

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: Передача звуку по інфрачервоному каналу

Студента 2 курсу групи ДК-91  
Напряму підготовки: Телекомунікації та  
радіотехніка

Широков В.В.

(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:

\_\_\_\_\_

(підпис)

доцент, к.т.н. Короткий Є.В.

(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Київ - 2021 рік

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| Список умовних скорочень.....   | 3  |
| Вступ.....  | 4  |
| Розділ 1 .....  | 6  |
| 1. Передавач звуку через ІЧ.....  | 6  |
| 2. Приймач звуку.....   | 11 |
| 3. Симуляція проекту.....   | 17 |
| Розділ 2 .....  | 19 |
| Розділ 3 .....  | 22 |
| Розділ 4 .....  | 25 |
| 1. Оновлення креслення обраного транзистора.....  | 25 |
| 2. Побудова кресленика.....   | 28 |
| 3. Побудова 3D моделі.....  | 30 |
| Розділ 5 .....  | 40 |
| 1. Створення бібліотеки умовно – графічних зображень елементів на схемі,<br>та створення самої схеми..... | 40 |
| 2. Створення друкованої плати, 3D моделі.....   | 42 |
| 3. Трасування плати.....  | 45 |
| 4. Створення файлу Bill of materials.....   | 48 |

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| ІЧ                              | інфрачервоний канал                                    |
| THD (Total Harmonic distortion) | коефіцієнт нелінійних спотворень                       |
| PCB (Printed Circuit Board)     | друкована плата  |
| SPICE                           | Simulation Program<br>with Integrated Circuit Emphasis |
| ФНЧ                             | Фільтр низьких частот                                  |

## ВСТУП

Використання інфрачервоного випромінювання у техніці, є дуже раціональним способом передачі даних на відстані. Перевагою такого виду зв'язку, є:

- 1) Передача даних таким типом зв'язку не потребує для своєї роботи провідних зв'язків, тобто будь – яких кабелів .
- 2) Інфрачервоний спектр випромінювання, який використовується для передачі даних, є невидимим для людського ока, і ніяким чином не впливає на людський організм.
- 3) Інфрачервоний канал не чутливий, до електромагнітних завад, що дозволяє використовувати його в промислових умовах.
- 4) Мале енергоспоживання.

Якщо казати про недоліки, то:

- 1) Висока вартість передавача, та приймача, де потрібно перетворювати електричний сигнал в інфрачервоний, і навпаки.
- 2) Низька швидкість передачі даних, яка складає приблизно 5 – 10 Мбіт/с

Однак, в умовах прямої видимості, інфрачервоний канал може забезпечити зв'язок на відстані в декілька кілометрів.

Передача звуку за допомогою інфрачервоного каналу, використовувалась військовими ВПС США під час військових навчань. Принцип роботи полягав у тому, що спеціальна апаратура кодування, кодувала людський голос в інфрачервоний сигнал, а на землі, за допомогою декодера, цей сигнал розшифровувався. Ця розробка використовувалась ще у 60 – х рр. XX ст.

Роботу, можна умовно поділити на 5 етапів:

- 1) Принцип роботи обраної електричної схеми.
- 2) Визначення струмів та напруг в схемі.
- 3) Вибір електронно – компонентної бази електричної схеми.
- 4) Створення 3D моделі у програмному середовищі.
- 5) Створення друкованої плати пристрою.

У першому розділі буде розглянута обрана схема, її модифікація, та принцип роботи передавача та приймача.

У другому розділі будуть визначені струми та напруги, розрахована потужність для подальшого опрацювання роботи.

У третьому розділі будуть зазначені обрані компоненти, виходячи з отриманих результатів у другому розділі.

У четвертому розділі буде наведений приклад побудови 3D моделі у програмному середовищі “Fusion 360”.

У п'ятому розділі, буде розглянутий процес побудови та створення друкованої плати обраного приладу.

## РОЗДІЛ 1

## 1.1) Передавач звуку через ІЧ

Для курсової роботи, була обрана схема передачі звуку через інфрачервоний канал.

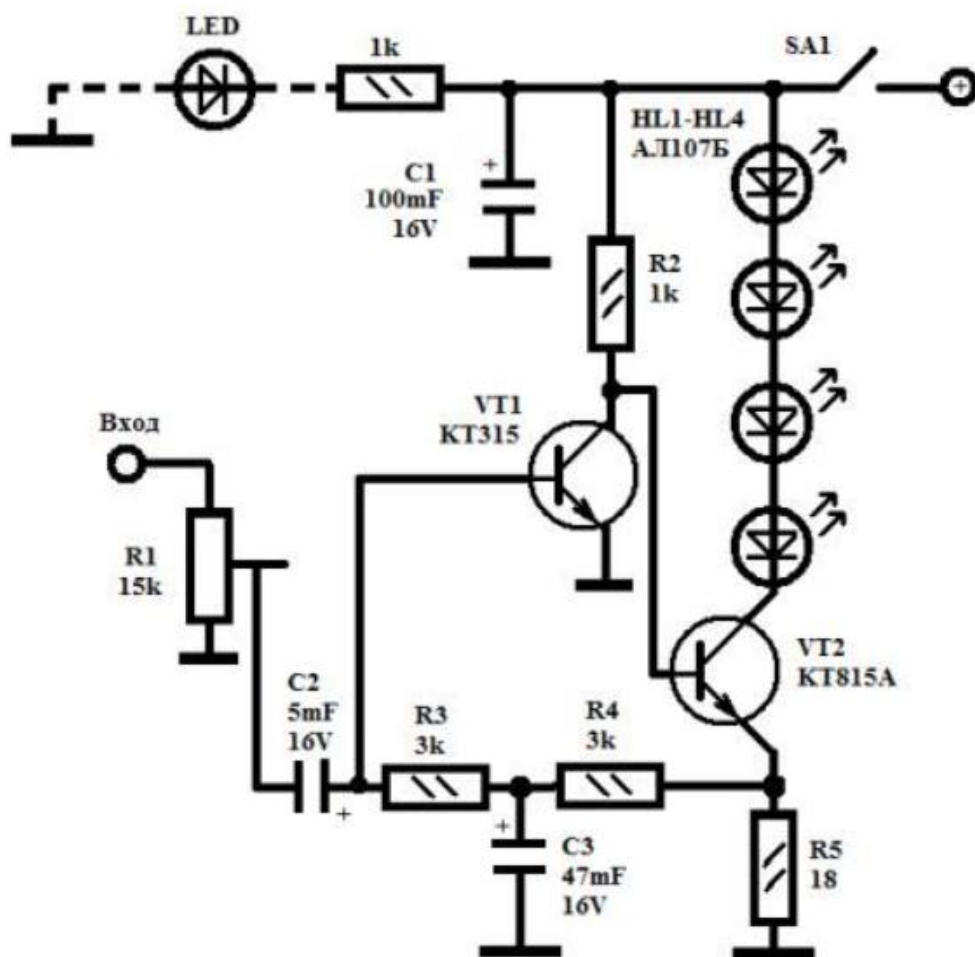


Рис. 1.1 «Схема передавача з обраного електронного ресурсу»

Зобразимо схему приймача в TINA TI:

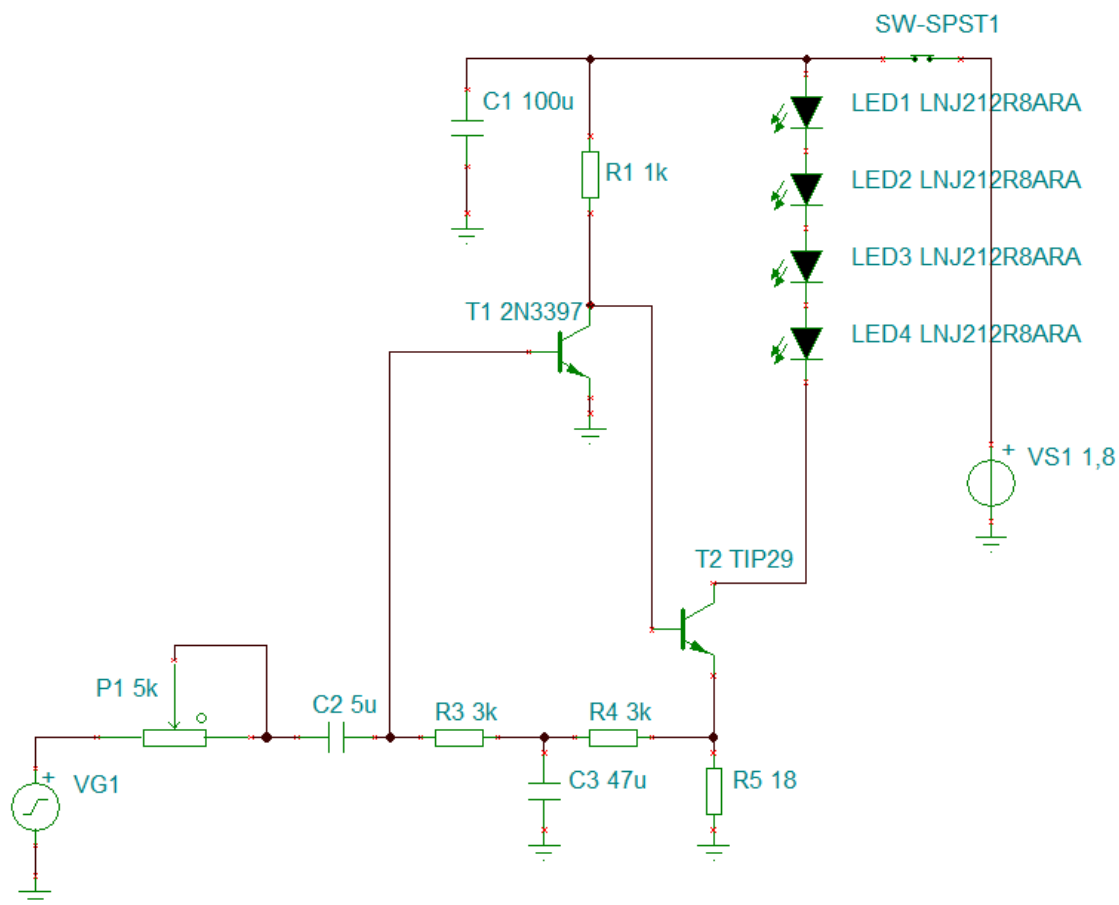


Рис. 1.2 «Схема передавача в TINA TI»

Декілька слів про те, чому симуляція була проведена саме у середовищі TINA TI.

Перед початком роботи, до середовища LT Spice, було завантажено SPICE модель LM4871, при спробі запустити симуляцію обох схем (передавача, та приймача), виникала помилка, яка була пов'язана саме зі SPICE моделлю мікросхеми LM4871, саме тому для проведення симуляції, було обрано середовище TINA TI, де LM4871, була вже встановлена у бібліотеку (далі мова про заміну мікросхеми, буде йти у пункті 1.2).

Деякі відмінності схеми в TINA TI від оригінальної схеми, полягають в тому, що тут видалено світлодіод та резистор, це пояснюється тим, що даний світлодіод та резистор у схемі слугують лише як індикацією того, що схема передавача працює. Також, транзистор КТ 315 та КТ 815А, були замінені на майже їх оригінали: 2N3397, та TIP29 відповідно.

*Табл. 1.1 Порівняння транзистора КТ315*

| Транзистор                             |        |
|--|--------|
| КТ 315                                 | 2N3397 |
| Напруга колектор – база ( $U_{кб}$ )   |        |
| 20 – 40 В                              | 25 В   |
| Напруга колектор – емітер ( $U_{ке}$ ) |        |
| 20 – 60 В                              | 25 В   |
| Напруга емітер – база ( $U_{еб}$ )     |        |
| 6 В                                    | 5 В    |
| Постійний струм колектора ( $I_б$ )    |        |
| 100 мА                                 | 100 мА |

*Табл.1.2 Порівняння транзистора КТ815а*

| Транзистор                                 |        |
|--|--------|
| КТ 815а                                    | TIP 29 |
| Напруга колектор – емітер ( $U_{ке max}$ ) |        |
| 40 В                                       | 40 В   |
| Напруга емітер – база ( $U_{еб max}$ )     |        |
| 5 В  | 5 В    |
| Постійний струм колектора ( $I_{к max}$ )  |        |
| 1,5 А                                      | 1 А    |
| Постійний струм бази ( $I_{б max}$ )       |        |
| 0,5 А                                      | 0,4 А  |

Кілька слів про світлодіоди: оскільки в бібліотеці TINA TI немає світлодіодів, які б працювали в ІЧ спектрі, в налаштуваннях світлодіода, було вказано довжину хвилі - 900 нм, що відповідає ІЧ випромінненню (870 – 940 нм), тому, можуть бути деякі спотворення на виході приймача, оскільки моделі використовуваних світлодіодів не призначені для роботи в ІЧ спектрі.



Отже, схема має двохкаскадний підсилювач класу «А» на двох біполярних транзисторах. Режим підсилювача за постійним струмом, забезпечується завдяки негативно зворотному зв'язку за постійним струмом з резисторами  $R_3, R_4$ .

Навантаження підсилювача – послідовно ввімкнені світлодіоди. Резистор  $R_5$  обмежує струм через світлодіоди.

$R_1$  – змінний резистор, завдяки якому, здійснюється встановлення глибини амплітудної модуляції.

$C_3$  – усуває негативно зворотній зв'язок за змінним струмом.

Для підвищення області роботи передавача, можна додатково встановити ще декілька світлодіодів.

Тепер, про двохкаскадний підсилювач класу «А»: у підсилювача в режимі «А», дуже велике енергоспоживання, тому що через колектор, завжди протікає значний струм, незалежно від того є вхідний сигнал, чи немає.

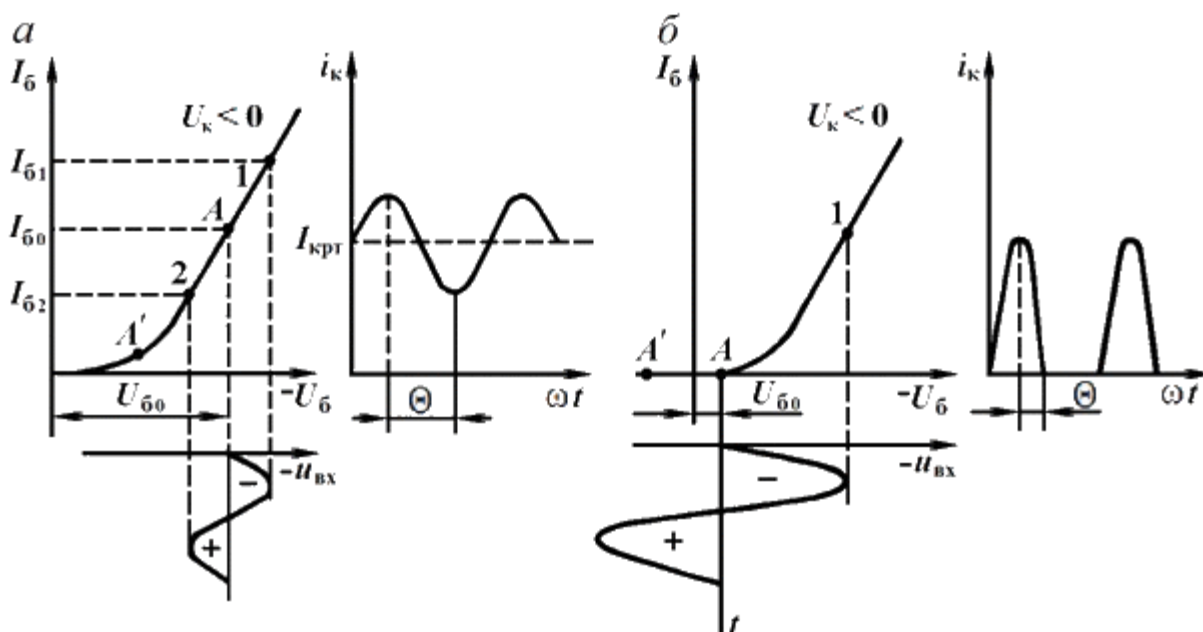


Рис. 1.3 «Режим роботи транзистора в схемі підсилюючого каскаду в режимі

А»

Аналізуючи лівий графік, можна сказати, що коли транзистор працює в режимі А, то його робоча точка знаходиться приблизно на середині лінійного участку залежності струму бази від напруги база - емітер, що забезпечує дуже високу лінійність такого підсилювача, і найменші нелінійні спотворення. Але в такому режимі, коефіцієнт корисної дії, буде досить низьким.

Оскільки, на схемі є двохкаскадний підсилювач, то транзистор  $T_1$  – буде каскадом попереднього підсилення, а транзистор  $T_2$  – вихідним каскадом.

Останній каскад призначений для того, щоб підсилювати потужність сигналу, а перший каскад, має підсилити лише напругу з найменшими нелінійними спотвореннями.

Коефіцієнт передачі за напругою, буде дорівнювати добутку коефіцієнтів передачі за напругою, проміжних каскадів:

$$K_U = K_{U_1} \cdot K_{U_2}$$

Аналогічно буде розраховуватись коефіцієнт передачі за струмом, та за потужністю:

$$K_P = K_{P_1} \cdot K_{P_2}$$

$$K_I = K_{I_1} \cdot K_{I_2}$$

Загалом, доволі часто підсилювачі класу А використовують в каскадах попереднього підсилення, де необхідні найменші нелінійні спотворення.

### 1.2) Приймач звуку

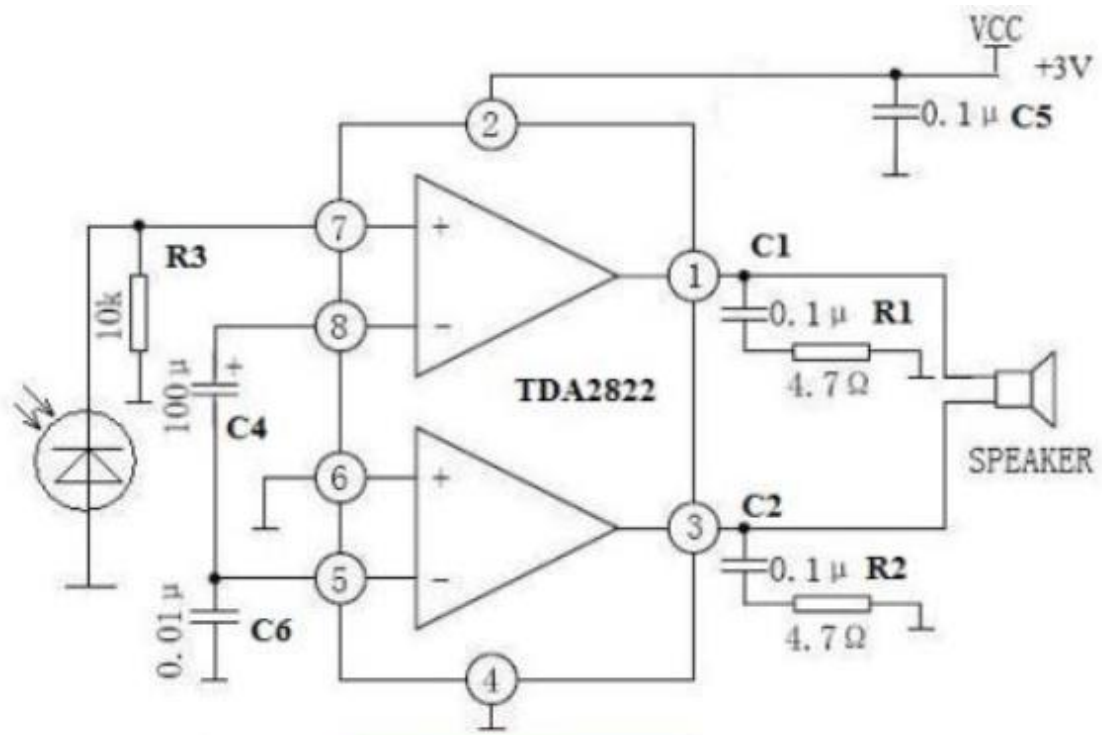


Рис. 1.4 «Схема приймача з обраного електронного ресурсу»

Схема приймача, була повністю змінена, оскільки, як говорилося раніше, для симуляції роботи схеми для програмних середовищ, потрібно мати SPICE модель мікросхеми TDA2822. Оскільки, SPICE модель, все ж таки була знайдена, було виявлено критичну проблему, через яку, симуляція була неможлива, а саме – SPICE модель мікросхеми некоректно працювала, і при спробі запусити симуляцію, з’являлось повідомлення про помилку пов’язану саме з її моделлю.

Було прийнято рішення, замінити мікросхему TDA2822, на LM4871 від виробника “Texas Instruments”, яка по характеристикам, майже відповідає оригінальній мікросхемі.

Аналізуючи параметри які були взяті в технічній специфікації (datasheet) на обидві мікросхеми, можна створити невелику порівняльну таблицю параметрів, при робочій температурі 25°C:

Табл. 1.3 Порівняння мікросхеми TDA2822

| Мікросхема                                |   |
|---|---|
| TDA 2822                                  | LM 4871                                 |
| Напруга живлення ( $U_{CC}$ )             |   |
| 1,8 - 12                                  | 2 – 5,5                                 |
| Струм спокою у колі ( $I_{CC}$ )          |   |
| 9 мА                                      | 6,5 – 10 мА                             |
| Вихідна потужність ( $P_{вих}$ ) (Стерео) |   |
| 0,65 Вт ( $R_L = 4$ Ом)                   | 1,5 Вт ( $R_L = 8$ Ом)                  |
| Гармонічні спотворення (THD) (Стерео)     |   |
| 0,5% ( $R_L = 8$ Ом, $P_{вих} = 0,2$ Вт)  | 0,25% ( $R_L = 8$ Ом, $P_{вих} = 1$ Вт) |

Проаналізувавши дані з таблиці, можна зробити висновок, що LM 4871 може бути використана, як аналог TDA 2822, хоча в них і будуть відмінності, щодо їх роботи.

Оскільки, мікросхема була замінена, відповідно, зміниться і схема підсилювача. Її схему можна знайти з офіційної технічної специфікації на LM 4871, на сайті Texas Instruments.

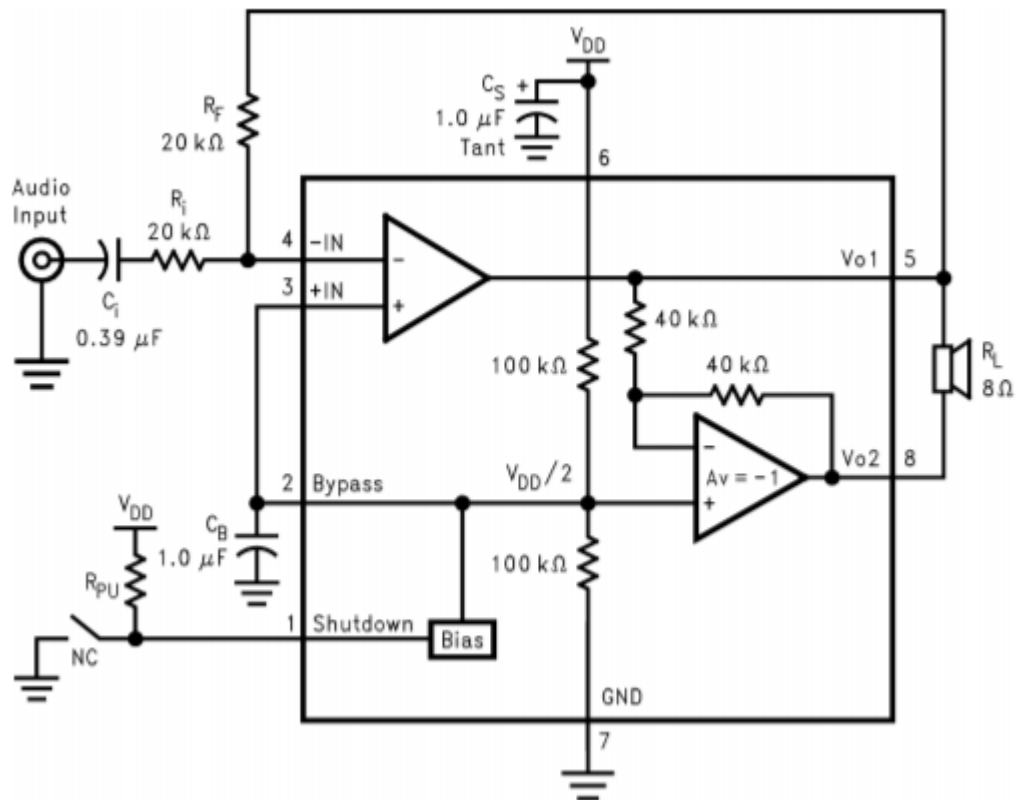


Рис. 1.5 «Схема підсилювача звуку на мікросхемі LM 4871»

Зараз, це є саме схема підсилювача, а не приймача, оскільки, замість “Audio input”, потрібно встановити фотодіод у фотодіодному ввімкненні, і вже після цього, схема стане приймачем ІК випромінювання від передавача.

Примітка: фотодіод працює, при освітленості лунного сяйва, тобто  $1 \cdot 10^{-8}$  лк.

На вході приймача встановлений фотодіод у фотодіодному ввімкненні, де фотодіод ввімкнений у зворотному зміщенні, через який буде протікати зворотній струм, який буде залежати від освітленості фотодіода (яскравіше  $\rightarrow$  більший зворотній струм, і навпаки). Фотодіод був увімкнений саме у фотодіодному режимі, оскільки такий режим роботи забезпечує швидкодію фотодіода, однак в такому режимі завжди буде присутній темновий струм. До слова, в фотогальванічному режимі темнового струму немає, але швидкодія фотодіода буде нижча.

### Вольтамперная характеристика фотодиода

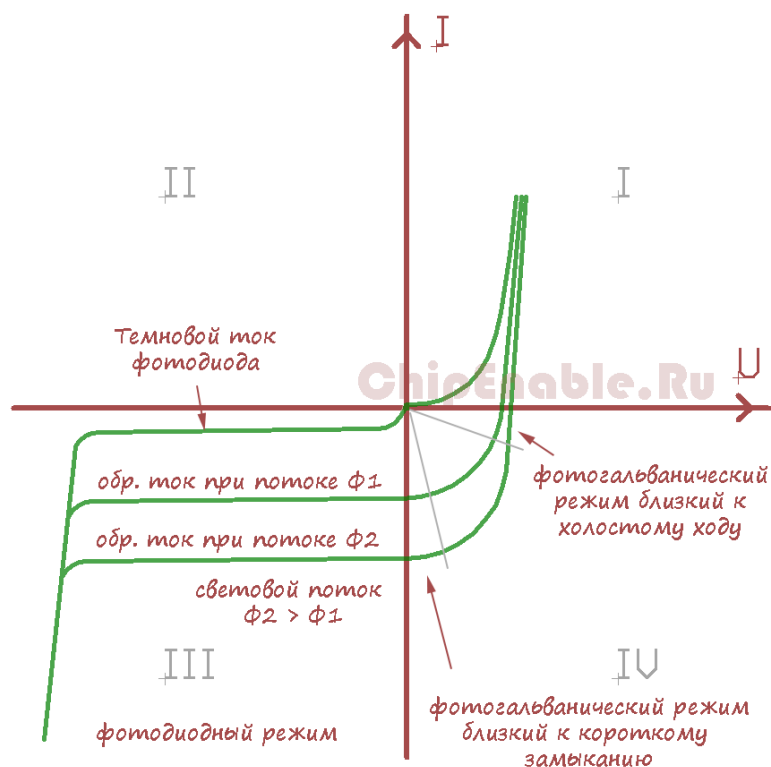


Рис. 1.6 «Вольт – амперна характеристика фотодіода у фотодіодному ввімкненні (I), у фотогальванічному (II)

Зобразимо як це буде виглядати в програмному середовищі:

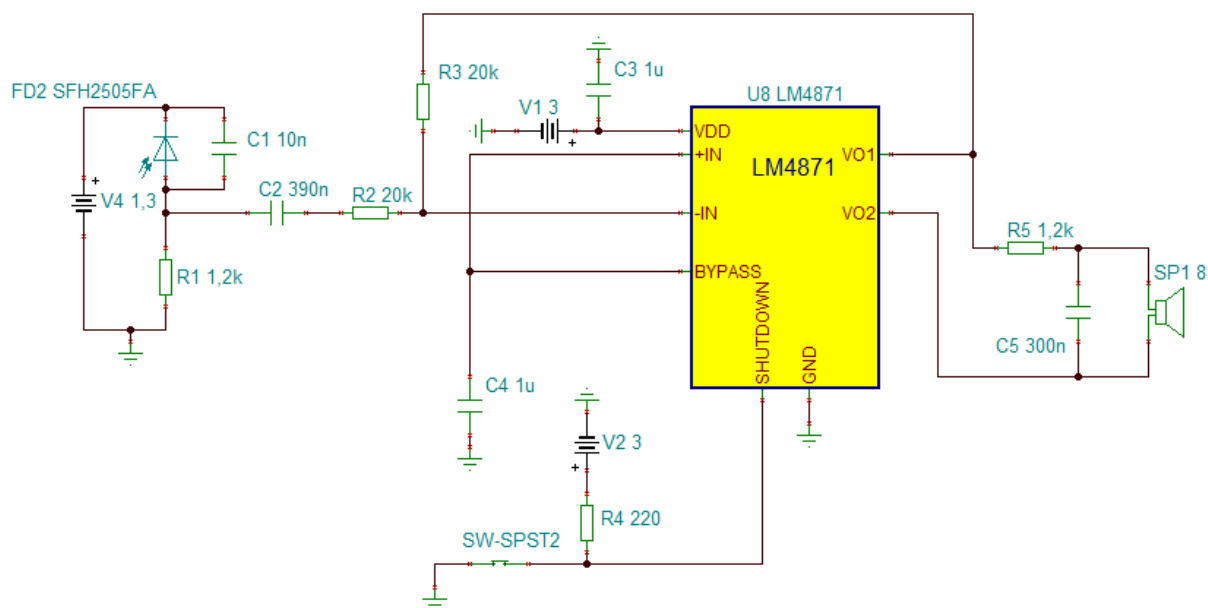


Рис. 1.7 «Схема приймача в TINA TI»

Також, як можна помітити, на виході підсилювача, встановлено резистор, та конденсатор, які в даному випадку, створюють фільтр низьких частот (ФНЧ).

Декілька слів про мікросхему, Як показано на рисунку 1.4, LM4871 має два операційні підсилювачі зсередини, що забезпечує кілька різних конфігурацій підсилювачів. Коефіцієнт підсилення першого підсилювача можна регулювати зовні; другий підсилювач внутрішньо закріплений в інверсійній конфігурації з коефіцієнтом підсилення. Коефіцієнт посилення замкнутого циклу першого підсилювача встановлюється вибором відношення  $R_3$ , до  $R_2$ , тоді як коефіцієнт підсилення другого підсилювача фіксується двома внутрішніми резисторами 40 кОм. На рисунку показано, що вихід підсилювача один служить входом до підсилювача два, що призводить до того, що обидва підсилювача видають сигнали, однакової величини, але на  $180^\circ$  різні за фазою.

Для зменшення енергоспоживання, коли він не використовується, LM4871 містить вимикач для зовнішнього вимкнення схеми зміщення підсилювача. Ця функція відключення вимикає підсилювач, коли на штифт відключення розміщений логічний максимум.

Отже, схема приймача, має підсилювач на мікросхемі LM 4871, з функцією вимикання, яка реалізована завдяки резистору  $R_4$ , та джерелу  $V_2$ .

$R_1$  – Резистор, завдяки якому, можна підібрати струм і напругу на фотодіоді при певній освітленості.

$C_1$  – Паразитна ємність фотодіода, яка забезпечує швидкодію фотодіоду разом з  $R_1$ , і чим менше буде ємність конденсатора, і опір резистора, тим швидше фотодіод буде реагувати на зміну освітленості (оскільки ємність буде швидше перезаряджатися).

$C_4$  – Забезпечує фільтрацію живлення.

$C_3$  - Шунтувальний конденсатор живлення, що забезпечує фільтрацію живлення.

$R_3$  - Опір зворотного зв'язку, який встановлює коефіцієнт підсилення в замкнутому циклі разом з  $R_2$ .

$R_2$  – Утворює фільтр високих частот разом з  $C_2$ .

$R_5$ ,  $C_5$  – утворюють на виході фільтр низьких частот

Отож, загальна робоча схема передачі звуку по ІК каналу з передавача до приймача, буде виглядати наступним чином:

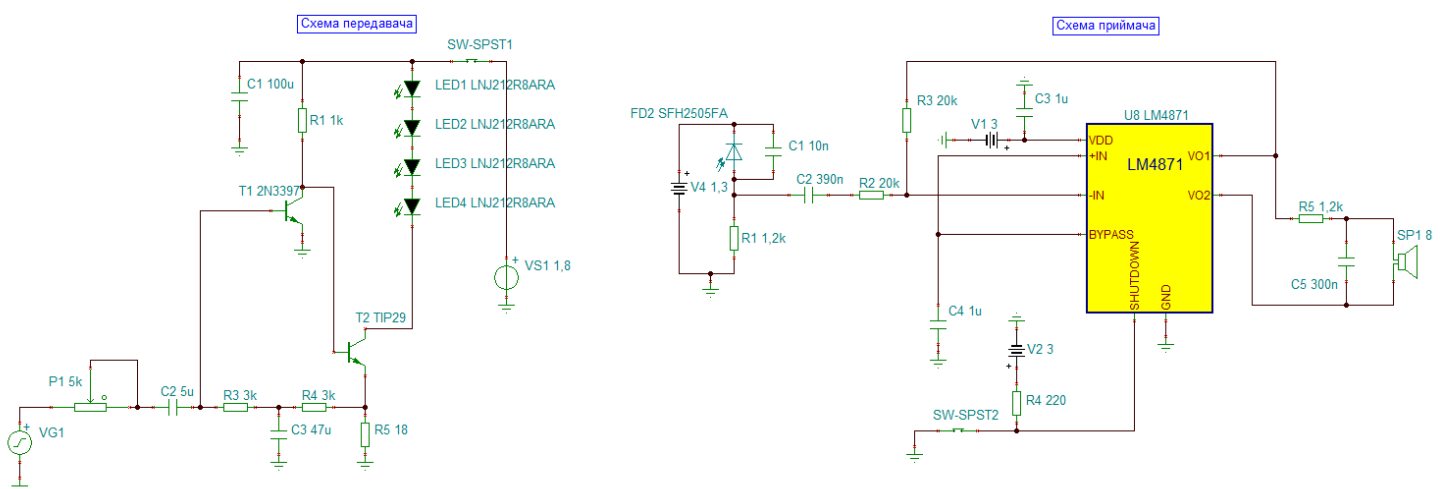


Рис. 1.8 «Загальний вигляд проекту»



### 1.3) Симуляція проекту

Тепер, наведемо приклад симуляції, щоб продемонструвати, що схема працює, хоча й з деякими спотвореннями.

Симуляція була проведена у часовому аналізі (Transient Analysis), у діапазоні від 0с до 1с.

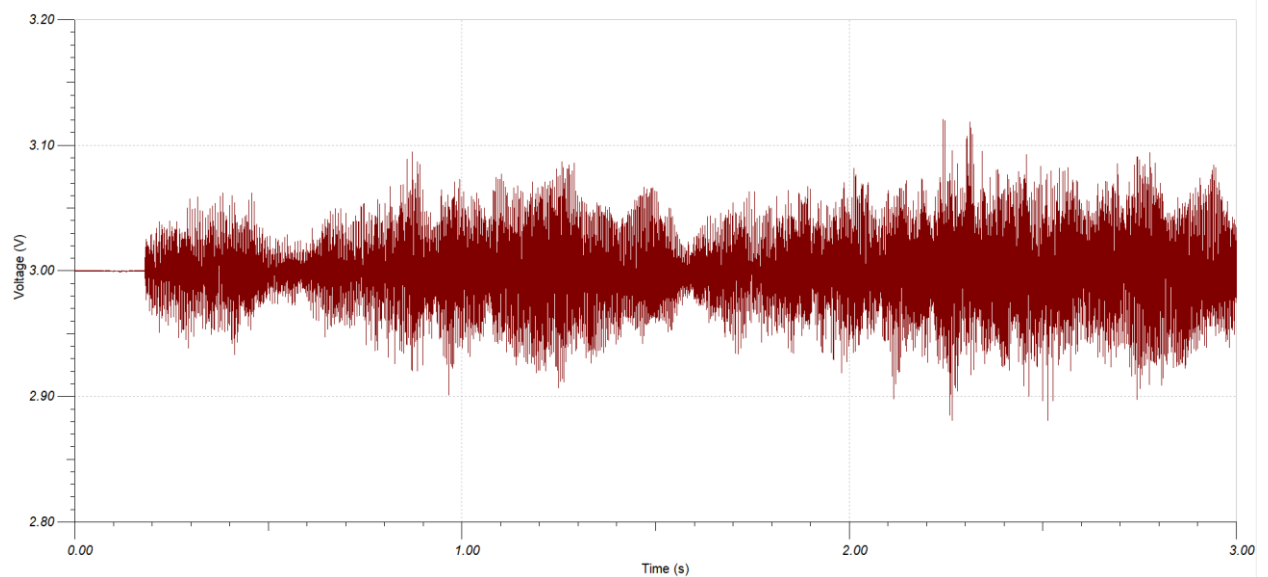


Рис. 1.9 «Сигнал на вході передавача»

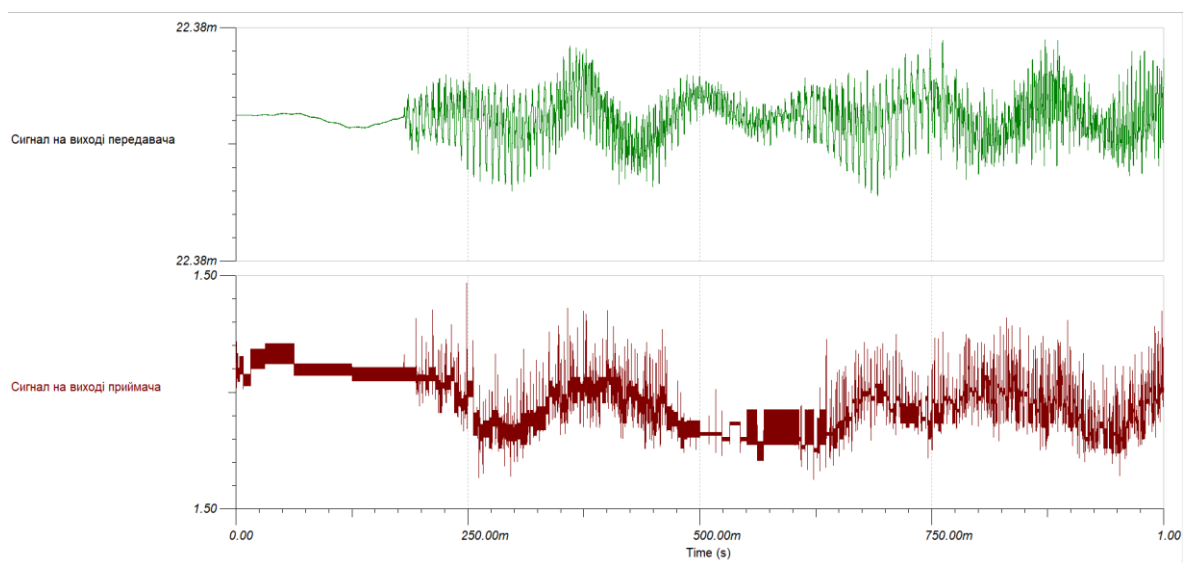


Рис. 1.10 «Сигнали на виході передавача, та приймача з ФНЧ»

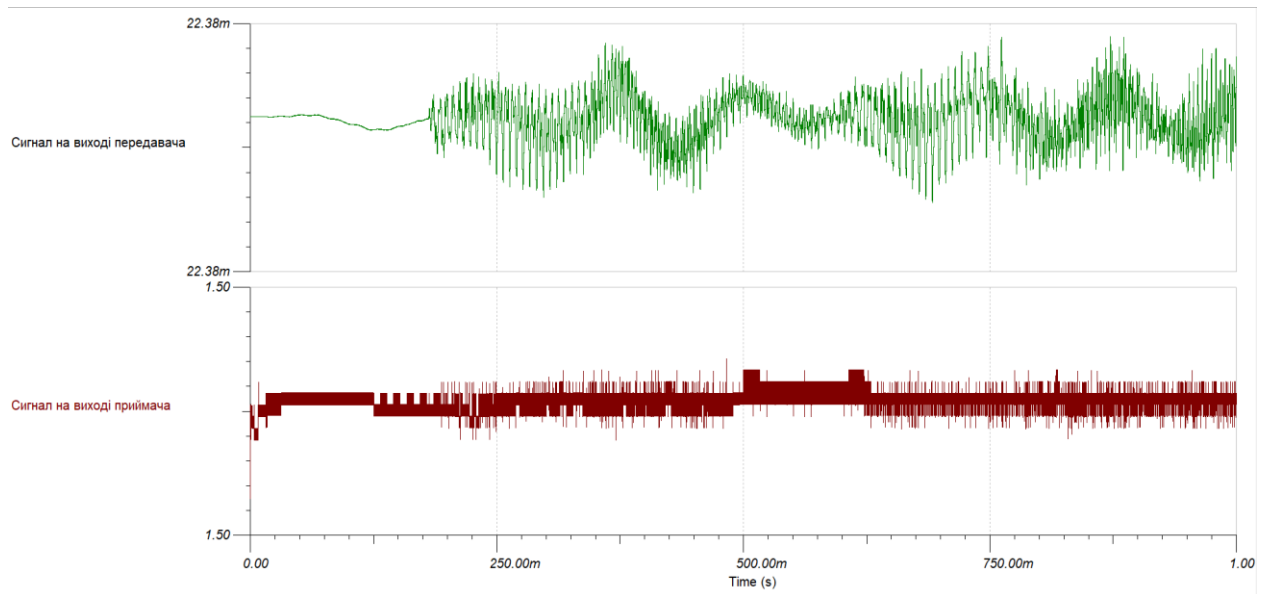


Рис. 1.11 «Сигнал на виході передавача та приймача без ФНЧ»

Проаналізувавши отримані результати, можна стверджувати, що є певна схожа динаміка зміни форми сигналу на виході передавача та приймача. Але, чітко видно, що сигнал на динаміку, досить спотворений, враховуючи, що на виході приймача був додатково встановлений ФНЧ (параметри резистора та конденсатора були підібрані експериментально).

## РОЗДІЛ 2

Визначення струмів та напруг елементів на обох схемах проводилось в середовищі TINA TI, але є певні сумніви, щодо коректності цих вимірів.

Табл. 2.1 Резистори передавача

| Резистори передавача |                |                         |                        |                          |
|----------------------|----------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
|                      | Опір, Ом       | Струм, А                | Напруга, В             | Потужність, Вт           |
| $R_1$                | $1 \cdot 10^3$ | $961,49 \cdot 10^{-6}$  | $961,49 \cdot 10^{-3}$ | $0,9244 \cdot 10^{-3}$   |
| $R_3$                | $3 \cdot 10^3$ | $296,67 \cdot 10^{-15}$ | $890,01 \cdot 10^{-6}$ | $2,64039 \cdot 10^{-22}$ |
| $R_4$                | $3 \cdot 10^3$ | $296,67 \cdot 10^{-15}$ | $890,01 \cdot 10^{-6}$ | $2,64039 \cdot 10^{-22}$ |
| $R_5$                | 18             | $961,49 \cdot 10^{-6}$  | $17,31 \cdot 10^{-3}$  | $1,66465 \cdot 10^{-5}$  |

Потужність розрахована за формулою:  $P = \frac{U^2}{R}$ , де:

$P$  – потужність яку розсіює елемент.

$U$  – напруга яка виділяється на елементі.

$R$  – опір елементу.

Табл. 2.2 Резистори приймача

| Резистори приймача |                  |                        |                        |                          |
|--------------------|------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
|                    | Опір, Ом         | Струм, А               | Напруга, В             | Потужність, Вт           |
| $R_1$              | $1,2 \cdot 10^3$ | $8,73 \cdot 10^{-9}$   | $10,48 \cdot 10^{-6}$  | $9,14904 \cdot 10^{-14}$ |
| $R_2$              | $20 \cdot 10^3$  | 0                      | 0                      |                          |
| $R_3$              | $20 \cdot 10^3$  | $69,56 \cdot 10^{-12}$ | $1,39 \cdot 10^{-6}$   | $9,66884 \cdot 10^{-17}$ |
| $R_4$              | 220              | $13,64 \cdot 10^{-3}$  | 3                      | 0,0409                   |
| $R_5$              | $1,2 \cdot 10^3$ | $348,88 \cdot 10^{-9}$ | $418,66 \cdot 10^{-6}$ | $1,46063 \cdot 10^{-10}$ |

Потужність розрахована за формулою:  $P = \frac{U^2}{R}$

Табл. 2.3 Конденсатори передавача

| Конденсатори передавача |              |                       |                         |
|-------------------------|--------------|-----------------------|-------------------------|
|                         | Ємність, мкФ | Напруга, В            | Потужність, Вт          |
| $C_1$                   | 100          | 1,8                   | $0,162 \cdot 10^{-3}$   |
| $C_2$                   | 5            | 2,98                  | $2,2201 \cdot 10^{-5}$  |
| $C_3$                   | 47           | $17,31 \cdot 10^{-3}$ | $7,04145 \cdot 10^{-9}$ |

Потужність розрахована за формулою:  $P = \frac{C \cdot U^2}{2}$ , де:

P – потужність яку розсіює елемент.

U – напруга яка виділяється на елементі.

C – ємність конденсатора.

Табл. 2.4 Конденсатори приймача

| Конденсатори приймача |                     |                      |                          |
|-----------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|
|                       | Ємність, Ф          | Напруга, В           | Потужність, Вт           |
| $C_1$                 | $10 \cdot 10^{-9}$  | 1,3                  | $8,45 \cdot 10^{-9}$     |
| $C_2$                 | $390 \cdot 10^{-9}$ | 1,5                  | $4,3875 \cdot 10^{-7}$   |
| $C_3$                 | $1 \cdot 10^{-6}$   | 3                    | $4,5 \cdot 10^{-6}$      |
| $C_4$                 | $1 \cdot 10^{-6}$   | 1,5                  | $1,125 \cdot 10^{-6}$    |
| $C_5$                 | $300 \cdot 10^{-9}$ | $2,79 \cdot 10^{-6}$ | $1,16761 \cdot 10^{-24}$ |

Потужність розрахована за формулою:  $P = \frac{C \cdot U^2}{2}$

Табл. 2.5 Транзистори приймача

| Транзистори приймача |                    |                    |                    |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                      | Струм бази,        | Струм емітера,     | Струм колектора,   |
| $T_1$                | $\approx 4,48$ н   | $\approx 3,29$ н   | $\approx 961,49$ у |
| $T_2$                | $\approx 961,49$ у | $\approx 961,49$ у | $\approx 6,85$ р   |

Табл. 2.6 Світлодіоди передавача

| Світлодіоди передавача |          |             |                       |                |
|------------------------|----------|-------------|-----------------------|----------------|
|                        | Опір, Ом | Напруга, мВ | Потужність, Вт        | Струм, рА      |
| $LED_1$                | 4,33708  | 444,4       | $4.561 \cdot 10^{-6}$ | $\approx 6,85$ |
| $LED_2$                | 4,33708  | 444,4       | $4.561 \cdot 10^{-6}$ | $\approx 6,85$ |
| $LED_3$                | 4,33708  | 444,4       | $4.561 \cdot 10^{-6}$ | $\approx 6,85$ |
| $LED_4$                | 4,33708  | 444,4       | $4.561 \cdot 10^{-6}$ | $\approx 6,85$ |

Потужність розрахована за формулою:  $P = \frac{U^2}{R}$

Табл. 2.7 Фотодіод приймача

| Фотодіод приймача |          |            |                |
|-------------------|----------|------------|----------------|
|                   | Опір, Ом | Напруга, В | Потужність, Вт |
| $FD_1$            | 100      | 1,3        | 0.169          |

Потужність розрахована за формулою:  $P = \frac{U^2}{R}$

Табл. 2.8 Динамік приймача

| Динамік приймача |          |                      |                          |
|------------------|----------|----------------------|--------------------------|
|                  | Опір, Ом | Напруга, В           | Потужність, Вт           |
| $SP_1$           | 8        | $2,79 \cdot 10^{-6}$ | $9,73012 \cdot 10^{-13}$ |

Потужність розрахована за формулою:  $P = \frac{U^2}{R}$

## РОЗДІЛ 3

Для вибору компонентів, був обраний електронний ресурс “Digi – key electronics”. Робота з даним ресурсом є інтуїтивно зрозумілою. У пошуковому запиті, вказуємо який елемент потрібно знайти: наприклад, вказуємо “Resistor”, далі обираємо потрібний тип резисторів із запропонованих, і наступним кроком обираємо потрібні параметри, згідно вимірів, тобто вказуємо номінальний опір, точність, максимальну потужність, також додатково, можна вказати температуру, при якій буде використовуватись резистор.

### Through Hole Resistors

Results: 502,040

The screenshot displays the Digi-Key search results for "Through Hole Resistors". The interface includes a search bar at the top with the text "Search Within Results". Below the search bar, there are several filter categories: Manufacturer, Series, Packaging, Part Status, Resistance, and Tolerance. The Resistance filter is set to "0 Ohms", and the Tolerance filter is set to "±0.001%". The results list shows various manufacturers and their corresponding resistor values and tolerances.

Рис. 3.1 «Параметри для вибору потрібного резистора»

Табл. 3.1 Обрані компоненти приймача

| Category                  | Manufacturer                   | Manufacturer Part Number | Description   | Quantity |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------|---|----------|
| Photodiodes               | OSRAM Opto Semiconductors Inc. | SFH 2505 FA-Z            | PHOTODIODE 900NM 5MM RADIAL (Photodiode 900nm 5ns 30° Radial) | 1        |
| Headers and Wire Housings | Würth Elektronik               | 61900211121              | CONN HEADER VERT 2POS 2.54MM (Connector Header Through Hole)  | 3        |

|                       |                                 |                         |   |   |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|---|---|
|                       |                                 |                         | 2 position<br>0.100"<br>(2.54mm))   |   |
| Chip SMD<br>Resistors | Stackpole<br>Electronics<br>Inc | RMCF2512JT20K0          | RES 20K<br>OHM 5% 1W<br>2512 (20<br>kOhms ±5%<br>1W Chip<br>Resistor 2512<br>(6432 Metric)<br>Automotive<br>AEC-Q200<br>Thick Film)                   | 2 |
|                       | Yageo                           | RT0805DRE071K2L         | RES SMD<br>1.2K OHM<br>0.5% 1/8W<br>0805 (1.2<br>kOhms ±0.5%<br>0.125W,<br>1/8W Chip<br>Resistor 0805<br>(2012 Metric)<br>- Thin Film)                | 2 |
|                       | Yageo                           | RC0603JR-07220RL        | RES SMD<br>220 OHM 5%<br>1/10W 0603<br>(220 Ohms<br>±5% 0.1W,<br>1/10W Chip<br>Resistor 0603<br>(1608 Metric)<br>Moisture<br>Resistant<br>Thick Film) | 1 |
| Capacitors            | TDK<br>Corporation              | C4532X7T2J304M250<br>KA | CAP CER<br>0.3UF 630V<br>X7T 1812<br>(0.3 µF ±20%<br>630V Ceramic<br>Capacitor<br>X7T 1812<br>(4532<br>Metric))                                       | 1 |

|  |                   |                         |   |   |
|--|-------------------|-------------------------|---|---|
|  | TDK Corporation   | C2012X7R1V105K125<br>AE | CAP CER<br>1UF 35V X7R<br>080Capacitors<br><br>5(1 $\mu$ F $\pm$ 10%<br>35V Ceramic<br>Capacitor<br>X7R 0805<br>(2012<br>Metric)) | 2 |
|  | AVX Corporation   | 0201ZD103KAT2A          | CAP CER<br>10000PF 10V<br>X5R 0201<br>(10000 pF<br>$\pm$ 10% 10V<br>Ceramic<br>Capacitor<br>X5R 0201<br>(0603<br>Metric))         | 1 |
|  | KEMET             | C1812C394KARACTU        | CAP CER<br>0.39UF 250V<br>X7R 1812<br>(0.39 $\mu$ F<br>$\pm$ 10% 250V<br>Ceramic<br>Capacitor<br>X7R 1812<br>(4532<br>Metric))    | 1 |
|  | Texas Instruments | LM4871MM/NOPB           | IC AMP<br>CLASS AB<br>MONO 3W<br>8VSSOP<br>(Amplifier IC<br>1-Channel<br>(Mono) Class<br>AB 8-<br>VSSOP)                          | 1 |



## РОЗДІЛ 4

## 4.1) Оновлення креслення обраного транзистора

Для моделювання 3D компонента з робочої схеми, було обрано біполярний п-р-п транзистор TIP 29. Перед початком моделювання моделі, потрібно ознайомитись з його габаритними розмірами. Для цього, скористаємось ресурсами сайту “alldatasheet.com”, та знайдемо технічну специфікацію (datasheet) на нашу обрану модель транзистора.

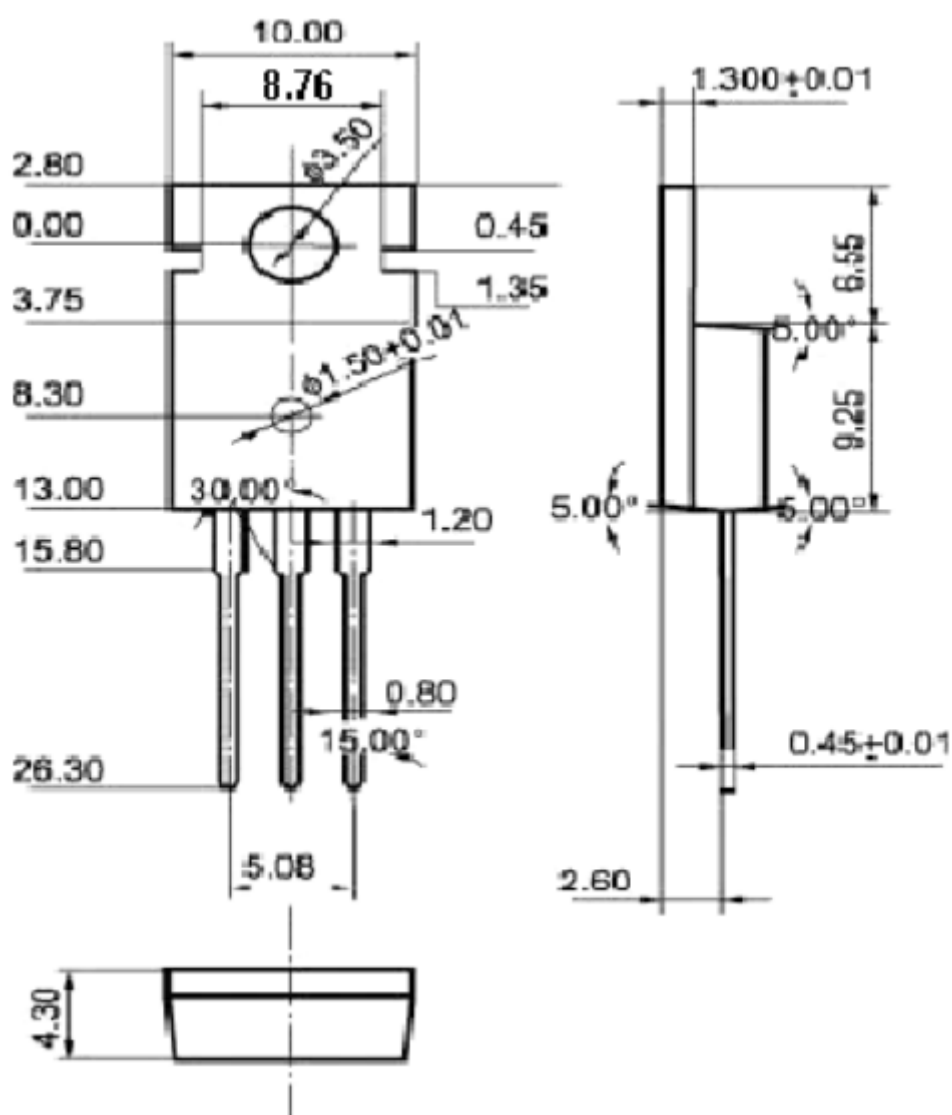


Рис. 4.1 «Габаритні розміри TIP 29, взяті з сайту “alldatasheet.com”»

Ознайомившись з графічним зображенням габаритів транзистора, було прийнято рішення накреслити оновлене креслення, оскільки, креслення з datasheet, не є досить чітким.

Для цього, скористаємось середою розробки від “Autodesk”, “AutoCAD 2022”.

Після оновлення креслення, було отримано наступний результат:

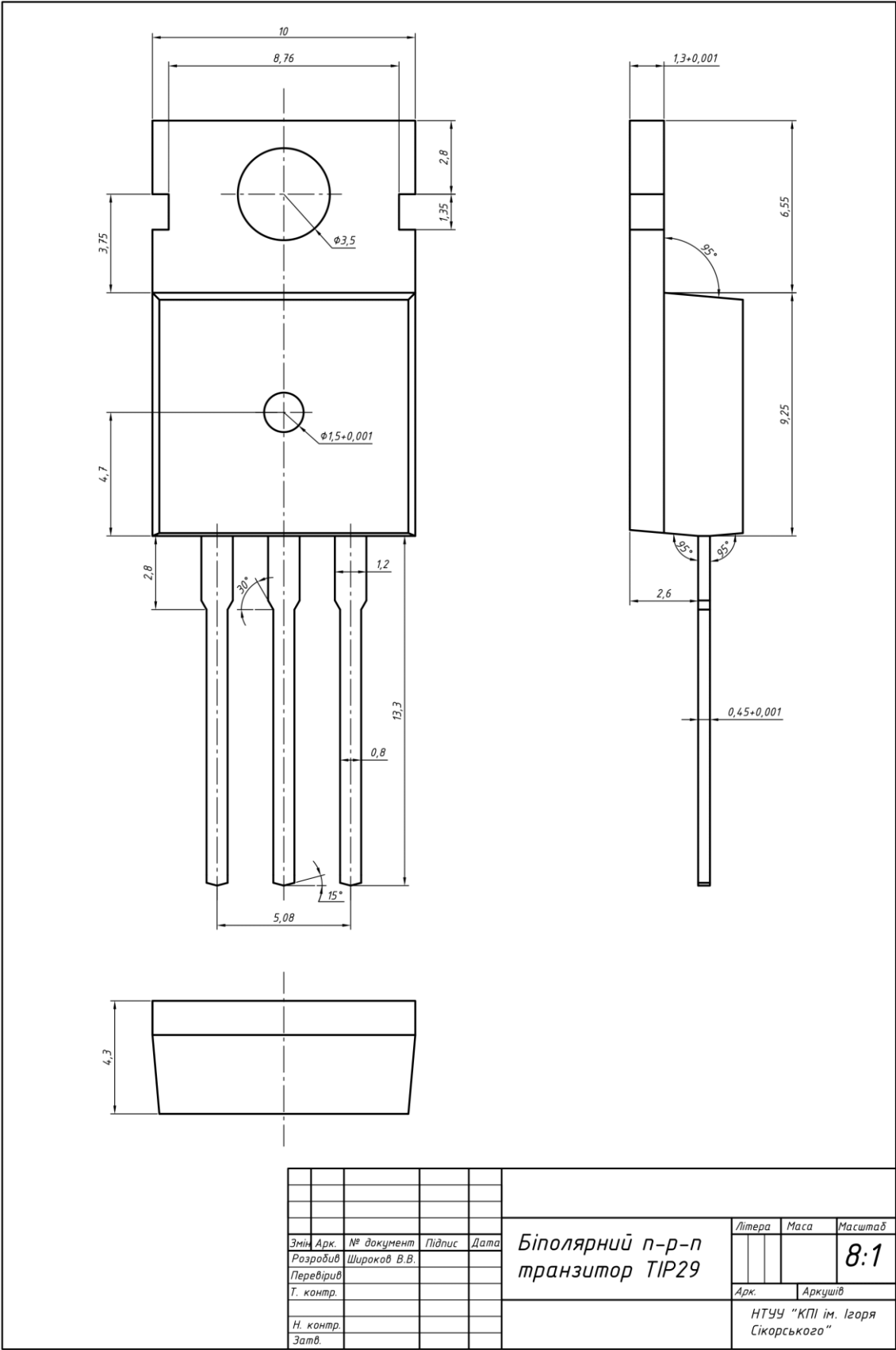


Рис. 4.2 «Оновлене креслення транзистора TIP 29»

Тепер, маючи оновлене креслення, можна переходити до моделювання 3D моделі. Для цього, скористаємось програмною середою також від “Autodesk”, під назвою “Fusion 360”.

#### 4.2) Побудова кресленика

Після запуску програми, бачимо наступне:

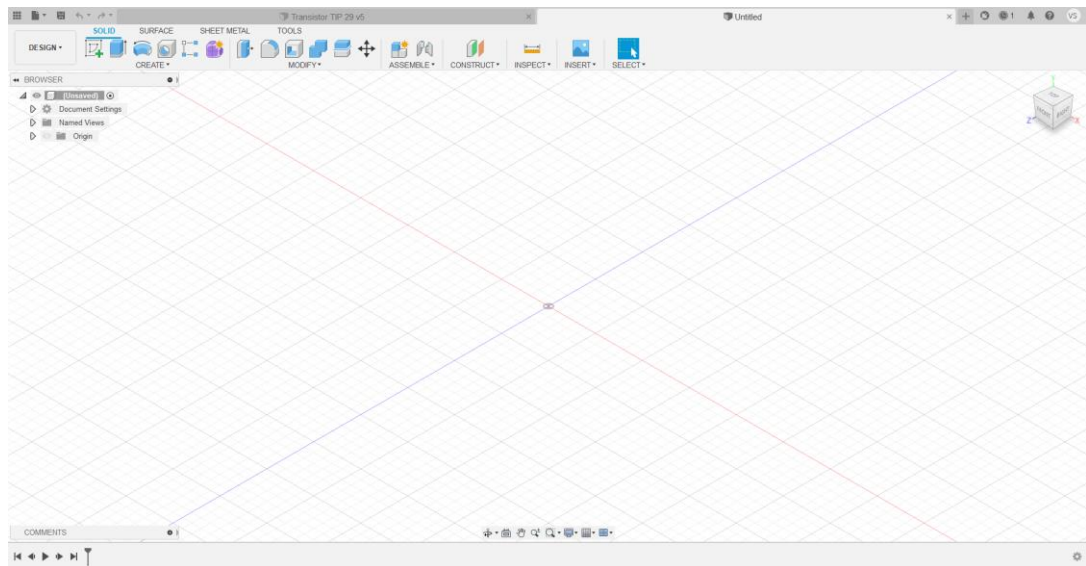


Рис. 4.3 «Простір створення 3д моделей»

У верхній панелі інструментів, у вкладці “Solid”, обираємо функцію “Create sketch”:

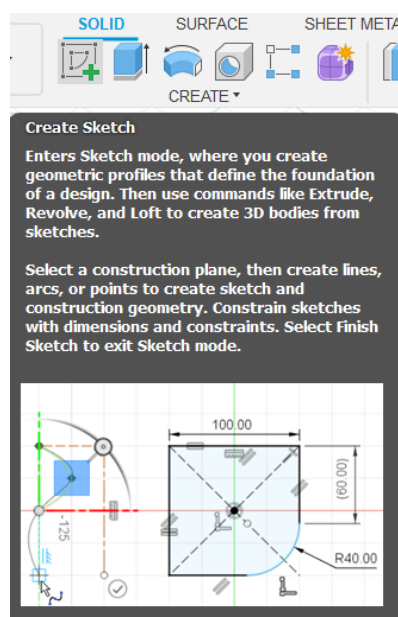


Рис. 4.4 «Функція “Create sketch”»

Серед запропонованих площин побудови, обираємо горизонтальну площину.

Далі, все у тій же верхній панелі, після вибору площини створення кресленника, у вкладці “Solid”, обираємо функцію “Line”:

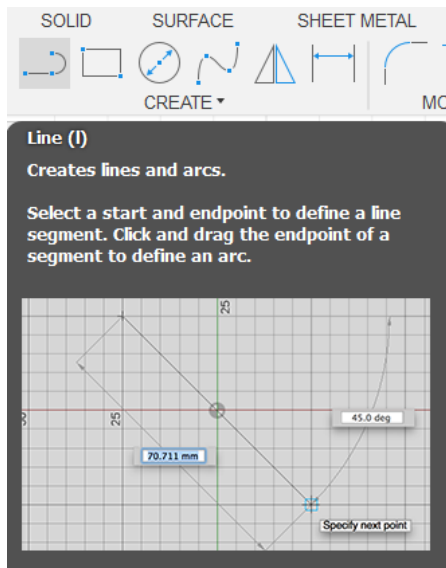


Рис. 4.5 «Функція “Line”»

*Примітка:* даний кресленик - спрощений, для більш легкої побудови 3D моделі, тому він і відрізняється від того, що було накреслено в “AutoCAD”

Створення кресленника на площині, допомагає виконати побудову 3D моделі більш легшим. Обравши функцію “Line”, натискаємо на точку початку координат, та згідно нашого нового створеного креслення габаритів транзистора, починаємо будувати його контур, для подальших операцій.

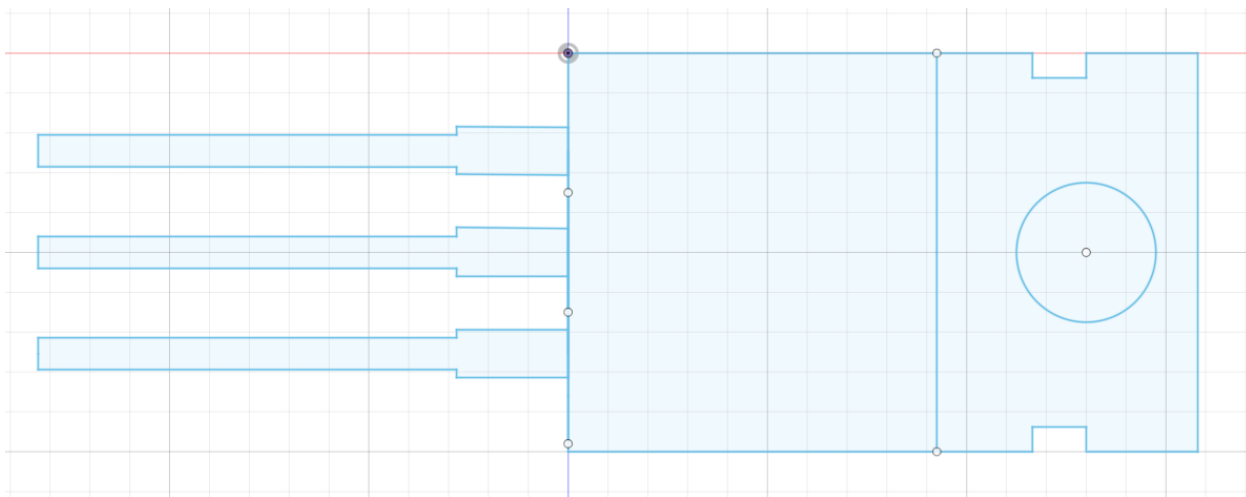


Рис. 4.6 «Готовий кресленик транзистора»

### 4.3) Побудова 3D моделі

Після натискання лівою кнопкою миші на верхню частину транзистора на кресленику, ми, тим самим, обираємо її для наступної операції. У верхній панелі інструментів, у вкладці “Solid”, обираємо функцію “Extrude”, яка дозволяє “витягувати” площину у потрібну висоту, тим самим, створювати частину 3D моделі.

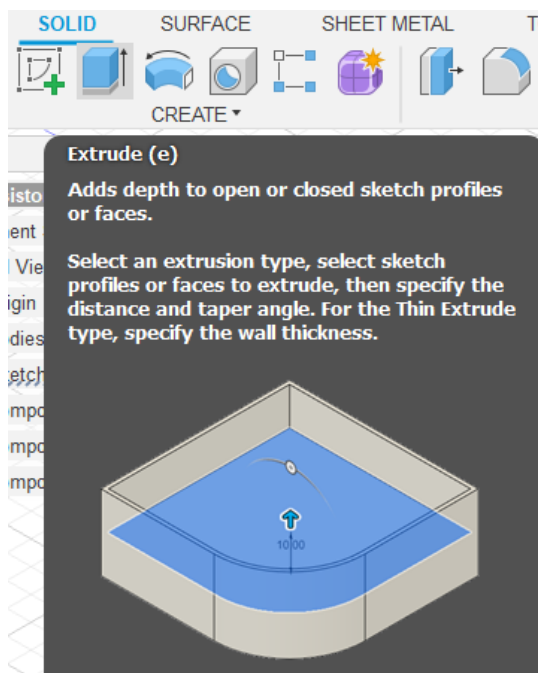


Рис. 4.7 «Функція “Extrude”»

Після натискання “Extrude”, у правій стороні екрану, з’являється вікно, з однойменною назвою. У рядку “Distance”, вказуємо товщину верхньої частини транзистору, згідно з кресленням (1,3 мм).

Рядок “Operation” залишаємо “New body”.

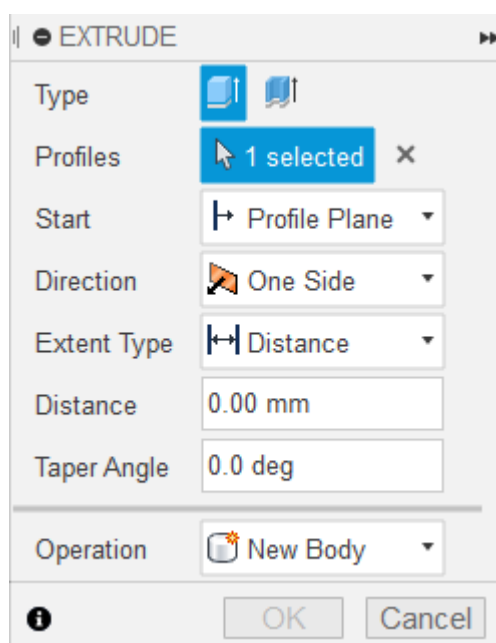


Рис. 4.8 «Налаштування функції “Extrude”»

Результат виконання операції:

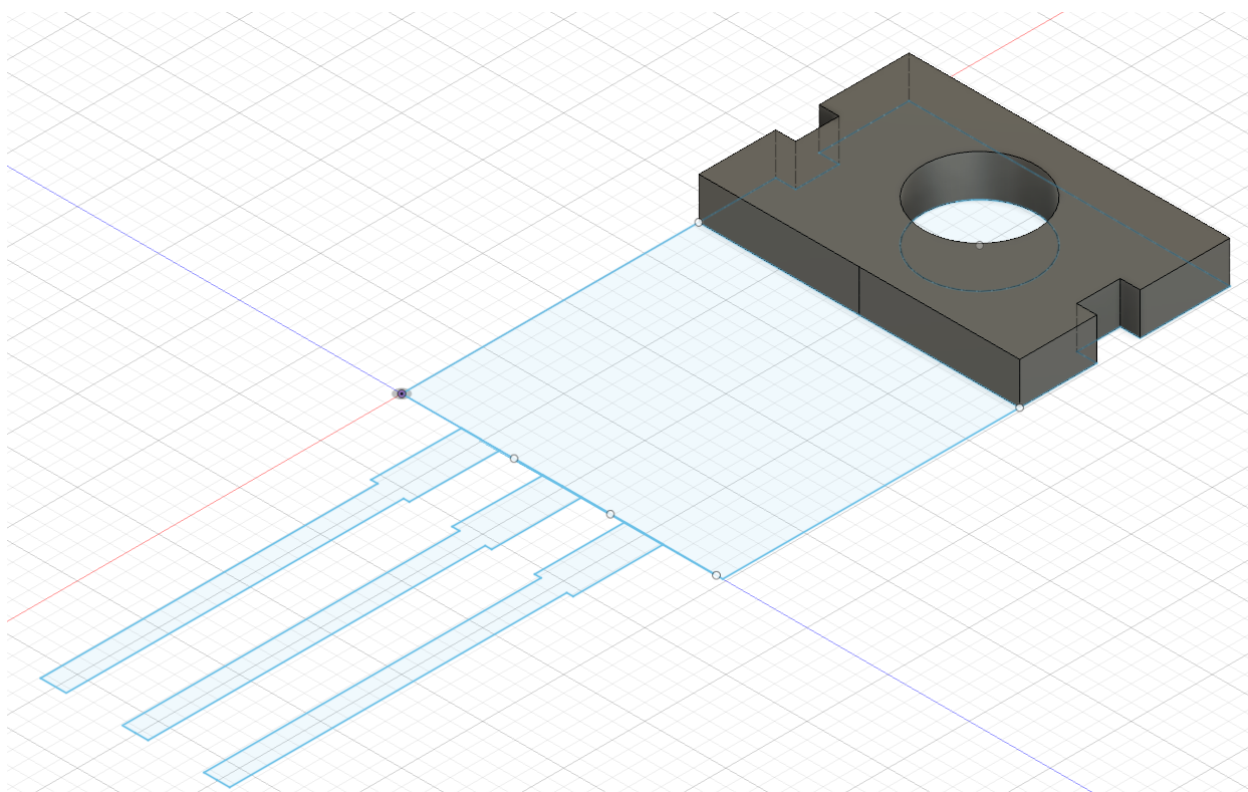


Рис. 4.9 «Верхня частина 3D моделі транзистора»

Далі, обираємо частину кресленика транзистора, яка знаходиться нижче від отриманої, і повторюємо ту ж саму операцію.

Результат виконання операції:

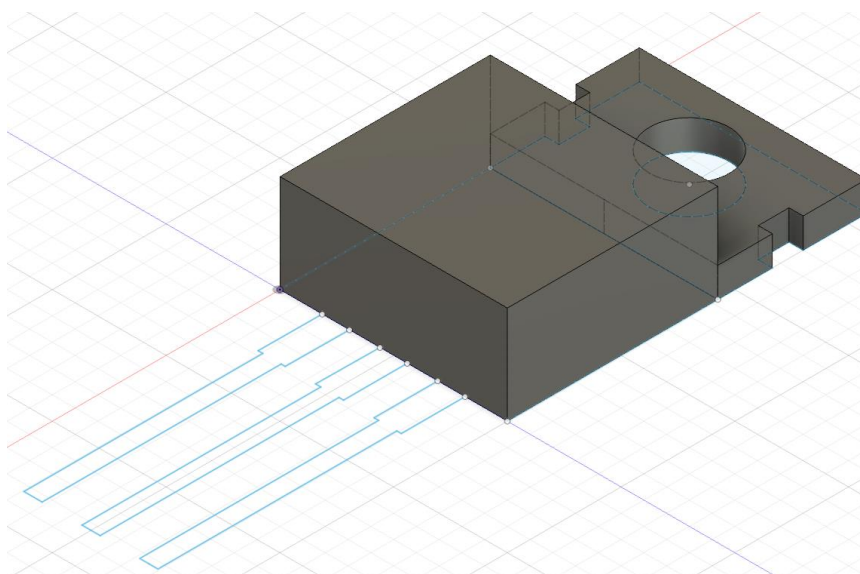


Рис. 4.10 «Корпус 3D моделі транзистора»

Аналогічно, будуємо моделі ніжок транзистора:

Для вибору області одразу трьох ніжок, треба натиснути ліву кнопку миші, натиснувши при цьому клавішу “Ctrl”. Витягуємо на потрібну висоту (0,45 мм):

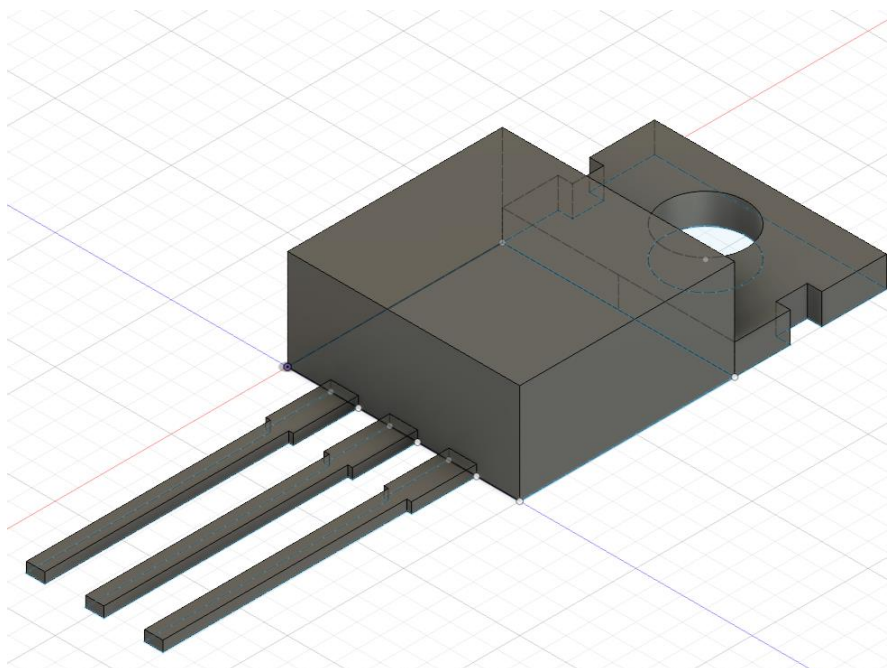


Рис. 4.11 «Ніжки 3D моделі транзистора»



Далі, підніmemo ніжки на потрібну висоту. Для цього:

- 1) Натиснувши ліву кнопку миші в правому нижньому куту робочого поля, проведемо курсор (не відпускаючи кнопку) до верхнього лівого кута: Має вийти приблизно так:

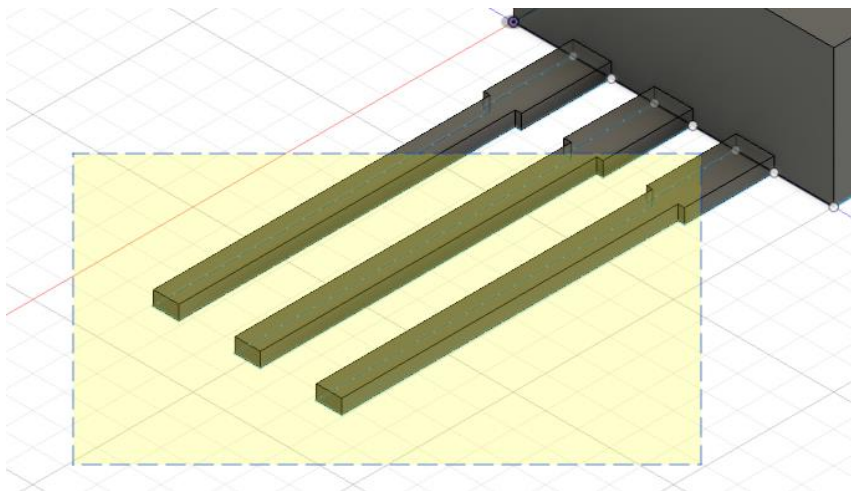


Рис. 4.12 «Виділення ніжок транзистора для подальшої операції»

Відпустивши кнопку миші, усі три ніжки будуть виділені.

На верхній панелі інструментів, у вкладці “Solid” знаходимо функцію “Move/Сору”:

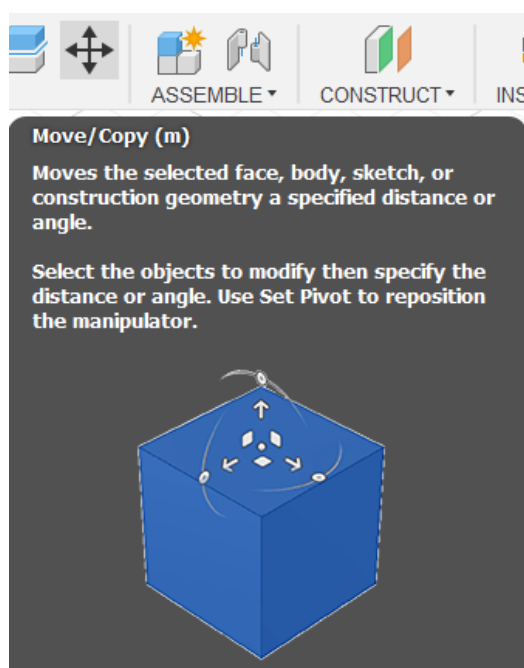


Рис. 4.13 «Функція “Move/Сору”»

У вікні, що відкрилося справа, у строчці “Y Distance” вказуємо потрібну висоту (2,6 мм).

Результат виконання операції:

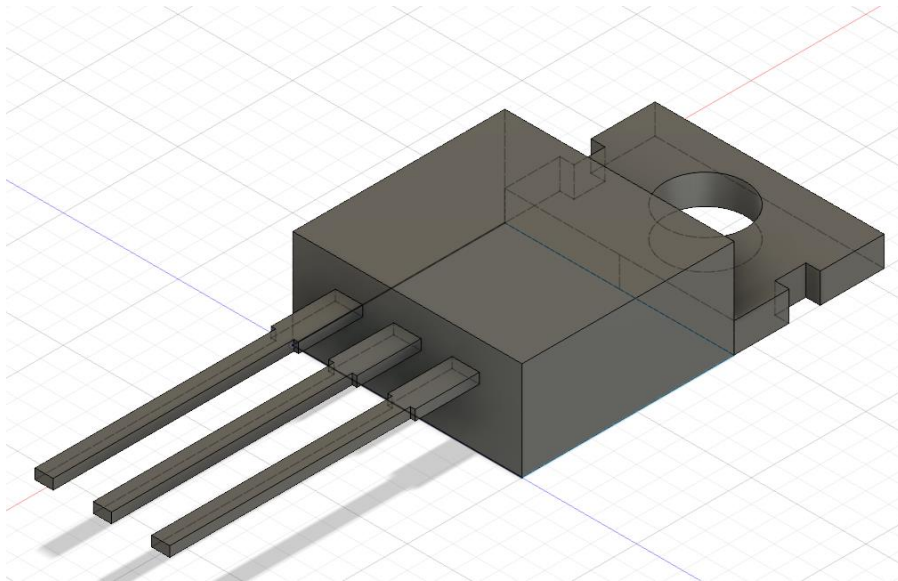


Рис. 4.14 «Вигляд 3D моделі після підйому ніжок»

Побудуємо отвір на верхній стороні корпусу транзистора:

- 1) Кліком лівої кнопки миші, обираємо верхню поверхню корпусу:

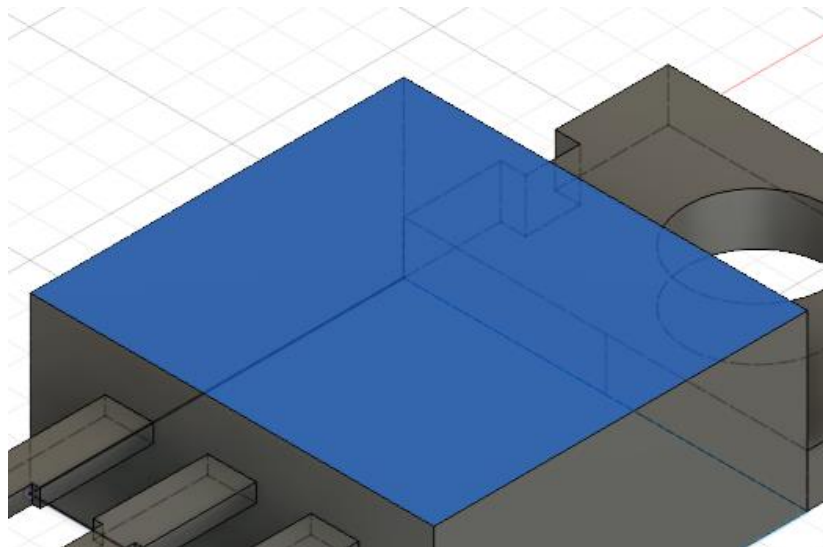


Рис. 4.15 «Верхня поверхня корпусу транзистора»

- 2) Обираємо “Sketch” на панелі інструментів.

- 3) Шляхом геометричних дій, знаходимо місце, де буде розташовуватися коло, та будуємо його:

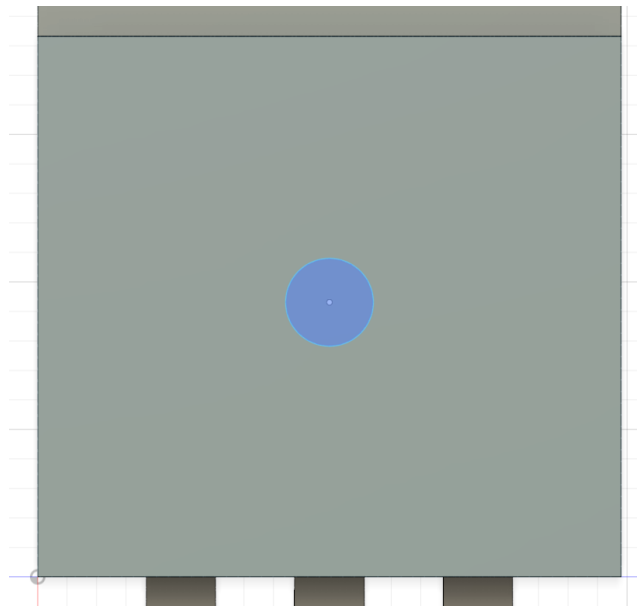


Рис. 4.16 «Побудоване коло на обраній поверхні»

- 4) Натиснувши на область кола, обираємо функцію “Extrude”

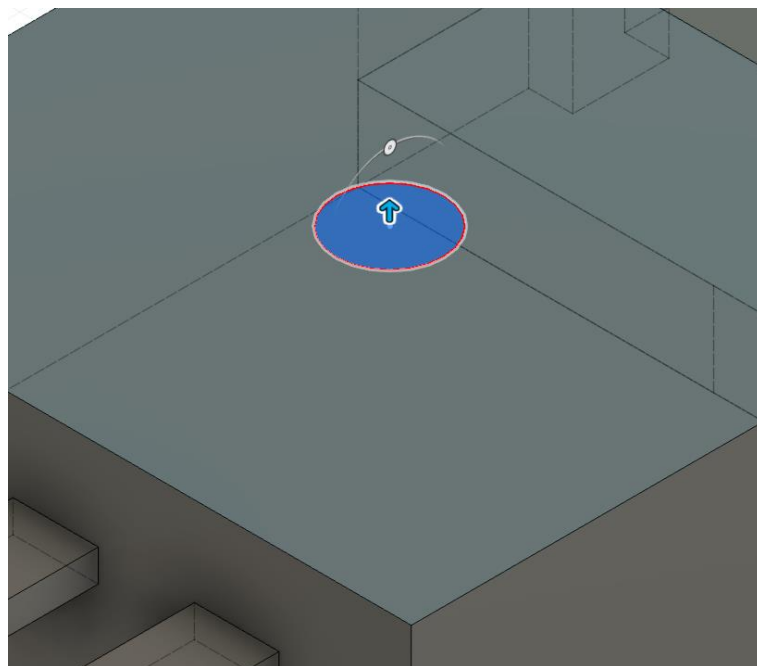


Рис. 4.17 «Коло після вибору функції “Extrude”»

- 5) У строчці “Distance”, у вікні, яке з’явилося з правої сторони екрану, вказуємо: «-0,2», Operation - “Cut”.

Результат виконання операції:

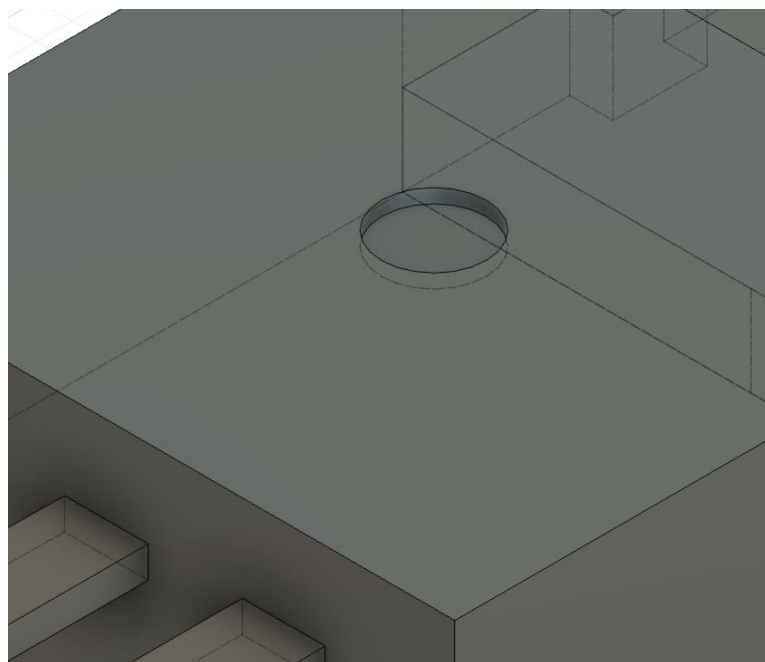


Рис. 4.18 «Побудований отвір на корпусі»

Далі, задамо колір частинам транзистора, за допомогою функції «Appearance».

Для цього, при увімкненій англійській розкладці, натискаємо на клавіатурі англійську літеру «А». З'явиться ось таке вікно:

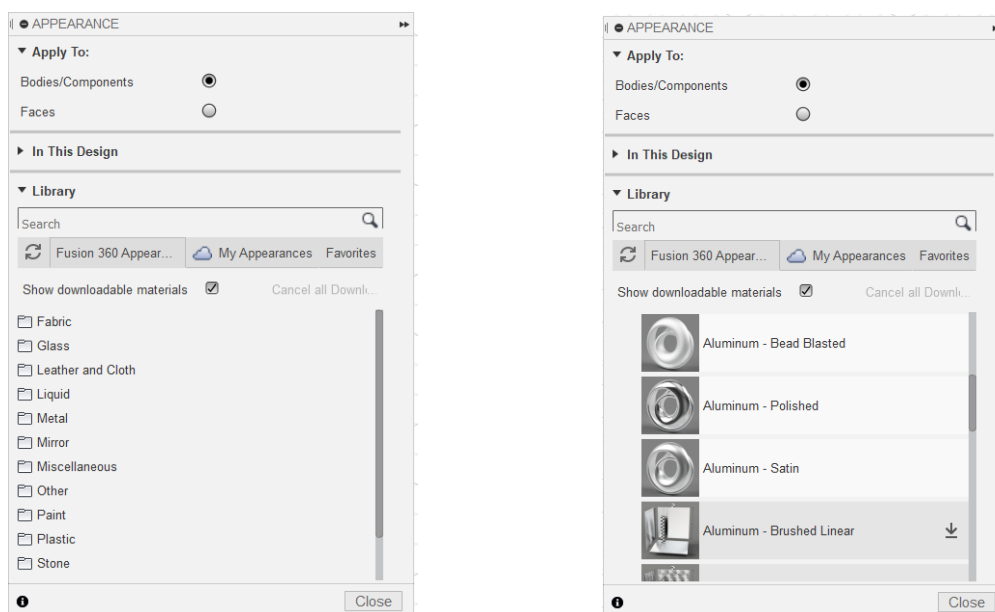


Рис. 4.19 «Налаштування функції «Appearance»»

У пункті “Library”, обираємо папку “Metal” - > “Aluminium”. Серед них запропонованого, обираємо “Bead Blasted”.

Далі, натиснувши на віконце з його назвою, тримаючи натиснутим ліву кнопку миші, перетаскуємо цей колір на верхню частину транзистора, і коло потрібна частина виділилась (стала синього кольору), відпускаємо кнопку миші.

Результат виконання операції:

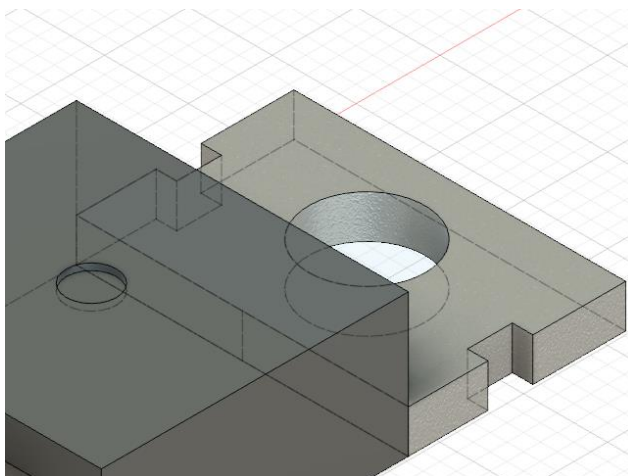


Рис. 4.20 «Вид верхньої частини транзистора після обрання матеріалу»

Точно таку ж операцію проведемо і над ніжками транзистор.

Для корпусу, наприклад, оберемо з обраної бібліотеки “Anodized Glossy”.

Результат виконання операції:

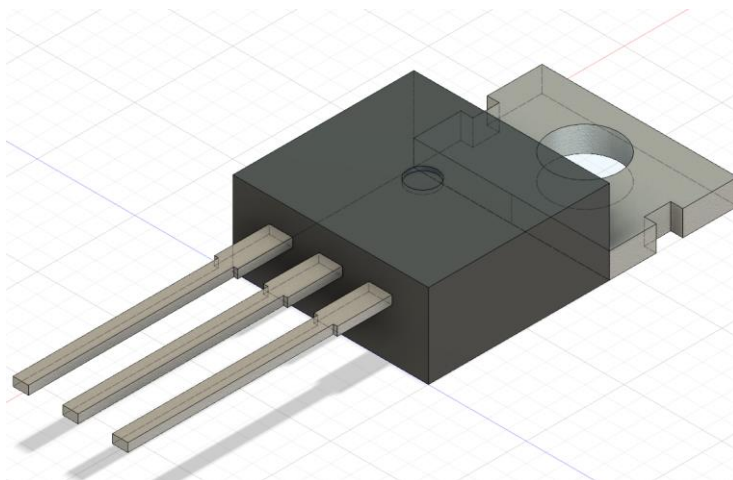


Рис. 4.21 «Вид 3D моделі, після додавання матеріалів до частин транзистора»

На останок, трохи заокруглимо сторони транзистора.

Для цього, на верхній панелі інструментів, шукаємо функцію “Select” - > “Selection filters” - > і з усього списку залишаємо лише “Body Edges”:

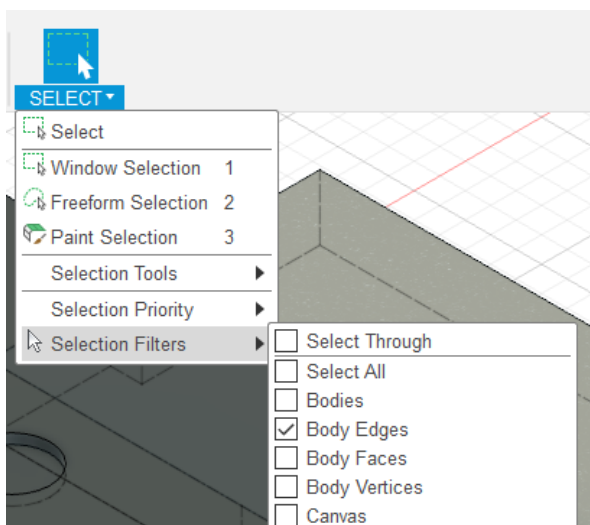


Рис. 4.22 «Функція “Select”»

Далі, виділяємо увесь транзистор с верхнього правого кута, до нижнього лівого (в попередніх пунктах, було пояснено, як це зробити):

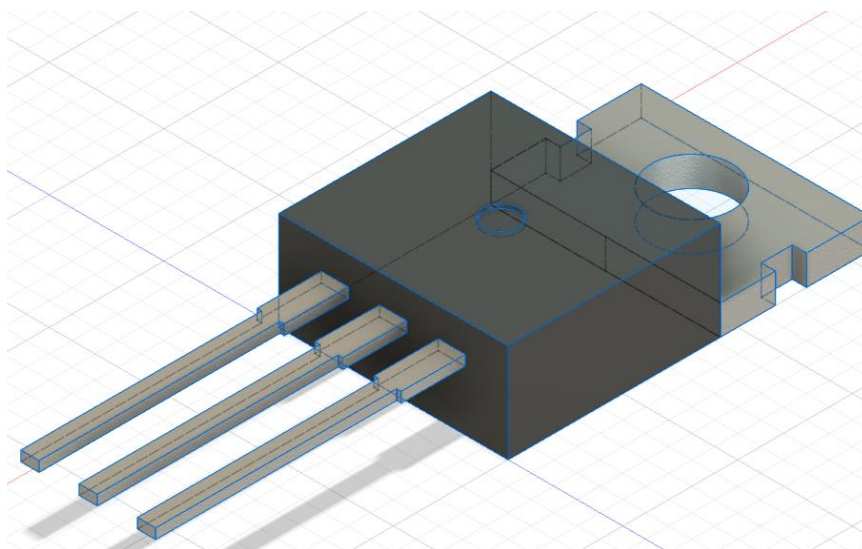


Рис. 4.23 «Обрані краї транзистора»

На панелі інструментів, знаходимо функцію “Fillet”:

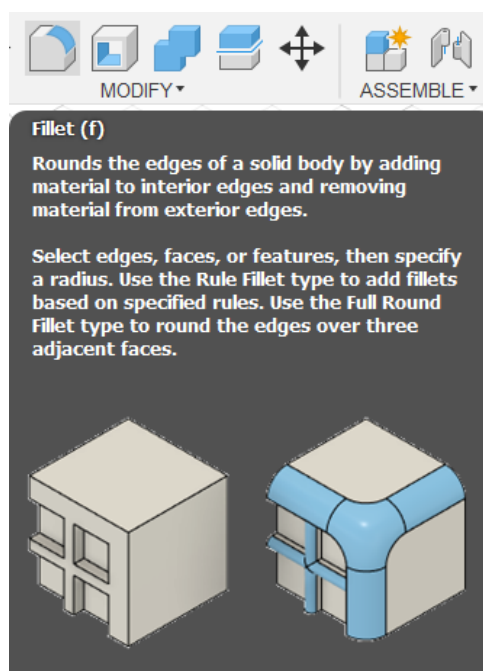


Рис. 4.24 «Функція “Fillet”»

У вікні, що відкрилося, у строчці “91 Edges”, вказуємо 0,05 мм - > “Ok”

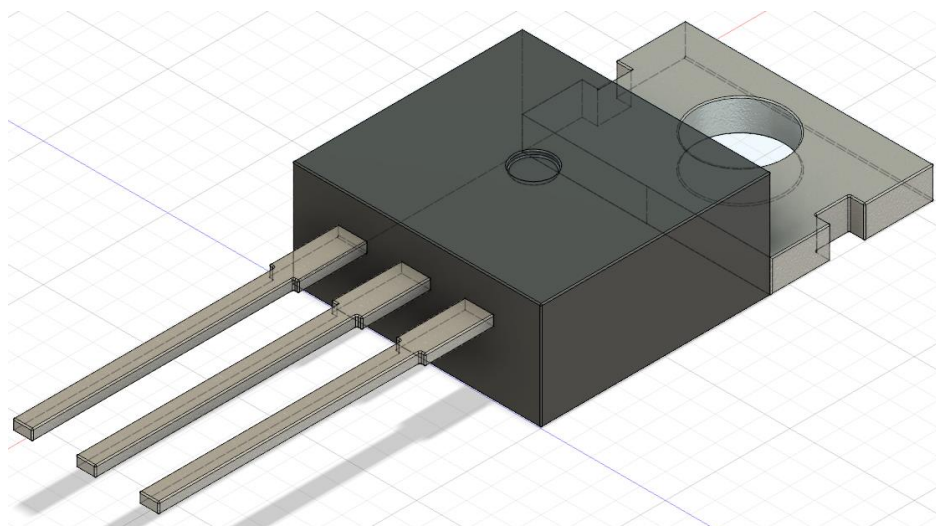


Рис 4.25 «Готовий результат 3D моделювання транзистора TIP 29»



## РОЗДІЛ 5

У цьому розділі, будуть розглянуті кроки створення 3д моделі друкованої плати приймача.

Усі операції, будуть проведені у програмному середовищі “Altium Designer”.

Створення 3D РСВ приймача, було обрано з тих міркувань, що на цій платі, є досить різноманітні компоненти, які б досить чітко показали б процеси створення плати.

*5.1) Створення бібліотеки умовно – графічних зображень елементів на схемі, та створення самої схеми.*

Перед початком роботи, потрібно створити декілька потрібних файлів (Назви файлів розглянуті на прикладі даної роботи):

- 1) *Course\_SchLib.SchLib* – бібліотека зі створеними умовно – графічними зображеннями компонентів схеми;
- 2) *Course\_PcbLib.PcbLib* – бібліотека зі створеними футпрінтами;
- 3) *Course.SchDoc* – протсір для побудови схема;
- 4) *Course.PcbDoc* – протсір для побудови друкованої плати;

Відкриваємо файл “Course\_SchLib.SchLib”.

Натиснувши кнопку “Panel” → “Manufacturer Part Search”, у пошуковому запиті, вказуємо “Part number” резистора, який до цього був вказаний у розділі III. Далі, знайшовши потрібний варіант, правою кнопкою миші натискаємо на обраний фотодіод, і обираємо “Import into ...”

Потім, за допомогою вбудованого редактора схематичних зображень, побудуємо зображення резистора.



Результат виконання операції:

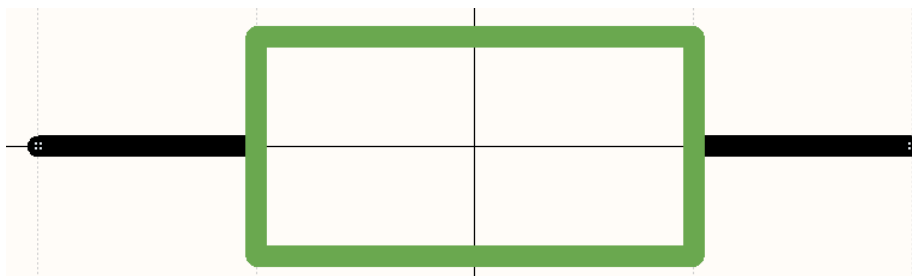


Рис. 5.1 «Схематичне зображення резистора»

Аналогічним чином, будемо схематичні зображення резистора, конденсатора, конектора, та мікросхеми (її можна встановити з Інтернету).

Усі створенні схематичні зображення, створюють бібліотеку елементів, яка потім знадобиться для побудови схеми.

| Design Item ID                                 | Description                          |
|--|--------------------------------------|
| 0201ZD103KAT2A                                 | Capacitor; Ceramic; Cap 0.01 uF; Tol |
| 61900211121                                    | Conn Wire to Board M 2 POS 2.54mm    |
| C1812C394KARACTU                               | Multilayer Ceramic Capacitors MLCC - |
| C2012X7R1V105K125AICAP CER 1UF 35V X7R 0805    |                                      |
| C4532X7T2J304M250K/CAP CER 0.3UF 630V X7T 1812 |                                      |
| LM4871MM/NOPB                                  | IC AMP AUDIO PWR 3W MONO 8VS         |
| RC0603JR-07220RL                               | YAGEO - RC0603JR-07220RL - SMD       |
| RMCF2512JT20K0                                 | RES 20K OHM 5% 1W 2512               |
| RT0805DRE071K2L                                | RES SMD 1.2K OHM 0.5% 1/8W 0805      |
| SFH2505FA-Z                                    | PHOTODIODE 900NM 5MM RADIAL          |

Рис. 5.2 «Приклад створеної бібліотеки компонентів»

Відкриваємо файл “Course.SchDoc”.

Створюємо схему використовуючи, створену раніше бібліотеку. Процес створення схеми, практично аналогічний як і в інших симуляторах (LT Spice, TINA TI).

### 5.2) Створення друкованої плати, 3D моделі, та Bill of materials.

Після того, як були побудовані умовно – графічні зображення та схема, далі потрібно створити футпрінти (footprint), для того, щоб можна було почати трасировку провідників на платі.

Після цього, з'явиться наступне:

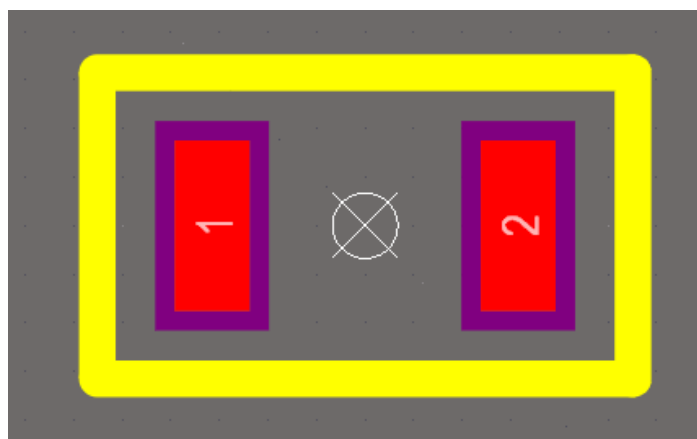


Рис.5.4 «Приклад готового футпрінта резистора RC0603JR-07220RL»

На рисунку зображено:

*Жовтим* – приблизний контур посадочного місця компонента

*Червоним* – місце для поверхневого монтажу компонента

Наступним кроком, потрібно встановити 3D модель обраного компонента.

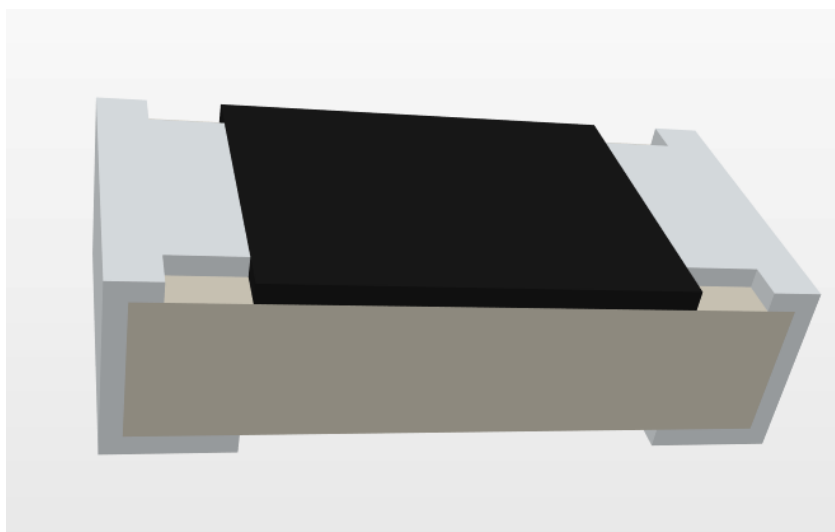


Рис. 5.5 «3D модель резистора RC0603JR-07220RL»

Після того, як 3D модель резистора була завантажена до робочої області побудови футпрінта, потрібно встановити її на місце для поверхневого монтажу.

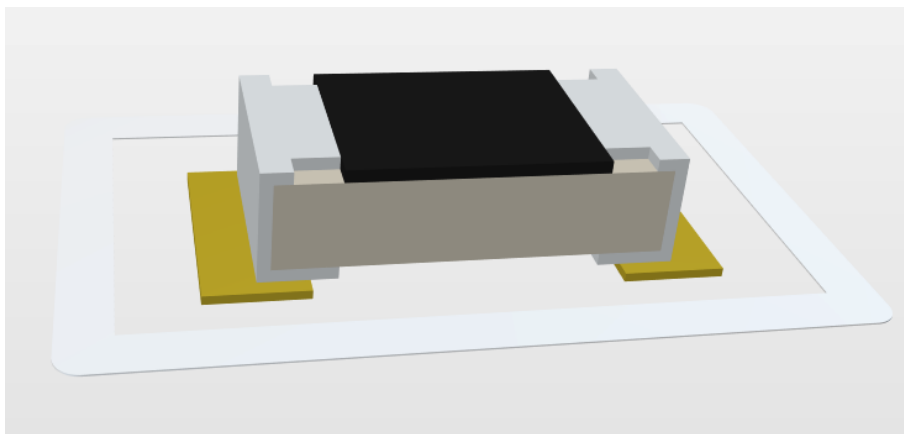


Рис. 5.6 «3Д модель готового футпрінта, з встановленою 3д моделлю SMD резистора»

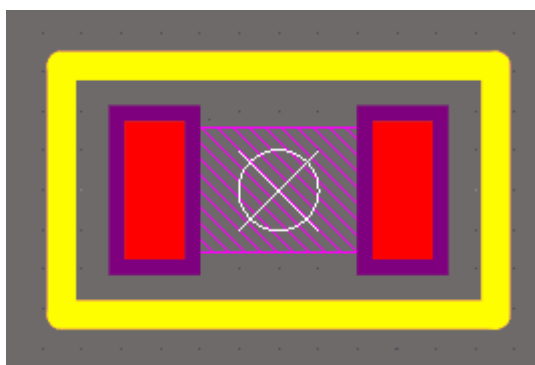


Рис. 5.7 «2D модель готового футпрінта, з встановленою 3д моделлю SMD резистора»

Аналогічні операції, проводимо з усіма іншими компонентами.

Після того, як всі футпрінти, були створені, потрібно додати їх до раніше створеної бібліотеки компонентів. Для цього:

Відкриваємо Course\_SchLib.SchLib - > “Properties” - > “Footprints” – > “Add footprint” - > завантажуюємо створений футпрінт.

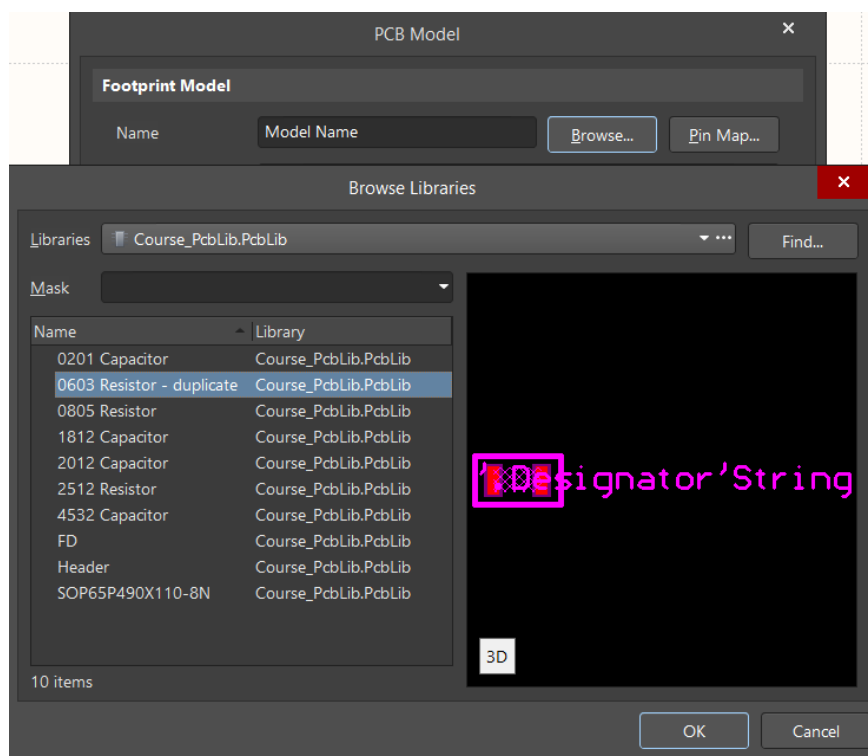


Рис. 5.8 «Приклад завантаження футпрінта»

Після цього, обов'язково потрібно оновити бібліотеку компонентів, бо інакше, внесені зміни не набудуть потрібних властивостей на схемі.

### 5.3) Трасування плати.

Відкриваємо файл “Course.SchDoc”.

Переходимо на вкладку зі схемою → “Design” → “Update PCB document ...”.

Після цього, програма автоматично відкриє вкладку з PCB документом, де буде створюватись трасування провідників. В правому нижньому куту від робочої поверхні, будуть знаходитись усі створені раніше футпрінти компонентів, які повинні бути зв'язані між собою.

Після цього, можна починати встановлювати компоненти для монтажу, щоб приблизно отримати вигляд вже трохи побудованої плати.

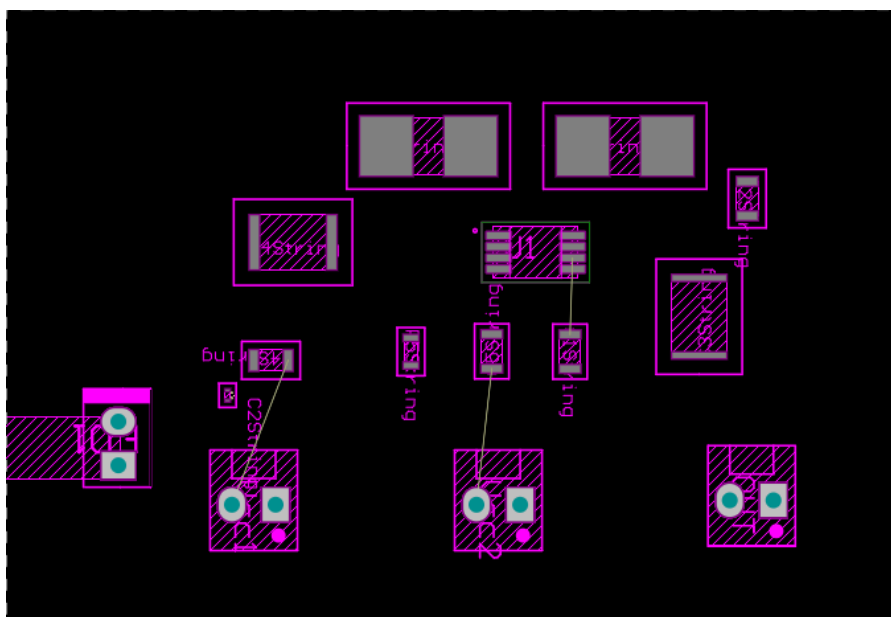


Рис. 5.9 «Встановлені компоненти схеми для поверхневого монтажу»

Далі, потрібно з'єднати усі зв'язки між компонентами, за допомогою провідників, не забуваючи при цьому встановлювати місця для заземлення (GND):

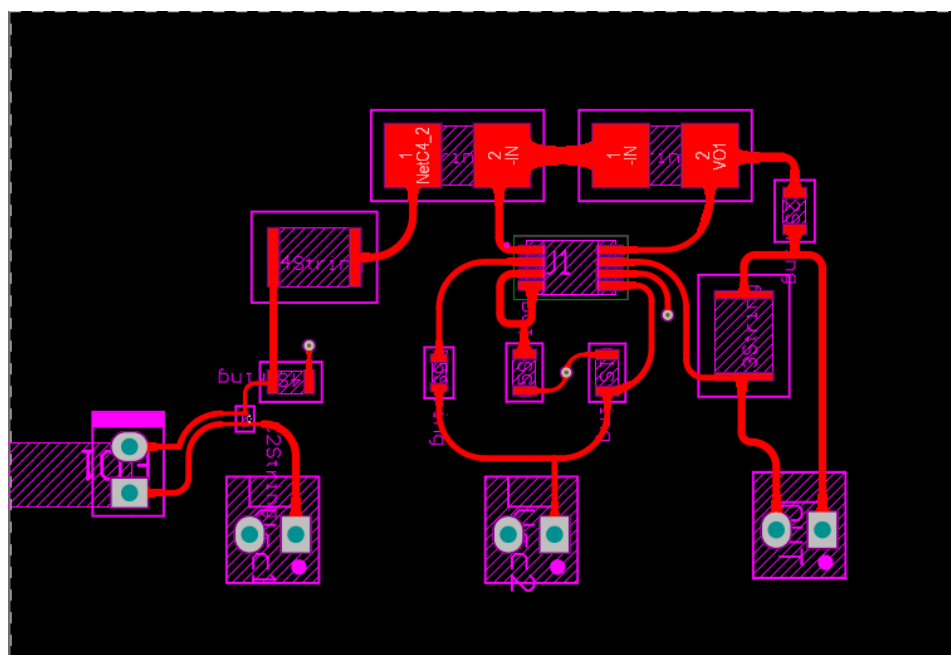


Рис. 5.10 «З'єднані компоненти схеми за допомогою провідників»

Далі, визначаємо, яку площу буде займати заземлення на платі:

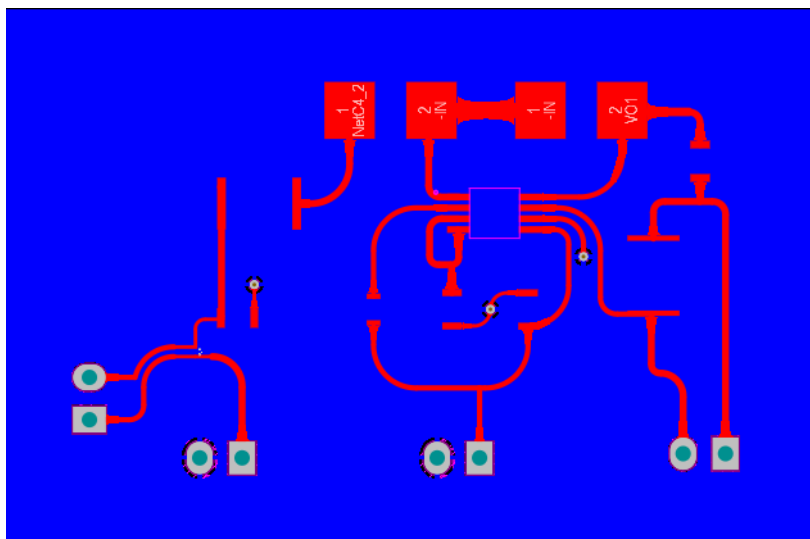


Рис. 5.11 «Обрана площа заземлення»

Далі, нумеруємо усі компоненти, раціонально встановлюючи їх на платі, позначаємо «+», та «-» елементів живлення:

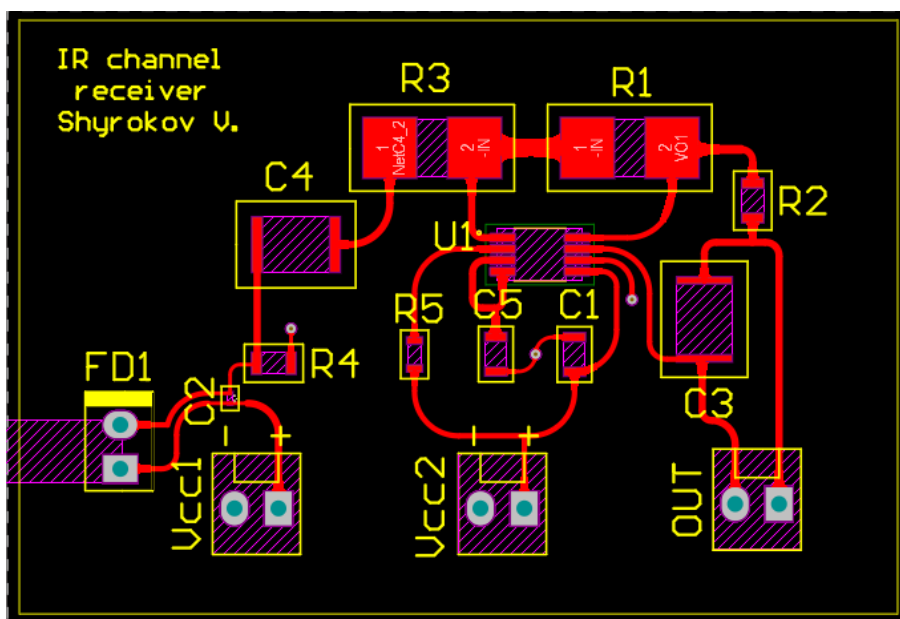


Рис. 5.12 «Готова 2D модель друкованої плати»

Далі, натиснувши на клавіатурі кнопку «3», можна побачити, як виглядає плата у 3D:

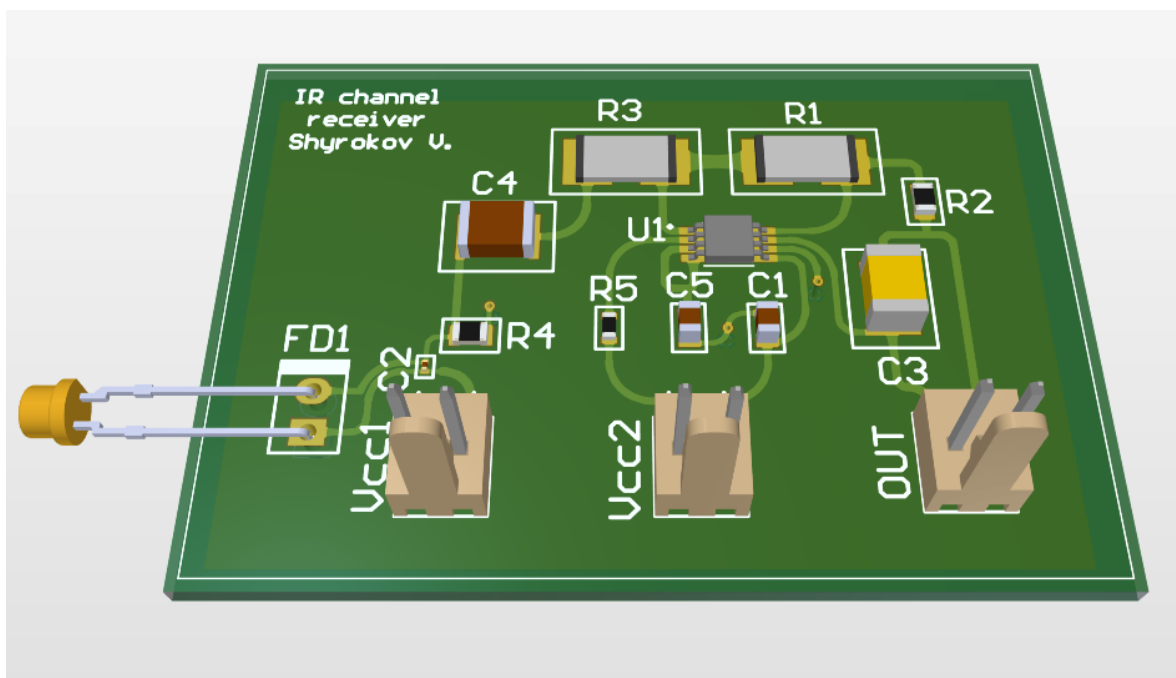


Рис. 5.13 «Готовий вигляд побудованої друкованої плати приймача ІЧ каналу за допомогою “Altium Designer”»

#### 5.4) Створення файлу *Bill of materials*.

Створивши файл у проекті з розширенням “.OutJob”, у папці “Reports Outputs”, створюємо документ *Bill of materials*.

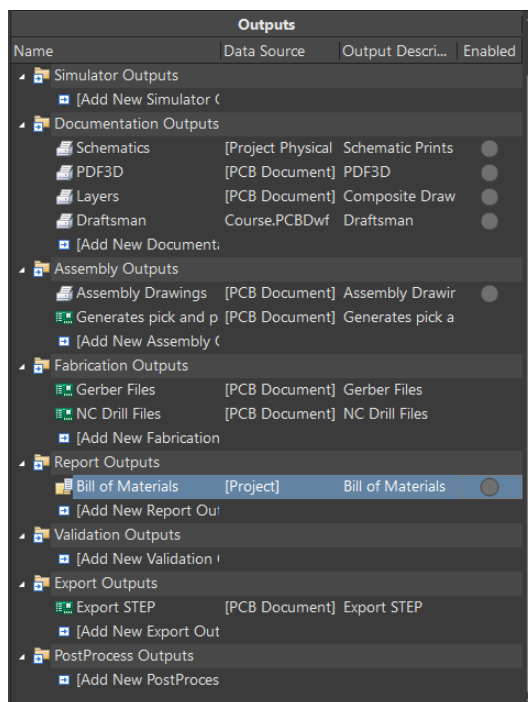


Рис. 5.14 «Створення *Bill of materials*»



Налаштувавши потрібні для документу колонки з найменуванням усіх компонентів схеми, їх кількістю, створеними футпрінтами, і т.д., потрібно зберегти внесені зміни, до корінної папки з проектом. Також, для цього проекту було завантажено приклад шаблону для списку компонентів, з Інтернет ресурсу “Github”, від “Fedevel Academy”, який потрібно вказати у налаштуваннях, щоб використовувані компоненти, були завантажені до цього шаблону.

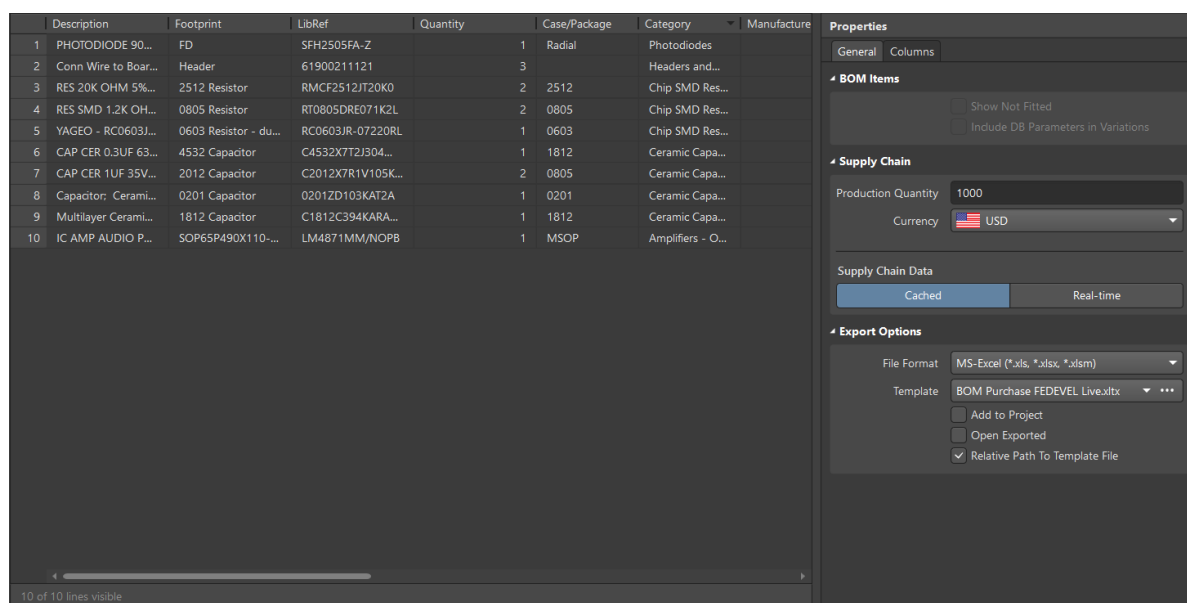


Рис. 5.15 «Налаштування Bill of materials»

Зберігаємо наступним чином: у лівій колонці обираємо строку з документом Bill of materials, а правій – до прикладу, Folder structure.

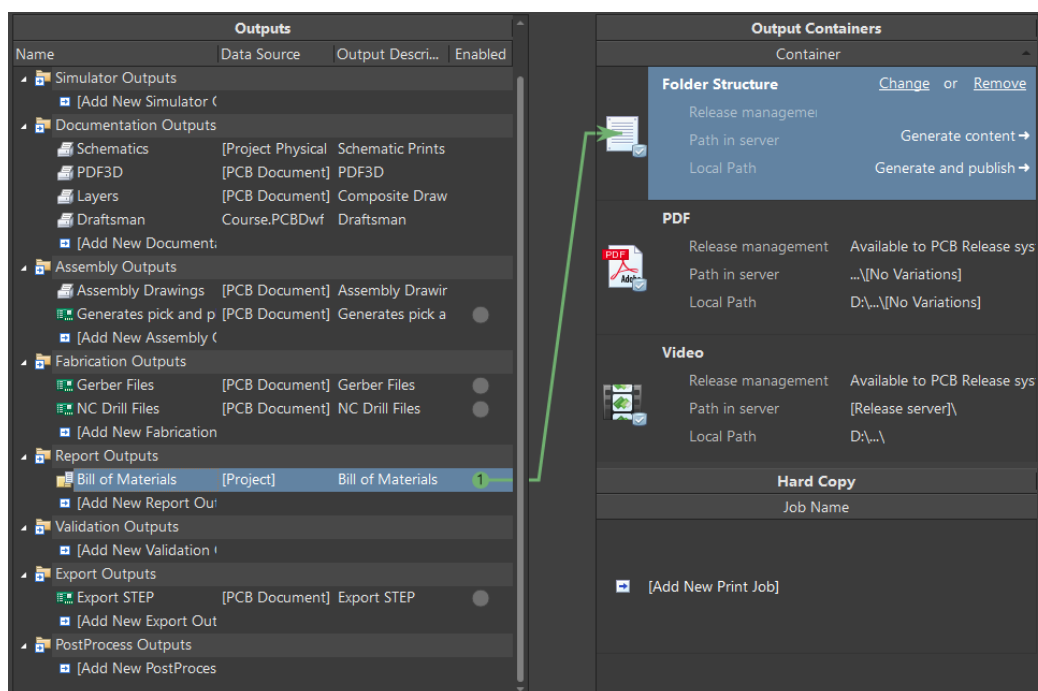


Рис. 5.16 «Збереження Bill of materials»

| Component list                       |                              |                                |                            | Bill of Materials for Project [Course work.PrjPcb] (No PCB Document Selected) |  |           |            |                        |                      |                  |                       |                     |                     |
|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|---|--|-----------|------------|------------------------|----------------------|------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| Source Data From: Course work.PrjPcb |                              |                                |                            | Contact:  |  |           |            | Generated by:          |                      |                  |                       |                     |                     |
| Project: Course work.PrjPcb          |                              |                                |                            | <Parameter ClientCompanyName not found>                                       |  |           |            | FEDEVEL                |                      |                  |                       |                     |                     |
| Variant: None                        |                              |                                |                            | <Parameter ClientContactName not found>                                       |  |           |            | http://www.fedevel.com |                      |                  |                       |                     |                     |
| Report Date: 02.06.2021 15:15        |                              |                                |                            | <Parameter ClientContactEmail not found>                                      |  |           |            |                        |                      |                  |                       |                     |                     |
| Print Date: 02-Jun-21 6:34:03 PM     |                              |                                |                            | <Parameter ClientWebsite not found>   |  |           |            |                        |                      |                  |                       |                     |                     |
| #                                    | Category                     | Manufacturer 1                 | Manufacturer Part Number 1 | Case/Package  | Description                                  | Quantity  | Supplier 1 | Supplier Part Number 1 | Supplier Order Qty 1 | Supplier Stock 1 | Supplier Unit Price 1 | Supplier Subtotal 1 | Supplier Currency 1 |
| 1                                    | Photodiodes                  | OSRAM Opto Semiconductors Inc. | SFH 2505 FA-Z              | Radial  | PHOTODIODE 900NM 5MM RADIAL                  | 1         | Digi-Key   | 475-1436-1-ND          | 1                    |                  |                       | 0,36 USD            |                     |
| 2                                    | Headers and Wire Housings    | Würth Elektronik               | 61900211121                |   | Conn Wire to Board W 2 POS 2.54mm Solder ST  | 3         | Digi-Key   | 732-3695-ND            | 3                    |                  |                       | 0,53 USD            |                     |
| 3                                    | Chip SMD Resistors           | Stackpole Electronics Inc      | RMCF2512JT20K0             | 2512  | RES 20K OHM 5% 1W 2512                       | 2         | Digi-Key   | RMCF2512JT20K0CT-ND    | 2                    |                  |                       | 0,30 USD            |                     |
| 4                                    | Chip SMD Resistors           | Yageo                          | RT0905DRE071K2L            | 805   | RES SMD 1.2K OHM 0.5% 1/8W 0805              | 2         | Digi-Key   | 311-2806-1-ND          | 2                    |                  |                       | 0,12 USD            |                     |
| 5                                    | Chip SMD Resistors           | Yageo                          | RC0603JR-07220RL           | 603   | YAGEO - RC0603JR-07220RL - SMD Chip          | 1         | Digi-Key   | 311-2206RCT-ND         | 1                    |                  |                       | 0,10 USD            |                     |
| 6                                    | Ceramic Capacitors           | TDK Corporation                | C4532X7T2J394M250KA        | 1812  | CAP CER 0.3uF 630V X7T 1812                  | 1         | Digi-Key   | 445-13456-1-ND         | 2                    |                  |                       | 1,38 USD            |                     |
| 7                                    | Ceramic Capacitors           | TDK Corporation                | C2012X7R1V105K125AE        | 805   | CAP CER 1uF 35V X7R 0805                     | 2         | Digi-Key   | 445-17349-1-ND         | 2                    |                  |                       | 0,53 USD            |                     |
| 8                                    | Ceramic Capacitors           | AVX Corporation                | 02012D103KAT2A             | 201   | Capacitor, Ceramic, Cap 0.01 uF, Tol 10%,    | 1         | Digi-Key   | 478-1051-1-ND          | 1                    |                  |                       | 0,15 USD            |                     |
| 9                                    | Ceramic Capacitors           | KEMET                          | C1812C394KARACTU           | 1812  | Multilayer Ceramic Capacitors MLCC - SMD/SMT | 1         | Digi-Key   | 399-7122-1-ND          | 1                    |                  |                       | 1,11 USD            |                     |
| 10                                   | Amplifiers - Op Amps, Buffer | Texas Instruments              | LM4871MMNOPB               | MSOP  | IC AMP AUDIO PWR 3W MONO BVSSOP              | 1         | Digi-Key   | LM4871MMNOPBCT-ND      | 1                    |                  |                       | 1,69 USD            |                     |
| Approved                             |                              |                                |                            |   |  | 15        |            |                        |                      | 16               |                       | 6,26775             |                     |
| Notes                                |                              |                                |                            |   |  | 1000 pcs: |            | Total                  |                      | 6,26775 USD      |                       |                     |                     |
|                                      |                              |                                |                            |   |  |           |            | Price for 1pcs         |                      | 0,01 USD         |                       |                     |                     |

Рис. 5.17 «Приклад створеного Bill of materials»

Таким чином, можна сказати, що уся вартість проекту без монтажної плати, буде коштувати  $\approx 6,26$  \$, або  $\approx 174,87$  ₴, враховуючи, що ціна за компоненти взята з закордонного ресурсу, тому на Україні, ціна може бути значно менша.

## ВИСНОВОК

Виконання даної курсової роботи, чітко показало, що процес від розробки пристрою, до створення реального робочого прототипу, є досить нелегким процесом, але водночас – це дуже і дуже корисна навичка як для інженера – початківця, яка обов’язково стане важливим фактором у подальшій інженерній діяльності.

Отже, аналізуючи перший розділ, можна сказати про те, що був отриманий не досить коректний результат, у зв’язку з можливим неправильним вибором компонентів схеми, яке і призвело до такого результату, також, виникали деякі труднощі з роботою середовища симуляції, оскільки, програмне забезпечення програми, не мало той необхідний перелік елементів, який був потрібен для симуляції.

У другому розділі були виміряні такі величини, як струм, та напруга на елементах, та розрахована їх потужність. І так само, є певні сумніви, щодо коректності вимірів.

У третьому розділі був розглянутий принцип пошуку конкретних елементів, для подальшого створення друкованої плати.

У четвертому розділі, був показан принцип створення неважкої 3D моделі елемента схеми передавача.

І у п’ятому розділі було розглянуте питання створення друкованої плати, її трасування, та створення документації на цю плату. Завдяки цьому розділу, був отриманий корисний навичок створення друкованої плати у програмному середовищі, яке використовують професійні інженери – розробники.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інтернет ресурс з використаною схемою. Веб – сторінка. URL:  
<https://vrtp.ru/index.php?act=categories&CODE=article&article=1771>
2. Технічна специфікація на мікросхему LM4871. URL:  
[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm4871.pdf?ts=1616701881932&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FLM4871](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm4871.pdf?ts=1616701881932&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FLM4871)
3. Стаття про звуковий супровід через ІЧ канал. URL: <http://rfanat.ru/s5/rl-3o2.html>
4. Список відео-лекцій, з інтернет - ресурсу “YouTube”, з теми «Основи аналогової схемотехніки», лектор – Короткий Є. В.. URL:  
[https://www.youtube.com/playlist?list=PL4WQQHlheqfxlBAVy\\_BCNDcU\\_HoHc\\_zyjk](https://www.youtube.com/playlist?list=PL4WQQHlheqfxlBAVy_BCNDcU_HoHc_zyjk)
5. Інтернет - стаття: «Разработка своего устройства от А до Я. Часть 1: От концепции до макета». URL: <https://habr.com/ru/company/ntc-vulkan/blog/530600/>
6. Інтернет - стаття: «Разработка своего устройства от А до Я. Часть 2: Создание устройства». URL: <https://habr.com/ru/company/ntc-vulkan/blog/530616/>
7. Інтернет - стаття: «7 правил проектирования печатных плат». URL:  
<https://habr.com/ru/post/414141/>
8. Інтернет – відео з ресурсу “YouTube”: «How to create 3D Models for your PCB board – it’s simple». URL: [https://www.youtube.com/watch?v=Td\\_T\\_V6A7r4](https://www.youtube.com/watch?v=Td_T_V6A7r4)
9. Інтернет – відео з ресурсу “YouTube”: «Altium designer – 3D model of your PCB – it’s really easy». URL: <https://www.youtube.com/watch?v=k3Dz0KckiSM>
10. Інтернет – відео з ресурсу “YouTube”: «Tutorial 1 for Altium Beginners: How to draw schematic and create schematic symbols». URL:  
<https://www.youtube.com/watch?v=KpgTudliQ-4&list=PLXvLToQzgdfKKQn2wmpuSXz6sROQmO6R>

11. Інтернет – відео з ресурсу “YouTube”: «Tutorial 3 for Altium Beginners: PCB Layout». URL:  
<https://www.youtube.com/watch?v=2I2TX3RLEGM&list=PLXvLToQzgxdfKKQn2wmpuSXz6sROQmO6R&index=4>
12. Інтернет – відео з ресурсу “YouTube”: «Tutorial 5 for Altium beginners: generating manufacturing outputs». URL:  
<https://www.youtube.com/watch?v=W21dORx5ceI&list=PLXvLToQzgxdfKKQn2wmpuSXz6sROQmO6R&index=6>
13. Інтернет – ресурс на репозиторій з проектом. URL:  
<https://github.com/Shyrokov-VI/Course-work-Analog-Design->