

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

«До захисту допущено»

В. о. зав. кафедрою

Андрій МОВЧАНЮК

«__» _____ 2023 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо - професійною програмою

«Радіозв'язок і оброблення сигналів»

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Генератор сигналів з мікроконтролерним керуванням»

Виконав:

студент III курсу, групи РІ-зп01

Артеменко Роман Олегович

Керівник:

доцент Лащевська Наталія Олександрівна

Рецензент:

асистент каф. РІ Ванділовський Борис Валерійович

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

Студент

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет **радіотехнічний**

Кафедра прикладної **радіоелектроніки**

Рівень вищої освіти - **перший (бакалаврський)**

Спеціальність (спеціалізація) **172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. зав. кафедрою

Андрій МОВЧАНЮК



«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

На дипломний проект студенту

Артеменку Роману Олеговичу

- Тема проекту:** «Генератор сигналів з мікроконтролерним керуванням»
керівник проекту
затверджені наказом по університету № 2060-с від 30.05.2023р.
- Строк подання студентом проекту** 12.06.2023р.
- Вихідні данні по проекту:** Параметри генератора,
- Зміст пояснювальної записки** (перелік завдань, які потрібно розробити)
проаналізувати завдання; оглянути аналоги; розробити та обґрунтувати структурну та принципову схему; обрати елементну базу; розрахувати параметри схеми; спроектувати друкований вузол; визначити показники надійності; розробити конструкцію корпусу; підтвердити працездатність.
- Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу** (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) структурна схема; схема електрична принципова; складальний кресленик друкованого вузла; плакат.
- Консультанти розділів проекту**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
-	-	-	-

- Дата видачі завдання** 01.05.2023р.

Календарний план

№ з\п	Назва степенів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	1.05.23 – 11.05.23	
2	Розробка та аналіз ТЗ	12.05.23 – 15.05.23	
3	Обґрунтування та вибір схемотехнічних рішень	16.05.23 – 27.05.23	
4	Вибір та обґрунтування елементної бази	28.05.23 – 30.05.23	
5	Проектування друкованої плати та корпусу	31.05.23 – 2.06.23	
6	Розрахунки, що підтверджують працездатність	3.06.23 – 6.06.23	
7	Оформлення документації	7.06.23 – 11.06.23	

Студент



Роман АРТЕМЕНКО

Керівник



Наталія ЛАЩЕВСЬКА

АНОТАЦІЯ

У дипломному проекті була проведена розробка генератора сигналів з мікроконтролерним керуванням, до якого входять пояснювальна записка обсягом 55 сторінки, до яких входять: 34 рисунок, 7 таблиць, 35 посилань та 2 додатки.

Мета проекту – розробити пристрій, який дає можливість керувати генератором як через кнопки керування на корпусі, так через ПЗ на комп'ютері.

Для досягнення цього було проведено аналіз найближчих аналогів даного приладу, було виявлено та проаналізовано їх переваги та недоліки, так само було зроблено аналіз технічного завдання. Також було розроблено структурну та електричну принципову схему, створено конструкцію та відповідні 3Dмоделі та проведено розрахунки надійності приладу.

Ключові слова: DDS генератор, мікроконтролер.

ABSTRACT

In the diploma project, the development of a signal generator with microcontroller control was carried out, which includes an explanatory note of 55 pages, which includes: 34 figures, 7 tables, 35 references and 2 appendices.

The goal of the project is to develop a device that allows you to control the generator both through the control buttons on the case and through software on a computer.

To achieve this, the closest analogues of this device were analyzed, their advantages and disadvantages were identified and analyzed, and the technical specifications were analyzed. Also, a structural and electrical schematic diagram was developed, the design and corresponding 3D models were created, and the reliability of the device was calculated.

Keywords: DDS generator, microcontroller.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

на тему: «Генератор сигналів з мікроконтролерним керуванням»

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ. РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧГОГО ЗАДАННЯ.....	4
1.1.ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	6
1.1.1. Генератор сигналів UNI-T UTG1010A	6
1.1.2. Генератор сигналів FNIRSI SG-003A	8
1.1.3. Генератор сигналів SIGLENT SDG805	9
1.2.РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧГОГО ЗАДАННЯ	12
2. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ	14
2.1.РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	14
2.2.РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ	15
2.3.ВИБІР МАТЕРІАЛУ КОРПУСУ.....	16
2.4.ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДП	17
2.5.ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ.....	17
3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ	35
3.1.ВИЗНАЧЕННЯ ГАБАРИТІВ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ТА ЇЇ РОЗМІРІВ	35
3.2.РОЗРАХУНОК ДІАМЕТРІВ МОНТАЖНИХ ОТВОРІВ	36
3.3.ТРАСУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ	37
3.4.РОЗРОБКА КОРПУСА ДЛЯ ПРИЛАДУ	42
4. АНАЛІЗ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПРИЛАДУ	45
4.1.РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ.....	45

					РІ01.468173.001 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Генератор сигналів з мікроконтролерним керуванням				Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.		Артеменко Р.О.										1	52
Перевір.									КПІ ім. І. Сікорського				
Реценз.													
Н. Контр.													
Затверд.													

5. РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ ПРИЛАДУ	48
ВИСНОВОК	50
Список використаних джерел	51
ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	56
ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ	61
ДОДАТОК В. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА	65
ДОДАТОК Г. ДРУКОВАНА ПЛАТА.....	66
ДОДАТОК Д. СКЛАДАЛЬНИК КРЕСЛЕННЯ КОРПУСУ	67

					РІ01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

ВСТУП

Генератори сигналів - це тип випробувального обладнання, які використовуються для генерації електричних сигналів. Залежно від використання, вони генерують різні типи сигналів. Тому загалом використовуються в різних системах, наприклад в таких як випробувальне обладнання та системи розробки. Генератори сигналів бувають різних форм і використовуються для створення сигналів, таких як аудіосигнали, радіосигнали, аналогові сигнали і цифрові сигнали та інші. Хоча ці системи існують вже давно, сучасні генератори сигналів є надто «звичайними» з точки зору потужності, функціональності тощо.

Електронний пристрій або прилад, який безперервно генерує дискретні аналогові або цифрові сигнали, називається генератором сигналів. Вони в основному застосовуються для тестування, моніторингу сигналів, пошуку та усунення несправностей, моніторингу та врегулювання поведінки підсилювачів тощо. На ринку доступний широкий вибір генераторів сигналів, кожен з яких має свої власні модуляційні та амплітудні характеристики. Таким чином, вихід генератора сигналу можна змінювати, регулюючи амплітуду і частоту під час процесу моделювання.

Генератор сигналів використовується в таких сферах діяльності:

- Генератор випадкових сигналів використовується у високотехнологічних програмах проектування та тестування;
- Генератор радіочастотних та мікрохвильових сигналів загалом використовуюється для проведення тестувань компонентів, систем та приймачів в різних спектрах, таких як WiFi, мобільна телефонія, радар, GPS, WiMAX, аудіо- і відеопередачі, супутникове телебачення, радіоелектронна боротьба і т.д. [1]

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ. РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАДАННЯ

Наразі існують різні види генераторів сигналів з різними рівнями продуктивності та функціональності. Всі генератори мають різну конструкцію, параметри та розміри. Відповідно, різноманітність генераторів використовується в різних напрямках та цілях і охоплює широкий спектр застосувань. Генератори сигналів застосовуються при проектуванні, ремонті та пошуку несправностей електронних пристроїв. Кожен універсальний генератор сигналів також здатний генерувати необмежену кількість сигналів для пошуку несправностей та їх усунення. Вихідний сигнал генератора сигналів можна змінювати, регулюючи його амплітуду і частоту під час моделювання. [2]

В рамках розробки електронних модулів, компонентів схем та інших процесів генератор сигналів служить джерелом імпульсного сигналу. Генератор виробляє амплітудний сигнал, що змінюється в часі, який подається на компонент, що тестується, або на високочастотний модуль, фільтр. Форма сигналу може бути як довільною або ж мати вигляд періодичної функції, наприклад - синусоїди. Це може бути як цифровий імпульс так і двійкова послідовність. Найпоширенішими формами сигналу є синусоїда, меандр, пілкоподібний, трикутний та прямокутний сигнали.

Основна перевага генератора сигналів полягає в тому, що він може імітувати реальну несправність, яку можна завчасно передбачити в певному місці та у певний час в ланцюзі, що тестується.

Нещодавно набули розвитку генератори в основі яких мікросхеми прямого цифрового синтезу частоти (DDS).

Ці пристрої використовуються в промисловості для генерації низькочастотних навігаційних сигналів, що застосовуються в стільниковому зв'язку, в радарх з довжиною хвилі в міліметровому діапазоні та супутниках. Були навіть створені ручні або ж портативні генератори синусоїдальних

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

хвиль, такі як Fg-100, які в свої чергу призначені для роботи в будь-яких умовах.

Прямий або когерентний цифровий синтез (DDS) - це технологія, яка використовується для генерації сигналів спеціальної і довільної форм. Пристрій, заснований на цій технології, синтезує багаточастотні гармонійні сигнали з одного чи декількох опорних коливань з великою точністю та стабільністю. [3]

DDS є унікальним за своєю цифровою ідентичністю: сигнали, що генеруються, синтезуються з точністю, унікальною для цифрових систем. Найпростіший DDS виглядає наступним чином: двійковий лічильник формує адресу ПЗП, в якому записана періодична таблиця синусоїдальної функції, значення лічильника з виходу ПЗП передається на ЦАП, який формує синусоїдальний вихідний сигнал, який проходить низькочастотну фільтрацію і передається на вихід. Для регулювання вихідної частоти застосовується дільник у якого змінний коефіцієнт ділення, на вхід якого подається тактовий сигнал від опорного генератора. Частота, амплітуда та фаза сигналу завжди відомі і точно контролюються; DDS практично не схильний до теплового дрейфу і старіння. Єдиним компонентом, якому притаманна нестабільність аналогових схем, є цифро-аналоговий перетворювач. Його високі технічні характеристики є причиною того, що в останні роки DDS майже замінили звичайні аналогові синтезатори частоти.

Головні переваги DDS :

- дуже висока фазова і частотна роздільна здатність, з цифровим керуванням;
- надзвичайно швидке перемикавання на іншу частоту (чи фазу), регулювання частоти без розмиття фази, відсутність викидів або інших часових аномалій;
- архітектура на основі DDS з дуже малими кроками узгодження частоти усуває необхідність точного узгодження опорної частоти, а також забезпечує параметричну температурну компенсацію;

					РІ01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

- цифровий інтерфейс полегшує реалізацію мікроконтролерного управління.

Параметри синтезатора частоти мають велике значення для телекомунікаційного обладнання. Будучи серцем системи управління, синтезатор принципово визначає характеристики енергоспоживання даної одиниці обладнання. З технічної та економічної точки зору DDS відповідає більшості вимог до ідеального синтезатора частоти: простота, висока інтеграція і невеликі розміри. Крім того, більшість параметрів DDS контролюються програмно, що дозволяє додавати нові функції. Сьогодні DDS застосовують субмікронну CMOS-технологію, 3-вольтову логіку та компактні корпуси. При цьому ціни на них постійно знижуються. Таким чином, DDS є дуже перспективним пристроєм. [4]

1.1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

У цьому розділі розглядаються типові моделі електронних модулів, що випускаються промисловістю, та їхні характеристики.

В якості основного критерія для подальшого вибору візьмемо максимальну частоту, яку генерує прилад. Ця частота становить 12,5 МГц.

1.1.1. Генератор сигналів UNI-T UTG1010A

UNI-T UTG1010A - це високоякісний настільний генератор довільних сигналів з наявною технологією прямого цифрового синтезу (DDS) і великим кольоровим дисплеєм, як показано на рисунку 1.1.

За вказаними виробником даними, генератор може генерувати різні типи сигналів, включаючи прямокутні, синусоїдальні, лінійні, трикутні, імпульсні, шумові, постійного струму та довільної форми. Пристрій має вихідну частоту 10 МГц, частотну роздільну здатність 1 мкГц і вертикальну роздільну здатність 14 біт. UNI-T UTG1010A також підтримує такі режими модуляції, як

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

AM, FM, PM, ASK, FSK і PWM. За версією виробника, генератор має наступні технологічні особливості.

Особливості:

- Генерує різні типи сигналів, включаючи квадратні, синусоїдальні, лінійні, трикутні, імпульсні, шумові, DC і довільної форми.
- Частота дискретизації — 125 МВиб/с.
- Вихідна частота 10 МГц.
- Частотна роздільність 1 мкГц.
- Вертикальна роздільність 14 біт.
- Діапазон вихідної амплітуди 1 мВпік-пік — 10 Впік-пік (50 Ом); 2 мВпік-пік — 20 Впік-пік (1 МОм).
- Різні типи модуляції: AM, FM, PM, ASK, FSK, PWM.
- Інтерфейси USB device, USB host і LAN.
- Екран: 4,3-дюймовий 64 К кольоровий TFT РКД.
- Відповідає стандартам EN 61010-1 и CAT III 300V. [5]

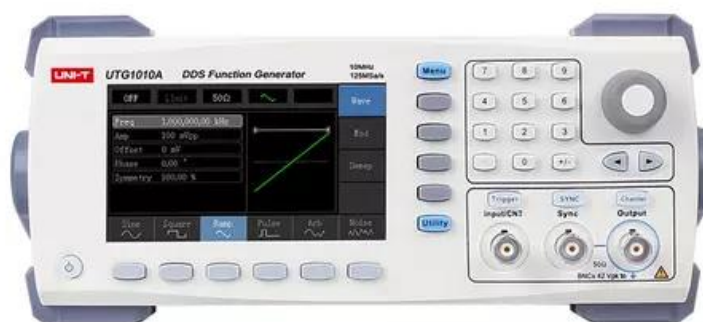


Рисунок 1.1 - Генератор сигналів UNI-T UTG1010A

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1.1.2. Генератор сигналів FNIRSI SG-003A

Генератор сигналів FNIRSI SG-003A - є компактным 1-канальним цифровим генератором сигналів в захисному силіконовому корпусі. За даними виробника він видає сигнали напруги і струму і може імітувати ШІМ-сигнали, а також сигнали від датчиків і систем управління. Генератор сигналів призначений для налаштування ПЛК, технологічного обладнання, а також для електричних клапанів. Зовнішній вигляд генератора зображено на рисунку 1.2. За версією виробника, генератор має наступні технологічні особливості та характеристики.

Особливості:

- Має зручний інтерфейс, простий у використанні;
- Компактні розміри, вага всього 123 г;
- Функція автоматичного вимкнення живлення;
- Індикатор низького заряду батареї;
- Захист від перевантаження за струмом;
- Підсвічування кнопок і дисплея;
- Вбудована батарея на 3000 мАг; заряджається від USB-C.

Характеристики:

- *Активний вихідний струм:* 0-24 мА, точність $\pm (0,1\%+0,005)$, роздільна здатність 0,01 мА, максимальне навантаження: 750 Ом;
- *Вхідна напруга:* 0-30 В, точність $\pm (0,1\% + 0,05)$, роздільна здатність 0,01 В;
- *Вхідний струм:* 0-24 мА, точність $\pm (0,1\% + 0,05)$, роздільна здатність 0,01 мА;
- *Вихідна напруга:* 0-15 В, точність $\pm (0,1\% + 0,005)$, роздільна здатність 0,01 В;
- *Діапазон частот:* 0,001 Гц-180 кГц;
- *Інтерфейс:* USB Type-C (5 В);

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- *Пасивний вихідний струм:* 0-24 мА, точність $\pm (0,1\% + 0,005)$, роздільна здатність 0,01 мА, зовнішнє джерело живлення: 0-30 В;
- *Живлення:* вбудована літієва батарея 3,7 В з ємністю 3000 мАг;
- *Робоча температура, °C:* 0 ~ 5;
- *Розміри, мм:* 92 × 72 × 30;
- *Робочий цикл:* 0-100%, точність $\pm 2\%$, роздільна здатність 1%;
- *Батарея:* близько 8 годин. [6]

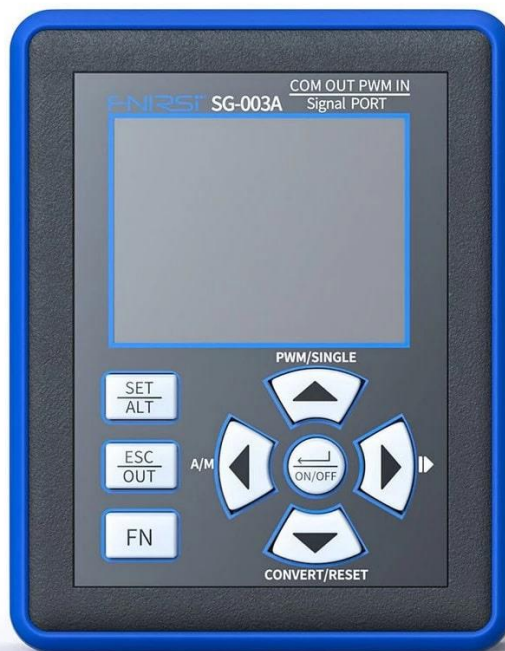


Рисунок 1.2 - Генератор сигналів FNIRSI SG-003A

1.1.3. Генератор сигналів SIGLENT SDG805

Завдяки інноваційній технології EasyPulse, генератор сигналів SIGLENT SDG805 може генерувати швидкі, незалежні від частоти наростаючі/спадаючі цифрові сигнали з низьким вбудованим джиттером і точно відрегульованим робочим циклом, фронтом і тривалістю імпульсів. Сам генератор показаний на рисунку 1.3. За представленими виробником даними, генератор має наступні особливості.

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Особливості

- Технологія DDS;
- Одноканальний вихід;
- Частота дискретизації 125 МВиб/с;
- Вертикальна роздільна здатність 14 біт;
- 5 типів стандартної вихідної осцилограми, 46 типів вбудованих сигналів довільної форми (включаючи DC);
- Повний набір функцій модуляції: AM, DSB-AM, FM, PM, FSK, ASK, PWM, Sweep, Burst;
- Вхід/вихід: вихід осцилограм, вихід синхронних сигналів, вхід зовнішнього запуску;
- Стандартні інтерфейси: USB Device, USB Host;
- Поставляється з потужним ПЗ для редагування сигналів довільної форми;
- Підтримує дистанційне керування. [7]



Рисунок 1.3 - Генератор сигналів SIGLENT SDG805

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Таблиця 1.1 — Порівняльні характеристики генераторів

Назва	Габарити, мм	Вага, кг	Ціна, грн	Діапазон частот
UNI-T UTG1010A	231 × 94 × 283	3,2	7442	До 10 МГц
FNIRSI SG- 003A	92 × 72 × 30	0,123	2457	0,001 Гц-180 кГц
SIGLENT SDG805	229 × 105 × 281	2,6	13650	До 5 МГц

З результатів, наведених у таблиці 1.1, можна зробити висновок, що більшість промислових генераторів є великими, важкими та дорогими. Тому доцільно розробити генератор синусоїдального сигналу на основі мікросхеми прямого синтезу DDS.

1.2. РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАДАННЯ

Згідно з технічним завданням діапазон частот, що генеруються, повинен становити 0-12,5 МГц. Параметри живлення: напруга - 5 В, струм не повинен перевищувати 500 мА, рекомендований вхідний роз'єм USB типу В. Пристрій повинен мати зручний та ергономічний корпус для зручності використання, портативності та транспортування.

Застосовувати пристрій можна при у помірно-холодному кліматі УХЛ 4.2 відповідно до ГОСТ 15150-69 [8], за яким передбачені такі умови:

- робоча температура в межах від +35 °С до +5 °С;
- гранична температура в межах від +35 °С до +0 °С;
- середнє значення відносної вологості повітря – 70% при температурі +15 °С;
- граничне значення відносної вологості повітря – 85% при температурі +20 °С;
- робоче значення атмосферного тиску – 103 кПа;
- мінімально допустиме значення атмосферного тиску – 83 кПа.

Транспортування проводиться відповідно до ГОСТ 23216-78[9]. Транспортування без перевантажень автотранспортом – транспортними засобами з пневматичним демпфуванням дорогами з асфальтним і бетонним покриттям (дороги 1-ї категорії за будівельними нормами та правилами затвердженими Укравтодором) на відстані до 1000 км.

За ГОСТ 30773-2001 [10] утилізацією виконує виробник. В процесі утилізації всі частини пристрію розділяються на дві групи: ті що йдуть на повну ліквідацію та на переробку.

У пристроя повинен бути гарантійний термін не менше 1-го року та середній час напрацювання на відому складає не менше 12000 годин. Ремонт і

					РІ01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

технічне обслуговування повинен здійснювати виробник. Корпус повинен бути відкидним, щоб прилад можна було відремонтувати.

					РІ01.468173.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

2.1. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

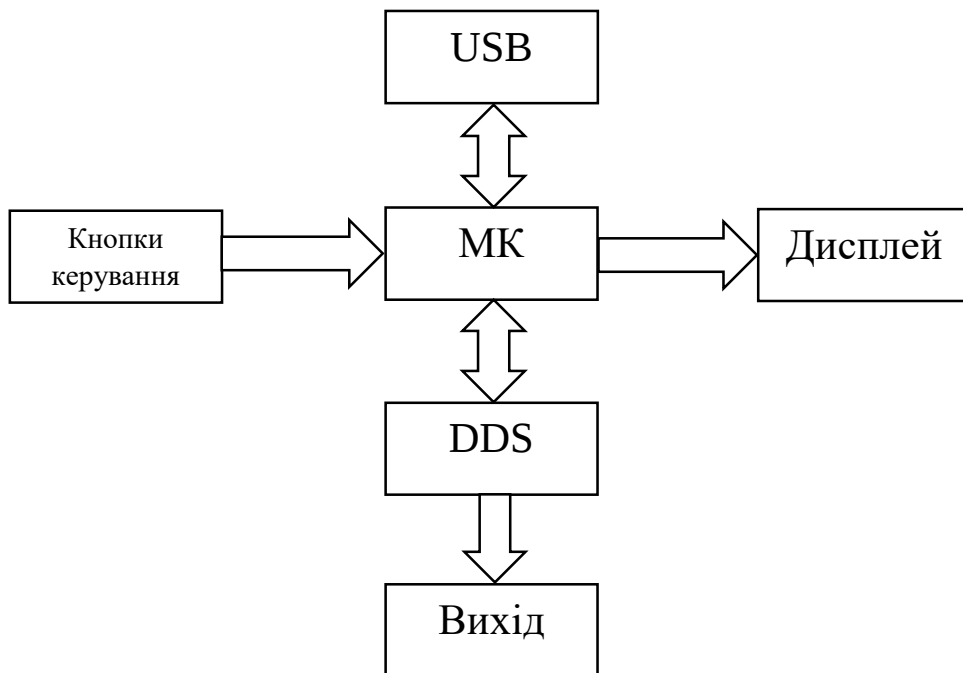


Рисунок 2.1 – Блок-схема приладу

1. USB виконує функцію живлення приладу, а також можливої передачі даних між мікроконтролером та зовнішніми пристроями;
2. Кнопки керування виконують функцію передачі команд для мікроконтролера;
3. Мікроконтролер виконує функцію керування всією схемою, а саме: керування DDS генератором, вивід на дисплей поточного стану роботи приладу та обмін інформації через USB.
4. Дисплей відображує поточний режим роботи схеми;
5. DDS – генератор сигналів, який керується мікроконтролером;
6. Вихід – роз'єм на який подається сигнал з DDS генератора.

2.2. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

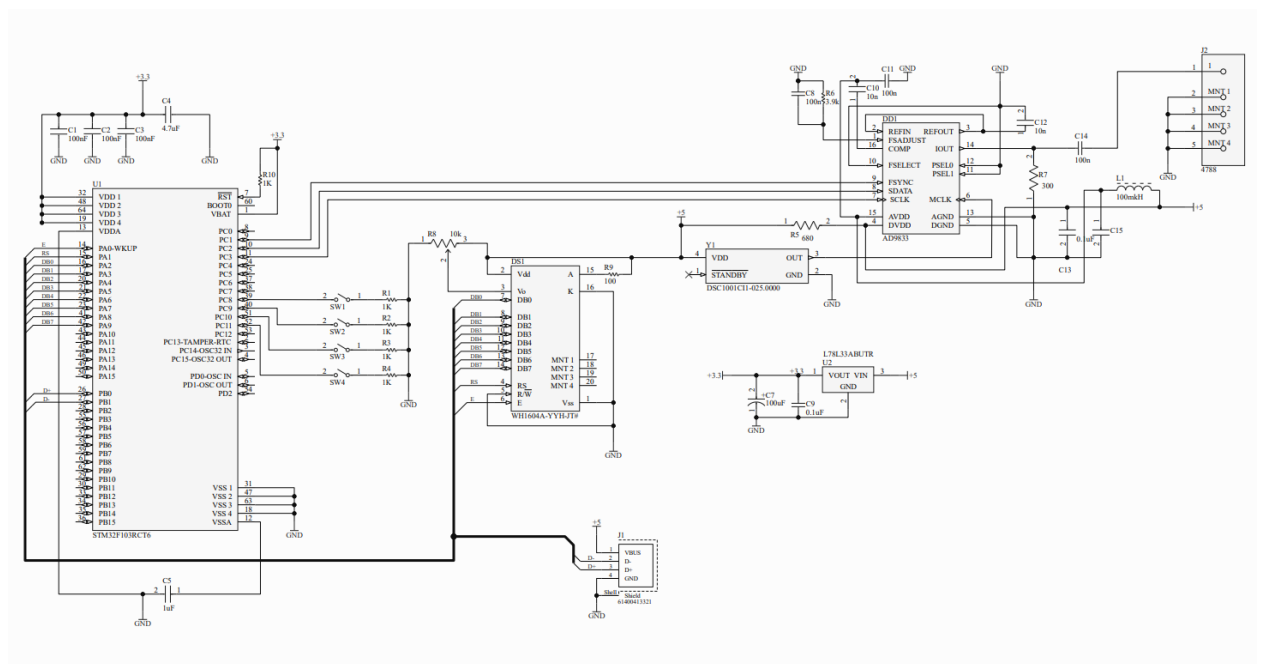


Рисунок 2.2 – Схема електрична принципова

Для керуванням роботи схеми було вибрано мікроконтроллер STM32F103RCT6. Він має 32 бітне ARM Cortex M3 ядро з частотою до 72 МГц. Має вбудовану пам'ять до 512 Кб та широкий спектр підтримуваних інтерфейсів. Для роботи мікроконтроллера потрібне напруга живлення в межах від 2 В до 3.6 В.

В якості генератора сигналу було вибрану чіп AD9833. Це 28 бітний, малопотужний програмуємий генератор сигналів. Для керування генератором використовується послідовний 3-wire інтерфейс, а також напруга живлення якого від 2.3 до 5.5 В.

Для преобразування напруги живлення з 5 В до 3.3 В було використано стабілізатор напруги L78L33ABUTR, який може працювати з навантаженням до 1 А.

Для відображення роботи приладу використовується дисплей Winstar WH1604A-YUH-JT 16x4 LCD Display який керується мікконтролером через SPI інтерфейс, та має напругу живлення 5 В.

2.3. ВИБІР МАТЕРІАЛУ КОРПУСУ

PETG був обраний як матеріал для корпусу пристрою, оскільки це сополіестер з високою температурою плавлення, стійкістю до більшості хімічних речовин та ультрафіолету, а також хорошою стійкістю до стирання. Він часто використовується в адитивному виробництві у вигляді ниток або гранул завдяки простоті друку. [11]

Міцний, гнучкий і пластичний пластик. Хімічно стійкий до більшості реагентів і простий та піддатливий до обробки. Відмінна адгезія шарів, що збільшує довговічність моделі. Матеріал є цілком безпечним у порівнянні з **ABS**, а головне він немає запаху при друку. Придатний для вторинної переробки.

Матеріал має наступні фізичні та хімічні властивості, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Фізико-механічні властивості PETG [12]

Властивість	Одиниця вимірювання	Значення
Густина	кг/м ³	1,26–1,28·10 ³
Межа текучості	Па	4,79–5,29·10 ⁷
Межа міцності при розтягуванні	Па	6,0–6,6·10 ⁷
Подовження	% деформації	1,02–1,18
Твердість за Віккерсом	Па	1,41–1,56·10 ⁸
Ударна в'язкість	Дж/м ²	1,9–2,0·10 ⁵
В'язкість руйнування	Па·м ^{1/2}	2,11–2,54·10 ⁶
Модуль Юнга	Па	2,01–2,11·10 ⁹

2.4. ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДП

Друкована плата виготовлятиметься з фольгованого гетинаксу - **FR2** (целюлозний папір, просочений фенольною смолою), підібраного відповідно до ГОСТ 10316-7 та IPC 4101В. Він широко використовується як друкована плата в побутовій електроніці, аудіо- та відеотехніці, автомобілебудуванні та має чудове штампування. [13]

2.5. ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

Конденсатори (C1, C2, C3, C8, C11, C14) які представлено на рис. 2.3, від компанії *Murata Manufacturing* [14].

Характеристики:

- Ємність - 100 нФ;
- Діапазон температур від - 55 °С до +85 °С;
- Номінальна напруга - 6,3 В;
- Матеріал діелектрика: кераміка.

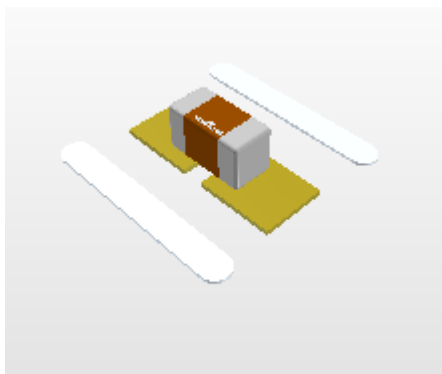


Рисунок 2.3 — 3D модель в *Altium Designer*

Конденсатор (C4) який представлено на рис. 2.4, від компанії *Murata Manufacturing* [15].

Характеристики:

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- Ємність - 4,7 мкФ;
- Діапазон температур від - 55 °С до +125 °С;
- Номінальна напруга - 50 В;
- Матеріал діелектрика: кераміка.

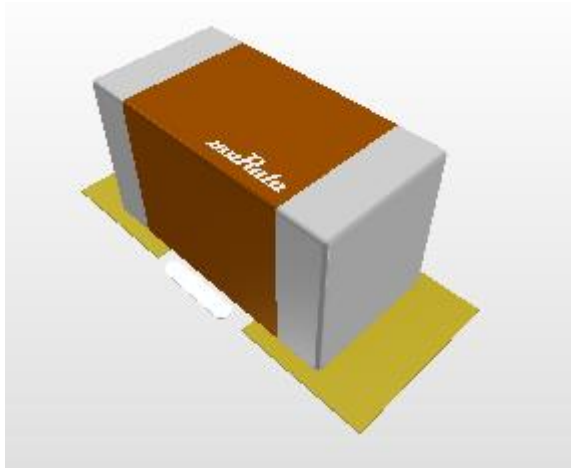


Рисунок 2.4 — 3D модель в *Altium Designer*

Конденсатор (C5) який представлено на рис. 2.5, від компанії *Yageo Corporation* [16].

Характеристики:

- Ємність - 1 мкФ;
- Діапазон температур від - 55 °С до +125 °С;
- Номінальна напруга - 16 В;
- Матеріал діелектрика: кераміка.

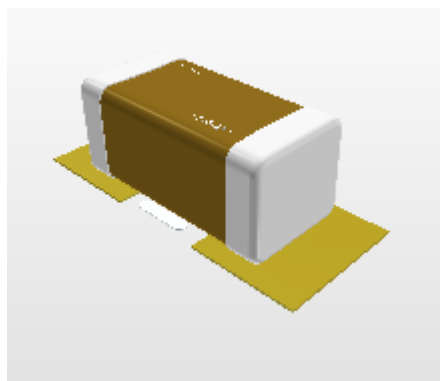


Рисунок 2.5 — 3D модель в *Altium Designer*

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Конденсатор танталовий (C7) який представлено на рис. 2.6, від компанії *KYOCERA AVX Components* [17].

Характеристики:

- Ємність 100 мкФ;
- Діапазон температур від - 55 °С до +125 °С;
- Номінальна напруга - 16 В;
- Полярність – польовий.

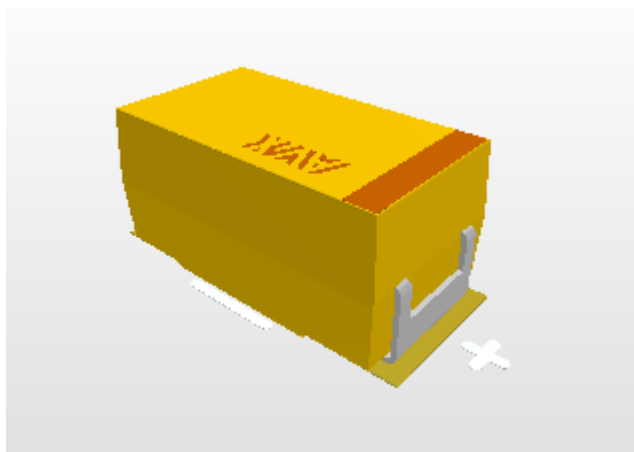


Рисунок 2.6 — 3D модель в *Altium Designer*

Конденсатори (C9, C13, C15) які представлено на рис. 2.7, від компанії *TDK Corporation* [18].

Характеристики:

- Ємність 0,1 мкФ;
- Діапазон температур від - 55 °С до +85 °С;
- Номінальна напруга - 16 В;
- Матеріал діелектрика: кераміка.

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

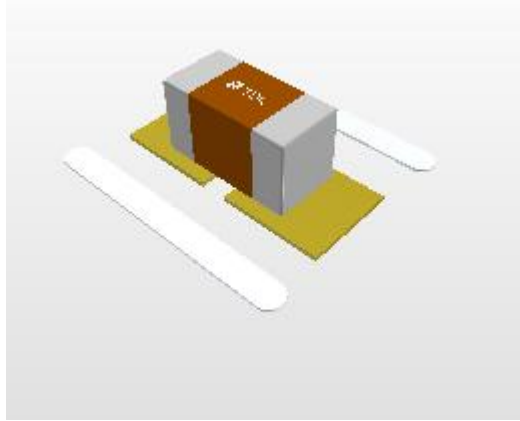


Рисунок 2.7 — 3D модель в *Altium Designer*

Конденсатори (C10, C12) які представлено на рис. 2.8, від компанії *Samsung Electro-Mechanics* [19].

Характеристики:

- Ємність 10 нФ;
- Діапазон температур від - 55 °С до +125 °С;
- Номінальна напруга - 50 В;
- Матеріал діелектрика: кераміка.

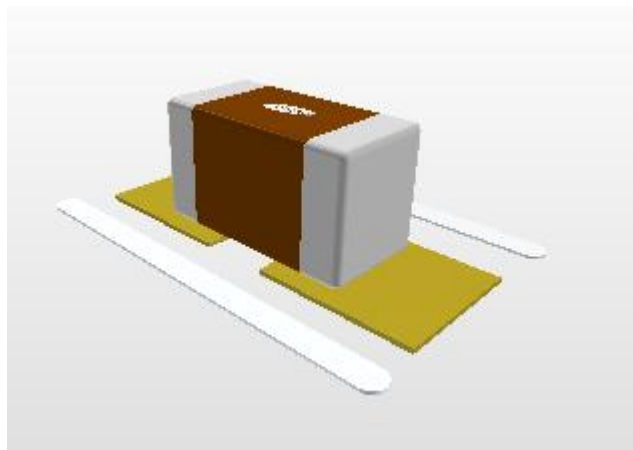


Рисунок 2.8 — 3D модель в *Altium Designer*

Мікросхема AD9833 (DD1) представлена на рис. 2.9, від компанії *Analog Devices* [20].

Характеристики:

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Цифрове програмування частоти і фази;
- 12,65 мВт споживання потужності при 3 В;
- Діапазон вихідних частот від 0 МГц до 12,5 МГц;
- Роздільна здатність 28 біт 0,1 Гц при опорній частоті 25 МГц;
- Синусоїдальні, трикутні та прямокутні виходи;
- Живлення від 2,3 В до 5,5 В;
- Не потребує зовнішніх компонентів;
- 3-провідний інтерфейс SPI;
- Розширений температурний діапазон: від -40°C до +105°C;
- Можливість відключення живлення;
- 16-провідний TSSOP.

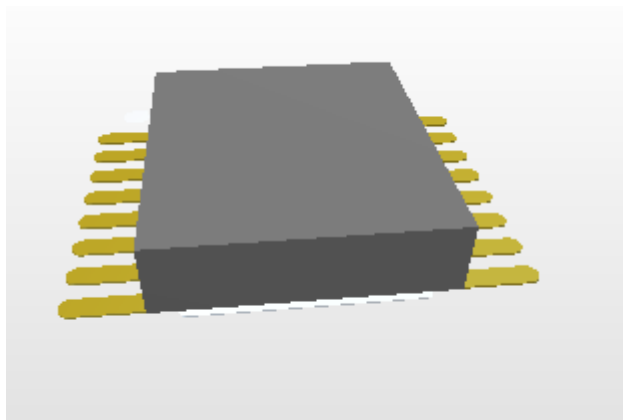


Рисунок 2.9 — 3D модель в *Altium Designer*

Дисплей WH1604A-YYH-JT (DS1) представлений на рис. 2.10, від компанії *Winstar Display Co., Ltd.* [21].

WH1604A від *Winstar* - це символьний РК-дисплей 16x4, з вбудованим контролером ST7066; його інтерфейс за замовчуванням - 6800 4/8-біт паралельний, живлення 5В. Ці РК-дисплеї 16x4 також доступні з інтерфейсами SPI та I2C за допомогою мікросхеми контролера RW1063.

Характеристики:

- Символьний РК-дисплей: 16x4;
- 5x8 точок, включаючи курсор;

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

- Вбудований контролер ST7066;
- Негативна напруга опціональна для живлення +3В;
- 1/16 робочий цикл;
- Розмір модуля: 87х60х13.6 мм;
- Область огляду: 62х26мм;
- Напруга: від 3В до 5В.

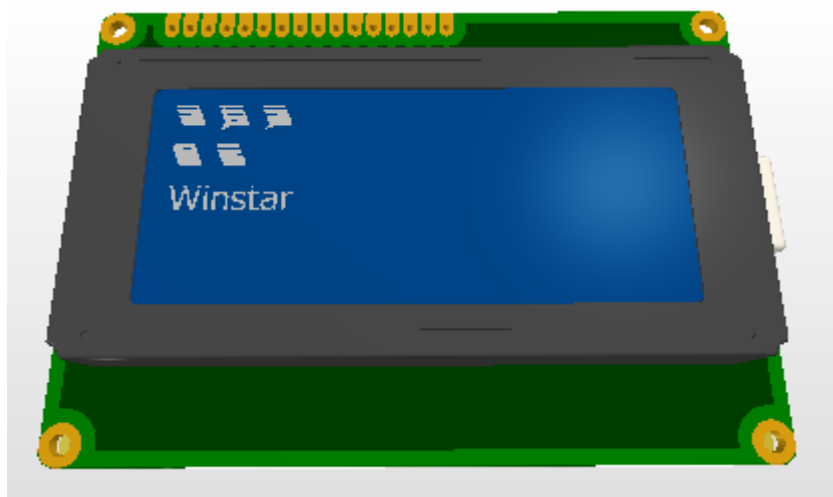


Рисунок 2.10 — 3D модель в *Altium Designer*

Роз'єм USB, USB Type – B (J1) представлений на рис. 2.11, від компанії *Würth Elektronik Group* [22].

Характеристики:

- Ступінь горючості: UL94-V0;
- Колір: білий;
- Контактний матеріал: мідний сплав;
- Тип контакту: штампований;
- Покриття контактів: добірне золото;
- Оболонка: латунна нікельована;
- Клас якості: 1500 циклів роботи;
- Робоча температура: від -40 °с до +105 °с;
- Відповідність: без свинцю та ROHS;
- Номінальний електричний струм: 1.5 A MAX;

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- Робоча напруга: 5 VAC;
- Опір ізоляції: >1000 МОм;
- Напруга, що витримує діелектрик: 750 VAC /XB;
- Контактний опір: 20 мОм MAX.

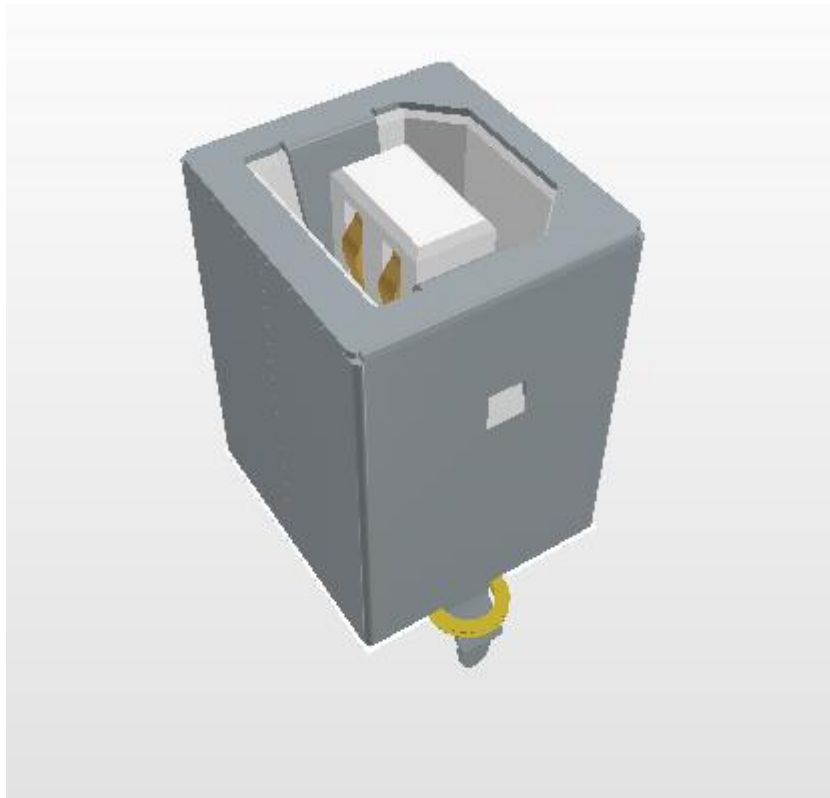


Рисунок 2.11 — 3D модель в *Altium Designer*

Конектор BNC JACK R/A 4788 (J2) представлений на рис. 2.12, від компанії *Pomona Electronics* [23].

Характеристики:

- Робоча частота (ГГц): 4;
- Матеріал діелектрика : PTFE;
- Клас : Комерційний;
- Варіант ізоляції : Без ізоляції;
- Діапазон робочих температур: -55 - 85 °C;
- Матеріал покриття центрального контакту радіочастотного роз'єму: золото;

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Матеріал контактного центру радіочастотного роз'єму: берилієва мідь;
- Товщина покриття центрального контакту радіочастотного роз'єму (мкм): 1270;
- Матеріал підкладки центрального контакту радіочастотного роз'єму: мідь, нікель;
- Матеріал корпусу : Цинк;
- Матеріал покриття корпусу: Олово.

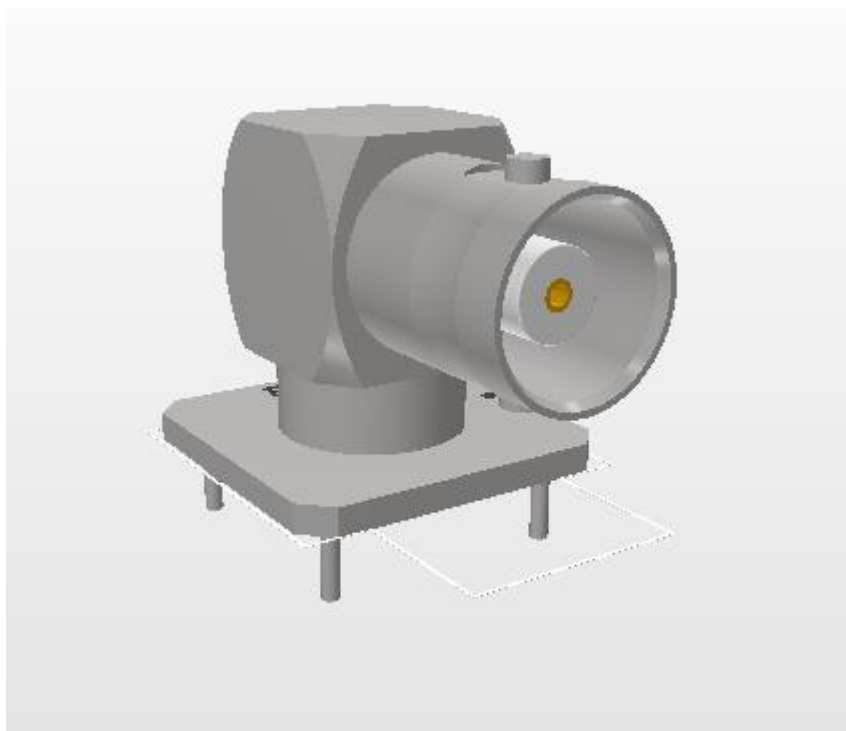


Рисунок 2.12 — 3D модель в *Altium Designer*

Силовий індуктор (L1) представлений на рис. 2.13, від компанії *Bourns* [24].

Характеристики:

- Діапазон температур від - 40 °C до +125 °C;
- Напівекранована конструкція;
- Мініатюрний розмір;
- Висота компонента: 1,5 мм;
- Діапазон індуктивності: від 1 до 100 мкГн;

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

— Номінальний струм до 2,35 А.

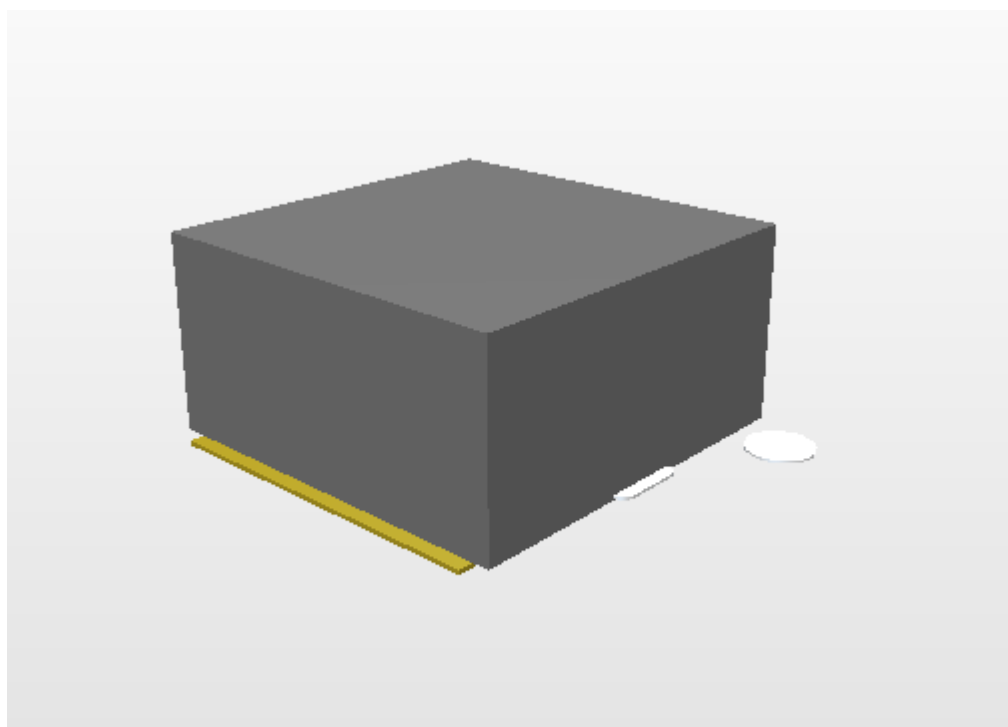


Рисунок 2.13 — 3D модель в *Altium Designer*

Резистори (R1, R2, R3, R4, R10) які зображено на рис. 2.14, від компанії *Multicomp* [25].

Характеристики:

- Опір 1 кОм;
- Номінальна потужність 0,05 Вт;
- Допуск 1 %;
- Діапазон температур від - 55 °С до + 125 °С.

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

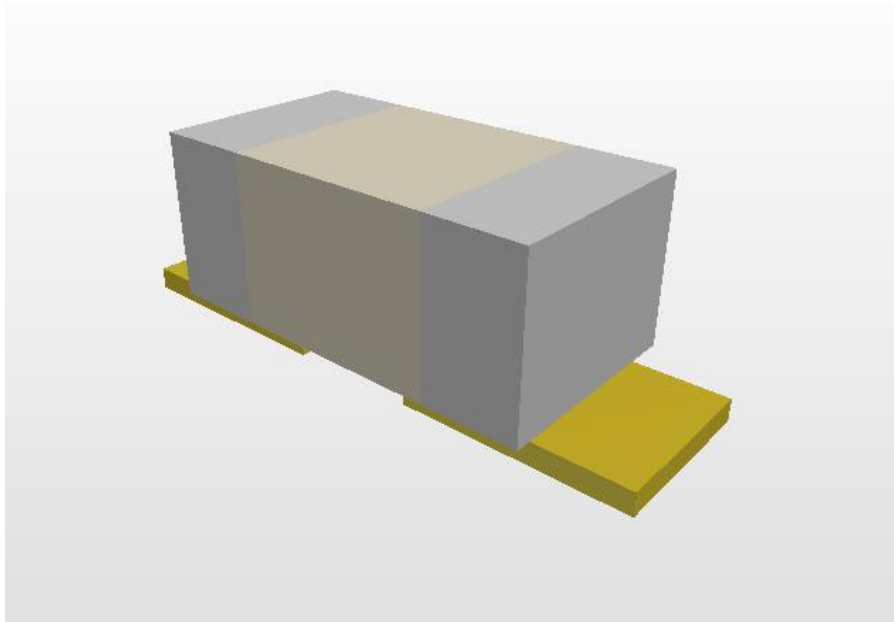


Рисунок 2.14 — 3D модель в *Altium Designer*

Резистор (R5) який зображено на рис. 2.15, від компанії *Vishay Intertechnology* [26].

Характеристики:

- Опір 680 Ом;
- Потужність, що розсіюється 500 мВт;
- Допуск 5 %;
- Діапазон температур від - 55 °С до + 155 °С.

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

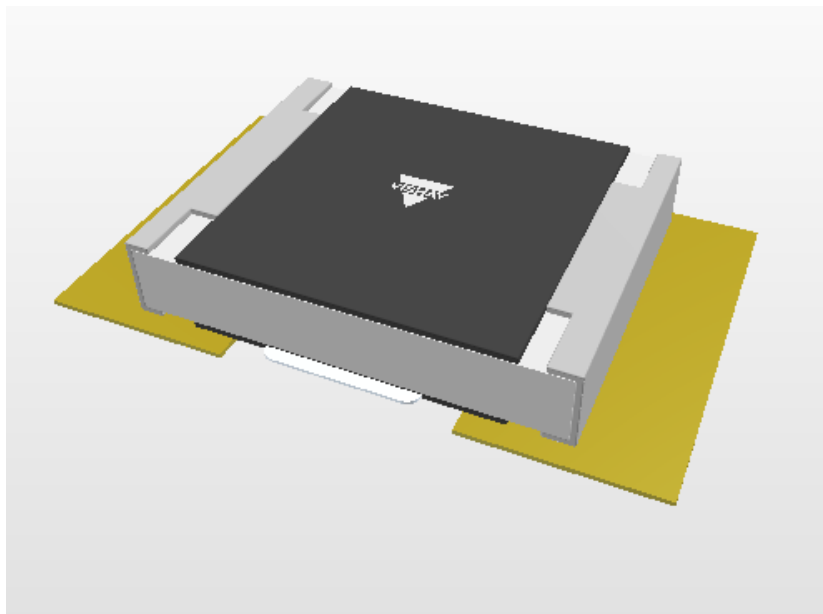


Рисунок 2.15 — 3D модель в *Altium Designer*

Резистор (R6) який зображено на рис. 2.16, від компанії *KOA Speer Electronics* [27].

Характеристики:

- Опір 3,9 кОм;
- Потужність, що розсіюється 0,1 Вт;
- Допуск 5 %;
- Діапазон температур від - 55 °C до + 125 °C.

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

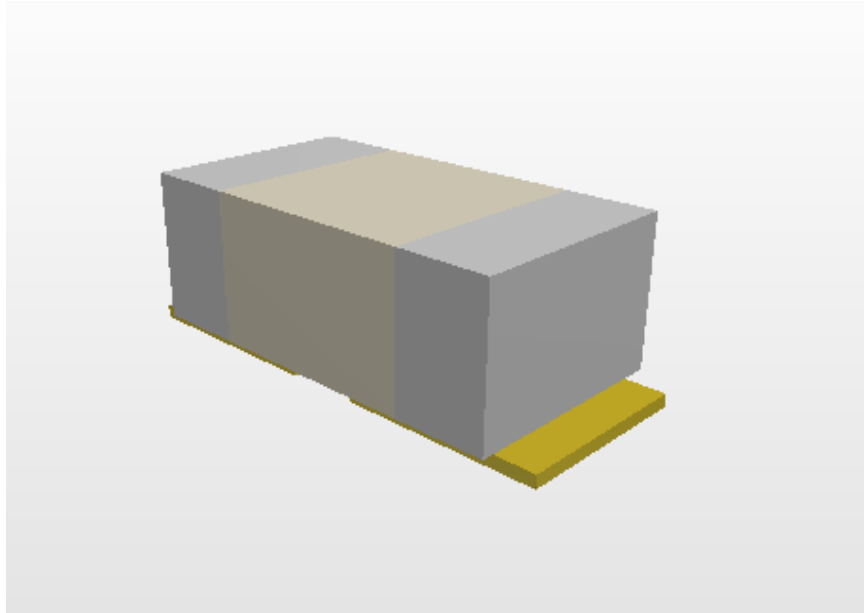


Рисунок 2.16 — 3D модель в *Altium Designer*

Резистор (R7) який зображено на рис. 2.17, від компанії *ROHM Semiconductor* [28].

Характеристики:

- Опір 300 Ом;
- Потужність, що розсіюється 750 мВт;
- Допуск 5 %;
- Діапазон температур від - 55 °С до + 155 °С.

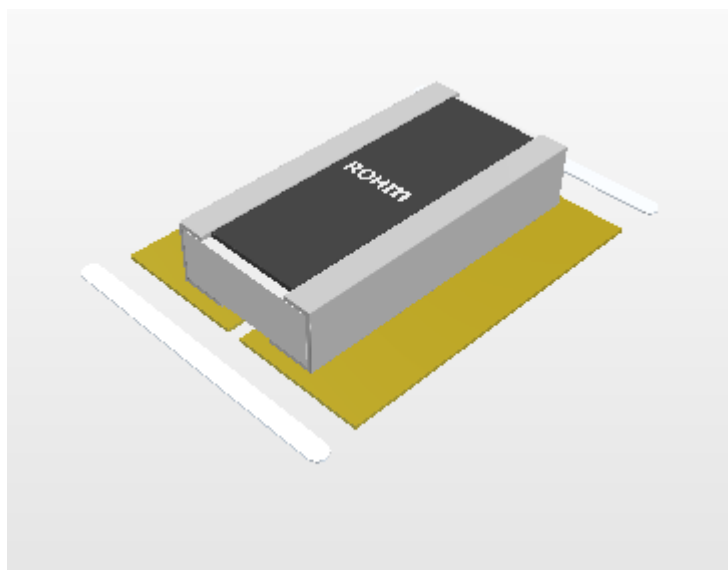


Рисунок 2.17 — 3D модель в *Altium Designer*

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Резистор (R9) який зображено на рис. 2.18, від компанії *Multicomp* [29].

Характеристики:

- Опір 100 Ом;
- Потужність, що розсіюється 50 мВт;
- Допуск 1 %;
- Діапазон температур від - 55 °С до + 125 °С.

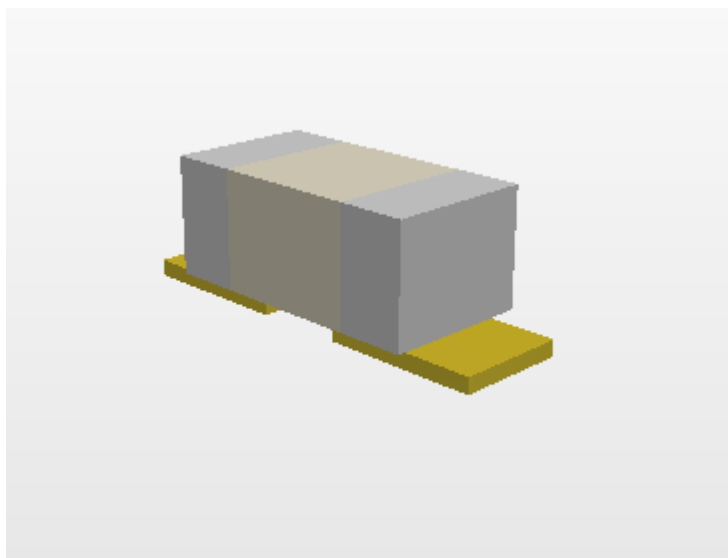


Рисунок 2.18 — 3D модель в *Altium Designer*

Підлаштовний резистор (R8) який зображено на рис. 2.19, від компанії *Vishay Intertechnology* [30].

Характеристики:

- Опір 10 кОм;
- Потужність, що розсіюється 250 мВт;
- Стандарт допуску ± 20 %;
- Діапазон температур від - 55 °С до + 125 °С.

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

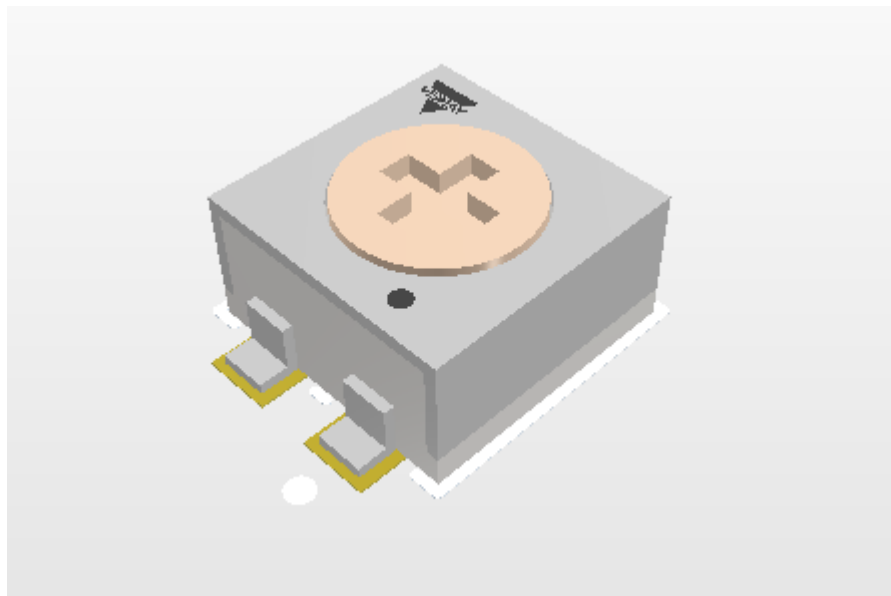


Рисунок 2.19 — 3D модель в *Altium Designer*

Кнопки *Switch FSM 2JART* (SW1, SW2, SW3, SW4) які зображено на рис. 2.20, від компанії *TE Connectivity* [31].

Характеристики:

- Номінальна напруга тактильного перемикача: 24 В постійного струму;
- Матеріал приводу: Поліацеталева смола;
- Профіль приводу: Розширений;
- Тип втулки: Без різьблення;
- Матеріал корпусу : Поліамід;
- Колір приводу: Червоний;
- Зусилля приводу: 160 г [5,648 унцій];
- Висота перемикача: 4.3 мм [.169 дюйма];
- Ширина кнопки: 3.5 мм [.138 дюйма];
- Довжина приводу: 7 мм [.028 дюйма];
- Конфігурація (Pole-Throw): Однополюсний – однополюсний.

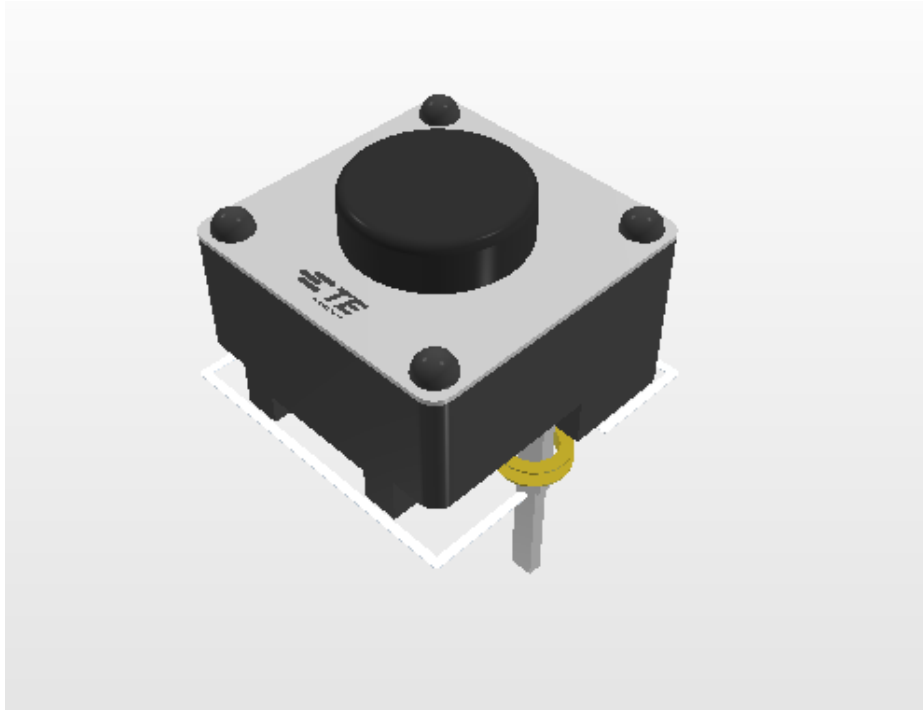


Рисунок 2.20 — 3D модель в *Altium Designer*

Мікросхема *STM32F103RCT6* (U1) яку зображено на рис. 2.21, від компанії *STMicroelectronics* [32].

Характеристики:

- Напруга живлення: 3.3 В;
- Основний процесор: ARM Cortex-M3;
- Підключення: CANbus, I2C, IrDA, LINbus, SPI, UART/USART, USB;
- Перетворювач даних: АЦП 16x12b; ЦАП 2x12b;
- Кількість таймерів/лічильників: 8;
- Кількість каналів I2C: 2;
- Покриття клем: Нікель/Паладій/Золото (Ni/Pd/Au);
- Кількість виводів: 64;
- Тип пам'яті програми: FLASH;
- Частота: 72 МГц;
- Розмір оперативної пам'яті: 48К x 8;
- Кількість входів/виходів: 51;
- Напруга живлення (V_{cc}/V_{dd}): 2В~3.6В;

- Робоча температура: $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ TA;
- Розмір пам'яті: 256kB;
- Упаковка / корпус: 64-LQFP.

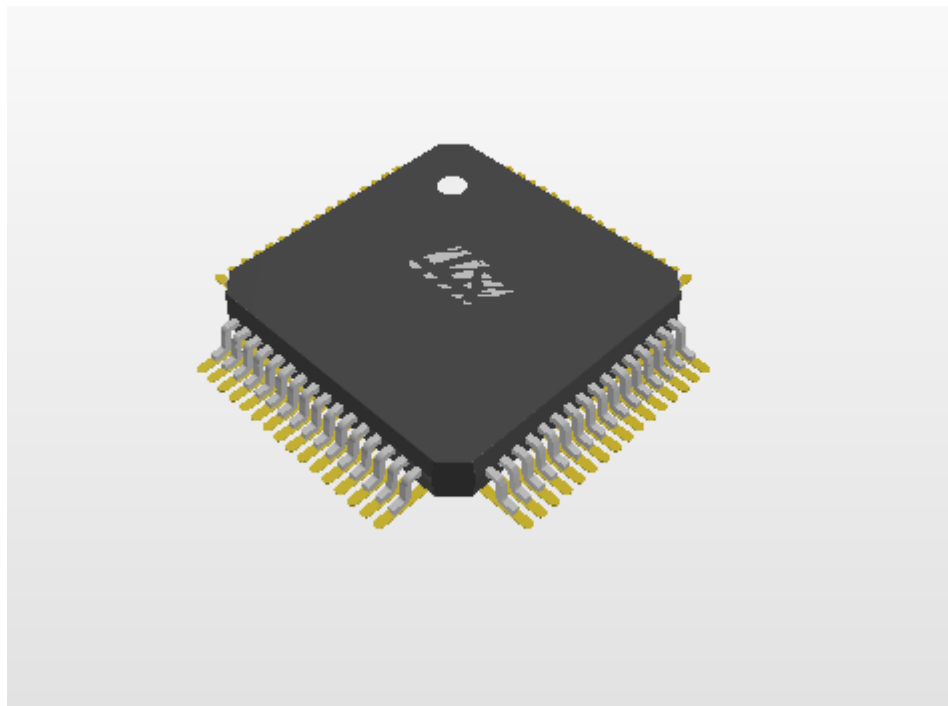


Рисунок 2.21 — 3D модель в *Altium Designer*

Регулятор напруги *L78L33ABUTR* (U2) який зображено на рис. 2.22, від компанії *STMicroelectronics* [33].

Характеристики:

- Вихідний струм до 100 мА;
- Вихідні напруги 3,3; 5; 6; 8; 9; 10; 12; 15; 18; 24 В;
- Тепловий захист від перевантаження;
- Захист від короткого замикання;
- Не потребує зовнішніх компонентів;
- 3-контактний корпус SOT-89, крок 1,5 мм, довжина виводу 4,1 мм.

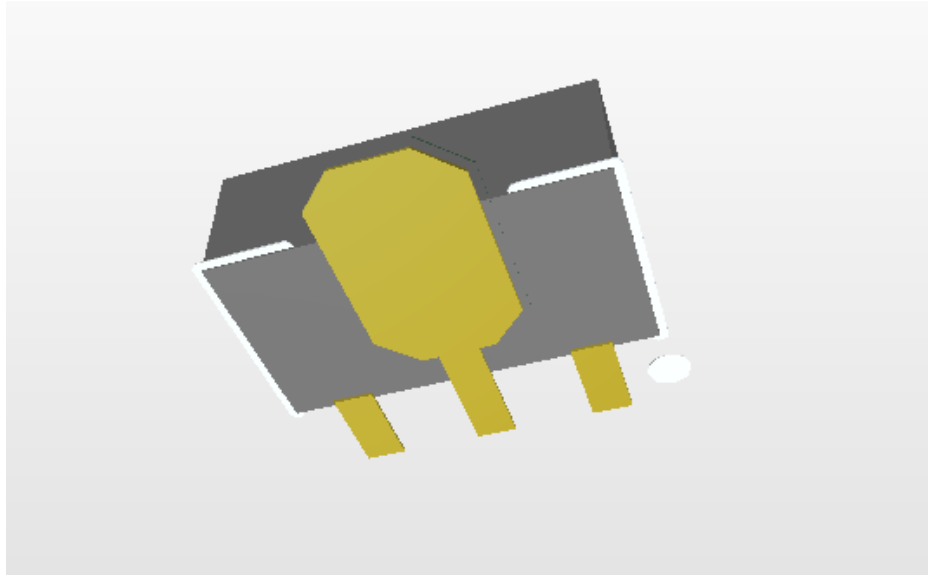


Рисунок 2.22 — 3D модель в *Altium Designer*

Кварцевий генератор *DSC1001CI1-025.0000* (Y1) який зображено на рис. 2.23, від компанії *Microchip Technology* [34].

Характеристики:

- Діапазон частот: 1 МГц до 150 МГц;
- Виняткова температурна стабільність: ± 10 ppm, ± 20 ppm, ± 25 ppm, ± 50 ppm;
- Робоча напруга: від 1,7 до 3,6 В;
- Діапазон робочих температур: Екстремально промисловий -40°C до 105°C , промисловий -40°C до 85°C , комерційний -20°C до 70°C ;
- Низький робочий струм і струм очікування: 6 мА в робочому режимі (1 МГц), 15 мкА в режимі очікування (макс.).

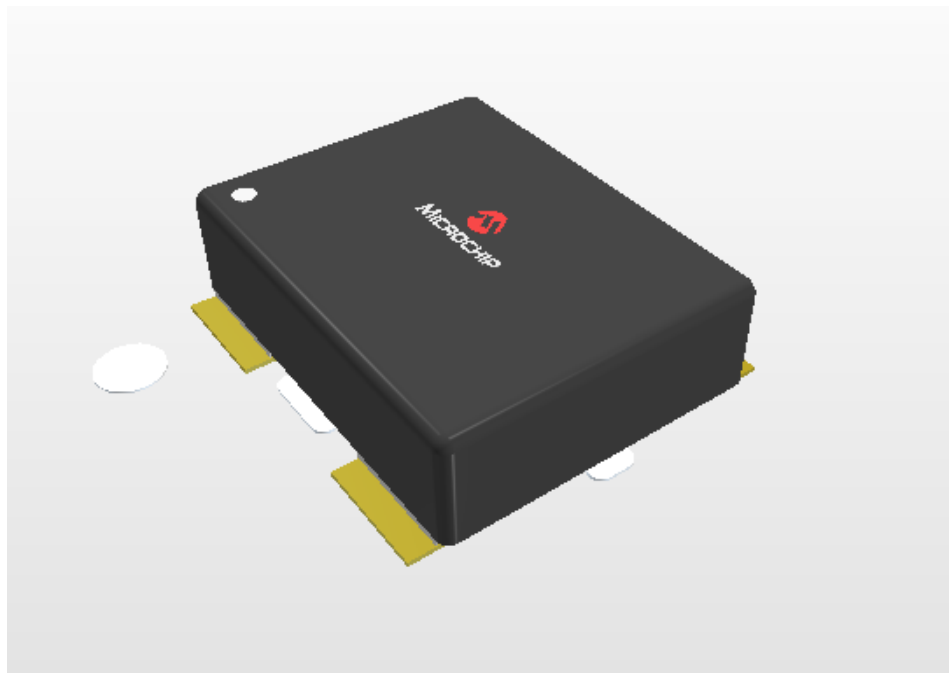


Рисунок 2.23 — 3D модель в *Altium Designer*

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

3.1. ВИЗНАЧЕННЯ ГАБАРИТІВ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ТА ЇЇ РОЗМІРІВ

Для визначення площі плати треба розрахувати мінімальну площу, що відповідає загальній площі всіх елементів кожної сторони, тобто елементів поверхневого монтажу та вивідних елементів окремо. Тож розрахуємо площу всіх елементів за формулою 3.1 враховуючи значення з таблиці 3.1.

$$S_{\text{п}} = S_{\text{мг}} + 1,5 S_{\text{сг}} + 2 S_{\text{вг}} + S_{\text{кр}}, \quad (3.1)$$

де $S_{\text{мг}}$ – площа малогабаритних елементів;

$S_{\text{сг}}$ – площа середньогабаритних елементів;

$S_{\text{вг}}$ – площа великогабаритних елементів;

$S_{\text{кр}}$ – площа кріпильних елементів.

Для розрахунків візьмемо елементи які представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Площа компонентів [35]

Компонент	Площа одного ел. (мм ²)	Кількість ел.	Площа всіх ел. (мм ²)
Конденсатор 100 nF	7,6	6	45,6
Конденсатор 4.7 uF	15,12	1	15,12
Конденсатор 1uF	15,12	1	15,12
Конденсатор 100 uF	27,52	1	27,52
Конденсатор 0.1 uF	7,6	3	22,8
Конденсатор 10 nF	7,6	2	15,2
Мікросхема AD9833	58,6	1	58,6
Дисплей WH1604A- YYH-JT	5368	1	5368
Роз'єм USB, USB Type - B	381,5	1	381,5
Конектор BNC JACK R/A 4788	421,5	1	421,5
Силовий індуктор 100 mkH	15,54	1	15,54

Резистор 1 kOhm	5,44	5	27,2
Резистор 680 Ohm	20	1	20
Резистор 3.9 kOhm	5,44	1	5,44
Резистор 300 Ohm	15,12	1	15,12
Резистор 100 Ohm	5,44	1	5,44
Підлаштовний резистор 10 kOhm	46,2	1	46,2
Кнопка Switch FSM 2JART	74,62	4	298,48
Мікросхема STM32F103RCT6	190,44	1	190,44
Регулятор напруги L78L33ABUTR	24,4	1	24,4
Кварцевий генератор DSC1001CI1-025.0000	42,6	1	42,6

З формули 3.1 отримуємо $S_{\pi} = 343,3 + 1,5 \times 357,08 + 2 \times 6361,44 + 400 = 14001,8 \text{ мм}^2$.

Загальна площа буде дорівнювати $14001,8 \text{ мм}^2$. За вказаними даним буде спроектовано корпус для даної плати.

3.2. РОЗРАХУНОК ДІАМЕТРІВ МОНТАЖНИХ ОТВОРІВ

Необхідно розрахувати діаметри отворів для вивідних елементів за формулою:

$$D_0 = D_v + 0,2 \quad (3.2)$$

де D_0 – розміри отворів для вивідних елементів;

D_v – розміри виводів.

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для вивідних елементів за формулою:

$$D_k = D_o + 0,6 \quad (3.3)$$

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де D_k – розміри контактних майданчиків для вивідних елементів.

За умови $D_0 \geq 1,1$ розміри контактних майданчиків розрахуємо за формулою:

$$D_k = D_0 + \frac{2}{3} D_0 \quad (3.4)$$

Розраховані значення представлено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри для вивідних елементів

Назва елемента	D_v , мм	D_0 , мм	D_k , мм
Роз'єм <i>USB, USB Type - B</i>	0,70	0,9	1,5
Конектор <i>BNC JACK R/A 4788</i>	0,97	1,17	1,9
Кнопка <i>Switch FSM 2JART</i>	3	3,2	5,3

3.3. ТРАСУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Використовуючи програмний додаток *Altium Designer*, було проведено проектування друкованої плати та її подальше трасування. Враховуючи схемну побудову ринкових аналогів, було прийнято рішення на більш компактне розміщення елементів схеми, оскільки пристрій буде портативним. Вигляди трасування верхнього та нижнього шарів плати представлені на рис. 3.1 та рис. 3.2.

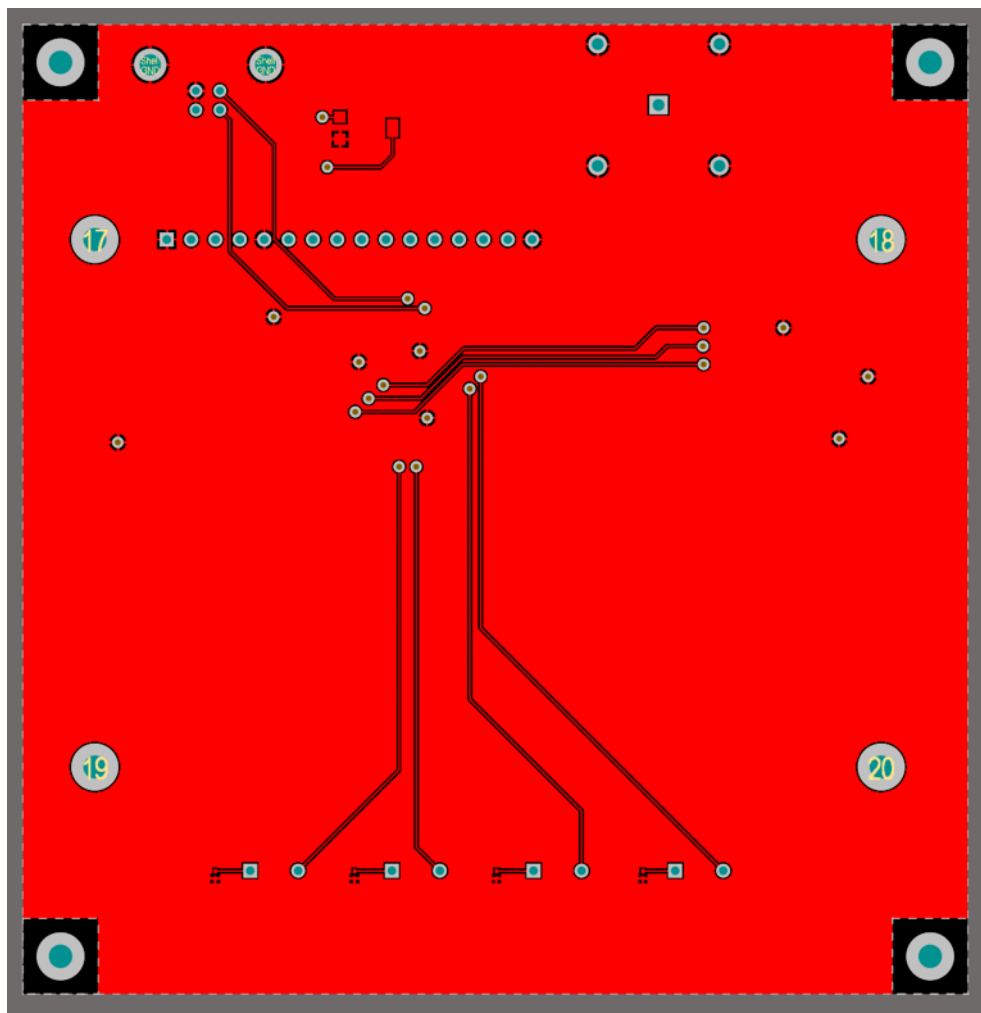


Рисунок 3.1 — Верхній шар

					РІ01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

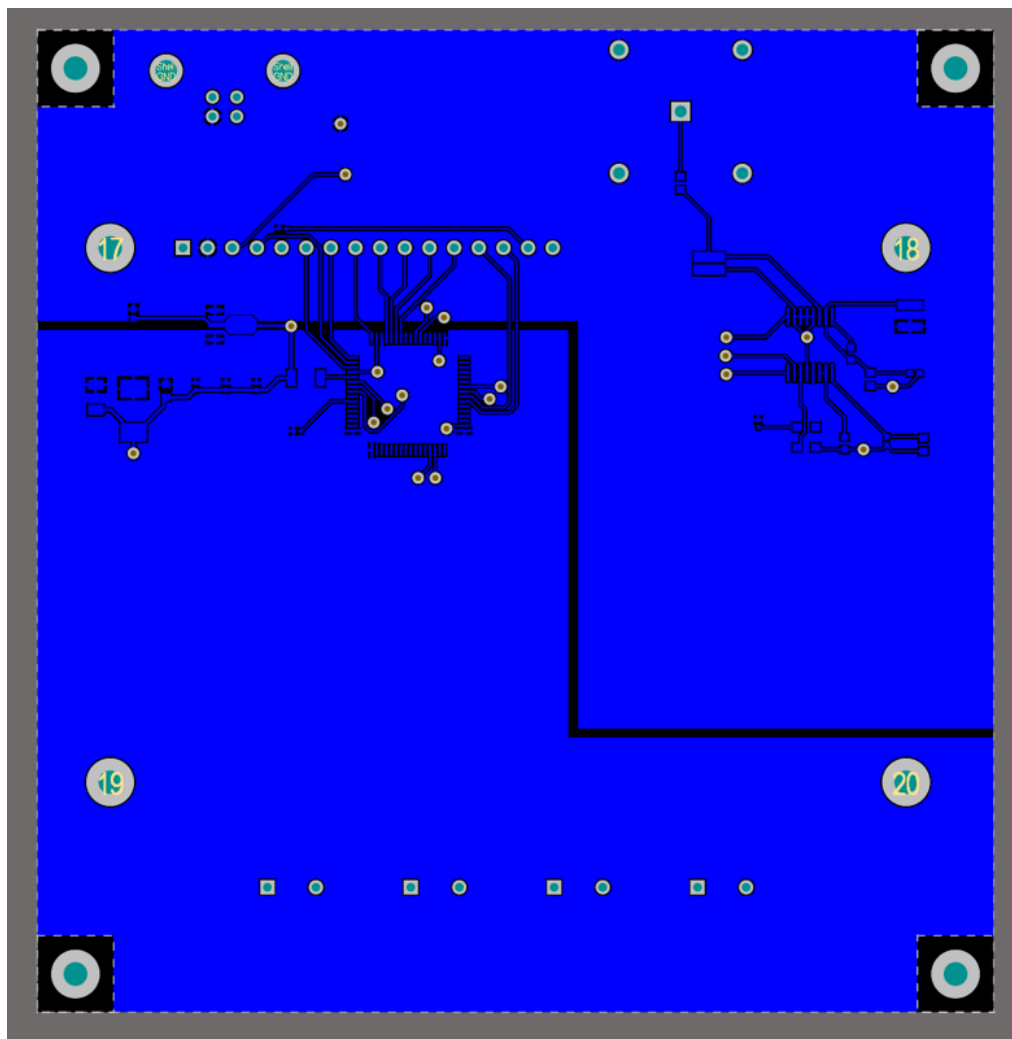


Рисунок 3.2 — Нижній шар

Після проведеної роботи з побудови друкованої плати, використовуючи програму *Altium Designer*, було проведено перевірку на можливі помилки та працездатності плати. Жодних помилок чи зауважень не були виявлені. Результат тестування продемонстровано на рис. 3.3.

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Design Rule Verification Report

Date: 27.05.2023
Time: 15:31:15
Elapsed Time: 00:00:02
Filename: C:\Users\romax\OneDrive\Рабочий стол\diploem\PCB1.PcbDoc

Warnings: 0
Rule Violations: 0

Summary

Warnings	Count
Total	0
Rule Violations	Count
Clearance Constraint (Gap=10mil) (All) (All)	0
Clearance Constraint (Gap=5mil) (All) (All)	0
Short-Circuit Constraint (Allowed=No) (All) (All)	0
Un-Routed Net Constraint (All) (All)	0
Modified Polygon (Allow modified: No) (Allow shelled: No)	0
Width Constraint (Min=10mil) (Max=50mil) (Preferred=10mil) (All)	0
SMD Neck-Down Constraint (Percent=90%) (All)	0
Power Plane Connect Rule(Relief Connect) (Expansion=20mil) (Conductor Width=10mil) (Air Gap=10mil) (Entries=4) (All)	0
Hole Size Constraint (Min=1mil) (Max=100mil) (All)	0
Hole To Hole Clearance (Gap=10mil) (All) (All)	0
Minimum Solder Mask Sliver (Gap=3mil) (All) (All)	0
Silk To Solder Mask (Clearance=2mil) (IsPad) (All)	0
Silk to Silk (Clearance=10mil) (All) (All)	0
Net Antennae (Tolerance=0mil) (All)	0

Рисунок 3.3 — Результат тестування

Остаточний вигляд плати зображено на рисунках 3.4 та 3.5.

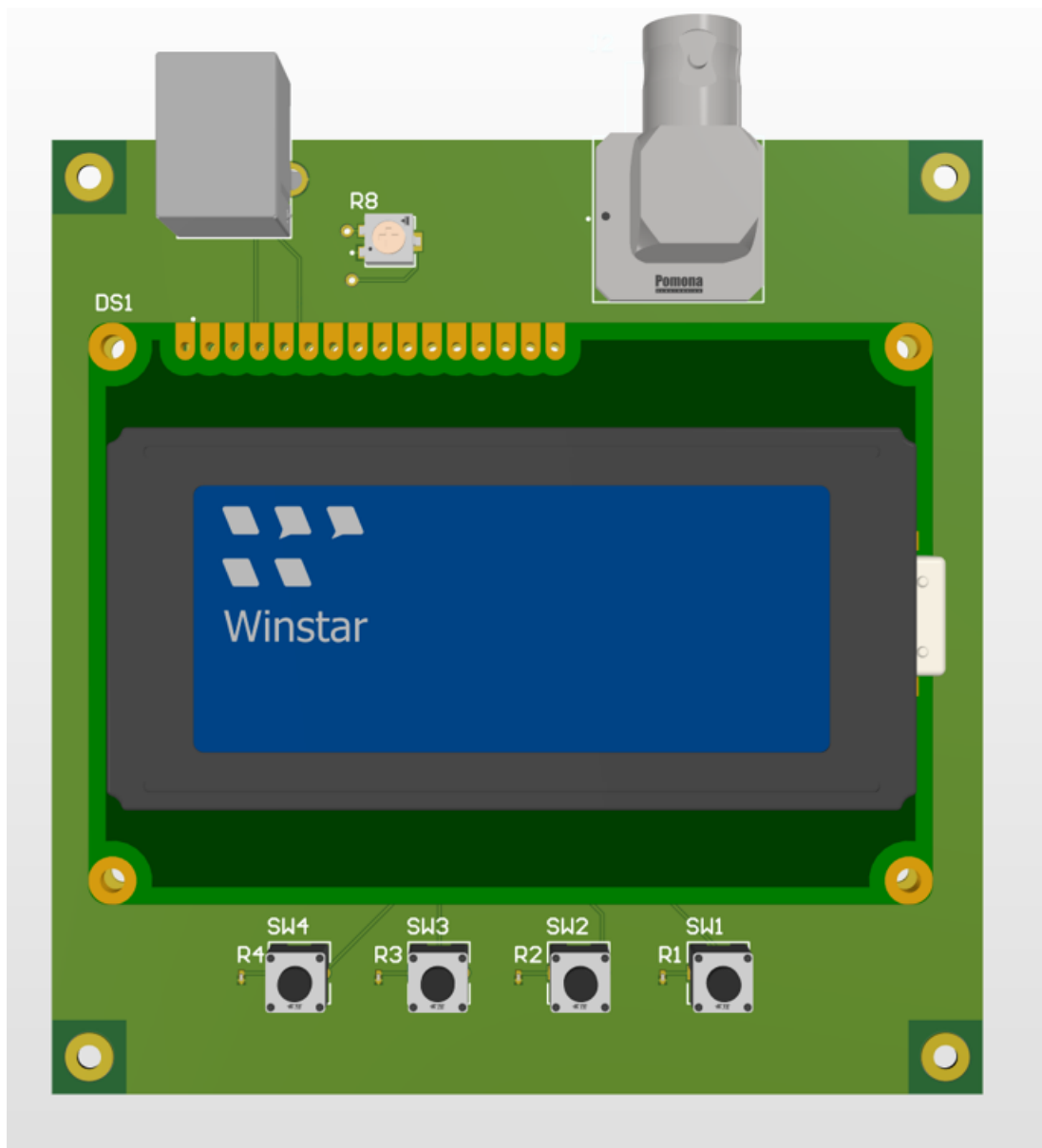


Рисунок 3.4 — Друкована плата. Вигляд зверху

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

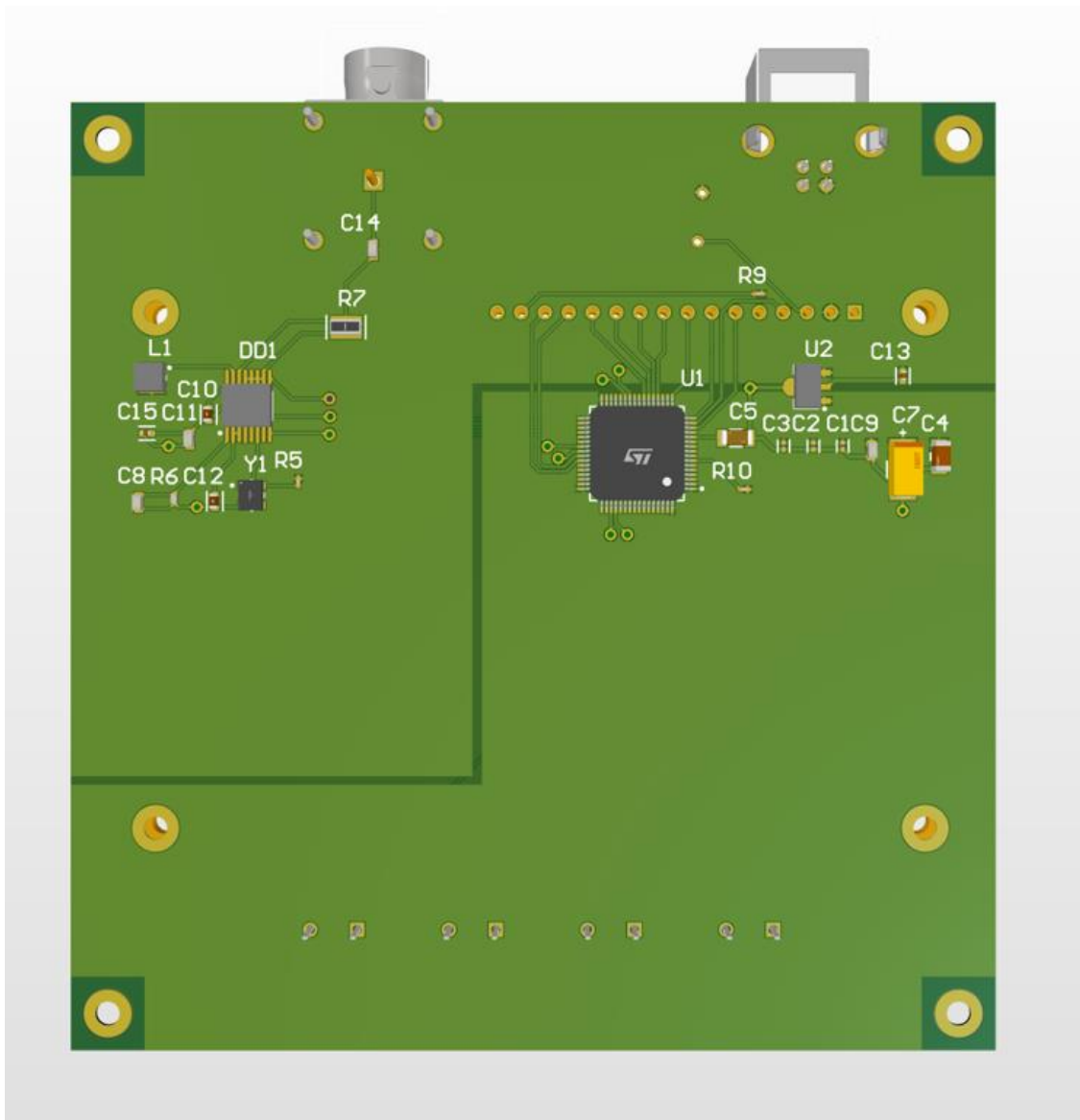


Рисунок 3.5 — Друкована плата. Вигляд знизу

3.4. РОЗРОБКА КОРПУСА ДЛЯ ПРИЛАДУ

Одразу після того як було закінчено розробку плати в *Altium Designer*, плата була експортована для подальшого створення корпусу для друкованої плати до *Solid Works*.

Корпус розроблено у прямокутній формі. Збоку девайса розробленні відповідні отвори для конекторів. А також присутні відповідні «вирізи» для дисплею та кнопок керування на лицьовій частині корпусу, що можна спостерігати на рисунку 3.6

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42



Рисунок 3.6 — Корпус приладу. Лицьова частина

Сам корпус виконаний з *PETG* пластику. Для надійного кріплення плати в корпусі, а також для уникнення небажаного перегріву друкованої плати - розроблені відповідні стійки. Детальні зображення корпусу з платою можна спостерігати на рисунках 3.7, 3.8.

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

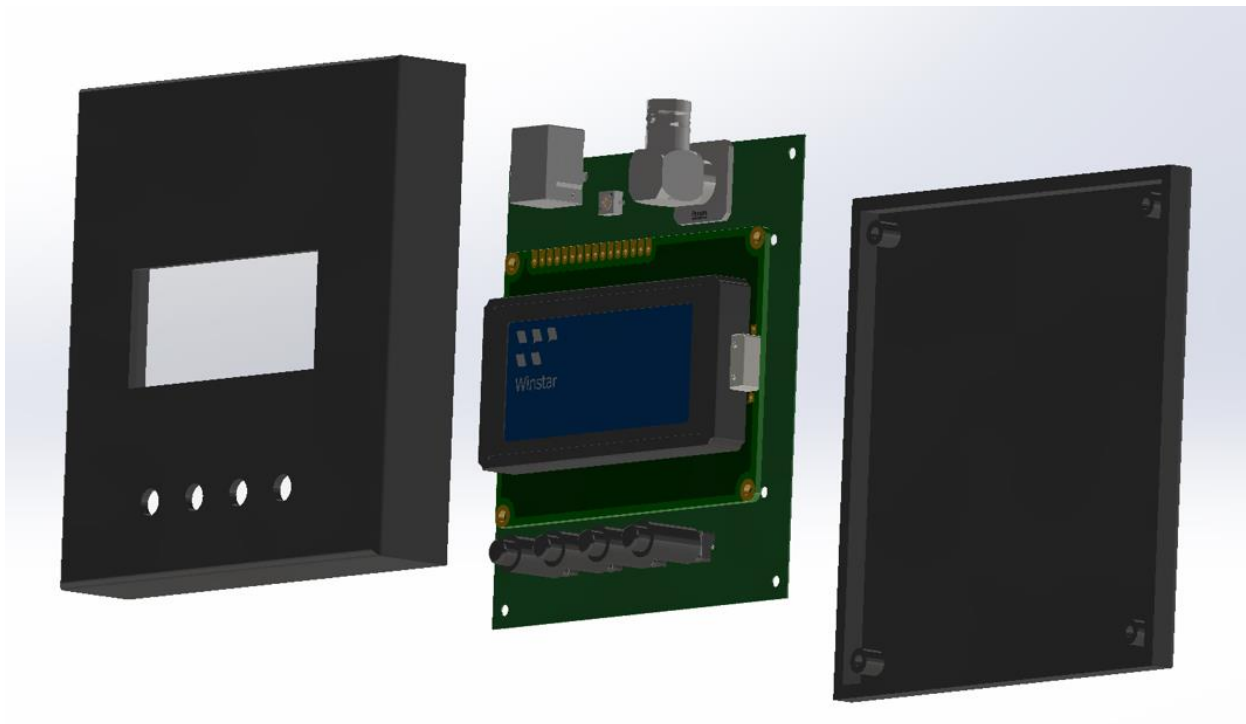


Рисунок 3.7 — Плата з корпусом. Передня сторона

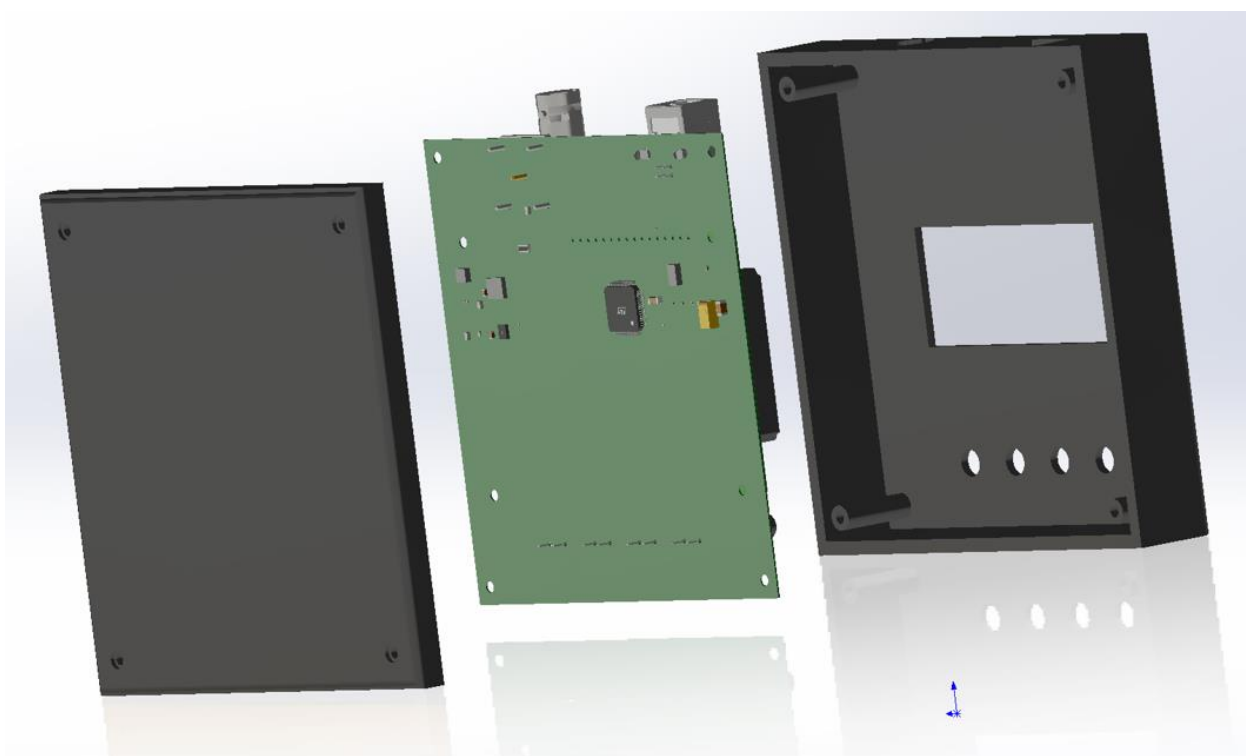


Рисунок 3.8 — Плата з корпусом. Задня сторона

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

4. АНАЛІЗ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПРИЛАДУ

Враховуючи той факт, що пристрій який використовуватиметься в роботі в якості портативного девайсу, необхідно переконатися в працездатності приладу. Для цього доречним буде провести розрахунок надійності.

4.1. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ

Розрахунок здійснено до вимог ДСТУ–2862–94.

Для того, щоб розрахувати надійність пристрою потрібно знати такі параметри, як:

λ – інтенсивність відмов;

N – кількість елементів;

K_n – коефіцієнт навантаження;

A_t – температурний коефіцієнт;

A_e – коефіцієнт умови експлуатації;

T – середній час напрацювання до відмови;

Q – ймовірність відмови;

P – ймовірність безвідмовної роботи;

$\lambda_{зг}$ – загальний результат.

Дані для подальшого розрахунку надійності для зручності занесені в табл. 4.1, а розрахунки відбуватимуться за формулою 4.1.

$$\lambda_{зг} = \lambda \times N \times K_n \times A_t \times A_e, \quad (4.1)$$

					РІ01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Таблиця 4.1 — Дані для розрахунку надійності

Назва	N	λ	K_n	A_t	A_e	$\lambda_{зг}$
Конденсатори	14	$0,03 \cdot 10^{-6}$	0,2	0,5	7	$2,94 \cdot 10^{-7}$
Мікросхеми	2	$0,21 \cdot 10^{-6}$	0,6	2	9	$4,53 \cdot 10^{-6}$
Дисплей	1	$0,88 \cdot 10^{-6}$	0,4	1	10	$3,52 \cdot 10^{-6}$
Роз'єм <i>USB</i> , <i>USB Type - B</i>	1	$0,03 \cdot 10^{-6}$	0,2	0,9	10	$5,4 \cdot 10^{-8}$
Конектор	1	$0,005 \cdot 10^{-6}$	0,3	1	8	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Силовий індуктор	1	$0,033 \cdot 10^{-6}$	0,4	0,8	7	$7,4 \cdot 10^{-8}$
Резистори	10	$0,22 \cdot 10^{-6}$	0,3	0,7	8	$3,69 \cdot 10^{-6}$
Кнопки	4	$0,16 \cdot 10^{-6}$	0,4	0,6	9	$1,38 \cdot 10^{-6}$
Регулятор напруги	1	$0,07 \cdot 10^{-6}$	0,3	0,8	10	$1,68 \cdot 10^{-7}$
Кварцевий генератор	1	$0,01 \cdot 10^{-6}$	0,3	1	9	$2,7 \cdot 10^{-8}$
Плата	1	$0,02 \cdot 10^{-6}$	1	1,2	10	$2,4 \cdot 10^{-7}$

Сума проведених розрахунків $\lambda_{зг} = 1,398 \cdot 10^{-5}$

Для вичислення середнього часу напрацювання на відмову, необхідно скористатися формулою 4.2.

$$T = \frac{1}{\lambda_{зг}} = 71530 \text{ годин,} \quad (4.2)$$

Враховуючи отриманий результат розрахунку у вигляді 71530 годин, доходимо висновку, що прилад цілком та повністю задовільнятиме умови, так як, час напрацювання до відмови складає – 2980 днів або ж – 8,1 рік.

Після чого необхідно провести розрахунок ймовірності безвідмовної роботи девайсу, враховуючи, що прилад працюватиме протягом 1000 годин. Розрахунок відбуватиметься за формулою 4.3.

$$P = e^{-\lambda_{\text{зг}} \cdot t} = 0,993 \quad (4.3)$$

За формулою 4.4, відбувається розрахунок ймовірності відмови приладу в роботі протягом 1 року.

$$Q = 1 - P = 0,007 \quad (4.4)$$

Беручи до уваги отриманні дані з розрахунків, можемо підсумувати, що девайс є доволі надійним.

					РІ01.468173.001 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ ПРИЛАДУ

В даному розділі було проведено розрахунок для одного приладу, загальна сума якого дорівнює - **1092** грн. Дані розрахунку представленні в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 — Розрахунок собівартості генератора сигналів

Назва	Вартість, грн.
Конденсатори	25
Мікросхеми	319
Дисплей	220
Роз'єм	37
Конектор	31
Силовий індуктор	8
Резистори	18
Кнопки	15
Регулятор напруги	9
Кварцевий генератор	37
Друк корпусу	300
Друк плати	73
Загальна вартість	1092

З даних таблиці бачимо, що загальна вартість одного приладу є дещо дорожчою. Проте при замовленні компонентів партіями від 100 шт. та більше, вартість для одного компонента стає меншою. Тому надалі розрадуємо

для прикладу, загальну вартість для партії приладів у кількості 100 шт. Дані розрахунку наведенні у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 — Розрахунок собівартості партії генераторів сигналів

Назва	Вартість, грн.
Конденсатори	1607
Мікросхеми	22702
Дисплей	19800
Роз'єм	2525
Конектор	2600
Силовий індуктор	334
Резистори	1620
Кнопки	1482
Регулятор напруги	726
Кварцевий генератор	1483
Друк корпусу	22500
Друк плати	2980
Загальна вартість	80359

Як видно з вищевказаних результатів, при замовленні необхідних компонентів та послуг партією (в нашому варіанті – 100 шт.), загальна вартість для одного лише приладу з партії становитиме на 26,5% менше ніж при замовленні компонентів та послуг для одного приладу, а саме – **803** грн.

ВИСНОВОК

В процесі проектування даної дипломної роботи було розроблено схему портативного генератора сигналів який мав би широке застосування у повсякденному житті. В порівнянні з конкурентноспроможними ринковими аналогами, які мають певні недоліки, а саме – їх вартість та габарити, наш екземпляр, у порівнянні до представлених недоліків аналогів, має перевагу – прилад має меншу собівартість ніж найдешевший аналогічний прилад з подібним функціоналом та у протизв'язі до «монструозних» представників – девайс має значно менші габарити та вагу. Навіть враховуючи той факт, що даний прилад маючи незначний функціонал у порівнянні з більш старшими приладами, він буде доволі гарним приладом для новачків, які бажають розвинути свої навички у світі радіоелектроніки.

					РІ01.468173.001 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. What is a Signal Generator : Working & Its Applications *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://www.elprocus.com/what-is-a-signal-generator-working-its-applications/> – Назва з екрану.
2. Генератор сигналів *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://riverglennapts.com/uk/oscillator/639-signal-generator.html> – Назва з екрану.
3. Как выбрать генератор сигналов, чтобы не пожалеть о покупке? *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: https://supereyes.ru/articles/waveform_generator_article_video/kak_vybrat_generator_signalov/ – Назва з екрану.
4. Прямой цифровой синтез (DDS) *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: https://www.eliks.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=8880 – Назва з екрану.
5. Генератор сигналів UNI-T UTG1010A *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://masteram.com.ua/uk/function-arbitrary-waveform-generator-uni-t-utg1010a/> – Назва з екрану.
6. Генератор сигналов FNIRSI SG-003A *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://radio-shop.com.ua/generator-signalov-fnirsi-sg-003a> – Назва з екрану.
7. Генератор сигналів SIGLENT SDG805 *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://masteram.com.ua/uk/function-arbitrary-waveform-generator-siglent-sdg805/> – Назва з екрану.
8. Электронный фонд ГОСТ 15150-69 *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://packtech.com.ua/files/GOST.15150-69.pdf> – Назва з екрану.

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

9. Электронный фонд ГОСТ 23216-78 *[Электронный ресурс] : інформація про ресурс*, - Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/80/8095.shtml> – Назва з екрану.
- 10.Электронный фонд ГОСТ 30773-2001 *[Электронный ресурс] : інформація про ресурс*, - Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/67/6712.shtml> – Назва з екрану.
- 11.Краткий гид по применению PETG в 3D-печати *[Электронный ресурс] : інформація про ресурс*, - Режим доступа: <https://blog.iqb.ru/petg-plastic/> – Назва з екрану.
- 12.Полиэтилентерефталат-гликоль (ПЭТГ) — пластик *[Электронный ресурс] : інформація про ресурс*, - Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Полиэтилентерефталат-гликоль \(ПЭТГ\) — пластик](https://ru.wikipedia.org/wiki/Полиэтилентерефталат-гликоль_(ПЭТГ)_—_пластик) – Назва з екрану.
- 13.KB-2150GC (ANSI : FR-2/JIS PP3F) *[Электронный ресурс] : інформація про ресурс*, - Режим доступа: <https://www.fr4.ru/file/KB-2150GC.pdf> – Назва з екрану.
- 14.GRM033R60J104KE19# *[Электронный ресурс] : інформація про ресурс*, - Режим доступа: <https://datasheet.ciiva.com/6072/1747434-6072404.pdf?src-supplier=Farnell> – Назва з екрану.
- 15.Murata GRM series Hi-cap(1uF and over)_MAY 09 *[Электронный ресурс] : інформація про ресурс*, - Режим доступа: <https://datasheet.ciiva.com/6072/415379-6072784.pdf?src-supplier=Farnell> – Назва з екрану.
16. DATA SHEET SURFACE-MOUNT CERAMIC MULTILAYER CAPACITORS *[Электронный ресурс] : інформація про ресурс*, - Режим доступа: <https://datasheet.ciiva.com/26863/getdatasheetpartid-499660-26863074.pdf?src-supplier=Verical> – Назва з екрану.
- 17.Tantalum 2013_66716 Tantalum *[Электронный ресурс] : інформація про ресурс*, - Режим доступа: <https://datasheet.ciiva.com/22667/1719052-22667577.pdf?src-supplier=Element14> – Назва з екрану.

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

- 18.TDK MULTILAYER CERAMIC CHIP CAPACITORS *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/11788/0900766b80c1bb00-11788006.pdf?src-supplier=Rs> – Назва з екрану.
- 19.CL10B103MB8NNNC *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/25782/cl10b103mb8nnnc-25782644.pdf?src-supplier=Digi-Key> – Назва з екрану.
- 20.AD9833 (Rev. E) *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/3177/ad9833-3177367.pdf?src-supplier=Avnet> – Назва з екрану.
- 21.WH1604A Datasheet (PDF) - DB Lectro Inc *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/619184/DBLECTRO/WH1604A.html> – Назва з екрану.
- 22.USB 2.0 TYPE B VERTICAL 61400413321 *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/6743/61400413321-6743651.pdf?src-supplier=Newark> – Назва з екрану.
- 23.Model 4788Right Angle BNC FemalePC Mount *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/19460/1819819-19460436.pdf?src-supplier=Jameco> – Назва з екрану.
- 24.SRN3015 Series - Semi-shielded Power Inductors *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/11802/0900766b80fe1f40-11802572.pdf?src-supplier=Rs> – Назва з екрану.
- 25.0201 Thick Film Chip Resistor *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/7881/1729044-7881563.pdf?src-supplier=Element14> – Назва з екрану.

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

26. Standard Thick Film Chip Resistors dcrcwe3-2474318 *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/2474/dcrcwe3-2474318.pdf?src-supplier=Digi-Key> – Назва з екрану.
27. 020-021 RK73B *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/15159/getdatasheetpartid-72384-15159750.pdf?src-supplier=Verical> – Назва з екрану.
28. LTR Series : Resistors *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/2498/ltr-2498438.pdf?src-supplier=Digi-Key> – Назва з екрану.
29. 0201 Thick Film Chip Resistor 1636793-22750521 *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/22750/1636793-22750521.pdf?src-supplier=Element14> – Назва з екрану.
30. 5 mm Square Surface Mount Miniature Trimmers Single-Turn Cermet Sealed 0900766b80442f56-11831494 *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/11831/0900766b80442f56-11831494.pdf?src-supplier=Rs> – Назва з екрану.
31. TE connectivity 506-FSM2JART *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/5283/ng-cd-2-1437565-2-p2-199269-5283523.pdf?src-supplier=Mouser> – Назва з екрану.
32. STM32F103RCT6 *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/4845/cd00191185-4845648.pdf?src-supplier=Mouser> – Назва з екрану.
33. Positive voltage regulators *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/7992/1868798-7992604.pdf?src-supplier=Element14> – Назва з екрану.
34. DSC1001/3/4 Low-Power Precision CMOS Oscillators *[Електронний ресурс]* : інформація про ресурс, - Режим доступу:

					РІ01.468173.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

<https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/20005529B.pdf> – Назва з екрану.

35.IPC-SM-782 Surface Mount Design and Land Pattern Standard
[Електронний ресурс] : інформація про ресурс, - Режим доступу:
<https://catcatcat.d-lan.dp.ua/wp-content/uploads/2018/09/IPC-SM-782.pdf> –

Назва з екран

					PI01.468173.001 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

ПОГОДЖЕНО

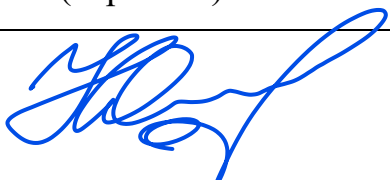
ЗАТВЕРДЖЕНО

доц. Лащевська Н. О.

к.т.н., доц. Мовчанюк А.В.

(керівник)

(В.о. зав. кафедри ПРЕ)

	
---	--

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

«Генератор сигналів з мікроконтролерним керуванням»

Київ — 2023 року

1 НАЗВА І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

Назва переддипломного проекту «Генератор сигналів з мікроконтролерним керуванням».

Підставою для виконання є завдання, видане кафедрою прикладної радіоелектроніки від «02» травня 2023 року.

2 МЕТА ВИКОНАННЯ КР І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

Метою курсового проекту є розробити пристрій, який дає можливість керувати генератором як через кнопки керування на корпусі, так через ПЗ на комп'ютері.

3 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

3.1 Призначення

Напруга живлення: 4,5 – 5,5 В;

Кліматичні вимоги згідно ГОСТ 15150–69.

Захист від механічних впливів згідно ГОСТ 16019–2001.

3.2 Надійності

Середній час безвідмовної роботи 71530 годин.

Імовірність безвідмовної роботи не менше 0,993.

Середній строк служби не менше 8-ми років.

3.3 Конструкції

Прилад повинен мати форму паралелепіпеда, і роз'єм:

USB Type - B.

Габаритні параметри: не повинно перевищувати 120-ти мм.

Маса: не повина бути більше чим 0,6 кг.

3.4 Уніфікації і стандартизації

Використовувати елементну базу яка є стандартизованою.

3.5 Дизайну, ергономіки та технічної естетики

Прилад повинен зовнішньо бути схожим на бокс з можливими заокругленнями сторін. Колір корпусу може бути за бажанням будь-якого кольору.

3.6 Експлуатації, зручності технічного обслуговування та ремонту

Технічне обслуговування самого проводить немає потреби.

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

Необхідно керуватися положеннями стандартів про вимоги для технічної безпеки, електробезпеки, а також пожежної безпеки.

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

3.8 Транспортування і зберігання

Умови транспортування згідно ГОСТ 16019–2001.

Зберігання: за ГОСТ 15150–69.

3.9 Якості і технічного рівня

Даний прилад відповідає необхідному рівню світового стандарту.

4 ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ І ПКВ

Вибір пластику (*PETG*) матеріалу для корпусу.

5 ВИМОГИ ДО КОНСЕРВАЦІЇ, ПАКУВАННЯ І МАРКУВАННЯ

Маркування: маркувати входи: *USB Type – B*.

Пакування: апаратуру обов'язково необхідно загортати в пакувальну плівку і помістити в картонну упаковку.

Консервація: не передбачено.

6 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація оформлюється відповідно до ДСТУ 3008:2005.

Конструкторська документація має містити у своєму складі:

Текстову документацію, тобто – ПЗ (пояснювальна записка), перелік елементів, специфікація на розроблені друковані вузли.

Графічну документацію.

7 ОРІЄНТОВНИЙ ЗМІСТ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

— Титульний лист

— Завдання на дипломний проект

— Зміст

— Вступ

1. Огляд існуючих рішень. Розробка та аналіз технічного завдання

2. Обґрунтування та вибір схемотехнічних рішень

3. Розробка конструкції пристрою

4. Аналіз працездатності приладу

5. Розрахунок собівартості приладу

— Висновки

— Список використаних джерел

— Додаток А Технічне завдання

— Додаток Б Перелік елементів

8 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Дипломний проект виконується в 7 етапів.

Таблиця 1 – Етапи дипломного проекту

№	Назві етапу	Термін виконання	Форма звітності
1	Огляд існуючих рішень	1.05.23 – 11.05.23	Розділ 1
2	Розробка та аналіз ТЗ	12.05.23 – 15.05.23	Розділ 1
3	Вибір та обґрунтування схемотехнічних рішень	16.05.23 – 27.05.23	Розділ 2
4	Вибір та обґрунтування елементної бази	28.05.23 – 30.05.23	Розділ 3
5	Проектування приладу	31.05.23 – 2.06.23	Розділ 4
6	Розрахунки, що підтверджують працездатність	3.06.23 – 6.06.23	Розділ 4
7	Оформлення документації	7.06.23 – 11.06.23	Креслення і додатки

9 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 комісією.

Виконавець



Роман АРТЕМЕНКО

Керівник



Наталія ЛАЩЕВСЬКА

ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.			
			<u>Деталі</u>					
	1	РА.81.464211.001	Друкована плата	1				
			<u>Резистори</u>					
	2		1 kOhm 50mW 1% 0201	5	R1-R4, R10			
	3		680 Ohm 1/2W 5% 1210	1	R5			
	4		3,9 kOhm 1/10W 5% 0402	1	R6			
	5		300 Ohm 3/4W 5% 1206	1	R7			
	6		100 Ohm 50mW 1% 0201	1	R9			
	7		10 kOhm 0,25W 20% TS53YL	1	R8			
			<u>Мікросхеми</u>					
	8		AD9833	1	DD1			
	9		STM32F103RCT6	1	U1			
			<u>Роз'єми</u>					
	10		USB2.0 TypeB 61400413321	1	J1			
	11		CONN BNC JACK R/A 50 OHM 4788	1	J2			
			PI01.468173.001 ПЕ					
Зм.	Арк	№ докум.				Підп	Дата	
Розроб.	Артеменко Р.О.				Генератор сигналів з мікроконтролерним керуванням Специфікація	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Пацевська Н.О.						1	3
						«КПІ ім. І.Сікорського», РТФ		
Н.контр								
Затверд.	Пацевська Н.О.							

Зона	Поз.	Позначення			Найменування	Кіл.	Прим.
					<u>Кнопка</u>		
	12				SWITCH TACTILE FSM2JART	4	SW1-SW4
					<u>Регулятор напруги</u>		
	13				L78L33ABUTR	1	U2
					<u>Кварцевий генератор</u>		
	14				DSC1001CI1-025.0000	1	Y1
					<u>Силовий індуктор</u>		
	15				Bourns SRN3015-150M 100mkH	1	L1
					<u>Дисплей</u>		
	16				Winstar WH1604A-YYH-JT 16x4 LCD Display	1	DS1
					<u>Конденсатори</u>		
	17				100nF 6,3V ±10% 0201	6	C1-C3, C8, C11, C14
	18				4,7uF 50V ±10% 1206	1	C4
	19				1uF 16V ±10% 1206	1	C5
	20				100uF 16V ±10% 2312	1	C7
	21				0,1uF 25V ±20% 0603	3	C9, C13, C15
	22				10nF 50V ±20% 0603	2	C10, C12
					PI01.468173.001 ПЕ		2
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			

[illegible]

ДОДАТОК В. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА

ДОДАТОК Г. ДРУКОВАНА ПЛАТА

ДОДАТОК Д. СКЛАДАЛЬНИК КРЕСЛЕННЯ КОРПУСУ