

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

**КУРСОВА РОБОТА**

з дисципліни Електронна компонентна база радіоелектронної апаратури  
на тему: Звуковий процесор

Студента 2 курсу групи ДК-92  
Напряму підготовки: Телекомунікації та  
радіотехніка

Бодака\_Є.Є.  
(прізвище та ініціали)

Керівник:

доцент, к.т.н. Короткий Є.В.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна оцінка: \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Члени комісії: \_\_\_\_\_ доцент, к.т.н. Короткий Є.В.  
(підпис) (вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис) (вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Київ - 2021 рік

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	3
Вступ.....	4
Розділ I – Розробка принципової схеми приладу.....	5
1.1. Принцип роботи.....	5
1.2. Розробка темброблоку.....	6
1.3. Розробка блоку перевантаження.....	8
1.4. Розробка мікшера.....	9
Розділ II – Визначення характеристик, необхідних для вибору компонентів.....	
схеми.....	11
Розділ III – Вибір елементів.....	16
Розділ IV – Створення 3D моделі компонентів.....	19
Розділ V – Створення конструкторської документації на друкований вузол.....	23
Висновок.....	29
Перелік використаних джерел.....	30

## ПЕРЕЛІК УМОВНИЙ СКОРОЧЕНЬ

ОП – операційний підсилювач.

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика.

ФЧХ – фазо-частотна характеристика.

## ВСТУП

Звуковий процесор - універсальний пристрій для музичної індустрії і вільних користувачів. Головне завдання пристрою - обробляти аудіо сигнали, змішувати їх, спотворювати вузлами схеми і змінювати його за допомогою компонентів, які можуть регулювати свої характеристики. Метою даної роботи є розробка звукового процесора простої конструкції, який по своїй простоті зможе виконувати кілька важливих функцій для обробки аудіо сигналів.

Кожен розділ має на меті внесення до роботи все більше і більше деталізації по її принципу роботи, конструкції, елементної бази, функціоналу, приміток, зовнішнього вигляду.

В результаті виконаних робіт проводиться детальний огляд проектного обладнання, характеру його роботи, позитивних і негативних сторін, призначення, функцій і можливостей модернізації.

Для досягнення мети потрібно вирішити такі задачі розробки:

- Укомплектувати фінальну схему для подальших розрахунків.
- Визначити які по величині сигнали протікають у пристрої.
- Підібрати компоненти схеми так, щоб користувач міг комфортно користуватись приладом.
- Створити 3D модель компонентів, розмістити їх на макеті.
- Виконати трасування схеми на друкованій платі з мінімальним використанням додаткових шарів.

## РОЗДІЛ I

### Розробка принципової схеми

#### 1.1 Принцип роботи

Схема складається з блоків, що виконують деяку роль в спотворенні сигналу. Маємо три входи, що слугують для підключення джерел звукового сигналу. Самі джерела бувають різні, такі як активні по типу телефон, комп'ютер або пасивні, мікрофон, електрогітара.

Першим блоком є схема перевантаження сигналу, як його ще називають *distosh*. Спотворення відбувається через різницю на входах операційного підсилювача LM741 який включений у диференційному режимі. Вибір цієї мікросхеми є максимально влучним так як його конструкція має малий рівень вихідних шумів. Різниця відбувається через налаштування змінного опору на вході схеми і регулюється амплітуда виходу другим опором резистора.

Наступною частиною є темброблок, за рахунок своєї характеристики і змінних опорів отримуємо фільтр високої частоти, який може змінювати свій порядок і частоту зрізу в межах низьких частот. Виконання з'єднань виходів двох темброблоків в корпусі одного змінного резистора дало змогу регулювати різницю цих входів, таким чином ми отримали баланс лівого та правого каналу входів схеми.

Останнім блоком схеми є мікшер, він поєднує сигнали з двох попередніх блоків і підсилює цей сигнал, але підсилення не достатньо для підключення схеми до динаміку, тому виходом є роз'єм Jack 3.5мм.

Загалом, вхід IN\_MONO застосовується для пасивних джерел звукового сигналу, може працювати і з активними, але підсилений вихідний сигнал буде в рази більший і спотворений більше ніж потрібно. Входи IN\_L та IN\_P призначенні лише для активних джерел так як схема являє собою пасивний темброблок і сигнали які в ньому протікають зменшуються, в іншому випадку сигнал не вийде на зовні схеми.

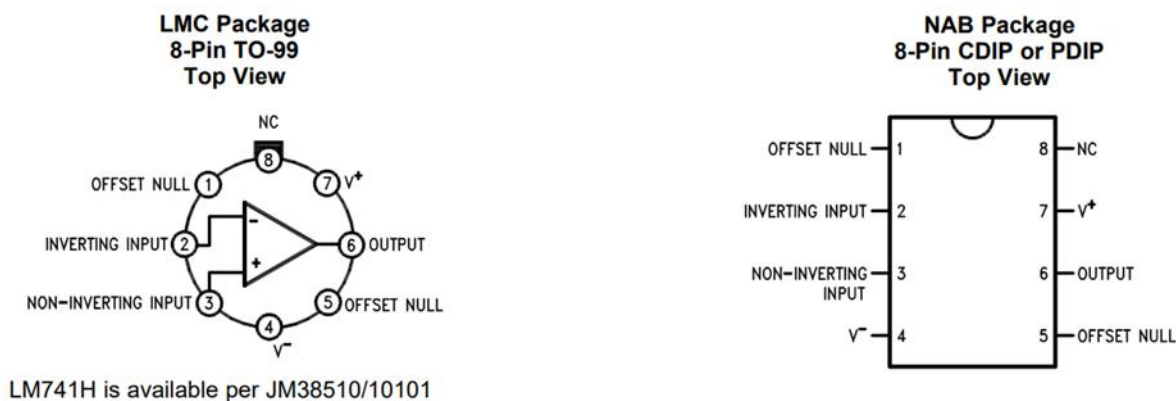


Рис.1.1. Позначення каналів ОП

## 1.2. Розробка темброблоку

В комплекті маємо три RC кола, схема спроектована так щоб потенціометри змінюючи свій опір впливали на АЧХ виходу. Впливаючи на частоту зрізу яка зміщується в діапазон більших, або менших частот кожне коло впливає на наступні.

Провівши виміри, на виході темброблоку можна бачити які спотворення вносить кожен з опорів. Фільтри не лежить в межах якогось із діапазонів, а можуть зміщувати частоту зрізу у потрібному напрямку в залежності від порядку. Потенціометр RP6 вважається головним, так як він на межі балансу між не суттєво зміненим сигналом та впливом додаткових елементів.

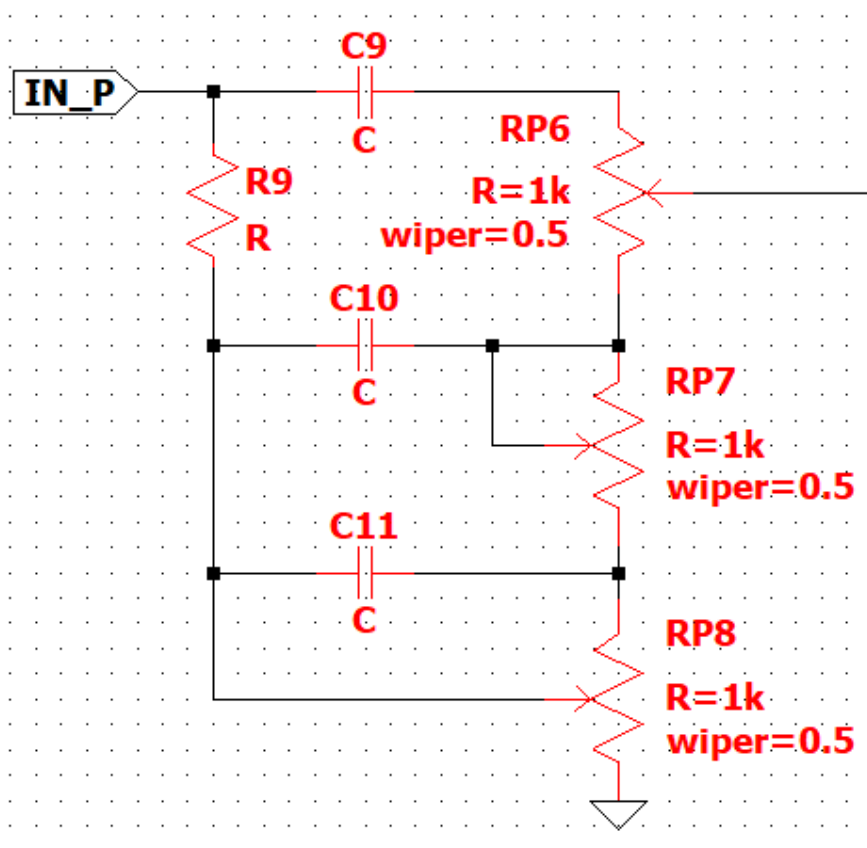


Рис.1.2. Темброблок

Далі створена розв'язка балансу між двома частинами схеми. Потенціометри RP9 та RP10 знаходяться в одному корпусі, підчас оберту кожен з них змінює свій опір у протилежному напрямку, середнє положення фіксує що сигнал на виході є сумою однаково поданих сигналів на вхід. У випадку переміщення ручки потенціометрів до крайнього положення, регулюється який із сигналів більше поступить до виходу. Маємо функцію для регулювання балансу між правим та лівим каналом звукового роз'єму по типу Jack 3.5.

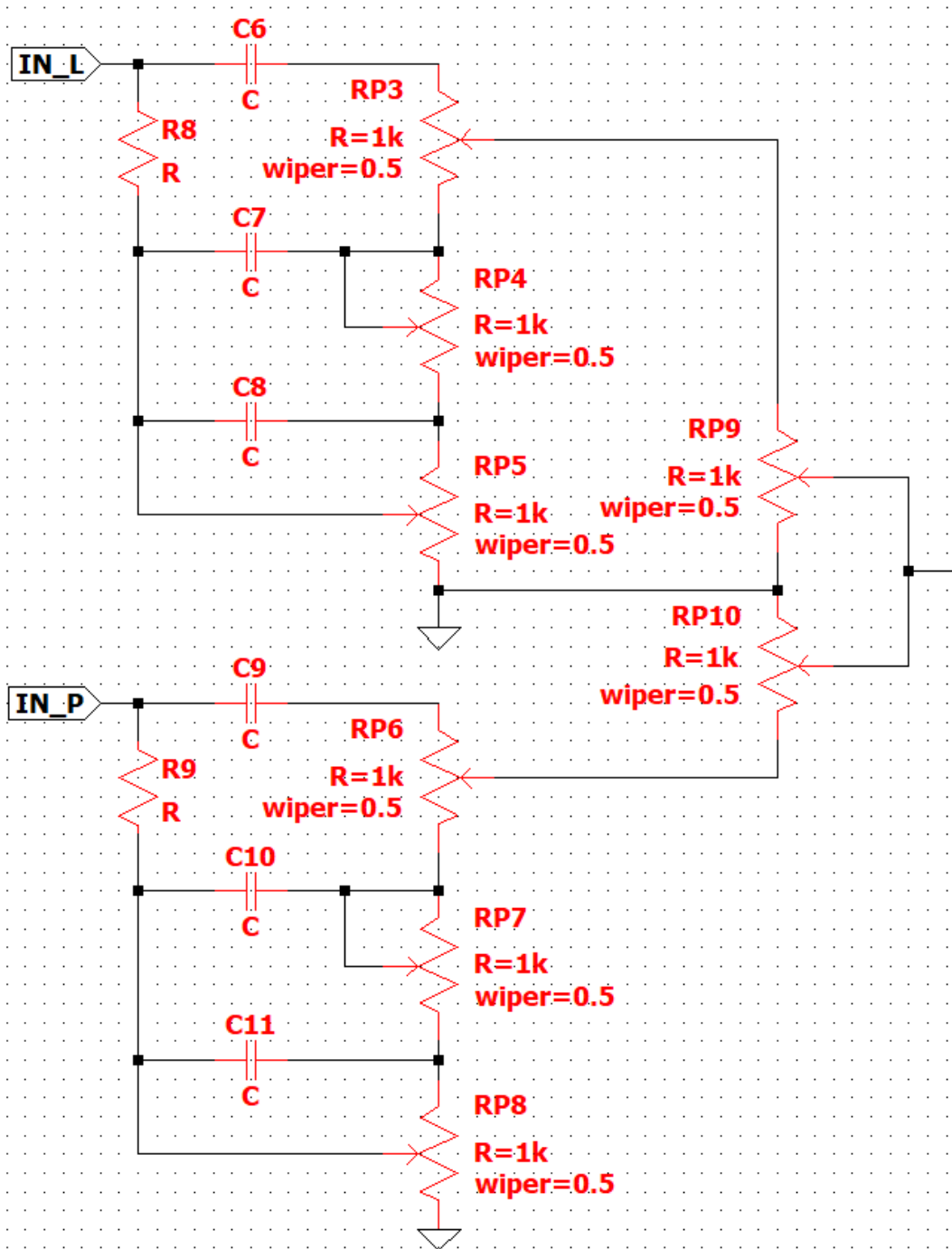


Рис.1.3. Темброблок під роз'єм Jack 3.5

### 1.3. Розробка блоку перевантаження

Невід'ємною функцією звукового процесора є підсилення сигналу. Скориставшись мікросхемою LM741 і не складного розрахунку коефіцієнту підсилення був отриманий задовільний результуючий, сигнал без втрати по якості звукового ряду та просідання амплітуди по частотах. На перший погляд використання двох ОП U1 та U2 з одним каналом є не раціональним, зауважу, що мікросхеми знаходяться в різних блоках і мають багато з'єднань.

Застосувавши нелінійну характеристику діоду в межах амплітуди від 0.1 В до 1 В можна отримати цікавий ефекти під назвою distortion або перегруз. Надлишковий сигнал на виході відсікається за допомогою двох діодів, або світлодіодів, різний підхід може цікаво вплинути на сигнал. У випадку підключення світлодіодів буде витрачатися енергія на фотоефект, це може добре вплинути на звук у випадку опрацювання сигналів високої частоти. Потенціометр RP1 між інвертуючим та неінвертуючим входом регулює підсилення і сам ефект перевантаження, RP2 призначений для регулювання амплітуди сигналу виходу і уникненню конфлікту з наступними блоками.

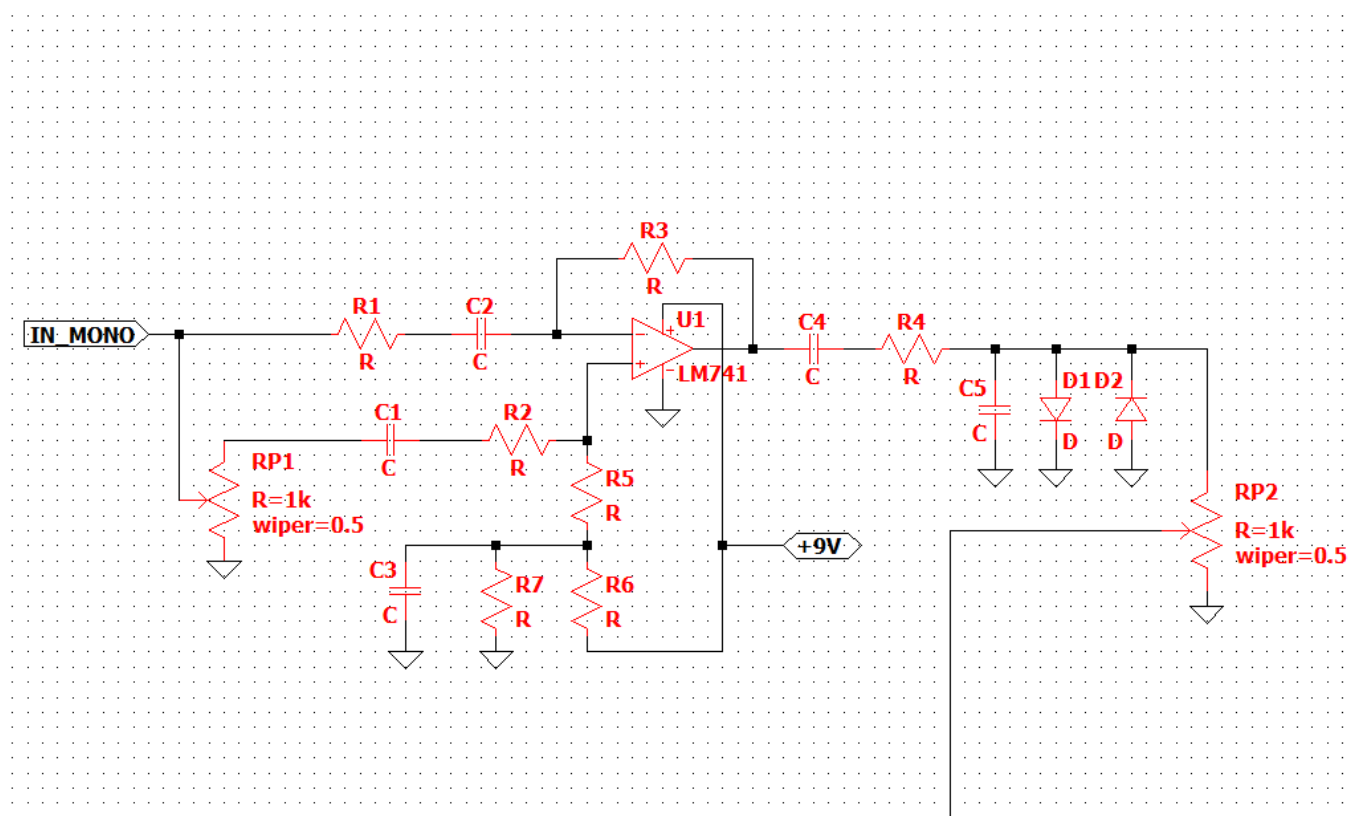


Рис.1.4. Блок перевантаження



### 1.4. Розробка мікшера

Останнім сектором конструювання принципової схеми приладу є мікшер. Сама відповідальна частина пристрою поєднує всі сигнали які приходять з первинних блоків. Принцип не складний, тут застосовується простий суматор. Щоб постійна напруга не впливала на джерело змінного сигналу, а також не порушувався режим роботи схеми по постійному струмі. У схемі виділяється конденсатор C12 і якщо повернутись до попереднього блоком перевантаження можна побачити що C2 має теж саме призначення, але їх відмінність у кількості сигналів що приходять на вхід. Потім міксований сигнал підсилюється, відділяється та через RC фільтр йде на зовні.

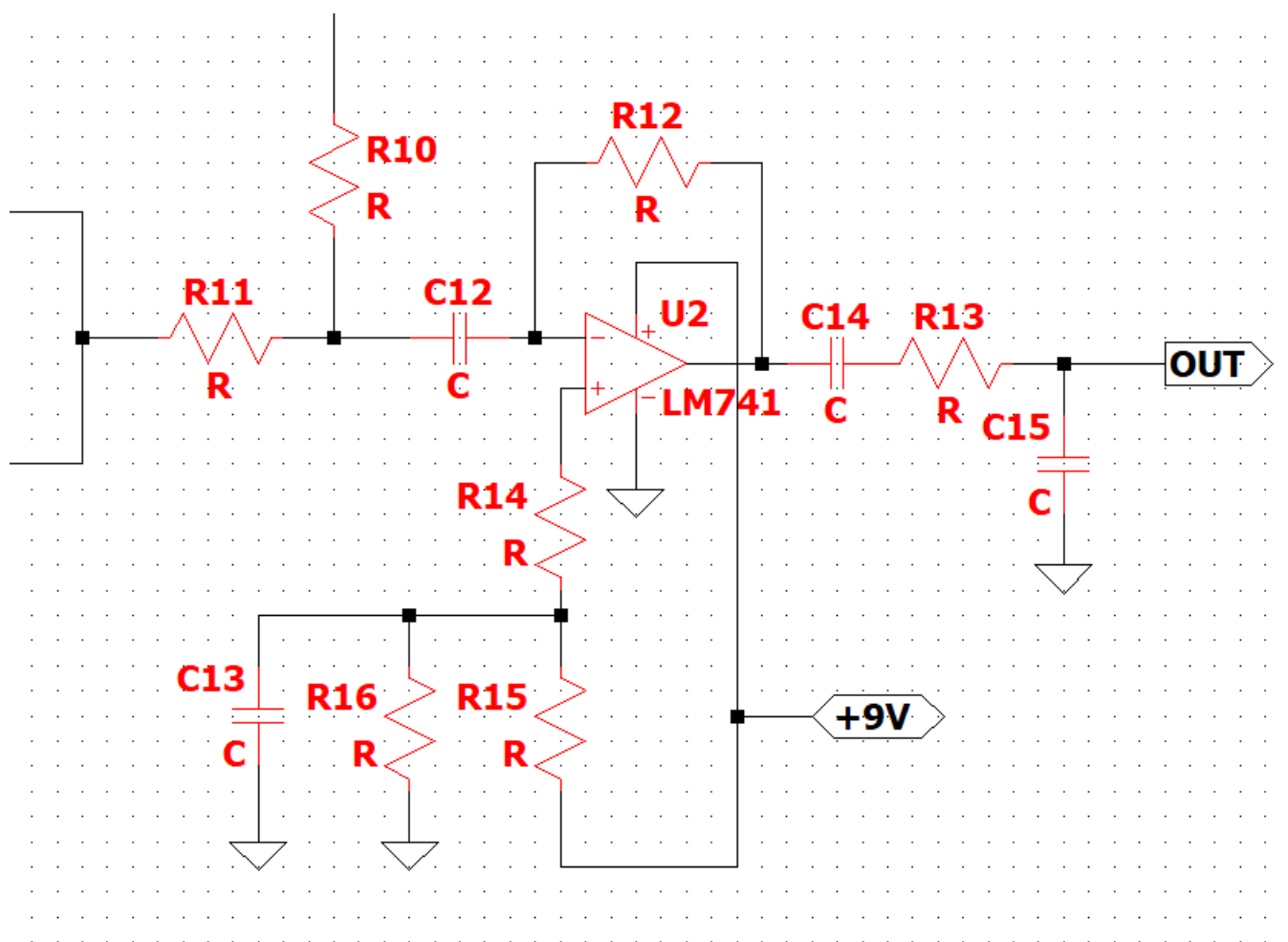


Рис.1.5. Схема мікшера

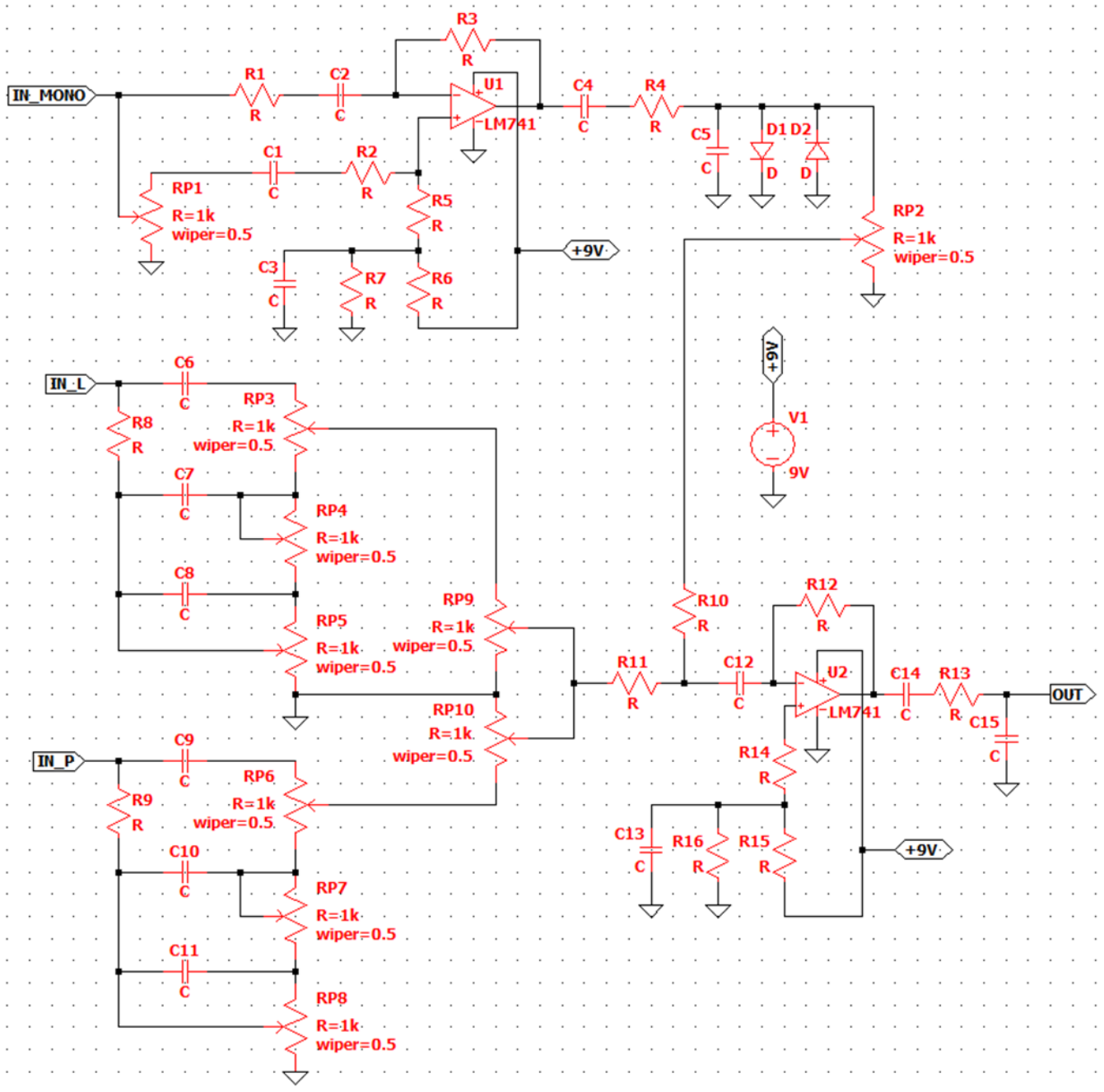


Рис.1.6. Принципова схема приладу LTSpice

## РОЗДІЛ II

Визначення характеристик, необхідних для вибору компонентів схеми

Для того щоб визначити які напруги і струми можуть протікати в схемі я звернувся до документації ОП LM741. Впевнившись, що максимальна вхідна напруга +15 V, а для напруги живлення +22 V, це набагато більше ніж я використовую, тому напругою живлення є батареяка крона(+9V). Промодельовавши схему в LTSpice через параметри вивів всі напруги і струми у вузлах, враховуючи що вхідний сигнал є звуковим.

З отриманих даних маю, що максимальна напруга є напругою живлення(+9V), максимальний струм 2.5 mA. Можу стверджувати, що номінали схеми не потребують додаткових розрахунків і ретельного підбору компонентів, врахую лише конструктивні потреби пов'язанні з розміщенням на платі та комфортом підчас експлуатації пристрою.

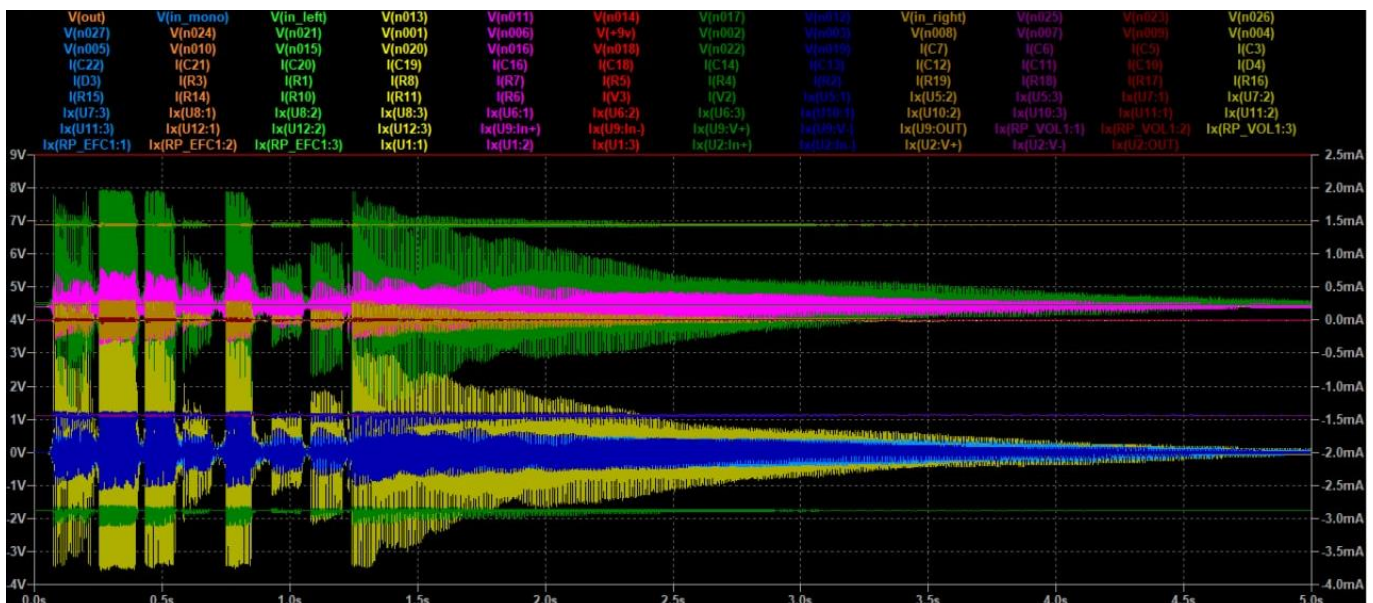


Рис.2.1. Дані симуляції схеми в LTSpice

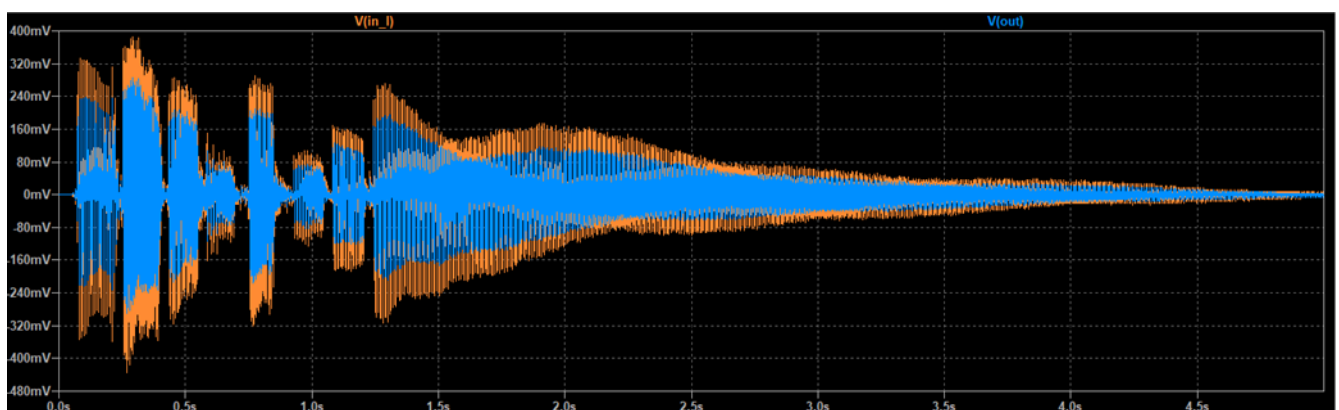


Рис.2.2. Вхідний і вихідний сигнал RP6 wiper=0.5, RP7 wiper=0.5, RP8 wiper=0.5

Робоча точка	Значення	Величина
V(in_left):	1.00804e-015	voltage
V(n013):	1.00804e-015	voltage
V(n011):	4.03217e-015	voltage
V(n014):	3.02413e-015	voltage
V(n017):	2.01608e-015	voltage
V(n012):	4.03217e-015	voltage
V(in_right):	1.77057e-016	voltage
V(n025):	1.77057e-016	voltage
V(n023):	5.31349e-016	voltage
V(n026):	3.54292e-016	voltage
V(n027):	1.77234e-016	voltage
V(n024):	5.31349e-016	voltage
V(n021):	4.07249e-015	voltage
V(n001):	4.41419	voltage
V(n006):	4.41319	voltage
V(+9v):	9	voltage
V(n002):	4.51605	voltage
V(n003):	3.05176e-005	voltage
V(in_mono):	3.05176e-005	voltage
V(n008):	4.41319	voltage
V(n007):	3.05176e-005	voltage
V(n009):	4.47106	voltage
V(n004):	2.2182e-013	voltage
V(n005):	1.76659e-013	voltage
V(out):	4.41928e-006	voltage
V(n010):	4.17672e-014	voltage
V(n015):	4.41419	voltage
V(n020):	4.41319	voltage
V(n016):	4.41928	voltage
V(n018):	2.34385e-014	voltage
V(n022):	4.47106	voltage
V(n019):	4.41928e-006	voltage
I(C7):	-1.76659e-034	device_current
I(C6):	-4.41928e-018	device_current
I(C5):	-4.47106e-018	device_current
I(C3):	2.20709e-019	device_current

Таблиця. 2.1.1 Значення напруги та струмів у в точках моделювання LTSpice

Робоча точка	Значення	Величина
I(C19):	-4.41316e-020	device_current
I(C16):	2.20708e-019	device_current
I(C18):	3.89916e-039	device_current
I(C14):	3.89916e-036	device_current
I(C13):	7.79441e-036	device_current
I(C12):	2.21769e-035	device_current
I(C11):	4.43539e-035	device_current
I(C10):	6.65308e-035	device_current
I(D4):	9.82425e-021	device_current
I(D3):	-9.82425e-021	device_current
I(R3):	4.12043e-018	device_current
I(R1):	3.89973e-018	device_current
I(R8):	0	device_current
I(R7):	-4.47106e-006	device_current
I(R5):	4.52894e-006	device_current
I(R4):	5.78724e-008	device_current
I(R2):	1.01864e-007	device_current
I(R19):	-4.51605e-018	device_current
I(R18):	-4.47106e-006	device_current
I(R17):	4.52894e-006	device_current
I(R16):	5.78741e-008	device_current
I(R15):	-8.88178e-020	device_current
I(R14):	1.01863e-007	device_current
I(R10):	2.20707e-019	device_current
I(R11):	7.64209e-036	device_current
I(R6):	6.70532e-035	device_current
I(V3):	-5.08626e-010	device_current
I(V2):	-0.00288628	device_current
Ix(u5:1):	-6.31089e-035	subckt_current
Ix(u5:2):	-4.03217e-020	subckt_current
Ix(u5:3):	4.03217e-020	subckt_current
Ix(u7:1):	0	subckt_current
Ix(u7:2):	-4.03217e-020	subckt_current
Ix(u7:3):	4.03217e-020	subckt_current
Ix(u8:1):	4.03217e-020	subckt_current
Ix(u8:2):	-4.03217e-020	subckt_current

Таблиця. 2.1.2 Значення напруги та струмів у в точках моделювання LTSpice

Робоча точка	Значення	Величина
Ix(u11:3):	1.12847e-034	subckt_current
Ix(u12:1):	-4.07249e-018	subckt_current
Ix(u12:2):	-3.54469e-021	subckt_current
Ix(u12:3):	4.07604e-018	subckt_current
Ix(u9:1):	5.78741e-008	subckt_current
Ix(u9:2):	1.01863e-007	subckt_current
Ix(u9:99):	0.00143861	subckt_current
Ix(u9:50):	-0.00143867	subckt_current
Ix(u9:28):	-1.01863e-007	subckt_current
Ix(rp_vol1:1):	4.4964e-018	subckt_current
Ix(rp_vol1:2):	-5.96675e-019	subckt_current
Ix(rp_vol1:3):	-3.89973e-018	subckt_current
Ix(rp_efc1:1):	4.41316e-020	subckt_current
Ix(rp_efc1:2):	-5.08626e-010	subckt_current
Ix(rp_efc1:3):	5.08626e-010	subckt_current
Ix(u1:1):	-4.03217e-020	subckt_current
Ix(u1:2):	-4.07657e-021	subckt_current
Ix(u1:3):	4.43983e-020	subckt_current
Ix(u2:1):	5.78724e-008	subckt_current
Ix(u2:2):	1.01865e-007	subckt_current
Ix(u2:99):	0.00143861	subckt_current
Ix(u2:50):	-0.00143867	subckt_current
Ix(u2:28):	-1.01864e-007	subckt_current
Ix(u8:3):	1.08334e-034	subckt_current
Ix(u6:1):	0	subckt_current
Ix(u6:2):	-3.54469e-021	subckt_current
Ix(u6:3):	3.54469e-021	subckt_current
Ix(u10:1):	0	subckt_current
Ix(u10:2):	-3.54469e-021	subckt_current
Ix(u10:3):	3.54469e-021	subckt_current
Ix(u11:1):	3.54469e-021	subckt_current
Ix(u11:2):	-3.54469e-021	subckt_current
I(C22):	-4.41928e-027	device_current
I(C21):	-4.51605e-018	device_current
I(C20):	-4.47106e-018	device_current

Таблиця. 2.1.3 Значення напруги та струмів у в точках моделювання LTSpice

## Висновки

Підчас моделювання складну було відтворити деякі умови роботи пристрою не маючи належного досвіду, але переглядаючи на інтернет ресурсах можливі варіанти вирішення конструктивних проблем отримав задовільний результат. Серед проблем була відсутність у стандартній бібліотеці змінного резистору, уміння генерувати звуковий сигнал через джерело, запис вихідного сигналу в файл. Натомість я розібрався і залишив всі допоміжні джерела у переліку літератури, а також файли моделювання за посиланням на [GitHub](#).

## РОЗДІЛ III

## Вибір елементної бази

Попередньо я розрахував елементи та склав таблицю позначення елементів в схемі

Позначення	Номінали	Кількість	Примітка
Резистори			
R1,R10,R11	4.7k	3	
R2,R13,R4,R12	10k	4	
R8,R9	100k	2	
R3,R5,R6,R7,R14,R15,R16	1M	7	
Конденсатори			
C6,C7,C8,C9,C10,C11	22n	6	Керамічний
C5,C15	0.001u	2	Керамічний
C1	0.01u	1	Керамічний
C3,C4,C13,C14	1u	4	Керамічний
C2,C12	10u	2	Електролітичний
Потенціометри			
RP3,RP4,RP5,RP6,RP7,RP8	50k	6	Моно
RP1,RP2	100k	2	Моно
RP9,RP10	1M	2	В одному корпусі
Діоди			
D1,D2	1N914	2	
Мікросхеми			
U1,U2	LM741	2	ОП

Таблиця 3.1 Елементна база для симуляції



Окремо я підібрав елементи, що не впливають на роботу схеми, а виконують функції комутації.

Елемент	Кількість	Примітка
Jack 3.5	2	Гніздо
Jack 6.35	1	Гніздо
Роз'єм під батарейку крона	1	Провідний

Таблиця. 3.2

LibRef	Manufacturer	Comment	Description	Designator
C320C103K3G5TA	KEMET	0.01uF	Capacitor Multi-	C1
RCER71H223K0D	Murata	22nF	Cap Ceramic	C2, C3, C4, C5,
NEV.56M50	NTE Electronics	0.05uF	CAPACITOR	C8, C13
FG18X7R1E105KR	TDK	1uF	Capacitor Ceramic	C9, C10, C12, C14
C320C102K3G5TA	KEMET	0.001uF	Capacitor Multi-	C11, C15
1N914	ON	Diode 1N914	1N914 Series 500	D1, D2
SJ-63072J	CUI Devices	SJ-63072J	6.35 mm, Stereo,	J1
SJ1-3523NG	CUI Devices	SJ1-3523NG	3.5 mm, Stereo,	J2, J3, J4
1841630000	Weidmuller	Power	Conn Shrouded	J5
502-0417	NTE Electronics	pot. 100k	Potentiometer 1/4	PR1, PR9
502-0413	NTE Electronics	pot. 50K	Potentiometer 1/4	PR2, PR3, PR4,
R1610GA	HT	pot. 1M	Potentiometer 1M	PR8
CFS1/4CT52R472	KOA Speer	4.7k	Res Carbon Film	R1, R9, R10
CFS1/4CT52R104	KOA Speer	100k	Carbon Film	R2, R3
CFP1/4CT52R103	KOA Speer	10k	Carbon Film	R4, R14, R15
CFS1/4CT52R105	KOA Speer	1M	Carbon Film	R5, R6, R7, R8,
LM741CN/NOPB	TI National	LM741	OP Amp Single GP	U1, U2

Таблиця. 3.3.1 BOM (Bill of Materials) частина 1

Supplier Part	Quantity	Supplier 1	Pricing 1
C320C103K3G	1	Digi-Key	1=0,57000,
490-7531-1-ND	6	Digi-Key	1=0,51000,
33C5581	2	Newark	1=0,61100,
445-180204-ND	4	Digi-Key	1=0,38000,
C320C102K3G	2	Digi-Key	1=0,43000,
1N914FS-ND	2	Digi-Key	1=0,10000,
2223-SJ-63072J	1	Digi-Key	1=1,88000,
CP1-3523NG-	3	Digi-Key	1=0,81000,
79T5409	1	Newark	1=1,40000,
67AH5103	2	Newark	1=2,48000
67AH5098	6	Newark	1=1,80000
29562	1	Electonoff	1=1,00000
2019-	3	Digi-Key	1=0,10000,
2019-	2	Digi-Key	1=0,10000,
2019-	3	Digi-Key	1=0,14000,
2019-	7	DigiKey	1=0,10000,
LM741CNNS/N	2	Digi-Key	1=0,94000,

Таблица. 3.3.2 BOM (Bill of Materials) часть 2

## РОЗДІЛ IV

### Створення 3D моделі компонентів

Як за зразок моделювання візьму роз'єм Jack 6.35. Корпус складається із пластику, провідники мають бути в кількості чотири, але із заводу такі роз'єми мають шість контактів і по необхідності демонтуються, виконав цю процедуру під час виготовлення макету. Розміри взяті з інтернет ресурсу (*посилання у переліку літератури*).

Першим кроком створюю проекції:

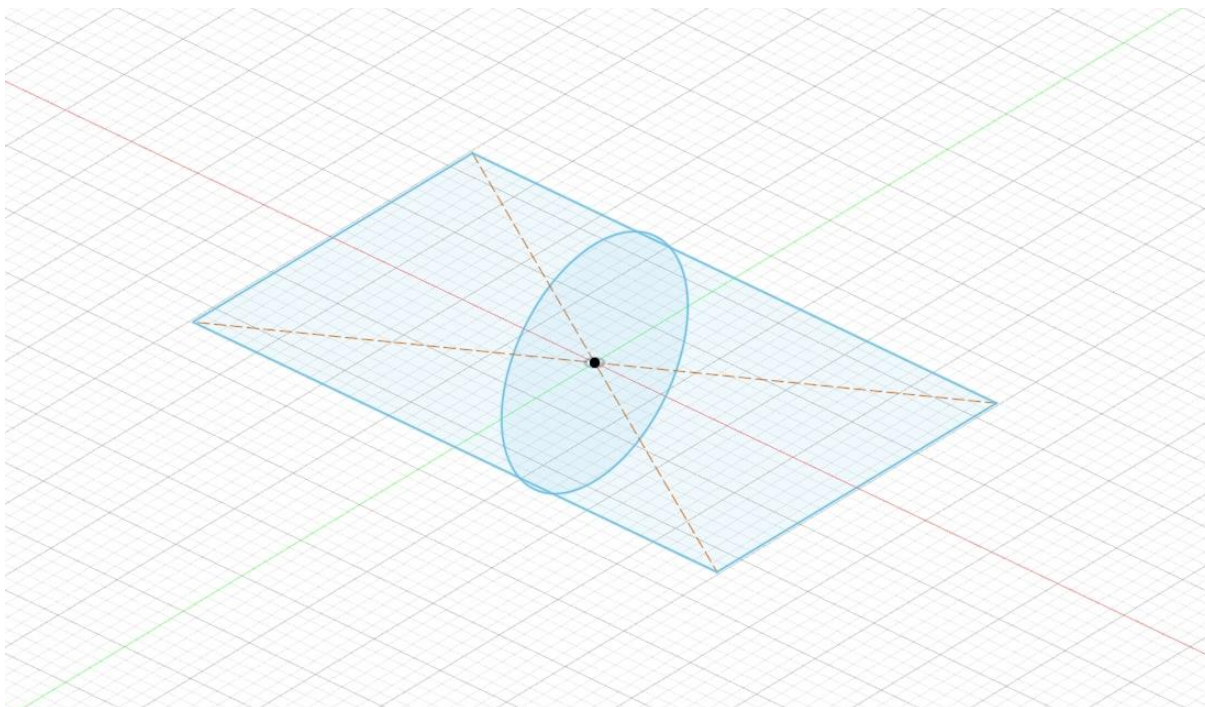


Рис.4.1. Проекції 3D моделі

Тепер інструментом Extrude створюю об'єм кожної із частин компоненту, видаляємо ті що не потрібні. Також інструментом hole роблю отвір під Jack.

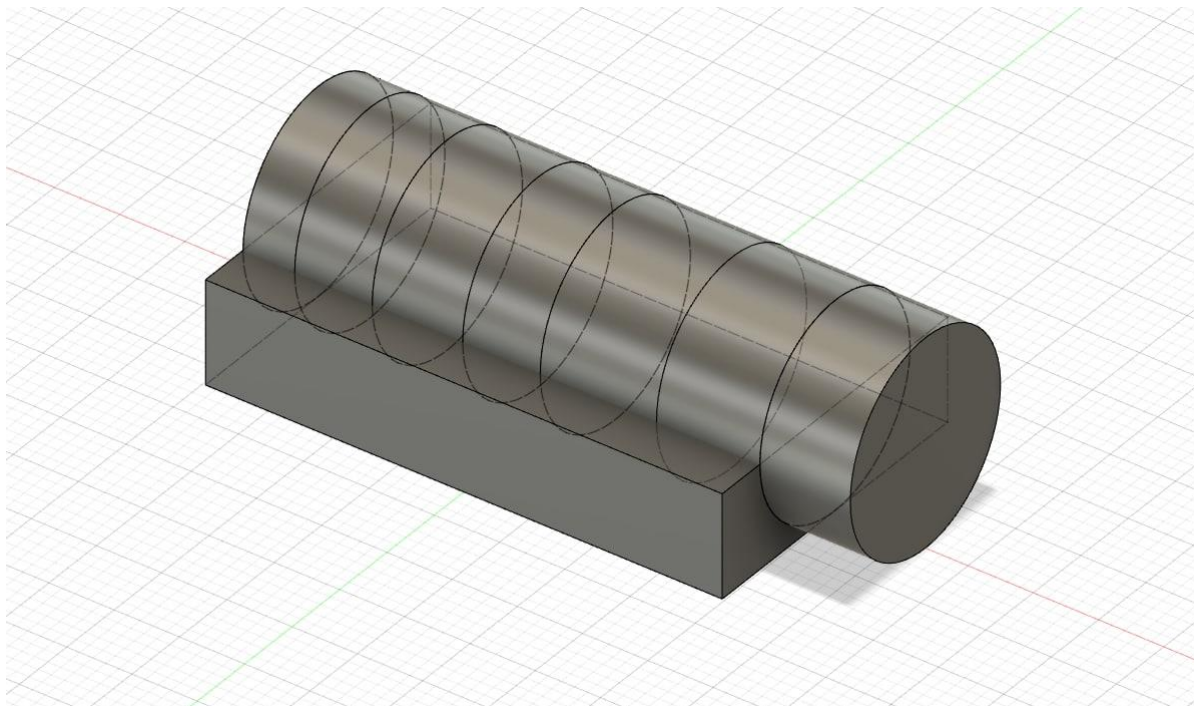


Рис.4.2. Заповнена 3D модель

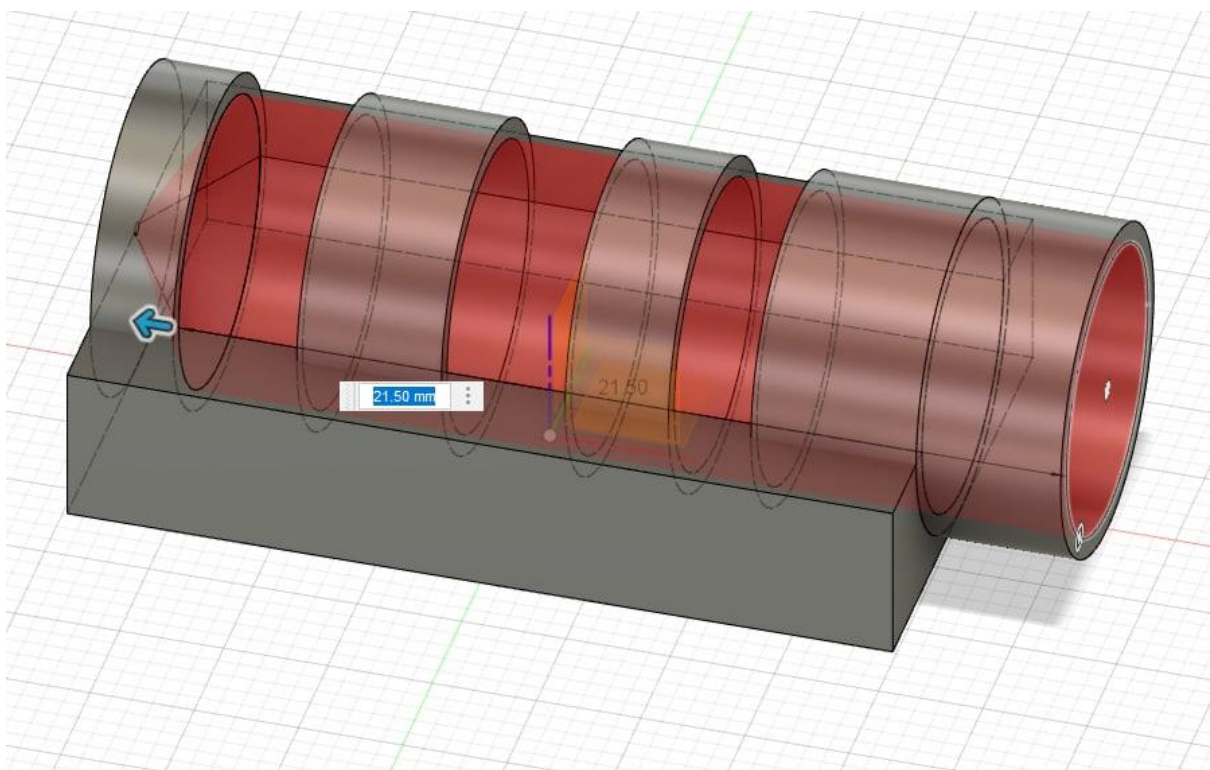


Рис.4.3. Розмітка внутрішнього отвору 3D моделі



Створюю проєкції контактів роз'єму, надаю їм об'єму та змінюю колір моделі через параметри appearance. Останнім кроком створюю верхні контакти і зберігаю.

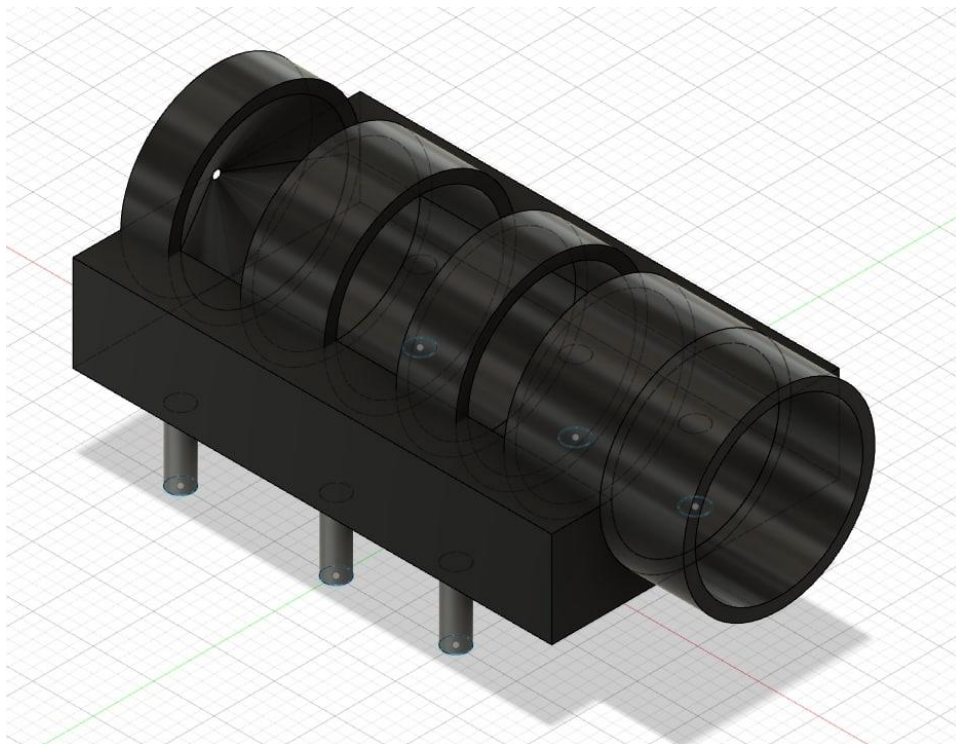


Рис.4.4. 3D модель в кольорі

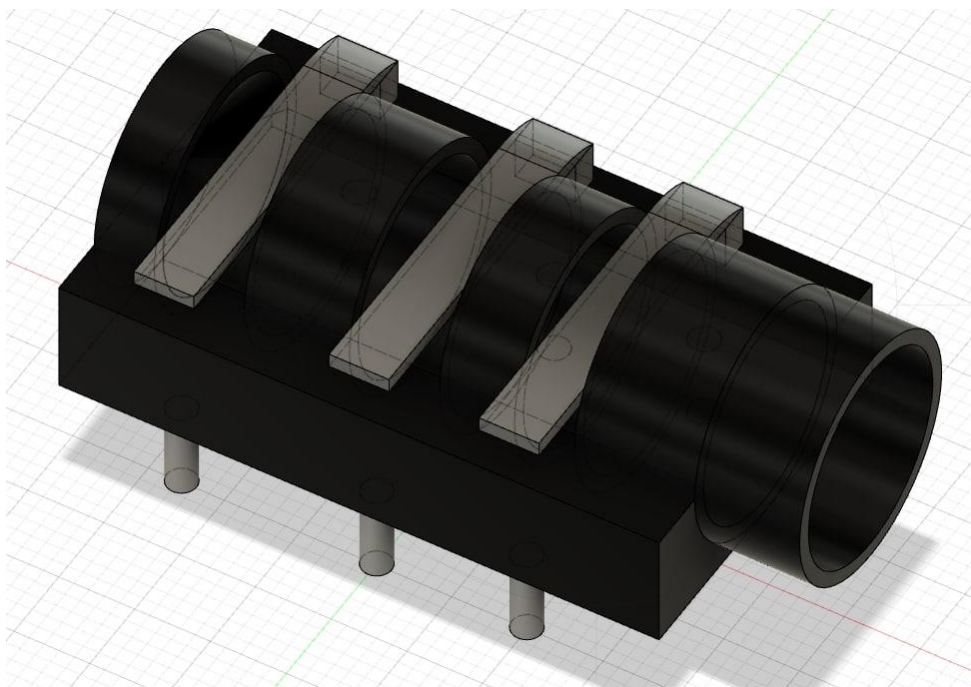


Рис.4.5. Готова 3D модель Jасі 6.35

## Висновки

Моделі мають не найкращий вигляд, але я намагався відтворити основні частини якомога якісно. Це мій перший досвід у 3D проектуванні, надалі хочу більш поглиблено вивчити нюанси по роботі Autodesk Fusion 360.

## РОЗДІЛ V

### Створення конструкторської документації на друкований вузол

Створив дві бібліотеки в яких міститься схемне зображення та 3D моделі елементів і його footprint. Потім створив принципову схему приладу, переніс всі компоненти на плату, виконав трасування.

Наводжу основні скріншоти та фото під час створення проекту:

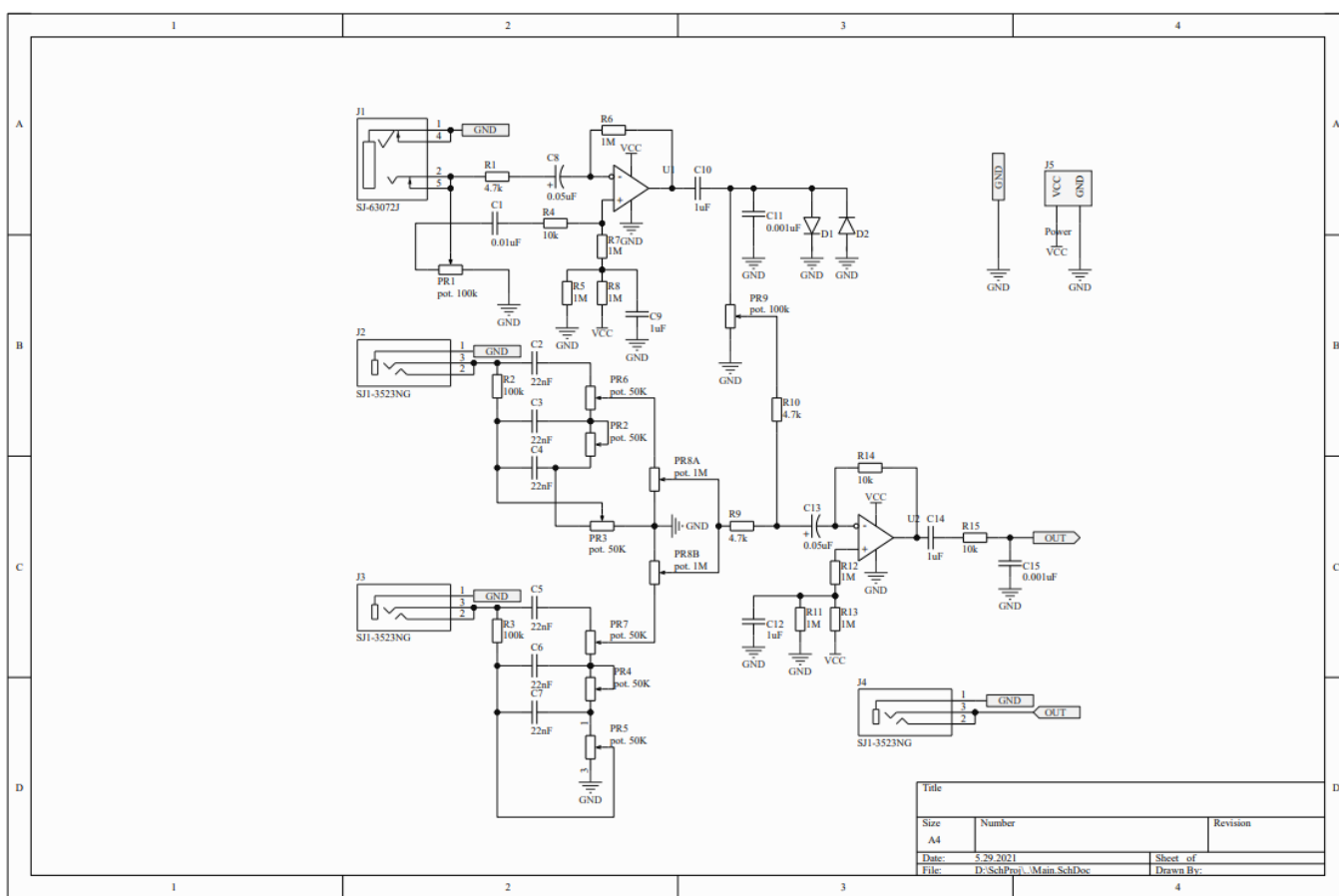


Рис.5.1. Принципова схема приладу Altium Designer

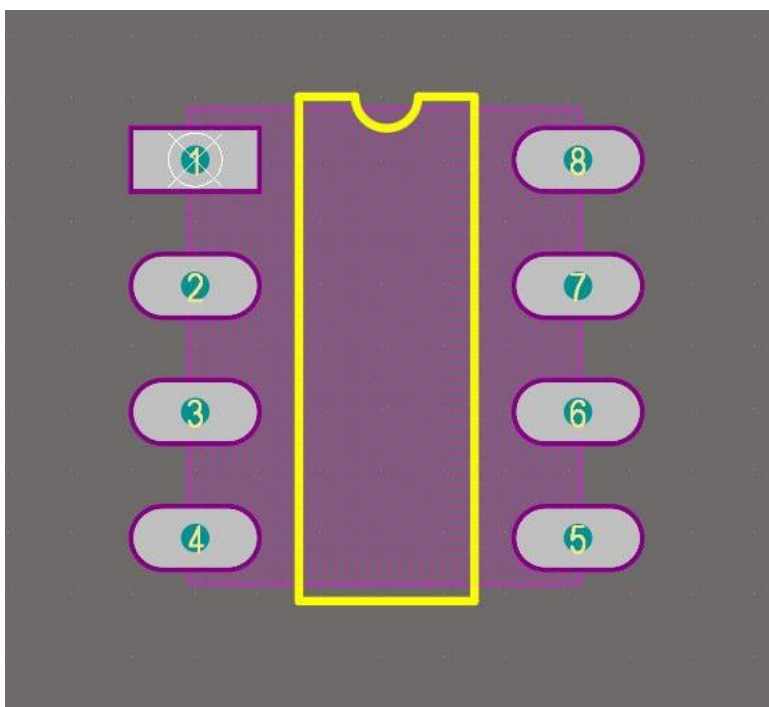


Рис.5.2. Footprint

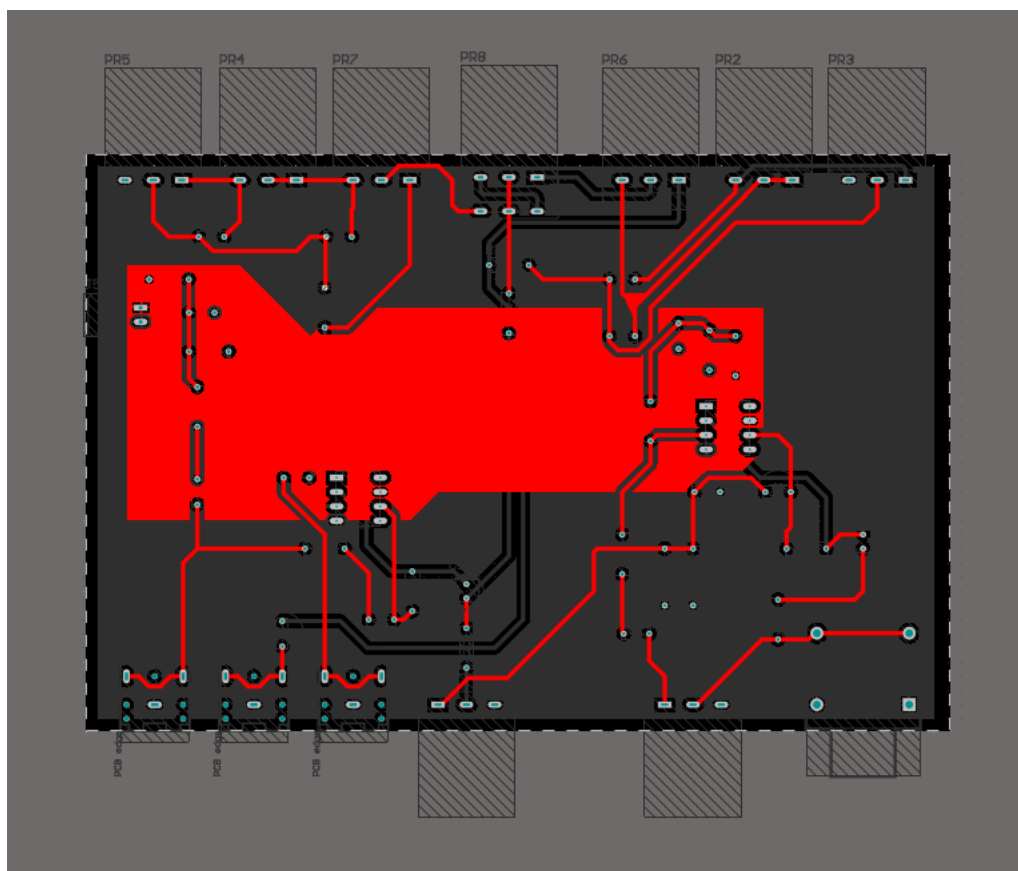


Рис.5.3. Перший шар



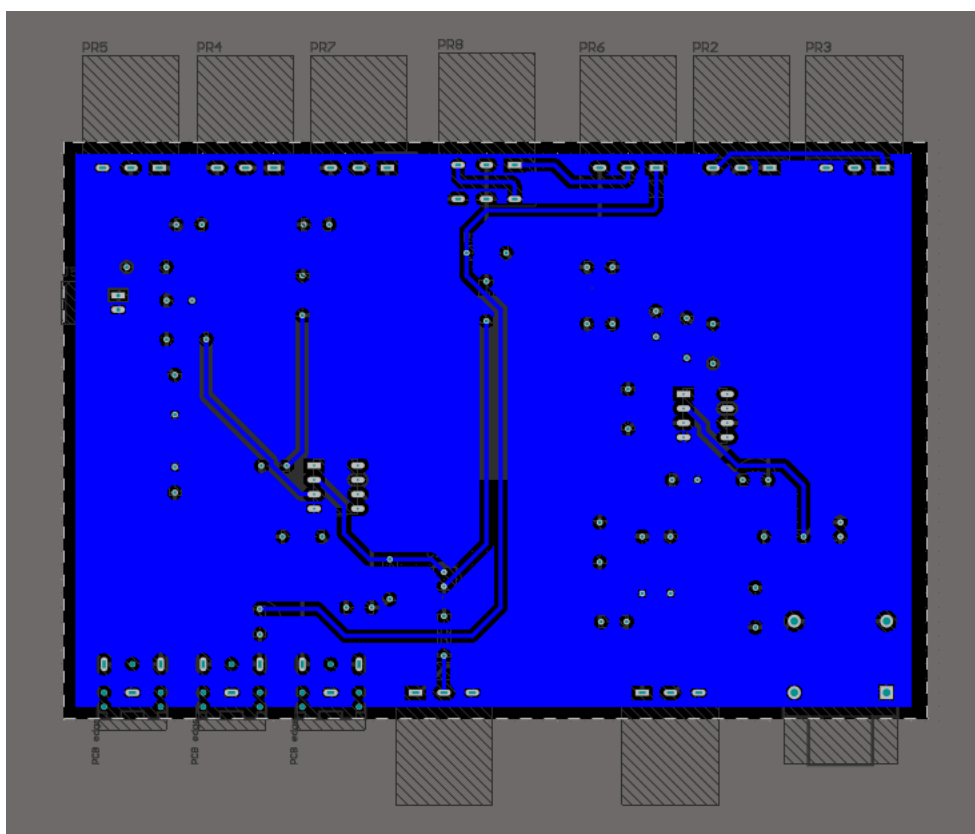


Рис.5.4. Другой шар

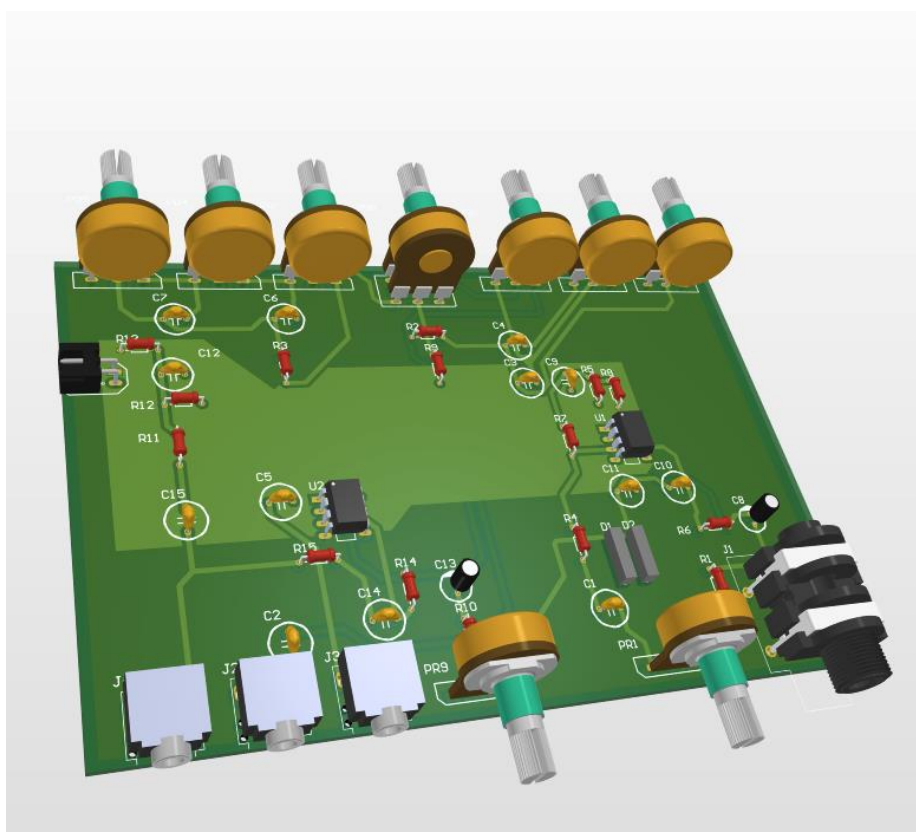


Рис.5.5. 3D видяд плати

Розпочав процес виготовлення, на момент створення пристрою в мене виникли проблеми з трасуванням схеми в Altium Designer тому я скористався програмним забезпеченням SprintLayout, де прикинув розміщення елементів та провів всі потрібні з'єднання. Користувався макетною платою так як у випадку виготовлення друкованої плати швидко можемо виправити помилки з'єднання які могли виникнути.

Спочатку розмістив всі компоненти максимально зручним чином:

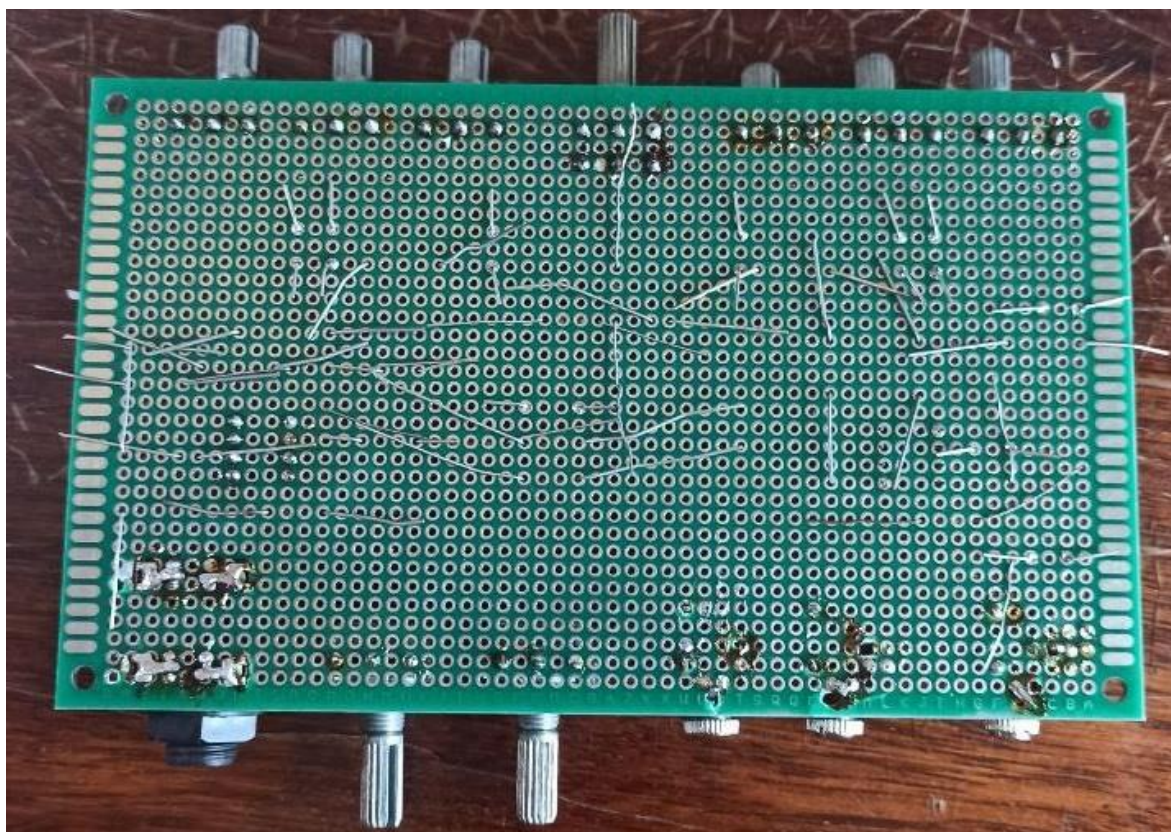


Рис.5.6. Розміщення елементів



Пропаяв всі точки з'єднань, прибрав довгі ніжки компонентів. Почав трасування мідним провідником.

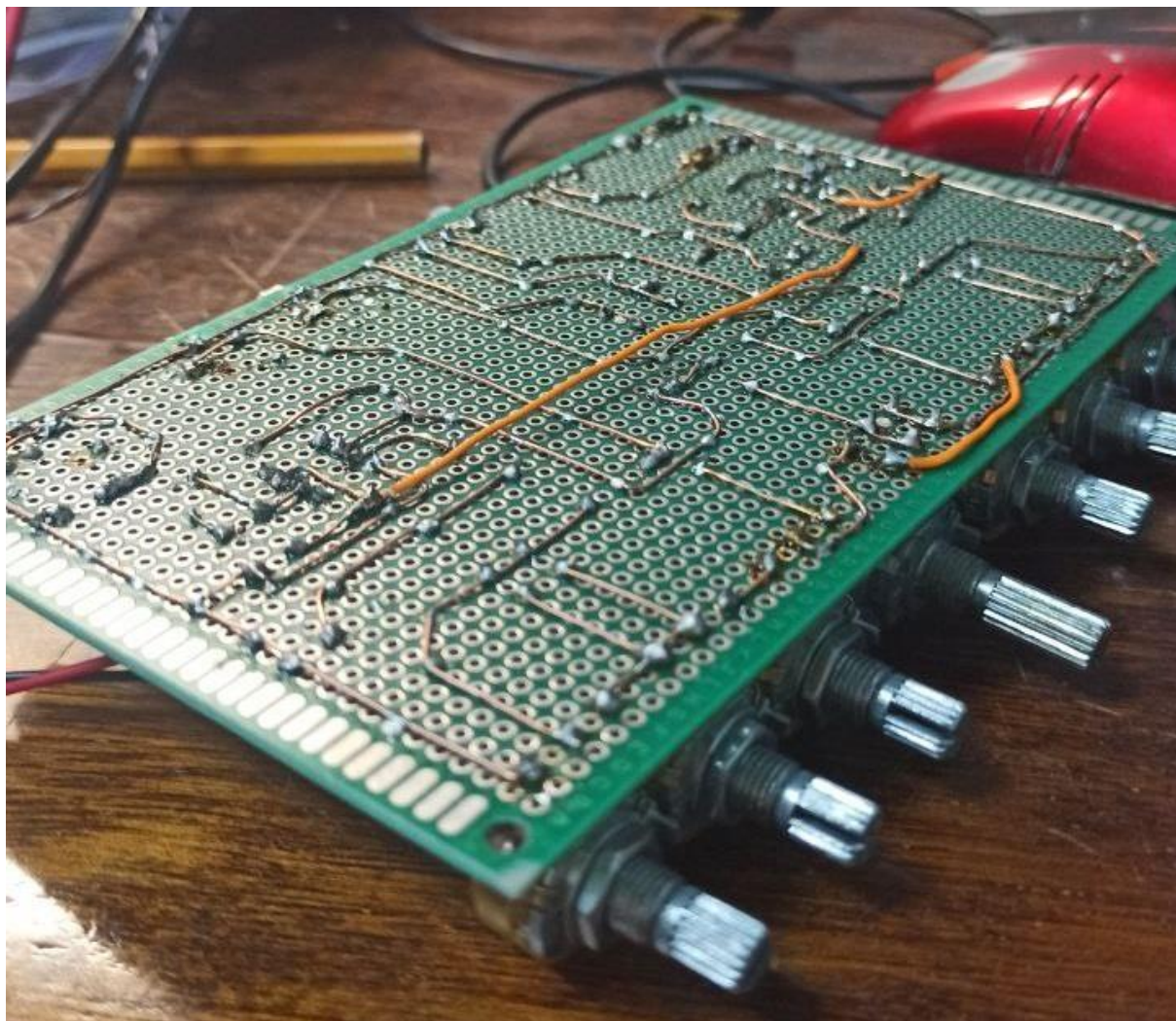


Рис.5.7. Трасована плата

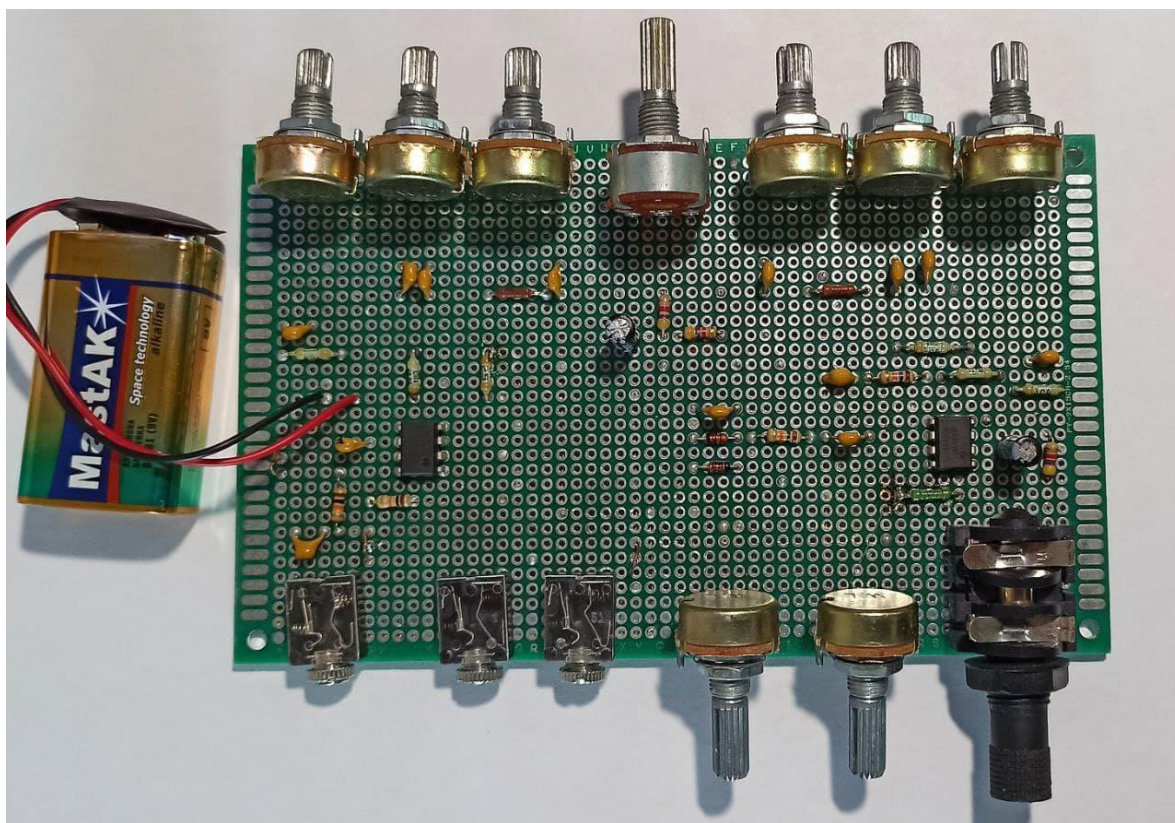


Рис.5.8. Зовнішній вигляд макету

## ВИСНОВОК

Підводячи підсумки виконаної роботи, можна виділити наступні моменти. У першому розділі я пояснив призначення кожного блоку, а також описав деякі характеристики схеми. У наступних розділах я досліджував, які параметри потрібно враховувати під час вибору компонентної бази, як розміщувати габаритні елементи. Створив бібліотеку елементів, розробив 3D моделі компонентів, виконав трасування схеми, виготовив макет приладу.

Серед недоліків роботи можу виділити своєчасне виконання трасування, так як розміщення елементів управління з двох сторін не є зручним, хоча і збалансованим. Кращим варіантом є виготовлення довгої макетної плати, таким чином всі елементи управління розмістяться на титульній панелі.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Даташит на ОП LM741

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm741.pdf>

1. Теоретичні відомості про LM741

<http://www.texnic.ru/data/ims1554/ims067.html>

2. Креслення Jack 6.35

<http://www.dart.ru/cataloguenew/connectors/635-phone-jack/sj-6349.shtml>

3. Принцип роботи ОП

[http://zpostbox.ru/operatsionny\\_usilitel.html](http://zpostbox.ru/operatsionny_usilitel.html)

<http://radiolubitel.net/index.php/elektronika/306-operatsionnyj-usilitel>

4. Схеми включення ОП

<https://habr.com/ru/post/508530/>

5. Розрахунок схем ОП

<https://cxem.net/beginner/beginner96.php>

6. Приклад двохсмугового темброблоку

<https://sdelayam-svoimirukami.ru/4398-dvuhpolosnyy-tembroblok.html>

7. Теоретичні відомості про темброблок

<https://radioskot.ru/publ/unch/tembroblok/6-1-0-845>

8. Приклади пасивного мікшера

<https://tehnika.expert/cifrovaya/prochaya-cifrovaya/mikshernyj-pult-svoimi-rukami.html>

<https://diodov.net/usilitel-zvuka-na-tranzistorah-1/>

9. Посилання на GitHub з додатковими файлами.

[https://github.com/YegorBodak/Analog\\_electronics/tree/main/Course%20work](https://github.com/YegorBodak/Analog_electronics/tree/main/Course%20work)

10. Приклад створення 3D моделі (відео)

<https://www.youtube.com/watch?v=k3Dz0KckiSM>

11. Приклад створення плати (відео)

<https://www.youtube.com/watch?v=2I2TX3RLEGM&list=PLXvLToQzgxdfKKQn2wmpuSXz6sROQmO6R&index=4>