

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоінженерії

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЛІТВІНЦЕВ

«__» _____ 2025 р.

Дипломний проєкт


на здобуття ступеня бакалавра за освітньою програмою
«Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»
спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
на тему: «Модуль зв'язаних коливальних контурів»

Виконав:
студент IV курсу, групи PI-01
Пафик Олександр Сергійович

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

Рецензент:
ст. викл., к.т.н.
Вишневий Сергій Валерійович





Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) 

Київ 2025

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	56	
3	A4	PI11.411259.001 ПЗ	Специфікація на пристрій	1	
4	A3	PI11.411259.001 СК	Складальний кресленик пристрою	1	
5	A4	PI11.411259.001	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	
8	A4	PI11.411259.001 ПЕ	Перелік елементів	1	
9	A3	PI11.758723.001	Друкована плата	1	
10	A3	PI11.748755.001	Накривка	1	
11	A3	PI11.748755.002	Корпус	1	

				PI11.411259.001	
	ПІБ	Підп.	Дата		
Розробн.	Пафик О.С.			Лист	Листів
Керівн.	Булашенко А.В.			1	1
Консульт.				Модуль зв'язаних коливальних контурів 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

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЛІТВИНЦЕВ

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проекту «Модуль зв'язаних коливальних контурів», керівник проекту Булашенко Андрій Васильович, ст. викл., к.т.н., затверджені наказом по університету від «29» травня 2025 р. №1840-с.
 2. Термін подання студентом проекту: «16» червня 2025 року.
 3. Вихідні дані до проекту: спроектувати модуль зв'язаних коливальних контурів відповідно до розробленої схеми в робочому діапазоні частот 50-300 кГц з можливістю регулювання номіналів елементів схеми; провести аналіз елементної бази, оформити необхідну конструкторську документацію та виготовити друковану плату; спроектувати модель друкованої плати та модель корпусу у вигляді відповідних файлів, необхідних для виготовлення; друковані плати розмірами не більше 90x200мм.
 4. Зміст пояснювальної записки: вступ; вибір елементної бази; проектування та перевірка схеми в Multisim; створення друкованої плати в Altium Designer та проектування корпусу у SolidWorks.
-

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): схема електрична принципова, специфікації, складальні кресленики плати та корпусу, перелік елементів, презентація в PowerPoint.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 01 листопада 2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Аналіз наявної схеми	01 листопада 2024	Виконано
2.	Розрахунок нової схеми та вибір елементів	01 грудня 2024	Виконано
3.	Проектування схеми та вимірювання її характеристик	05 січня 2025 р.	Виконано
4.	Розробка схеми в Altium Designer та оформлення конструкторської документації	01 лютого 2025 р.	Виконано
5.	Проектування корпусу до плати в SolidWorks	01 квітня 2025 р.	Виконано
6.	Підготовка файлів для виготовлення плати та корпусу	15 травня 2025 р.	Виконано
7.	Оформлення документації (пояснювальної записки та презентації)	15 червня 2025 р.	Виконано

Студент

Олександр ПАФІК

Керівник

Андрій БУЛАШЕНКО

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект складається з пояснювальної записки обсягом 55 сторінок, що містить 42 ілюстрацій, 4 таблиць, 5 креслень, 4 додатків та 28 посилань.

Метою даного дипломного проекту є розробка прототипу модуля зв'язаного коливального контуру. Модуль складається із друкованої плати та корпусу виробу. Модуль планується використовуватися в лабораторних роботах з дисципліни “Процеси в лінійних електронних схемах.

Для виконання проекту був здійснений аналіз сучасної елементної бази для схеми, що була розроблена та здійсненна розводка друкованої плати та проектування корпусу модулю.

Ключові слова: модуль зв'язаних контурів, друкована плата, частотні характеристики.

ANOTATION

The diploma project consists of an explanatory note comprising 55 pages, which includes 42 illustrations, 4 tables, 5 drawings, 4 appendices, and 28 references.

The purpose of this diploma project is to develop a prototype of a coupled resonant circuit module. The module consists of a printed circuit board and a product casing. It is intended to be used in laboratory work for the course “Processes in Linear Electronic Circuits.”

To complete the project, an analysis of the modern component base for the circuit was carried out, the printed circuit board was designed and routed, and the module casing was developed.

Keywords: coupled resonant circuit unit, printed circuit board, frequency characteristics.

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Модль зв'язаних коливальних контурів»

Київ – 2025 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	2
ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ	4
1.1 Моделювання плати в програмному середовищі Multisim	4
1.2 Розрахунок схеми за варіантом	8
РОЗДІЛ 2. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ.....	16
2.1 Таблиця з переліком використаних елементів.....	16
2.2 Детальний опис елементів.....	16
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ТА КОРПУСА.....	39
3.1 Створення бібліотеки елементів	39
3.2 Створення електричної принципової схеми	40
3.3 Розміри друкованої плати	42
3.4 Трасування друкованої плати	42
3.5 Проектування корпусу	48
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	53
ДОДАТОК А.....	57
ДОДАТОК Б	62
ДОДАТОК В.....	79

					<i>PI11.411259.001 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Пафик			Модуль зв'язаних коливальних контурів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		Булашенко					1	56
<i>Н. Контр.</i>					<i>РТФ</i>			
<i>Затверд.</i>		Булашенко						

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЧХ — Амплітудно-частотна характеристика

ДП — Друкована плата

ПЛЕС — Процеси в лінійних електронних схемах

РСВ — Printed Circuit Board

ФЧХ – фазо-частотна характеристика

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В наш час, особливо під час війни, наявність кваліфікованих спеціалістів є дуже необхідною задачею. Дуже важливий внесок у розвиток військової промисловості вносять фахівці у сфері сучасної радіотехніки, що дозволяють організувати виробництво радіоелектронних засобів цивільного та військового призначення. Якісне навчання є важливою складовою підготовки першокласних спеціалістів, що можуть виконувати необхідні задачі. Важливою задачею в радіоелектроніці є вибірність, тобто виділення із набору частот потрібної частоти [26]. Таку задачу виконують поодинокі та зв'язані коливальні контури [1].

На сьогодні ще не всі лабораторії радіотехнічного факультету обладнані сучасним обладнанням, яке б дозволило студентам легко та цікаво розвиватись як радіоінженер. Це пов'язано з неналежним державним фінансуванням системи вищої освіти України в цілому, що є не припустимо для розвитку будь-якої держави. Тому для оновлення лабораторного практикуму з дисципліни «Процеси в лінійних електричних схемах» було розроблено новий модуль зв'язаних коливальних контурів на сучасній елементній базі. Такий модуль дозволить студентам на практиці працювати із макетом зв'язаних коливальних контурів з автотрансформаторним (кондуктивним) або внутрішньоіндуктивним зв'язком згідно класифікації джерела [27].

					РІ11.411259.001 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

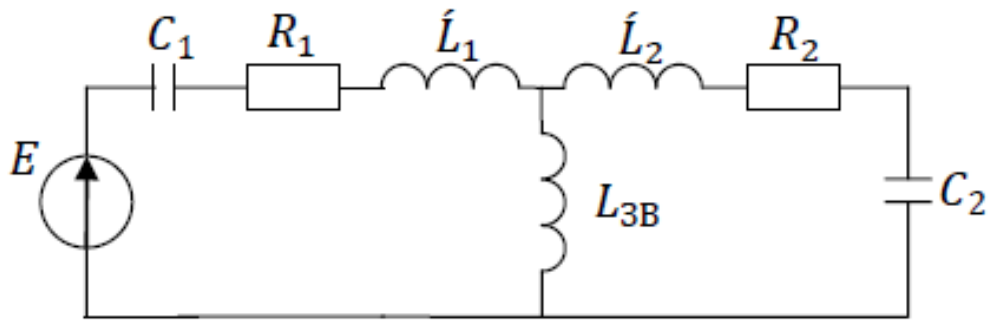


Рисунок 1.1 – Схема із автотрансформаторним, або кондуктивним зв'язком [1]

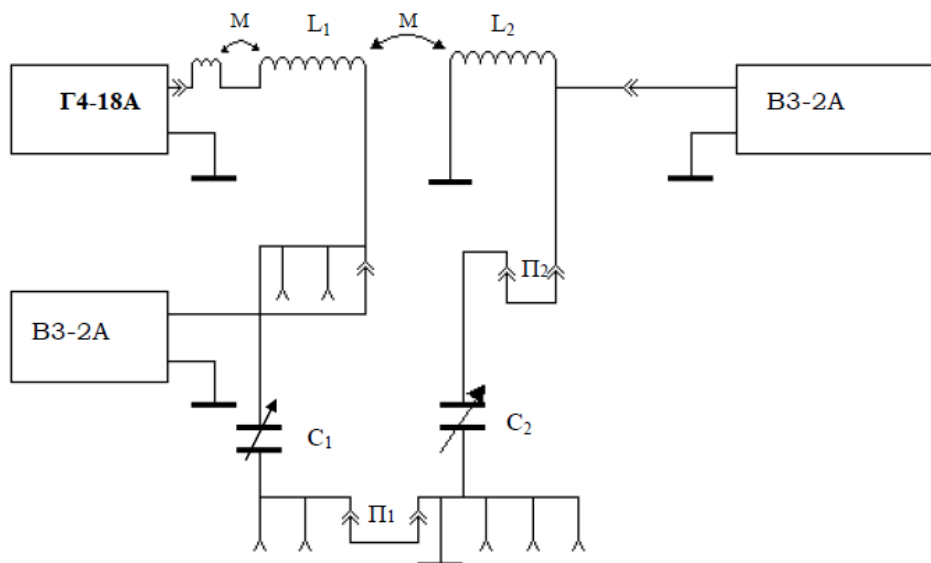


Рисунок 1.2 – Схема із трансформаторним зв'язком [1]

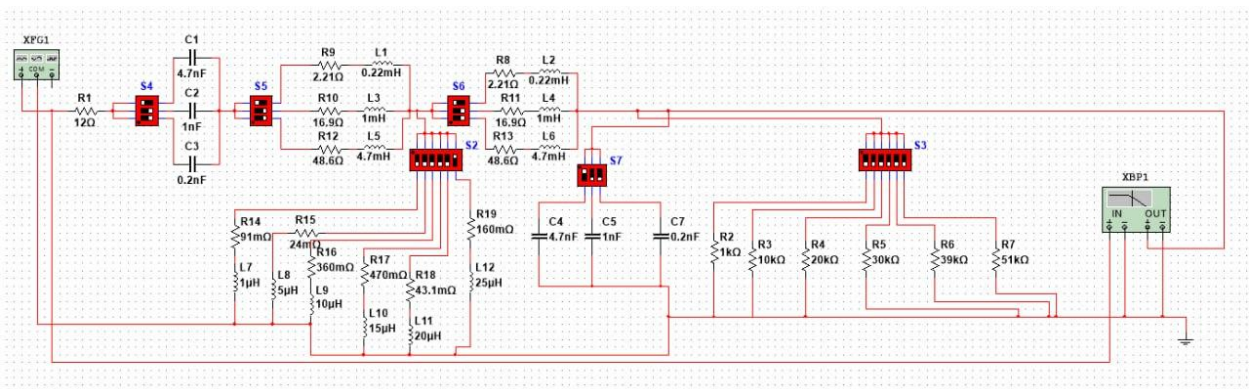


Рисунок 1.3 – Схема модуля зв'язаних коливальних контурів у програмному середовищі Multisim

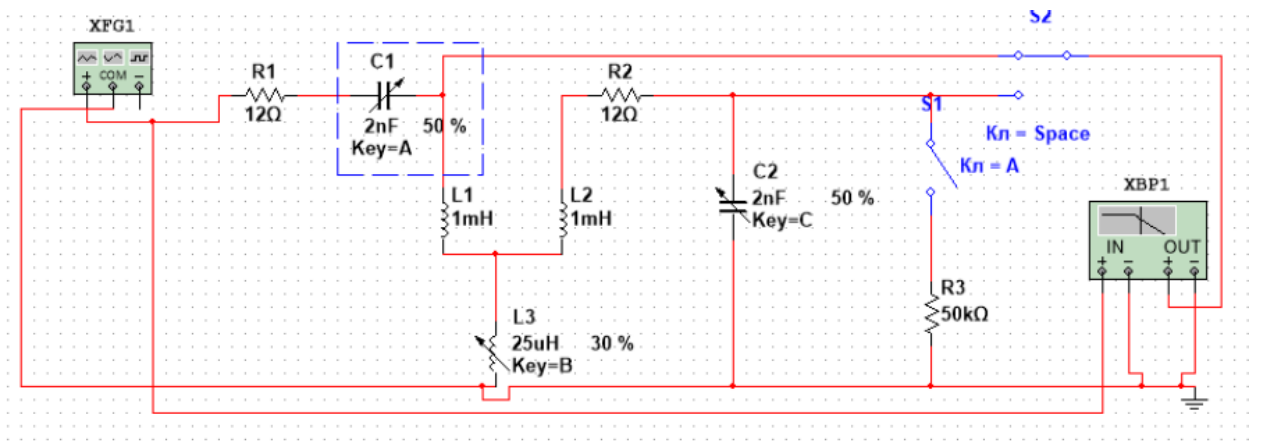


Рисунок 1.4 – Схема модуля зв'язаних коливальних контурів старого зразка у програмному середовищі Multisim

Розглянемо будову схеми. Схема має два блоки ємностей в першому та другому коливальному контурі (рис.1.3 а,б), які дозволяють зменшувати та збільшувати резонансну частоту відповідно до завдання. Також схема має два блоки індуктивностей (рис 1.4 а,б), які також дозволяють коригувати резонансну частоту та коефіцієнт зв'язку. На рис 1.5 представлений блок індуктивностей зв'язку, які переносять енергію з первинного у вторинний контур і впливають на коефіцієнт зв'язку.

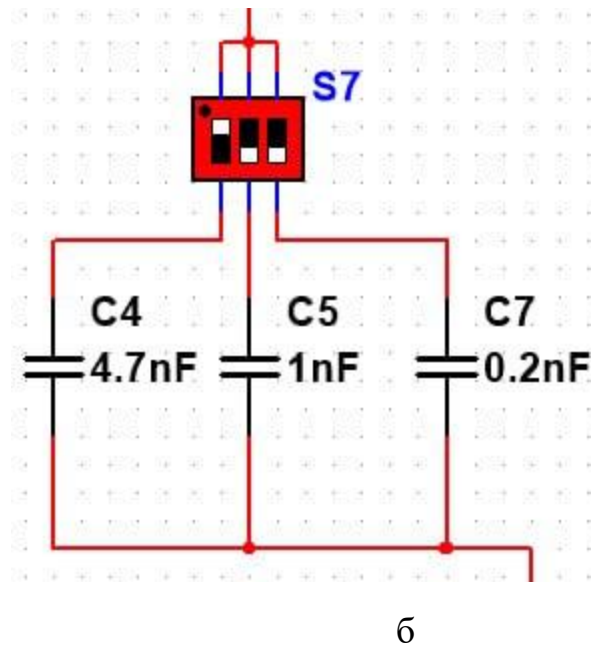
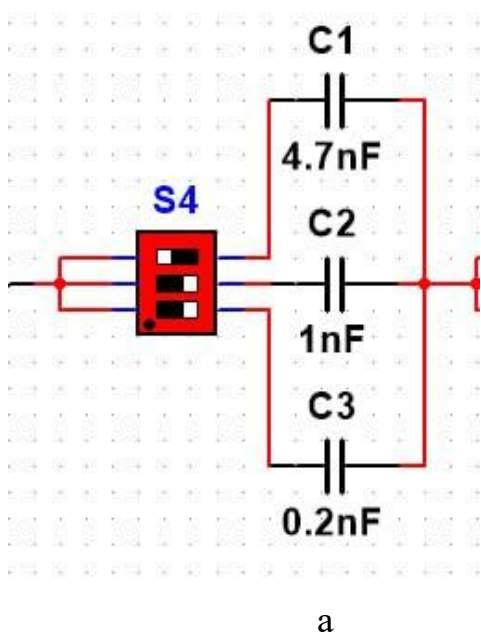


Рисунок 1.5 а, б – Блоки ємностей першого (а), та другого (б) контура

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

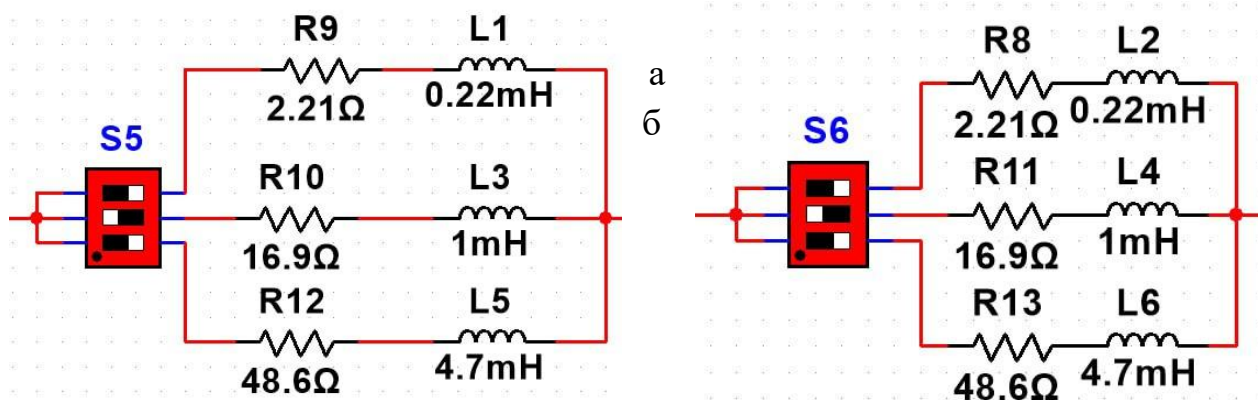


Рисунок 1.6 а, б – Блоки індуктивностей першого (а), та другого (б) контура

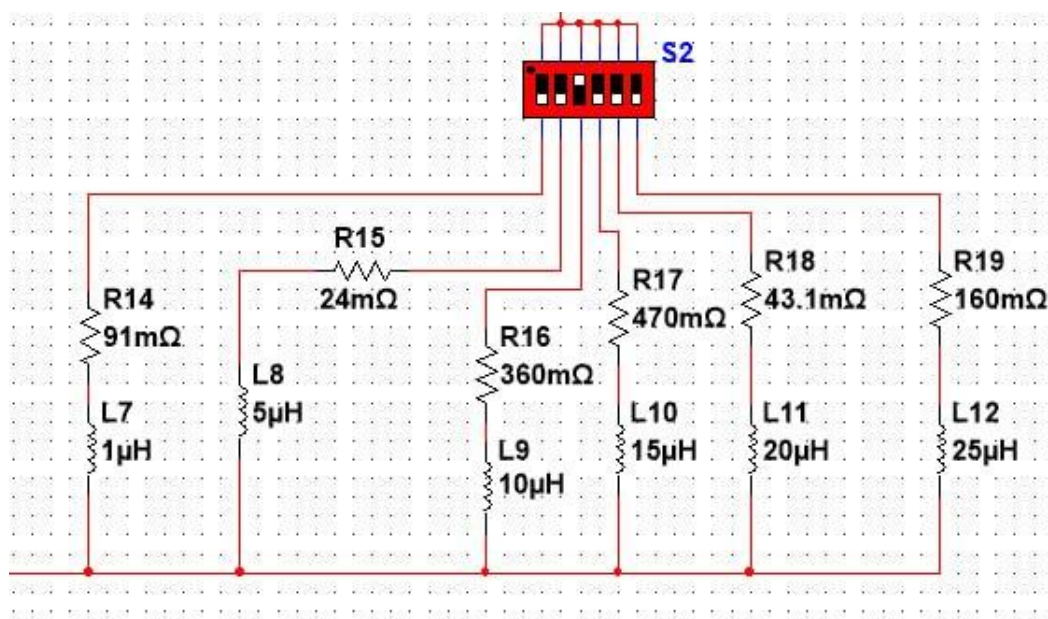


Рисунок 1.5 – Блок індуктивностей

Як видно, на рис. 1.5 зображені номінали опорів вибраних індуктивностей. Ці опори не будуть реалізовані фізично на самій платі, оскільки це опори моделюють втрати у першому розділі, які важливо врахувати при проектуванні схеми.

Також в схемі є блок внесених опорів (рис 1.6), який дозволяє впливати на форму модуля струму.

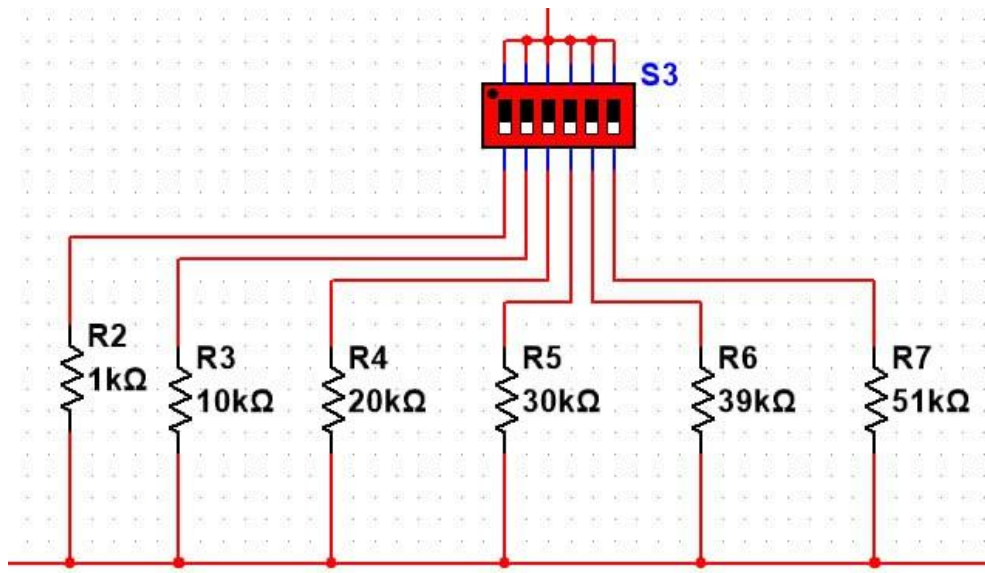


Рисунок 1.7 – Блок внесених опорів

Перемикаючи ці опори, студент матиме змогу подивитись вплив внесеного опору на зв'язаний коливальний контур.

На відміну від старого варіанту перемикання елементів відбувається за допомогою перемикачів, що максимально наближує віртуальний варіант до реального. Змінні ємності та індуктивності не були обрані, оскільки вони не зручні у реальному використанні і їх складно точно налаштувати. Також було додано більше значень внесеного опору, для більшої варіації налаштування схеми. Ще були враховані реальні опори елементів, для більшої подібності до реального варіанту.

1.2 Розрахунок схеми за варіантом

Користувач може вибрати велику кількість варіантів для лабораторної роботи. В цьому розділі будуть розглянуті варіанти для двогорбої та одnogорбої форми АЧХ струму

Для отримання двогорбої форми АЧХ струму візьмемо такі значення:

- $L_1 = 0,22 \text{ мГн}$

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. $L_2 = 0,22 \text{ мГн}$
3. $L_{зв} = 1, 5, 10, 15, 20, 25 \text{ мкГн}$
4. $C_1 = 4,7 \text{ нФ}$
5. $C_2 = 4,7 \text{ нФ}$
6. $R_{вн} = 10, 30, 51 \text{ кОм}$

Резонансна частота кола:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0,22 \cdot 10^{-3} \cdot 4,7 \cdot 10^{-9}}} \cong 983 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{983 \cdot 10^3}{2\pi} \cong 157 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 157 \text{ кГц.}$$

Характеристичний опір:

$$\rho = \omega_0 \cdot L = 983 \cdot 10^3 \cdot 0,22 \cdot 10^{-3} \cong 0,216 \text{ кОм};$$

Коефіцієнт зв'язку:

$$k = \frac{L_{зв}}{\sqrt{L_1 L_2}} = \frac{0,25 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{0,22 \cdot 10^{-3} \cdot 0,22 \cdot 10^{-3}}} \cong 0,114$$

Добротність першого контуру:

$$Q_1 = \frac{\rho}{R_1 + R_L} = \frac{216}{12 + 2,21} = 15,2$$

Де $R_L = 2,21 \text{ Ом}$ (власний опір індуктивності $L = 0,22 \text{ мГн}$)

Добротність другого контуру:

$$Q_2 = \frac{\rho}{R_1} = \frac{216}{2,21} = 108$$

					РІ11.411259.001 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фактор зв'язку:

$$A = k\sqrt{Q_1 Q_2} = 0,114\sqrt{15,2 \cdot 108} = 4,639$$

Струм у контурі на резонансній частоті

$$I_r = \frac{E}{R_r} = \frac{1}{50} = 0,2 \text{ мА.}$$

Де $R_r = 50 \text{ кОм}$

Модуль струму контура:

$$|I(\xi)| = \frac{2I_r A}{\sqrt{(1 - \xi_1 \xi_2 + A^2)^2 + (\xi_1 + \xi_2)^2}}$$

За допомогою MathCad побудуємо АЧХ струму (рис.1.8) та порівняємо її з отриманим результатом у Multisim (рис.1.9)

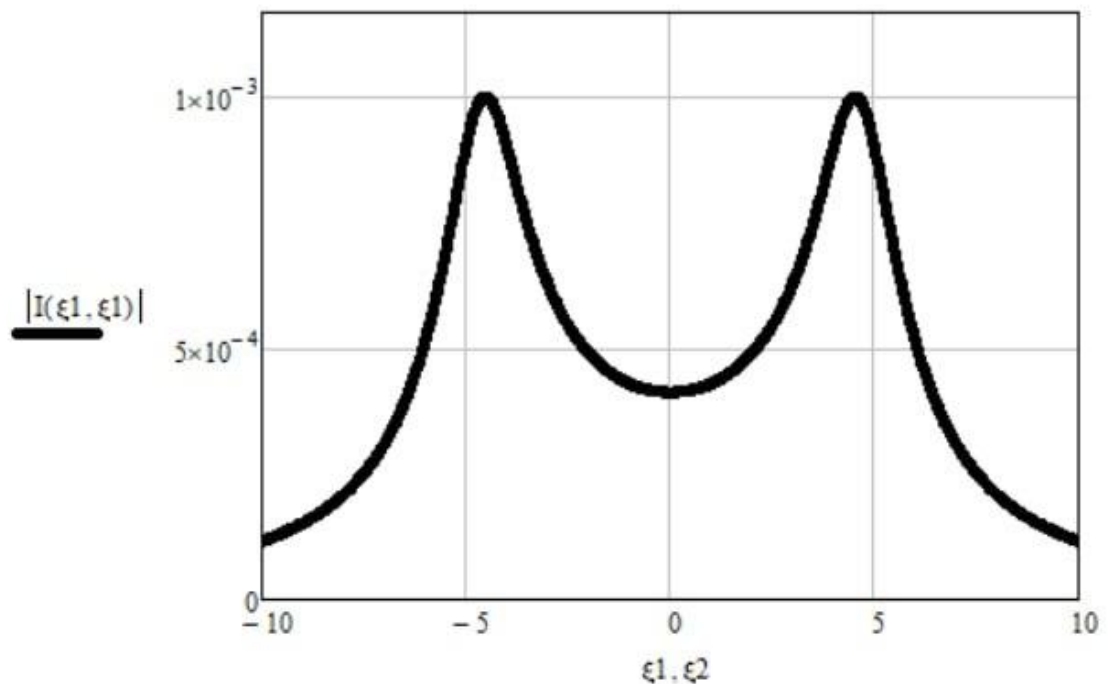


Рисунок 1.8 – Розрахована залежність АЧХ струму

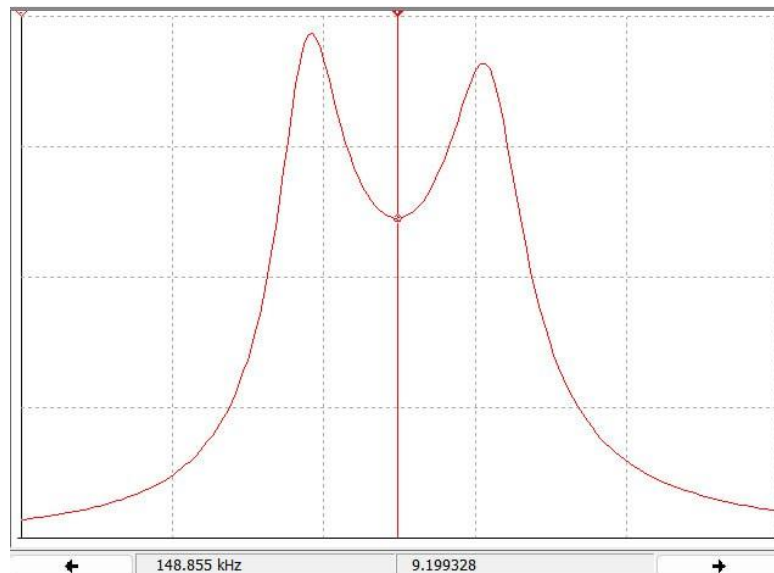


Рисунок 1.9 – Виміряна залежність АЧХ струму

Як видно, форма АЧХ майже ідентична, не ідеальність змодельованої можна пояснити особливостями середовища моделювання, яке враховує всі дані більш точно чим це можемо ми зробити вручну. Також резонансна частота трохи не співпала, але вона знаходиться в межах допустимої, тому це не є критичним.

Розглянемо вплив $L_{зв}$ на АЧХ струму на графіках з різною індуктивністю зв'язку (рис1.10, 1.11, 1.12, 1.13):

1. $L_{зв} = 20$ мкГн

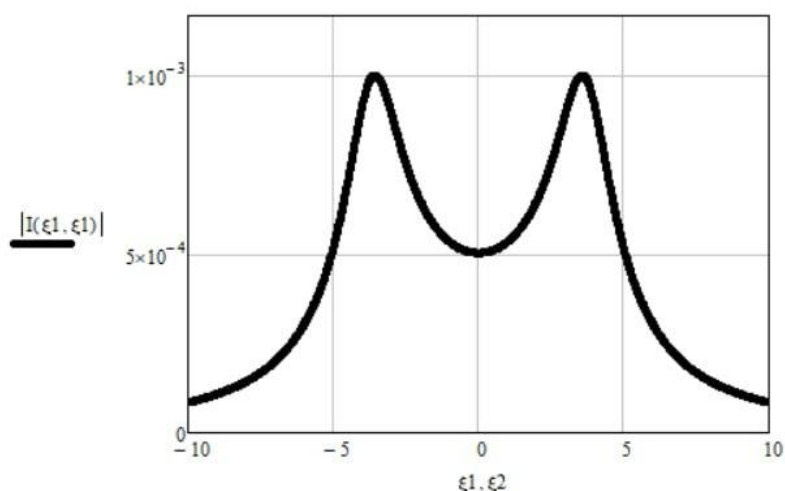


Рисунок 1.10 – АЧХ струму при $L_{зв} = 20$ мкГн

Як бачимо, двогорба крива стала вужчою, оскільки зміна $L_{зв}$ впливає на коефіцієнт зв'язку, який в свою чергу впливає на фактор зв'язку

Коефіцієнт зв'язку:

$$k = \frac{L_{зв}}{\sqrt{L_1 L_2}} = \frac{0,20 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{0,22 \cdot 10^{-3} \cdot 0,22 \cdot 10^{-3}}} \cong 0,091$$

Фактор зв'язку:

$$A = k\sqrt{Q_1 Q_2} = 0,091\sqrt{15,2 \cdot 108} = 3,7$$

2. $L_{зв} = 15$ мкГн

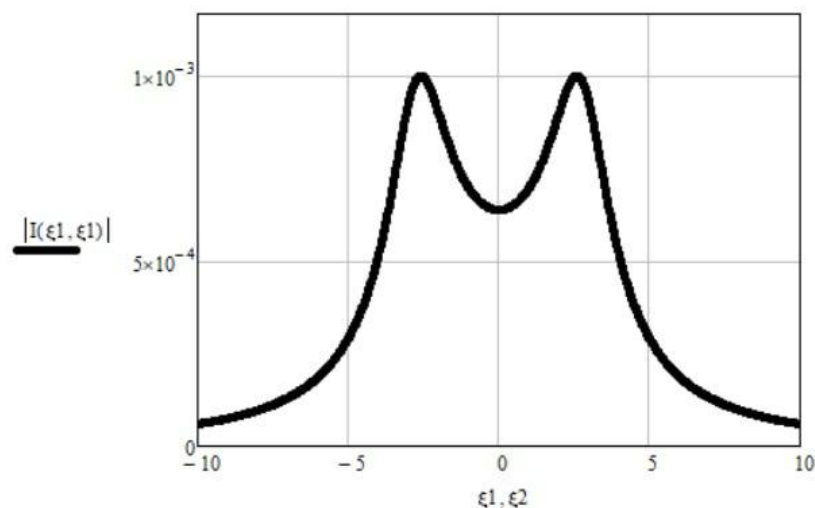


Рисунок 1.11 – АЧХ струму при $L_{зв} = 15$ мкГн

Двогорба крива стала ще вужчою

Коефіцієнт зв'язку:

$$k = \frac{L_{зв}}{\sqrt{L_1 L_2}} = \frac{0,15 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{0,22 \cdot 10^{-3} \cdot 0,22 \cdot 10^{-3}}} \cong 0,068$$

Фактор зв'язку:

$$A = k\sqrt{Q_1 Q_2} = 0,068\sqrt{15,2 \cdot 108} = 2,78$$

3. $L_{зв} = 10$ мкГн

						PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			12

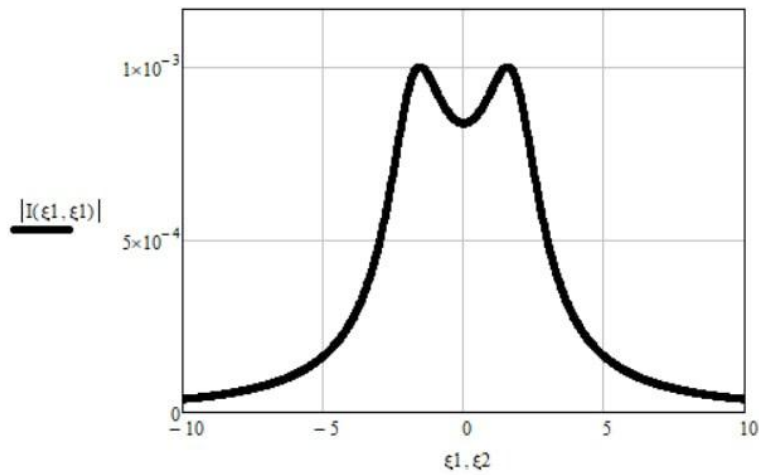


Рисунок 1.12 – АЧХ струму при $L_{3B} = 10 \text{ мкГн}$

Двогорба крива продовжує вужчати

Коефіцієнт зв'язку:

$$k = \frac{L_{3B}}{\sqrt{L_1 L_2}} = \frac{0,10 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{0,22 \cdot 10^{-3} \cdot 0,22 \cdot 10^{-3}}} \cong 0,045$$

Фактор зв'язку:

$$A = k\sqrt{Q_1 Q_2} = 0,045\sqrt{15,2 \cdot 108} = 1,85$$

4. $L_{3B} = 5 \text{ мкГн}$

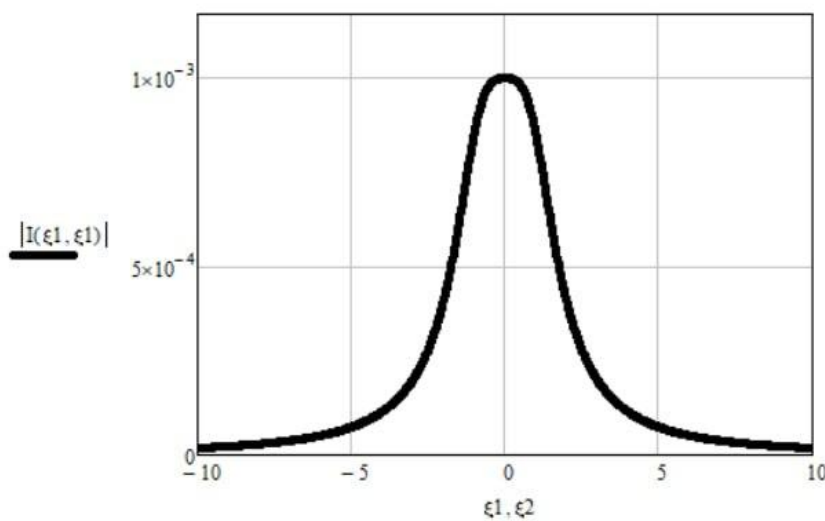


Рисунок 1.13 – АЧХ струму при $L_{3B} = 5 \text{ мкГн}$

РОЗДІЛ 2. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

2.1 Таблиця з переліком використаних елементів

В таблиці 2.1 перелічені всі елементи з їх схематичним позначенням

Таблиця 2.1 – Перелік елементів

Позначення	Найменування
Конденсатори	
C1, C4	GRM2165C1H472JA01D
C2, C5	MC0402B102K500CT
C3, C6	CL05C201JB5NNNC
Індуктивності	
L1, L2	B82442T1224K050
L3, L4	CBC3225T102KR
L5, L6	B82442T1475J000
L7	LBR2012T1R0M
L8	SRR6038-5R0Y
L9	LBMF1608T100K
L10	MLZ2012N150LT000
L11	7843322000
L12	SRR1205-250ML
Резистори	
R1	KTR03EZPF12R0
R2	ERA-2ARC102X
R3	RC0402FR-0710KL
R4	ERA-6AED203V
R5	CRCW060330K0FKEAC
R6	RT1206BRD0740KL
R7	RC0805FR-0751KL
Перемикачі	
SW1, SW2, SW3, SW5	2454982-2
SW4, SW6	2454982-4
Роз'єми	
X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8	BAJ-001-NR

2.2 Детальний опис елементів

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конденсатор GRM2165C1H472JA01D [19] зображений на рис.2.1

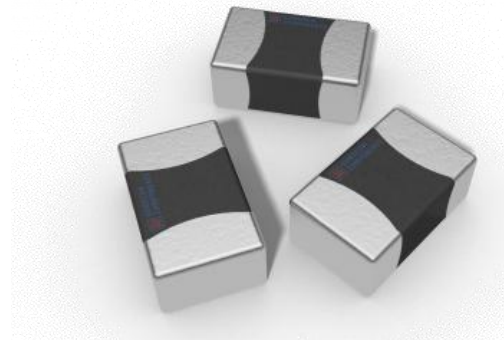


Рисунок 2.1 – Конденсатор GRM2165C1H472JA01D

Конденсатор керамічний першого класу, має ємність 4.7 нФ, номінальна напруга складає 50 В, допуск ємності 5%, мінімальна температура використання -50 С, максимальна – +125 С. Має довжину 2 мм, ширину 1,25 мм та висоту 0,6 мм. Вартість 1 шт. – 7 грн.

При виборі конденсатора порівнював з іншими аналогами такими, як КАМ05АР71Н472КН та СGA5F4NP02J472G085AA. Перший аналог має меншу вартість (4,5 грн), але при цьому допуск ємності 10% що може внести суттєві зміни в результати вимірювання, але при цьому він має менші розміри (довжину 1 мм та ширину 0,5мм). Попри перевагу в ціні та розмірах, допуск ємності мене не задовольняє, тому віддав перевагу обраному варіанту. Другий аналог має суттєву більшу вартість (28 грн), також має більші розміри (довжину 3,2 мм, ширину 1,6 мм та висоту 1,6 мм), працює при більшій максимальній температурі – 150 С та має допуск ємності 2%, а номінальна напруга складає 630 В. Цей варіант також виявився гіршим за обраний, оскільки, має високу ціну та єдину перевагу в допуску, яка не є критичною в нашому випадку, також нам не потрібна більша максимальна температура, бо наша схема не буде грітись до високих значень, номінальна напруга значно вища за напругу в обраному варіанті, але схема працює при напрузі < 5 В і такі високі значення нам не потрібні

									Арк.
									17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

PI11.411259.001 ПЗ

Конденсатор MC0402B102K500CT [20] зображений на рис.2.2



Рисунок 2.2 – Конденсатор MC0402B102K500CT

Багатошаровий керамічний конденсатор загального призначення. Ємність становить 1 нФ, а номінальна напруга 50 В. Має допуск 10%. Довжина 1,02 мм, ширина 0,5 мм. Мінімальна робоча температура -55 С, максимальна 125 С. Вартість 1 шт. – 1,5 грн.

При виборі елемента порівнював із схожими аналогами – 04023A102KAT2A та C3225C0G3A102G200AC. Перший аналог має тохи більшу ціну (5,85 грн), а за іншими характеристиками досить схожий на обраний мною елемент. Допуск ємності 10%, номінальна напруга 25 В, така сама робоча температура та розміри. Як бачимо, по при вищу ціну елемент не має переваг за обраний. Говорячи про другий аналог, він має суттєво вищу ціну (74,53 грн). З переваг він має кращий допуск ємності 2% та більше значення номінальної напруги в 1 кВ, але при цьому має більші розміри (довжина 3,2 мм, ширина 2,5 мм, висота 2,5 мм). Для моєї схеми, єдиною перевагою цього аналога, є тільки допуск ємності, оскільки, номінальна напруга в схемі не перевищує 5 В і такий великий запас не потрібен. Порівнявши ці три елементи найкращим буде обраний мною, оскільки, має найменшу ціну з усіх представлених і за таку вартість має найкращі характеристики.

Конденсатор CL05C201JB5NUNC [21] зображений на рис.2.3

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.3 – Конденсатор CL05C201JB5NNNC

Керамічний конденсатор першого класу. Має ємність 0,2 нФ та номінальну напругу 50 В. Довжина 1 мм, ширина 0,5 мм та висота 0,55 мм. Допуск ємності 5%. Мінімальна робоча температура -55 С, максимальна 125 С. Ціна 2,5 грн.

При виборі ємності, порівнювалася з двома аналогами 04023A201JAT2A та VJ0805D201FXPAJ. Перший аналог доволі схожий на обраний мною елемент. Допуск ємності 5%, а номінальна напруга 25 В. Має таку саму робочу температуру та схожі розміри (довжина 1 мм, ширина 0,5 та висота 0,25). Має більшу ціну (12 грн.). При порівнянні з обраним, цей елемент програє, оскільки має меншу номінальну напругу та значно вищу ціну. Говорячи про другий аналог, він є кращим за обраний, оскільки, має допуск ємності 1% та номінальну напругу 250 В. Робоча температура така сама як і в інших розглянутих аналогів. Має більші розміри (Довжина 2 мм, ширина 1,25 мм, висота 1,45 мм), але має суттєво вищу ціну (51,5 грн). Отже, було б краще обрати другий аналог, оскільки він має краще значення допуску ємності, але так, як допуск ємності 5% не сильно вплине на працездатність схеми, а номінальна напруга в 250 В нам не потрібна, кращим рішенням буде вибрати, обраний мною елемент, бо він має значно нижчу ціну і не сильно поступається по характеристикам аналогам.

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Індуктивність B82442T1224K050 [22] зображена на рис.2.4



Рисунок 2.4 – Індуктивність B82442T1224K050

SMD індуктивність на 220 мкГн з допуском 10%. Максимальний номінальний опір складає 2,21 Ом, а номінальна напруга 300 мА. Мінімальна робоча температура -55 С, а максимальна +150 С. Власна резонансна частота 3,9 МГц. Довжина 5,6 мм, ширина 5 мм і висота 5 мм. Коштує 33,7 грн

Цей елемент порівнювали з IFDC2020CZER221M та SRR5828A-221M. Перший аналог має допуск індуктивності 20%, максимальний номінальний опір 1,15 Ом, а номінальний струм 300 мА. Має дещо гірші значення мінімально та максимальної робочої температури (-40 С – +105 С). Довжина 6 мм, ширина 6 мм, висота 3 мм. Вартість 27,6 грн. При порівнянні з обраним елементом, цей програє, оскільки має більший допуск індуктивності при невеликій ціновій перевазі. Розглядаючи другий аналог, бачимо, що допуск індуктивності також 20%. Максимальний номінальний опір 1,2 Ом, а струм 620 мА. Мінімальна та максимальна температура така сама, як і в обраному варіанті. Розміри (Довжина 5,8 мм, ширина 5,8 мм, висота 2,8 мм). Власна резонансна частота 5 МГц. Ціна 53 грн. При порівнянні з обраним також програє, оскільки, має більшу ціни і не має значних переваг для нашої схеми.

Індуктивність SVC3225T102KR [23] зображена на рис.2.5

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20



Рисунок 2.5 – Індуктивність CVC3225T102KR

SMD індуктивність на 1 мГн з допуском 10%. Власна резонансна частота складає 1,6 МГц, номінальний струм 100 мА, а номінальний опір 16,9 Ом. Мінімальна робоча температура -40 С, а максимальна +105 С. Має невеликі розміри (Довжина 3,2 мм, ширина 2,5 мм, висота 2,5 мм). Коштує 7,7 грн.

Порівнював зі іншими доступними аналогами SM453232-102KL та P0752.105NLT. Перший аналог має такий самий допуск індуктивності 10%, але гірші значення номінального струму (30 мА) та номінального опору (40 Ом). Також має гірші значення мінімальної -40 С та максимальної +100 С робочої температури. Розміри елемента також більші (Довжина 4,5 мм, ширина 3,2 мм, висота 3,2 мм), але має краще значення резонансної частоти 2,5 МГц. При цьому коштує 12 грн. Порівнюючи з обраним елементом, аналог має тільки краще значення резонансної частоти, що не є важливим для моєї схеми, оскільки вона працює на невисоких частотах 100-300 кГц. По інших характеристикам він гірший і має вищу ціну. Говорячи про другий аналог, він має гірше значення допуску індуктивності 20%, але краще значення номінального струму (300 мА) та номінального опору (3,3 Ом). Має вищу максимальну робочу температуру (+130 С) і при цьому має значно більші розміри (Довжина 13 мм, ширина 9,4 мм, висота 5,5 мм). Коштує 46 грн. Цей аналог має кращі значення номінального струму та опору, але для нас це не є

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

таким важливим фактором, як в два рази гірше значення допуску індуктивності. Також він має набагато більші розміри і значно вищу ціну. Отже, кращим вибором і є обраний елемент.

Індуктивність B82442T1475J000 [24] зображена на рис.2.6



Рисунок 2.6 – Індуктивність B82442T1475J000

SMD індуктивність номіналом 4,7 мГн. Допуск індуктивності 5%, номінальний струм 73 мА, а номінальний опір 48,6 Ом. Робоча мінімальна температура -55 С, а максимальна +150 С. Довжина 5,6 мм, ширина 5 мм і висота 5 мм. Має власну резонансну частоту 800 кГц. Вартість 41,7 грн.

Елемент порівнювали з аналогами ASPI-0403S-472M-T та MSS1210-475KED. Перший аналог має в два рази гірший допуск індуктивності 20%. Також має менше значення номінального струму (60 мА), але краще значення номінального опору 13,9 Ом. Довжина 6,6 мм, ширина 4,45 мм, висота 2,92 мм. Мінімальна робоча температура -40 С, а максимальна +85 С. Ціна 35 грн. Порівнюючи з обраним елементом, цей програє йому через великий допуск індуктивності, також він має гірші інші характеристики і різниця в ціні не така і велика, щоб обрати дешевший аналог. Говорячи про другий аналог, він має допуск ємності 5%, номінальний струм значно більший (390 мА). Також має краще значення номінального опору (3,93 Ом). Робоча мінімальна температура -40 С, а максимальна +85 С. Має меншу власну резонансну частоту в 510 кГц. Також має значно більші розміри (Довжина 12,3 мм,

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

ширина 12,3 мм та висоту 10 мм). При цьому ціна 196 гривень. Як можна побачити, другий аналог має дещо кращі характеристики, але також більший допуск індуктивності і меншу резонансну частоту і має високу ціну. Тому я зупинився саме на обраному елементі, оскільки, він за мінімальну ціну найкраще підходить для поставленої задачі.

Індуктивність LBR2012T1R0M [25] зображена на рис.2.7



Рисунок 2.7 – Індуктивність LBR2012T1R0M

SMD індуктивність номіналом 1 μH з допуском 20%. Максимальний номінальний струм 400 мА, максимальний номінальний опір 91 мОм. Працює при мінімальній температурі $-40\text{ }^\circ\text{C}$ та максимальній $+105\text{ }^\circ\text{C}$. Власна резонансна частота 100 МГц. Має довжину 2 мм, ширину 1,25 мм та висоту 1,25 мм. Ціна 4,5 грн.

Також розглядалися інші аналоги IFDC3030EZER1R0N та 78438336010HT. Перший аналог має гірший допуск індуктивності 30%, але має кращі значення максимального номінального струму 9 А та максимального номінального опору 13 мОм. Має таку саму мінімальну та максимальну роботу температуру $-40\text{ }^\circ\text{C}$ - $+105\text{ }^\circ\text{C}$. Довжина 7,8 мм, ширина 7,8 мм, висота 5 мм. Має ціну 24,2 грн. При порівнянні цей аналог програє обраному, оскільки, має вищу ціну і гірші характеристики. Розглядаючи другий аналог, він має такий самий допуск індуктивності 20%. Максимальний номінальний струм 5,8 А, а опір 32,8 мОм. Має кращі значення мінімальної робочої температури $-55\text{ }^\circ\text{C}$, та максимальної $+150\text{ }^\circ\text{C}$. Має невеликі розміри (Довжина 3 мм, ширина 3 мм, висота 2 мм). Власна

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

резонансна частота менша за обраний варіант (67 МГц). Ціна 82,55 грн. По ціні цей варіант також програє обраному, оскільки, він дає незначні переваги порівняно з аналогом, але має значно вищу ціну.

Індуктивність SRR6038-5R0Y [2] зображена на рис.2.8



Рисунок 2.8 – Індуктивність SRR6038-5R0Y

SMD індуктивність номіналом 5 μ H. Допуск індуктивності 30%, а максимальний номінальний струм 2,9 А та опір 24 мОм. Робоча мінімальна температура -40 С, максимальна робоча +125 С. Власна резонансна частота 42,6 МГц. Довжина 6,8 мм, ширина 6,8 мм, а висота 3,9 мм. Ціна становить 30 грн.

Так, як це доволі нестандартна індуктивність, аналогів було не так багато. Розглядалися 744052005 та SRR6040A-5R0Y. Перший аналог має такий самий допуск індуктивності 30 %, Менший максимальний номінальний струм 1,45 А, та більший номінальний опір 60 мОм. Працює на такій самій мінімальній (-40 С) та максимальній (+125 С) температурі. Власна резонансна частота більша (55 МГц), а розміри менші (довжина 5,8 мм, ширина 5,8 мм, висота 1,8 мм), але ціна також більша (42,6 грн). Порівнявши з обраним варіантом, цей не має суттєвих переваг і коштує більше. Говорячи про другий аналог, він також має допуск індуктивності 30% , такий самий максимальний номінальний струм 2,9 А, та близький до обраного варіанта максимальний номінальний опір 25 мОм. Працює на такій самій температурі, як і розглянуті аналоги (-40 С – +125 С), також має більші розміри (довжина 6,8 мм, висота

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6,7 мм, висота 4 мм). Ціна 53,3 грн. Другий аналог майже не відрізняється від обраного за характеристиками, але має вищу ціну, що робить вибір цього варіанту недоцільним.

Індуктивність LBMF1608T100K [4] зображена на рис.2.9



Рисунок 2.9 – Індуктивність LBMF1608T100K

SMD індуктивність номіналом 10 μH , та допуском 10%. Максимальний номінальний струм 80 мА, а максимальний опір 468 мОм. Мінімальна робоча температура $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, максимальна – $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$. Власна резонансна частота 32 МГц. Має невеликі розміри (довжина 1,6 мм, ширина 0,8 мм, висота 0,8 мм). Ціна 6,75 грн.

Розглянемо популярні аналоги IFDC2020CZER100M та SPM7054VC-100M-D. Перший аналог має більший допуск індуктивності 20%, але кращі значення максимального номінального струму 1,3 А та опору 65 мОм. Робоча температура така сама, як і в обраного ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$). Має більші розміри (довжина 6 мм, ширина 6 мм, висота 3 мм). Має вищу ціну 28,25 грн. Порівнявши з обраним, бачимо, що переваги незначні, а також є мінуси такі, як більші розміри та більший допуск індуктивності і ціна. Говорячи про другий аналог, він також має більший допуск індуктивності 20%, набагато більші розміри (довжина 7,5 мм, ширина 7 мм, висота 5,4 мм). Проте має кращі значення мінімальної ($-55\text{ }^{\circ}\text{C}$) та максимальної ($+155\text{ }^{\circ}\text{C}$) температури. Ціна також значно більша – 70 грн. Якщо порівняти його з

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

обраним варіантом, то він також програє, оскільки, має значно вищу ціну і його переваги не покривають його недоліки.

Індуктивність MLZ2012N150LT000 [5] зображена на рис.2.10



Рисунок 2.10 – Індуктивність MLZ2012N150LT000

SMD індуктивність номіналом 15 μH та допуском індуктивності 20%. Максимальний номінальний струм становить 350 мА, а напруга 470 мОм. Мінімальна робоча температура -55 С, а максимальна +125 С. Власна резонансна частота 23 МГц. Має невеликі розміри (довжина 2 мм, ширина 1,25 мм, висота 1,25 мм) Вартість 4,15 грн.

Розглядалися аналоги 784373865150 та SRR6838A-150M . Перший аналог також має допуск ємності 20%. Значення мінімально та максимальної температури дещо кращі (-55 С – +155 С). Максимальна номінальний опір 28 мОм. Власна резонансна частота 8,1 МГц. Розміри значно більші за обраний варіант (довжина 13,45 мм, ширина 12,6 мм, висота 6,3 мм.). Ціна значно вища за обраний аналог – 151,4 грн. Для моєї плати цей аналог не має значних переваг, але ціна його значно вища, тому він не підходить. Говорячи про другий аналог, він також має допуск ємності 20%. Максимальний номінальний опір 60 мОм. Мінімальна робоча температура -55 С, а максимальна +150 С. Довжина 6,8 мм, ширина 6,8 мм, висота 3,8 мм. Власна резонансна частота 22 МГц. Ціна – 56,3 грн. Як бачимо, цей аналог не сильно відрізняється від обраного, але ціна також значно вища, отже не є доцільний його вибирати.

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Індуктивність 7843322000 [6] зображена на рис.2.11



Рисунок 2.11 – Індуктивність 7843322000

SMD індуктивність номіналом 20 μ H з допуском індуктивності 20%.
Мінімальна робоча температура -55 C, а максимальна +150 C. Максимальний номінальний опір 43,1 мОм, а максимальна номінальна напруга 5,4 А. Власна резонансна частота 19 МГц. Довжина 12,2 мм, ширина 12,2 мм, висота 11,5 мм. Ціна 145 грн.

Так, як такий номінал не сильно розповсюджений, то вибір був невеликий V82559A0203A020 та V82559A0203A024. Перший аналог має допуск індуктивності 10%, максимальний номінальний опір 6,4 мОм, струм насичення 14,3 А. Мінімальна температура -40 C, а максимальна +150 C. Власна резонансна частота 2 МГц. Розміри значно більші (довжина 22,3 мм, ширина 22 мм, висота 14,1 мм). Ціна також значно більша (322 грн.). Отже, цей варіант нам не підходить, оскільки, допуск індуктивності при такому малому номіналі не є вагомим чинником, а ціна значно вища, тому вибрав дешевший аналог. Говорячи про другий аналог, він має допуск індуктивності 10%, максимальний номінальний струм 24 А, а максимальний номінальний опір 3,4 мОм. Мінімальна робоча температура -40 C, а максимальна +150 C. Власна резонансна частота 2 МГц. Розміри (довжина 22,8 мм, ширина 24,7 мм, висота 20,9 мм). Ціна 375 грн. Отже, цей варіант також нам не підходить, оскільки, має значно вищу ціну за обраний мною. Нажаль, інших варіантів не було в компанії яка займалась друком і монтажем плати, тому обрали індуктивність 7843322000.

										РІ11.411259.001 ПЗ	Арк.
											27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Індуктивність SRR1205-250ML [7] зображена на рис.2.12



Рисунок 2.12 – Індуктивність SRR1205-250ML

SMD індуктивність номіналом 25 μ H. Допуск індуктивності 20%. Максимальний номінальний опір 2,7 Ом, а максимальний струм 2,4 А. Мінімальна робоча температура -40 С, а максимальна +125 С. Довжина 12,7 мм, ширина 12,7 мм, висота 5,5 мм. Власна резонансна частота 2,52 МГц. Вартість 25,5 грн.

Елементів з таким номіналом також є дуже мало. З аналогів можна зазначити PE-54041SNLT та P0146NL. Перший аналог має допуск індуктивності 20%, максимальний номінальний струм 3 А, а максимальний опір 40 мОм. Мінімальна робоча температура -40 С, а максимальна +130 С. Довжина 17,78 мм, ширина 17,02, висота 9,91 мм. Ціна 115 грн. Цей аналог має значно більшу ціну, але не має значних переваг, тому він не підійшов.

Другий аналог також має допуск індуктивності 20%, максимальний номінальний опір 75 мОм, а максимальний струм 2,43 А. Мінімальна та максимальна робоча температура -40 С – +130 С. Вартість 155 грн. Цей аналог також має значно вищу ціну і не має значних переваг для нашої семи.

Резистор KTR03EZPF12R0 [8] зображений на рис.2.13



Рисунок 2.13 – Резистор KTR03EZPF12R0

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

SMD резистор на 12 Ом. Допуск опоры 1%, потужність розсіювання 100 мВт. Мінімальна робоча температура -55 С, а максимальна +155 С. Максимальна напруга 350 В. Довжина 1,6 мм, ширина 0,8 мм, висота 0,45 мм. Коштує 8 грн.

Із популярних аналогів також розглядались CRCW121012R0JNEANP та 356012RFT. Перший аналог має допуск опоры 5%. Мінімальна робоча температура -55 С, а максимальна +155 С. Потужність розсіювання 750 мВт, а максимальна напруга 200 В. Довжина 3,2 мм, ширина 2,5 мм, висота 0,6 мм. Коштує 17,1 грн. Так, як цей аналог має допуск опоры 5% і для нас не є критичними більшість з характеристик, то логічно обрати більш дешевий варіант. Другий аналог має допуск опоры 1%, потужність розсіювання 6 Вт. Максимальна напруга 300 В. Має більші розміри (довжина 11,6 мм, ширина 6,85 мм, висота 1,1 мм). Ціна 88,6 грн. Цей аналог також має вищу ціну і його переваги не важливі для нашої схеми, отже, вибрали дешевший варіант.

Резистор ERA-2ARC102X [9] зображений на рис.2.14



Рисунок 2.14 – Резистор ERA-2ARC102X

SMD резистор на 1 кОм з допуском опоры 0,25%. Мінімальна робоча температура -55 С, а максимальна +155 С. Максимальна напруга 50 В, а потужність розсіювання 62,5 мВт. Довжина 1 мм, ширина 0,5 мм, висота 0,35 мм. Коштує 9,3 грн.

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

З популярних аналогів також розглядалися MCA12060C1001FP500 та RQ73C1J1K0BTD. Перший аналог має допуск опору 1% Мінімальна та максимальна робоча температура -55 С – +125 С. Максимальна напруга 200 В, а потужність розсіювання 250 мВт. Розміри (Довжина 3,2 мм, ширина 1,6 мм, висота 0,55 мм). Коштує 13 грн. Так, як вони в одному ціновому сегменті, то ми вибрали дешевший з кращим допуском опору, оскільки, висока максимальна напруга нам не потрібна. Другий аналог має допуск опору 0,1%, таку ж саму робочу температуру (-55 С – +155 С). Максимальну напругу 75 В, а потужність розсіювання 150 мВт. Довжина 1,55 мм, ширина 0,8 мм, висота 0,45 мм. Коштує 21,7 грн. Як бачимо, ціна значно вища, але значних переваг для нашої схеми немає, тому взяли дешевший варіант.

Резистор RC0402FR-0710KL [15] зображений на рис.2.15



Рисунок 2.15 – Резистор RC0402FR-0710KL

SMD резистор номіналом 10 кОм з допуском опору 1%. Потужність розсіювання 62,5 мВт. Мінімальна робоча температура -55 С, а максимальна +155 С. Максимальна напруга 50 В. Має невеликі розміри (довжина 1 мм, ширина 0,5 мм, висота 0,35 мм). Ціна 4,5 грн.

Серед аналогів розглядалися RCA040210K0JNED та CRCW251210K0JNEGIF. Перший аналог має допуск опору 5%, потужність розсіювання 62,5 Вт, максимальну напругу 50 В. Мінімальна робоча

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температура -55 С, а максимальна +155 С. Довжина 1 мм, ширина 0,5 мм , а висота 0,35 мм. Ціна 6,15 грн. Як бачимо, ціна трохи вища, але всі інші характеристики аналогічні до обраного варіанту окрім гіршого значення допуску опору. Другий аналог також має допуск опору 5%, потужність розсіювання 1 Вт, максимальну напругу 500 В. Мінімальна робоча температура -55 С, а максимальна +155 С. Має більші розміри (довжина 6,3 мм, ширина 3,15 мм, висота 0,6 мм). Коштує 38 грн. Як бачимо, цей аналог значно більше коштує, а такі переваги як максимальна напруга та потужність розсіювання для нашої схеми неважливі, тому був обраний RC0402FR-0710KL

Резистор ERA-6AED203V [11] зображений на рис.2.16



Рисунок 2.16 – Резистор ERA-6AED203V

SMD резистор номіналом 20 кОм з допуском опору 0,5%. Мінімальна робоча температура -55 С, максимальна +155 С. Максимальна напруга 100 В. Довжина 2 мм, ширина 1,25 мм, висота 0,5 мм. Вартість 11,5 грн.

Серед аналогів були розглянуті RT0805BRC0720KL та TNPU040220K0AZEP00. В першому аналогу допуск опору 0,1%. Максимальна напруга 150 В. Розміри аналогічні з обраним (довжина 2 мм, ширина 1,25 мм, висота 0,5 мм). Мінімальна робоча температура -55 С,

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а максимальна +125 С. Вартість 28 грн. Для нашого стенду не потрібна така точність допуску, тому виберемо більш дешевий варіант. Розглядаючи другий варіант, варто зазначити, що він також має доволі низьке значення допуску ємності (0,05%). Максимальна напруга 50 В, мінімальна робоча температура -55 С, а максимальна +125 С. Розміри доволі малі (довжина 1 мм, ширина 0,5 мм, висота 0,35 мм). Вартість 78 грн. В цьому випадку також раціональніше обрати дешевший варіант, оскільки така точність допуску нам не потрібна і нам підійде варіант з допуском опору 0,5 %.

Резистор CRCW060330K0FKEAC [13] зображений на рис.2.17



Рисунок 2.17 – Резистор CRCW060330K0FKEAC

SMD резистор на 30 кОм. Допуск опору 1%. Мінімальна робоча температура -55 С, максимальна +155 С. Потужність розсіювання 100 мВт, максимальна напруга 75 В. Довжина 1,55 мм, ширина 0,85 мм, висота 0,45 мм. Коштує 4,4 грн.

Із схожих аналогів розглядалися ERJ-UP6D3002V та ERJ-P14F3002U . Перший має допуск опору 0,5%, максимальну напругу 400 В, та потужність розсіювання 500 мВт. Мінімальна та максимальна робоча температура -55 С –

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

+155 С. Довжина 2 мм, ширина 1,25 мм, висота 0,6 мм. Вартість 12,3 грн. Так, як для нас не важлива точність, то доцільніше буде обрати дешевший варіант, оскільки, інші характеристики не мають вагомого впливу, бо наша схема працює на низьких напругах. Другий аналог має допуск опору 1%. Робоча температура така ж як і в першого аналога (-55 С – +155 С). Потужність розсіювання 500 мВт, а максимальна напруга 200 В. Довжина 3,2 мм, ширина 2,5 мм, висота 0,6 мм. Ціна 17,5 грн. З цим аналогом така ж сама ситуація, як і з попереднім, оскільки для нашої схеми краще обрати більш бюджетний компонент.

Резистор RT1206BRD0740KL [14] зображений на рис.2.18



Рисунок 2.18 – Резистор RT1206BRD0740KL

SMD резистор на 40 кОм з допуском опору 0,1%. Максимальна напруга 200 В, а потужність розсіювання 250 мВт. Мінімальна робоча температура -55 С, максимальна +125 С. Довжина 3,1 мм, ширина 1,6 мм, висота 0,55 мм. Ціна 15,4 грн.

З аналогів зазначимо RAT0603E4002BST1 та TNPW060340K0BEEA. Перший аналог має допуск опору 0,1%. Потужність розсіювання 150 мВ, а максимальна напруга 75 В. Мінімальна робоча температура -55 С, а максимальна +155 С. Довжина 1,63, ширина 0,8 мм, висота 0,38 мм. Коштує

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

30,3 грн. Так, як основні характеристики майже аналогічні, доцільно взяти більш дешевий варіант. Говорячи про другий аналог, він має допуск опору 0,1%. Таку ж робочу температуру, як і перший аналог (-55 С – +155 С). Максимальна напруга теж 75 В, а потужність розсіювання 210 мВт. Довжина 1,55 мм, ширина 0,85 мм, висота 0,45 мм. Коштує 34,2 грн. Також характеристики схожі на попередні аналоги, але ціна більша, тому зупинимось на обраному найдешевшому варіанті.

Резистор RC0805FR-0751KL [10] зображений на рис.2.19

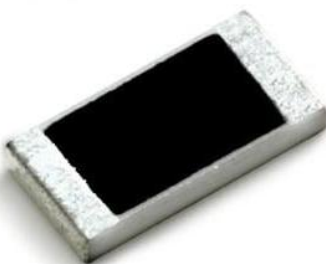


Рисунок 2.19 – Резистор RC0805FR-0751KL

SMD резистор на 51 кОм. Допуск опору 1%. Мінімальна робоча температура -55 С, максимальна +155 С. Максимальна напруга 150 В, а потужність розсіювання 125 мВт. Довжина 2 мм, ширина 1,25 мм, висота 0,5 мм. Ціна 4,4 грн.

Також розглядалися аналоги KTR03EZPJ513 та 352151KFT. Перший аналог має допуск опору 5%. Потужність розсіювання 100 мВт, а максимальна напруга 350 В. Мінімальна та максимальна робочі температури такі ж як і у обраного варіанту (-55 С – +155 С). Довжина 1,6 мм, ширина 0,8 мм, висота 0,45 мм. Вартість 7 грн. Як бачимо, ціна також невелика, але для нас більшою перевагою буде менший допуск опору ніж максимальна напруга. Другий аналог має допуск опору 1%, потужність розсіювання 2 Вт, а

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

максимальна напруга 250 В. Мінімальна робоча температура така ж, як і в розглянутих аналогів (-55 С – +155 С). Розміри (довжина 6,3 мм, ширина 3,2 мм, висота 0,6 мм. Коштує 38 грн. Це найдорожчий із розглянутих аналогів, але для нормальної роботи нашої схеми ми можемо обрати найдешевший варіант.

Перемикачі 2454982-2 [16] та 2454982-4 [17] зображені на рис.2.20 та рис.2.21

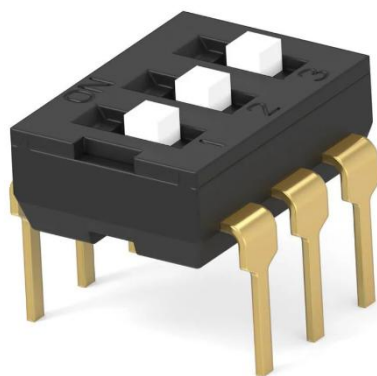


Рисунок 2.20 – Перемикач 2454982-2

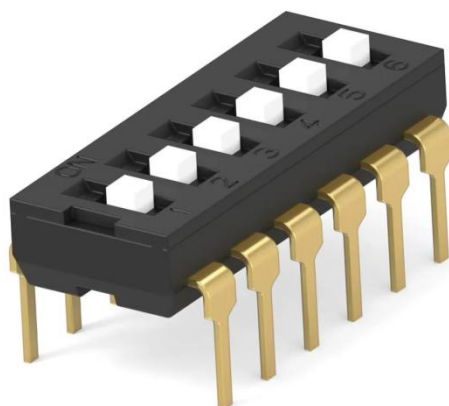


Рисунок 2.21 – Перемикач 2454982-4

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

DIP перемикачі на 3 та 6 позицій відповідно. Рухома частина розширена для комфортнішого використання, тип підключення наскрізні отвори. Номінальний струм 25 мА, а номінальна напруга 24 В. Життєвий цикл 1000 перемикань. Покриття контактів – золото. Мінімальна робоча температура -40 С, а максимальна +85 С. Вартість 3-позиційного 42,40 грн, 6-позиційного 46,40 грн.

Також розглядалась аналоги DS01C-254-S та NDI0. Перший аналог має схожі параметри. Номінальна напруга 24 В, номінальний струм 25 мА. Золоте покриття контактів. Мінімальна та максимальні робочі температури -40 С – +85 С. Життєвий цикл 2000 перемикань. Вартість для 3-позиційного 21,2 грн та 21,3 грн для 6-позиційного. Цей варіант має ідентичні характеристики, але меншу ціну, але я його не обрав, оскільки він не зручно розташовані контакти для проектування плати. Другий аналог є покращеним варіантом обраного варіанту. Номінальний струм та напруга аналогічні обраним (24 мА та 25 В відповідно). Життєвий цикл 2000 перемикань. Мінімальна робоча температура -20 С, а максимальна +85 С. Покриття – золото поверх нікелю. Вартість 64,6 грн для 3-позиційного і 110,2 грн для 6-позиційного. Так, як нам не потрібен найкращий варіант, було обрано більш бюджетний, але такий, який може задовольнити відповідні потреби для стенду.

Конектор ВАJ-001-NR [18] зображений на рис.2.22



Рисунок 2.22 – Конектор ВАJ-001-NR

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Конектор від KLS. Матеріал покриття нікель. Номінальний струм 10 А. 2 мм. Банановий джек. Висота 24 мм. Вартість 10 грн.

Також розглядались конектори від Degson (рис.2.23) та від Phoenix Contact типу 1119820 (рис.2.24)



Рисунок 2.22 – Конектор від Degson



Рисунок 2.22 – Конектор від Phoenix Contact 1119820

Говорячи про перший варіант від Degson, він має номінальний струм 8 А, а номінальну напругу 300 В. Ціна 8 грн. По при прийнятній ціні, він має головний недолік, це кріплення дротів та монтаж на платі. Конектор не має ніякого додаткового кріплення для дроту, який буде його тримати, також доступ до роз'ємів реалізований збоку, а не зверху як в обраному варіанті, що може

					PI11.411259.001 ПЗ		Арк.
							37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

ускладнювати доступ до роз'ємів. Другий варіант від Phoenix Contact був би ідеальним. Номінальний струм 76 А, номінальна напруга 1 кВ. Але він має занадто високу ціну в 615 грн. Він має найзручніший спосіб кріплення дротів, але на жаль дешевшого варіанту з таким кріпленням знайти не вдалося, тому був обраний наш варіант, який буде оптимальним для поставленої задачі. Також, пізніше було виявлено, що для обладнання в лабораторії краще підійде конектор типу банан, тому був обраний цей варіант, оскільки аналогів, які б відповідали вимогам дуже мало.

В таблиці 2.2 зазначені елементи та їх ціна .

Таблиця 2.2 – Перелік позначень елементів з їх цінами

Елемент	Ціна (грн)
C1	7
C2	1,5
C3	2,5
L1, L2	67,4
L3, L4	15,4
L5, L6	83,4
L7	4,5
L8	30
L9	6,75
L10	4,15
L11	145
L12	2,5
R1	8
R2	9,3
R3	4,5
R4	11,5
R5	4,4
R6	15,4
R7	4,4
SW1, SW2, SW3, SW5	169,6
SW4, SW6	92,8
X1-8	100
Плата	443
	1253

РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ТА КОРПУСА

Після вибору елементної бази та проектуванні схеми, останнім кроком перед виготовленням плати, є створення електричної принципової схеми, бібліотеки компонентів та використання всього цього для створення РСВ дизайну плати.

3.1 Створення бібліотеки елементів

Для створення бібліотеки необхідно створити та заповнити елементами Schematic Library Documents та PCB Library Documents (рис.3.1)

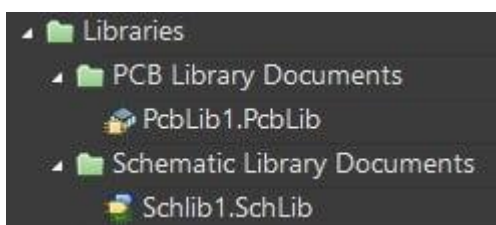


Рисунок 3.1 – PCB та Schematic Library

Файл Schlib1.SchLib містить собі графічне зображення компонентів для схеми електричної принципової, а також містить прив'язки до файла PcbLib1.PcbLib, про який буде сказано пізніше. На рис.3.2 приклад вмісту Schlib1.SchLib файлу, а на рис.3.3 приклад вмісту колонки Inductors

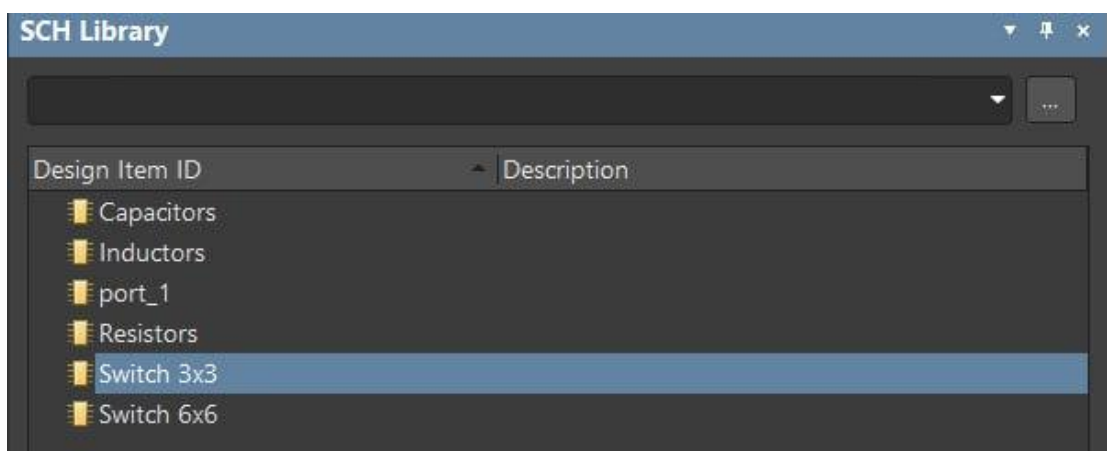


Рисунок 3.2 – Вміст Schlib1.SchLib

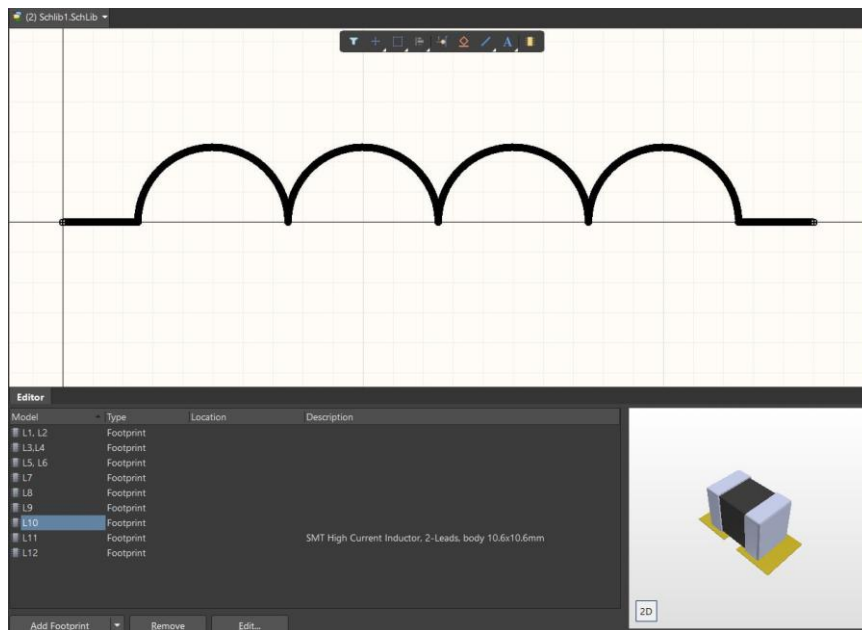


Рисунок 3.3 – Вміст рядка Inductors

Як бачимо з рис.3.3, рядок Inductors в собі має графічне зображення для електричної принципової схеми, а також 9 моделей індуктивностей, які використовуються при проектуванні плати.

3.2 Створення електричної принципової схеми

Схема електрична принципова показує взаємодію окремих її компонентів за допомогою загальноприйнятих умовних позначень. Також це необхідний елемент для подальшого створення плати в системі автоматизованого проектуванні друкованих плат. На рис.3.4 зображена схема електрична принципова модуля зв'язаних коливальних контурів.

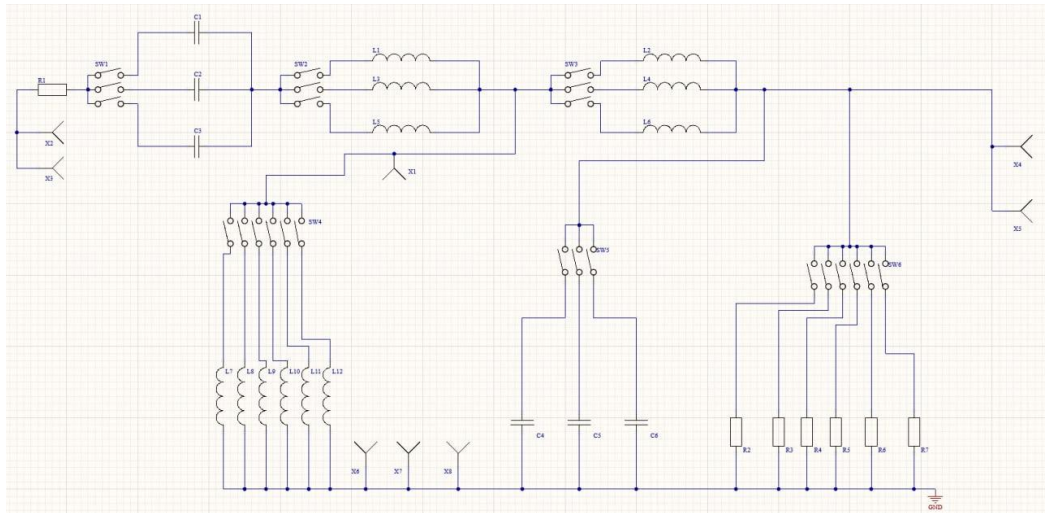


Рисунок 3.4 – Схема електрична принципова модуля зв'язаних коливальних контурів

Схема повторяє спроектовану мною схему в Multisim, але не містить генератора і плоттера Боде, а замість них має 8 конекторів типу банан, оскільки вищезгадані елементи потрібні були для перевірки працездатності схеми в середовищі моделювання, а в реальному житті всі модулі підключається окремо через конектори. Також в таблиці 3.1 наведено перелік елементів із їх графічним позначенням, які використовуються в схемі електричній принциповій

Таблиця 3.1 – Перелік елементів з їх умовним позначенням

Позначення	Найменування	Кількість
Конденсатори		
C1, C3	GRM2165C1H472JA01D	2
C2, C4	MC0402B102K500CT	2
C5, C6	CL05C201JB5NNNC	2
Індуктивності		
L1, L2	B82442T1224K050	2
L3, L4	CBC3225T102KR	2
L5, L6	B82442T1475J000	2
L7	LBR2012T1R0M	1
L8	SRR6038-5R0Y	1
L9	LBMF1608T100K	1
L10	MLZ2012N150LT000	1
L11	7843322000	1
L12	SRR1205-250ML	1

Продовження таблиці 3.1

Позначення	Найменування	Кількість
Резистори		
R1	KTR03EZPF12R0	1
R2	ERA-2ARC102X	1
R3	RC0402FR-0710KL	1
R4	ERA-6AED203V	1
R5	CRCW060330K0FKEAC	1
R6	RT1206BRD0740KL	1
R7	RC0805FR-0751KL	1
Перемикачі		
SW1, SW2, SW3, SW5	2454982-2	4
SW4, SW6	2454982-4	2
Роз'єми		
X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8	CT4397-04-2	8

3.3 Розміри друкованої плати

Так, як в нас немає суворих обмежень по розміру плати, то було вирішено обрати розмір, який зможе вмістити в собі всі відповідні елементи:

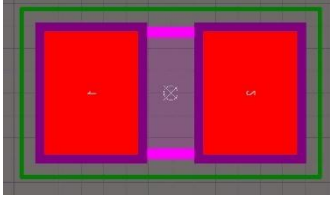
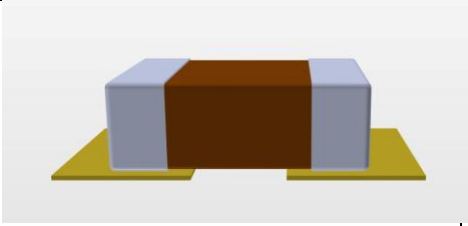
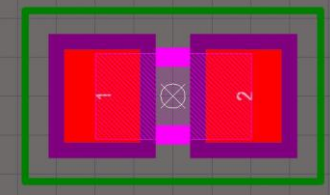
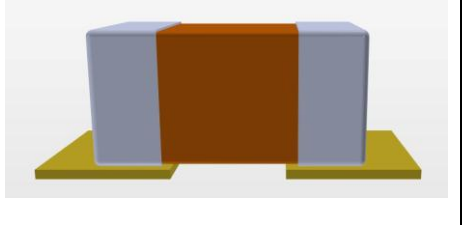
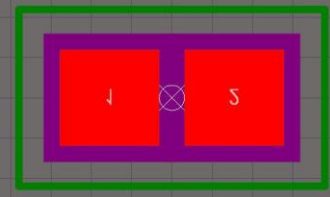
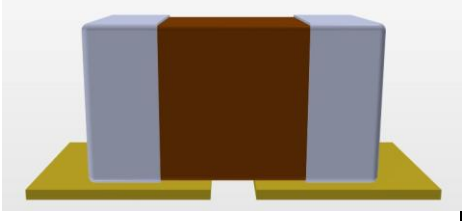
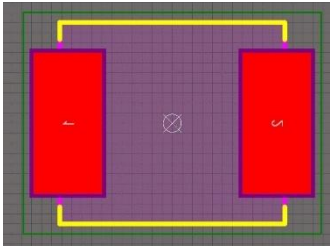
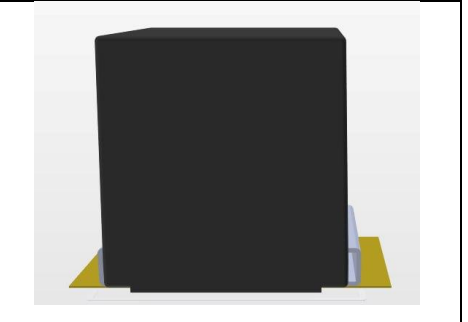
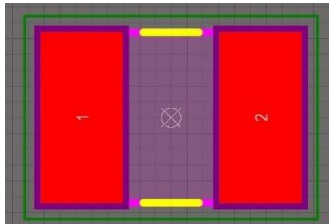
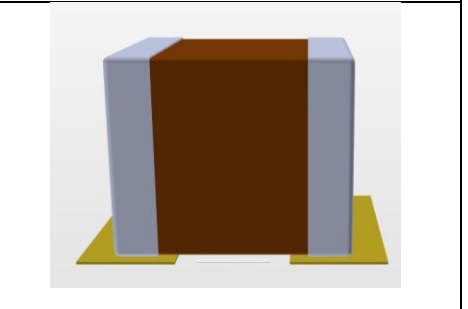
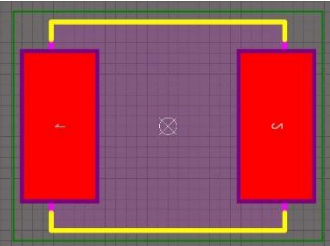
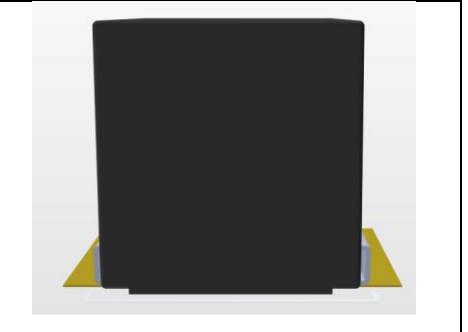
207,50x85 мм

3.4 Трасування друкованої плати

В розділі 3.1 був розглянутий файл Schlib1.SchLib, в цьому розділі розглянемо всім другого файлу PcbLib1.PcbLib, який містить футпринти та 3Д зображення елементів, які використовуються при моделюванні плати.

Таблиця 2

Назва EPE	Зображення Footprint	3D Footprint

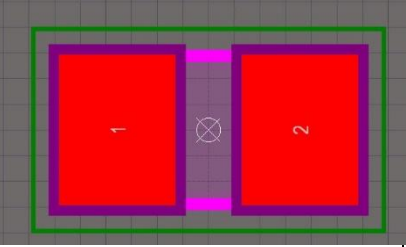
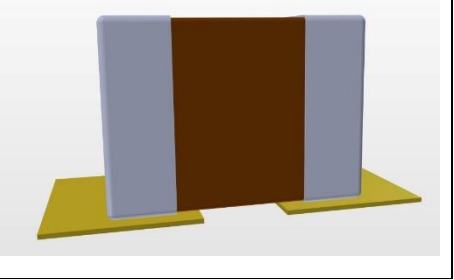
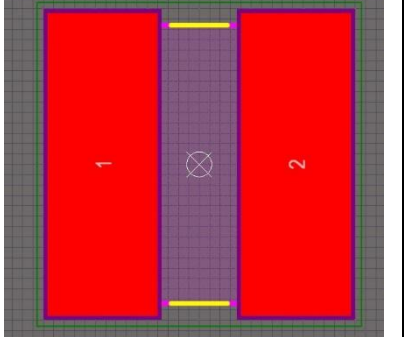
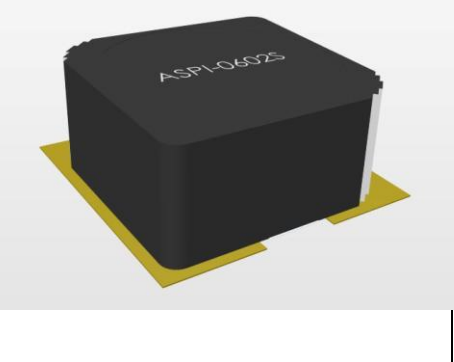
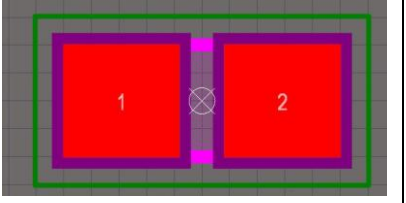
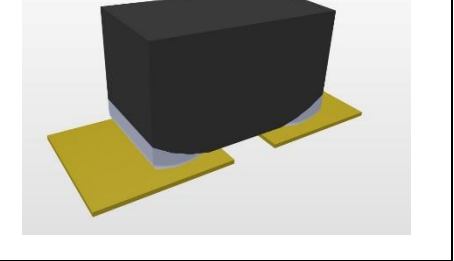
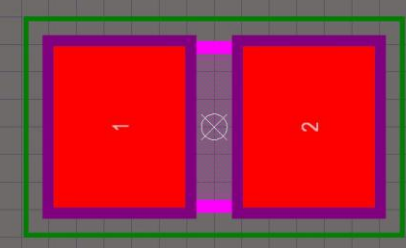
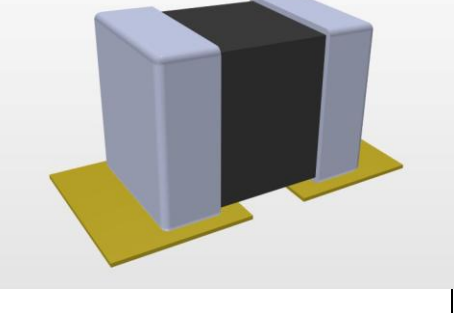
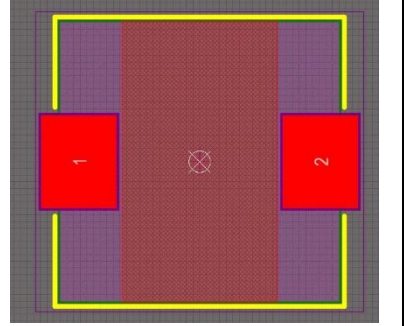
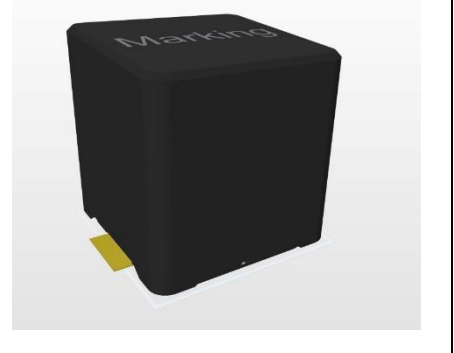
<p>GRM2165C1H472JA01 D</p>		
<p>MC0402B102K500CT</p>		
<p>CL05C201JB5NNNC</p>		
<p>B82442T1224K050</p>		
<p>CBC3225T102KR</p>		
<p>B82442T1475J000</p>		

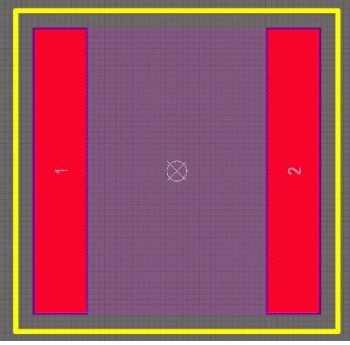
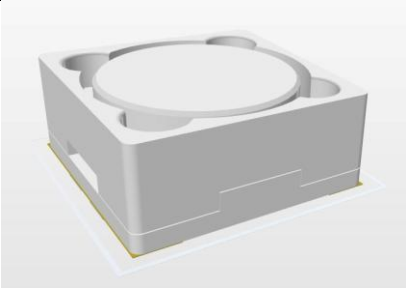
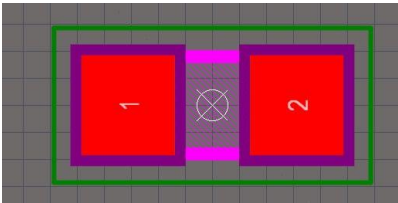
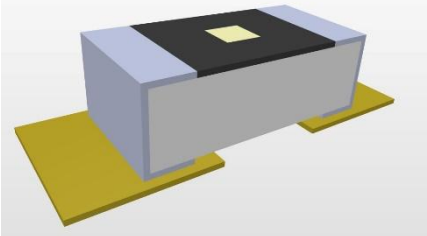
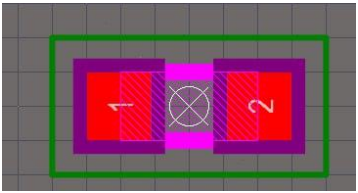
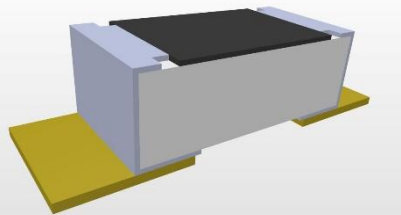
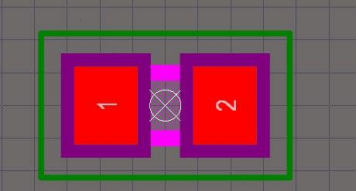
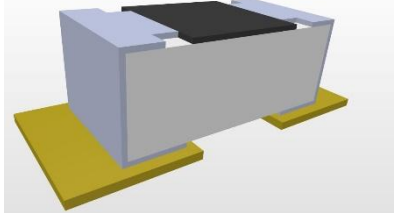
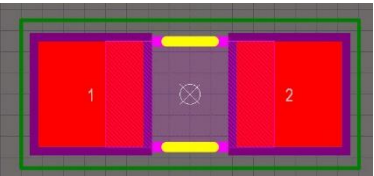
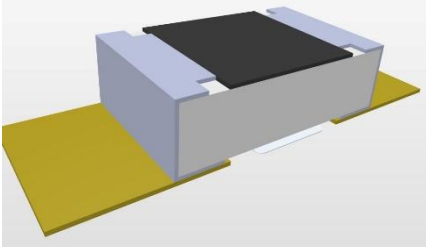
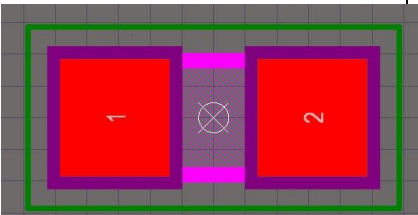
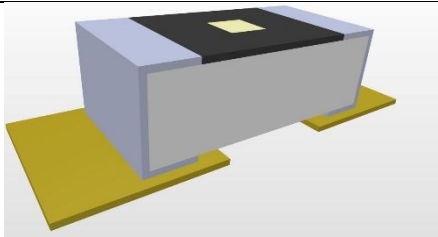
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI11.411259.001 ПЗ

Арк.

43

LBR2012T1R0M		
SRR6038-5R0Y		
LBMF1608T100K		
MLZ2012N150LT000		
7843322000		

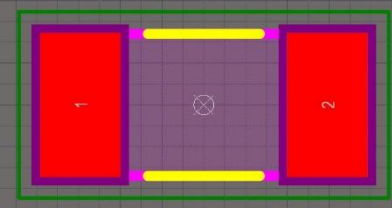
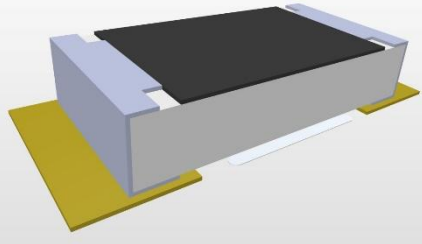
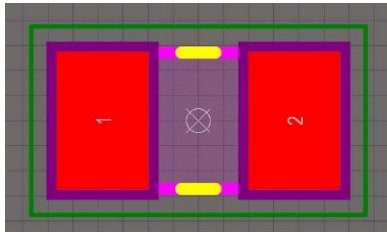
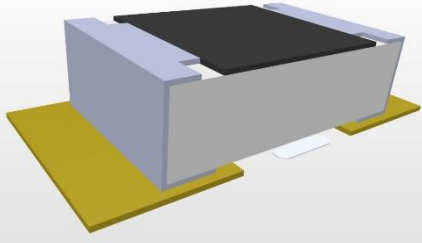
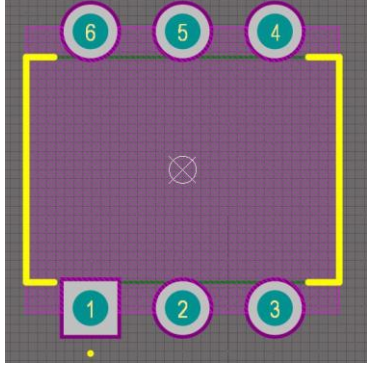
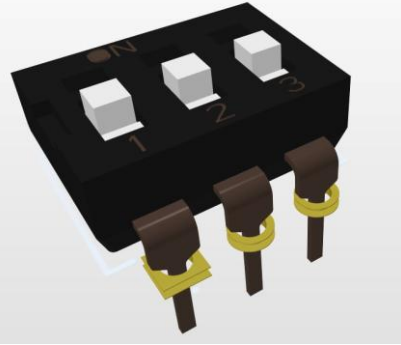
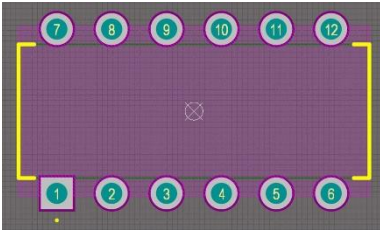
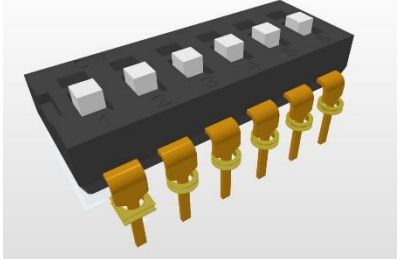
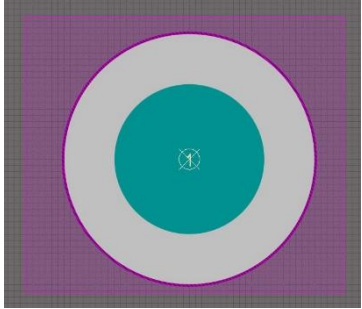
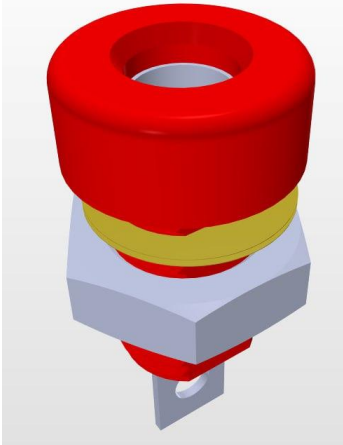
SRR1205-250ML		
KTR03EZPF12R0		
ERA-2ARC102X		
RC0402FR-0710KL		
ERA-6AED203V		
CRCW060330K0FKE AC		

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI11.411259.001 ПЗ

Арк.

45

RT1206BRD0740KL		
RC0805FR-0751KL		
2454982-2		
2454982-4		
BAJ-001-NR		

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI11.411259.001 ПЗ

Арк.

46

Тепер розглянемо Board Planning Mode та 3D View спроектованої друкованої плати.

ПЛАТИ.

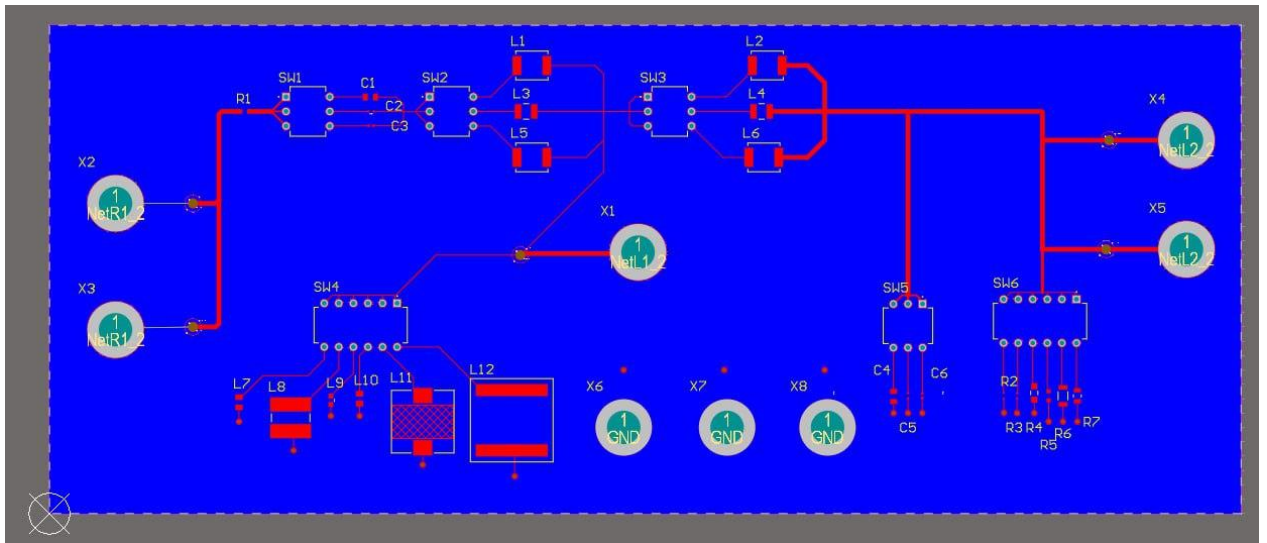


Рисунок 3.5 – Board Planning Mode плати

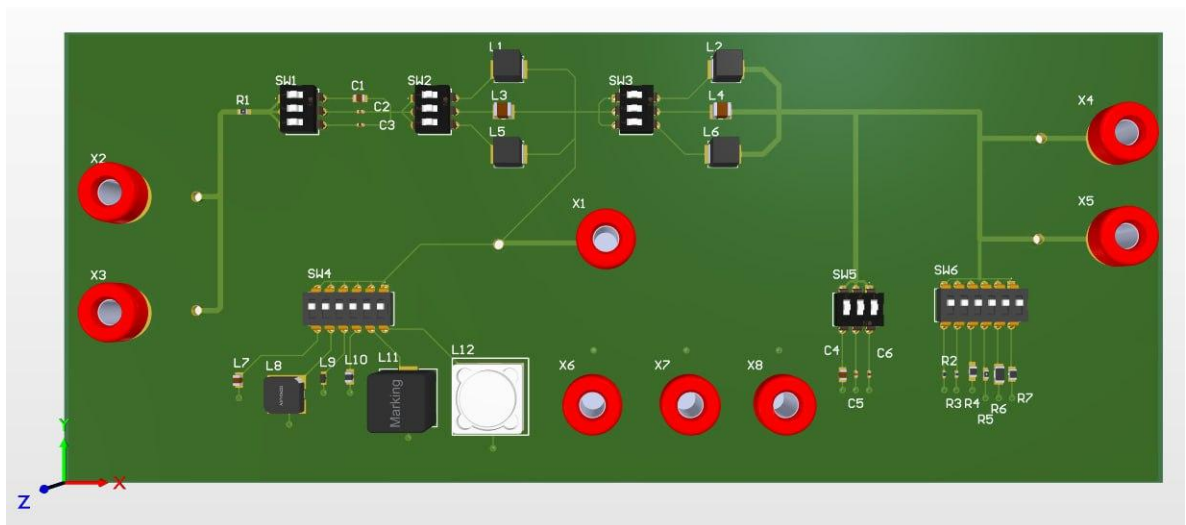


Рисунок 3.6 – 3D View плати зверху

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

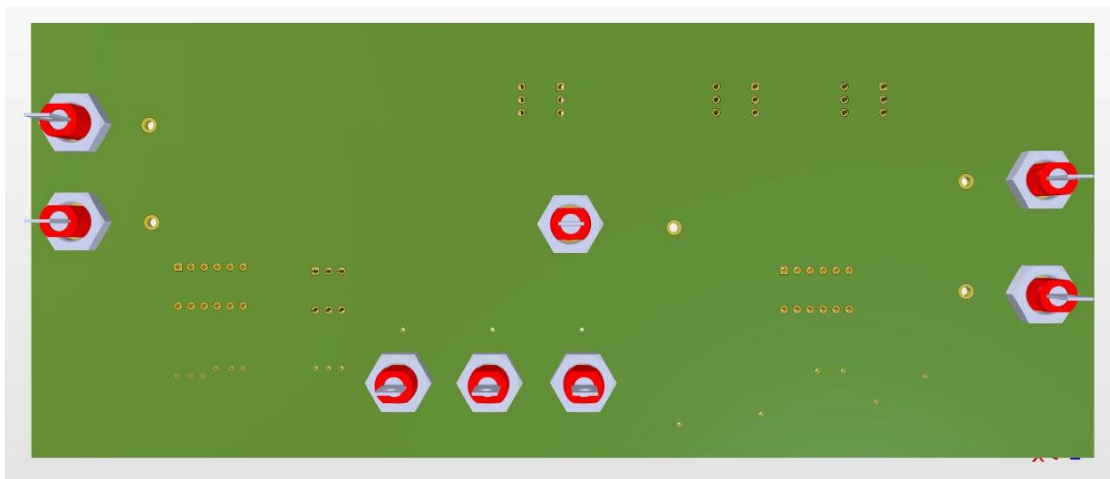


Рисунок 3.7 – 3D View плати знизу

3.5 Проектування корпусу

Для зручнішого використання та зберігання плати було вирішено спроектувати корпус (рис.3.8). Так, як нам потрібно мати доступ до конекторів та перемикачів, необхідно зробити:

1. 8 отворів для конектору ВАJ-001-NR
2. 4 отвори для перемикача 2454982-2
3. 2 отвори для перемикача 2454982-4

Також є декілька високил елементів, для яких також потрібно зробити отвори:

1. 2 отвори для індуктивності B82442T1224K050
2. 2 отвори для індуктивності B82442T1475J000
3. 1 отвір для індуктивності 7843322000
4. 1 отвір для індуктивності SRR1205-250ML

Так, як корпус буде друкуватись на 3Д принтері, необхідно вибрати найкращий тип пластика для поставленої задачі. Для цієї задачі можна вибрати один з трьох найпоширеніших видів пластику:

1. PLA (Polylactic Acid)
2. PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)
3. ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги першого варіанту те, що він дуже легкий в друці, безпечний для використання в приміщенні, але є крихким та погано тримає форму при нагріванні. Другий варіант має кращу термостійкість, є більш міцним та простим в друці із мінусів тягне нитки при друці. Третій варіант має найкращу термостійкість та легко обробляється, але складніший в друці.

Для мого варіанту корпусу найкраще підійде другий варіант (PETG), оскільки не є складним в друці та є досить міцним.

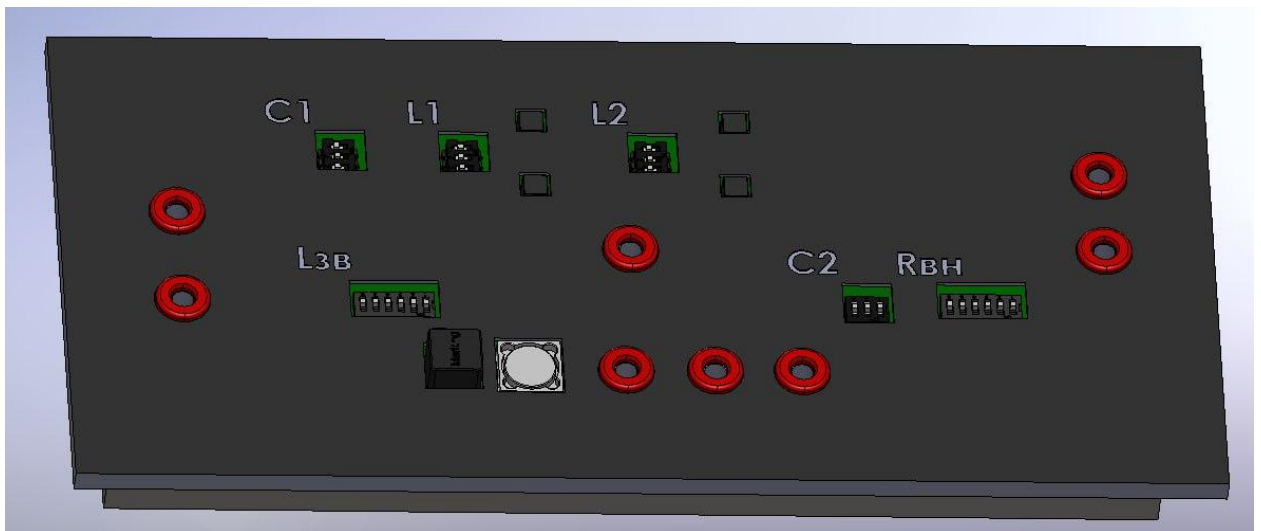


Рисунок 3.8 – 3Д модель корпусу

Корпус складається з двох частин. Для простішої взаємодії з корпусом, верхня частина (рис.3.9) вільно кладеться на нижню (рис.3.10) без кріплень, це дозволяє студентам при бажанні розглядати та аналізувати будову плати без зайвих проблем. Сама плата кладеться на два кріплення нижньої частини корпусу, що забезпечує статичне положення в повітрі. Також на корпусі тисненням виконані схематичні позначення елементів для зручнішого використання. Номінали елементів були зазначені в попередніх розділах і не потребують нанесення на корпус для збереження мінімалістичного дизайну. Розміри двох частин можна побачити на рис.3.9 та рис.3.10. Повне креслення зображене в додатку А

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

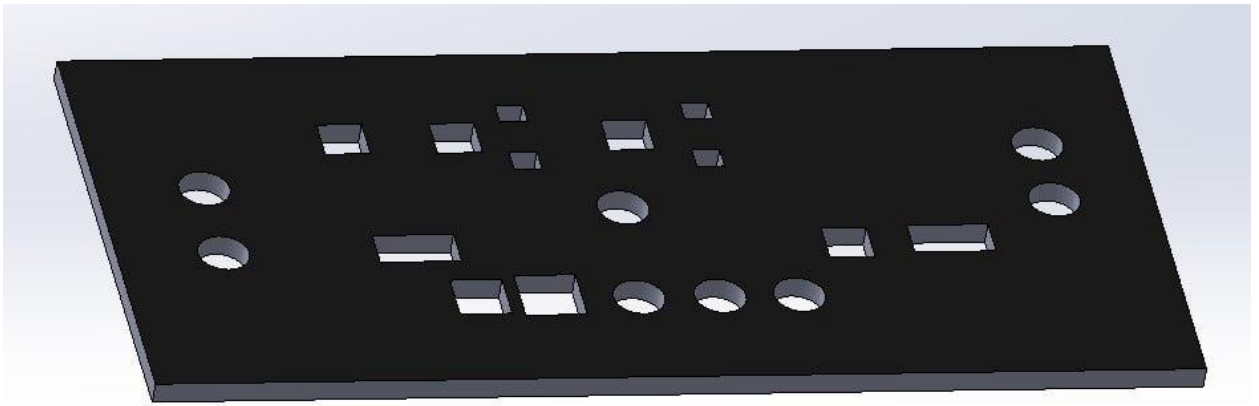


Рисунок 3.10 – 3Д модель верхньої частини



Рисунок 3.11 – 3Д модель нижньої частини

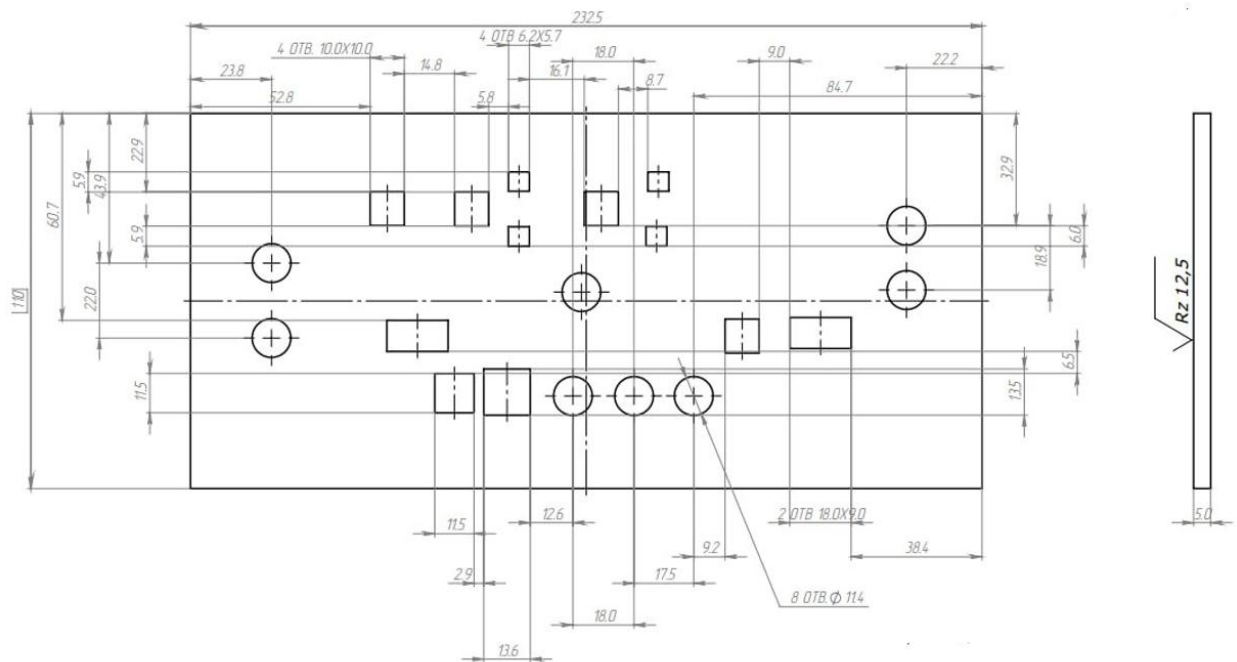


Рисунок 3.11 – Креслення з розмірами верхньої частини корпусу

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

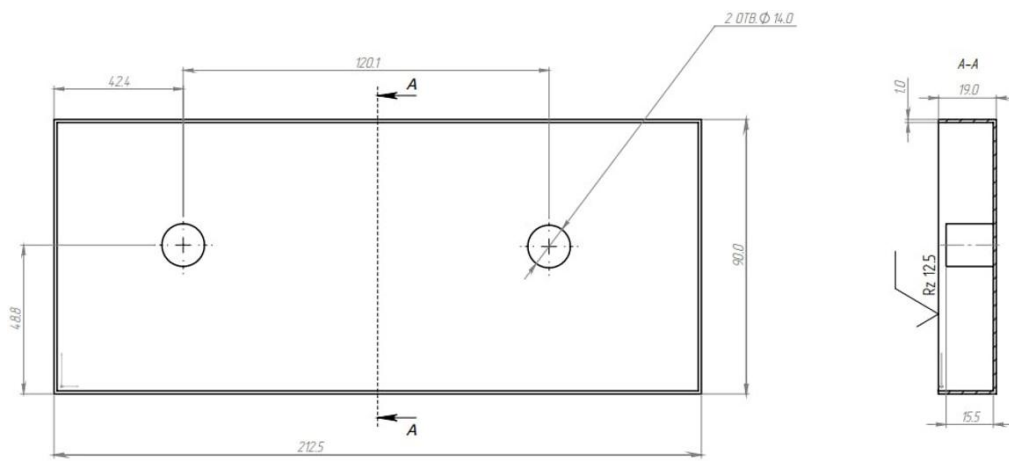


Рисунок 3.12 – Креслення з розмірами нижньої частини корпусу

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

ВИСНОВКИ

У результаті дипломного проектування було розроблено модуль зв'язаних коливальних контурів для лабораторного практикуму з дисципліни “Процеси в лінійних електронних схемах”. Пристрій було спроектовано на сучасній елементній базі. Макет дозволяє вимірювати частотні характеристики зв'язаних контурів та дає можливість змінювати номінали реактивних елементів схеми та опорів навантаження.

Розроблена плата має розміри 207,5x85 для забезпечення зручного використання та товщину 1,6 мм, яка є базовою для більшості плат. Матеріал був обраний FR-4, оскільки це є найпоширеніший матеріал плат, який підходить і для такої плати. Була розроблена тривимірна модель корпусу. Накривка має розміри 232,5x110, а сам корпус 212,5x90. Такі розміри корпусу дозволяють зручно та безпечно користуватись макетом, оскільки пластик з якого виготовлений корпус (PETG) є досить міцним.

В даній роботі представлена базова версія макету, яка задовольняє навчальні потреби, і вона дозволяє легко додати ємності та індуктивності інших номіналів за потреби. Також при бажанні можна зменшити розмір плати, але при дуже малих розмірах буде не зручно користуватись пристроєм, тому вибрані саме такі габарити. Із вдосконалення можна запропонувати додати ковпачки для перемикачів, оскільки вони є досить малими і їх може бути важко перемикати.

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Процеси в лінійних електронних схемах. Лабораторний практикум. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка / А. В. Булашенко, М.Ф. Мхейн, М.І. Ястребов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл 1,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 42с.
2. Котушка індуктивності SRR6038-5R0Y [Електронний ресурс] // <https://eu.mouser.com/> – 2025. – Режим доступу до ресурсу: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Bourns/SRR6038-5R0Y?qs=s%252BX%2FYkvGCpEfKc4OEBpucw%3D%3D>
3. Котушка індуктивності SRR6038-5R0Y [Електронний ресурс] // <https://eu.mouser.com/> – 2025. – Режим доступу до ресурсу: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Bourns/SRR6038-5R0Y?qs=s%252BX%2FYkvGCpEfKc4OEBpucw%3D%3D>
4. Котушка індуктивності LBMF1608T100K [Електронний ресурс] // <https://eu.mouser.com/> – 2025. – Режим доступу до ресурсу: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/TAIYO-YUDEN/LBMF1608T100K?qs=PzICbMaShUcvJLk3RRMd2g%3D%3D>
5. Котушка індуктивності MLZ2012N150LT000 [Електронний ресурс] // <https://eu.mouser.com/> – 2025. – Режим доступу до ресурсу: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/TDK/MLZ2012N150LT000?qs=%2FPzWLGNeQ%252BgOWEpVEUkS7Q%3D%3D>
6. Котушка індуктивності 7843322000 [Електронний ресурс] // <https://eu.mouser.com/> – 2025. – Режим доступу до ресурсу: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Wurth-Elektronik/7843322000?qs=QNEbhJQKvaJcuh2O79Q0g%3D%3D>
7. Котушка індуктивності SRR1205-250ML [Електронний ресурс] // <https://eu.mouser.com/> – 2025. – Режим доступу до ресурсу:

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

14. Резистор RT1206BRD0740KL [Электронный ресурс] // <https://eu.mouser.com/> – 2025. – Режим доступа до ресурсу: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/YAGEO/RT1206BRD0740KL?qs=8cPjvKtxWv6%2Fj7poQeN63w%3D%3D>

15. Резистор RC0805FR-0751KL [Электронный ресурс] // <https://eu.mouser.com/> – 2025. – Режим доступа до ресурсу: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/YAGEO/RC0805FR-0751KL?qs=g6xwsc4j%252B%2FrUFmy6S6ALYQ%3D%3D>

16. Перемикач 2454982-2 [Электронный ресурс] // <https://eu.mouser.com/> – 2025. – Режим доступа до ресурсу: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/TE-Connectivity-Alcoswitch/2454982-2?qs=1Kr7Jg1SGW%2FyvNyTL9wDrw%3D%3D>

17. Перемикач 2454982-4 [Электронный ресурс] // <https://eu.mouser.com/> – 2025. – Режим доступа до ресурсу: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/TE-Connectivity-Alcoswitch/2454982-4?qs=1Kr7Jg1SGW%252Bz93jaadOVjQ%3D%3D>

18. Гніздо банан ВАJ-001-NR [Электронный ресурс] // <https://rcscomponents.kiev.ua/> – 2025. – Режим доступа до ресурсу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/hnizdo-banan-2-mm-chervonyi-baj-001-nr_151222.html

19. Конденсатор GRM2165C1H472JA01D [Электронный ресурс] // <https://eu.mouser.com/> – 2025. – Режим доступа до ресурсу: <https://hr.mouser.com/ProductDetail/MurataElectronics/GRM2165C1H472JA01D?qs=%252BtEvusqQex%2FejzbcvIkt2w%3D%3D>

20. Конденсатор MC0402B102K500CT [Электронный ресурс] // <https://uk.farnell.com/> – 2025. – Режим доступа до ресурсу: <https://uk.farnell.com/multicomp-pro/mc0402b102k500ct/cap-1000pf-50v-10-x7r-0402/dp/1758991>

21. Конденсатор CL05C201JB5NNNC [Электронный ресурс] // <https://eu.mouser.com/> – 2025. – Режим доступа до ресурсу:

					PI11.411259.001 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**ДОДАТОК А.
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

ПОГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖЕНО

ст. викл., к.т.н. Булашенко А.В.

доцент., к.т.н. Літвінцев С.М.

(керівник)

(зав. каф. РІ)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ
«Модуль зв'язаних коливальних контурів»

Київ – 2025

1. НАЗВА І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

Назва дипломного проекту «Модуль зв'язаних 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 прототипу модуля зв'язаних коливальних контурів. Модуль планується використовуватись для навчання лабораторних робіт з дисципліни «Процеси в лінійних електронних схемах».

3. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

3.1 Призначення

Напруга живлення — 5 В;

Робочий частотний діапазон: від 100 до 300 кГц.

Керування: пристрій повинен мати роз'єми для підключення генератора сигналів, осцилографа та вольтметра та елементи керування значеннями номіналів

Стійкість до зовнішніх чинників: відповідає кліматичному виконанню УХЛЗ.3 згідно з ГОСТ 15150-69.

Захист від механічних впливів — клас Н7 за ГОСТ 16019-2001.

3.2 Надійність

Середній напрацювання на відмову — в межах від 20 000 до 120 000 годин.

Ймовірність безвідмовної роботи протягом 1000 годин повинна становити не менше 0,95. Середній термін експлуатації — щонайменше один рік.

3.3 Конструктивні особливості

Пристрій допускається виконувати у формі прямокутного паралелепіпеда. Має бути забезпечено наявність інтерфейсів для підключення вимірювальних приладів.

Габаритні розміри 220×90 мм.

Маса виробу — не більше 1 кг.

3.4 Уніфікація та стандартизація

Планується використання стандартизованої та уніфікованої елементної і матеріальної бази при виготовленні пристрою.

3.5 Дизайн, ергономіка і технічна естетика

Зовнішній вигляд приладу нагадує коробку прямокутної форми. Колір корпусу передбачається сірим з чорною накривкою, та білими позначеннями.

3.6 Експлуатація, обслуговування та ремонт

Обслуговування пристрою здійснюється у разі виникнення потреби. Кліматичне виконання — УХЛЗ.3 згідно з ГОСТ 15150-69. Робоча температура: від -20 °С до +50 °С. Призначений для експлуатації лише в закритих приміщеннях без регулювання мікроклімату.

Середовище повинно бути сухим і вільним від пилу.

3.7 Вимоги безпеки та охорони довкілля

Необхідно дотримуватися положень стандартів з техніки безпеки, електричної та пожежної безпеки. Утилізація пристрою має проводитися відповідно до норм, встановлених ГОСТ 30773-2001 щодо промислових відходів.

3.8 Умови транспортування та зберігання

Транспортування здійснюється згідно з ГОСТ 23216-78. Умови зберігання — відповідно до ГОСТ 15150-69.

3.9 Якість і технічний рівень

Пристрій відповідає сучасному технічному рівню і міжнародним вимогам.

3.10 Матеріали та комплектувальні вироби

Для виготовлення корпусу використовується пластик типу PETG, що відповідає вимогам до міцності та експлуатаційної надійності.

4. ВИМОГИ ДО КОНСЕРВАЦІЇ, ПАКУВАННЯ І МАРКУВАННЯ

Обладнання слід обгорнути повітряно-бульбашковою плівкою, після чого помістити в жорстку картонну тару для транспортування та зберігання.

Консервація: Процедури консервації не передбачаються.

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 – схема електрична принципова, креслення друкованих плат, складальне креслення друкованих вузлів, інструкція до пристрою.

6. ОРІЄНТОВНИЙ ЗМІСТ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Титульний лист

Завдання на дипломний проект

Зміст

Вступ

Розрахунки та моделювання схеми

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

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Аналіз наявної схеми	01 листопада 2024	Виконано
2.	Розрахунок нової схеми та вибір елементів	01 грудня 2024	Виконано
3.	Проектування схеми та вимірювання її характеристик	05 січня 2025 р.	Виконано
4.	Розробка схеми в Altium Designer та оформлення конструкторської документації	01 лютого 2025 р.	Виконано
5.	Проектування корпусу до плати в SolidWorks	01 квітня 2025 р.	Виконано
6.	Підготовка файлів для виготовлення плати та корпусу	15 травня 2025 р.	Виконано
7.	Оформлення документації (пояснювальної записки та презентації)	15 червня 2025 р.	Виконано

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



Пафик ОЛЕКСАНДР

Керівник



Андрій БУЛАШЕНКО

ДОДАТОК Б

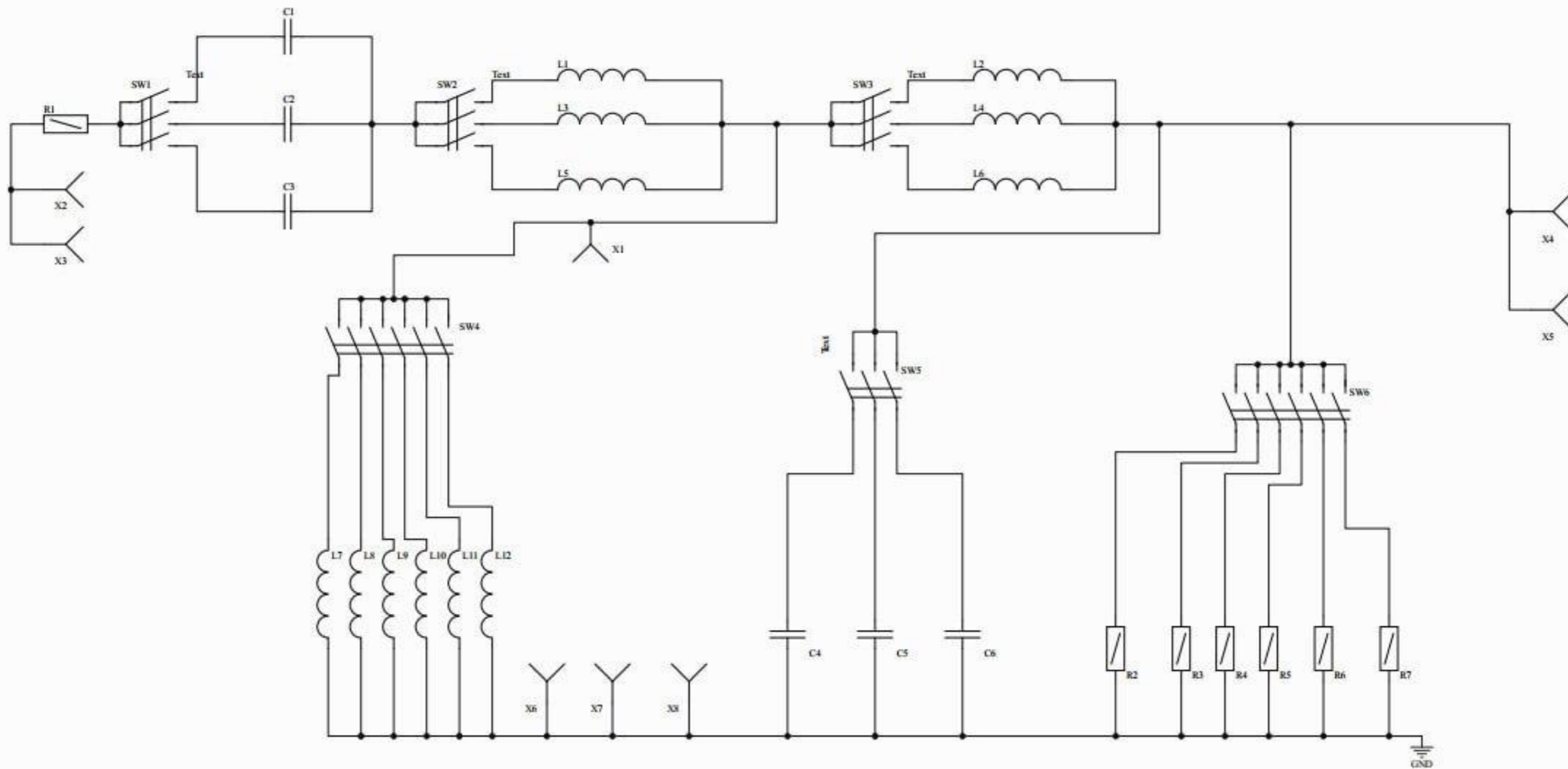
Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Прим.
				<u>Документація</u>		
A4			PI11.411259.001 ПЗ	Пояснювальна записка		
A4			PI11.411259.001 ПЕ	Перелік елементів		
A4			PI11.741428.001 ТМ1	Машинна таблиця (Зд-друк. Накривки)		
A4			PI11.741428.001 ТМ2	Машинна таблиця (Зд-друк. Корпус)		
				<u>Складальні одиниці</u>		
A3		1	PI11.411259.001 СК	Друкований вузол		
				<u>Деталі</u>		
A3			PI11.758755.001	Накривка		
A3			PI11.758755.002	Корпус		
				PI11.411259.001		
Зм	Арк	№ докум.		Під	Дата	
Розроб.	Пафик О.С.					Модуль зв'язаного коливального контур
Перев	Булашенко А.В.					Аркуш
Т.конт	Попсуй В.І.					1
Н.конт						РТФ
Затв	Булашенко А.В.					

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Прим.	
				<u>Документація</u>			
A3			PI11.411259.001 СК	Складальний кресленик плати			
A3			PI11.411259.001 ЕЗ	Схема електрична принципова			
A3			PI11.411259.001 ПЕ	Перелік елементів			
A3			PI11.758753.001	Додаток до креслення			
				<u>Деталі</u>			
A3		1	PI11.758723.001	Друкована плата			
				<u>Складальні вироби</u>			
				Конденсатор 4,7 нФ 5%, 50 В	1	С1	
				Конденсатор 1 нФ 10%, 50 В	1	С2	
				Конденсатор 0,2 нФ 5%, 50 В	1	С3	
				Конденсатор 4,7 нФ 5%, 50 В	1	С4	
				Конденсатор 1 нФ 10%, 50 В	1	С5	
				Конденсатор 0,2 нФ 5%, 50 В	1	С6	
				Дросель 220 мкГн 10%, 330 мА	2	L1, L2	
				PI11.411259.002			
Зм	Арк	№ докум.	Під	Дата			
Розроб.	Пафик О.С.				Друкований вузол	Аркуш	Аркуші
Перев	Булашенко А.В.					1	2
Т.конт	Попсуй В.І.					РТФ	
Н.конт							
Затв	Булашенко А.В.						

Форм	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Прим..	
				Дросель 1 мГн 10%, 100 мА	2	L3, L4	
				Дросель 4,7 мГн 5%, 73 мА	2	L5, L6	
				Дросель 1 мкГн 20%, 400 мА	1	L7	
				Дросель 5 мкГн 10%, 100 мА	1	L8	
				Дросель 10 мкГн 10%, 80 мА	1	L9	
				Дросель 15 мкГн 20%, 350 мА	1	L10	
				Дросель 20 мкГн 20%, 5,4 А	1	L11	
				Дросель 25 мкГн 20%, 2,4 А	1	L12	
				Резистор 12 Ом 1% 100 мВт	1	R1	
				Резистор 1 кОм 0,25% 62,5 мВт	1	R2	
				Резистор 10 кОм 1% 62,5 мВт	1	R3	
				Резистор 20 кОм 0,5% 125 мВт	1	R4	
				Резистор 30 кОм 1% 100 мВт	1	R5	
				Резистор 40 кОм 0,1% 250 мВт	1	R6	
				Резистор 51 кОм 1% 125 мВт	1	R7	
				Перемикач 2454982-2	4	SW1...	
						SW3,	
						SW5	
				Перемикач 2454982-4	2	SW4,	
						SW6	
				Гніздо ВАJ-001-NR	8	X1...X8	
				<u>Матеріали</u>			
				Мідний провід ПВ-3	3 м		
				Пропій ПОС-61	4 г		
				PI11.411259.002			Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.				Дата

PI11.411259.001 E3

Справ. № 1
Перш. застос. {Перш. застос.}



PI11.411259.001 E3						
Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Модуль зв'язаного коливального контуру Схема електрична принципова		
Розроб.	Лафрик О.С.					
Перев.	Булашенко А.В.					
Т. контр.	Попсуй В.І.					
Н. контр.						
Затв.	Булашенко А.В.					
				Літ.	Маса	Масштаб
				Лист 1	Листів 2	
				КПІ ім. Ігоря Сікорського		

Перв. застосування

Довідк. №

Підп. и дата

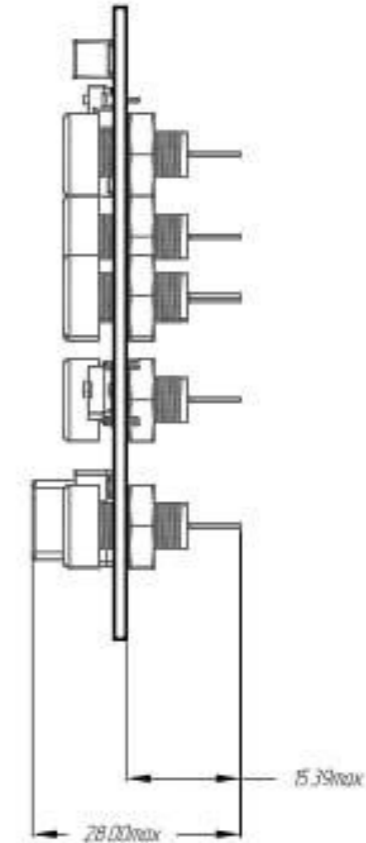
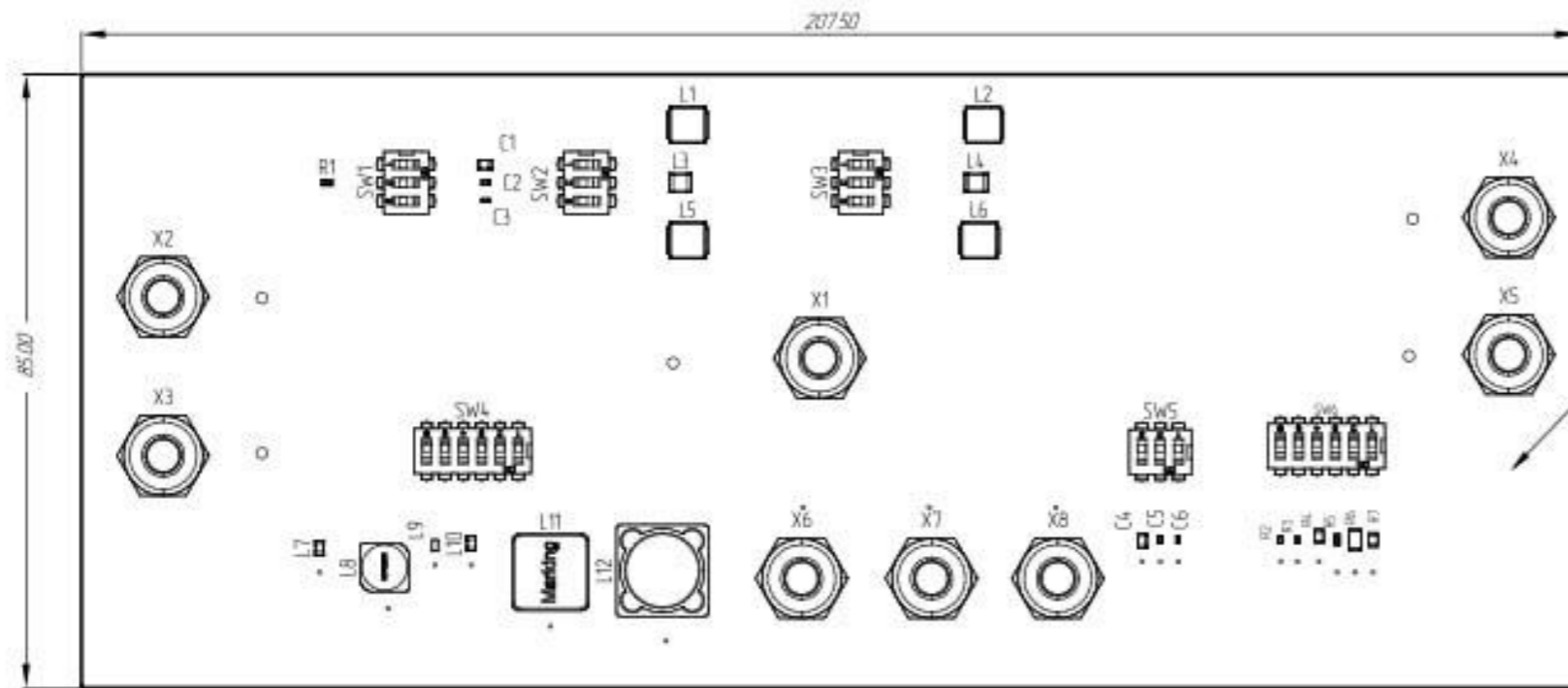
Зам. інв. №

Інв. № ориг.

Підп. и дата

Інв. № ориг.

Р111411259.001 СК



Разміри для довідок

1. Установка елементів здійснюється по ДСТУ 2783-94.
Крок координатної сітки 1мм.
2. Монтаж виконати відповідно до схеми електричної принципової Р111411259.001 ЕЗ
3. Позиційне позначення елементів показано умовно відповідно до схеми електричної принципової Р111411259.001 ЕЗ
4. Встановлення елементів виконувати за ГОСТ 29137-91
5. ПОС-61 ГОСТ 21930-76. Допускається для елементів поверхневого монтажу використання пасти припайної ПСр-2,5 ГОСТ 19738-74.
6. Інші технічні вимоги за ОСТ4 ГО.010.070.015

Р111411259.002 СК

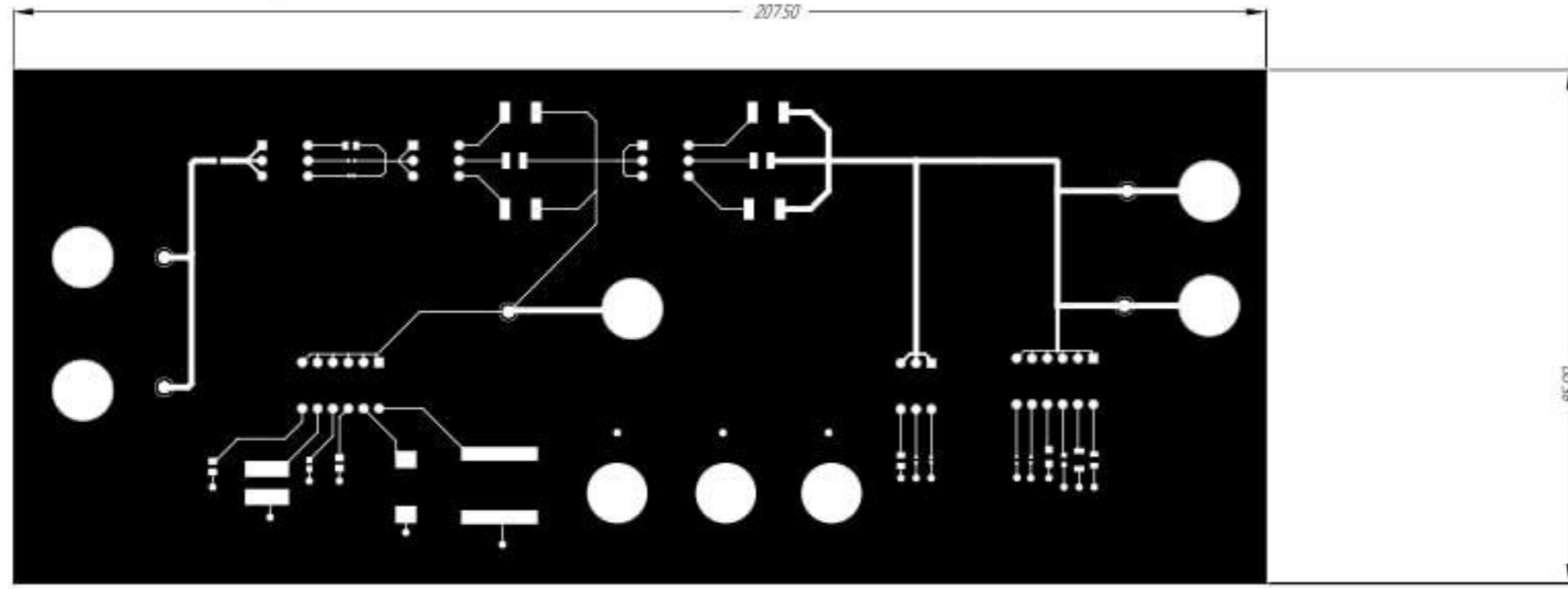
				Літ.	Маса	Масштаб
Зм.	Арк. № докум.	Підпис	Дата			1:1
Розроб.	Пафик О.С.					
Перевір.	Булашенко А.В.					
Т. контр.	Попсуй В.І.					
Н. контр.						
Затв.	Булашенко А.В.					
				Аркуш 1	Аркушів 2	
				КПІ ім. Ізгоря Сікарського		

Друкований вузол
Складальний креслений

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
<u>Конденсатори</u>			
C1, C4	GRM2165C1H472JA01D – Murata, 4,7 нФ ± 5%, 50 В	2	
C2, C5	MC0402B102K500CT – Multicomp pro 1 нФ ± 10%, 50 В	2	
C3, C6	CL05C201JB5NNNC – Samsung 0,2 нФ ± 5%, 50 В	2	
<u>Котушки індуктивності</u>			
L1, L2	B82442T1224K050 – TDK, 220 мкГн ± 10%, 330 мА	2	
L3, L4	CBC3225T102KR – Taiyo yuden 1 мГн ± 10%, 100 мА	2	
L5, L6	B82442T1475J000 – TDK, 4,7 мГн ± 5%, 73 мА, 48,6 Ом	2	
L7	LBR2012T1R0M – Taiyo yuden 1 мкГн ± 20%, 400 мА	1	
L8	SRR6038-5R0Y – Bourns, 5 мкГн ± 30%, 2,9 А, 24 мОм	1	
L9	LBMF1608T100K – Taiyo yuden 10 мкГн ± 10%, 80 мА	1	
L10	MLZ2012N150LT000 – TDK, 15 мкГн ± 20%, 350 мА	1	
L11	7843322000 – Wurth Electronik, 20 мкГн ± 20%, 5,4 А	1	
L12	SRR1205-250ML – Bourns, 25 мкГн ± 20%, 2,4 А, 2,7 Ом	1	
<u>Резистори</u>			
R1	KTR03EZPF12R0 – ROHM Semiconductor, 12 Ом ± 1%	1	
R2	ERA-2ARC102X – Panasonic, 1 кОм ± 0,25%, 62,5 мВт	1	
R3	RC0402FR-0710KL – YAGEO, 10 кОм ± 1%, 62,5 мВт	1	
R4	ERA-6AED203V – Panasonic, 20 кОм ± 0,5%, 125 мВт	1	
R5	CRCW060330K0FKEAC – Vishay, 30 кОм ± 1%, 100 мВт	1	
R6	RT1206BRD0740KL – YAGEO, 40 кОм ± 0,1%, 250 мВт	1	

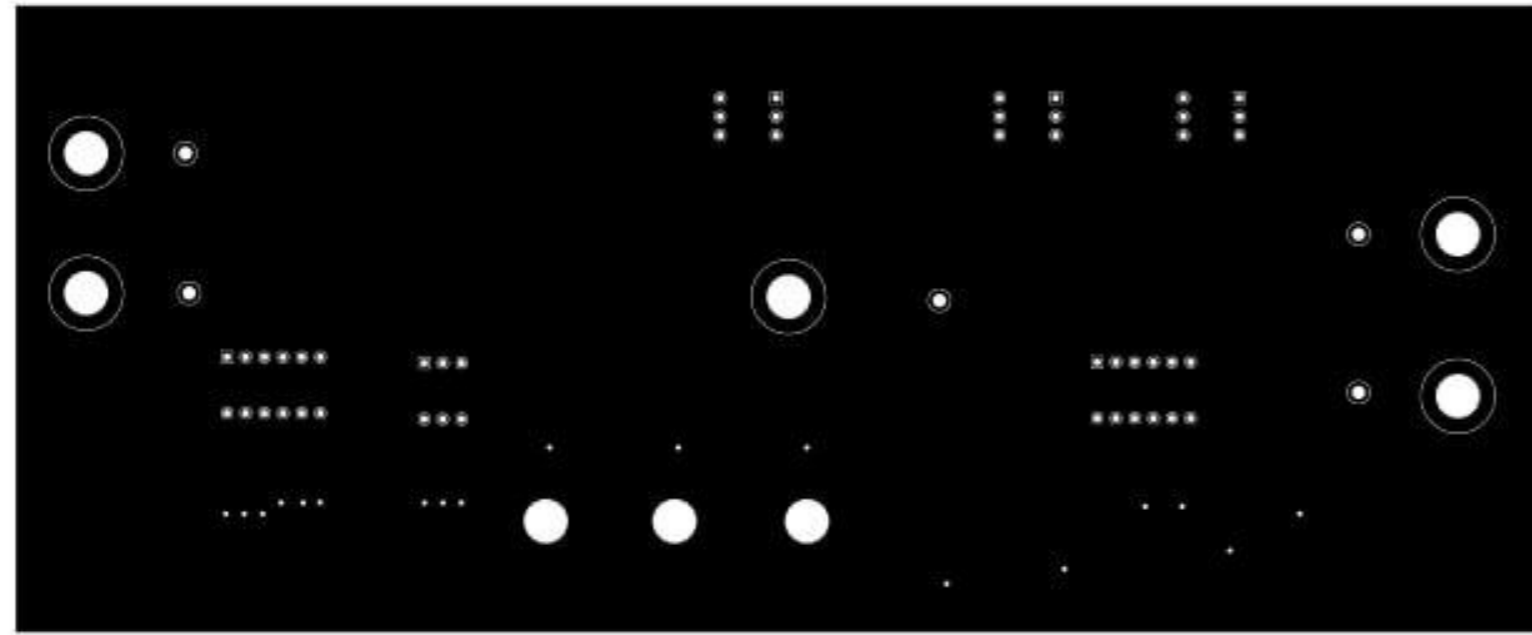
PI11.411259.001 ПЕ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розробив	Пафук					
Перевір.	Булашенко					
Реценз.						
Н. Контр						
Затверд.	Булашенко					
Модуль зв'язаних коливальних контурів				Лім.	Арк.	Аркушів
Перелік елементів					1	2
КПІ ім. Ігоря Сікорського, РТФ						

Р11.758723.001



$\sqrt{Ra\ 0.8}$

$\sqrt{Ra\ 0.8}$



Розміри для довідок

1. H12; h12; +/- JT12/2

2. Клас точності 4 за ГОСТ 23751-86

Топологія верхнього шару металізації друкованого шару у файлі Tm.Cam

Топологія нижнього шару металізації друкованого шару у файлі Bm.Cam

Верхня захисна маска у файлі Tmask.Cam

Верхня захисна маска у файлі Bmask.Cam

Координати отворів ДП у файлі Drill.Cam

Топологія верхнього шару шовкографії у файлі Tsilk.Cam

3. Інші технічні вимоги по ОСТ 4ГО.070.015

Перв. застосування

Довідк. №

Підп. і дата

Інв. № ориг.

Зам. інв. №

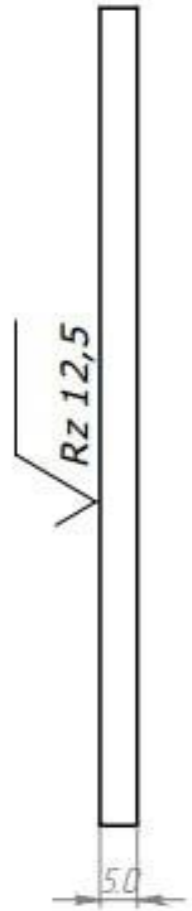
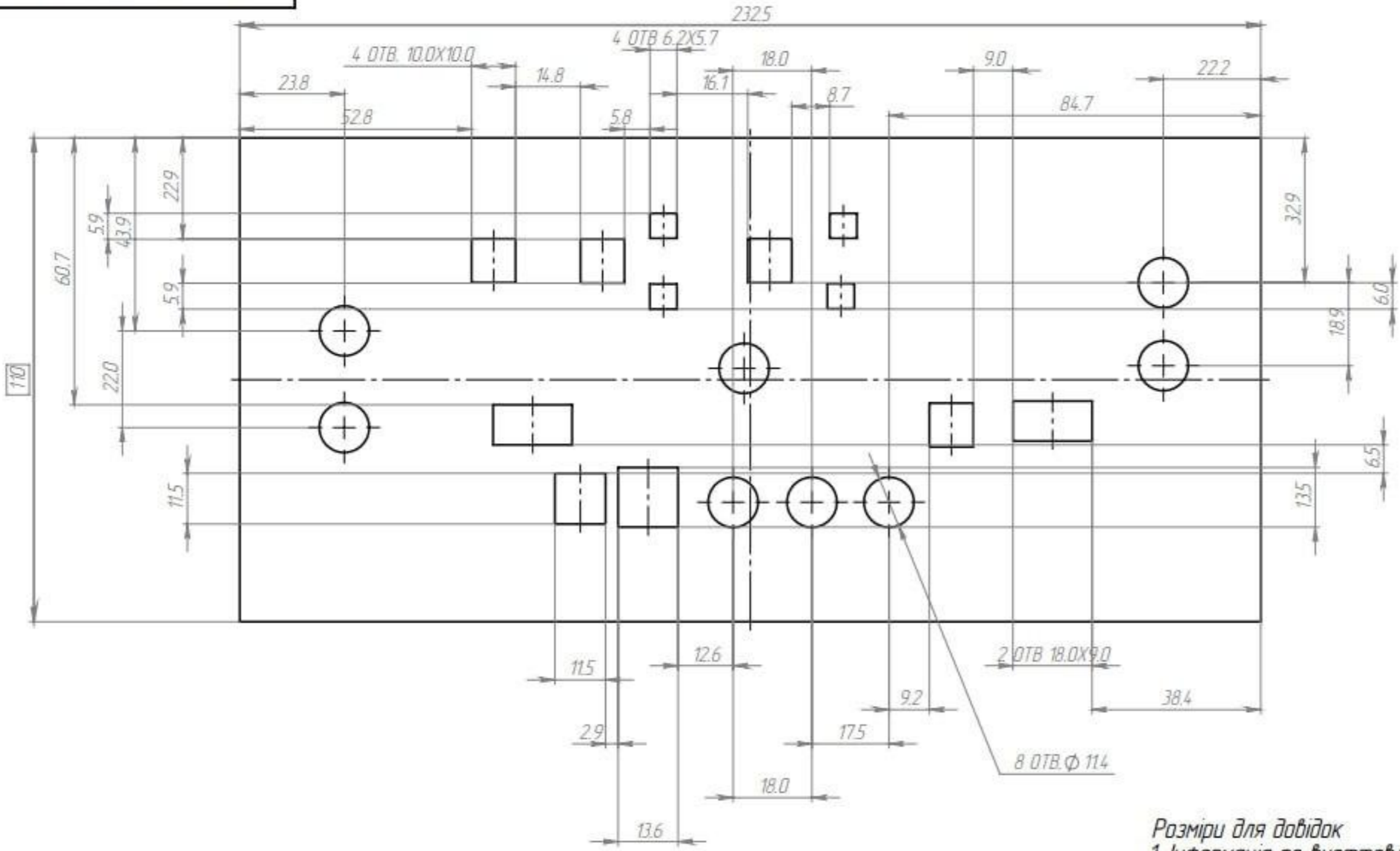
Підп. і дата

Інв. № ориг.

					Р11.758723.001			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Плата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Пафик О.С.						1:1
Перевір.		Булашенко А.В.						
Т. контр.		Попсуй В.І.				Аркуш 2	Аркушів 2	
Н. контр.								
Затв.		Булашенко А.В.						

PI-11.758755.001 CK

$\sqrt{Rz\ 20}$ (✓)



- Розміри для довідок
- Інформація по виготовленню у PI11.758755.001 TM1.
 - Інформація по маркуванню у PI11.758755.001 TM2.
 - H12; h12; +/- J12/2.
 - Інші технічні вимоги по OСТ4.ГО.070.014

Перш. використ.
Справ. №
Підп. та дата
Інв. № дубл.
Взам. інв. №
Підп. та дата
Інв. № подл.

				PI11.758755.001				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Накривка	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Пафик О.С.						200 гр	1:1
Перев.	Булашенко А.В.					Лист	Листів 1	
Т. контр.	Попсуй В.І.							
Н. контр.					PETG пластик ISO 1043-1:2011			
Затв.	Булашенко А.В.				КПІ ім. Ізора Сікорського			

PI11.758755.0012

Перш. використ.

Справ. №

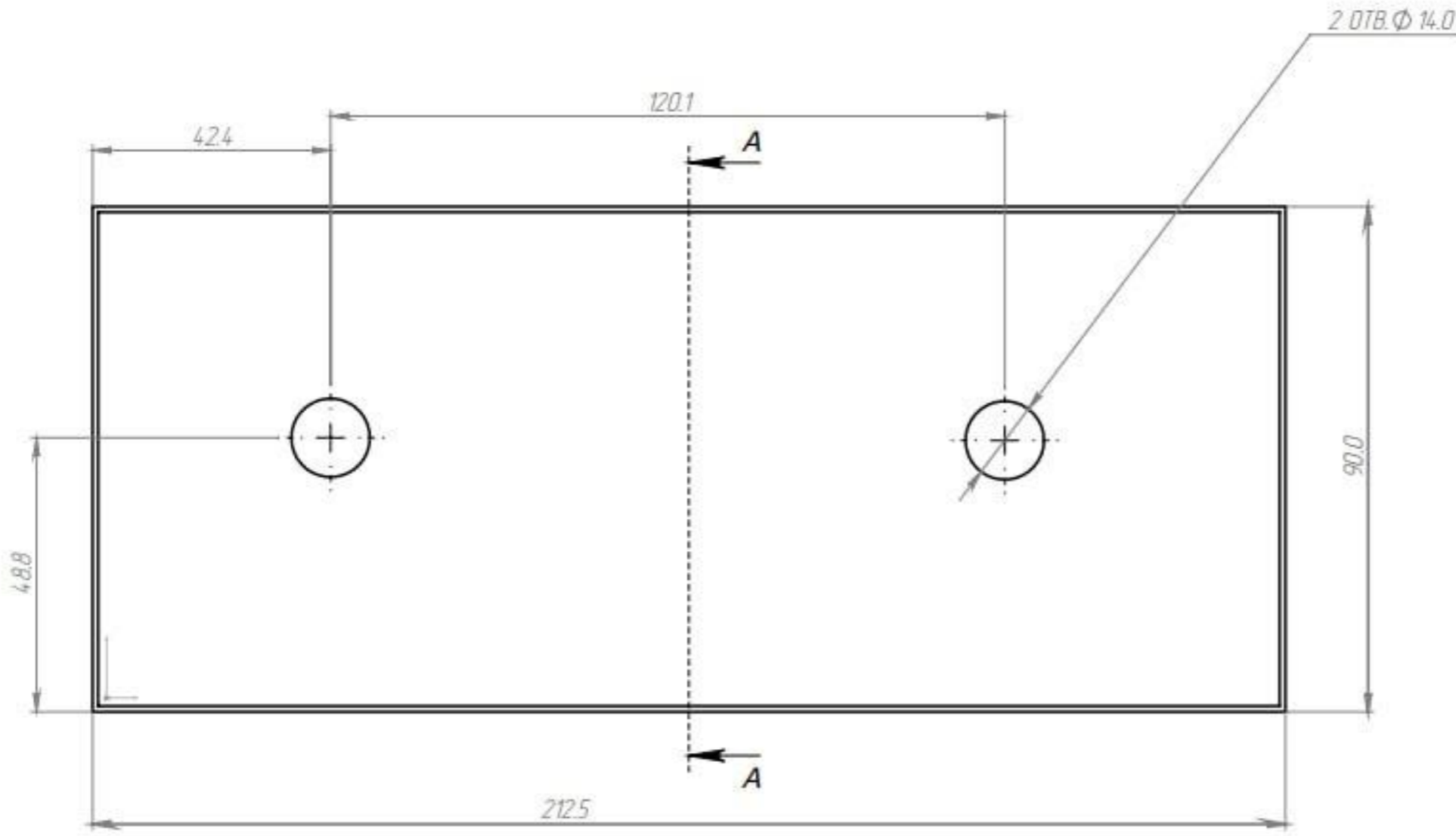
Підп. та дата

Інв. № дубл.

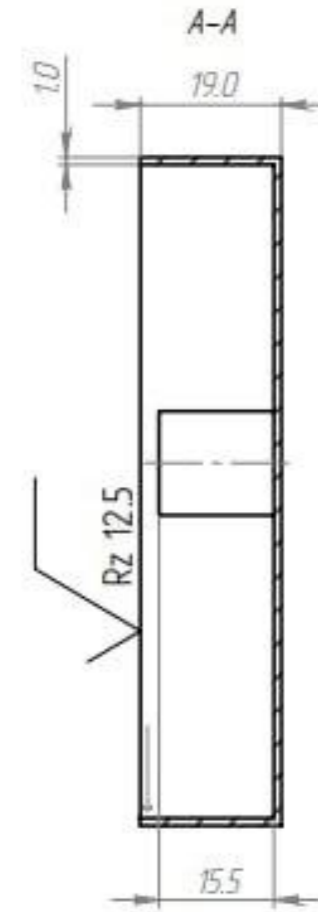
Взам. інв. №

Підп. та дата

Інв. № подл.



Rz 20 (✓)



- Разміри для довідок
- Інформація по виготовленню у PI11.758755.002TM1.
 - H12; h12; +/- Jt12/2.
 - Інші технічні вимоги по OСТ4.ГО.070.014

					PI11.758755.002			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Корпус	Літ.	Маса	Масштаб
Разроб.	Пафук О.С.						0,08	1:1
Перев.	Булашенко А.В.					Лист	Листів	
Т. контр.	Полсці В.І.							
Н. контр.								
Затв.	Булашенко А.В.				PETG пластик ISO 1043-1:2011	КПІ ім. Ігоря Сікорського		

ДОДАТОК В

Вартість компонентів для виготовлення

Елемент	Кількість	Ціна (грн)
GRM2165C1H472JA01D – Murata, 4,7 нФ ± 5%, 50 В	2	7
MC0402B102K500CT – Multicomp pro 1 нФ ± 10%, 50 В	2	1,5
CL05C201JB5NNNC – Samsung 0,2 нФ ± 5%, 50 В	2	2,5
B82442T1224K050 – TDK, 220 мкГн ± 10%, 330 мА	2	67,4
CBC3225T102KR – Taiyo yuden 1 мГн ± 10%, 100 мА	2	15,4
B82442T1475J000 – TDK, 4,7 мГн ± 5%, 73 мА, 48,6 Ом	2	83,4
LBR2012T1R0M – Taiyo yuden 1 мкГн ± 20%, 400 мА	1	4,5
SRR6038-5R0Y – Bourns, 5 мкГн ± 30%, 2,9 А, 24 мОм	1	30
LBMF1608T100K – Taiyo yuden 10 мкГн ± 10%, 80 мА	1	6,75
MLZ2012N150LT000 – TDK, 15 мкГн ± 20%, 350 мА	1	4,15
7843322000 – Wurth Electronik, 20 мкГн ± 20%, 5,4 А	1	145
SRR1205-250ML – Bourns, 25 мкГн ± 20%, 2,4 А, 2,7 Ом	1	22,5
KTR03EZPF12R0 – ROHM Semiconductor, 12 Ом ± 1%	1	8
ERA-2ARC102X – Panasonic, 1 кОм ± 0,25%, 62,5 мВт	1	9,3
RC0402FR-0710KL – YAGEO, 10 кОм ± 1%, 62,5 мВт	1	4,5
ERA-6AED203V – Panasonic, 20 кОм ± 0,5%, 125 мВт	1	11,5
CRCW060330K0FKEAC – Vishay, 30 кОм ± 1%, 100 мВт	1	4,4
RT1206BRD0740KL – YAGEO, 40 кОм ± 0,1%, 250 мВт	1	15,4
RC0805FR-0751KL – YAGEO, 51 кОм ± 1%, 125 мВт	1	4,4
2454982-2 – TE Connectivity, 3-позиційний перемикач	4	169,6
2454982-4 – TE Connectivity, 6-позиційний перемикач	2	92,8
KLS, BAJ-001-NR, порт Banana socket, 2 мм	8	100
Плата 207,50x85 мм	5	443
Доставка елементів		2847
Загальна сума		4100