

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"**

Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки

**ЗВІТ
З ПЕРЕДДИПЛОМНОЇ ПРАКТИКИ**

Виконав:

Студент 4 курсу, групи Рі-зп01

Артеменко Р.О. 

(Прізвище І.П.)

Підпис

Звіт прийняли:

Шульга А. В. 

(Прізвище І.П. керівника

Підпис практики від підприємства)

« ____ » _____ 2023 р.

Лащевська Н.О. 

(Прізвище І.П. Підпис керівника

практики від кафедри)

« ____ » _____ 2023 р.

Київ – 2023 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ. РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧГОГО ЗАДАННЯ	4
1.1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	6
1.2 РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧГОГО ЗАДАННЯ.....	10
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ	12
2.1 Структурна схема	12
2.2 Схема електрична принципова.....	12
2.3 Вибір матеріалу корпусу.....	13
2.4 Вибір матеріалу ДП.....	14
3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ	15
3.1 Визначення габаритів друкованої плати	15
3.2 Розрахунок діаметрів монтажних отворів	17
3.3 Трасування друкованої плати.....	18
ВИСНОВОК.....	21
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	22

ВСТУП

Генератор сигналів - це один з видів випробувального обладнання, що використовується для генерації форми сигналу або електричного сигналу. Вони генерують різні види сигналів залежно від застосування. Тому ці форми сигналів в основному використовуються в різних системах, таких як тестові прилади, системи розробки тощо. Генератори сигналів доступні в різних формах, де кожен тип використовується для генерації різних типів сигналів у різних формах, таких як аудіосигнал, радіосигнал, імпульсний сигнал, аналоговий, цифровий тощо. Ці системи існують вже багато років, але сучасні генератори сигналів є дуже стандартними з точки зору продуктивності, можливостей тощо.

Генератор сигналів використовується в наступних сферах:

- Генератор довільної форми сигналу використовується в тестових і високотехнологічних програмах проектування;
- Генератори радіочастотних і мікрохвильових сигналів в основному використовуються для тестування компонентів, тестових систем і приймачів у широкому спектрі застосувань, таких як WiFi, стільниковий зв'язок, радар, GPS, WiMAX, трансляція аудіо та відео, супутникове телебачення, радіоелектронна боротьба і т.д. [1].

1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ. РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧГОГО ЗАДАННЯ

Існують різні типи генераторів сигналів з різним рівнем можливостей і функціональності. Всі генератори сигналів мають різні конструкції, різні розміри і параметри. Таким чином, різноманітність генераторів служить різним цілям і охоплює цілий ряд застосувань. Генератори сигналів використовуються для проектування, ремонту електронних пристроїв, а також для усунення несправностей. Кожен універсальний генератор сигналів може створювати необмежену кількість сигналів для вирішення завдань усунення несправностей. Ви можете змінювати вихідний сигнал генератора сигналу, встановлюючи амплітуду і частоту вихідного сигналу під час моделювання [2].

Головна перевага генератора сигналу - це можливість імітації реальної помилки, яку можна передбачити в певному місці і в потрібний час за допомогою досліджуваної схеми.

Не так давно почали розвиватись генератори на основі мікросхеми прямого цифрового синтезатора частоти (DDS).

Подібні пристрої використовуються в прикладних галузях під час формування низькочастотних навігаційних сигналів, застосовуються для мобільного стільникового зв'язку, супутників і радіолокації з довжиною хвилі від міліметрового діапазону. Щоб виконувати роботу в будь-яких умовах придумано навіть кишенькові генератори синусоїдальних сигналів, такі як Fg-100.

Прямий цифровий, або когерентний синтез (Direct Digital Synthesis або DDS) - технологія генерації сигналів спеціальної та довільної форми. Прилад, заснований на такій технології, синтезує гармонійні сигнали множинних частот з високою точністю і стабільністю з одного або декількох опорних коливань [3].

DDS унікальні своєю цифровою визначеністю - сигнал, що генерується ними, синтезується з властивою цифровим системам точністю. Найпростіший DDS має такий вигляд: двійковий лічильник формує адресу для ПЗП, куди записано таблицю одного періоду функції \sin , відліки з виходу ПЗП надходять на ЦАП, який формує на виході синусоїдальний сигнал, який піддається фільтрації у ФНЧ і надходить на вихід. Високі технічні характеристики стали причиною того, що останнім часом DDS витісняють звичайні аналогові синтезатори частот.

Основні переваги DDS:

- дуже висока роздільна здатність за частотою і фазою, управління якими здійснюється в цифровому вигляді;
- екстремально швидкий перехід на іншу частоту (або фазу), перебудова за частотою без розриву фази, без викидів та інших аномалій, пов'язаних із часом встановлення;
- цифровий інтерфейс дає змогу легко реалізувати мікроконтролерне керування.

Параметри синтезатора частоти дуже важливі для апаратури зв'язку. Будучи серцем системи налаштування, синтезатор в основному визначає споживчі властивості конкретного апарата. Як з технічного, так і з економічного боку DDS задовольняє більшості критеріїв ідеального синтезатора частоти: простий, високоінтегрований, з малими габаритами. Крім того, багато параметрів DDS програмно-керовані, що дає змогу закласти в пристрій нові можливості. Сучасні DDS використовують субмікронну CMOS-технологію, тривольтову логіку, мініатюрні корпуси. Одночасно постійно знижуються ціни на них. Усе це робить DDS дуже перспективними приладами [4].

1.1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Генератор сигналів UNI-T UTG1010A

UNI-T UTG1010A (рис 1.1) – високоякісний настільний генератор сигналів довільної форми з технологією прямого цифрового синтезу (DDS), оснащений великим кольоровим екраном.

Прилад здатний генерувати різні типи сигналів, включаючи квадратні, синусоїдальні, лінійні, трикутні, імпульсні, шумові, DC і довільної форми. Він використовує вихідну частоту 10 МГц, частотну роздільність 1 мкГц і має вертикальну роздільність 14 біт. UNI-T UTG1010A також характеризується різними типами модуляції, такими як AM, FM, PM, ASK, FSK, PWM.

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 мВ пік-пік — 20 В пік-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].

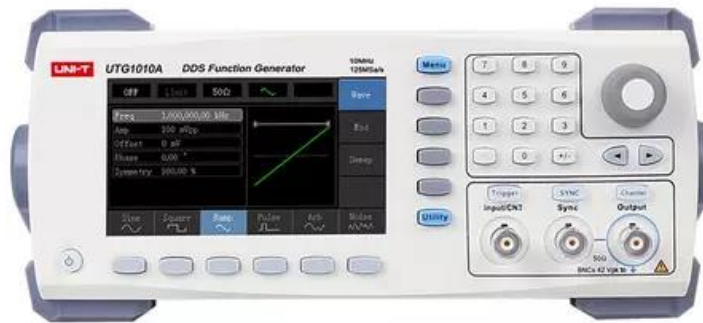


Рисунок 1.1 - Генератор сигналів UNI-T UTG1010A

Генератор сигналів FNIRSI SG-003A

Генератор сигналів FNIRSI SG-003A (рис 1.2) - компактний одно канальний цифровий генератор сигналів у захисному силіконовому чохлі. Прилад видає сигнали за напругою і за струмом, імітуючи сигнали з датчиків і сигнали систем керування, сигнали ШІМ. Цей генератор сигналів призначений для налагодження промислових ПЛК, технологічного обладнання, електричних клапанів тощо.

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);
- *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].

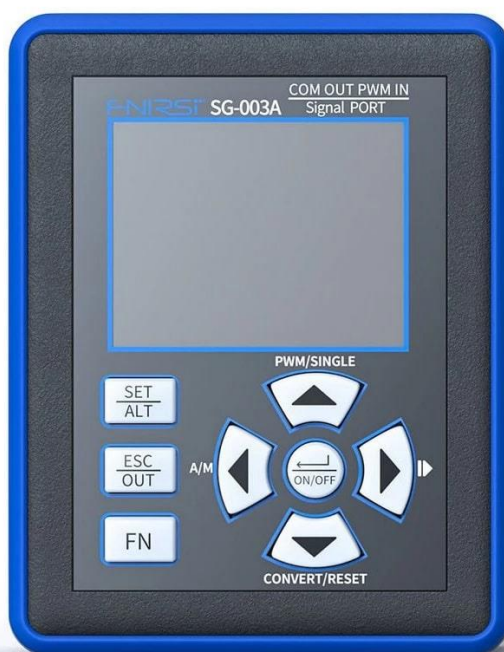


Рисунок 1.2 - Генератор сигналів FNIRSI SG-003A

Генератор сигналів SIGLENT SDG805

Генератор сигналів SIGLENT SDG805 (рис 1.3) з інноваційною технологією EasyPulse може генерувати цифрові сигнали з низьким рівнем тремтіння фронту, швидким наростанням / спаданням незалежно від впливу частоти, в той самий час коефіцієнт заповнення, фронт і тривалість імпульсу можуть бути точно налаштовані.

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

Переважаюча частина промислових генераторів мають чималі габарити, вагу та дорого коштують. Виходячи з цього в розробці конструкції синусоїдального генератора на основі мікросхеми прямого цифрового синтезу DDS є сенс.

1.2 РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАДАННЯ

Згідно з технічним завданням діапазон частот, що генеруються повинен бути в межах від 0 до 12,5 МГц. Параметри живлення: напруга — 5 В, струм

не більше 500 мА, тому доцільно обрати вхідний роз'єм: USB-Type -С. Прилад повинен мати зручний та ергономічний корпус для зручного користування та транспортування.

Застосовувати прилад можна при в помірно-холодному кліматі УХЛ 4.2 згідно з ГОСТ 15150-69 [8], який передбачає 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 згідно ГОСТ 23216-78[9]. Перевезення без перевантажень автомобільним транспортом – транспортними засобами з пневматичним демпфуванням по дорогам з асфальтним та бетонним покриттям (дороги 1-ї категорії по будівельним нормам та правилам затвердженими Укравтодором) на відстані до 1000 км.

За ГОСТ 30773-2001 [10] утилізацією приладу займається виробник. При утилізації всі частини приладу можна розділити на дві групи: які ідуть на повну ліквідацію та на подальшу переробку.

У пристроя повинен бути гарантійний термін не менше 1-го року та середній час напрацювання на відому складає не менше 12000 годин. Ремонт та технічне обслуговування здійснюється у виробника. Для забезпечення технічного обслуговування пристрою корпус слід зробити розбірним.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

2.1 Структурна схема

Розглянувши існуючі аналоги на ринку та визначившись із функціоналом, було вирішено побудувати структурну схему генератора сигналу. Структурна схема зображена на рисунку 2.2.

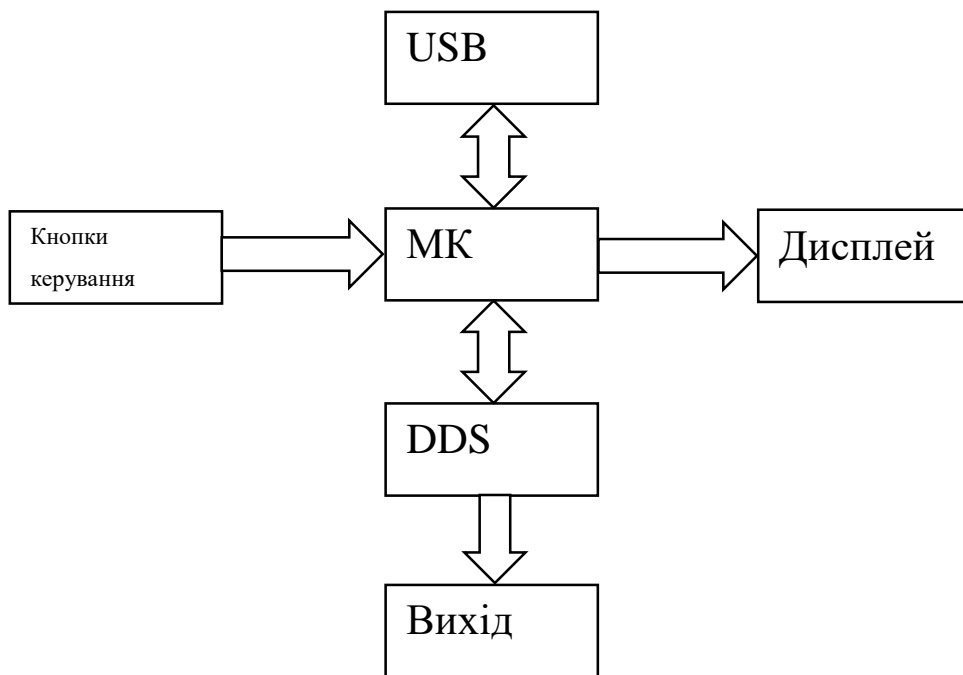


Рисунок 2.1 – Блок-схема приладу

2.2 Схема електрична принципова

Принципова електрична схема була побудована для відображення взаємозв'язків елементів схеми щоб вони виконували свій функціонал згідно принципу дії генератора сигналу. Принципова схема зображена на рисунку 2.2.

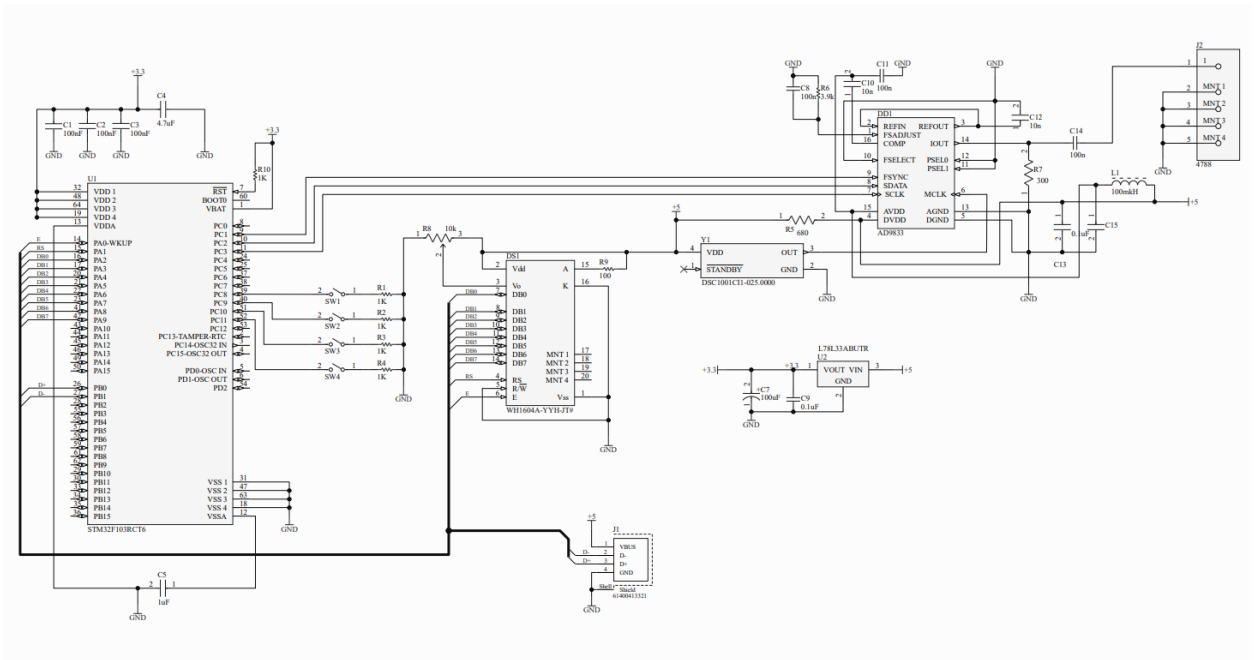


Рисунок 2.2 – Схема електрична принципова

2.3 Вибір матеріалу корпусу

В якості матеріалу корпусу обрано *PETG* – це поліефір, він є високоміцним, зносостійким матеріалом, що має високу температуру плавлення, стійкість до більшості хімічних реагентів і ультрафіолету. У комплексі з простотою друку він набув найширшого використання в адитивному виробництві у вигляді філаментів чи гранул [8].

Матеріал має наступні фізико-хімічні властивості які представленні в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Фізико-механічні властивості PETG [9]

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	$1,41–1,56 \cdot 10^8$
Ударна в'язкість	Дж/м ²	$1,9–2,0 \cdot 10^5$
В'язкість руйнування	Па·м ^{1/2}	$2,11–2,54 \cdot 10^6$
Модуль Юнга	Па	$2,01–2,11 \cdot 10^9$

2.4 Вибір матеріалу ДП

Друкована плата буде виготовлена із **FR2** – фольгований гетинакс (основа з целюлозного паперу, просоченого фенольною смолою) вибрано за ГОСТ 10316-7 у відповідності до стандарту IPC4101В. Має широке застосування в якості друкованих плат для побутової електроніки, аудіо-, відеотехніки, в автомобілебудуванні та чудово штампується [10].

3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

3.1 Визначення габаритів друкованої плати

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.

У результаті, було проведено аналіз існуючих електронних ринкових пристроїв генераторів сигналів та виявлено їхні основні недоліки, а саме - високу вартість, великі габаритні параметри та велику кількість складних функцій.

Для виконання поставлених завдань необхідно, щоб генератор мав такі параметри: напруга живлення — 5 В, види сигналів: синусоїдальний, трикутний та прямокутний. На основі цих даних розроблено структурну схему та схеми електричні принципи, підбрано елементну базу. Основними складовими є: мікроконтролер STM32F103RCT6, DDS генератор AD9833. Розроблено друковану плату для генератора сигналів. В процесі розробки конструкції прийнято рішення використовувати пластиковий корпус, виконаний на 3D принтері. Розроблений прилад задовольняє вимогам технічного завдання.

Таблиця 3.1 – Площа компонентів [11]

Компонент	Площа одного ел. (мм ²)	Кількість ел.	Площа всіх ел. (мм ²)
Конденсатор 100 <i>nF</i>	7,6	6	45,6
Конденсатор 4.7 <i>uF</i>	15,12	1	15,12
Конденсатор 1 <i>uF</i>	15,12	1	15,12
Конденсатор 100 <i>uF</i>	27,52	1	27,52
Конденсатор 0.1 <i>uF</i>	7,6	3	22,8
Конденсатор 10 <i>nF</i>	7,6	2	15,2
Мікросхема <i>AD9833</i>	58,6	1	58,6
Дисплей <i>WH1604A- YUH-JT</i>	5368	1	5368
Роз'єм <i>USB, USB Type - B</i>	381,5	1	381,5
Конектор <i>BNC JACK R/A 4788</i>	421,5	1	421,5
Силовий індуктор <i>100 mkH</i>	15,54	1	15,54
Резистор <i>1 kOhm</i>	5,44	5	27,2
Резистор <i>680 Ohm</i>	20	1	20
Резистор <i>3.9 kOhm</i>	5,44	1	5,44
Резистор <i>300 Ohm</i>	15,12	1	15,12
Резистор <i>100 Ohm</i>	5,44	1	5,44
Підлаштовний резистор <i>10 kOhm</i>	46,2	1	46,2
Кнопка <i>Switch FSM 2JART</i>	74,62	4	298,48
Мікросхема <i>STM32F103RCT6</i>	190,44	1	190,44

Регулятор напруги <i>L78L33ABUTR</i>	24,4	1	24,4
Кварцевий генератор <i>DSC1001CII-025.0000</i>	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** 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:

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

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 програму *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.

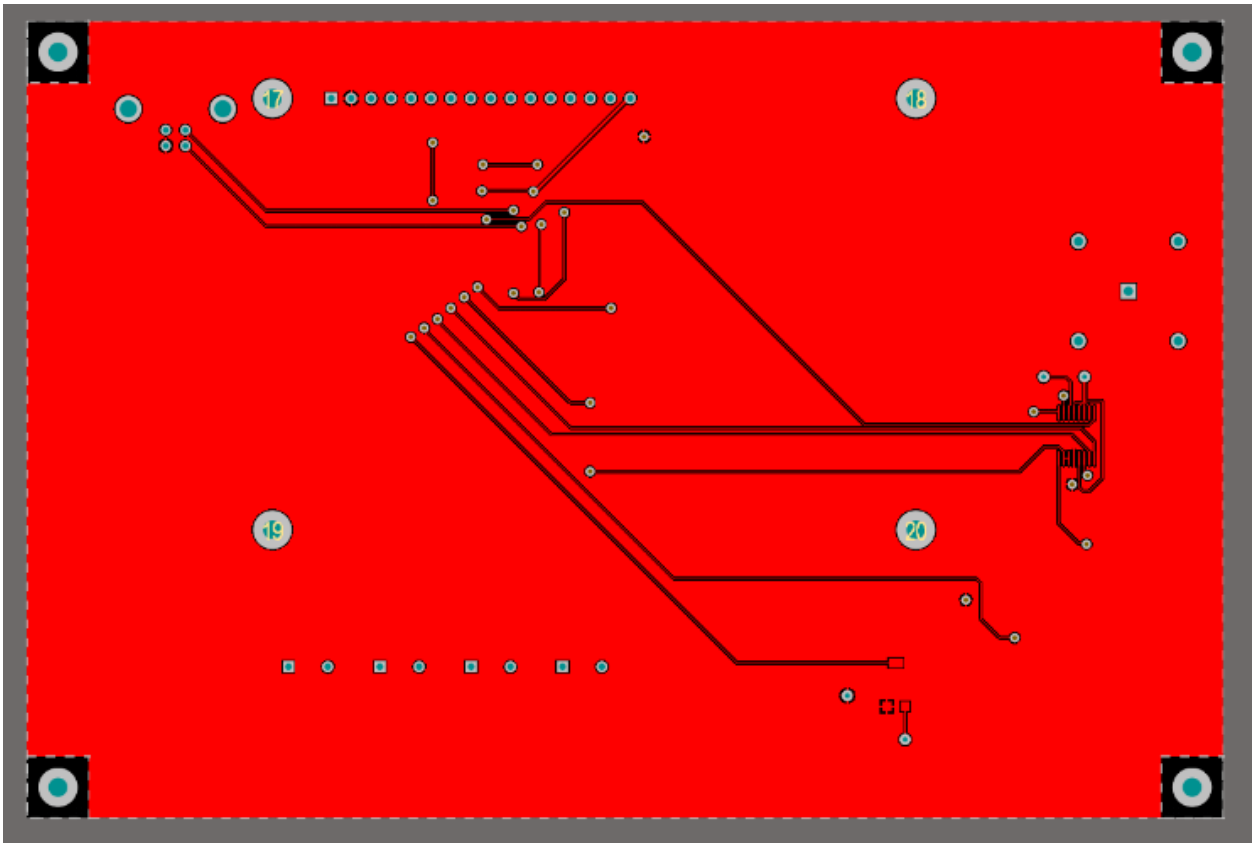


Рисунок 3.1 — Верхній шар

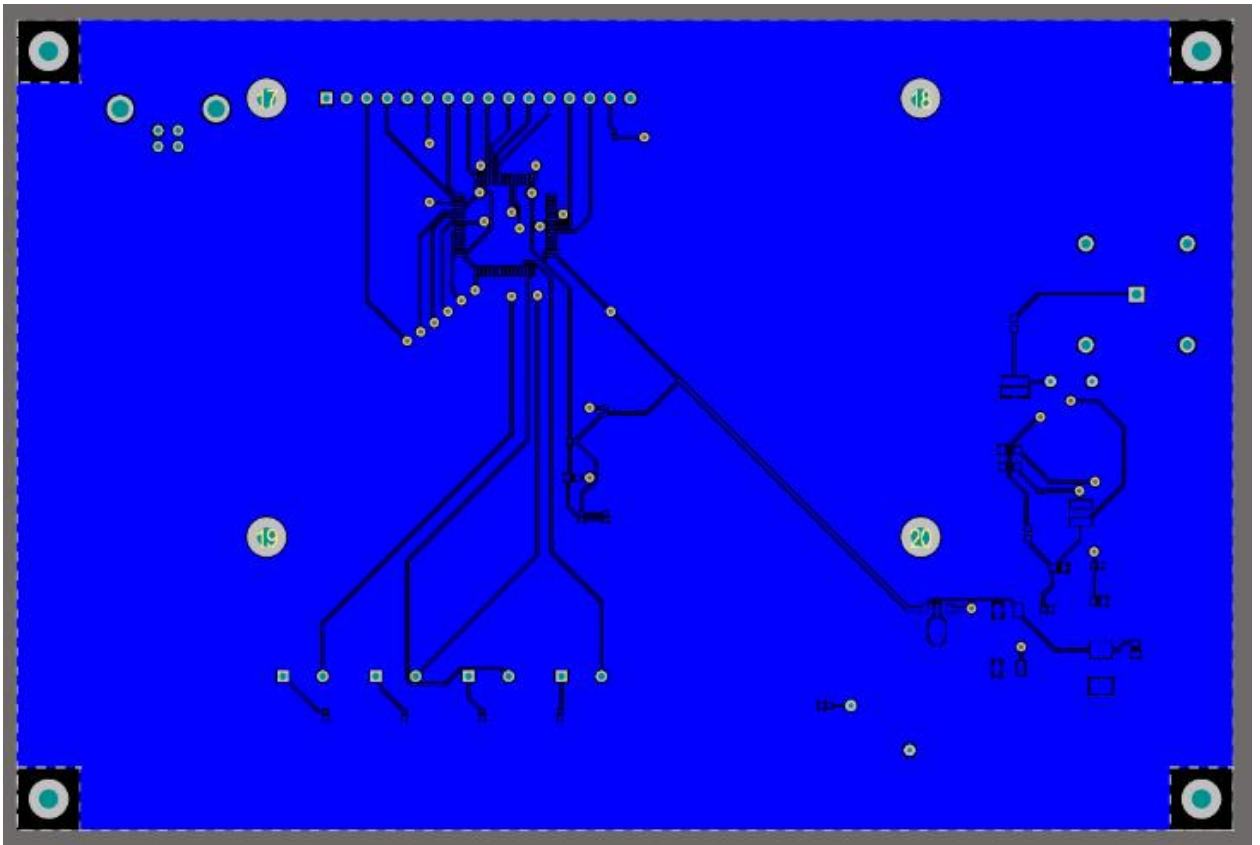
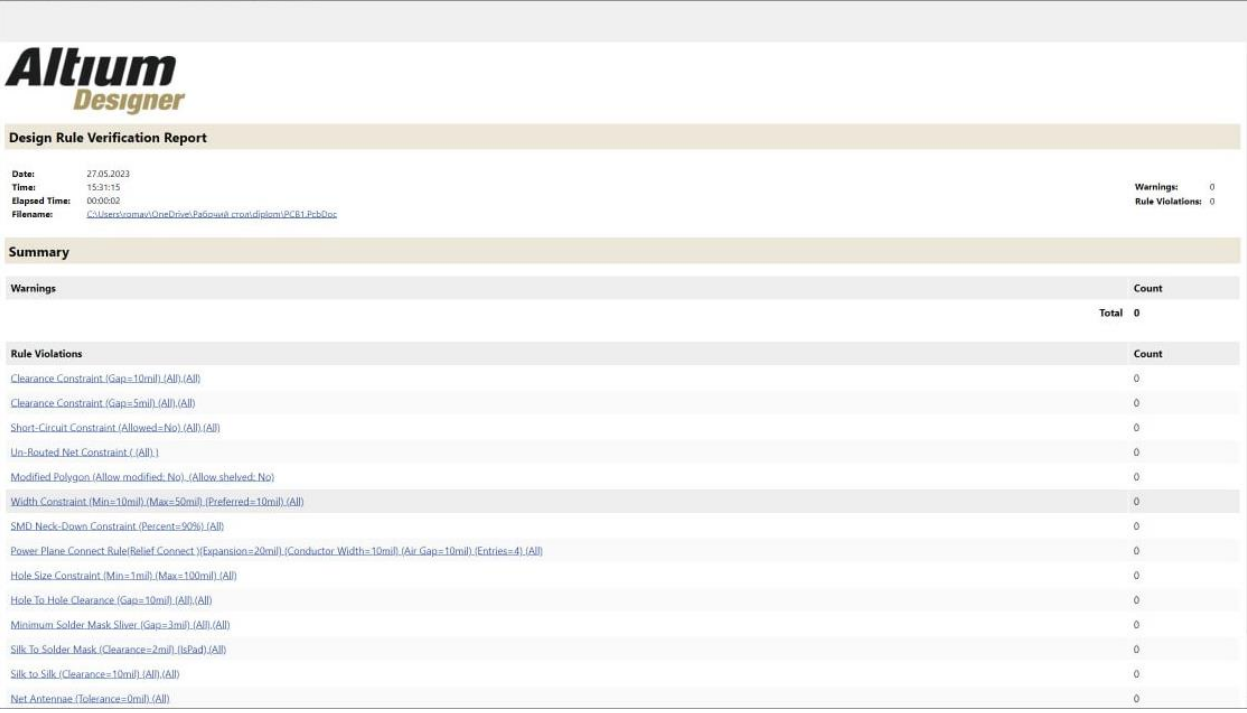


Рисунок 3.2 — Нижній шар

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.



Altium Designer

Design Rule Verification Report

Date: 27.05.2023
Time: 15:31:15
Elapsed Time: 00:00:02
Filename: C:\Users\svmax\OneDrive\Рабочий стол\dipolom\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)	0
Modified Polygon (Allow modified: No) (Allow shelved: No)	0
Width Constraint (Min=10mil) (Max=50mil) (Preferred=10mil) (All)	0
SMD Neck-Down Constraint (Percent=50%) (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=2mil) (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

ВИСНОВОК

У результаті, було проведено аналіз існуючих електронних ринкових пристроїв генераторів сигналів та виявлено їхні основні недоліки, а саме - високу вартість, великі габаритні параметри та велику кількість складних функцій.

Для виконання поставлених завдань необхідно, щоб генератор мав такі параметри: напруга живлення — 5 В, види сигналів: синусоїдальний, трикутний та прямокутний. На основі цих даних розроблено структурну схему та схеми електричні принципові, підібрано елементну базу. Основними складовими є: мікроконтролер STM32F103RCT6, DDS генератор AD9833. Розроблено друковану плату для генератора сигналів. В процесі розробки конструкції прийнято рішення використовувати пластиковий корпус, виконаний на 3D принтері. Розроблений прилад задовольняє вимогам технічного завдання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. What is a Signal Generator : Working & Its Applications.
<https://www.elprocus.com/what-is-a-signal-generator-working-its-applications/>
2. Генератор сигналів – стаття. <https://riverglennapts.com/uk/oscillator/639-signal-generator.html>
3. Як вибрати генератор сигналів, щоб не пошкодувати про покупку?
https://supereyes.ru/articles/waveform_generator_article_video/kak_vybrat_generator_signalov/
4. Прямий цифровий синтез (DDS) - стаття
https://www.eliks.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=8880
5. Генератор сигналів UNI-T UTG1010A – інтернет-магазин.
<https://masteram.com.ua/uk/function-arbitrary-waveform-generator-uni-t-utg1010a/>
6. Генератор сигналів FNIRSI SG-003A – інтернет-магазин.
<https://radio-shop.com.ua/generator-signalov-fnirsi-sg-003a>
7. Генератор сигналів SIGLENT SDG805 – інтернет-магазин
<https://masteram.com.ua/uk/function-arbitrary-waveform-generator-siglent-sdg805/>
8. Короткий гід із застосування PETG у 3D-друку. Стаття - Олександра Озерова. <https://blog.iqb.ru/petg-plastic/>
9. Поліетилентерефталат-гліколь (ПЕТГ) - пластик. Вікіпедія - стаття.
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Полиэтилентерефталат-гликоль_\(ПЭТГ\)_—_пластик](https://ru.wikipedia.org/wiki/Полиэтилентерефталат-гликоль_(ПЭТГ)_—_пластик)
- 10.FR2 datasheet. <https://www.fr4.ru/file/KB-2150GC.pdf>
- 11.IPC-SM-782. Surface Mount Design and Land Pattern Standard
<https://catcatcat.d-lan.dp.ua/wp-content/uploads/2018/09/IPC-SM-782.pdf>