підключити гітару до пристрою, але не ввімкнути його, сигнал проходить без додавання ефекту.

Схема живиться від джерела постійної напруги 9 В. Оскільки різні частини схеми потребують різної напруги живлення, на схемі є два стабілізатори напруги. На виході стабілізатора 78L05 напруга 5 В, яка необхідна для живлення мікросхеми PT2399. Напруга 12 В з виходу стабілізатора потрібна для живлення операційного підсилювача TL072 та компандора SA571.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.331422.001 ПЗ

Арк.

12

Гітарний сигнал підсилюється операційним підсилювачем TL072. Після цього частина необробленого сигналу йде до операційного підсилювача TL072 на виході, а інша частина потрапляє до компандора SA571. Він потрібен для зменшення шумів, оскільки допомагає зменшити втрати при перетворення сигналу з аналогового в цифровий і навпаки.

Після компандора сигнал фільтрується ФНЧ і потрапляє до основної частини схеми — мікросхеми PT2399. Вбудована операційна пам'ять дозволяє запам'ятати сигнал і створити його затримку. Далі сигнал знову фільтрується фільтром низьких частот, після чого надходить до компандора і йде до частини схеми, яка дозволяє регулювати параметри ефекту.

Параметри ефекту регулюються трьома потенціометрами. Регулятор Level змінює гучність затриманих сигналів, тобто самого ефекту. Регулятор Time змінює тривалість повторів вхідного сигналу. Регулятор Repeats змінює кількість повторів сигналу.

Після цього затриманий сигнал додається до необробленого сигналу в суматорі на операційному підсилювачі TL072.

### 3.3 Моделювання основних вузлів схеми

Для перевірки та уточнення номіналів елементів, аналізу рівнів сигналів проведено моделювання основних частин схеми в програмі Multisim (рис. 3.4).

Змодельована схема містить вузли живлення, підсилення, фільтри нижніх частот, елемент затримки та суматор сигналів.

На вхід схеми подано синусоїдальну напругу частотою 100 Гц, з амплітудою, що надходить зі звукознімача електрогітари. Сигнал, який отримується з гітари не має форму синусоїди, проте, для спрощення демонстрації результатів прийнято рішення спростити сигнал до синусоїдального.

При моделюванні, мікросхему PT2399 замінено на аналогову затримку з максимальною тривалістю затримки сигналу, що забезпечує PT2399.

					РІ71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

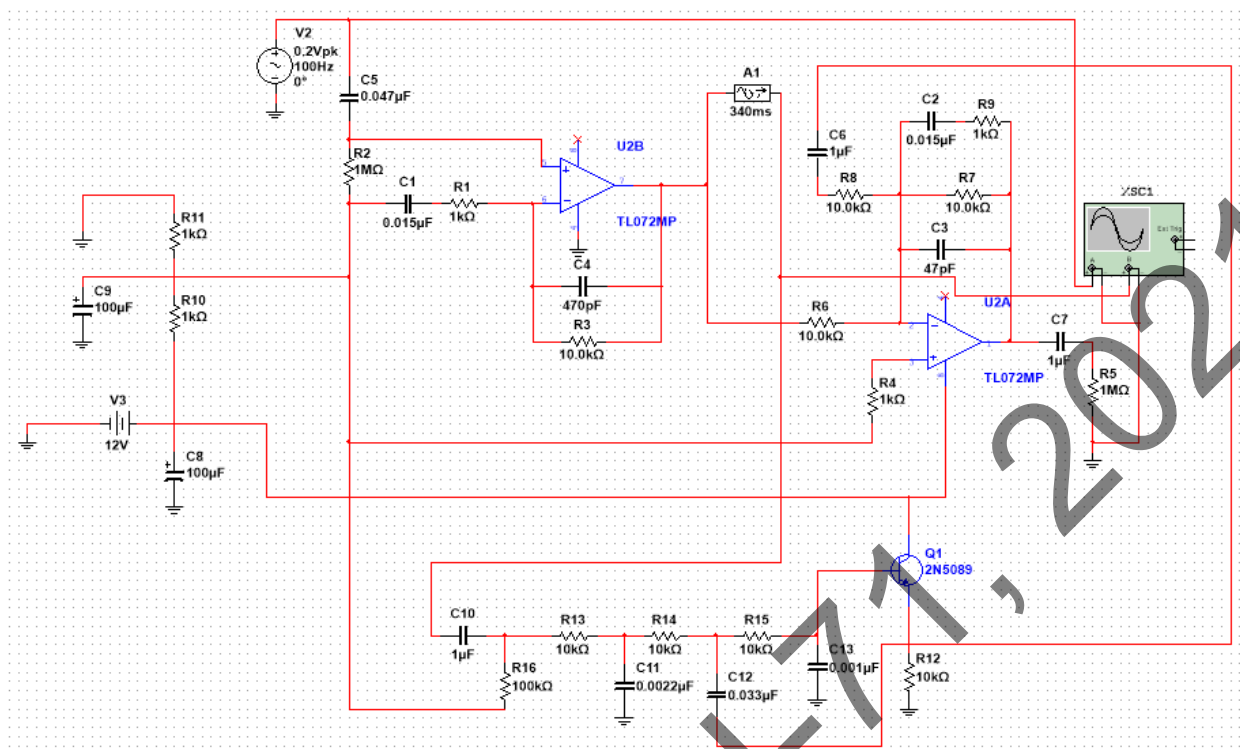


Рисунок 3.4 — Схема для моделювання принципу роботи пристрою

Результати моделювання зображено на рисунку 3.5. До осцилографа під'єднано два сигнали. Сигнал більшої амплітуди імітує сигнал отриманий з гітари. Сигнал меншої амплітуди, затриманий у часі отримано після аналогової затримки.

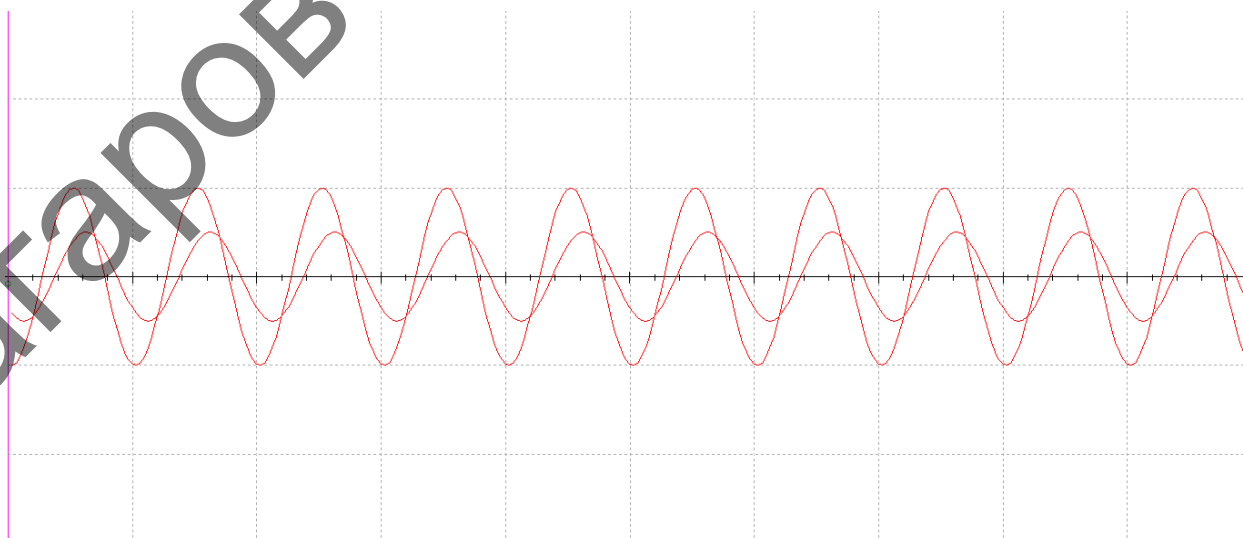


Рисунок 3.5 — Осцилограми вхідного та затриманого сигналів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.331422.001 ПЗ

Арк.

14

Діапазон частот, що відтворює електрогітара стандартного строю знаходиться в межах від 82 до 1570 Гц [14]. В програмі Multisim побудовано АЧХ змодельованої схеми (рис. 3.6).

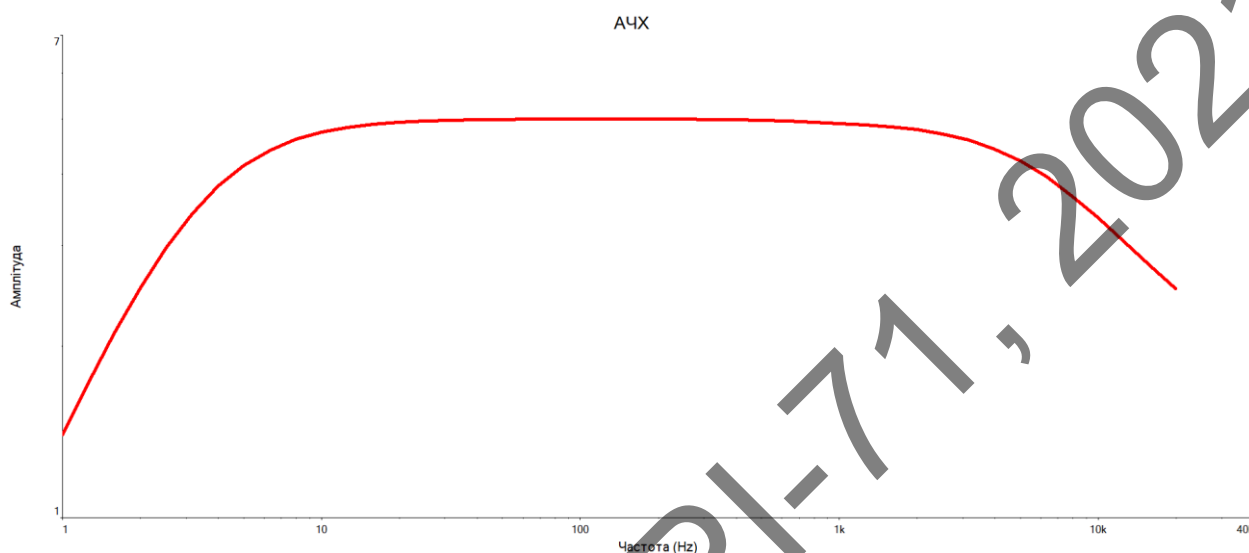


Рисунок 3.6 — Амплітудно-частотна характеристика

З отриманої амплітудно-частотної характеристики можна зробити висновок, що діапазон робочих частот за рівнем -3 дБ від максимального значення коефіцієнта передачі знаходиться в межах від 10 до 6000 Гц.

Це означає, що пристрій можна використовувати не лише зі звичайною електрогітарою, яка має 6 струн і налаштована в стандартний стрій. Можна також використовувати гітари з більшою кількістю струн і з пониженим або підвищеним строєм [15]. Отримана АЧХ підтверджує можливість підключення навіть п'ятиструнної бас гітари до пристрою.

Для аналізу вихідного сигналу пристрою вихід підключено до осцилографа. Для порівняння вхідного сигналу з вихідним до іншого каналу осцилографа під'єднано вхідний сигнал з генератора V2 (рис. 3.7).

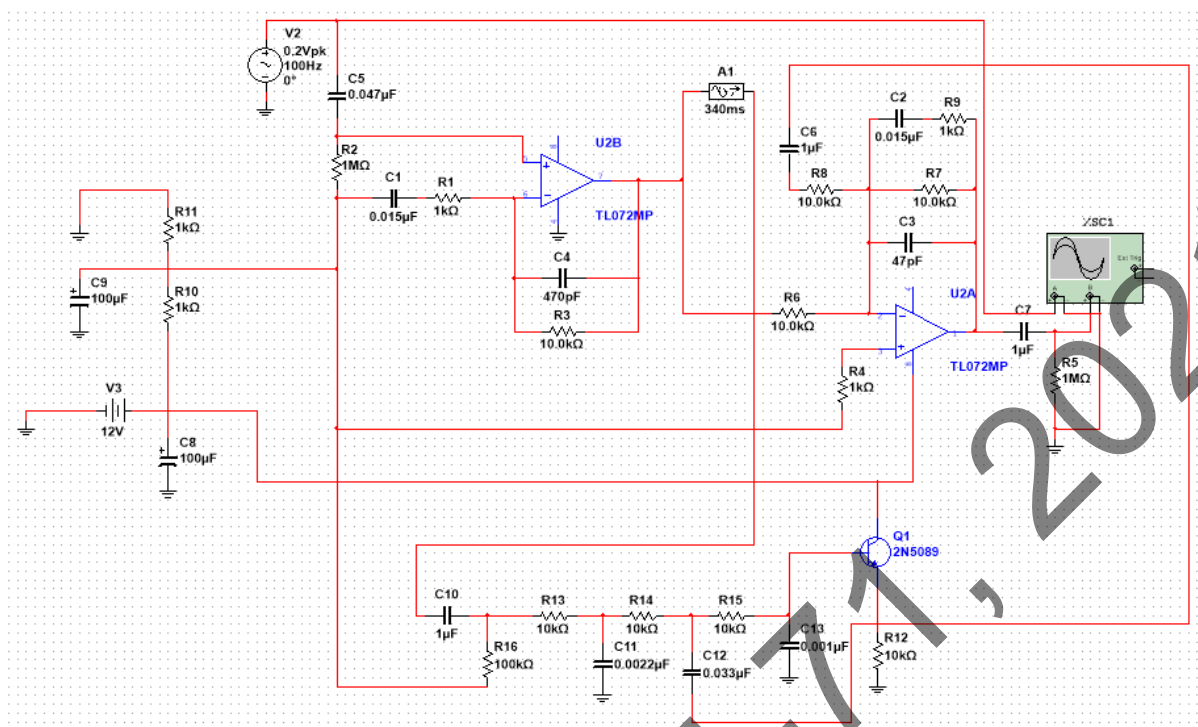


Рисунок 3.7 — Модель схеми пристрою з віртуальним осцилографом

На виході спостерігаються затримані копії вхідного сигналу (рис. 3.8).

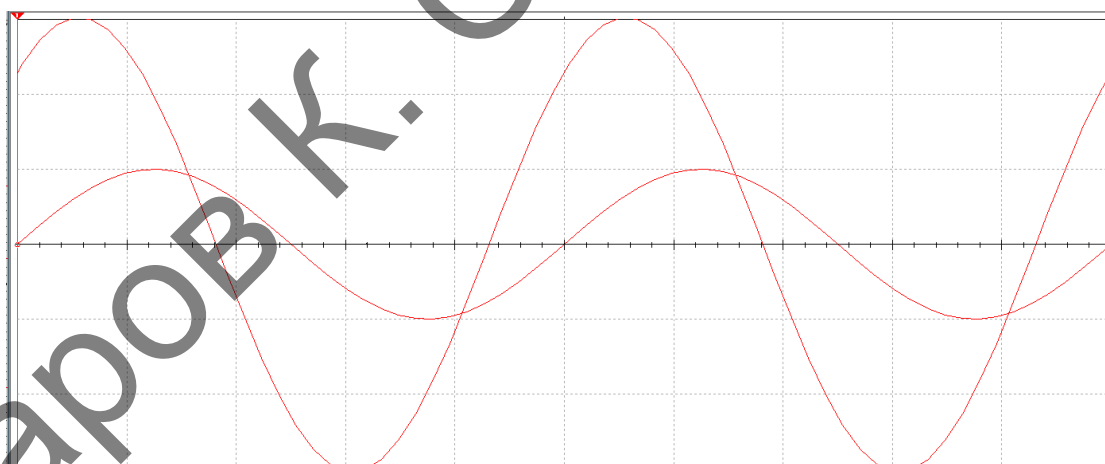


Рисунок 3.8 — Осцилограма вхідного та затриманого сигналів

В результаті моделювання встановлено, що коефіцієнт підсилення на середніх частотах робочого діапазону дорівнює 3. Оскільки на даний пристрій не покладається функція підсилення, то цього значення достатньо для компенсації втрат в пасивних компонентах.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.331422.001 ПЗ

Арк.

16

## 4 ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

Для зменшення вартості кінцевого продукту необхідно обрати елементну базу, що має невисоку вартість і забезпечує працездатність пристрою, відповідно до технічного завдання. Також, обрано елементну базу, що доступна на ринку. Це забезпечить простоту ремонту пристрою.

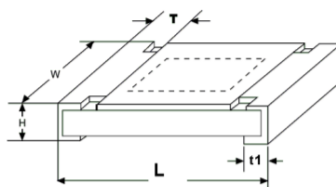
Оскільки пристрій переносний, для зменшення ваги та габаритів обрано елементи поверхневого монтажу, де це доцільно. Більшість компонентів обрано з каталогу інтернет-магазину RCS Components [16].

### 4.1 Вибір пасивних елементів

#### 4.1.1 Вибір резисторів

Обрано резистори компанії Nitano, адже вони доступні на ринку та є всі необхідні номінальні значення опорів. Оптимальним корпусом є 0805 (рис. 4.1) — має задовільні габарити і доступну ціну. Зменшення розміру корпусу призвело б до недоцільного збільшення ціни. Основні характеристики:

- номінальний ряд: 1 Ом – 20 МОм;
- точність  $\pm 1\%$ ;
- номінальна потужність 0,125 Вт;
- максимальна напруга 150 В;
- робоча температура:  $-55...+155^{\circ}\text{C}$ .



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 4.1 — Габаритні розміри SMD резисторів

3D модель SMD резистора зображено на рисунку 4.2.

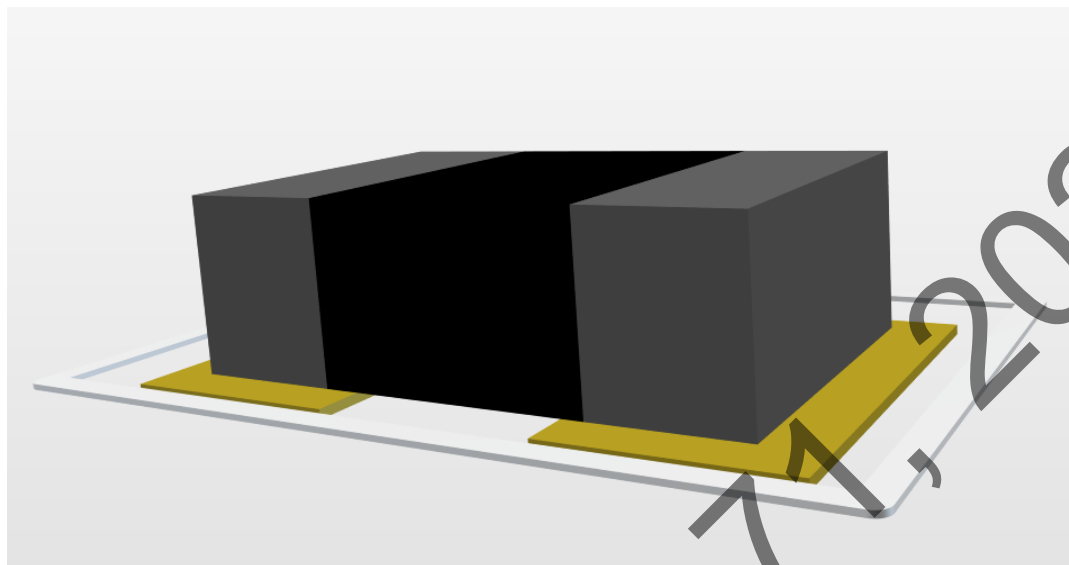


Рисунок 4.2 — 3D модель SMD резистора 0805 в середовищі Altium designer

Серед змінних резисторів, обраю лінійний потенціометр фірми KLS electronic. Він має низьку ціну і задовільні допуски, що не впливатимуть на регулювання приладу. На рисунку 4.3 зображено 3D модель потенціометра.

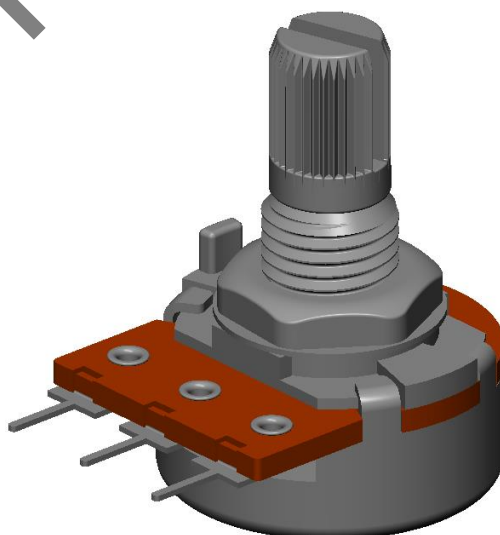


Рисунок 4.3 — 3D модель змінного резистора резистора

					PI71.331422.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18



Обраний змінний резистор має габарити — 17 мм в діаметрі, що дозволяє легко встановити їх визначених місцях корпусу. Основні характеристики:

- номінальний ряд: 5 кОм – 2 МОм;
- точність номінального значення опору  $\pm 20\%$ ;
- кількість обертів 10000;
- номінальна потужність 0,125 Вт;
- максимальна напруга 200 В;
- діапазон робочих температур:  $-55\dots+155^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.1.2 Вибір конденсаторів

Конденсатори також обрано в корпусі для поверхневого монтажу 0805 (рис. 4.4). Конденсатори обрано компанії Hitano, оскільки вони дешеві, мають задовільні допуски і їх легко купити.

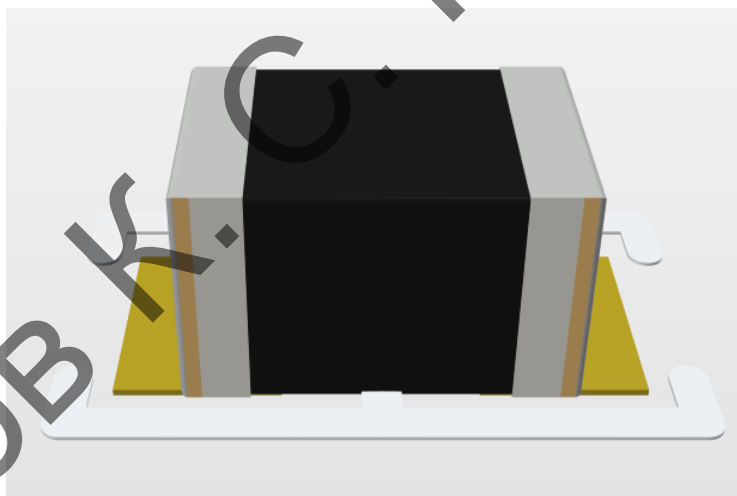


Рисунок 4.4 — 3D модель конденсатора в середовищі Altium designer

Основні характеристики:

- номінальний ряд: 1,5 пФ – 22 мкФ;
- точність номінального значення ємності  $\pm 5 - 10\%$ ;
- номінальна напруга 16 В;
- діапазон робочих температур:  $-55\dots+125^{\circ}\text{C}$ .

					PI71.331422.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

На схемі присутні також електролітичні конденсатори. Обрано конденсатори поверхневого монтажу тієї ж фірми Hitano (рис. 4.5). Корпус типу В має невеликі габарити, що зменшує масу пристрою. Незважаючи на невисоку ціну, обраний конденсатор є досить надійним. Основні характеристики:

- номінальний ряд: 0.1 мкФ – 6800 мкФ;
- точність  $\pm 10\%$ ;
- номінальна напруга 10 В;
- робоча температура:  $-40...+85^{\circ}\text{C}$ .

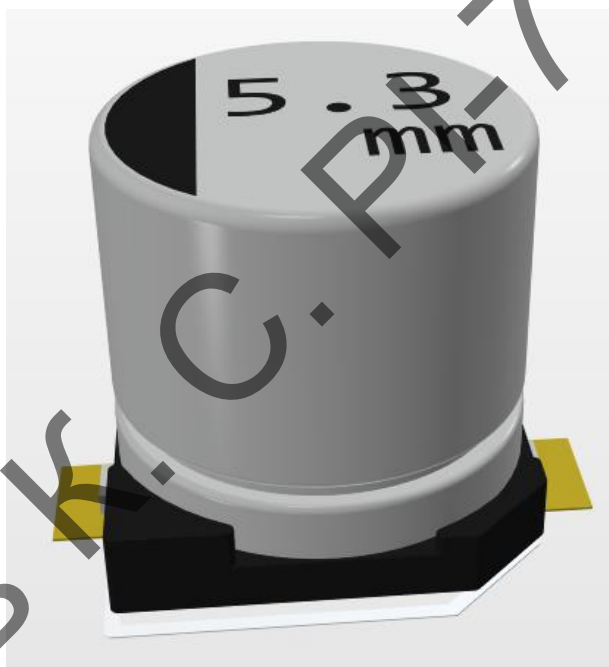


Рисунок 4.5 — 3D модель електролітичного конденсатора в середовищі Altium designer

#### 4.1.3 Вибір діодів

Обрано вивідний діод у корпусі DO-35 (рис. 4.6), тому що діод 1N914 у корпусі поверхневого монтажу важко знайти у продажі, а це погіршить ремонтпридатність.

					PI71.331422.001 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обрано діод компанії ON SEMICONDUCTOR, оскільки його ціна менша за аналоги, а параметри задовільняють умови технічного завдання. Основні характеристики:

- Падіння напруги при прямому включенні 1 В;
- постійний прямий струм 300 мА;
- загальна ємність 4 пФ;
- робоча температура: -55...+175°C.

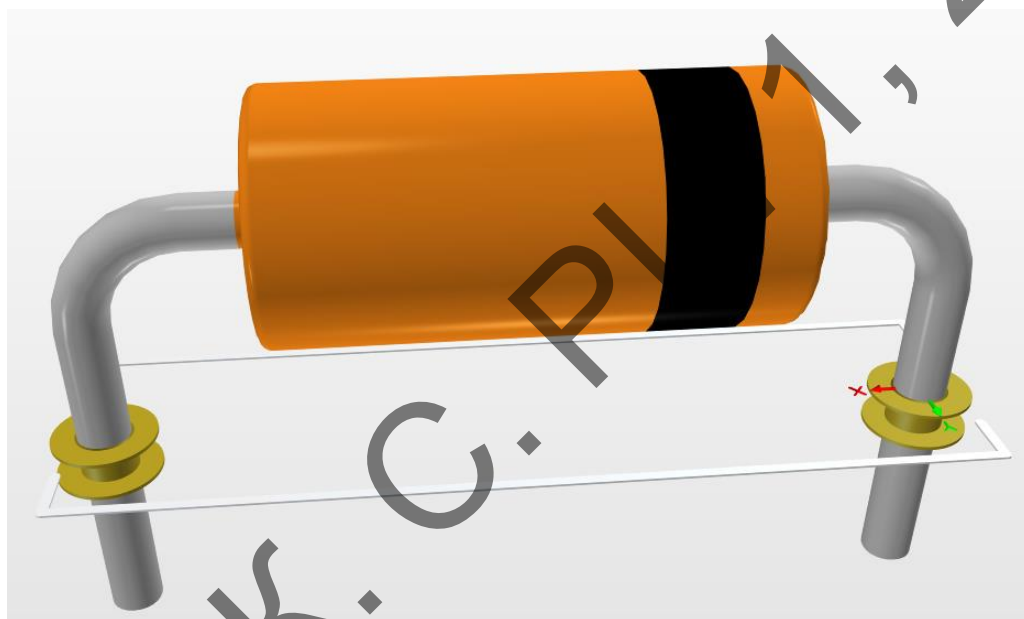


Рисунок 4.6 — 3D модель діода 1N914 в середовищі Altium designer

#### 4.1.4 Вибір кнопки

Для ввімкнення педалі ефекту потрібна кнопка, що одночасно перемикає три контакти при натисненні. Її розмір має забезпечити перемикання ногою під час гри на гітарі. Отже, потрібна кнопка типу 3PDT [10] (рис. 4.9). Це означає, що кнопка трьохполюсна і має дві фіксовані позиції включення. Кнопку обрано від виробника Prowest. Вона є в продажу, недорога і виконує свої функції.

					PI71.331422.001 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

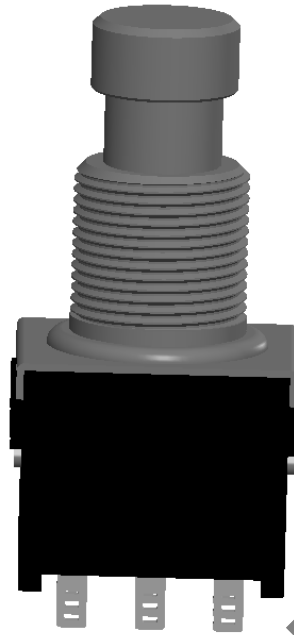


Рисунок 4.9 — 3D модель обраної кнопки в середовищі SolidWorks

#### 4.1.5 Вибір роз'ємів на платі

Підключення елементів керування на корпусі вирішено робити на дротах, тому на платі передбачено роз'єми з виводами типу PLS. Необхідно обрати 2 роз'єми на 9 (рис. 4.10) і 17 (рис. 4.11) виводів.

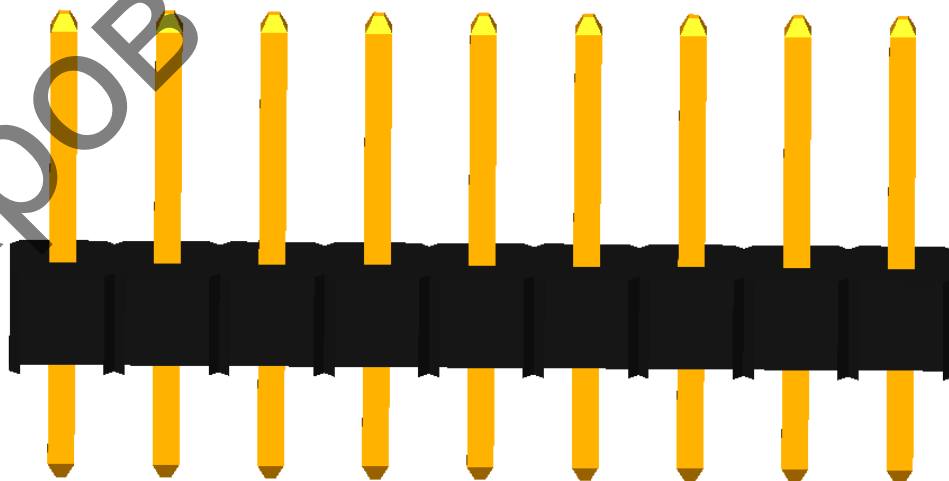


Рисунок 4.10 — 3D модель роз'єма на 9 виводів в середовищі SolidWorks

					PI71.331422.001 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Роз'єм на 9 виводів потрібен для підключення кнопки.

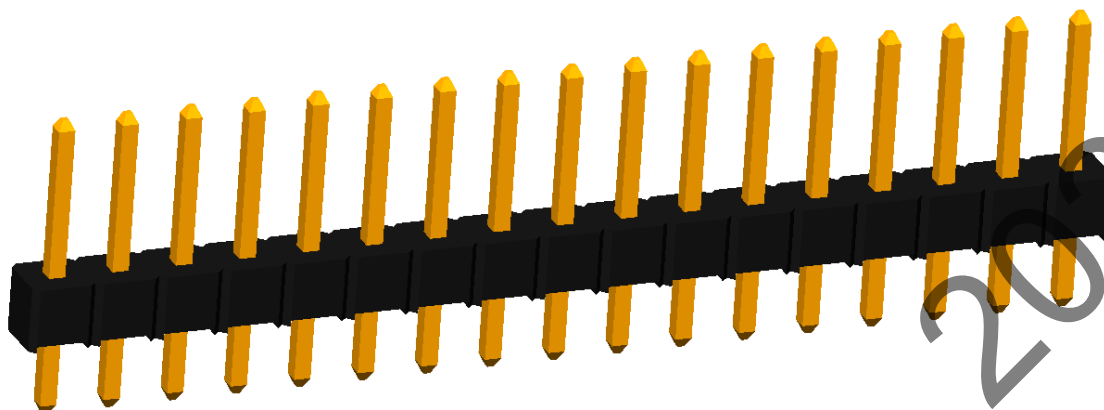


Рисунок 4.11 — 3D модель роз'єма на 17 виводів в середовищі SolidWorks

Для під'єднання дротів, необхідно встановити перехідник на роз'єм.  
Обрано 2 перехідники на 9 (рис. 4.12) і 17 (рис. 4.13) виводів.

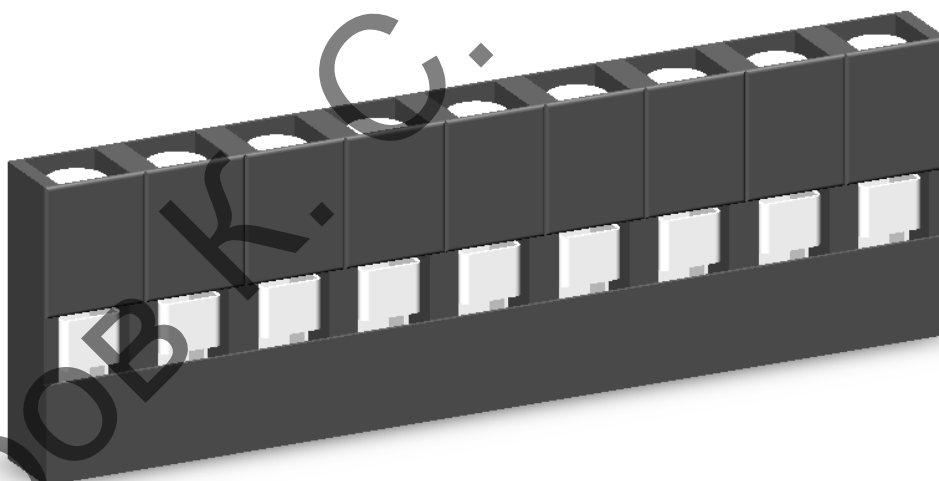


Рисунок 4.12 — 3D модель перехідника для дротів на 9 виводів в середовищі  
SolidWorks

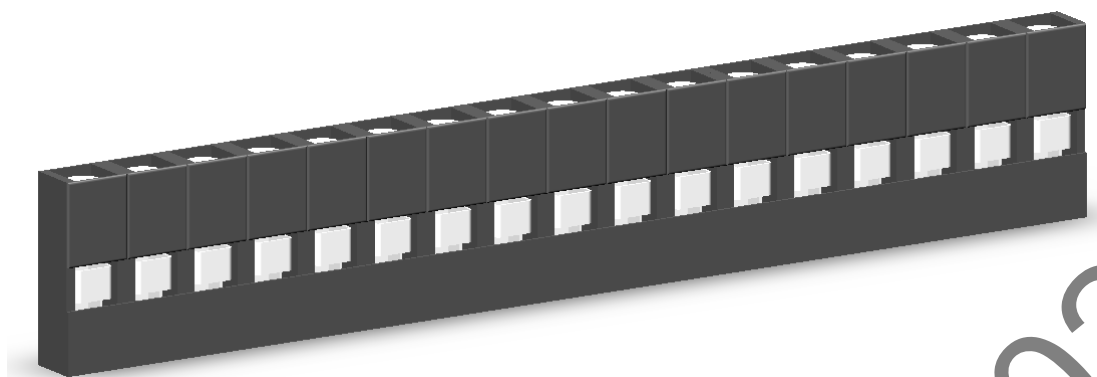


Рисунок 4.13 — 3D модель переходника для дротів на 17 виводів в середовищі SolidWorks

Обрати роз'єми і переходники можна будь-якого виробника, оскільки вони коштують майже однаково і не мають особливих характеристик та параметрів.

#### **4.1.6 Вибір роз'ємів для підключення штекерів типу Jack 6,35 мм**

Електрогітра підключається до педалі ефекту штекером типу Jack 6,35 мм (рис. 4.14)[12].



Рисунок 4.14 — Штекер Jack 6,35 мм

					РІ71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		24

Отже, на корпусі мають бути спеціальні роз'єми під ці штекери(рис. 4.15).  
Роз'єм можна обрати будь-якого виробника.

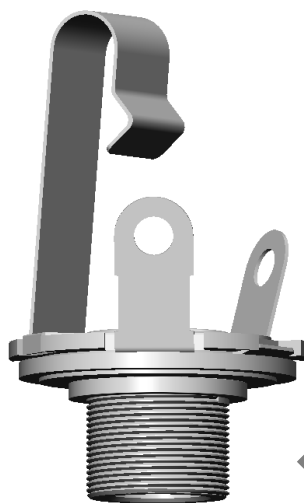


Рисунок 4.15 — 3D модель роз'єму під Jack 6,35 мм в середовищі SolidWorks

З зовнішньої сторони корпусу роз'єм затискається шайбою з гайкою для надійного закріплення.

#### **4.1.7 Вибір роз'єму живлення**

Пристрій живиться від блоку живлення 9 В. Отже, на корпусі необхідно встановити роз'єм для під'єднання живлення (рис. 4.16).

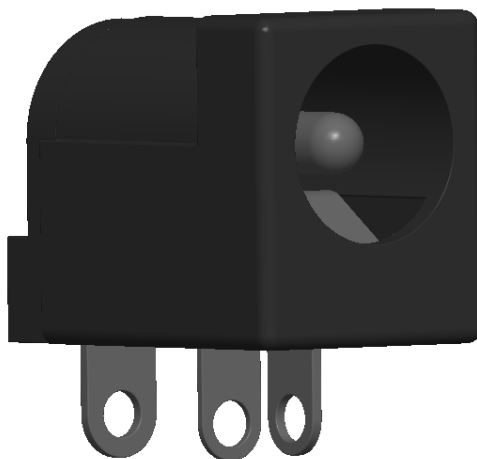


Рисунок 4.16 — 3D модель роз'єму живлення в середовищі SolidWorks

					PI71.331422.001 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Обрано роз'єм PRT-00119 від виробника Sparkfun, оскільки він має необхідний розмір для встановлення на розроблений корпус.

#### **4.1.8 Вибір світлодіоду**

Для індикації ввімкнення пристрою необхідно встановити світлодіод на зовнішній частині корпусу. Обрано червоний колір світлодіода, оскільки людське око найкраще сприймає довжину хвилі червоного кольору.

Обрано світлодіод KLS9-L-3014HD компанії KLS (рис. 4.17). Він має необхідний діаметр 3 мм, невелику ціну і доступний для купівлі.

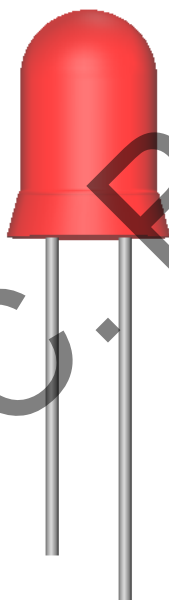


Рисунок 4.17 — 3D модель світлодіода в середовищі SolidWorks

Основні характеристики:

- падіння напруги 2,25 В;
- довжина хвилі 700 нм;
- кут огляду 60°;
- робоча температура: -25...+125°C.

					PI71.331422.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		26



## 4.2 Вибір активних елементів

### 4.2.1 Вибір мікросхем

Головною мікросхемою пристрою є PT2399. Саме вона забезпечує ефект ехо. Дана мікросхема виготовляється у вивідному корпусі DIP-16 (рис. 4.18). Виготовляється мікросхема компанією PTC.

Основні характеристики:

- час затримки: 30... 340 мс;
- робоча температура: -40...+85°C.

Компандор SA571 також виготовляється у вивідному корпусі DIP-16. SA571 обрано компанії PHILIPS, оскільки знайти її легше ніж інших виробників.

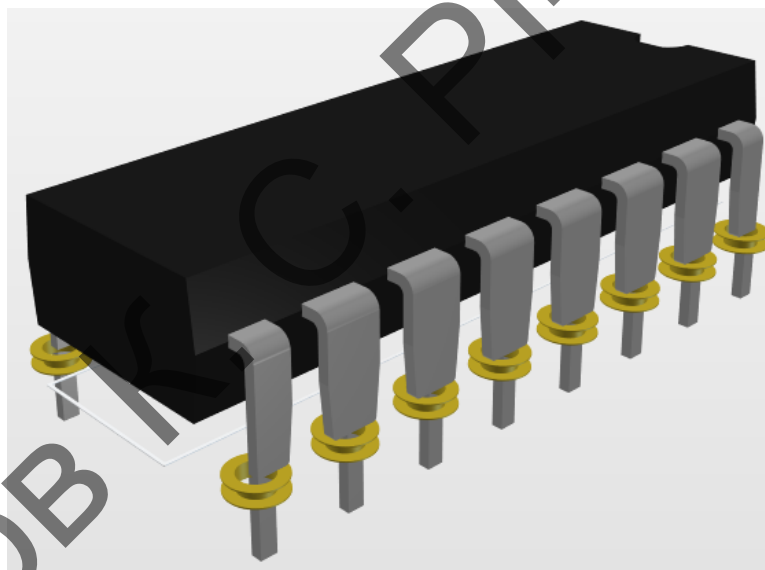


Рисунок 4.18 — 3D модель DIP-16 в середовищі Altium designer

Мікросхема операційного підсилювача TL072 виготовляється у корпусі DIP-8 (рис. 4.19). TL072 від компанії Texas Instruments забезпечує кращу ремонтпридатність, оскільки її легше купити ніж аналогічні мікросхеми інших виробників. Робоча температура TL072: 0...+70°C.

					PI71.331422.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

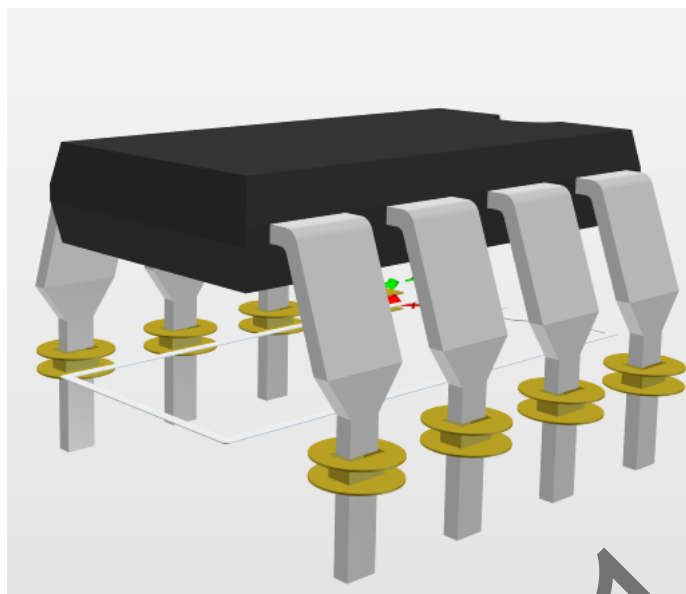


Рисунок 4.19 — 3D модель DIP-8 в середовищі Altium designer

Мікросхема перетворювача постійної напруги на комутованих конденсаторах Max1044 [23] виготовляється у корпусі DIP-8. Max1044 обрано від виробника Maxim Integrated. Дана мікросхема має найменшу ціну серед аналогів. Робоча температура TL072: 0...+70°C.

#### 4.2.2 Вибір транзистора

Транзистор 2N5089 обрано у вивідному корпусі TO-92 (рис. 4.8), оскільки в SMD корпусі даний транзистор не випускається. Транзистор від виробника NTE Electronics, Inc найдешевший і задовільняє умови експлуатації.

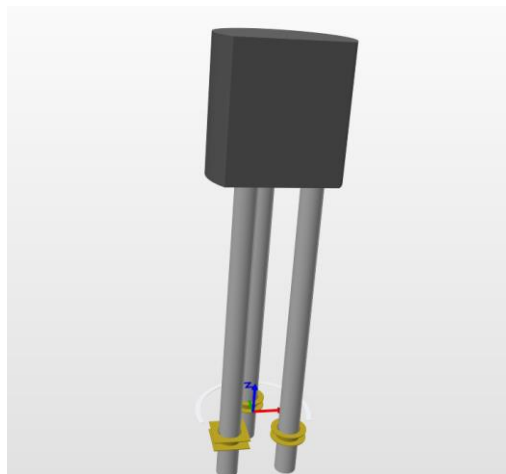


Рисунок 4.8 — 3D модель транзистора в середовищі Altium designer

					PI71.331422.001 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні характеристики:

- гранична частота 50 МГц;
- максимальна потужність 625 мВт;
- робоча температура: -55...+150°C.

#### 4.2.3 Вибір стабілізаторів напруги

Стабілізатори напруги обрано у корпусі поверхневого монтажу SOT-89 (рис.4.7). Компоненти обрано компанії ST. Вони досить дешеві, а їхні параметри відповідають необхідним умовам експлуатації.

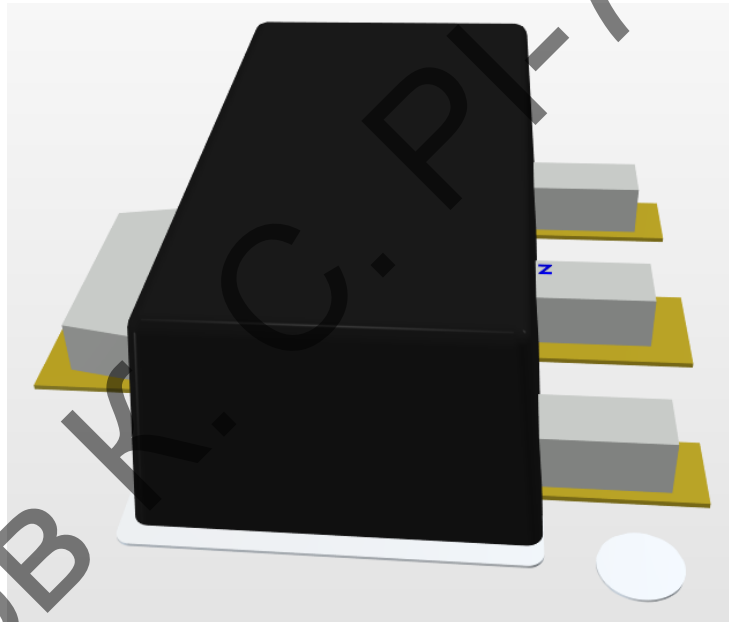


Рисунок 4.7 — 3D модель стабілізаторів напруги в середовищі Altium designer

Стабілізатор 78L05 потрібен для живлення мікросхеми PT2399, що потребує напруги 5 В. Основні характеристики:

- максимальна вхідна напруга 30 В;
- вихідна напруга 5 В;
- вихідний струм 100 мА;
- робоча температура: 0...+125°C.

					PI71.331422.001 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стабілізатор 78L12 потрібен для живлення операційного підсилювача TL072 та компандора SA571, які потребують напруги 12 В. Основні характеристики:

- максимальна вхідна напруга 30 В;
- вихідна напруга 12 В;
- вихідний струм 100 мА;
- робоча температура:  $-40...+125^{\circ}\text{C}$ .

В технічному завданні вказано діапазон температур, при яких використовується пристрій:  $0...+40^{\circ}\text{C}$ . Всі обрані компоненти забезпечують роботопридатність при цих температурах.

Отже, всі обрані компоненти забезпечують необхідні електричні параметри схеми і необхідні умови експлуатації, задані в ТЗ.

					РІ71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

Першим кроком розрахунку є визначення площі друкованої плати. Слід врахувати, що габарити пристрою мають відповідати ТЗ. Вихідними даними для розрахунку є площі посадочних місць електронних компонентів схеми. Результати розрахунків занесено в таблицю 3.1. Розрахунки проведено в програмі Microsoft Excel.

Таблиця 3.1 — Площі елементів

Корпус	Площа, S, мм <sup>2</sup>	Кількість, N, штук	Коефіцієнт, K	Розрахована площа посадочних місць, S <sub>сум</sub> , мм <sup>2</sup>
R0805	6,481	28	1,00	181,47
C0805	6,105	31	1,00	189,26
C Electrolytic	40,898	6	1,00	245,39
Pls-17	116,91	1	2,00	233,82
Pls-9	62,303	1	2,00	124,61
TO-92	40	1	1,00	40,00
SOT89	23,778	2	1,00	47,56
DIP16	187,929	2	2,00	751,72
DIP8	96,588	2	2,00	386,35
DO-35	23	3	1,00	69,00

Щоб спростити трасування провідників плати, площі елементів з великою щільністю виводів, наприклад, мікросхеми, помножено на коефіцієнт щільності виводів.

Сума площ усіх елементів дорівнює 2269 мм<sup>2</sup>. Для забезпечення місця для провідників суму площ помножено на 2. Отже, оптимальна площа плати становить 4538 мм<sup>2</sup>. Серед стандартних розмірів друкованих плат, що забезпечують необхідну площу обрано плату розміром 60 на 80 мм.

## 5.1 Проектування друкованого вузла

Обрано метод виготовлення друкованої плати, матеріал плати і клас точності. Також проведено трасування провідників ДП.

### 5.1.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати

Схема містить досить велику кількість елементів, як поверхневого монтажу, так і вивідні. Тому обрано двосторонню ДП з монтажом елементів з верхньої сторони.

Плату доцільно виготовляти комбінованим позитивним методом (рис. 5.1) [8], при якому формування малюнка провідників відбувається шляхом гальванічного осадження міді з застосуванням фотошаблонів[9].



Рисунок 5.1 — Технологія виготовлення ДП комбінованим позитивним методом

### 5.1.2 Вибір матеріалу

Матеріалом плати обрано фольгований склотекстоліт FR-4.

Склотекстоліт має високу механічну міцність, термостійкість, низькі втрати та високий поверхневий опір. Оскільки пристій використовується в умовах механічних навантажень, обрано товщину плати 1,5 мм.

### 5.1.3 Вибір класу точності плати та щільності виробництва

Оскільки елементи на платі розташовані досить щільно, схема містить дрібновивідні мікросхеми та роз'єми, за ГОСТ 23751-86 обрано 3 клас точності друкованої плати (рис. 5.2) [6]. Вищий клас точності використовувати недоцільно, адже це збільшить вартість виробництва. Менший клас точності не дозволить якісно провести трасування провідників.

Условные обозначения элементов печатного монтажа	Класс точности ПП				
	1	2	3	4	5
$T$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
$S$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
$B_M$ , мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
$\gamma = d/H$	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20
$\Delta T$ , мм (без покрытия)	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	0; $-0,03$
$\Delta T$ , мм (с покрытием)	$+0,25$ ; $-0,20$	$+0,15$ ; $-0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
$T_1$ , мм (ОПП, ДПП, ГПК и МПП — наружные слои)	0,15	0,10	0,05	0,03	0,03
$T_1$ , мм (МПП — внутренние слои)	0,20	0,12	0,10	0,05	0,03

Рисунок 5.2 — Клас точності ДП

$T$  - ширина друкованого провідника;

$S$  - відстань між краями сусідніх елементів провідникового рисунку;

$b$  - гарантійний;

$\gamma$  - відношення номінального значення діаметра найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати;

$\Delta T$  — допуск на  $t$ ;

$T_1$  — допуск на розміщення контактних майданчиків.

					РІ71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Для спрощення трасування, економії травника і зменшення паразитних зв'язків, було виконано заливку полігоном землі (GND).

## 5.2 Трасування плати

Проектування друкованої плати і трасування провідників проведено в програмному забезпеченні Altium Designer (20.1.14).

Для закріплення плати, в ній передбачено отвори під гвинти М3, що закріплюють плату в корпусі. Для зменшення вартості виробництва, елементи, де це можливо, були розташовані таким чином, щоб мінімувати довжину провідників.

Проведено трасування у верхньому (рис. 5.1) і нижньому (рис. 5.1) шарах друкованої плати.

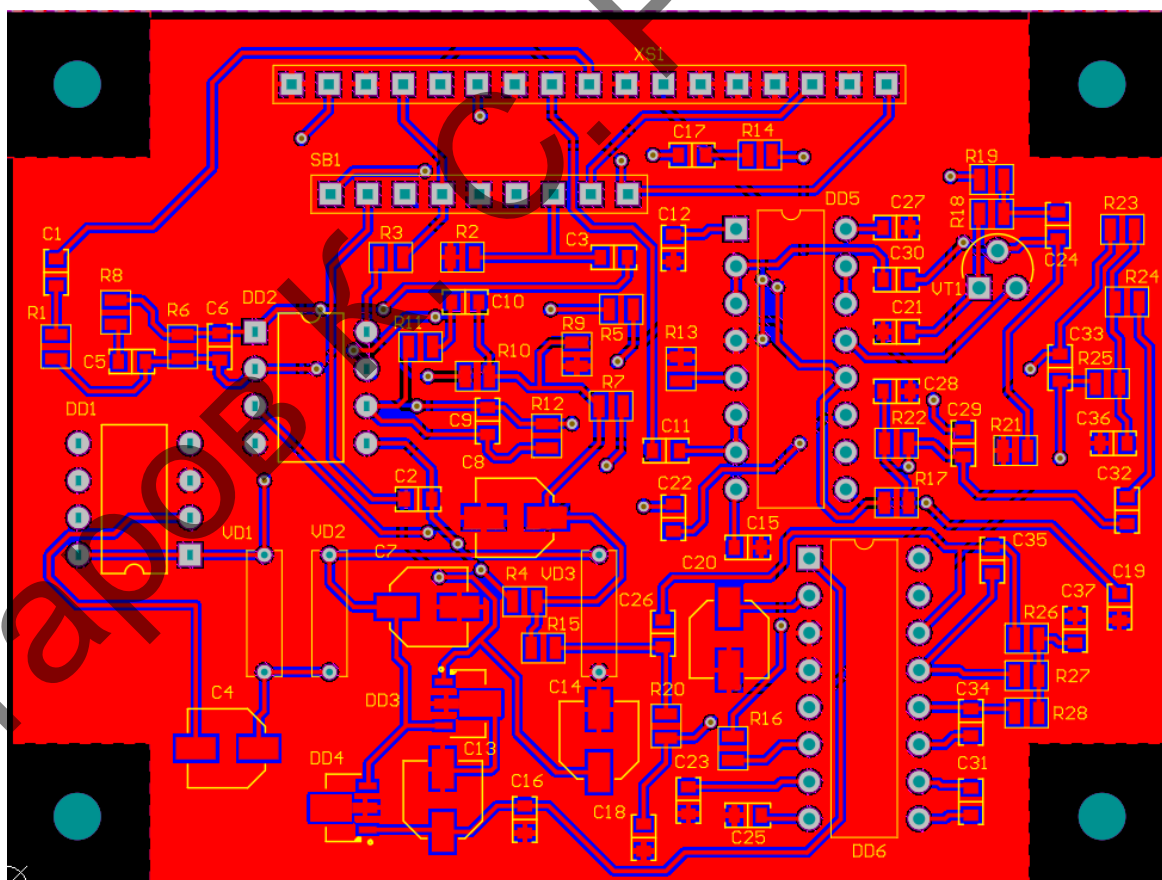


Рисунок 5.1 — Верхній шар провідників



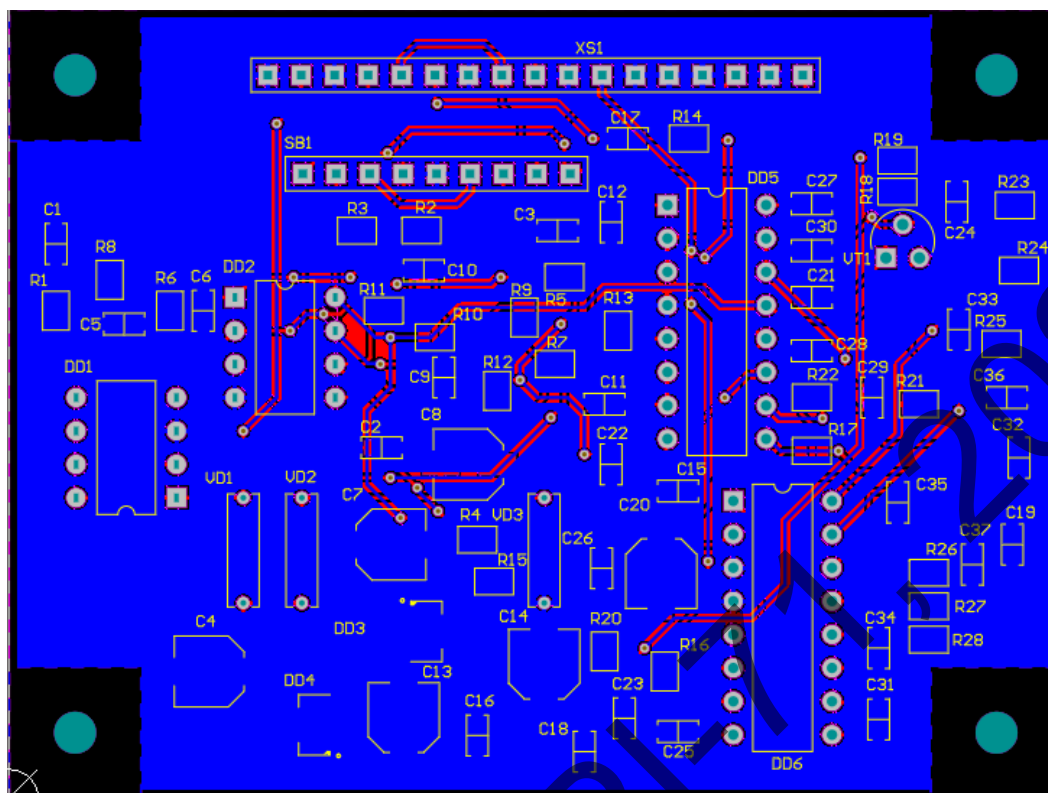


Рисунок 5.2 — Нижній шар провідників

Зовнішній вигляд друкованого вузла зображено на рисунку 5.3.

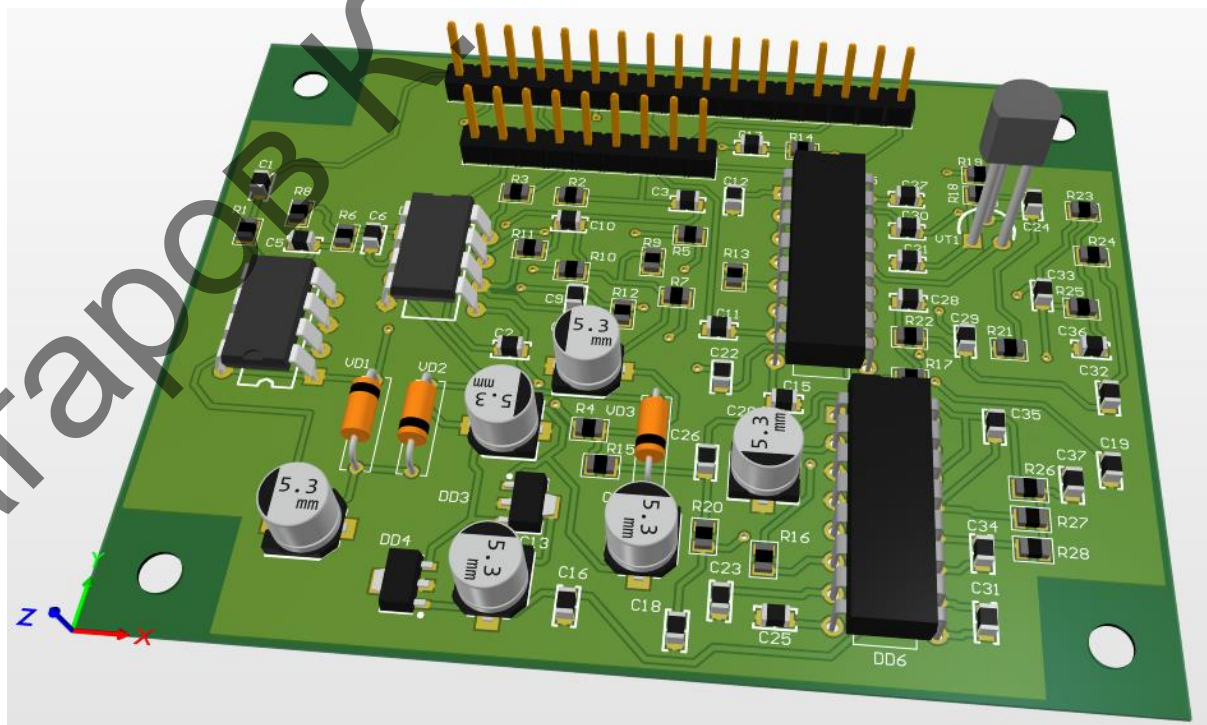


Рисунок 5.3 — Друкований вузол у середовищі Altium designer

					<i>PI71.331422.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						<i>35</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Після проведення всіх розрахунків, розміщення елементів та трасування, отримано друкований вузол для педалі ефекту ехо.

### 5.3 Розрахунок резонансної частоти механічних коливань ДВ

Для підтвердження стійкості до вібрацій проведено розрахунок віброміцності друкованого вузла [24]. Для цього розрахована частота власних коливань друкованої плати.

Параметри ДВ:

- довжина плати  $a = 0,08 \text{ м}$ ;
- ширина плати  $b = 0,06 \text{ м}$ ;
- товщина плати  $h = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;

Матеріал друкованої плати – двосторонній фольгований стеклотекстоліт FR-4 1,5/35/35 з параметрами:

- модуль пружності  $E = 1,1 \cdot 10^{10} \text{ кг/м}^2$ ;
- коефіцієнт Пуассона  $\xi = 0,28$ .

Маса встановлених на платі елементів  $M = 0,04 \text{ кг}$ .

Приведена маса друкованої плати:

$$m_n = \rho h = 1,9 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 2,85 \text{ кг/м}^2$$

Приведена маса плати з деталями:

$$m = m_n + m_o = 2,85 + \frac{0,08}{0,08 + 0,06} = 3,28 \text{ кг/м}^2$$

Циліндрична жорсткість:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \xi)} = \frac{1,1 \cdot 10^{10} \cdot 3,375 \cdot 10^{-9}}{12 \cdot 0,72} = 4,3 \text{ кг/м}^2$$

Значення функції  $\varphi(\beta)$  для кріплення плати в чотирьох точках:

					РІ71.331422.001 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

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

де  $\beta = \frac{a}{b} = 1,3$  коефіцієнт співвідношення довжини і ширини плати.

$$\varphi(\beta) = \pi^2 \sqrt{\frac{1 + 1,621 \cdot \frac{0,28}{1,3} + \frac{1}{1,69}}{1 + 1,621 \cdot \frac{1}{2,2} + \frac{1}{3,83}}} \approx 10$$

Визначимо значення резонансної частоти плати:

$$f_0 = \frac{\varphi(\beta)}{2\pi a^2} \sqrt{\frac{D}{m}} = \frac{10}{0,04} \cdot \sqrt{\frac{4,3}{3,28}} \approx 285 \text{ Гц}$$

Розрахована резонансна частота плати  $f_0 = 285 \text{ Гц}$  значно перевищує максимальну частоту вібраційних впливів  $f = 70 \text{ Гц}$ . Отже, обрані габарити плати і варіант кріплення влаштовують вимоги віброміцності задані в технічному завданні.

					PI71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

Згідно з технічним завданням, необхідно розробити міцний корпус, який матиме змогу вмикатися ногою. Для забезпечення міцності, корпус виготовлено литтям з дюралюмінієвого сплаву Д16т [25]. Корпус пристрою розроблено в програмному забезпеченні SolidWorks. Корпус складається з двох частин. Основну частину корпусу, на якій встановлюється плата, виготовлено цілісною деталлю для забезпечення міцності. До неї знизу кріпиться нижня кришка за допомогою чотирьох гвинтів М3. В основній частині є потовщення для закріплення нижньої кришки.

Плата закріплюється на спеціальних стійках на відстані, необхідній для можливості встановлення всіх елементів керування і роз'ємів для входу та виходу сигналу. Під елементи керування, індикації та роз'єми в основній частині корпусу передбачено отвори. Основну частину корпусу зображено на рисунку 6.1.



Рисунок 6.1 — Основна частина корпусу

					РІ71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

На основній частині корпусу наклеєно наклейки з підписами органів керування та підписи входу та виходу сигналу.

На нижній частині основної частини корпусу передбачено поглиблення для надійнішої фіксації нижньої кришки (рис. 6.2).

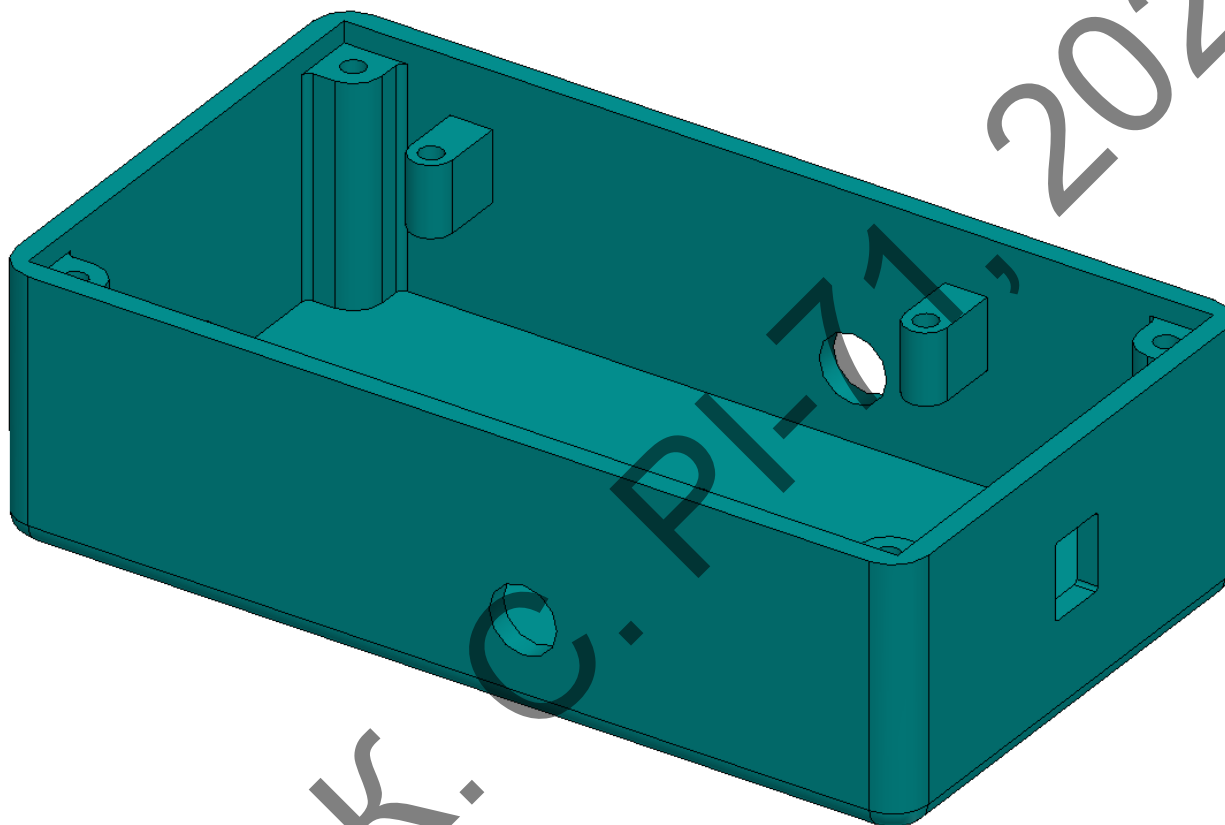


Рисунок 6.2 — Вигляд знизу основної частини корпусу

На потенціометрах закріплено насадки для зручності керування параметрами ефекту. Роз'єми для підключення електрогітари закріплюються за допомогою шайб та гайок.

Кнопку для ввімкнення пристрою також закріплено за допомогою шайби та гайки для надійного закріплення в корпусі.

Зібраний пристрій зображено на рисунку 6.3.

					РІ71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

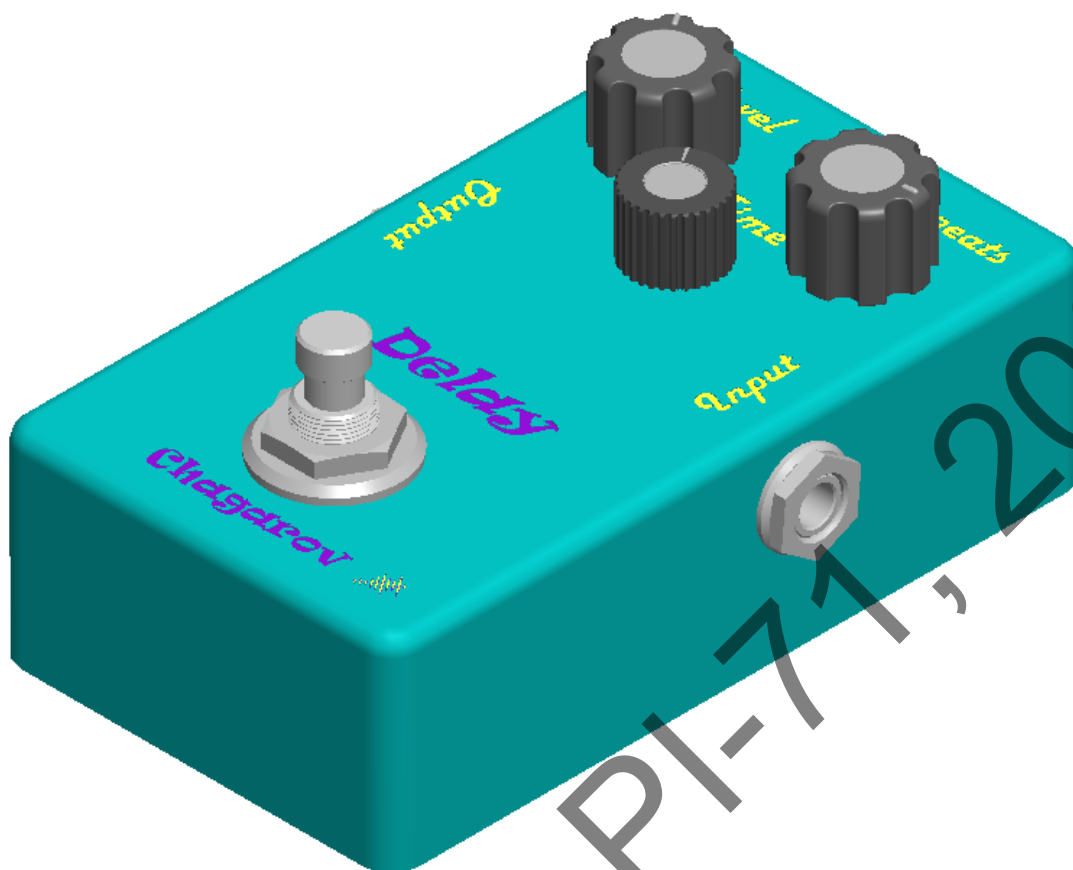


Рисунок 6.3 — Зовнішній вигляд пристрою

Максимальна висота розробленого корпусу пристрою складає 56,5 мм, максимальна ширина становить 81 мм, максимальна довжина — 129 мм.

Отже, розроблений корпус забезпечує задані в ТЗ габарити і його можна встановити в будь-який педалборд з іншими ефектами для електрогітари.

Для забезпечення ремонтпридатності, забезпечено легкий доступ до компонентів приладу, оскільки його легко розібрати.

					PI71.331422.001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ

Умовою технічного завдання є забезпечення надійності пристрою. Необхідно забезпечити ймовірність 80% безвідмовної роботи при тривалості роботи 10000 год.

### Вихідні дані:

- початкова середньостатистична інтенсивність відмов електронних компонентів (ЕК);
- Схема електрична принципова
- Модель конструкції друкованого вузла

### Порядок розрахунку:

1. Знайти експлуатаційну (розрахункову) інтенсивність відмов ЕК

$$\lambda_p = \lambda_0 K_1 K_2 K_3 \dots K_N (*)$$

$\lambda_p$  – експлуатаційна інтенсивність відмов ЕК;

$\lambda_0$  – початкова середньостатистична інтенсивність відмов ЕК;

$K_1$  – функція температури та коефіцієнта навантаження  $K_1 = f(\theta, K_n)$ ,

де  $\theta$  – температура ЕК, °С,  $K_n$  – коефіцієнт навантаження;

$K_2$  – рівень механічних експлуатаційних впливів (вібрацій та ударів);

$K_3$  – відносна вологість у внутрішньому об'ємі РЕА.

Для кожного виду електронних компонентів в залежності від точності прийнятої моделі може бути свій, ширший набір експлуатаційних коефіцієнтів.

Інтенсивність відмов конденсаторів:

Керамічні

$$\lambda_p = \lambda_0 K_p K_C$$

Електролітичні

$$\lambda_p = \lambda_0 K_T K_C$$

					PI71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$K_C$  – коефіцієнт, що враховує номінальну ємність та математичну модель розрахунку для окремих груп конденсаторів

$K_T$  – температурний коефіцієнт, що залежить від температур навколишнього середовища для імпульсних конденсаторів.

Інтенсивність відмов біполярних транзисторів:

$$\lambda_p = \lambda_0 K_p K_\phi K_{s1}$$

Інтенсивність відмов резисторів:

$$\lambda_p = \lambda_0 K_p K_R$$

$K_R$  – коефіцієнт, що враховує номінальний опір;

Інтенсивність відмов мікросхем

$$\lambda_p = \lambda_0 K_{c,T} K_{\text{корп}}$$

$K_{c,T}$  – Коефіцієнт режиму, що враховує складність інтегральних мікросхем та температуру навколишнього середовища;

$K_U$  – коефіцієнт, що враховує вплив максимальних значень напруг живлення  $K_U = 1$

$K_{\text{корп}}$  – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу корпусу інтегральних мікросхем ( $K_{\text{корп}} = 3$  для пластмасових корпусів)

2. Визначається середнє напрацювання на відмову для кожної групи однотипних ЕК, розв'язуючи рівняння:

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{T_0}{2\pi t_b^3}} \exp \left[ -\frac{(t_b - T_0)^2}{2t_b T_0} \right]$$

$T_0$  – середнє напрацювання на відмову

$t_b$  – тривалість випробувань ( $t_b = 3 \cdot 10^4$ )

3. Для кожного ЕК визначається імовірність безвідмовної роботи за час роботи  $t$ , заданий в ТЗ

Імовірність безвідмовної роботи  $P(x)$  для DN-розподілу в залежності від параметра  $x = t/T_0$  та коефіцієнта варіації  $v$

					РІ71.331422.001 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$P(x) = 0,5 \left\{ \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{1-x}{v\sqrt{2x}} \right) \right] + e^{\frac{2}{v^2}} \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( -\frac{1+x}{v\sqrt{2x}} \right) \right] \right\}$$

$P(x)$  – ймовірність безвідмовної роботи;

$\operatorname{erf}(x)$  – функція інтеграла помилок

$v$  – коефіцієнт варіації ( $v = 1$ );

4. Імовірність безвідмовної роботи вузла РЕА знаходиться як добуток інтенсивностей відмов його ЕК з врахуванням інтенсивності відмов плати та монтажних з'єднань

Для зручності дані внесені в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 — Параметри надійності елементів

Назва і тип ЕК	$\lambda_0 \cdot 10^6$ , 1/год.	Коефіцієнти							$\lambda_p \cdot 10^6$ , 1/год.	К- ть N	$T_0$	x	P(x)
		$K_\phi$	$K_p$	$K_c$	$K_{S1}$	$K_R$	$K_{\text{корп}}$	$K_T$					
Конд-ри													
Ел-чні	0,19			1				3,63	0,69	6	80600	0,12	0,99
Керамічні	0,019		0,18	0,53					0,0018	31	54300	0,18	0,98
Діоди													
1N914	0,1	1,5	0,09		0,7				0,01	3	14200	0,7	0,83
Тран-ри													
2N5089	0,07	0,7	0,22		0,5				0,0047	1	24034	0,4	0,94
Резистори													
R від 1кОм до 1 МОм	0,04					0,6			0,02	31	56809,8	0,18	0,99
Мікросхеми	0,019						3	0,89	0,05	6	436060	0,02	0,99
СУМА									0,77		11100		0,84

Сумарна ймовірність безвідмовної роботи при ( $t=10000$  год) становить  $P = 84\%$ . Розраховане значення ймовірності безвідмовної роботи задовільняє вимоги ТЗ.

## ВИСНОВКИ

Для розробки пристрою проведено аналіз існуючих варіантів схемотехнічної реалізації. Після аналізу обрано рішення з використанням цифрового оброблення сигналів на основі мікросхеми PT2399.

Обрано елементну базу, що відповідає вимогам ТЗ по стійкості до зовнішніх кліматичних та механічних впливів.

Для аналізу параметрів схеми, уточнення номіналів елементів проведено моделювання аналогової частини схеми в програмному забезпеченні Multisim. В результаті отримано діапазон робочих частот дорівнює 10..6000 Гц, максимальний коефіцієнт підсилення 3. Отримані осцилограми вихідних сигналів, що проходять через пристрій. Побудовано амплітудно-частотну характеристику приладу, яка підтверджує працездатність схеми на частотах, що відтворюється електрогітарою і сприймається людським вухом.

В програмному середовищі Altium designer проведено проектування схеми електричної принципової та розроблено друкований вузол. Розрахована оптимальна площа плати і проведено трасування провідників. Розміри спроектованої плати 80x60 мм. Кріплення здійснюється в чотирьох точках по кутах плати.

В програмному середовищі SolidWorks спроектовано міцний корпус з дюралюмінієвого сплаву Д16т. Розроблено 3D модель корпусу та конструкторську документацію. На лицевій панелі корпусу встановлено необхідні органи керування та індикації. Прийняті конструкторські рішення забезпечують ремонтпридатність за ГОСТ 27.002-89. Розроблена конструкція відповідає ТЗ.

Проведено розрахунки, які підтверджують працездатність приладу. Визначено резонансну частоту друкованої плати і показано, що вона значно вища за максимальну частоту механічних впливів. Також, проведено розрахунок надійності. Середній час напрацювання на відмову складе 11100 год, що підтверджує відповідність вимогам ТЗ.

					РІ71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Электронный фонд актуальных нормативно-технических документов [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://docs.cntd.ru/document/1200003320>.

2. BOSS Talk: I Love Analog Delay But What Is A BBD? [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://rolandcorp.com.au/blog/boss-talk-bbd>.

3. Компандирование [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5>.

4. Дилей, эхо [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%B9>.

5. Блок эффектов [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BB%D0%BE%D0%BA\\_%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BB%D0%BE%D0%BA_%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2).

6. Классы точности печатных плат (PCB) [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <http://microsin.net/adminstuff/others/pcb-classes.html>.

7. Классы точности печатных плат [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: [http://stroynye2014.blogspot.com/2014/01/blog-post\\_8129.html](http://stroynye2014.blogspot.com/2014/01/blog-post_8129.html).

8. Технологія виготовлення друкованих плат [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://ppt-online.org/30126>.

9. Сучасні методи виготовлення друкованих плат [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/inrtzp/txt/paliy.pdf>.

10. ЧТО ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ ЗРДТ [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://www.dailywell.com.tw/ru/faq/Dailywell-FAQ-09.html>.

					PI71.331422.001 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. ЧТО ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ ЗРДТ [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://www.dailywell.com.tw/ru/faq/Dailywell-FAQ-09.html>.

12. Разъём TRS [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D1%8A%D1%91%D0%BC\\_TRS](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D1%8A%D1%91%D0%BC_TRS).

13. Ливарне виробництво [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B5\\_%D0%B2%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%BE](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B5_%D0%B2%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%BE).

14. Частотные диапазоны музыкальных инструментов [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <http://www.lexamusic.com/sound/sound1.htm>.

15. Гитарный строй [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9).

16. РКС компоненты [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/>.

17. BOSS DM-2W [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://www.boss.info/global/products/dm-2w/>.

18. Педаль PT-80 Delay [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://www.komitart.ru/915-sobiraem-pedal-pt-80-delay.html>.

19. Mad Professor Deep Blue Delay Factory Made [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://pedalspace.com.ua/ru/guitar-effects/delay-pedals/mad-professor-deep-blue-delay-factory-made/>.

20. Собираем педаль Deep Blue Delay [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://www.komitart.ru/815-sobiraem-pedal-deep-blue-delay.html>.

21. Описание и руководство по применению микросхемы PT2399 [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: [https://vpayaem.ru/inf\\_pt2399.html](https://vpayaem.ru/inf_pt2399.html).

22. Лист даних мікросхеми PT2399 [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <http://www.princeton.com.tw/Portals/0/Product/PT2399-s.pdf>.

23. Преобразователи постоянного напряжения на коммутируемых конденсаторах [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: [http://www.radioradar.net/hand\\_book/documentation/max1044.html](http://www.radioradar.net/hand_book/documentation/max1044.html).

24. Преобразователи постоянного напряжения на коммутируемых конденсаторах [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: [http://www.radioradar.net/hand\\_book/documentation/max1044.html](http://www.radioradar.net/hand_book/documentation/max1044.html).

25. Сплав Д16т [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://cu-prum.ru/alyuminij1/splav-d16t.html>.

					PI71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ДОДАТКИ

Додаток А — Технічне завдання

Додаток Б — Перелік елементів

Додаток В — Специфікація на друкований вузол

Додаток Г — Специфікація на пристрій

					РІ71.3314.22.001 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПОГОДЖЕНО

старший викладач Новосад А.А.

(керівник)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(підпис)

(розшифровка

підпису)

ЗАТВЕРДЖЕНО

д.т.н., проф. Нелін Є.А.

(Завідувач кафедри КіВРА)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(підпис)

( розшифровка

підпису)

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

Пристрій для створення ефекту ехо

Чагаров К. С.

(виконавець)

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_  
(розшифровка

підпису)

# 1 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

## 1.1 Назва. Підстава для виконання

Пристрій для створення ефекту ехо.

Підставою для виконання є наказ факультету №1205-с від 18 травня 2021р.

## 1.2 Мета виконання і призначення розробки

Метою роботи є розробка конструкції педалі ефекту затримки для підключення до електрогітари.

## 1.3 Технічні вимоги

### 1.3.1 Показники призначення

Затримка 20..340 мс.

Напруга живлення схеми  $9\text{ В} \pm 5\%$ ;

Максимальний струм живлення не більше 1 А;

### 1.3.2 Вимоги до життєдіяльності та стійкості до зовнішніх впливів та чинників

Кліматичне виконання – У4.2 (згідно ГОСТ 15150–69).

У4.2 - для макрокліматичних районів з помірним кліматом (У), для експлуатації в приміщеннях зі штучно регульованими кліматичними умовами. Для експлуатації в лабораторних, капітальних житлових і інших подібних приміщеннях. Температури експлуатації:  $+0 — 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 1.3.3 Вимоги до надійності

Виріб по забезпеченню надійності повинен задовольняти вимогам ГОСТ 27.003-90.

Ймовірність безвідмовної роботи 80% при тривалості роботи 10000 годин

Середній час відновлення не більше 3 годин.

					PI71.331422.001 T3	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Середній строк служби не менше 2 років.

Виріб повинен витримувати вплив зовнішніх механічних та кліматичних факторів згідно з ГОСТ 11478-88.

#### **1.3.4 Вимоги до технологічності**

Вимоги до технологічності по ГОСТ 14.201-83.

#### **1.3.5 Вимоги до конструкції**

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

Пристрій повинен мати змогу вмикатися і вимикатися ногою. Корпус повинен витримувати механічні навантаження під час експлуатації. З'єднання двох частин має бути роз'ємним.

Габарити пристрою не більше:

Довжина.....150 мм;

Ширина.....90 мм;

Висота.....60 мм.

#### **1.3.6 Вимоги до стандартизації та уніфікації**

Рівень стандартизації та уніфікації повинен відповідати ГОСТ 12.201-83.

#### **1.3.7 Вимоги до дизайну та ергономіки**

Колір корпусу синього відтінку. Елементи керування і роз'єми входу та виходу пристрою мають бути підписані для зручності експлуатації. Для дизайну використати ковпачки на кнопки та ручки для потенціометрів.

#### **1.3.8 Вимоги до експлуатації, зручності технічного обслуговування та ремонту**

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

					PI71.331422.001 T3	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

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

### **1.3.9 Вимоги безпеки життя, здоров'я та охорони довкілля**

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

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

### **1.3.10 Вимоги до транспортування, зберігання та експлуатації**

Умови експлуатації згідно ГОСТ 16019-2001. Н6 — переносний, використання в опалювальних наземних і підземних спорудах з такими умовами:

— синусоїдальна вібрація (діапазон частот, 10...70 Гц, амплітуда прискорення 19,6 м/с<sup>2</sup> або 2 g, тривалість впливу 90 хв);

— механічні удари при експлуатації 98 м/с<sup>2</sup> тривалість удару 16 мс, при транспортуванні (пікове ударне прискорення 250 м/с<sup>2</sup> або 25 g, тривалість удару 6 мс, число ударів в кожному напрямку 4000);

— вільне падіння, висота падіння 1000 мм при вазі до 2 кг, 500 мм при вазі до 5 кг.

### **1.3.11 Вимоги до якості і технічного рівня**

Відповідає світовому рівню.

## **1.4 Вимоги до сировини, матеріалів і ПКВ**

Вимоги до сировини та матеріалів не висуваються.

## **1.5 Вимоги до консервації, пакування та маркування**

Упаковка виконати у вигляді картонної коробки.

Упаковка повинна забезпечити цілісність виробу та потрібний захист при зовнішніх впливах.

Документація оформлюється згідно ЄСКД.

					PI71.331422.001 T3	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

Чагаров Қ.С. РІ-71, 2021

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки					
	Конденсатори							
C1	C0805B105K500N3-Hitano 1 мкФ 50В ±5%	1						
C2	C0805B473K500NT-Hitano 47 нФ 50В ±5%	1						
C3	C0805N102J500NT-Hitano 1 нФ 50В ±10%	1						
C4	ELV100M35RB-Hitano 10 мкФ 35В ±10%	1						
C5	C0805B153K500NT-Hitano 15 нФ 50В ±10%	1						
C6	C0805N470J500NT-Hitano 47 нФ 50В ±10%	1						
C7	ELV100M35RB-Hitano 10 мкФ 35В ±10%	1						
C8	ELV101M10RB-Hitano 100 мкФ 10В ±10%	1						
C9	C0805B474K500N3-Hitano 470 нФ 50В ±10%	1						
C10	C0805B153K500NT-Hitano 15 нФ 50В ±10%	1						
C11	C0805B105K500N3-Hitano 1 мкФ 50В ±5%	1						
C12	C0805B474K500N3-Hitano 470 нФ 50В ±10%	1						
C13-C14	ELV101M10RB-Hitano 100 мкФ 10В ±10%	2						
C15	C0805N101J500NT-Hitano 100 нФ 50В ±10%	1						
C16	C0805B104J500NT-Hitano 100 нФ 50В ±10%	1						
C17	C0805B105K500N3-Hitano 1 мкФ 50В ±5%	1						
C18	C0805B222K500NT-Hitano 2,2 нФ 50В ±10%	1						
C19	C0805N101J500NT-Hitano 100 нФ 50В ±10%	1						
C20	C2012JB1A476M125AC 47 мкФ 10В ±10%	1						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI71.3314.22.001 ПЕ			
Розроб		Чижов К.С.			Пристрій для створення ефекту ехо Перелік елементів			
Перевір		Новосад А.А.						
Н.Контр								
Затверд		Новосад А.А.						

[illegible]

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Стабілізатори</u>		
DD3	78L05	1	
DD4	78L05	1	
	<u>Резистори</u>		
R1	RC0805FR-10KR-Hitano 10 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R2	RC0805FR-1MR-Hitano 1 МОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R3	RC0805FR-1KR-Hitano 1 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R4	RC0805FR-1MR-Hitano 1 МОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R5-R6	RC0805FR-10KR-Hitano 10 кОм 0,125 Вт ± 1%	2	
R7-R11	RC0805FR-1KR-Hitano 1 кОм 0,125 Вт ± 1%	5	
R12-R13	RC0805FR-10KR-Hitano 10 кОм 0,125 Вт ± 1%	2	
R14	RC0805JR-22K-Hitano 22 кОм 0,125 Вт ± 5%	1	
R15	RC0805FR-100KR-Hitano 100 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R16	RC0805FR-1KR-Hitano 1 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R17	RC0805FR-36K-Hitano 36 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R18-R21	RC0805FR-10KR-Hitano 10 кОм 0,125 Вт ± 1%	4	
R22	RC0805FR-36K-Hitano 36 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R23	RC0805FR-10KR-Hitano 10 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R24-R26	RC0805JR-22K-Hitano 22 кОм 0,125 Вт ± 5%	3	
R27	RC0805FR-10KR-Hitano 10 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
		</	

[illegible]

## ДОДАТОК В

Чагаров Қ.С. РІ-71, 2021



Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
A1			PІ71.3314.22.001 СК	Складальний кресленик		
A2			PІ71.3314.22.001 ЕЗ	Схема електрична принципова		
A4			PІ71.3314.22.001 ПЕ	Перелік елементів		
				<u>Деталі</u>		
		1	PІ71.758726.001	Друкована плата	1	
				<u>Інші вироби</u>		
		2		Діод 1N914	3	VD1-VD3
		3		Кнопка DS1021-1x9	1	SБ1
		4		Конденсатор 1 мкФ 50В ±5%	9	C1,C11,C17, C22,C26
				Конденсатор 1 мкФ 50В ±5%		C28,C29, C30,C32
		5		Конденсатор 47 нФ 50В ±5%	1	C2
		6		Конденсатор 1 нФ 50В ±10%	3	C3,C21, C35
			<b>PІ71.3314.22.002</b>			
Зм.	Арж.	№ докум.	Підп.	Дат.	<div style="text-align: center;"> <b>Друкований вузол</b>             КЛІ ім. Ігоря Сікорського, РТФ РІ-71         </div>	
Вироб		Чагаров К.С.				
Переір		Новосад А.А.				
Реценз						
НКонтр						
Зтверд		Новосад А.А.				
					Лім.	Арж.
						1
						3

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
		7		Конденсатор 10 мкФ 35В ±10%	2	С4,С7
		8		Конденсатор 15 нФ 50В ±10%	2	С5,С10
		9		Конденсатор 47 пФ 50В ±10%	2	С6,С24
		10		Конденсатор 100 мкФ 10В ±10%	3	С8,С13, С14
		11		Конденсатор 470 нФ 50В ±10%	3	С9,С12, С27
		12		Конденсатор 100 пФ 50В ±10%	2	С15,С19
		13		Конденсатор 100 нФ 50В ±10%	5	С16,С23, С25
				Конденсатор 100 нФ 50В ±10%		С31,С34
		14		Конденсатор 2,2 нФ 50В ±10%	2	С18,С33
		15		Конденсатор 47 мкФ 10В ±10%	1	С20
		16		Конденсатор 33 нФ 50В ±5%	1	С24
		17		Конденсатор 10 нФ 50В ±5%	2	С36,С37
		18		Мікросхема Max1044	1	DD1
		19		Мікросхема TL072	1	DD2
		20		Мікросхема SA571	1	DD5
		21		Мікросхема PT2399	1	DD6
		22		Резистор 10 кОм 0,125 Вт ± 1%	11	R1,R5,R6, R12,R13, R18-R21, R23,R27
		23		Резистор 1 МОм 0,125 Вт ± 1%	2	R2,R4
		24		Резистор 1 кОм 0,125 Вт ± 1%	7	R3,R7- R11,R16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	PI71.331422.002	
					2	

[illegible]

ДОДАТОК Г

Чагаров Қ.С. РІ-71, 2021

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.	
				<u>Документація</u>			
A2			PI71.3314.22.002 СК	Складальний кресленик			
A1			PI71.3314.22.001 ЕЗ	Схема електрична принципова			
A4			PI71.3314.22.001 ПЗ	Пояснювальна записка			
				<u>Складальні одиниці</u>			
A1		1	PI71.3314.22.002	Друкований вузол	1		
				<u>Деталі</u>			
A2		2	PI71.732154.001	Кришка корпусу	1		
A		3	PI71.732154.002	Корпус	1		
				<u>Стандартні вироби</u>			
		4		Гайка M10x0,75 ISO 7417	2		
PI71.3314.22.001							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.	Пристрій для створення ехо		
Розроб.		Чугаров К.С.					
Перев.		Новосад А.А.					
Реценз.							
Н.Контр.							
Затверд.		Новосад А.А.			КПІ ім. Ізгоря Сікорського, РТФ РІ-71		
					Літ.	Арк.	Аркуші
						1	2

[illegible]