

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоінженерії

«До захисту допущено»

Зав. кафедрою

_____Сергій ЛІТВІНЦЕВ

«___» _____ 2025 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

«Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» на тему:

«Модуль паралельних коливальних контурів»

Виконав:

студент IV курсу, групи РІ-11

Бібікова Софія Юріївна



Керівник:

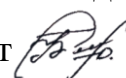
ст. викл., к.т.н. Булашенко Андрій Васильович



Рецензент:

ст. викл. Туреева Ольга Василівна

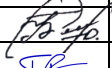
Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент 

Київ — 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	PI11.411259.001 ПЗ	Пояснювальна записка	74	
3	A4	PI11.411259.001	Специфікація	1	
4	A3	PI11.411259.001 СК	Складальний кресленик	1	
5	A4	PI11.411259.002	Специфікація на друкований вузол	2	
6	A3	PI11.411259.002 СК	Складальний кресленик друкованого вузла	1	
7	A3	PI11.411259.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
7	A4	PI11.411259.001 ПЕ	Перелік елементів	2	
8	A3	PI11.758752.001	Друкована плата	1	
9	A3	PI11.741428.001	Накривка	1	
10	A3	PI11.741428.002	Корпус	1	
11	A3	PI11.741428.003	Відсік	1	

				PI11.411259.001		
	ПІБ	Підп.	Дата	Модуль паралельні коливальні контури	Лист	Листів
Розробн.	Бібікова С.Ю.				1	1
Керівн.	Булашенко А.В.					
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. РІ Гр. РІ-11	
Н/контр.						
Зав.каф.						

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою

_____Сергій ЛІТВІНЦЕВ

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту

Бібіковій Софії Юріївні

1.Тема проекту: «Модуль паралельних коливальних контурів» керівник проекту Булашенко Андрій Васильович, к.т.н., ст. викл.

затверджені наказом по університету від «29» травня 2025 р. №1840-с.

2. Термін подання студентом проекту «11» червня 2025 року.

3.Дані до проекту: розрахувати частотні характеристики в паралельних коливальних контурів трьох видів , спроектувати друковану плату відповідно до раніше розрахованих схем, провести аналіз елементної бази, оформити необхідну конструкторську документацію та виготовити друковані плати; діапазон частот 20 Гц – 200 кГц; друковані плати розмірами не більше 110x140 мм;

4.Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) проаналізувати завдання; оглянути попередню лабораторний макет, створити схему електричну принципову, обґрунтувати вибір елементів, розрахувати її

параметри; спроектувати модель друкованої плати та корпусу.

5.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) складальний кресленик плати; схема електрична принципова; складальний кресленик корпусу, презентація в Power Point.

6.Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
—	—	—	—

7.Дата видачі завдання «01» листопада 2024 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	01 листопада 2024	
2	Розробка та аналіз ТЗ	01 грудня 2024	
3	Обґрунтування та вибір схемотехнічних рішень	15 грудня 2024	
4	Вибір та обґрунтування елементної бази	01 березень 2025	
5	Проектування друкованої плати та корпусу	01 квітня 2025	
6	Розрахунки, що підтверджують працездатність	01 травня 2025	
7	Оформлення документації	15 травня 2025	

Студент

 Софія БІБІКОВА

Керівник

 Андрій БУЛАШЕНКО

АНОТАЦІЯ

У даному дипломному проєкті розроблено модуль паралельних коливальних контурів I-го, II-го, та III-го видів для зняття його частотних характеристик. Загальний обсяг пояснювальної записки 62 сторінки.

Мета проєкту — розробка макету паралельних контурів, що наочно дає можливість дослідити паралельні коливальні контури. До складу модуля входять такі складові: друкована плата (конденсатори, індуктивності, резистори, світлодіоди, перемикачі та порти, корпус для пристрою, відсік для гальванічних елементів) та корпус.

Для реалізації проєкту проведено аналіз попереднього навчального модуля, розібрано технічне завдання, створено схему електричну принципову, обґрунтовано вибір елементної бази, здійснені відповідні розрахунки та комп'ютерне моделювання схеми, створено модель друкованої плати та модель корпусу.

Ключові слова: модуль, паралельні контури, друкована плата, частотні характеристики контуру.

ANNOTATION

In this diploma project, a unit of parallel resonant circuits of the first, second, and third types has been developed for obtaining their frequency characteristics. The total volume of the note is 68 pages. The goal of the project is to design a layout of parallel resonant circuits that clearly demonstrates the operation of parallel LC circuits. The unit includes the following components: a printed circuit board (capacitors, inductors, resistors, LEDs, switches and ports, a device enclosure, and a battery compartment) and the housing.

To implement the project, an analysis of the previous educational unit was carried out, the technical task was reviewed, a schematic diagram was created, the selection of electronic components was justified, appropriate calculations and computer simulation of the circuit were performed, and models of the PCB and housing were developed.

Keywords: unit, parallel resonant circuits, printed circuit board, frequency characteristics of the circuit.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проекту

на тему: «Модуль паралельних коливальних контурів»

Київ – 2025 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП	10
1. РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ.....	11
1.1 Проектування схеми	11
1.2 Розрахунок параметрів та характеристик схеми	18
1.3 Комп'ютерне моделювання схеми	28
2. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ.....	37
3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ В СЕРЕДОВИЩІ ALTIUM DESIGNER	55
3.1 Створення бібліотеки компонентів та схеми електричної принципової.	55
3.2 Робота в редакторі Altium PCB.....	59
3.3 Створення файлів технологічного процесу.....	64
4. ПРОЕКТУВАННЯ КОРПУСУ В ПС SOLIDWORKS.....	68
ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	772
ДОДАТОК А.....	76
ДОДАТОК Б	81
ДОДАТОК В	92

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ТЗ – технічне завдання;

СЕП – схема електрична принципова;

ДП – друкована плата;

LED – Light-emitting diode.

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Селективні властивості електронних кіл є важливою складовою для опанування професії 172 Телекомунікації та радіотехніка. Такі властивості мають коливальні контури [1]. Вивчення властивостей таких кіл відбувається на дисципліні «Основи теорії кіл». Резонансні кола бувають послідовного та паралельного живлення. Вивчення властивостей цих кіл здійснюється в лабораторних роботах з дисципліни «Основи теорії кіл» [2]. Тому важливою складовою є лабораторні макети, за допомогою яких можна досліджувати коливальні контури. Існуюча лабораторна установка має застарілу елементну базу, що впливає на точність вимірювань. У даному дипломному проекті розробляється спрощений, компактний та сучасний модуль паралельних коливальних контурів. Оновлений модуль дозволить студентам змінювати параметри елементів, наглядно спостерігати, як вони впливають на коло. LED- індикація допомагає краще розуміти, який саме тип кола у роботі та які характеристики необхідно зняти. Проект охоплює такі етапи проектування пристрою, як: розробка схеми електричної принципової, розрахунок параметрів схеми, комп'ютерне моделювання схеми, моделювання друкованої плати та корпусу пристрою.

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збирати контури всіх трьох видів паралельних коливальних контурів. Згідно з [2], інженерним рішенням для створення контуру першого виду, було увімкнення конденсатору C послідовно до конденсатора C_1 і резистор $R_i = 1\text{МОм}$ послідовно до генератора Г4-18А (або іншого). Змінюючи частоту генератора необхідно було зняти залежність напруги на контурі від частоти, визначити добротність та характеристичний опір. Далі замінити $R_i = 1\text{МОм}$ на резистор $R_i = 100\text{кОм}$, щоб зменшити внутрішній опір генератора. Знову зняти залежність напруги на контурі від частоти, визначити добротність та характеристичний опір. Порівняти теоретично розраховані значення еквівалентної добротності з експериментальними значеннями [2]. Після чого збираються контури II-го та III-го видів і знімаються всі необхідні характеристики при значенні опорів навантаження 1МОм та 100кОм (рис. 1.2).

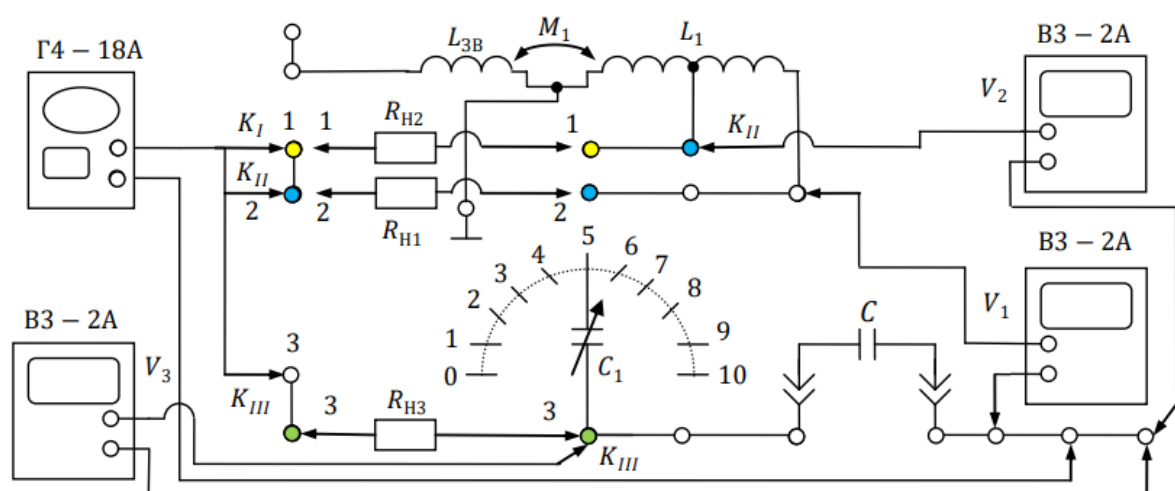


Рисунок 1.2 – Структурна схема для включення паралельних контурів різних видів [2]

Для розробки нової, у рамках дипломного проектування, схеми, спочатку розглядаються окремо кожен з паралельних контурів. Контур I-го виду (рис.1.3 а) складається з ємності C , паралельно підключеної індуктивності L та опорів навантаження. Контур II-го виду створюється за допомогою двох індуктивностей L_1 та L_2 , ємності C та опорів навантаження (рис.1.3 б). І контур третього виду реалізовується за допомогою двох

ємностей $C1$ та $C2$, індуктивності і опорів навантаження (рис.1.3 в). Опір r є внутрішнім опором втрат елементів і не враховуватиметься при реальному проектуванні плати.

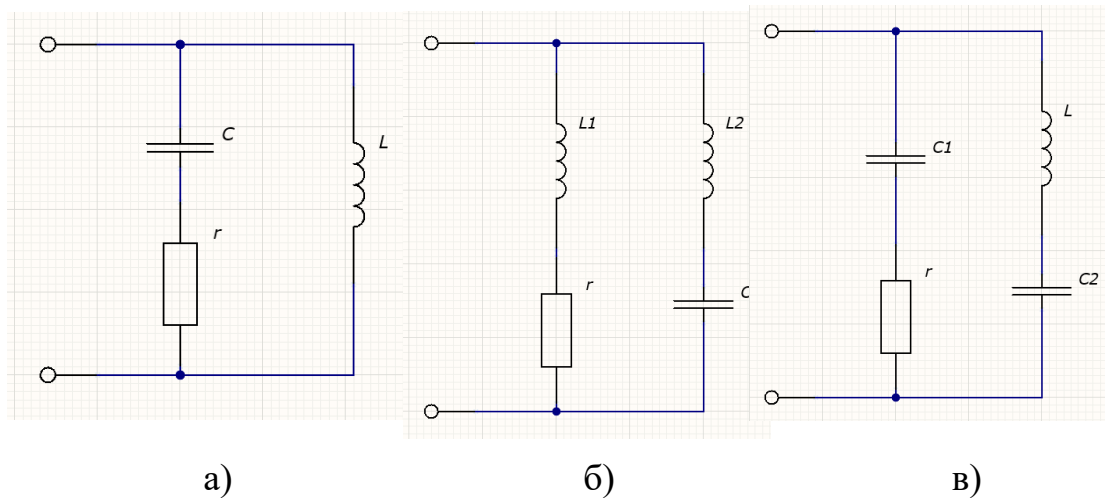


Рисунок 1.3 – Схеми паралельних коливальних контурів: а) I-го виду,
б) II-го виду, в) III-го виду

Щоб об'єднати всі три типи в рамках однієї схеми, доцільно використовувати ключі для перемикання. Це спростить процес утворення контурів, та вибору опора навантаження. На спроектованій схемі (рис.1.4) видно, що з генератора вхідна напруга подається на ключ SA1, після чого методом перемикання ключів (на корпусі передбачено маркування для основних перемикачів) обирається опір навантаження 1МОм або 100кОм (в якості експерименту, додано можливість живлення контурів без опорів навантаження, лише з власним опором генератора). Ключ SA2 надає можливість обрати вид II-го контуру. Перемикання позицій дозволяє створити контур першого, другого чи третього виду, відповідно до схеми. Щоб забезпечити заземлення та коректну роботу схеми I-го та II-го виду, додано ключ SA3 між ємностями $C1$ та $C2$, його необхідно перемикати на позицію 3, для живлення $C2$ та заземлення схеми у контурі III-го виду.

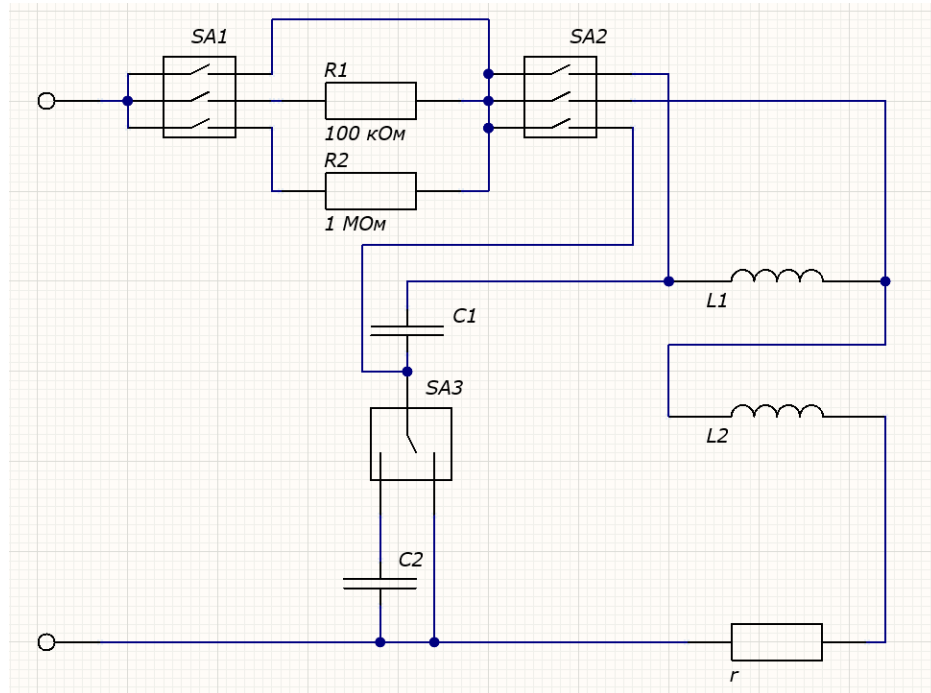


Рисунок 1.4 – варіант схеми розробленої схеми

Для організації різних варіантів роботи, додано можливість зміни номіналів. Адже значення індуктивності та ємності напряму впливають на резонансну частоту, коефіцієнт включення та частотні характеристики контуру. Щоб забезпечити варіативність номіналів, у попередньому макеті використовувались змінні конденсатори у вигляді роторів. На жаль, на сучасному ринку досить важко знайти змінний конденсатор такого формату, що задовольняли б умови проектування плати. Тому, для зміни значення ємності та індуктивності, використано правила додавання ємності при паралельному підключенні та індуктивності – при послідовному. Це дає можливість широкого вибору номіналів та їх компоновки, при цьому досить компактний та дешевий метод. Тож для ємності C1 обрали проміжок від 1 нФ до 8 нФ, для ємності C2 – від 1 нФ до 8 нФ з кроком в 1 нФ (всього 16 конденсаторів, номіналом в 1 нФ кожен); для індуктивності L1 було обрано проміжок значень від 2,2 мГн до 8,8 мГн, для L2 – від 2,2 мГн до 8,8 мГн з кроком в 2,2 мГн (усього 8 котушок по 2,2 мГн кожна). Таким чином, розроблено схему зі фактично змінними ємностями та індуктивностями (рис.1.5).

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

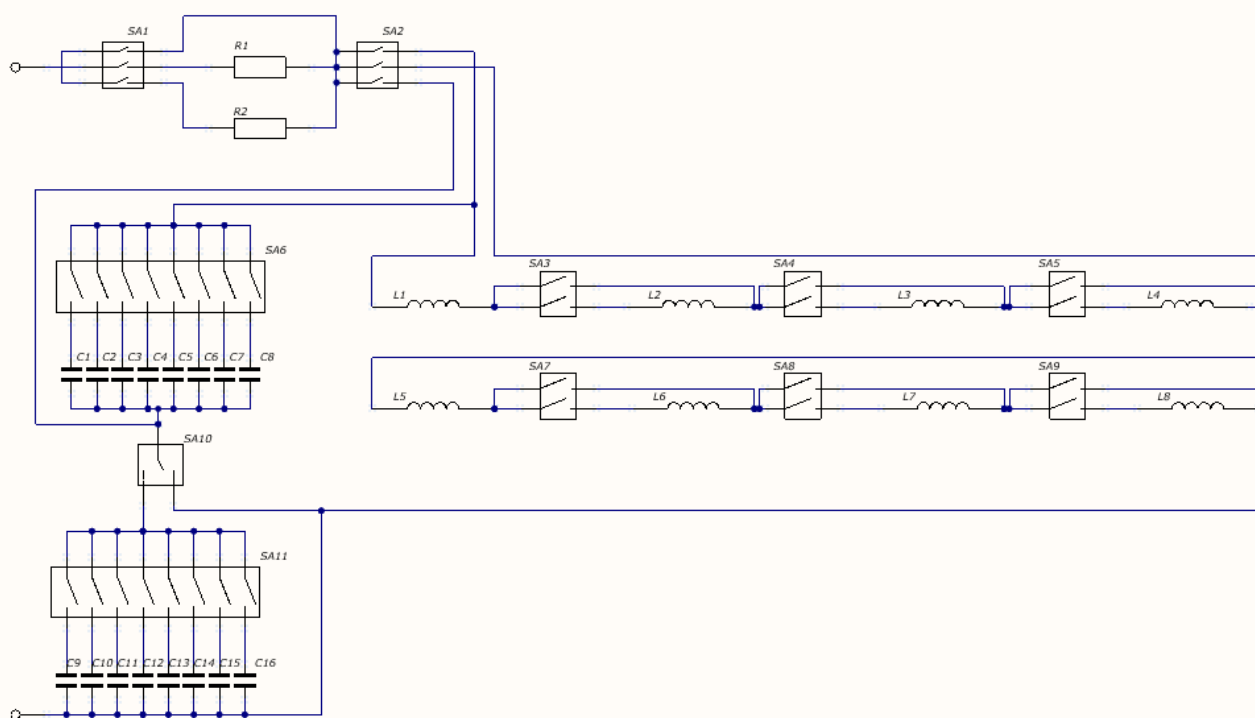


Рисунок 1.5 – Схема розробленого макету з можливістю зміни номіналів елементів

При підключенні контуру першого виду, мінімальне значення C складатиме 1 нФ, максимальне – 8 нФ (перемикання за допомогою ключа SA6), мінімальне значення L буде рівне 4,4 мГн, максимальне відповідно, 17,6 мГн (перемикачі SA3-5 та SA7-9). Для другого виду, значення ємності не зміняться, але індуктивність $L1$ буде змінна в проміжку від 2,2 мГн до 8,8 мГн, $L2$ матиме такі самі значення, відповідно до перемикання ключів SA7-9. І для третього виду контуру, $C1$ буде змінною на проміжку 1-8 нФ, $C2$ аналогічно до $C1$ (ключ SA10), індуктивність L не зміниться.

Для спрощення користування, та кращого розуміння процесу перемикання між контурами, було прийняте рішення додати LED-індикацію, а саме 5 світлодіодів: 1 зелений для контуру I-го виду, 2 жовтих – для контуру II-го виду та 2 червоних – для III-го виду. По одному кольору розміщено біля ключа перемикання між контурами, а для II-го та III-го виду контуру додано по одному LED-діоду біля портів для зняття характеристик цих контурів.

Спочатку розглянемо підключення світлодіодів (рис.1.6). При аналізі живлення попередньої схеми, визначено, що живлення основного коливального контуру та індикації буде відбуватись окремо. Коло живитиме генератор, а світлодіоди – 3 батарейки АА, що забезпечать напругу в 4,5 В. LED-діоди під'єднуються трьома гілками (по одній, на кожне коло) паралельно через ключ. Перемикання ключа забезпечить почергове живлення кожної з гілок. Для коректної роботи, діоди заживлюються через резистори, номінали яких було обрано в п.1.2.

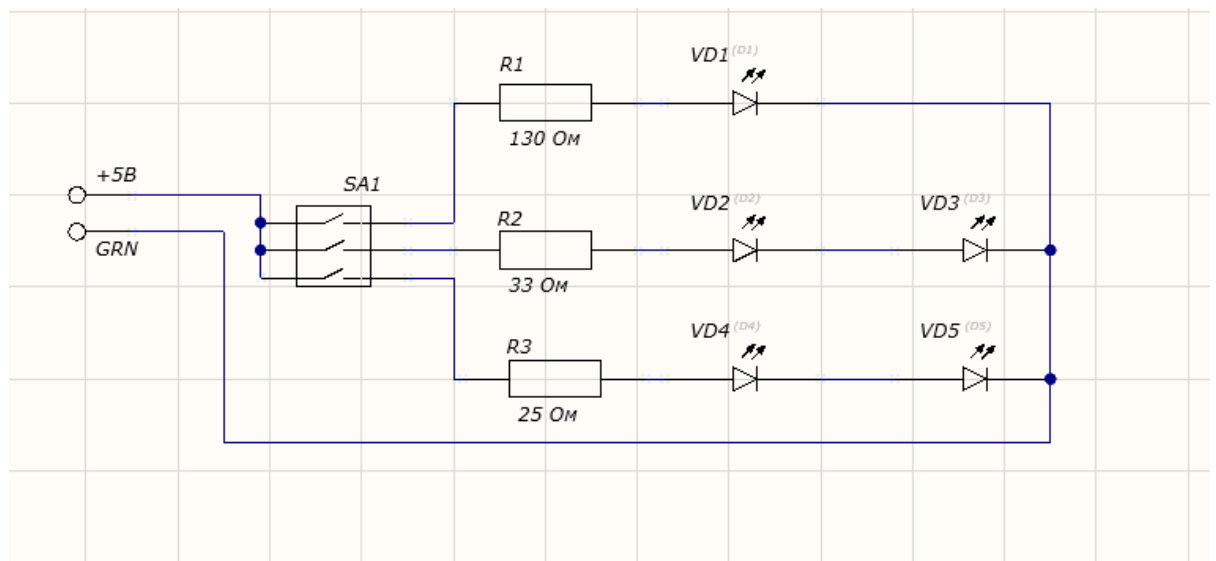


Рисунок 1.6 – Схема підключення світлодіодів

З гальванічних елементів подається живлення на перемикач SA1. Перша позиція ключа заживлює зелений світлодіод VD1 через резистор R1 130 Ом, що сигналізує про ввімкнення паралельно коливального контуру I-го виду. Позиція 2 ключа SA1 живить жовті LED-діоди VD2 та VD3, через R2 33 Ом. 3-тя позиція ключа SA1 увімкне гілку з червоними світлодіодами VD4-5, для стабільної роботи яких, обрано резистор R3 25 Ом. Всі діоди мають спільне заземлення. Гілки не будуть заживлятись одночасно, лише почергово, тож 4,5 В цілком вистачить для живлення всього контуру.

Для об'єднання двох незалежних контурів (контур з трьома типами паралельних контурів та індикацію) для одночасної та коректної роботи, було обрано перемикач з двома незалежними групами контактів (рис.1.7).

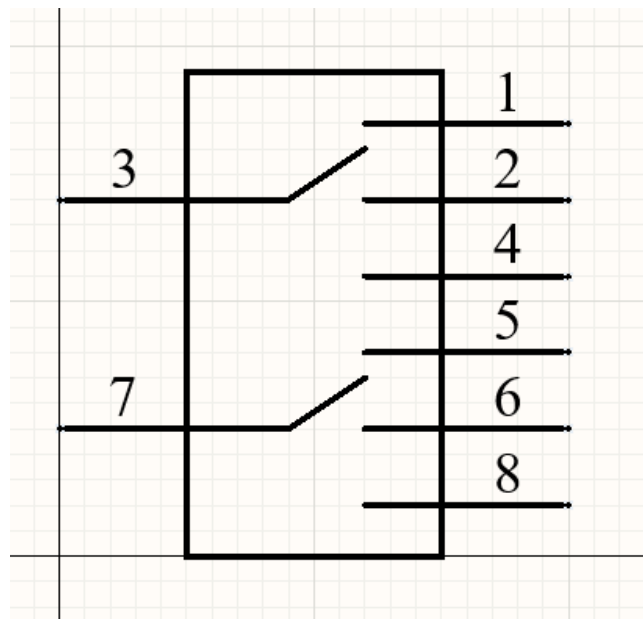


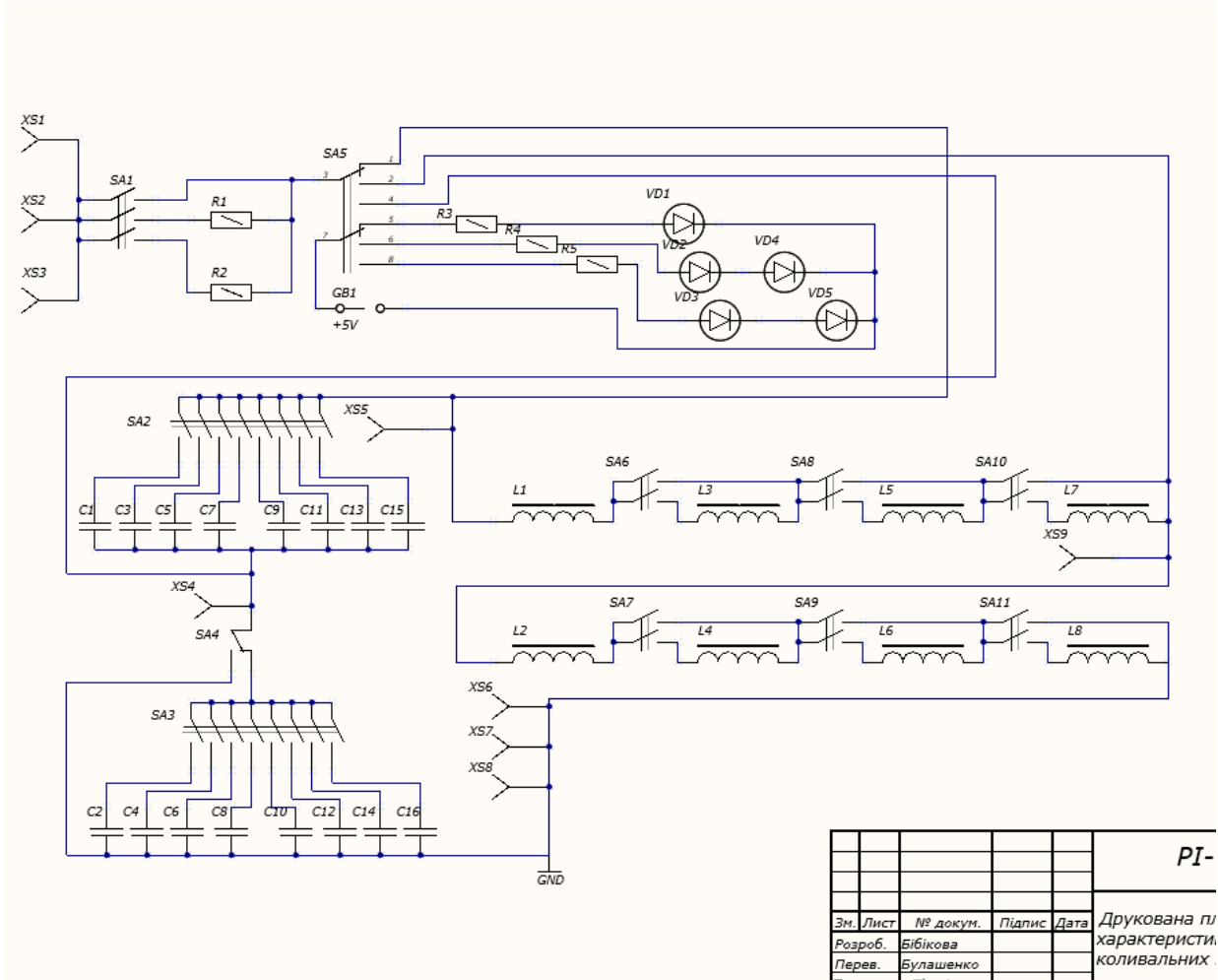
Рисунок 1.7 – Схема перемикача з двома групами контактів

На вхід перемикача 3 подаватиметься живлення для паралельного коливального кола, позиціями 1, 2 та 4 обиратиметься контур I-го, II-го та III-го виду відповідно. Нижня частина ключа є логічним відображенням ключа SA1 (Рис 1.6). На вхід 7 буде подано живлення в 4,5 В, позиції 5, 6, 8 необхідні для подачі напруги на гілки з світлодіодами. Це забезпечить можливість синхронного перемикання. При живленні контуру I-го виду (позиція 3-1), спрацює зелений світлодіод VD1 (7-5); при переключанні на II-ий вид контуру (3-2), загоряться жовті діоди VD2-3 (7-6); для останньої позиції (7-8) спрацюють червоні світлодіоди, що означатиме перемикання (3-4) на контур III-го виду.

На рис. 1.8 видно, що на вході схеми присутні три порти: 1 для живлення з генератора, 2 для під'єднання приладів для зняття частотних характеристик контурів (осцилограф вольтметр або мультиметр), живлення через порт XS1 подається на ключ SA1, при перемиканні позицій ключа здійснюється вибір опорів навантаження для контура, де позиція 1 – опір

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаження відсутній, контур працює без опору навантаження лише на внутрішньому опорі генератора; 2 – опір навантаження R1 100 кОм; 3 – опір навантаження рівний R2 1 МОм. Далі по схемі, ключем SA5 обирається вид паралельного контуру та одночасно здійснюється перемикання LED.



Принцип роботи даного ключа описано вище.

Рисунок 1.8 – Фрагмент СЕП

При позиції 3-1 7-5 (одночасне перемикання), отримали паралельний контур першого виду, де ключ SA2 та конденсатори C1, C3, C5, C7, C9, C11, C13, C15 логічно відповідають ємності C (рис 1.3 а), котушки індуктивності L1-8, та перемикачі SA6-11 відносяться до індуктивності L. Ключ SA4 в позиції 2-1 заземлює контур. При перемиканні ключа SA5 на позицію 3-2 7-6 отримуємо паралельне контур II-го виду та жовту LED-індикацію. У цьому випадку котушки індуктивності L2, L4, L6, L8 відповідають L1 (рис 1.3 б),

катушки L1, L3, L5, L7 фактично відображають L2 та вмикається до С. І при переведення ключа SA5 в останні позиції 3-4 7-8, маємо паралельний коливальний контур III-го виду та увімкнення червоних світлодіодів. Для коректного заземлення, необхідно перемкнути ключ SA4 на позицію 2-3. Тоді конденсатори C2, C4, C6, C8, C10, C12, C14, C16 та ключ SA3 позначатимуть C1 (рис 1.3 в). C1, C3, C5, C7, C9, C11, C13, C15 та ключ SA2 відображатимуть C2, що під'єднано до індуктивності L. Порти XS2-9 потрібні для зняття характеристик – АЧХ, ФЧХ, падіння напруги на C2, L2 – при різних параметрах та різних видах контурів. Кінцевий вигляд схеми електричної принципової та перелік елементів наведені у додатку Б.

1.2 Розрахунок параметрів та характеристик схеми

Для коректного моделювання розробленої схеми у програмному середовищі Multisim, необхідно здійснити обрахунки параметрів та характеристик контуру відповідно до джерел [2], [3]. Для реалізації цього завдання, було обрано дані, що наведені в таблиці 1.1, що охоплює розрахунки для всіх трьох видів паралельних контурів.

Таблиця 1.1 – числові дані для розрахунку

Дані задачі	Необхідно знайти
Для паралельного коливального контуру I-го виду: $C=4$ нФ, $L=4,4$ мГн. Для контуру II-го виду: $C=4$ нФ, $L_1=4,4$ мГн, $L_2=6,6$ мГн. Для контуру III-го виду: $C_1=4$ нФ, $C_2=5$ нФ, $L=4,4$ мГн. Для всіх типів паралельних коливальних контурів, значення опору навантаження становить: $R_n=100$ кОм; Власний опір елементів: $r=6,5$ Ом; Опір генератора: $R_r=50$ кОм; Амплітуда	Визначити резонансну частоту ω_0 та f_0, характеристичний опір, добротність, смугу пропускання та побудувати нормований модуль напруги $U_k(\xi)$ з опором навантаження R_n та без опора навантаження R_n [1].

напруги генератора: $E=1$ В.	
------------------------------	--

Спочатку розглянуто контур І-го виду.

Резонансна частота контуру

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{4,4 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-9}}} \cong 240 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{240 \cdot 10^3}{2\pi} \cong 38 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 38 \text{ кГц.}$$

Далі визначено характеристичний опір

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{4,4 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-9}}} \cong 1,1 \text{ кОм};$$

Для обрахунку добротності, визначено внесений опір генератора, та опору навантаження

$$R_{\text{вн.г.}} = \frac{\rho^2}{R_{\text{г}}} = \frac{1,1 \cdot 10^5}{50 \cdot 10^3} = 22 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{вн.н.}} = \frac{\rho^2}{R_{\text{н}}} = \frac{1,1 \cdot 10^5}{100 \cdot 10^3} = 11 \text{ Ом.}$$

Добротність контуру з урахуванням опору навантаження

$$Q_{\text{н}} = \frac{\rho}{R_{\text{вн.н}} + R_{\text{вн.г.}} + r} = \frac{1,1 \cdot 10^3}{22 + 11 + 6,5} = 26,6 \rightarrow 27.$$

Та добротність без опору навантаження

$$Q = \frac{\rho}{R_{\text{вн.г.}} + r} = \frac{1,1 \cdot 10^3}{11 + 6,5} = 36,8 \rightarrow 37.$$

Смуга пропускання

$$\Pi = \frac{\omega_0}{Q_{\text{н}}} = \frac{240 \cdot 10^3}{26,6} \cong 9 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Струм у контурі на резонансній частоті

$$I_r = \frac{E}{R_r} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ A} = 0,2 \text{ mA}.$$

Визначено вхідний опір:

$$Z_{\text{вх}}(\xi) = \frac{Q_H \rho}{\sqrt{1 + \xi^2}},$$

$$\text{де } \xi = 2Q_H \frac{\Delta f}{f_0}.$$

Тоді модуль напруги:

$$|U_k(\xi)| = I_r Z_{\text{вх}}(\xi).$$

Для побудови графіка використовується програма MathCad. Отримали графік залежності модуля напруги від узагальненої розстройки (частоти) (рис.1.9 а).

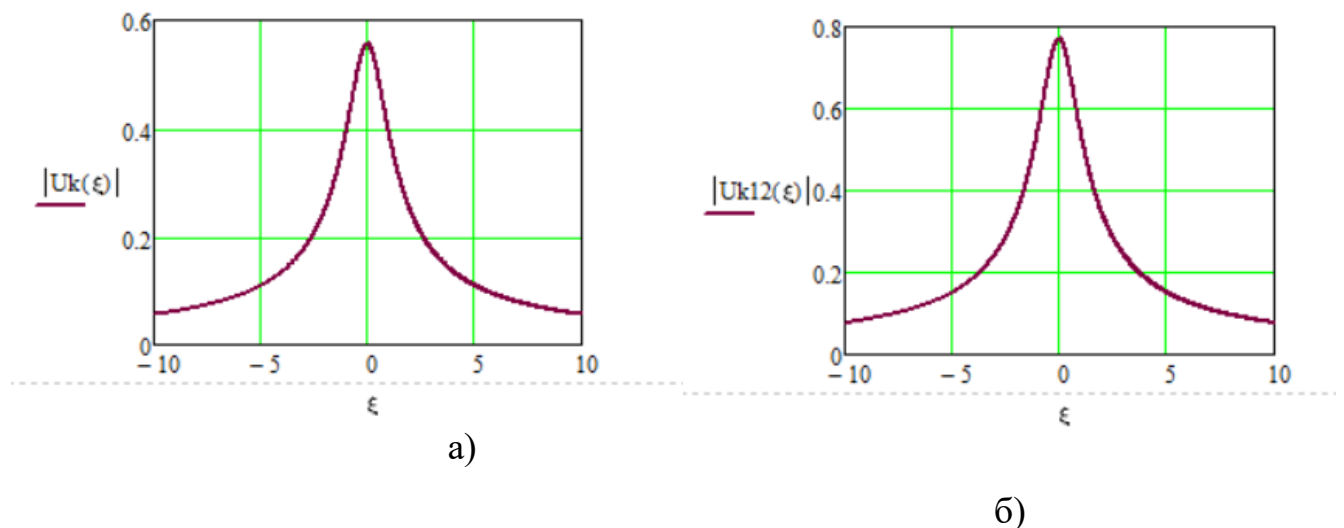


Рисунок 1.9 – Графік залежності модуля напруги від узагальненої розстройки : а) з опором навантаження, б) без опору навантаження

Також побудовано графік нормованого модуля напруги без опору навантаження. Для цього замінюється добротність Q_H на добротність без урахування опору навантаження Q . Результати видно на рис. 1.9 б.

Для більшої наглядності результату, зображено обидві залежності на одному графіку (рис.1.10).

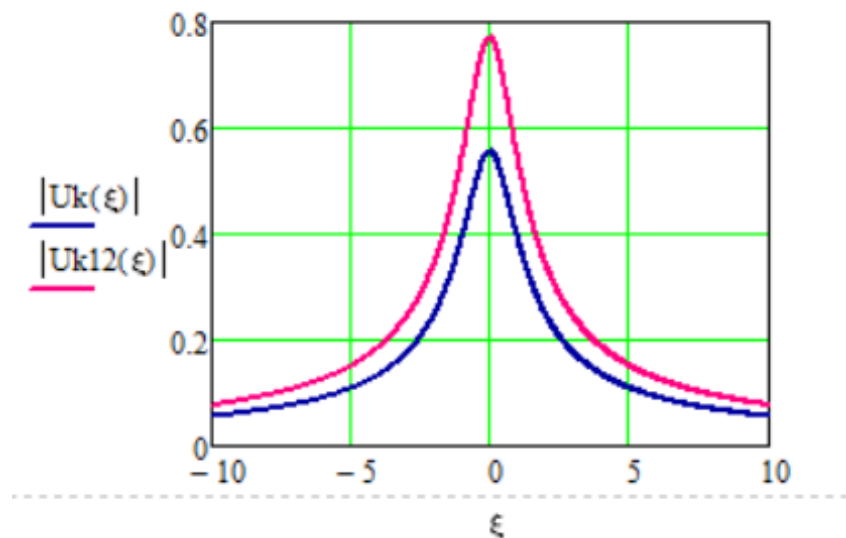


Рисунок 1.10 – Графіки залежності модуля напруги від узагальненої розстройки (частоти) з R_n та без R_n

На рисунку 1.10, червона лінія – модуль напруги без урахування опору навантаження; синя лінія – з опором навантаження 100 кОм.

Проведено аналогічні розрахунки для контуру II-го виду. Для цього розраховано еквівалентне значення індуктивності в колі:

$$L_e = L_1 + L_2 = (4,4 + 6,6)10^{-3} = 0,011 \text{ Гн} = 11\text{мГн}$$

Резонансна частота кола

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_e C}} = \frac{1}{\sqrt{0,011 \cdot 4 \cdot 10^{-9}}} = 150 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{150 \cdot 10^3}{2\pi} \cong 24 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 24 \text{ кГц}.$$

Характеристичний опір контуру II-го виду

$$\rho = \sqrt{\frac{L_e}{C}} = \sqrt{\frac{0,011}{4 \cdot 10^{-9}}} \cong 1,7 \text{ кОм};$$

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Для обрахунку добротності контуру II-го виду розраховано коефіцієнт включення

$$p = \frac{L_2}{L_e} = \frac{6,6 \cdot 10^{-3}}{0,011} = 0,6.$$

Визначено внесений опір генератора, та опору навантаження

$$R_{\text{вн.г.}} = \frac{p^2 \rho^2}{R_r} = \frac{0,36 \cdot 1,7 \cdot 10^5}{50 \cdot 10^3} = 19,8 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{вн.н.}} = \frac{p^2 \rho^2}{R_n} = \frac{0,36 \cdot 1,7 \cdot 10^5}{100 \cdot 10^3} = 9,9 \text{ Ом}.$$

Добротність контуру з урахуванням опору навантаження

$$Q_n = \frac{\rho}{R_{\text{вн.н.}} + R_{\text{вн.г.}} + r} = \frac{1,7 \cdot 10^3}{19,8 + 9,9 + 6,5} = 45,8 \rightarrow 46.$$

Та добротність без опору навантаження

$$Q = \frac{\rho}{R_{\text{вн.г.}} + r} = \frac{1,7 \cdot 10^3}{19,8 + 6,5} = 63,1 \rightarrow 64.$$

Смуга пропускання з урахуванням опору навантаження

$$\Pi = \frac{\omega_0}{Q_n} = \frac{150 \cdot 10^3}{45,8} \cong 3,3 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

Струм у контурі на резонансній частоті

$$I_r = \frac{E}{R_r} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ А} = 0,2 \text{ мА}.$$

Визначено вхідний опір:

$$Z_{\text{вх}}(\xi) = \frac{Q_n \rho p}{\sqrt{1 + \xi^2}},$$

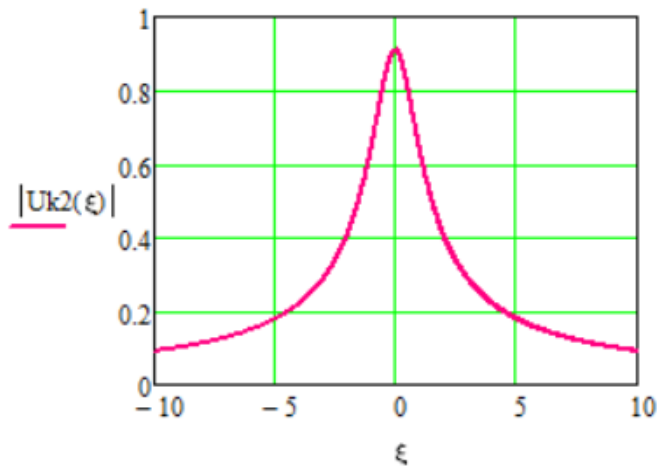
$$\text{де } \xi = 2Q_n \frac{\Delta f}{f_0}.$$

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

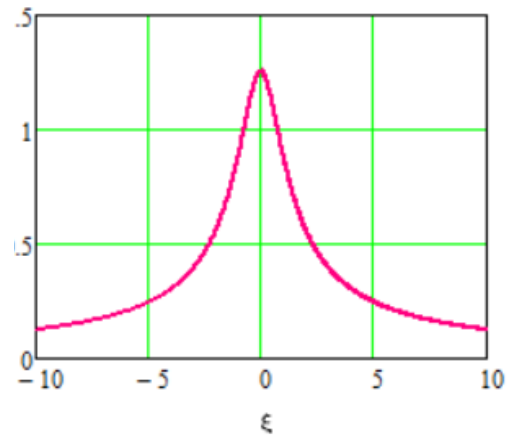
Тоді модуль напруги:

$$|U_k(\xi)| = I_r Z_{вх}(\xi).$$

Аналогічно для контуру II-го виду, будуються графіки залежності модуля нормованої напруги від узагальненої розстройки відхилення частоти ξ . На рис. 1.11, видно графіки з урахуванням опору навантаження 100кОм, та



а)



без нього.

б)

Рисунок 1.11 – Графік залежності модуля напруги від узагальненої розстройки: а) з опором навантаження, б) без опору навантаження

Для порівняння обидві криві представлені на одному графіку (рис.1.12).

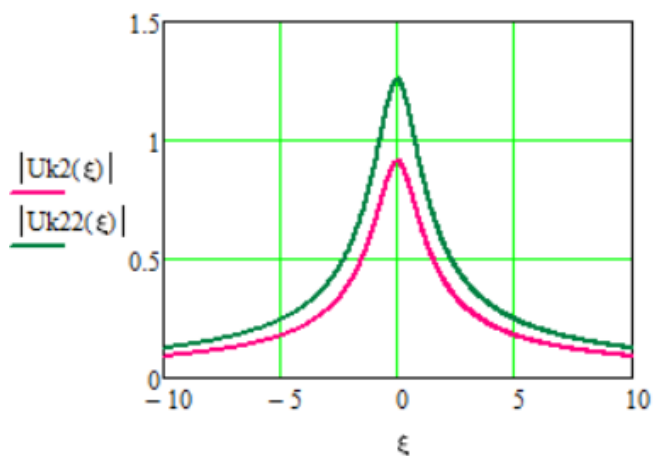


Рисунок 1.12 – Графіки залежності модуля напруги від узагальненої розстройки (частоти) з R_H та без R_H

На рисунку (1.12) видно різницю амплітуд між графіком залежності напруги з урахуванням опору навантаження 100 кОм – червоне позначення, та з урахуванням лише опорів елементів, та внесеного опору генератора – зелене позначення.

Для паралельного коливального контуру III-го виду, виконуються розрахунки відповідно до таблиці 1.1. Перш за все, розраховано еквівалентну ємність:

$$C_e = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{4 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 10^{-9} + 5 \cdot 10^{-9}} \cong 2,2 \text{ нФ};$$

Резонансна частота контуру III-го виду

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_e L}} = \frac{1}{\sqrt{2,2 \cdot 10^{-9} \cdot 4,4 \cdot 10^{-3}}} = 320 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{320 \cdot 10^3}{2\pi} \cong 51 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 51 \text{ кГц}.$$

Характеристичний опір контуру III-го виду

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C_e}} = \sqrt{\frac{4,4 \cdot 10^{-3}}{2,2 \cdot 10^{-9}}} \cong 1,5 \text{ кОм};$$

Для обрахунку добротності контуру III-го виду розраховано коефіцієнт включення

$$p = \frac{C_1}{C_1 + C_2} = \frac{4 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 10^{-9} + 5 \cdot 10^{-9}} = 0,44.$$

Визначено внесений опір генератора, та опору навантаження

$$R_{\text{вн.г.}} = \frac{p^2 \rho^2}{R_r} = \frac{0,1936 \cdot 1,5 \cdot 10^5}{50 \cdot 10^3} = 7,8 \text{ Ом};$$

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$R_{\text{вн.н.}} = \frac{p^2 \rho^2}{R_{\text{н}}} = \frac{0,1936 \cdot 1,5 \cdot 10^5}{100 \cdot 10^3} = 3,90 \text{ м.}$$

Добротність контуру з урахуванням опору навантаження

$$Q_{\text{н}} = \frac{\rho}{R_{\text{вн.н.}} + R_{\text{вн.г.}} + r} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{7,8 + 3,9 + 6,5} = 77,2 \rightarrow 78$$

Та добротність без опору навантаження

$$Q = \frac{\rho}{R_{\text{вн.г.}} + r} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{7,8 + 6,5} = 98,3 \rightarrow 99.$$

Смуга пропускання з урахуванням опору навантаження

$$\Pi = \frac{\omega_0}{Q_{\text{н}}} = \frac{320 \cdot 10^3}{77,2} \cong 4,15 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}} ;$$

Струм у контурі на резонансній частоті

$$I_{\text{r}} = \frac{E}{R_{\text{г}}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ А} = 0,2 \text{ мА.}$$

Визначено вхідний опір для контуру III-го виду:

$$Z_{\text{вх}}(\xi) = \frac{Q_{\text{н}} \rho \rho}{\sqrt{1 + \xi^2}},$$

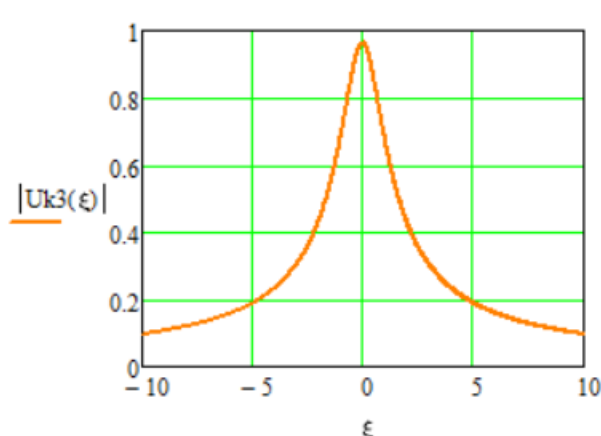
$$\text{де } \xi = 2Q_{\text{н}} \frac{\Delta f}{f_0}.$$

Отже, модуль напруги:

$$|U_{\text{k}}(\xi)| = I_{\text{r}} Z_{\text{вх}}(\xi).$$

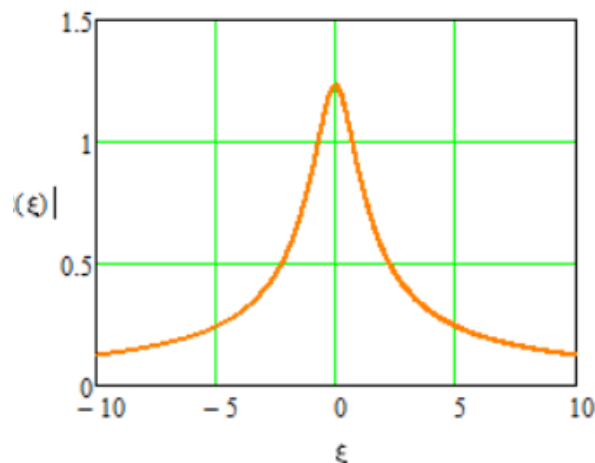
					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Будується нормований модуль напруги спочатку з урахуванням опору навантаження 100кОм, потім без



нього (Рис. 1.13).

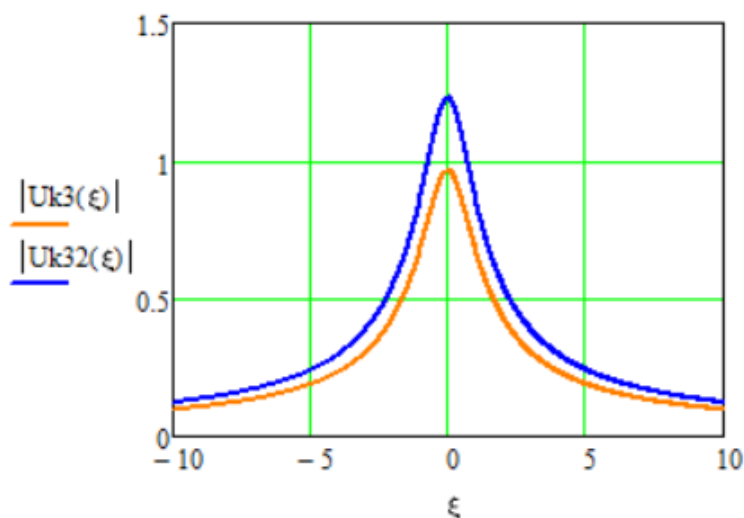
а)



б)

Рисунок 1.13 – Графік залежності модуля напруги від узагальненої розстройки частоти: а) з опором навантаження, б) без опору навантаження

На рис.1.14 зображено обидва варіанти графіків модуля напруги. Синім кольором зображено залежність без опору навантаження, помаранчевим – з опором навантаження 100 кОм. Наглядно видно, що без опору навантаження графік має ширшу смугу пропускання та вищу амплітуду на графіках.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РІ11.411259.001 ПЗ

Арк.

27

Рисунок 1.14 – Графіки залежності модуля напруги від узагальненої розстройки (частоти) з R_n та без R_n

Також необхідно вибрати резистори для підключення LED-діодів. Для цього використано формулу:

$$R = \frac{U_{\text{жив.}} - U_{\text{діода}}}{I_{\text{діода}}},$$

де $U_{\text{жив.}}$ – напруга на вході кола. В нашому випадку живлення відбуватиметься від 3 батарейок АА, тобто вхідна напруга буде рівна 4.5 В;

$U_{\text{діода}}$ – падіння напруги на діоді, або сумарне падіння напруги на двох діодах;

$I_{\text{діода}}$ – сила струму на діоді. Виконано розрахунки окремо для кожного діода:

Для зеленого діода:

$$R_{\text{зелен.}} = \frac{4,5 - 1,9}{0,02} = 130 \text{ Ом};$$

Для двох жовтих та двох червоних діодів:

$$R_{\text{жовт.}} = \frac{4,5 - (2 * 2)}{0,015} = 33 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{черв.}} = \frac{4,5 - (2 * 2)}{0,02} = 25 \text{ Ом.}$$

1.3 Комп'ютерне моделювання схеми

В програмному середовищі Multisim розроблено схему відповідно до Додатку Б. На рис. 1.15, у правій частині схеми знаходяться індуктивності, в лівій – ємності. Функціональний генератор XFG1 виконує функцію реального генератора Г4-18А (або іншого). Оскільки він не має внутрішнього опору, додано опір R_g як власний внутрішній опір реального генератора.

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інструмент Плоттер Боде ХВР1 виконує роль вимірювача частотних характеристик. За допомогою його роботи, порівнюються теоретичні та отримані за допомогою комп'ютерного моделювання частотні характеристики контурів. Опір r – власний опір елементів, оскільки в середовищі Multisim використовуються ідеальні елементи, цей опір було додано до кола для покращення точності вимірювань. У реальній схемі компоненти матимуть опір втрат, тож резистор r буде відсутній. Перемикачі та елементи контуру функціонально відповідають перемикачам та елементам схеми з Додатку Б.

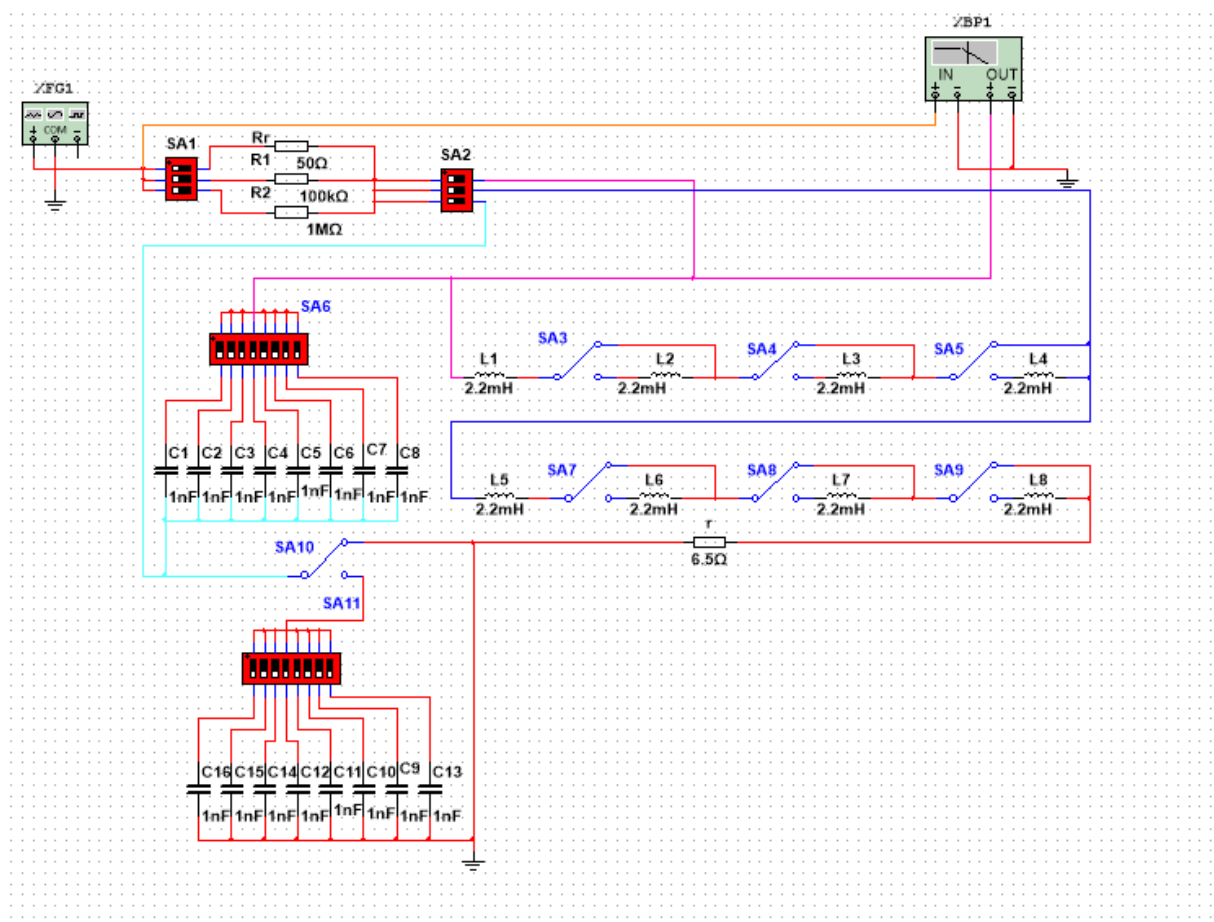


Рисунок 1.15 – Розроблена схема паралельних контурів в програмі Multisim

Можливий варіант налаштування генератора показано на рис.1.16. Під час реального моделювання, характеристики можуть відрізнятися.

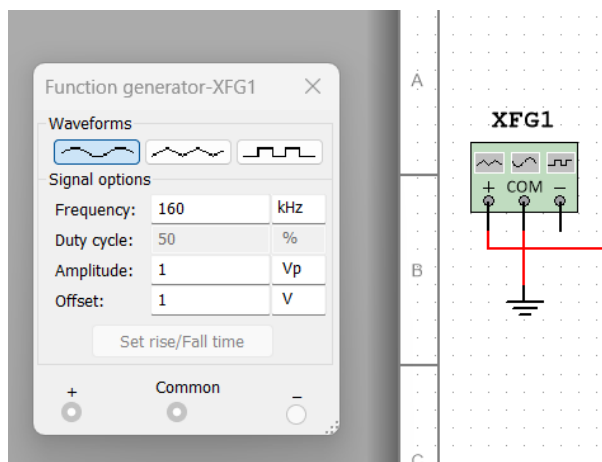


Рисунок 1.16 – налаштування генератора

Для зняття характеристик паралельного коливального контуру І-го виду, підбрано номінали елементів відповідно до розрахунків, наведених вище. На рис. 1.17 зображена частотна характеристику контура без опору навантаження.

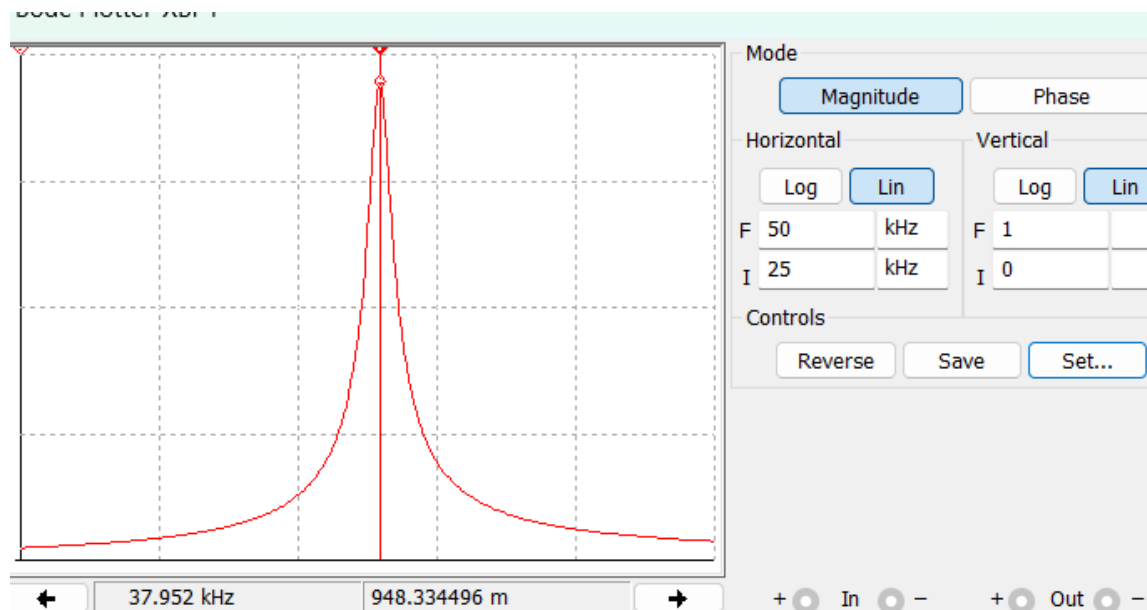


Рисунок 1.17 - Залежність модуля напруги від частоти без опору навантаження

На рис. 1.17 видно, що резонансна частота рівна 37,916 кГц, при розрахованій частоті $f_0 = 38$ кГц, графік контурно повторює створену раніше характеристику на рис. 1.10.

Далі перемикається ключ SA1 в позицію 2 (рис. 1.18), додаючи опір навантаження 100 кОм.

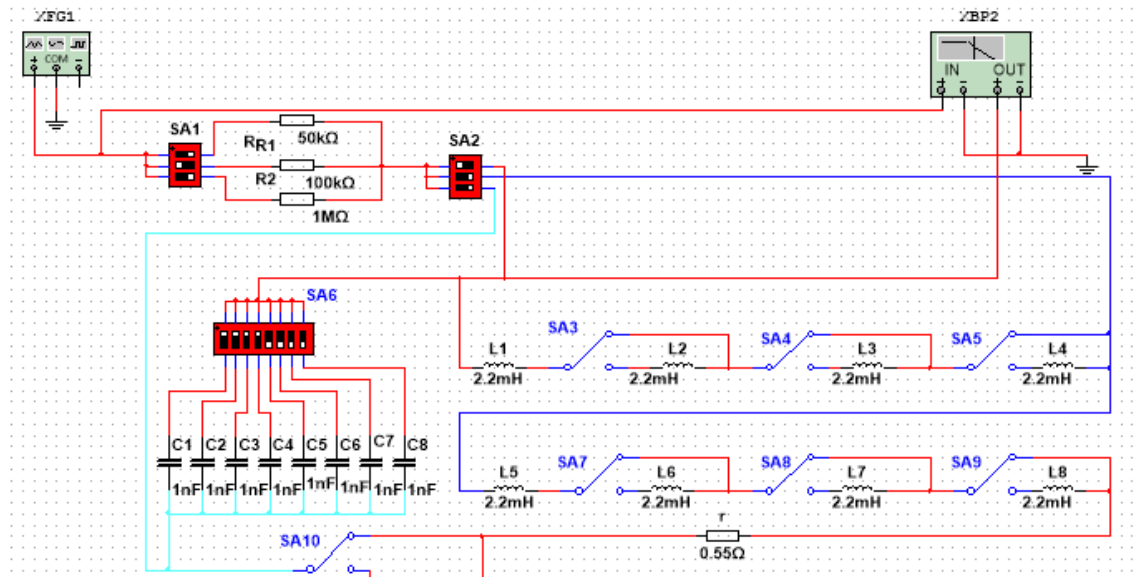


Рисунок 1.18 – Додавання до контуру опора навантаження

На рис. 1.19 спостерігається звуження смуги пропускання на графіку, також зменшення амплітуди з близько 950 мВ до 907 мВ, що відповідає раніше розрахованим графікам (рис 1.10). При цьому резонансна частота не змінюється.

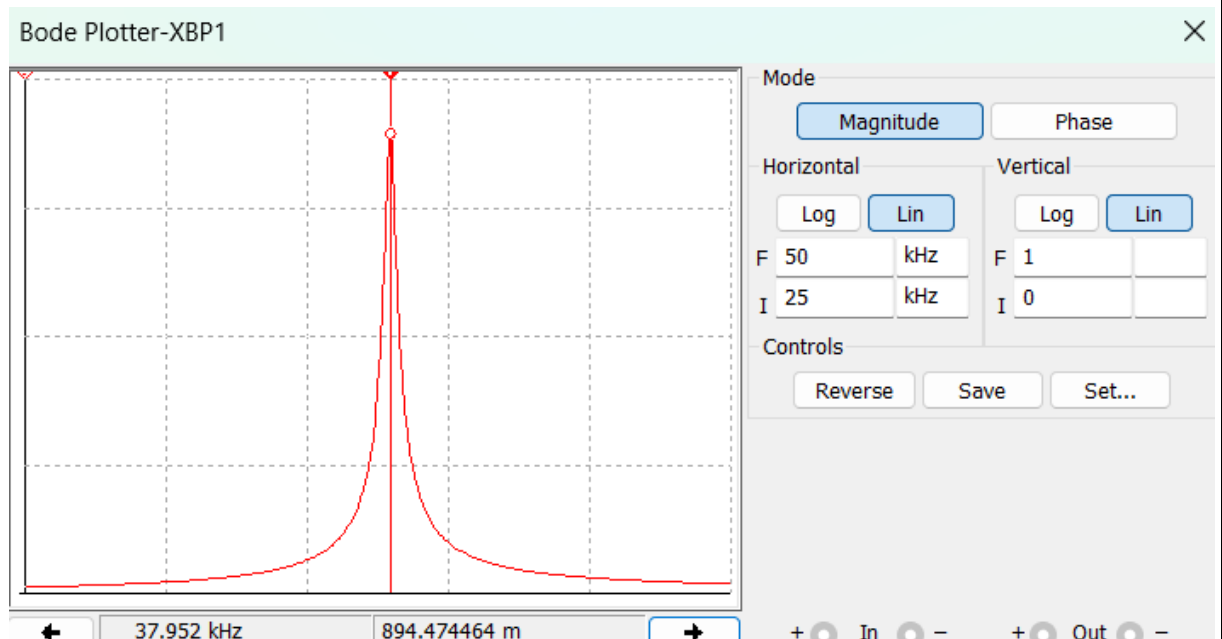


Рисунок 1.19 – Залежність модуля напруги від частоти з опором навантаження

На рис. 1.20 перемикається ключ SA1 на першу позицію, ключ SA2 – на 2, чим утворюється контур II-го виду. Та змінюються номінали L_1 та L_2 перемиканням ключів SA3 та SA7-8.

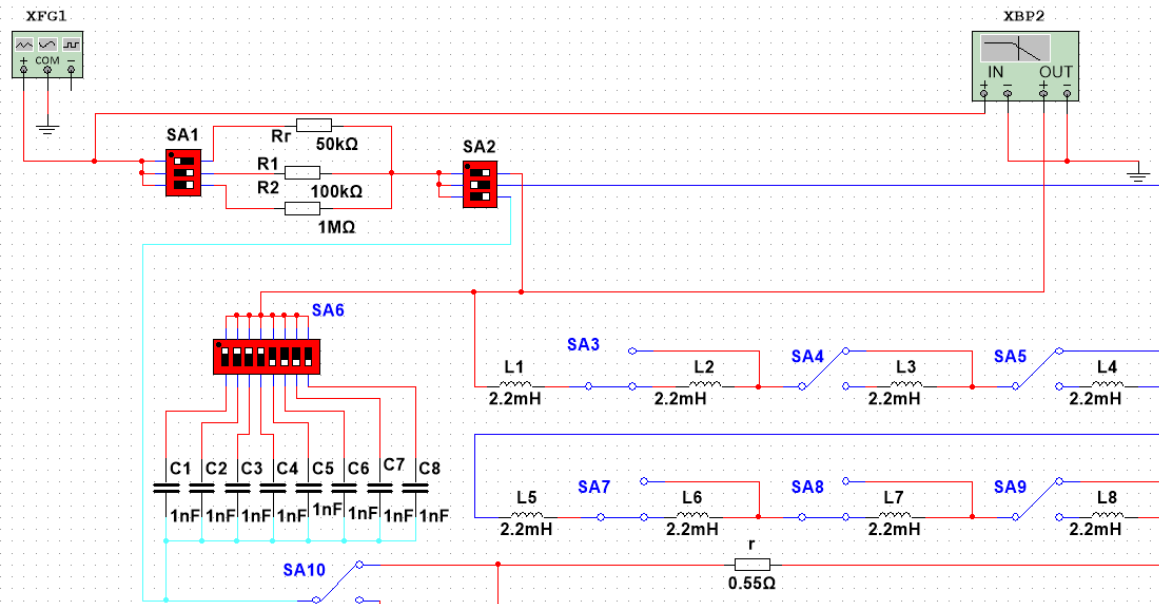


Рисунок 1.20 – Розроблена схема паралельних контурів II-го виду в середовищі Multisim

На рис. 1.21 видно, що резонансна частота рівна 23,99 кГц, при розрахованій $f_0 = 24$ кГц.

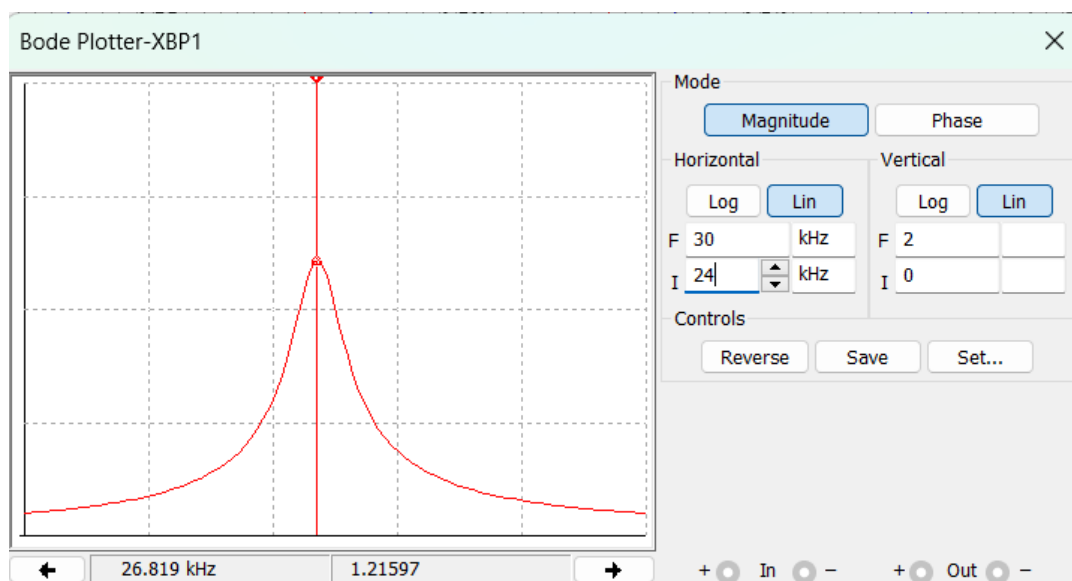


Рисунок 1.21 – Графік залежності модуля напруги від частоти без опору навантаження

При перемиканні ключа SA1 на позицію 2, для додавання навантаження в 100кОм, відбуваються незначні зміни в амплітуді та смузі пропускання, частота залишається незмінною (рис.1.22). В цілому графіки відповідають аналогічним на рисунку 1.12.

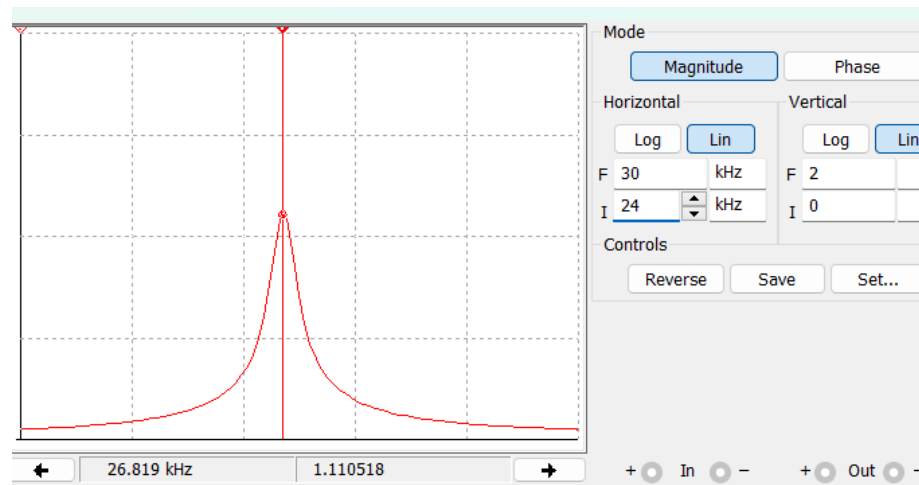


Рисунок 1.22 – Графік залежності модуля напруги від частоти з урахуванням опору навантаження

Для отримання характеристики паралельного контуру III-го виду, змінюється ключ SA1 на першу позицію, ключ SA2 – на 3 (рис.1.23). Змінюються номінали L_1 та L_2 , перемиканням ключів SA3 та SA7-8 на мінімальні значення. Після цього, перемикається SA10, щоб увімкнути ємність C_2 та обирається номінал цієї ємності ключем SA11.

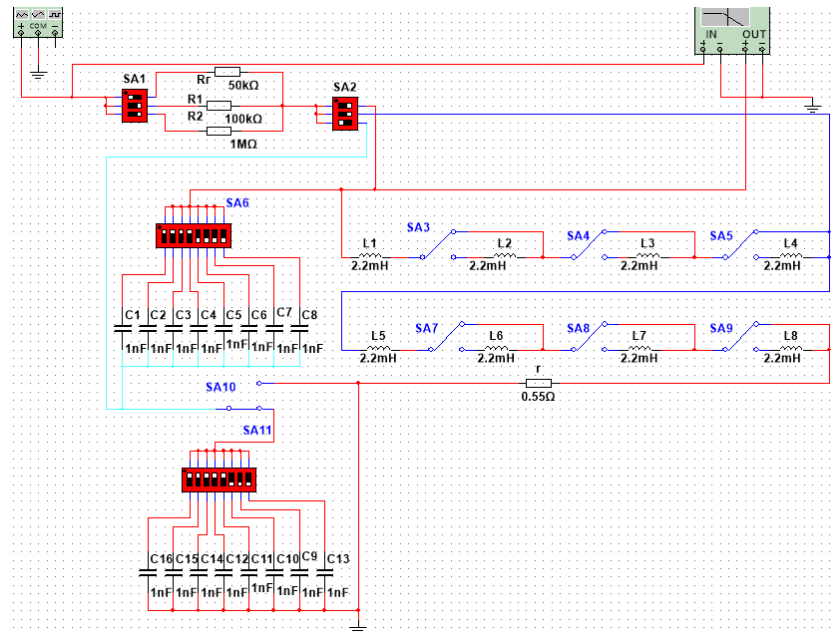


Рисунок 1.23 – розроблена схема паралельних контурів ІІІ-го виду в середовищі Multisim

Аналізуючи графік (рис.1.24), видно, що резонансна частота рівна 50,86 кГц, при розрахованому значенні $f_0 = 51$ кГц. Додано опір навантаження 100 кОм, перемикаючи SA1 в другу позицію.

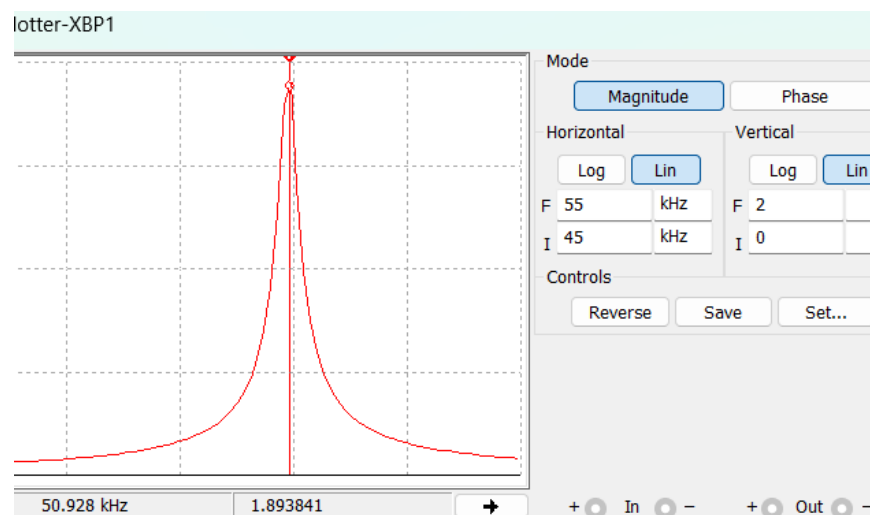


Рисунок 1.24 – Графік залежності модуля напруги від частоти без опору навантаження

Отримано модуль напруги для контуру ІІІ-го виду з урахуванням опору навантаження (рис.1.25). Спостерігається зміна амплітуди та смуги пропускання при стабільній резонансній частоті.

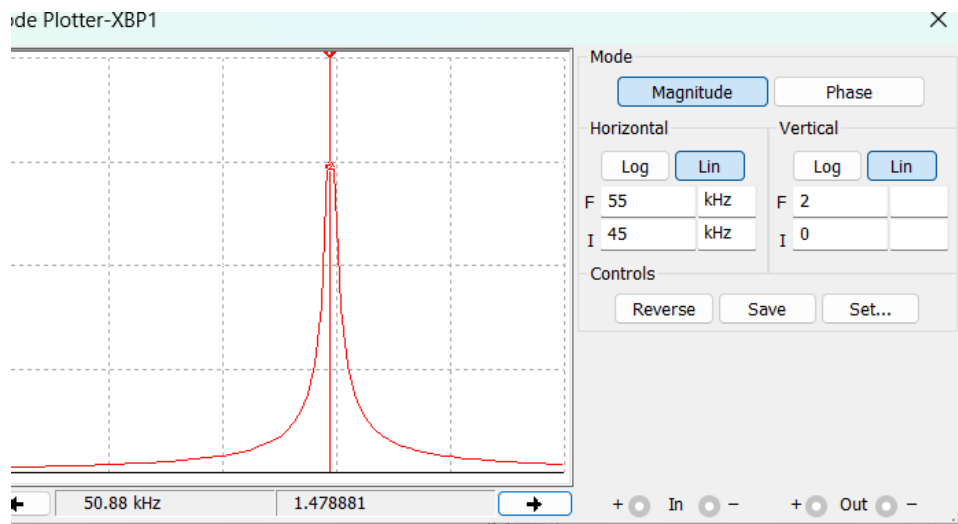


Рисунок 1.25 – Графік залежності модуля напруги від частоти з урахуванням опору навантаження

Порівнюючи графіки з п.1.2 видно, що в цілому всі значення і форми співпадають з раніше розрахованими графіками за допомогою програми MathCad. Всі розраховані значення резонансної частоти f_0 співпадають з тими, що видно на графіках. Також видно, що додавання опору навантаження впливає на ширину смуги пропускання та амплітуду сигналу, що відповідає теорії. З усього вищеперерахованого, можна зробити висновок, що схема працює коректно.

Через особливості роботи програмного середовища Multisim, реалізуємо схему підключення індикації окремо, для перевірки її роботи. Створено контур, що є еквівалентним до схеми, яку зображено на рис. 1.6. Для живлення обрано джерело постійного струму. Змінюємо характеристики ідеальних світлодіодів на близькі до реальних компонентів. Маємо схему, що на рис 1.26.

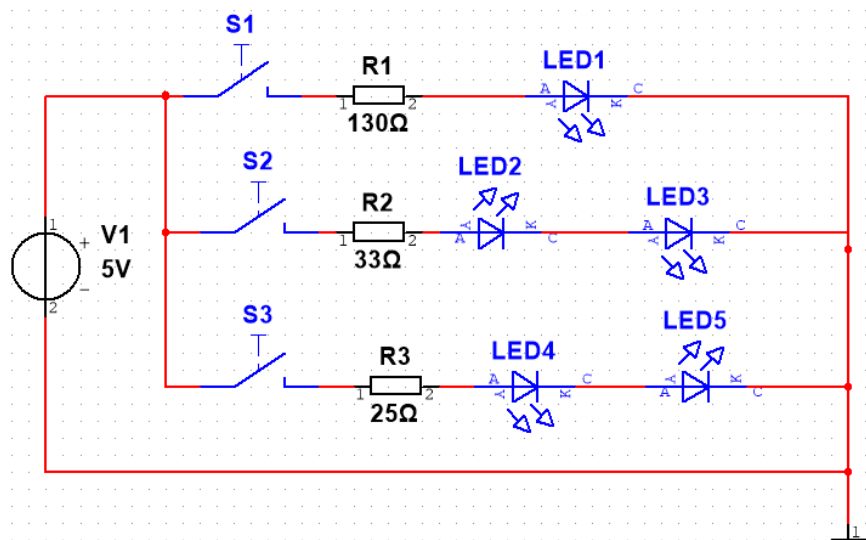


Рисунок 1.26 – Розроблена схема увімкнення світлодіодів

Підключено раніше розраховані резистори п.1.2), та по черзі перевіряється робота кожної з гілок діодів (рис.1.27).

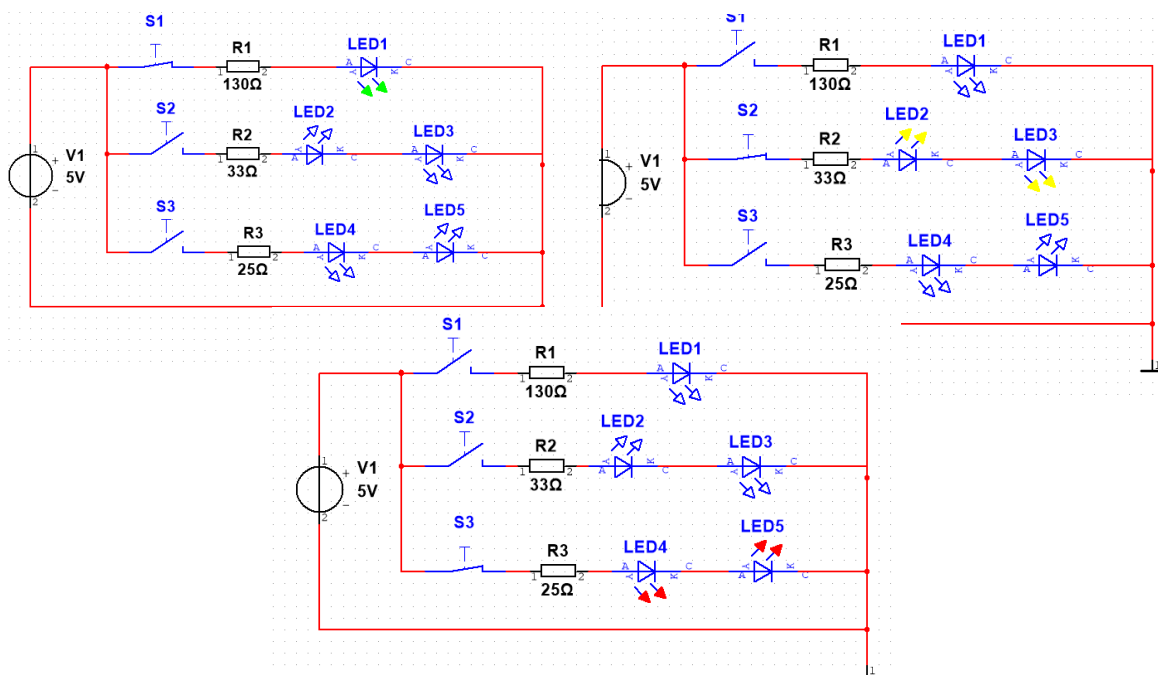


Рисунок 1.27 – Схеми для Перевірка роботи світлодіодів

На рис.1.27 видно, що всі світлодіоди працюють справно, відповідно до перемикання ключів. Отже, можна зробити висновок, що розрахунки коректні. Оскільки комп'ютерне моделювання пройшло успішно,

переходимо до вибору елементної бази та створення моделі друкованої плати.

2. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

Провівши огляд схеми електричної принципової, зробили висновок, що при виборі елементів увага зосереджуватиметься перш за все на їх надійності, габаритних розмірах та вартості.

На ринку представлений широкий асортимент чіп-резисторів. Проаналізовано ринок електронних компонентів, зокрема такі популярні платформи як Mouser [4], Digi-Key [5], Snapeda [6]. Основні критерії відбору: розміри, допуск, потужність, надійність, вартість та доступність у продажу.

Корпус	L (мм)	W (мм)	T (мм)
0201	0,6	0,3	0,3
0402	1	0,5	0,35
0603	1,6	0,8	0,45
0805	2	1,25	0,55
1206	3,1	1,6	0,65

Таблиця 2.1 - Типи корпусів чіп-резисторів

Порівняємо типи корпусів чіп-резисторів (Таблиця 2.1), щоб обрати оптимальний варіант. Було обрано тип 1206 SMD через компактні габарити та зручність монтажу на друковану плату. Якщо обирати між основними серіями: RC1206FR, CRCW1206, ERJ-8ENF, RK73H2BTDD, оптимальною є серія RC1206 від виробника Yageo [5]. Оскільки цей виробник відомий своєю надійністю та широкою доступністю продукції на ринку. Також ціна є економічно обґрунтованою при збереженні високої якості.

Таблиця 2.2 – Порівняння основних виробників резисторів

Виробник	Yageo	Vishay	Panasonic	KOA Speer
серія	RC1206	CRCW1206	ERJ-8ENF	RK73H2BTDD
Корпус	1206 SMD	1206 SMD	1206 SMD	1206 SMD
Ціна	0,02 \$	0,03 \$	0,035 \$	0,025 \$
Інші характеристики	Доступний	Надійний	Якість за гарантією	Надійний

Отже типом корпусу буде 1206 SMD; потужність в 0,25 Вт відповідає вимогам схеми; допуск в $\pm 1\%$ забезпечує високу точність. Необхідні номінали опорів навантаження: 100 кОм та 1 МОм (Таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Обрані резистори

Номінал	Модель	Тип корпусу	Потужність	Допуск	Діапазон робочих температур	Температурний коефіцієнт (TCR)

100 кОм	RC1206FR- 07100KL	SMD 1206	0,25 Вт	±1%	-55°C 155°C	±100 ppm/°C
1 МОм	RC1206FR- 071ML	SMD 1206	0,25 Вт	±1%	-55°C 155°C	±100 ppm/°C

Проаналізувавши вище зазначені таблиці, в якості опорів навантаження, було обрано резистори RC1206FR-07100KL [7], RC1206FR-071ML [8].

Також, для схеми необхідно обрати 3 резистори для живлення світлодіодів. Їх обрано з тієї ж серії, що і попередні резистори.

Таблиця 2.4 – Обрані резистори

Номінал	Модель	Тип	Потужність	Допуск	Робочі температури	Температурний коефіцієнт (TCR)
130 Ом [9]	RC1206FR- 07130RL	SMD 1206	0,25 Вт	±1%	-55°C 155°C	±100 ppm/°C
33 Ом [10]	RC1206FR- 0733R2L	SMD 1206	0,25 Вт	±1%	-55°C 155°C	±100 ppm/°C
25 Ом [11]	RC1206FR- 0725R5L	SMD 1206	0,25 Вт	±1%	-55°C 155°C	±100 ppm/°C

Це найкращий вибір, оскільки дані резистори (рис.2.1) поєднують оптимальні технічні характеристики, ціну та якість.

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

YAGEO



а)



б)

Рисунок 2.1 – Вигляд стандартного 1206 SMD резистора: а) фото з сайту; б) умовне позначення на сайті [6]

Для вибору конденсаторів номіналом 1 нФ, керуємось наступними вимогами: оптимальні розміри, висока стабільність, висока надійність, ціна й доступність. Порівнюються декілька основних типів корпусів конденсаторів (Таблиця 2.5). Оскільки плата має обмежені габарити, будуть використовуватись керамічні конденсатори з типом корпусу 0603. Вони прості в монтажу, мають малі розміри, та досить поширені на українському ринку.

Таблиця 2.5 – Порівняння типів корпусу конденсаторів

Корпус	L (мм)	W (мм)	T (мм)
0402	1,5	0,5	0,35
0603	1,6	0,8	0,45
0805	2	1,25	0,55
1206	3,2	1,6	0,60

Від діелектрика залежить точність, стабільність та електричні властивості конденсатора, тому, проаналізувавши два найпоширеніших типи діелектриків для керамічних конденсаторів (Таблиці 2.6), дійшли висновку, що найкращим варіантом буде діелектрик NP0 (C0G). Він має найкращу

температурну стабільність, низьку діелектричну проникність і діапазон номіналів, що підходять для даної схеми.

Таблиця 2.6 – Порівняння діелектриків конденсаторів

Тип діелектрика	NP0 (C0G)	X7R
Температурна стабільність	±0.3%	± 15%
Діапазон температур	- 55°C - 125°C	- 55°C - 125°C
Діелектрична проникність (ϵ_r)	~30–100	~2000–4000
Номінал ємності	до 100 нФ	до 1 мкФ

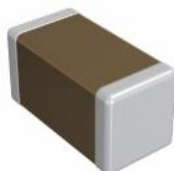
Проаналізовано двох найбільших виробників керамічних конденсаторів з діелектриком NP0 (C0G): Yageo та Murata. Як видно з таблиці 2.7, найкращим варіантом для схеми буде конденсатор GRM1885C1H102JA01 виробництва Murata [12]. Він має необхідний тип корпусу, кращу ціну, широкую доступність, а також, стабільні параметри і низькі втрати.

Таблиця 2.7 – Порівняння виробників конденсаторів

Виробник	Yageo	Murata
Модель	CC1206JRNPO9BN102	GRM1885C1H102JA01
Корпус	SMD 1206	SMD 0603
Напруга	50 В	50 В
Тип діелектрика	NP0 (C0G)	NP0 (C0G)
Допуск	±5%	±5%
Ціна	0,04 \$	0,02\$

Інші характеристики	Хороша ціна	Широка доступність, краща ціна
------------------------	-------------	-----------------------------------

На рис.2.2 видно 3д-модель та позначення конденсатору в каталозі.



а)



б)

Рисунок 2.2 – Вигляд конденсатора GRM1885C1H102JA01: а) фото з сайту; б) умовне позначення на сайті [12]

При виборі індуктивностей, номіналом 2,2 мГн, основним критерієм залишаються розміри, надійність, стабільність роботи та ціна. Для досить великого номіналу (2,2 мГн) знайти необхідну компактну індуктивність виявилось достатньо важко. Тож, спочатку порівняли основні типи індуктивностей з SMD-корпусами. Як видно з Таблиці 2.8, оптимальним буде вибір екранованого виду. Не дивлячись на вищу ціну, вони є досить компактними, стабільними у роботі та поширеними на ринку, що дуже важливо для нашого проекту.

Таблиця 2.8 – Типи індуктивностей

Тип	Основні параметри осердя	Переваги	Недоліки
Екрановані	Закрите осердя	Досить компактні, Зменшено ЕМІ	Дорожчі

Неекрановані	Осердя відкрите	Дешевші, простіші	Високе значення ЕМІ
Тороїдальні	Кільцеве осердя, низькі втрати	Низькі втрати, мале значення ЕМІ	Не поширені, габаритні
Феритові	Феритове осердя	Поширені	Високе значення внутрішнього опору

Для вибору конкретної моделі, проаналізували три варіанта, що вдалося знайти на ринку, від різних виробників (Таблиця 2.9). Основним критерієм вибору, в даному випадку, стала доступність для покупки цього елемента. Тому обираємо модель 74404086222 від виробника Würth Elektronik [13], номіналом 2,2 мГн.

Таблиця 2.9 – Порівняння моделей індуктивності

Назва моделі, виробник	SRR1260-222KL, Bourns	TDK SLF12575T- 222M1R8-PF	WE-PD2 <u>74404086222</u> , Würth Elektronik
Розміри, мм	12,5 × 12,5 × 6,0	12,5 × 12,5 × 7,5	12,5 × 12,5 × 5,5
Максимальне значення струму, А	1,1	1,8	1,1
Внутрішній опір, Ом	0,5	0,3	0,5

Ціна	0,95 \$	0,5 \$	0,90\$
Інші характеристики	Складно знайти	Краща ціна, складно знайти	Доступний

На рис.2.3 видно 3д-модель та позначення дроселя в каталозі.



а)



б)

Рисунок 2.3 – Вигляд індуктивності WE-PD2 74404086222: а) фото з сайту; б) умовне позначення на сайті [13]

Вибір LED-діодів для індикації типів контурів, здійснювався в першу чергу з урахуванням цінової політики та необхідного мінімального струму, для живлення діода. Елементи індикації не є критично важливими для даної схеми, тому обираємо досить надійні, але більш дешевші LED-діоди (Таблиця 2.10). Один зеленого кольору для режиму роботи схеми в I виді контуру, два синього кольору – для II виду коливального контуру, і два червоного – для III виду відповідно. Значення струмів обрали близько 2 мА для помірної яскравості. Узагальнена інформація щодо LED-діодів, показана у таблиці 2.10 .

Таблиця 2.10 – Обрані LED-діоди

Модель, виробник	Kingbright WP7113GD [14]	Kingbright WP7113SYD [15]	Kingbright WP7113ID [16]
Колір	Зелений	Жовтий	Червоний

Струм для помірної яскравості	1,9мА	1,5мА	2мА
Напруга	~ 2 В	~2 В	~ 2 В
Ціна	0,12 \$	0,11\$	0,09\$

На рис.2.4 видно зображення та позначення LED-діода в каталозі.



а)

б)

Рисунок 2.4 – Вигляд стандартного LED-діода: а) фото з сайту;

б) умовне позначення на сайті [14]

В схемі перемикання між типами контурів, вибір значення опорів навантаження, номіналів ємностей та індуктивностей буде виконуватись за допомогою перемикання ключів. Існує багато різновидів ключів, що застосовуються в електроніці для керування схемою, наприклад, DIP-перемикачі, тумблери, слайдери, ротаційні ключі, та ін. [4]. Кожен з них має свої переваги та недоліки (Таблиця 2.11). Лабораторний модуль має бути малогабаритний, надійним і з простим та зрозумілим функціоналом. Спираючись на ці критерії, для даної роботи, обирали два основних типи ключів: dip-перемикачі для вибору номіналів елементів та слайдові перемикачі для індикації та перемикання типів кола. Ці типи ключів досить широко застосовуються в електроніці, вони мають простий функціонал, досить надійні та компактного розміру, а також, доступні за низькою ціною, порівнюючи з іншими типами перемикачів. З мінусів можна зазначити, що

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

такі ключі не для частого перемикання і можуть бути складними в використанні без спеціального інструмента, через малі габарити. Але, потрібно врахувати, що їх застосування буде проводитись в рамках лабораторних робіт приблизно раз за навчальний рік, тож цими недоліками можна знехтувати.

Таблиця 2.11 – Типи перемикачів

Типи перемикачів	Основні характеристики	Переваги	Недоліки
DIP-перемикачі	Набір перемикачів в одному корпусі, що монтується на плату	Низька ціна, компактність, можливість мати багато перемикачів в одному корпусі	Мала сила струму, ненадійні при постійному користуванні
Слайдерні ключі	Перемикання відбувається за допомогою повзунка	Компактність, низька ціна	Зменшується надійність при щоденному користуванні
Ротарні перемикачі	Обертання ручки дозволяє перемикання положень	Зручність при виборі положень	Вища ціна, більші габарити
Кнопкові перемикачі	Прості кнопкові ключі	Прості, надійні	Габаритні, зазвичай мають лише два варіанта положення

Для перемикання між типами контурів та індикацією обрали перемикач Slide Switch DP3T EG2301 [17] від виробника E-switch (рис.2.5). Цей вибір обумовлений особливістю конструкції ключа. Він має дві незалежні групи контактів, які дозволяють здійснювати перемикання одночасно між двома колами, що дає змогу вмикати певний тип контурів і відповідну LED-індикацію одночасно. Його габаритні розміри 16 мм на 6,5 мм.

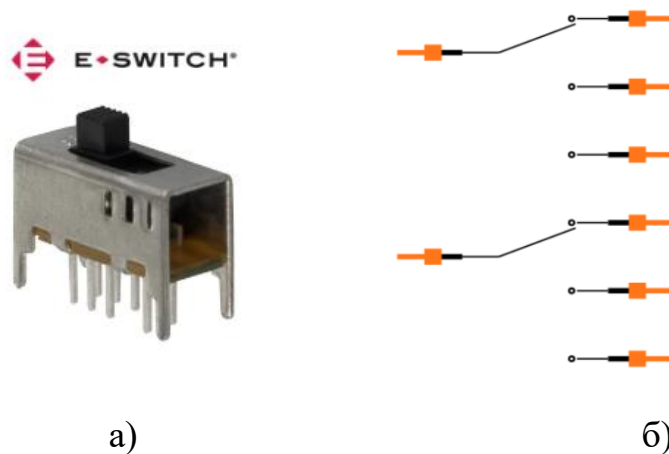


Рисунок 2.5 – Вигляд перемикача DP3T EG2301: а) фото з сайту; б) умовне позначення на сайті [17]

Для зміни підключення заземлення в контурі III виду, використовується перемикач Slide Switch EG1218 [18] від того ж виробника (рис. 2.6). Дані ключі мають досить низьку ціну та доступні для продажу. Його габарити: 11,6 мм на 4 мм.

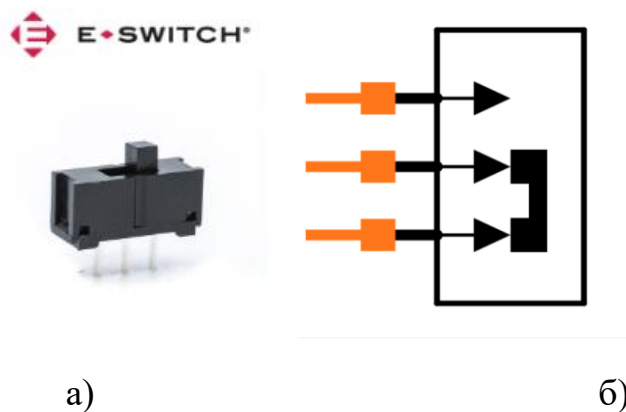
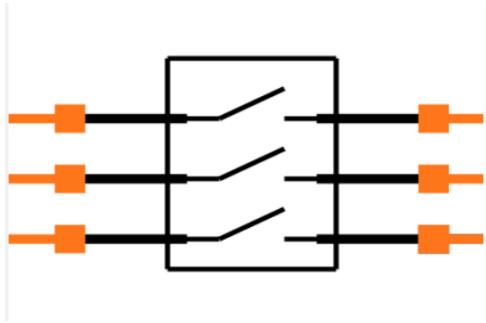


Рисунок 2.6 – Вигляд перемикача EG1218: а) фото з сайту; б) умовне позначення на сайті [18]

Як було вказано вище, для вибору номіналів використовуватимуться дір-ключі. Для вибору одного з трьох опорів навантаження підійде перемикач Dip Switch 219-3LPSTR [19] від виробника CTS (рис.2.7). Він має досить компактні розміри: 8,9 мм на 9,4 мм.



а)

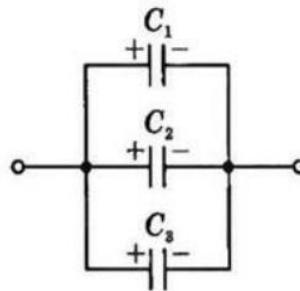


б)

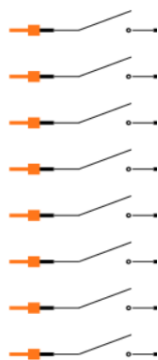
Рисунок 2.7 – Вигляд перемикача 219-3LPSTR: а) фото з сайту; б) умовне позначення на сайті [19]

Значення ємностей C_1 та C_2 в схемі змінюється за допомогою формули додавання при паралельному підключенні:

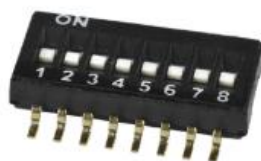
$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_{10}$$



Тож конденсатори $C_1 - C_8$ та $C_9 - C_{16}$ підключаються паралельно до необхідних ключів. Такими ключами є обрані DS05-127-2-08BK-SMT-TR [20] від Some sky (рис.2.8). Його габаритні розміри: 11,8 мм на 5,4 мм.



same sky



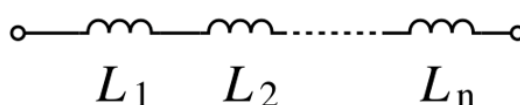
а)

б)

Рисунок 2.8 – Фото перемикача Dip Switch SPST 219-10MST: а) фото з сайту; б) умовне позначення на сайті [20]

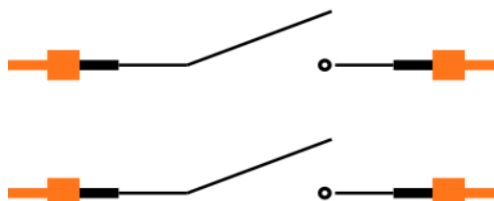
Номінали індуктивностей, в свою чергу, залежать від поовного додавання:

$$L = L_1 + L_2 + \dots + L_8$$



Отже, індуктивності L1-L4 та L5-L8 будуть підключатись послідовно за допомогою ключів Dip Switch 219-2MSTR [21] від, вищезгаданого виробника, CTS (рис.2.9).

cts



а)

б)

Рисунок 2.9 – Вигляд перемикача 219-2MSTR: а) фото з сайту; б) умовне позначення на сайті [21]

Розміри даного перемикача: 6,5 мм на 6,5 мм.

Виробник CTS досить поширений на українському ринку електроніки, серія 219 представляє перемикачі поверхневого типу монтажу, що значно спрощує проектування друкованої плати. Вищеперераховані перемикачі мають хорошу ціну, вони є досить надійними та відповідають вимогам схеми.

Для живлення основної схеми з генератора Г4-18А (або іншого генератора сигналів), а також для зняття характеристик кола і значення напруги за допомогою осцилографа та вольтметра, необхідно обрати порти, що забезпечать підключення даних пристроїв. На сьогоднішній день у продажу є безліч різних типів портів, що підходять для нашої цілі. Обираємо тип порту «Банан» (Banana socket), оскільки він простий у використанні без сторонніх інструментів та сильних зусиль. Такі порти є досить компактними, що є значною перевагою при проектуванні плати. У порівнянні з іншими типами портів, підключення, за допомогою такого порта, відбувається досить легко та швидко, це важливий фактор для користувачів. Найкращим варіантом за співвідношенням ціна-якість, буде виробник KLS [22].

Цей дистриб'ютор має безліч типів моделей портів типу банан і, що найголовніше, доступний для покупки за досить помірну ціну. Тож, для данної схеми обрали 9 портів BAJ-001-NR (рис.2.10), для підключення генератора та інших пристроїв на вході і виході схеми. Це вертикальні порти з 1 позиціями для 2 мм контактів, що задовільняє характеристики нашого проекту.

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

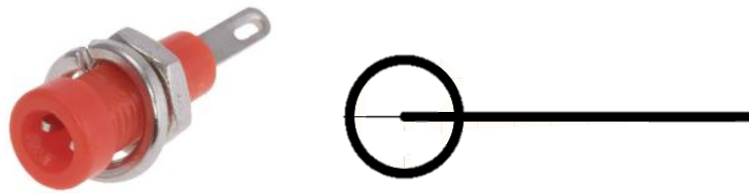


Рисунок 2.10 – Вигляд порта BAJ-001-NR: а) фото з сайту; б) умовне позначення на сайті [22]

Отже, для знаття характеристик кола, було обрано BAJ-001-NR [22]. Як було вказано вище, це порти на одну позицію. Для стандартної роботи зі схемою достатньо 8 портів, але для надійності вибрано ще 1 додатковий контакт. Основні характеристики даного порта (KLS BAJ-001-NR) наведено у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 - Основні характеристики BAJ-001-NR

Модель, виробник	KLS BAJ-001-NR
Кількість контактів	1
Розмір піна	2 мм
Габаритні розміри	9×16×10мм
Номінальний струм	10 А
Номінальна напруга	320 В
Робочі температури	-40 - 70°C

Живлення LED-діодів для світлової індикації, реалізовуватиметься окремо, від живлення коливальних контурів. Для роботи LED-діодів необхідно подати близько 5 В. Адже для коректної роботи, треба напруга, що перевищує напругу роботи LED-діодів з запасом для резисторів. При падінні напруги на LED-діоді (максимальне значення у 3.2 В), мінімальна вхідна напруга має становити 4,5 В. Для подачі такого живлення розглядалось два варіанти: павербанк з usb-підключенням, та три батарейки АА. Батарейки є

більш дешевшим та простішим рішенням, оскільки придбання павербанку досить затратне та необґрунтоване, зважаючи на нечасте використання лабораторного модулю. Тож для живлення за допомогою батарейок обрали корпус типу Keystone 2466 [23]. Це відкрита модель, яка дозволяє легко змінювати батарейки та доступна за низькою ціною. Корпус виготовлено з чорного ABS-пластику, основні характеристики наведено у таблиці 2.13

Таблиця 2.13 - основні характеристики Keystone 2466

Модель, виробник	Keystone 2466
Кількість батарейок у відсіку	3 шт. типу АА
Вихідна напруга	4,5 В
Габаритні розміри	57×42×15 мм
Довжина дроту у комплекті	14,5 мм

Фото та умовне позначення з каталогу зображено на рис.2.11.

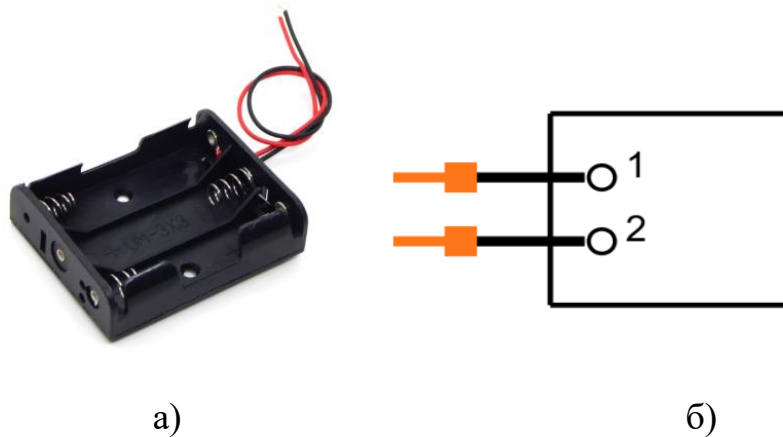


Рисунок 2.11 – Вигляд корпус Keystone 2466: а) фото з сайту; б) умовне позначення на сайті [23]

Загальна ціна елементів визначена за допомогою таблиці 2.14. Як бачимо, повна ціна елементів становить 675,97 грн.

Таблиця 2.14 – Ціна елементів

Тип	Найменування	Ринкова ціна,	Кількість
-----	--------------	---------------	-----------

компоненту	компоненту	за шт., грн	компонентів
Резистор 100 кОм	RC1206FR-07100KL	0,6	1
Резистор 1 МОм	RC1206FR-071ML	0,5	1
Резистор 130 Ом	RC1206FR-07130RL	2,24	1
Резистор 33 Ом	RC1206FR-0733R2L	0,84	1
Резистор 25 Ом	RC1206FR-0725R5L	0,84	1
Конденсатор 1 нФ	GRM1885C1H102JA01	0,42	18
Індуктивність 2,2 мГн	WE-PD2 74404086222	36,9	8
Світлодіод червоний	Kingbright WP7113ID	3,76	2
Світлодіод зелений	Kingbright WP7113GD	3,76	1
Світлодіод жовтий	Kingbright WP7113SYD	3,76	2
Перемикач Slide Switch DP3T	DP3T EG2301	27,82	1
Перемикач Slide Switch EG1218	EG1218	21,57	1
Перемикач	Dip Switch 219-	20,34	1

Dip Switch	3LPSTR		
Перемикач SMT-TR	DS05-127-2-08BK- SMT-TR	44,8	2
Перемикач Dip Switch	Dip Switch 219- 2MSTR	17,85	6
Гніздо типу банан	KLS BAJ-001-NR	9	10
Корпус для батарейок AA	Keystone 2466	63,9	1

У даному розділі виконано вибір елементів. Повний перелік елементів можна побачити у додатку В. У наступній частині на основі цих елементів буде створено модель ДП.

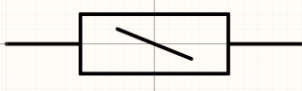
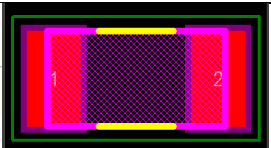
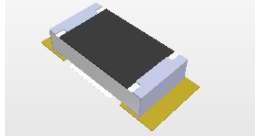
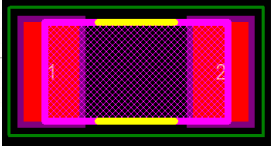
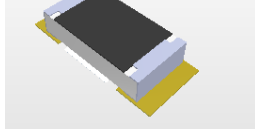
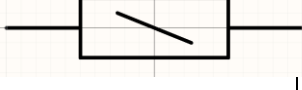
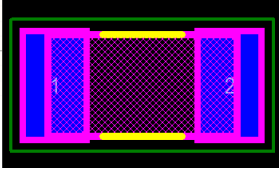
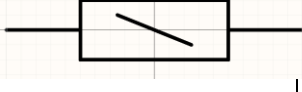
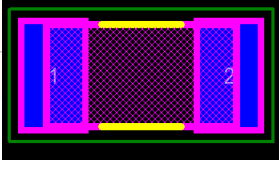
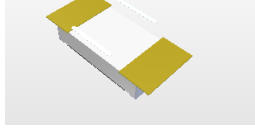
					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

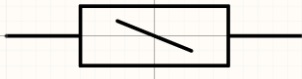
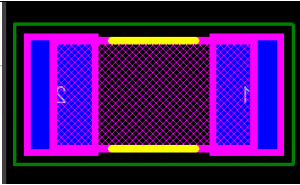
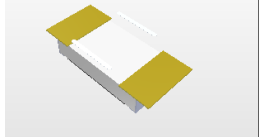
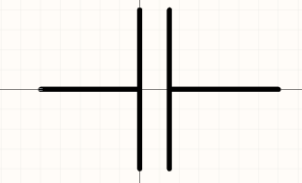
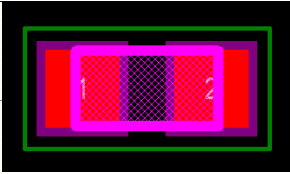
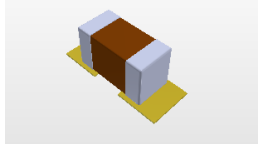
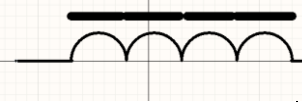
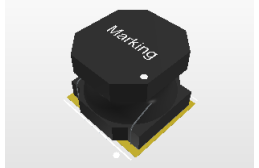
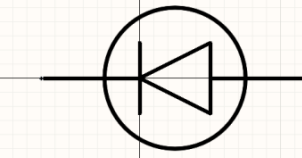
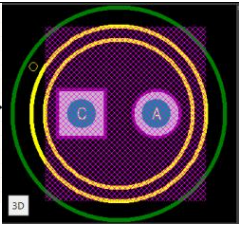
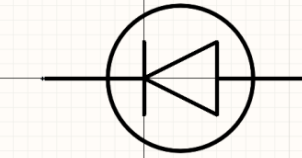
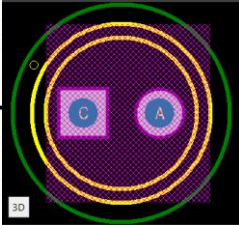
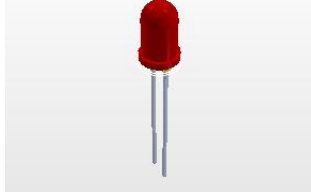
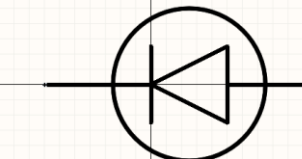
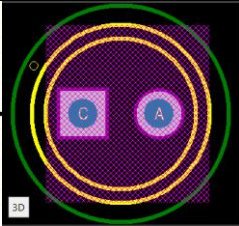
3. ПРОЕКТУАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ В СЕРЕДОВИЩІ ALTIUM DESIGNER

3.1 Створення бібліотеки компонентів та схеми електричної принципової.

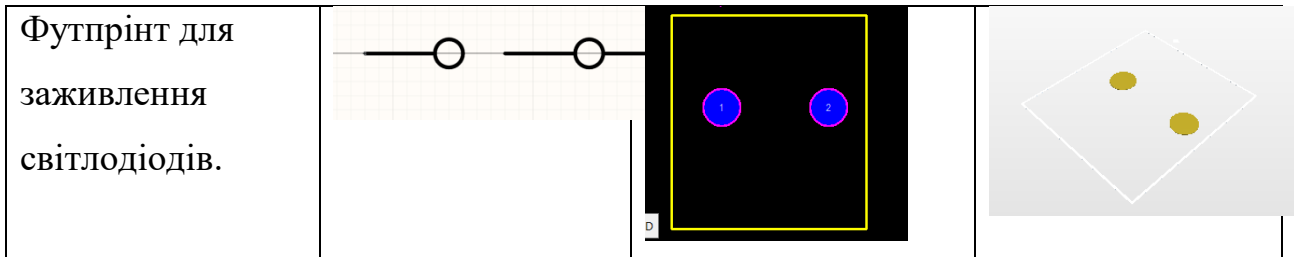
Для створення моделі ДП, перш за все, необхідно створити бібліотеку компонентів. Кожен елемент повинен мати своє УГП, відповідно до ЄСКД, футпрінт, для коректного проектування місця посадки на платі, та 3д-модель, для візуального представлення плати [24]. Створено дві окремі бібліотеки: символи в бібліотеці SCH Library для УГП та бібліотека посадкових місць PCB Library. У Таблиці 3.1 наведено список елементів, їх позначення, футпрінт та зображення 3д-моделі.

Таблиця 3.1 – Елементи ДП

Елемент	Умовне позначення	Футпрінт	3д-модель
Резистор RC1206FR-07100KL			
Резистор RC1206FR-071ML			
Резистор RC1206FR-07130RL			
Резистор RC1206FR-0733R2L			

Резистор RC1206FR- 0725R5L			
Конденсатори GRM1885C1H10 2JA01			
Індуктивність WE-PD2 <u>74404086222</u>			
Лед-діод Kingbright WP7113GD			
Лед-діод Kingbright WP7113SYD			
Лед-діод Kingbright WP7113ID			

Перемикач Slide Switch DP3T EG2301			
Перемикач E-switch, Slide Switch, EG1218			
Перемикач Dip Switch, 219-3LPSTR			
Перемикач CTS, Dip Switch 219-2MSTR			
Перемикач Some sky, DS05-127-2-08BK-SMT-TR			
Гніздо KLS, BAJ-001-NR			



За допомогою бібліотек елементів та графічного редактора *Altium Schematic*, спроектовано схему електричну принципову, на основі якої буде створено ДП (Додаток Б). СЕП створено на форматі А3 (рис.3.1), ґрунтуючись на схемі, що була описана у Ч.1. За допомогою вбудованих функцій *Altium Designer*, проведено валідацію схеми, щоб підтвердити її коректність. З рисунку 3.2 видно, що помилок не знайдено. Отже, можна переходити до створення ДП.

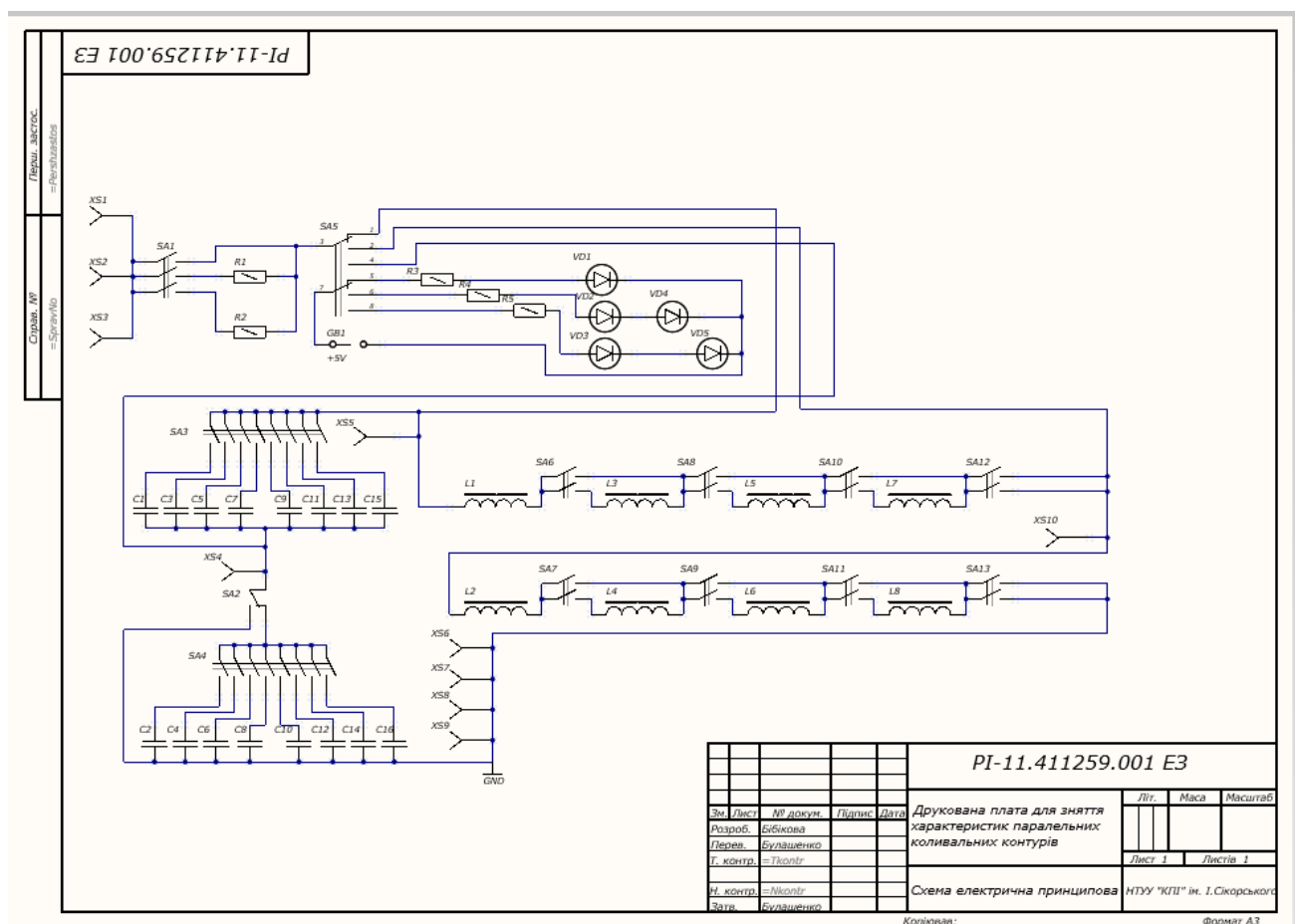


Рисунок 3.1 – Фрагмент СЕП

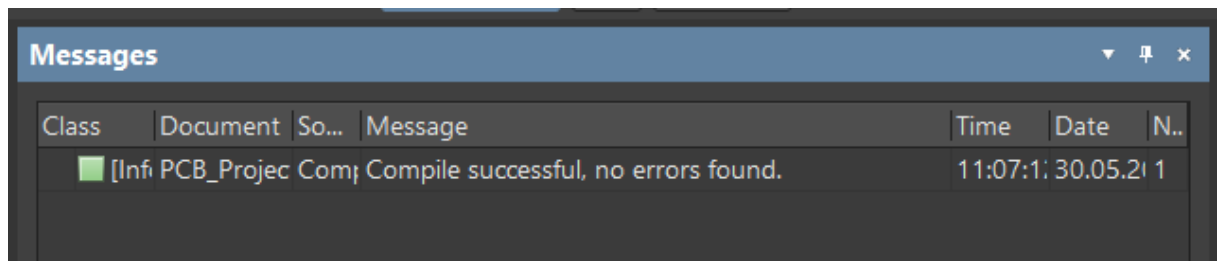


Рисунок 3.2 – проведена валідація проекту

3.2 Робота в редакторі Altium PCB

В даному редакторі створюється попередній вигляд друкованої плати, розміщуються елементи на платі, а також проводиться трасування [25].

Створено стек плати, та змінено ширину діелектрика на 1,5 мм, що є стандартним значенням для більшості компаній, що займаються виготовленням друкованих плат (рис.3.3) [26].

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk
	Top Overlay		Overlay			
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01016mm	3.5
1	Top Layer		Signal	1oz	0.03556mm	
	Dielectric 1	FR-4	Dielectric		1.50856mm	4.8
2	Bottom Layer		Signal	1oz	0.03556mm	
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01016mm	3.5
	Bottom Overlay		Overlay			

Рисунок 3.3 – створений стек ДП

Матеріал для плати – FR-4, оскільки цей матеріал міцний, дешевий та поширений у виготовленні друкованих плат.

Для визначення оптимальної площі плати, обраховуються її габарити. Для обрахунку площі плати необхідно обрахувати мінімальну площу, що відповідає загальній площі всіх елементів з кожної сторони (як елементів поверхневого монтажу, так і вивідних елементів). Інформацію про розміри місць посадки та отворів, було взято з офіційної документації компонентів [6]. Площу всіх елементів поверхневого монтажу відповідно до корпусів, розраховано в таблиці 3.2.

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Обрахунок площі елементів плати

Корпус	W	L	n	S
1206	3,1	1,6	5	24,8
0603	1,6	0,8	18	23,4
WE-PD2	12,5	12,5	8	1250
EG2301	16	6,5	1	104
EG1218	11,6	4	1	46,4
219-3LPSTR	8,9	9,4	1	83,66
DS05-127-2- 08BK-SMT- TR	11,8	5,4	2	127,44
219-2MSTR	6,5	6,5	6	253,5

де, W — ширина елементів;

L — довжина елементів;

n — кількість елементів;

S — загальна площа елементів певного корпусу;

Отже, загальна площа елементів поверхневого монтажу $S=1913,2 \text{ мм}^2$.
Окремо розраховано площу наскрізних елементів (у даному випадку гнізд та LED-діодів). Для більш точних результатів, взято значення їх габаритних розмірів (Таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Обрахунок площі наскрізних елементів

Корпус	D	n	S
BAJ-001-NR	4,65	10	169,8
WP7113	5,9	5	137

де, D — ширина елементів;

n — кількість елементів;

S — загальна площа елементів певного корпусу;

Таким чином, площа вивідних елементів становить $S=306,8 \text{ мм}^2$.
Мінімальна площа плати становитиме $S_{\min} = 2219,4 \text{ мм}^2$. Враховуючи спосіб кріплення плати, топологію, забезпечення оптимального розміщення елементів, а також можливий перегрів певних елементів, було обрано плату нестандартної форми. Загальна оптимальна площа плати — $13,566 \text{ мм}^2$. Вигляд плати зображено на рис.3.3. Ціна за виготовлення такої плати рівна 450 грн [26].

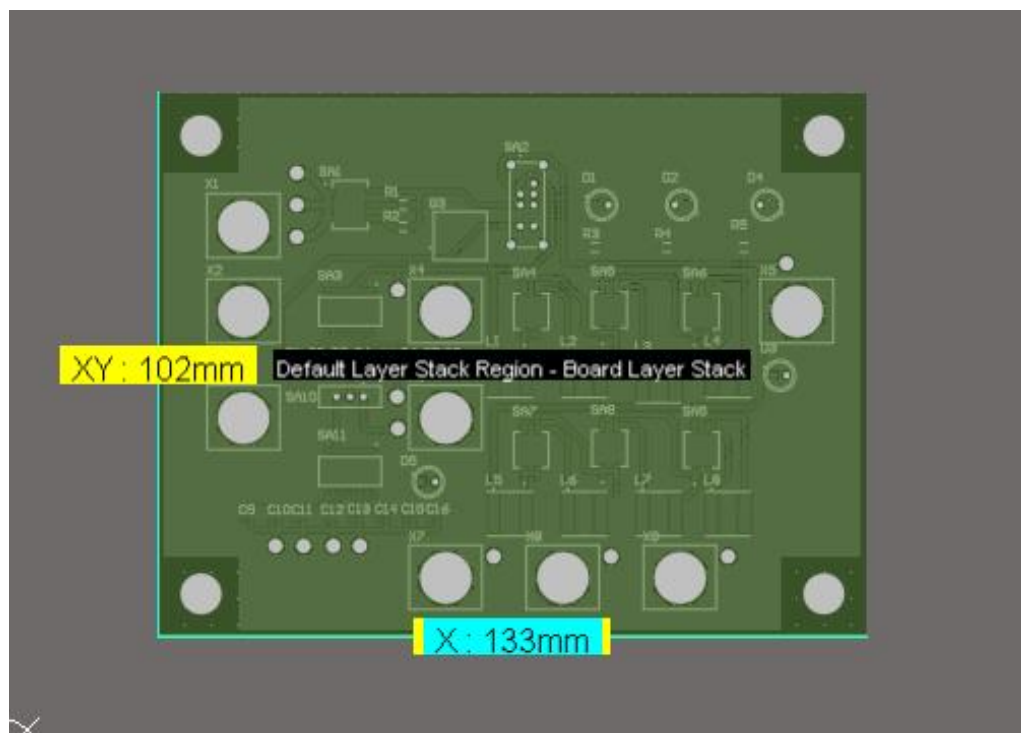


Рисунок 3.3 – Вигляд ДП

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Ширина провідників обирається в залежності від струму, для забезпечення коректної роботи ДП. Розрахунок виконується за допомогою онлайн-калькулятора [27]. Оскільки в сигнальних лініях значення струму буде коливатись, в залежності від налаштувань генератора (напруга при цьому буде близькою до 1 В), оптимальною було обрано ширину провідника у 1,5 мм на вході плати. Після падіння напруги на резисторах, ширина провідників зменшиться до 1 мм. Цих значень буде достатньо для коректної роботи ДП. Для підключення світлодіодів на силову лінію подається 4,5-5 В, отже ширина провідників, у цьому випадку, буде рівна 2 мм. Для заливки землі (ланцюга GND) буде виконаний полігон з обох сторін плати [28]. Трасування у верхньому шарі плати зображено на рис. 3.4.

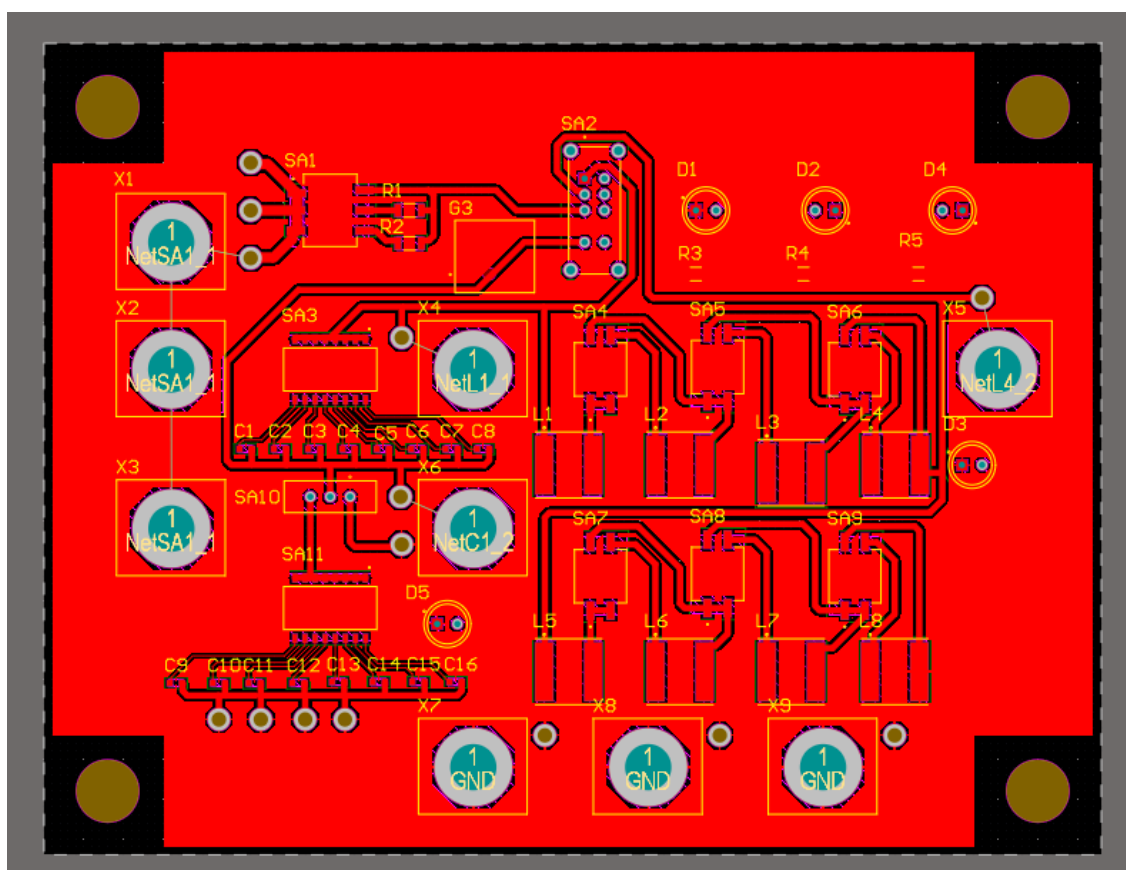


Рисунок 3.4 – Верхній шар топології

Та з нижньої сторони плати, також було виконано трасування (рис. 3.5).

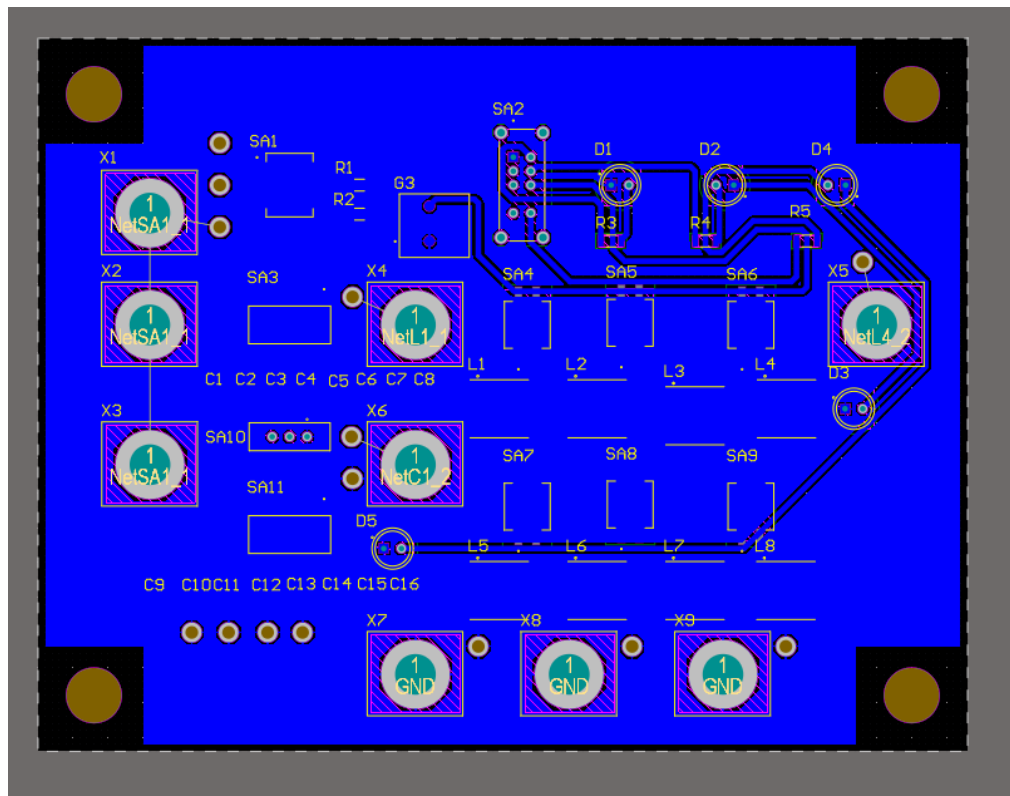


Рисунок 3.5 – Нижній шар топології

Переглянувши 3д-модель плати, видно, що всі елементи відображаються та знаходяться на своєму місці. Також видно нанесення шовкографії на верхньому шарі ДП. 3д-вигляд ДП зверху зображено на рис.

3.6, на
зображено
виляд ДП

рис. 3.7
3д-
з низу.

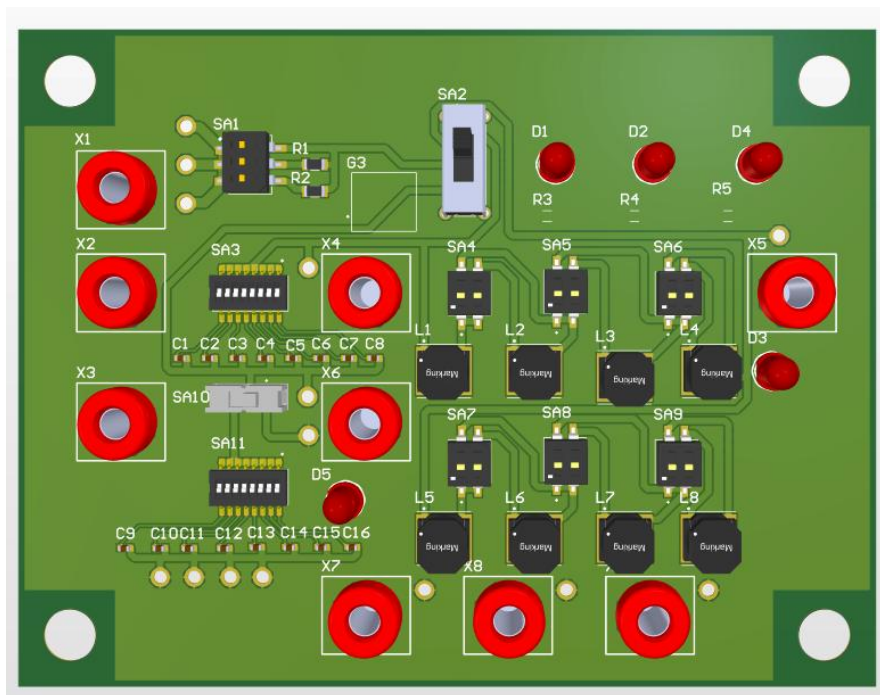


Рисунок 3.6 – Вигляд зверху

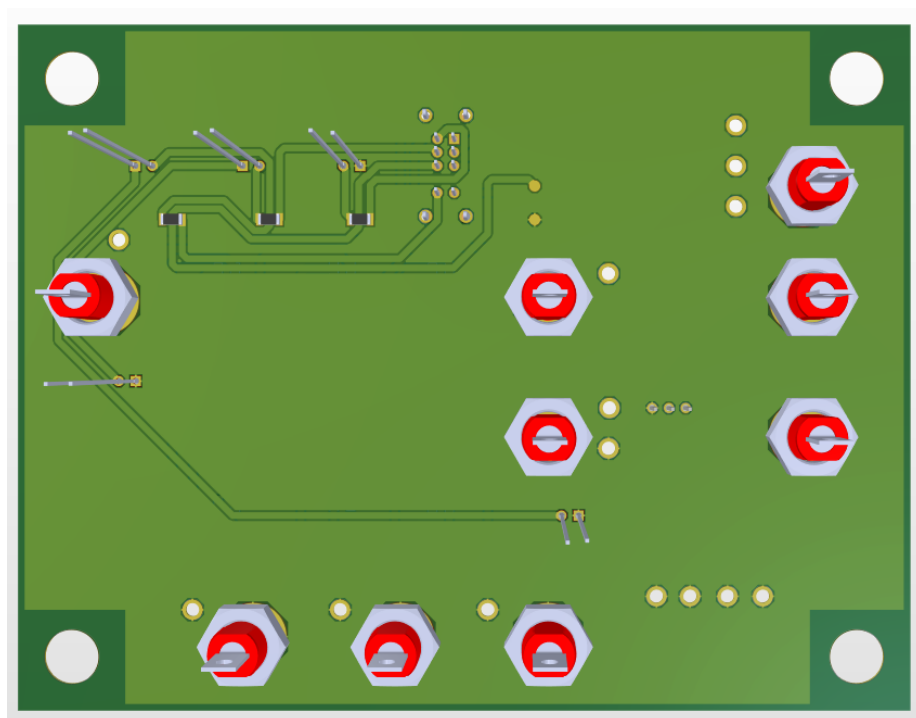


Рисунок 3.7 – Вигляд знизу

3.3 Створення файлів технологічного процесу

Підготовка файлів для розробки ДП є заключним етапом проектування. Основна документація складається з файлів свердління та технологічних масок. Виробники ДП найчастіше використовують гербер-файли для виготовлення плати [26]. Гербер-файли – стандартний набір документації, що містять детальну інформацію про кожен з шарів друкованої плати. Ці файли дають можливість точно розуміти вигляд та склад ДП. Файли свердління містять в собі інформацію для свердління всіх отворів, що присутні на платі (рис.3.8).

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

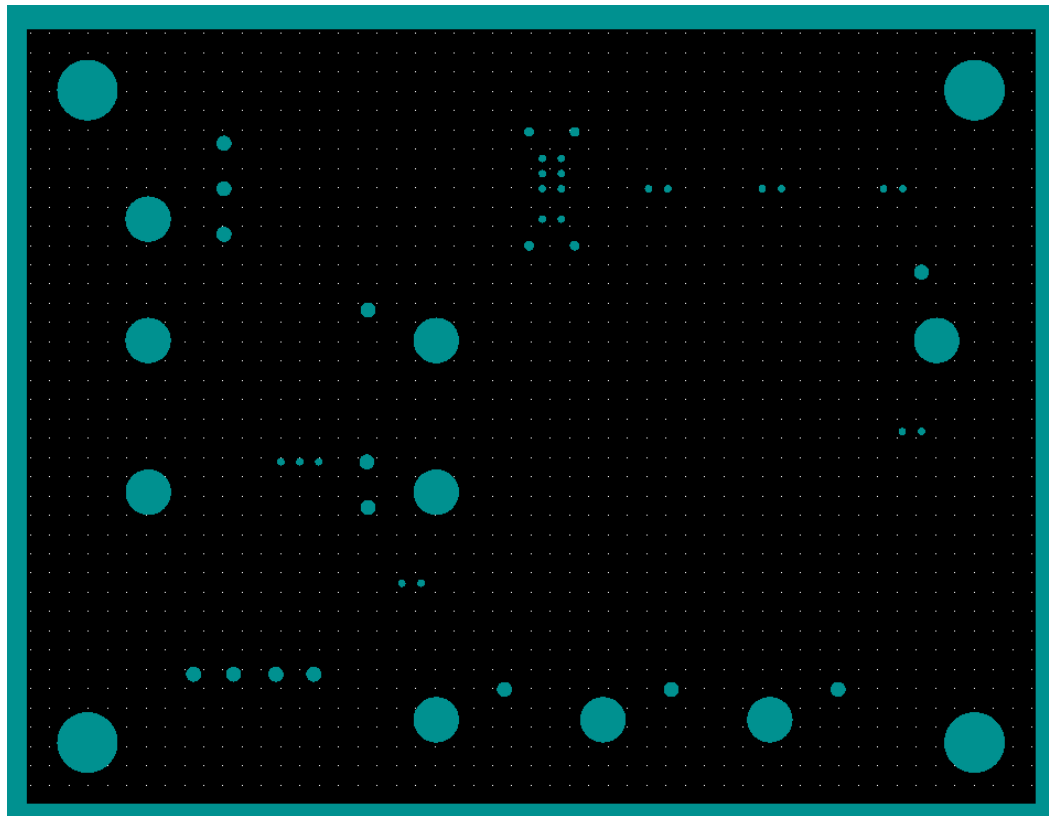


Рисунок 3.8 – файл сверління ДП

Шовкографію для верхнього шару ДП зображено на рис.3.9.

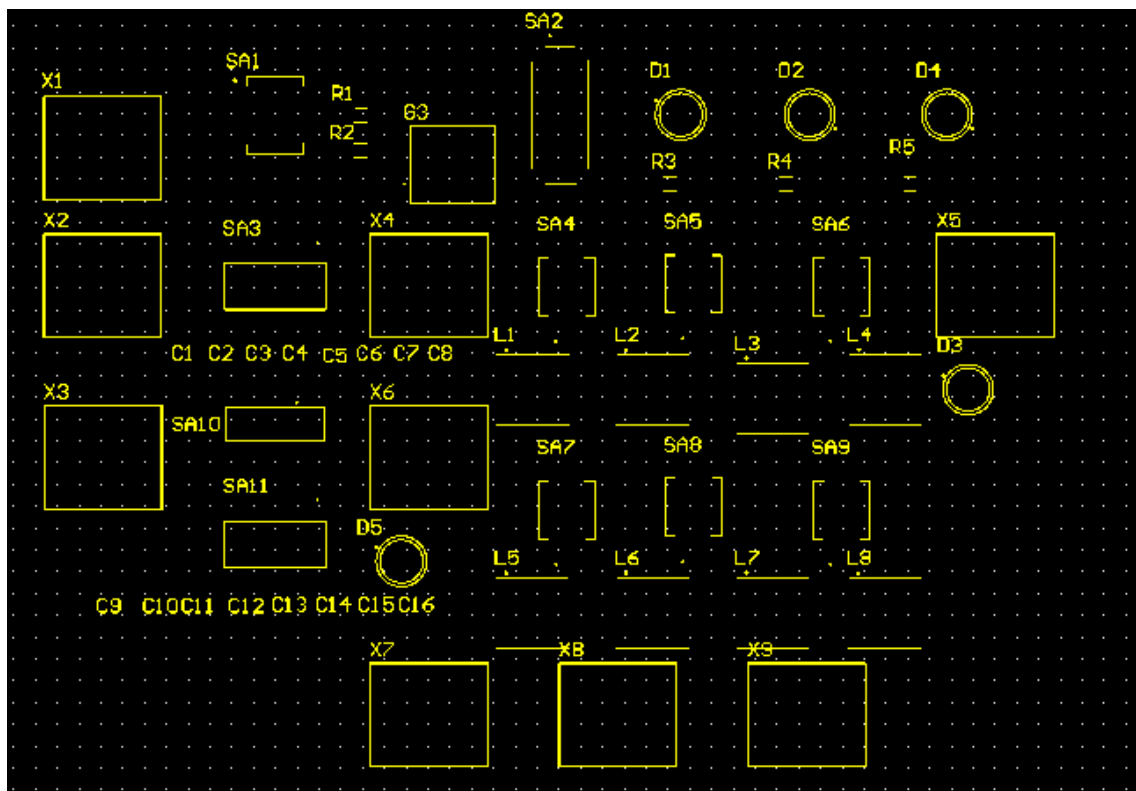


Рисунок 3.9 – Шовкографія ДП

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Також додаються файли рисунків верхнього (рис.3.10) та нижнього (рис.3.11) шарів.

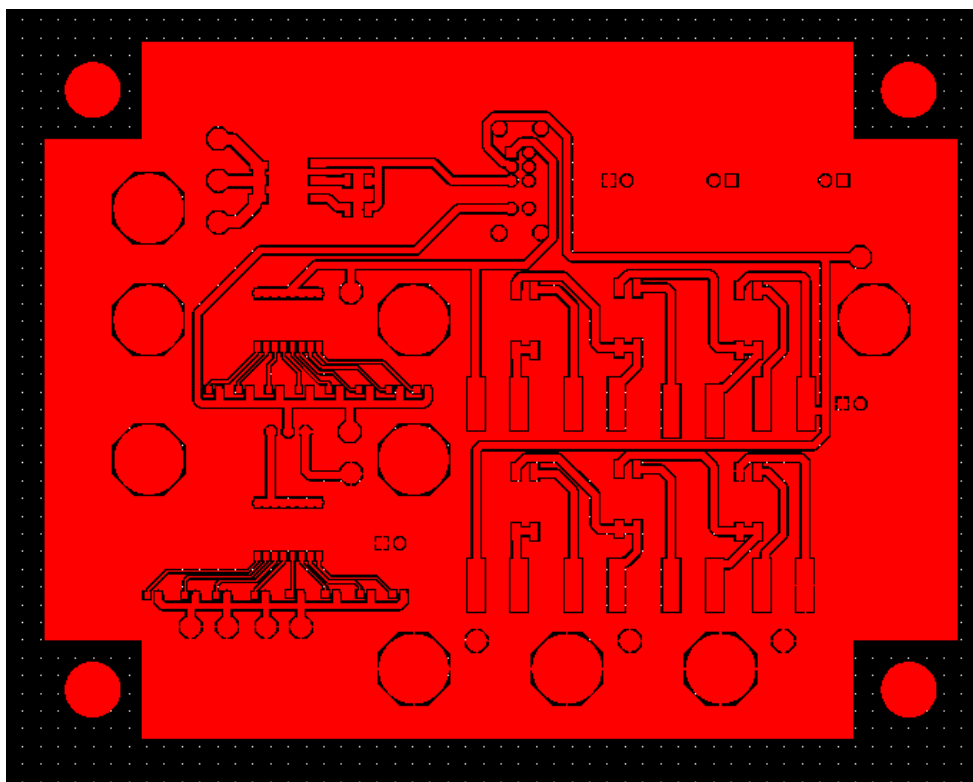


Рисунок 3.10 – Файл трасування верхнього шару

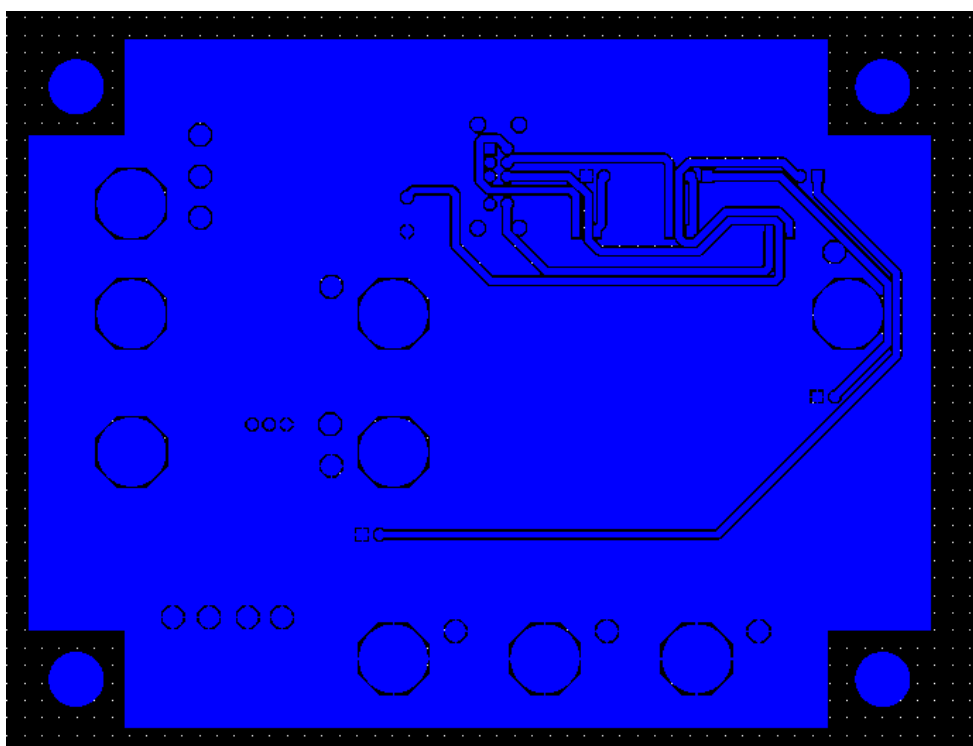


Рисунок 3.11– Файл трасування нижнього шару

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Обов'язково додаються креслення ДП, його фрагмент зображено на рисунку 3.12.

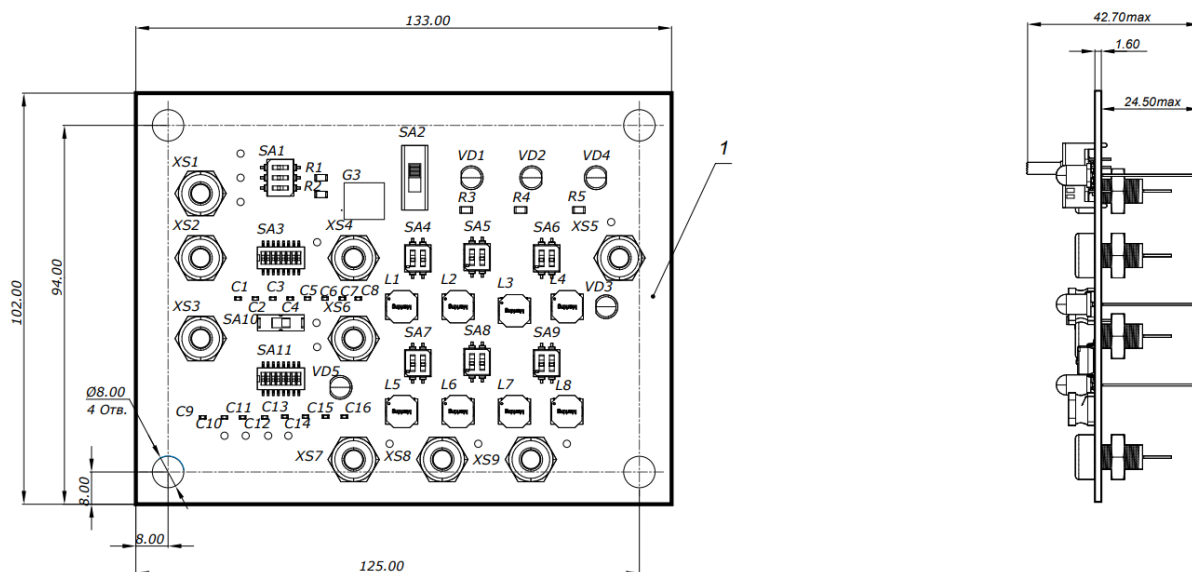


Рисунок 3.12– Фрагмент креслення ДП

Повні кресленики ДП знаходяться у додатку Б. Цих матеріалів достатньо для виготовлення ДП. Отже, у цій частині було накреслено СЕП, на основі створених бібліотек. Спроектовано друковану плату та розроблено документацію для її виготовлення.

					РІ11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

4. ПРОЕКТУВАННЯ КОРПУСУ В ПС SOLIDWORKS

Проаналізувавши модель плати, надано такі вимоги для майбутнього корпусу (Додаток А):

1. 9 отворів для гнізда типу KLS BAJ-001-NR
2. 5 отворів для світлодіодів Kingbright
3. 6 отворів для перемикачів типу 219-2MSTR
4. 2 отвори для перемикачів типу SPST 219-10MST
5. 1 отвір для перемикача DP3T EG2301
6. 1 отвір для перемикача EG1218
7. 1 отвір для перемикача 219-3LPSTR
8. Відсік для корпусу Keystone 2466
9. Пази для фіксації ДП

Для створення корпусу обрано матеріал ABS-пластик, оскільки цей матеріал широко застосовується для 3д друку. Також такий тип пластику довговічний, вологостійкий, нетоксичний за звичайних умов, та має широкий діапазон температур експлуатації від -40°C до $+90^{\circ}\text{C}$ [30].

Створення корпусу відбувається поетапно. Спочатку створюється кожна деталь збірки окремо. Далі проводиться експортування 3д-моделі ДП з середовища Altium Designer у середовище Solidworks. Після чого деталі компонуються у єдиний вибір [29].

Отже, на початку роботи, спроектовано модель накривки (рис.4.1), враховуючи всі вищевказані умови.

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

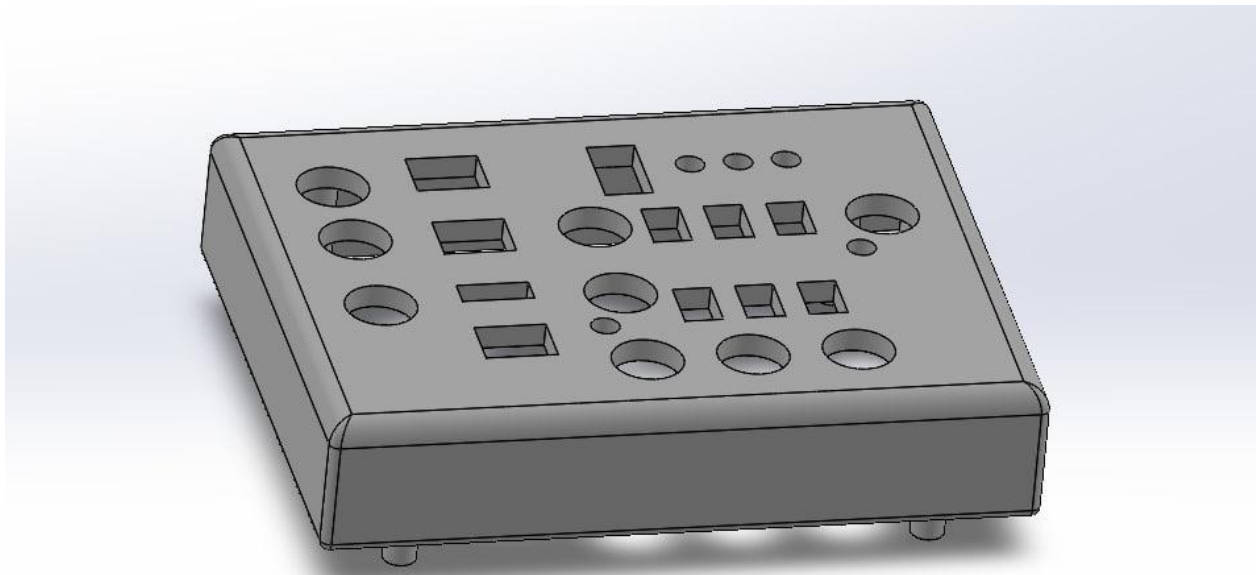


Рисунок 4.1 – Накривка для корпусу лабораторної установки

Підібрані діаметри необхідних отворів, створено пази для фіксації ДП. Також додатково нанесено гравіювання з умовними позначеннями основних елементів схеми поруч з отворами, що призначені для перемикачів між номіналами даних елементів, та типів паралельних коливальних контурів, біля отворів для відповідних світлодіодів (рис.4.2).

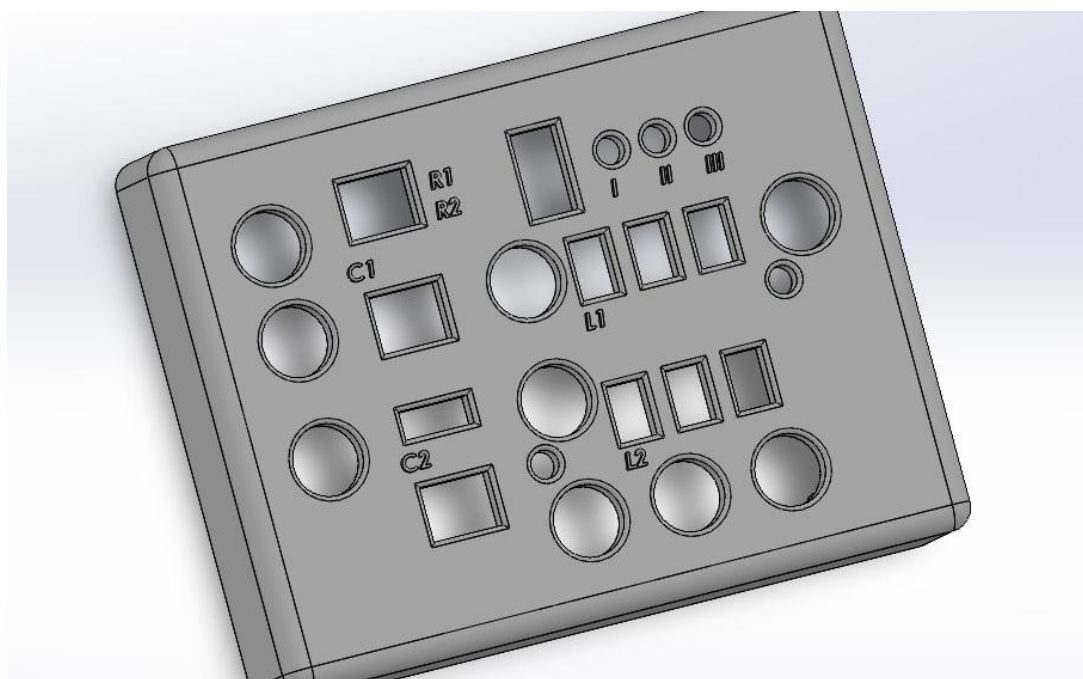


Рисунок 4.2 – Гравіювання на накривці корпусу

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Виконано корпус з отвором під відсік для батарейок (рис.4.3).Для точного розміщення ДП всередині корпусу, проектування останнього виконано з урахуванням допусків у 2-5 мм. Повні кресленики частин корпусу у Додатку Б. ДП фіксуватиметься у корпусі за допомогою 4 пазів, що, у свою чергу, вставлятимуться у призначені отвори на ДП.

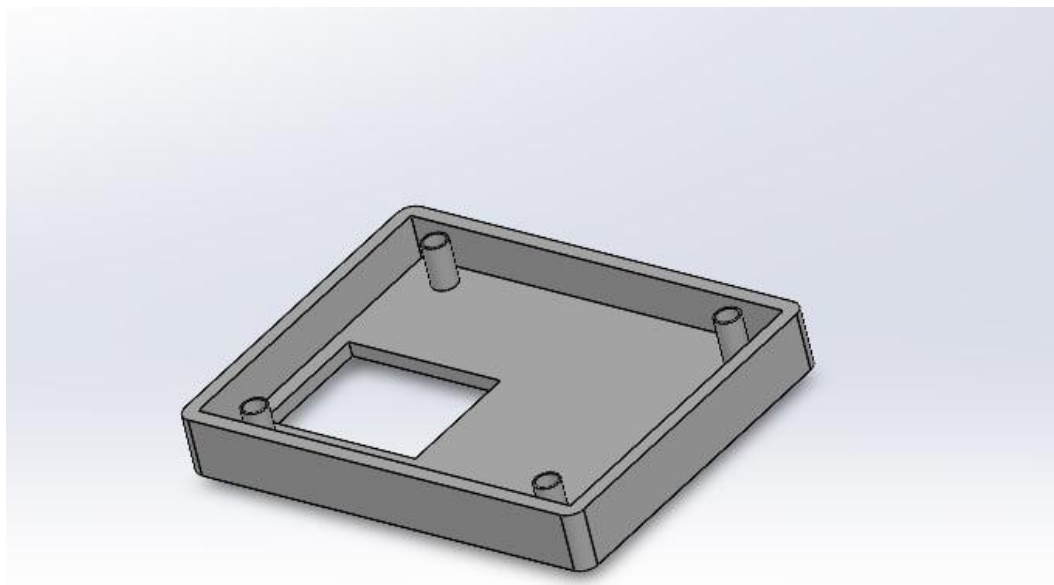


Рисунок 4.3 – Корпус лабораторної установки

Останньою деталлю є накривка для відсіку під Keystone 2466, зображення створеної деталі на рисунку 4.4. Вона фіксується на корпусі за допомогою пазів.

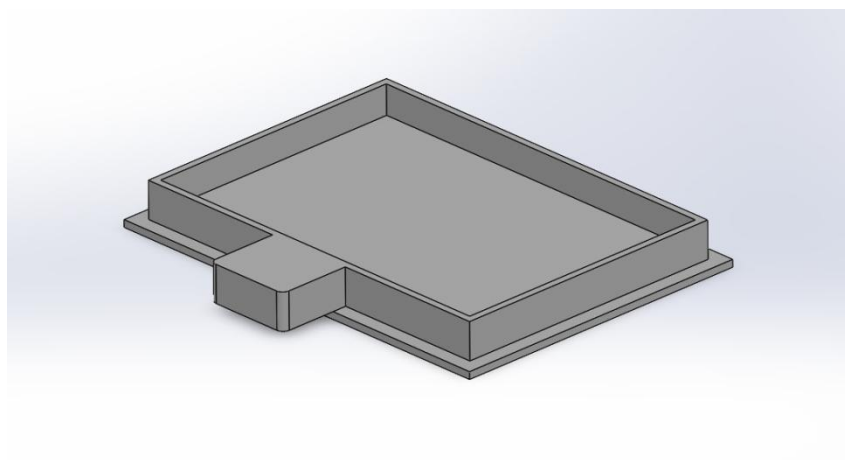


Рисунок 4.4 – Накривка для корпусу Keystone 2466

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Після проектування кожної деталі окремо, експортується 3д-модель ДП, та проводиться збірка деталей. Збірка виконана за допомогою прив'язок між деталями [29]. Рознесення лабораторної установки зображено на рисунку 4.5. Зібраний варіант можна побачити на рисунку 4.6.

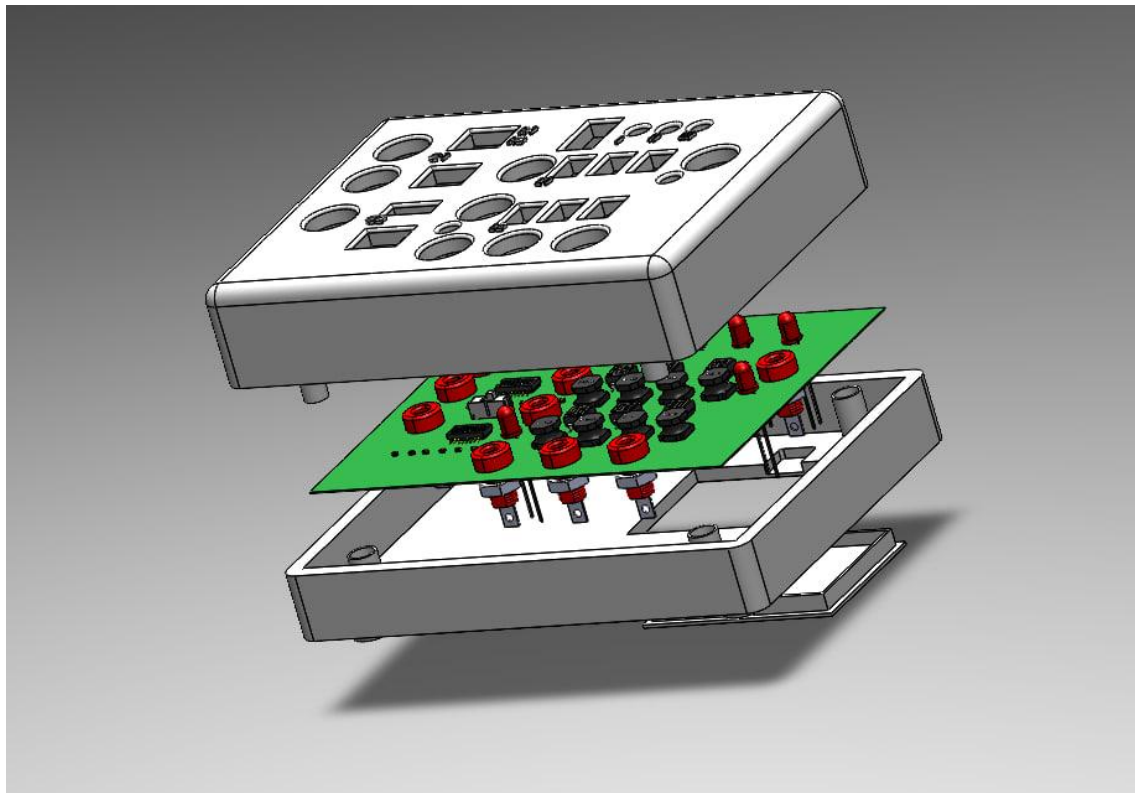


Рисунок 4.5 – Корпус лабораторної установки з ДП у розібраному вигляді.

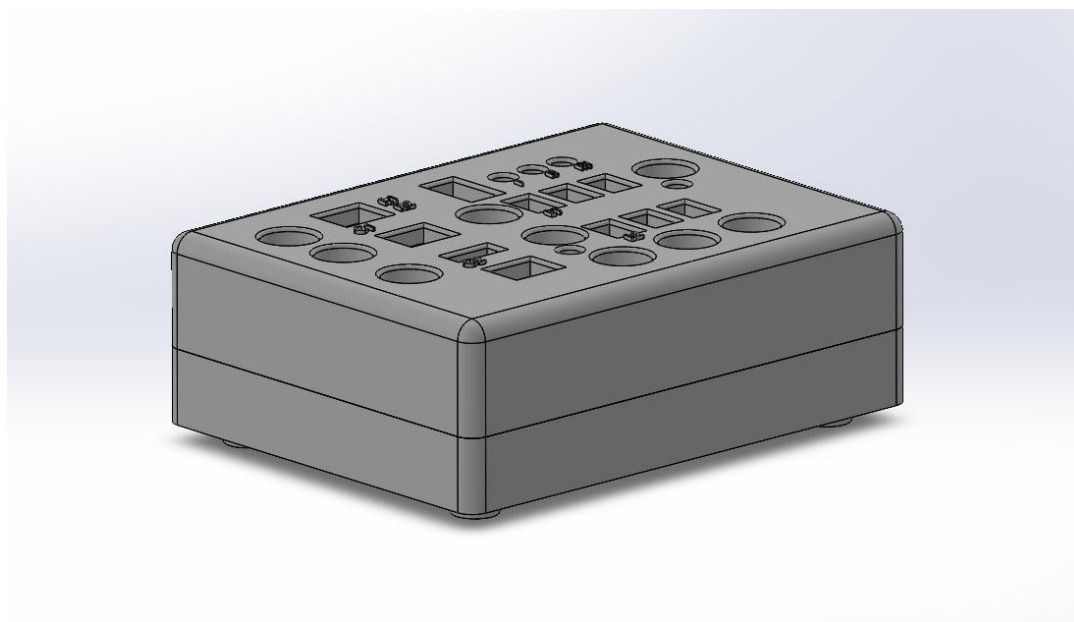


Рисунок 4.6 – Зібраний вигляд корпусу лабораторної установки

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті було розроблено модуль паралельних коливальних контурів, що призначений для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Основи теорії кіл».

У роботі було розроблено та спроектовано схему електричну принципову у програмі Multisim. Також було обрано сучасну елементу базу для проектування схеми. У програмі Altium Designer була спроектована плата модуля паралельних контурів із бібліотекою необхідних компонентів із габаритними розмірами 103X133 мм. На її основі було створена схема електрична принципова із відповідним переліком елементів у вигляді специфікації. Для зручності роботи із макетом було додано LED-індикацію у вигляді світлодіодів: зеленій для контуру I-го виду, жовті – для контуру II-го виду та червоні – для III-го виду.

Також було розроблено корпус товщиною 5 мм для модуля та спроектованого його тривимірну модель у Solidworks із габаритними розмірами 115X150X55. Для корпусу обрано матеріал ABS-пластик. Була розроблена технічна документація та креслення. Отримані результати задовольняють вимоги, висунуті в ТЗ до дипломного проекту.

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Voloshko S.V. Frequency-selective electric circuits: study manual for students / S.V. Voloshko, Y.O. Zhyvylo, H.V. Holovko – Poltava: National University “Yury Kondratyuk Poltava Polytechnic”, 2023. – 92 p.
2. Основи теорії кіл. Лабораторний практикум. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка / А. В. Булашенко, М.Ф. Мхейн; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл 2,21 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – g70с.
3. Основи теорії кіл. Розрахунок поодиноких контурів. Практикум. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка / А. В. Булашенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл 1.48 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 62с.
4. Mouser Europe [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://eu.mouser.com/>.
5. DigiKey [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/>.
6. SnapMagic Search [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.snapeda.com/>.
7. Резистор 100 кОм RC1206FR-07100KL Yageo [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.snapeda.com/parts/RC1206FR-07100KL/Yageo/view-part/?ref=search&t=RC1206FR-07100KL&ab_test_case=b
8. Резистор 1 МОм RC1206FR-071ML Yageo [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.snapeda.com/parts/RC1206FR-071ML/Yageo/view-part/?ref=search&t=RC1206FR-071ML&ab_test_case=a

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

9. Резистор 130 Ом RC1206FR-07130RL Yageo [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.snapeda.com/parts/RC1206FR-07130RL/Yageo/view-part/?ref=search&t=RC1206FR-07130RL&ab_test_case=a
10. Резистор 33 Ом RC1206FR-0733R2L Yageo [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.snapeda.com/parts/RC1206FR-0733R2L/Yageo/view-part/?ref=search&t=RC1206FR-0733R2L&ab_test_case=b
11. Резистор 25 Ом RC1206FR-071ML Yageo [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: RC1206FR-0725R5L
12. Конденсатор 1 нФ GRM1885C1H102JA0 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.snapeda.com/parts/GRM1885C1H102JA01D/Murata/view-part/?ref=search&t=GRM1885C1H102JA01%20&ab_test_case=a
13. Дросель 2,2 мГн 2074404086222 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.snapeda.com/parts/74404086222/W%C3%BCrth%20Elektronik/view-part/?ref=search&t=WE-PD2%2074404086222&ab_test_case=a
14. LED-діод [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.snapeda.com/parts/WP7113LGD/Kingbright/view-part/?ref=search&t=Kingbright%20WP7113GD&ab_test_case=a
15. LED-діод [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.snapeda.com/parts/WP7113SYC/Kingbright/view-part/?ref=search&t=Kingbright%20WP7113SYD%20&ab_test_case=a
16. LED-діод [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.snapeda.com/parts/WP7113ID/Kingbright/view-part/?ref=search&t=Kingbright%20WP7113ID%20&ab_test_case=a
17. Перемикач 2-6 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.snapeda.com/parts/EG2301B/E-Switch/view-part/?ref=search&t=Slide%20Switch%20DP3T%20EG2301%20&ab_test_case=a

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

- 18.Перемикач 1-2 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.snapeda.com/parts/EG1218/E-Switch/view-part/?ref=search&t=Slide%20Switch%20EG1218%20&ab_test_case=a
- 19.Перемикач 3-3 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.snapeda.com/parts/219-3LPSTR/CTS%20Electrocomponents/view-part/?ref=search&t=%20219-3LPSTR%20&ab_test_case=a
- 20.Перемикач 8-8 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.snapeda.com/parts/DS05-127-2-08BK-SMT-TR/Same%20Sky/view-part/?ref=search&t=DS05-127-2-08BK-SMT-TR%20>
- 21.Перемикач 2-2 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.snapeda.com/parts/219-2MSTR/CTS%20Electrocomponents/view-part/?ref=search&t=%20219-2MSTR&ab_test_case=a
- 22.Гніздо banana [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/hnizdo-banan-2-mm-chervonyi-baj-001-nr_151222.html
- 23.Відсік під батарейки AA [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/vidsik-dlia-batareiok-4-aa-vidkr-l-cls5-809-b_56662.html
- 24.Altium designer уроки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.youtube.com/watch?v=LDVRicIWQmU&list=PLHBrByPofbA7_Z_YejNfsCJ1sA-ISrdEq
- 25.PCB Directory [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.pcbdirectory.com/community/what-is-pcb-ground-plane>.
- 26.Виготовлення друкованих плат [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.verikom.kiev.ua/uk/services/izgotovlenie-uk/>
- 27.Калькулятор ширини доріжки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://greatpcb.com/ru/pcb-trace-width-calculator-how-to-use/>

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

28. What is PCB Ground Plane and How is it used in Your Design? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://absolutepcbassembly.com/what-is-pcb-ground-plane/>.
29. Solidworks tutorial for beginners #1 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.youtube.com/watch?v=Ultrc_2p4DY&list=PLrOFa8sDv6jcp8E3ayUFZ4iNI8uuPjXHe
30. Центр 3д-друку в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://easy3dprint.com.ua/>.
31. Бакалаврська кваліфікаційна робота. Рекомендації до виконання, оформлення і захисту [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи» спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. В. О. Піддубний. – Електронні текстові дані (1 файл: 537,36 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 29 с.
32. Основи теорії кіл: Підручник для вищих навчальних закладів. Ч.1 / Ю. А. Коваль, Л. В. Гринченко, І.О. Милютченко, О. І. Рибін / за заг. ред. В.М. Шокола, В. І. Правди. – Харків: Компанія СМІТ, 2008 – 432 с.

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

ПОГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖЕНО

ст. викл., к.т.н. Булашенко А.В.

(керівник)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ
«Модуль паралельних коливальних контурів»

Київ – 2025

1. НАЗВА І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

Назва переддипломного проекту «Модуль паралельних коливальних контурів».

Підставою для виконання є завдання, видане кафедрою радіоінженерії від «01» листопада 2024 року.

2. МЕТА ВИКОНАННЯ КР І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

Метою дипломного проекту є розробка модуля паралельних коливальних контурів. Пристрій призначений для виконання лабораторної роботи.

3. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

3.1 Призначення

Напруга живлення LED-індикації: 5 В; Частотний діапазон: 20-200 кГц;

Управління: модуль повинен мати гнізда для підключення генератора, осцилографа та вольтметра.

Стійкість до зовнішніх впливів і чинників. Кліматичні вимоги УХЛЗ.3 згідно ГОСТ 15150-69.

Захист від механічних впливів Н7 згідно ГОСТ 16019-2001.

3.2 Надійності

Середній час безвідмовної роботи від 20000 до 120000 годин.

Ймовірність безвідмовної роботи протягом 1000 годин не менше 0,95. Середній строк служби не менше 1-го року.

3.3 Конструкції

Прилад може мати форму прямокутного паралелепіпеда. Наявність портів для підключення вимірювальної апаратури. Наявність відсіку для батарейок типу АА.

Наявність перемикачів.

Габаритні параметри, Ш×Д×В, не більше, мм: 140×180×100. Маса: не більше 1 кг.

3.4 Уніфікації і стандартизації

Використовувати уніфіковану та стандартизовану елементну та матеріальну базу.

3.5 Дизайну, ергономіки та технічної естетики

Прилад повинен зовнішньо бути схожим на коробку. Колір корпусу сірий.

3.6 Експлуатації, зручності технічного обслуговування та ремонту
Технічний обслуговування проводиться за потреби.

Кліматичне виконання виробу - УХЛЗ.3 (згідно ГОСТ 15150-69):

робоча температура в межах від +400С до -10 0С;

тільки для закритих приміщень, де відсутня регулювання температури повітря.

Приміщення повинно бути сухим, не курним.

3.7 Безпеки для життя, здоров'я і майна громадян та охорони довкілля

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

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

3.8 Транспортування і зберігання

Умови транспортування згідно ГОСТ 2321678.

Зберігання: за ГОСТ 15150-69.

3.9 Якості і технічного рівня

Відповідає світовому рівню.

3.10 Вимоги до сировини, матеріалів і пкв

Вибір пластику (ABS) матеріалу для корпусу.

4. ВИМОГИ ДО КОНСЕРВАЦІЇ, ПАКУВАННЯ І МАРКУВАННЯ

Маркування: маркування біля отворів для перемикачів та LED-діодів.

Пакування: апаратуру необхідно загорнути в бульбашко-повітряну плівку і помістити в картонну коробку.

Консервація: не передбачено.

5. ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація оформлюється згідно ДСТУ 3008:2005. Конструкторська документація має містити у своєму складі:

ПЗ, перелік елементів, специфікація на розроблену друковану плату.
Графічну документацію. Загальний обсяг має становити мінімум 3 листа А1. Це – схемалектрична принципова, креслення

друкованих плат, складальне креслення друкованих вузлів, інструкція до пристрою.

6. ОРІЄНТОВНИЙ ЗМІСТ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

- Титульний лист
- Завдання на дипломний проект
- Зміст
- Вступ
- Аналіз схеми
- Вибір та обґрунтування схемотехнічних рішень
- Вибір та обґрунтування елементної бази
- Проектування ДП
- Проектування корпусу
- Висновки
- Перелік літератури
- Додаток А Технічне завдання
- Додаток Б Специфікація
- Додаток В Елементи плати

7. ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Дипломний проект виконується в 7 етапів.

Таблиця 1 – етапи Дипломного проекту

№	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	01 листопада 2024	Розділ 1
2	Розробка та аналіз ТЗ	01 грудня 2024	Розділ 1
3	Обґрунтування та вибір схемотехнічних рішень	15 грудня 2024	Розділ 2
4	Вибір та обґрунтування елементної бази	01 березень 2025	Розділ 2
5	Проектування друкованої плати та корпусу	01 квітня 2025	Розділ 3
6	Розрахунки, що підтверджують адекватність	01 травня 2025	Розділ 3
7	Оформлення документації	15 травня 2025	Креслення додатки

8. ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ І МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ ПІД ЧАС ЗАКІНЧЕННЯ ЕТАПІВ І ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ В ЦІЛОМУ

Матеріали, які являються проміжними, подаються в вигляді розділів дипломного проекту на перевірку в зазначені терміни. Після закінчення виконання дипломного проекту, цей проект представляється і захищається комісії.

Виконавець



Софія БІБІКОВА

Керівник



Андрій БУЛАШЕНКО

ДОДАТОК Б

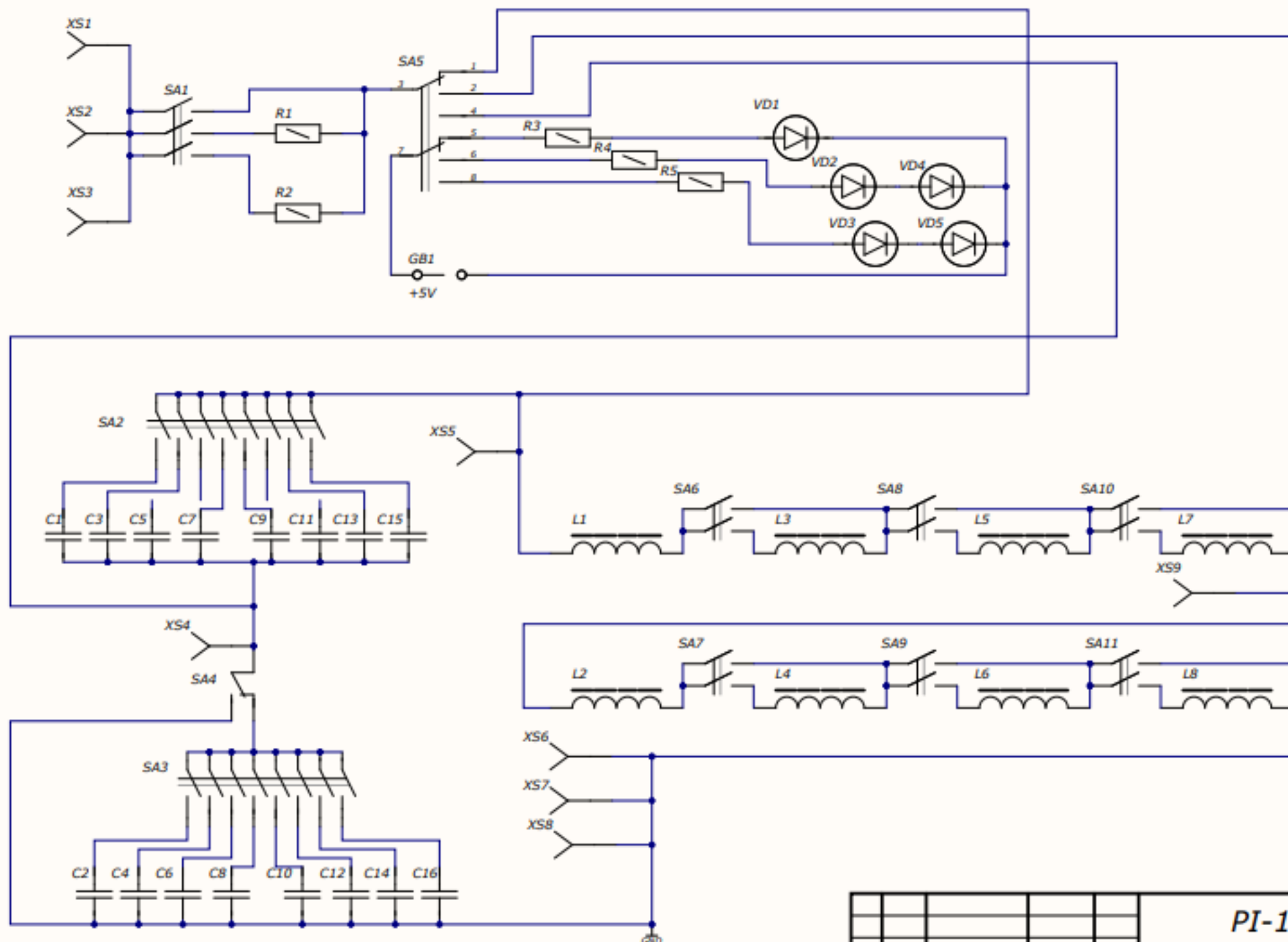
Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Прим.		
				Документація				
			PI11.411259.001 СК	Складальний кресленик				
A4			PI11.411259.001 ПЗ	Пояснювальна записка	1			
			PI11.741428.001 ТМ1	Машинна таблиця	1			
				(Зд-друк. Накривка)	1			
			PI11.741428.001 ТМ2	Машинна таблиця				
				(Маркування. Накривка)	1			
			PI11.741428.002 ТМ1	Машинна таблиця				
				(Зд-друк. Корпус)	1			
			PI11.741428.003 ТМ1	Машинна таблиця				
				(Зд-друк. Відсік)	1			
				Складальні одиниці				
A3		1	PI11.411259.001 СК	Друкований вузол	1			
				Деталі				
A3			PI11.741428.001	Накривка	1			
A3			PI11.741428.002	Корпус	1			
A3			PI11.741428.003	Відсік	1			
Зм	Ар к	№ докум.	Підп	Дата				
Розроб.	Бібікова				Модуль паралельні коливальні контури	Лім.	Аркуш	Аркуші
Перев	Булашенко						1	1
Т.конт						РТФ		
Н.конт	Попсуй							
Затв								

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Прим.
				<u>Документація</u>		
A3			PI11.411259.002 СК	Складальний кресленик		
				плати		
A3			PI11.411259.001 ЕЗ	Схема електрична	1	
				принципова		
A4			PI11.411259.001 ПЕ	Перелік елементів		
			PI11.758752.001 ТМ1	Машинна таблиця		
				(Gerber)		
				<u>Деталі</u>		
		1	PI11.758752.001	Друкована плата	1	
				<u>Інші вироби</u>		
				Резистор 100 кОм		
				1%, 0,25 Вт	1	R1
				Резистор 1 МОм		
				1%, 0,25 Вт	1	R2
Зм	Ар	№ докум.	Підп	Дата	PI11.411259.002	
Розроб.		Бібікова С.Ю.	<i>С.Ю. Бібікова</i>			
Перев		Булашенко А.В.	<i>А.В. Булашенко</i>		Друкований вузол	Арку
Т.конт						1
Н.конт						2
Затв						
					НТУУ «КПІ», РТФ	

Форм.	Зона	Поз.	Позначення			Найменування	Кількість	Прим.
						Резистор 130 кОм		
						1%, 0,25 Вт	1	R3
						Резистор 33,3 кОм		
						1%, 0,25 Вт	1	R4
						Резистор 25,5 кОм		
						1%, 0,25 Вт	1	R5
						Конденсатор 1 нФ		
						C0G (NP0), ±5%	16	C1-16
						Дросель 2.2 мГн,		
						310 мА, 20 %	8	L1-8
						Світлодіод WP7113GD	1	VD1
						Світлодіод WP7113SYD	2	VD2-3
						Світлодіод WP7113ID	2	VD4-5
						Перемикач 219-3LPSTR	1	SA1
						Перемикач EG2301	1	SA2
						Перемикач 08BK-SMT-TR	2	SA3-4
						Перемикач EG1218	1	SA5
						Перемикач 219-2MSTR	6	SA6-13
						Гніздо BAJ-001-NR	9	XS9
						Відсік Keystone 2466	1	GB1
						<u>Матеріали</u>		
						Мідний провід ПВ-3		
						Припій ПОС-61		
						PI11.411259.002		2
Зм	Ар	№ докум.			Підп	Дата		

PI-11.411259.001 E3

PI-11.411259.001 E3



					PI-11.411259.001 E3				
					Модуль паралельні коливальні контури Схема електрична принципова	Літ.	Маса	Масштаб	
Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.	Бібікова								
Перев.	Булашенко								
Т. контр.						Лист	Листів 1		
Н. контр.						НТУУ "КПІ" ім. І.Сікорського			
Затв.									

Копіював:

Формат А3

Замв. *

Копіював

Формат А3

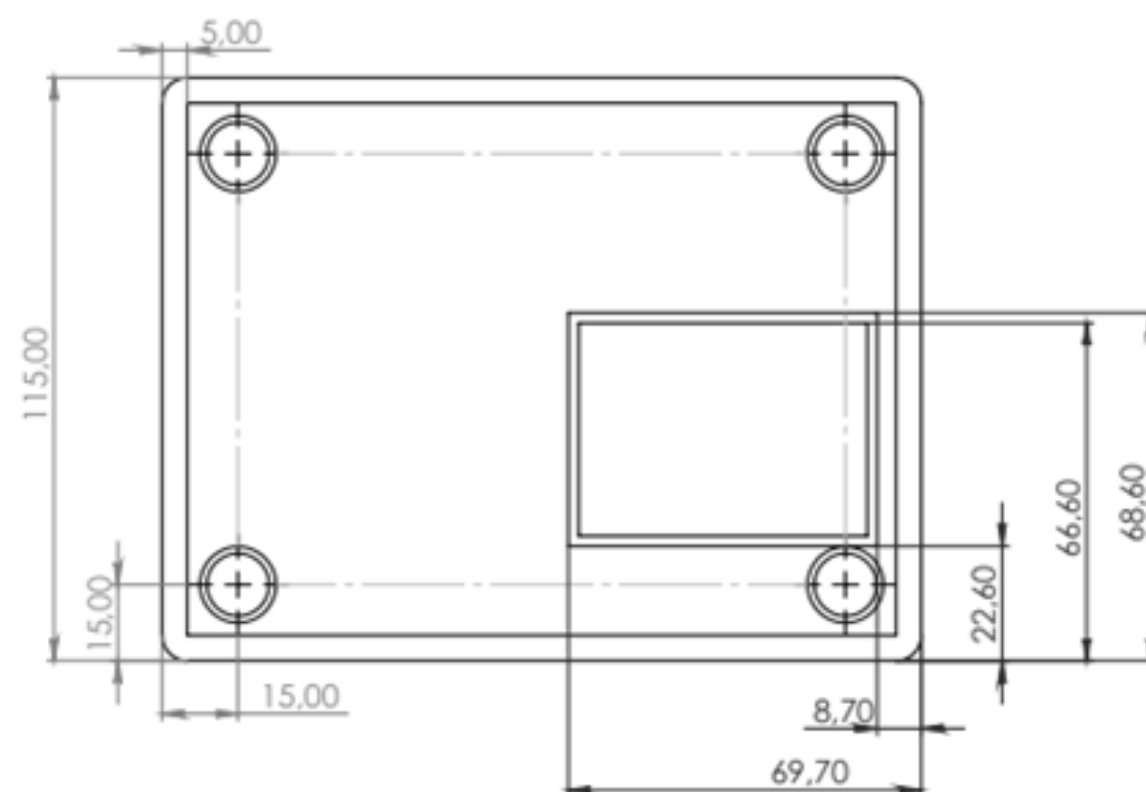
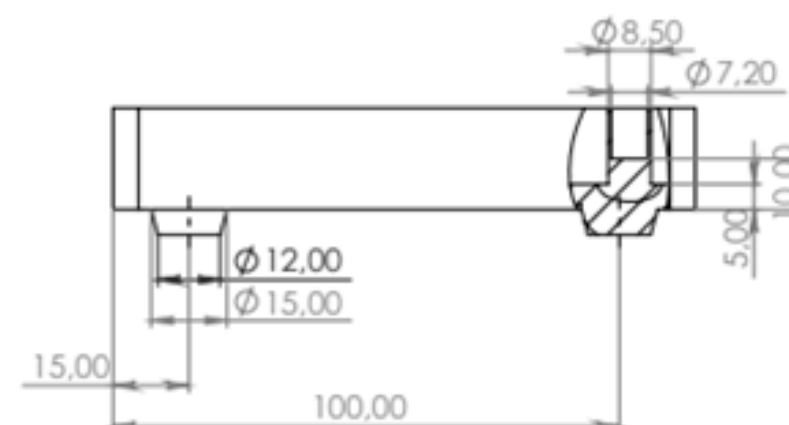
Позн.		Найменування			Кі л.	Примітки			
		Резистори							
R1		RC1206FR-07100KL – Yageo, 100 кОм, 1%,			1				
R2		RC1206FR-071ML – Yageo, 1Мом, 1%, 0,25			1				
R3		RC1206FR-07130RL – Yageo, 130 Ом, 1%,			1				
R4		RC1206FR-0733R2L – Yageo, 33,2Ом, 0,25			1				
R5		RC1206FR-0725R5L – Yageo, 25,5 Ом, 0,25			1				
		Конденсатори							
C1-16		GRM1885C1H102JA01- Murata, 1нФ, C0G			16				
		Індуктивності							
L1-8		WE-PD2 74404086222- Würth Elektronik, 2,2			8				
		Світлодіоди							
VD1		Kingbright WP7113GD – зелений колір, 20			1				
VD2-3		Kingbright WP7113SYD– жовтий колір, 20			2				
VD4-5		Kingbright WP7113ID – червоний колір, 20			2				
		Перемикачі							
SA1		CTS, Dip Switch, 219-3LPSTR, перемикач 3-			1				
SA2		E-switch, Slide Switch, DP3T EG2301,			1				
					PI11.411259.001 ПЕ				
3	Арк.	Недокум.	Під	Дата					
Розробив		Бібікова			Модуль паралельні коливальні контури. Перелік елементів.		Лім.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Булашенко						1	2
Реценз.							КПІ ім. Ігоря Сікорського, РТФ		
Н. Контр									
Затверд.									

[illegible]

						PI11.741428.001					
						Друкована палата Накривка FR4 ISO9001:2008 ABS пластик ISO 1043-1:2011			Літ.	Маса	Масштаб
Зм.	Лист	№ докум.	Вид.	Дата							2:1
Розроб.	Бібікова										
Перев.	Булашенко										
Т. контр.									Лист	Листів	
						НТУУ "КПІ", РТФ					
Н. контр.	Попсуй										
Затв.											

PI11.741428.002

✓ Rz 20(✓)



Розміри для довідок
1. Інформація по виготовленню у PI11.741428.002 ТМ1.
2. Н12, h12, ± IT12/2.
3. Інші технічні вимоги по ОСТ4.ГО.070.014.

					PI11.741428.002				
					Корпус	Лит.		Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					2:1
Разраб.	Бібікова								
Пров.	Булашенко								
Т. контр.									
						Лист		Листов	
Н. контр.	Попсуй				ABS пластик ISO 1043-1:2011	НТУУ "КПІ", РТФ			
Утв.									

ДОДАТОК В

Вартість елементів

Тип компоненту, номінал	Найменування компоненту	Ринкова ціна, за шт., грн	Кількість компонентів
Резистор 100 кОм	RC1206FR-07100KL	0,6	1
Резистор 1 МОм	RC1206FR-071ML	0,5	1
Резистор 130 Ом	RC1206FR-07130RL	2,24	1
Резистор 33 Ом	RC1206FR-0733R2L	0,84	1
Резистор 25 Ом	RC1206FR-0725R5L	0,84	1
Конденсатор 1 нФ	GRM1885C1H102JA01	0,42	18
Індуктивність 2,2 мГн	WE-PD2 <u>74404086222</u>	36,9	8
Світлодіод червоний	Kingbright WP7113ID	3,76	2
Світлодіод зелений	Kingbright WP7113GD	3,76	1
Світлодіод жовтий	Kingbright WP7113SYD	3,76	2
Перемикач Slide Switch DP3T	DP3T EG2301	27,82	1
Перемикач Slide Switch	EG1218	21,57	1

EG1218			
Перемикач Dip Switch	Dip Switch 219- 3LPSTR	20,34	1
Перемикач SMT-TR	DS05-127-2-08BK- SMT-TR	44,8	2
Перемикач Dip Switch	Dip Switch 219- 2MSTR	17,85	6
Гніздо типу банан	KLS BAJ-001-NR	9	10
Корпус для батарейок AA	Keystone 2466	63,9	1
Друкована плата	Розмір: 103 мм на 133 мм, двостороння, FR-4	440,52	1
Повна ціна елементів та плати		1116,49	