

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

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Г.М. Мелік Г.А. Мелік
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 19 » 06 2019 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

За напрямом підготовки 6.050902 Радіoeлектронні апарати
(код та назва спеціальності)

на тему: Генератор сигналів з керуванням від персонального комп'ютера

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи РК-51
(шифр групи)

Ляшко Андрій Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Ляшко
(підпис)

Керівник ст. викладач Адамченко В.О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

В.О. Адамченко
(підпис)

Консультант з охорони праці доцент, к.т.н., Каптанов С.Ф.
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

С.Ф. Каптанов
(підпис)

Рецензент ст. викладач кап ТОВ Захарченко В.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

В.С. Захарченко
(підпис)

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

Студент Ляшко
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут) радіотехнічний
(повна назва)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

За напрямом підготовки 6.050902 Радіoeлектронні апарати
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С.А. Нелін
(підпис) (ініціали, прізвище)

«16» травня 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

Лашко Андрій Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Генератор сигналів з керуванням
від персонального комп'ютера

керівник проекту (роботи) Адамченко В.О. ст. викл.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «27» 05 2019 р. № 1399-С

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 04.06.2019

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Конструктивна-СВ,
частота вихідного сигналу: 0 до 12 МГц, форми сигналів
синусоїдальний, трикутний та прямокутний

4. Зміст (дипломної роботи) розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Вступ, дані існуючих рішень, аналіз ТЗ, обґрунтування та вибір схематичного рішення, проектування друкованої плати, проектування електронного модуля, проектування та аналіз процесдатності пристрою, оціночна праця, висновок.

5. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів тощо) Структурна схема, схема електрична принципова, друкована плата деталі, складові креслення друкованого вузла, складові креслення пристрою

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
З охорони праці	к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.		

7. Дата видачі завдання 16 травня 2019 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<u>Уточнення ТЗ з керівником</u>	<u>16.05. - 18.05.2019р</u>	
2	<u>Оцінює існуючі рішення</u>	<u>18.05 - 19.05.2019р</u>	
3	<u>Вибір та аналіз ТЗ</u>	<u>19.05 - 20.05.2019р</u>	
4	<u>Обґрунтування та вибір схем. рішень</u>	<u>20.05 - 22.05.2019р</u>	
5	<u>Вибір та обґрунтування електронних компонентів</u>	<u>23.05 - 24.05.2019р</u>	
6	<u>Проектування електронного модуля</u>	<u>24.05 - 25.05.2019р</u>	
7	<u>проектування пристрою</u>	<u>26.05 - 28.05.2019р</u>	
8	<u>Аналіз процесдатності пристрою</u>	<u>29.05 - 31.05.2019р</u>	
9	<u>оціночна праця</u>	<u>01.06. - 03.06.2019р</u>	

Студент

Лоник
(підпис)

А.А. Лоник
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)

А.В. Адамчик
(підпис)

В.В. Адамчик
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект складається з пояснювальної записки обсягом 46 сторінок, включає 11 рисунків, 6 таблиць, 5 креслень, 17 посилань, 4 додатків.

Ключові слова: Генератор сигналів, DDS, AD9851, Arduino Nano.

В дипломному проекті розроблено електронний модуль для генератора сигналів. Особливістю даного приладу є можливість керування ним з ПК.

Проведено аналіз відомих конструкцій та схемотехнічних рішень. Враховуючи їх переваги та недоліки, а саме в електричних параметрах та функціоналу, спроектовано електронний модуль для генератора сигналів. Розроблено схеми структурну та електричну принципову, обрано елементну базу, розроблено друковані плати та конструкцію пристрою, проведено розрахунки, які підтверджують його працездатність.

ANNOTATION

The thesis consists of an explanatory note of 46 pages, including 11 figures, 6 tables, 5 drawings, 17 references, 4 appendices.

Key words: signal generator, ESP8266, DDS, AD9851, Arduino Nano.

In the graduation thesis an electronic module for the signal generator. The main feature of this device is the ability to control it with a PC.

The thesis includes the analysis of known designs, taking into account all the advantages and disadvantages of the existing solutions, an electronic module for the drum set was designed. Thesis focuses on development of signal generator module that complies with aforementioned considerations, namely: development of the structural scheme, development of the schematics, selection of components, development of printed circuit boards, and analysis of the overall design, calculations were made to confirm its efficiency.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	3
Вступ	4
1 Огляд існуючих рішень. Аналіз технічного завдання	6
1.1 Огляд та аналіз аналогів на ринку	6
1.2 Аналіз технічного завдання	9
2 Обґрунтування та вибір схемотехнічного рішення	11
2.1 Опис та обґрунтування структурної схеми	11
2.2 Вибір та обґрунтування елементної бази	12
2.2.1 Вибір пасивних елементів.....	14
2.2.2 Вибір світлодіодів	14
2.2.3 Вибір роз'ємів живлення.....	15
2.2.4 Вибір вихідних роз'ємів.....	15
2.2.5 Вибір мікросхем	16
2.2.6 Вибір операційних підсилювачів.....	20
2.2.7 Вибір драйверу інтерфейсу UART	21
2.2.8 Вибір мікроконтролера	21
2.3 Опис та обґрунтування схеми електричної принципової.....	22
3 Проектування електронного модуля	24
3.1 Вибір матеріалу друкованої плати.....	24
3.2 Вибір технології виготовлення друкованої плати	24
3.3 Розрахунок ширини друкованого провідника	24
3.4 Розрахунок розмірів контактних майданчиків	26
3.5 Розрахунок площі друкованої плати	27
3.6 Трасування друкованої плати	28
4 Проектування та аналіз працездатності приладу.....	31
4.1 Вибір безсвинцевого припою	31

					РК51.468173.002 ПЗ			
	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Ляшко А. А.							
Перев..								
Т. контр								
№ Контр.								
Затв.								
						Літ.	Арк.	Аркушів
							1	
						НТУУ “КПІ” РТФ		

4.2 Проектування корпусу для генератора.....	31
4.3 Розрахунок надійності пристрою	33
5 Охорона праці.....	36
5.1 Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів.....	36
5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни та виробничої санітарії	37
5.2.1 Вимоги з охорони праці при роботі з ПК.....	37
5.2.2 Електробезпека.	38
5.2.3 Вимоги до освітленості робочих місць користувачів ПК.	40
5.3 Пожежна безпека та профілактика	42
Висновки.....	44
Перелік джерел посилань.....	45
Додаток А. Технічне завдання.....	47
Додаток Б. Специфікація РК51.468173.001	52
Додаток В. Специфікація РК51.468173.002	55
Додаток Г. Перелік елементів РК51.331429.001ПЕ	56

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП — аналого-цифровий перетворювач.

ВЧ — високі частоти.

ДП — друкована плата.

КД — конструкторська документація.

КМ — контактний майданчик.

МК — мікроконтролер.

ОП — операційний підсилювач.

ПК — персональний комп'ютер.

ППП — приймально-передавальний пристрій.

РЕА — радіоелектронна апаратура.

ТЗ — технічне завдання.

ЦАП — цифро-аналоговий перетворювач.

DDS — «Direct Digital Synthesis» — прямий цифровий синтез.

SMD — «Surface-mounted device» — поверхневий монтаж.

SPI — «Serial Peripheral Interface» — послідовний периферійний інтерфейс.

UART — «Universal Asynchronous Receiver-Transmitter» — універсальний асинхронний приймач-передавач.

USB — «Universal Serial Bus» — універсальна послідовна шина.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

У багатьох технічних навчальних закладах, в яких студенти виконують лабораторні роботи на теми, пов'язані з тестуванням електронних пристроїв, застосовують безліч різних вимірювальних приладів. Одним з найбільш значущих є генератор.

Студентам потрібно вимірювати характеристики схеми і переконатися в тому, що вона відповідає технічним умовам. Таке вимірювальне завдання вимагає закінченого рішення — рішення, що забезпечує не тільки вимірювання, а й створення необхідних сигналів.

Генератор сигналу являє собою джерело сигналу, який в парі з реєструючим приладом дозволяє створити закінчене вимірювальне рішення. Залежно від конфігурації, генератор сигналів може створювати вихідні сигнали у вигляді аналогових сигналів, цифрових послідовностей, модульованих сигналів, навмисних спотворень, шуму.

Як правило, генератори сигналів довільної форми, що застосовуються в навчальних закладах, морально і фізично застаріли, тому дана дипломна робота присвячена розробці нового генератора сигналів довільної форми на сучасній елементній базі.

Цей прилад має:

- бути компактним;
- бути мобільним;
- бути бюджетним;
- мати керування з персонального комп'ютера (ПК);
- мати можливість генерації різних періодичних сигналів;
- мати можливість генерації сигналів на максимальному частотному діапазоні.

У пристроях самого різного призначення часто буває необхідний модуль, який генерує сигнали різних частот і дозволяє з високою точністю керувати параметрами цього сигналу.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Завданням даного дипломного проекту є розробка генератора сигналів з керуванням від ПК як частини більш складного модуля.

Ляшко А.А. РК-51, 2019

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

На сьогодні існують різні види генераторів. Основні відмінності між ними полягають у принципі їхньої роботи, в максимальних вихідних параметрах, габаритах, та їхніх призначеннях. Не так давно почали розвиватись генератори на основі мікросхеми синтезатора частоти, тому що раніше прямі цифрові синтезатори частоти (DDS) були рідкістю і мали обмежену сферу застосування, їх широке використання стримувалося складністю реалізації, а також недостатньо широким діапазоном робочих частот. DDS вже не сприймаються розробниками як складні, незрозумілі і дорогі пристрої.

Синтезатор частот це електронний пристрій, здатний формувати з опорної частоти на виході необхідну частоту або набір частот, згідно керуючим сигналам.

1.1 Огляд та аналіз аналогів на ринку

В даному розділі будуть розглянуті популярні моделі бюджетних електронних модулів та їх характеристики.

Електронний модуль «АНР-3122», який зображено на рисунку 1.1 [1].

Технічні характеристики:

- Кількість вихідних каналів: 2;
- Форма вихідних сигналів довільна;
- 12-бітний ЦАП;
- USB-порт для підключення до комп'ютера;
- Напруга живлення 12 В;
- Частота дискретизації від 2 кГц до 80 МГц.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6



Рисунок 1.1 — Электронный модуль «АНР-3122»

Проаналізуємо характеристики даного модулю. Кількість каналів є досить великим плюсом цієї моделі, але все ж таки 2 канали середній показник на ринку готової продукції. Зручним є те що цей модуль дозволяє нам задавати форму сигналу яку завгодно, а це вартісно дорого.

Електронний модуль «Tektronix AFG31000», який зображено на рис. 1.2 [2].

Цей модуль має такі характеристики:

- Кількість вихідних каналів: 2;
- Вбудована вибірка часто використовуваних сигналів;
- Пам'ять;
- АЦП з розширенням 14 біт;
- Безперервний режим.

Проаналізуємо характеристики даного модулю. Можливість обрати форму сигналу певного типу є складним у реалізації, тому доцільно зробити такий генератор, який би не мав лишнього функціоналу. Оскільки модуль не має портів для підключення до комп'ютера потрібно використовувати

додаткове обладнання для задання сигналу. Хоча модуль і відноситься до бюджетних його ціна (13376 грн) є досить високою.

Зважаючи на те, що основні параметри електронних модулів є дуже схожими, немає сенсу аналізувати інші моделі.

Основними недоліками електронних модулів, які вже є на ринку готової продукції, є їх вартість та велика кількість непотрібних функцій.



Рисунок 1.2 — Електронний модуль «Tektronix AFG31000»

Проаналізувавши ринок та вже існуючі рішення схем, за основу обрано схему з мікроконтролером, оскільки така схема не потребує великої кількості радіоелементів та є зручною для розробки. Оціночно готовий пристрій буде значно дешевшим за існуючі аналоги.

У даному дипломному проєкті розробляється генератор сигналів з керуванням від ПК. Даний пристрій повинен генерувати сигнали заданої форми за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення які в подальшому оброблюються. Пристрій призначений для використання у приміщеннях, переважно в науково-дослідних лабораторіях, у якості стаціонарного пристрою.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1.2 Аналіз технічного завдання

Відповідно до технічного завдання частота вихідного сигналу знаходиться в межах від 0 до 12 МГц, тому друковану плату (ДП) слід проектувати для високих частот (ВЧ).

Параметри живлення: напруга — 5 В, струм не більше 500 мА, тому доцільно обрати вхідний роз'єм: USB-B, який також забезпечує зв'язок з комп'ютером для керування та відображення режимів роботи.

Згідно з технічним завданням кліматичне виконання УХЛ 4,2 за ГОСТ 15150-69[3]. Це передбачає наступні вимоги:

- Робоча температура в межах від $+10^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$;
- Гранична температура в межах від $+1^{\circ}\text{C}$ до $+40^{\circ}\text{C}$;
- Середнє значення відносної вологості повітря — 60% при температурі $+20^{\circ}\text{C}$;
- Граничне значення відносної вологості повітря — 80% при температурі $+25^{\circ}\text{C}$;
- Робоче значення атмосферного тиску — 104 кПа;
- Мінімально допустиме значення атмосферного тиску — 84 кПа.

Умови транспортування згідно ГОСТ 23216-78[4] – дуже легкі (ДЛ). 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 [5] утилізацією займається сторона виробника. При утилізації всі частини пристрою розділяються на ті що йдуть в подальшу переробку та ті що повністю ліквідуються.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Захист від механічних впливів С1 згідно ГОСТ 16019-2001[6]. Це передбачає вимоги зазначені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Характеристики та значення механічних та кліматичних чинників

Чинник	Характеристика чинника	Значення чинника
Синусоїдальна вібрація	Діапазон частот, Гц	10-70
	Амплітуда прискорення, m/s^2 (g)	19,6 (2)
	Тривалість впливу, хв	90
Знижена температура	Робоча, $^{\circ}\text{C}$	+5
	Гранична, $^{\circ}\text{C}$	-40
Підвищена температура	Робоча, $^{\circ}\text{C}$	+40
	Гранична, $^{\circ}\text{C}$	+55
Знижений атмосферний тиск	Тиск, кПа	55

За показниками надійності пристрій повинен мати гарантійний термін не менше 2-х років та середній час напрацювання на відому складає не менше 18000 годин. Ремонт та технічне обслуговування здійснюється у виробника.

Для забезпечення мінімальної вартості одиничного виробництва, слід використовувати деталі та матеріали, що є у вільному доступі та дозволені для використання в РЕА. Радіoeлементи доцільно використовувати нові.

Пристрій повинен мати індикатори, вхідні та вихідні роз'єми.

Для забезпечення можливості технічного обслуговування пристрою корпус доцільно зробити розбірним.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СХЕМОТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ

2.1 Опис та обґрунтування структурної схеми

Структурну схему зображено на рис. 2.1.

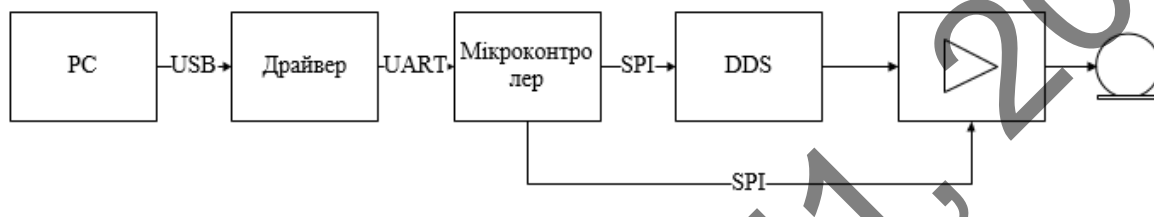


Рисунок 2.1 — Структурна схема пристрою

- PC: персональний комп'ютер;
- USB: універсальна послідовна шина;
- Драйвер;
- UART: універсальний асинхронний приймач-передавач;
- Мікроконтролер;
- SPI: послідовний периферійний інтерфейс;
- DDS: прямий цифровий синтезатор частоти.

У якості джерела живлення пристрою доцільно прийняти живлення по USB від PC.

Драйвер являє собою модуль призначений для підключення мікроконтролерних пристроїв до сучасного комп'ютера. Зі сторони комп'ютера використовується USB-інтерфейс, а зі сторони контролера – стандартний асинхронний приймально-передавальний пристрій UART. Мікроконтролер є одним із основних компонентів схеми, саме завдяки МК здійснюється налаштування форми сигналу на виході.

DDS генератор використовується для синтезу частоти з цифровим програмним управлінням і генерації тактових сигналів.

Також, для підсилення рівня сигналу доцільно встановити операційний підсилювач на виході.

2.2 Вибір та обґрунтування елементної бази

Оскільки виробництво генератора одиничне, вибір матеріалів обмежується їх наявністю у вільному доступі, їхніми масогабаритними характеристиками та дозволом за діючими стандартами використання у радіoeлектронних пристроях. Корпус та кришка можуть бути виготовлені з пластику за допомогою 3D принтера.

Існує два основних методи встановлення елементів на друковану плату, це поверхневий монтаж та монтаж у отвори. На сьогоднішній день поверхневий монтаж є найбільш розповсюдженим, основна його відмінність від монтажу у отвори є те, що елементи встановлюють на поверхню плати, не потребуючи додаткових отворів. Також поверхневий монтаж має деякі конструкторські та технологічні переваги:

- при використанні такого методу знижується маса та габарити виробу, зменшується вартість;
- підвищується технологічність за рахунок можливості використання автоматичного обладнання;
- зниження трудомісткості процесу.

Виходячи з цього при виборі елементної бази більшість елементів буде SMD (surface mounted device) типу, але на сьогоднішній день не всі необхідні у схемі елементи випускаються промисловістю у корпусі SMD, отже деякі з елементів необхідно обирати DIP (Dual In-line Package) корпусні.

Основними критеріями при виборі ЕРЕ є:

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- номінальне значення параметрів ЕРЕ згідно схеми електричної принципової приладу;
- допустимі відхилення параметрів ЕРЕ від їх номінального значення;
- коефіцієнт електричного навантаження;
- діапазон робочих температур;
- забезпечення працездатності пристрою в заданих кліматичних умовах за ТЗ;
- найменша вартість пристрою;
- мінімізовані маса та габарити;
- уніфікація ЕРЕ.

Вибір елементної бази по вищезазначеним критеріям дозволяє забезпечити надійну роботу виробу. Застосування принципів стандартизації і уніфікації на етапі вибору ЕРЕ при конструюванні виробу дозволяє отримати наступні переваги:

- значно зменшити строки і вартість проектування;
- скоротити на підприємстві – виробнику номенклатуру застосованих деталей і складальних одиниць;
- збільшити масштаби виробництва;
- покращити виробничу технологічність;
- знизити собівартість виготовленого виробу.

В пристрої використані:

- мікросхеми;
- резистори;
- конденсатори;
- світлодіоди;
- дроселі;
- підстроюваний резистор;
- осцилятор.

Для вибору елементної бази використовуються каталоги магазинів:

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

- «ІМРАД» [7];
- «РКСКОМПОНЕНТИ» [8];
- «РАДІОДЕТАЛІ» [9].

2.2.1 Вибір пасивних елементів

Оскільки прилад можна віднести до побутової техніки та зважаючи на схемотехніку приладу пасивні елементи не потребують високої точності та можуть бути обрані з допуском у межах 5-10%. Для зручності монтажу доцільно використовувати резистори та конденсатори SMD типорозміру 0805. При випуску приладу на масовому виробництві доцільно змінити типорозмір пасивних елементів на менший з метою зменшення габаритів ДП. Номінали пасивних елементів обрано за стандартним рядом E24.

Обрано резистори та конденсатори вироблені компанією Hitano, Тайвань та Samsung. Вибір обумовлений доступністю елементів саме цієї компанії на ринку та відповідністю вимогам по допуску.

Тип корпусу для керамічних конденсаторів та резисторів — SMD0805.

Обрано дроселі вироблені компанією Hitano, Тайвань. Вибір обумовлений доступністю елементів саме цієї компанії на ринку та відповідністю вимогам по допуску.

Тип корпусу для дроселів — SMD1206.

2.2.2 Вибір світлодіодів

У приладі є індикатор – світлодіод HL1.

Світлодіод — низьковольтний прилад. Звичайний світлодіод, застосовуваний для індикації, споживає від 2 до 4 В постійної напруги при струмі до 50 мА. Світлодіод, який використовується для освітлення, споживає таку ж напругу, але струм вище - від декількох сотень мА до 1 А в проекті. У світлодіодному модулі окремі світлодіоди можуть бути включені послідовно і сумарна напруга виявляється більш високим (зазвичай 12 або 24 В).

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

При підключенні світлодіода необхідно дотримуватись полярності, інакше прилад може вийти з ладу. Напруга пробою вказується виробником і звичайно становить більше 5 В для одного світлодіода.

Яскравість світлодіода характеризується світловим потоком і осовою силою світла, а також діаграмою спрямованості. Існуючі світлодіоди різних конструкцій випромінюють в тілесному куті від 4 до 140 градусів. Колір, як зазвичай, визначається координатами кольоровості і колірною температурою, а також довжиною хвилі випромінювання.

Для порівняння ефективності світлодіодів між собою з іншими джерелами світла використовується світловіддача: величина світлового потоку на один ват електричної потужності. Також цікавою маркетинговою характеристикою виявляється ціна одного люмена. Виходячи з того, що вимоги відповідно до ТЗ не висуваються, обрано HLMP-1301 компанії Broadcom так як він є у вільному доступі.

2.2.3 Вибір роз'ємів живлення

Згідно технічного завдання генератор повинен сполучатись з ПК за допомогою роз'єму USB type-B. Дані роз'єми можуть бути виконані з кріпленням за допомогою поверхневого монтажу або за допомогою вивідного монтажу. Зважаючи на те, що цей роз'єм найбільш сильно піддається до механічних та вібраційних впливів, доцільно обрати роз'єм з кріпленням за допомогою вивідного монтажу.

2.2.4 Вибір вихідних роз'ємів

BNC – байонет-роз'єм. Був створений ще в першій половині 20-го століття і належить до числа родоначальників ВЧ-роз'ємів, широко використовується донині. Головна особливість - з'єднання за рахунок оригінального фіксатора з засувкою. Це спрощує експлуатацію при частому відключенні-підключенні і гарантує надійний контакт (втрата сигналу - не більше 0,3 дБ). Максимальний

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

діаметр кабелю по оболонці - 7 мм. Для мереж з хвильовим опором 50 Ом допустима частота не більше 4 ГГц.

TNC – різьбовий варіант BNC, розроблений в кінці 1950-х років, здатний працювати на частоті до 11 ГГц. Також серед позитивних відмінностей формату - найкращий контакт, особливо в умовах великих вібрацій. Діаметр кабелю - 3-10 мм.

F – це ще один широко поширений тип. Частина, яка фіксує кабель діаметром 5-8 мм, виконана у вигляді гайки, яка накручується на екран (зовнішній провідник). При цьому роль штекера виконує оголена центральна жила, що звужує коло використовуваних фідерів (повинна бути стійка до корозії, зносу монолітна жила). Найчастіше застосовується в телевізійних мережах на частоті до 2 ГГц. Головні «плюси»: простота і ціна.

SMA – субмініатюрний роз'єм А, що відрізняється малими габаритами (діаметр кабелю - 3-5 мм) і високою планкою робочих частот - 18 ГГц. Спочатку розрахований на хвильовий опір 50 Ом. Конструкція з нержавіючої сталі включає міцний металевий штекер і різьбове кріплення (шестигранна гайка).

Для даного приладу обрано роз'єми типу SMA, так як він є компактним.

2.2.5 Вибір мікросхем

Одним з найпопулярніших цифрових потенціометрів на сьогоднішній день є мікросхема MCP41010. MCP41010 - це одноканальний 256-позиційний цифровий потенціометр компанії Microchip з максимальним опором 10 кОм (мінімальне значення 100 Ом). Він доступний в 8-вивідному корпусі PDIP або SOIC. На рис. 2.2 представлений зовнішній вигляд і приведена розпіновка MCP41010.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

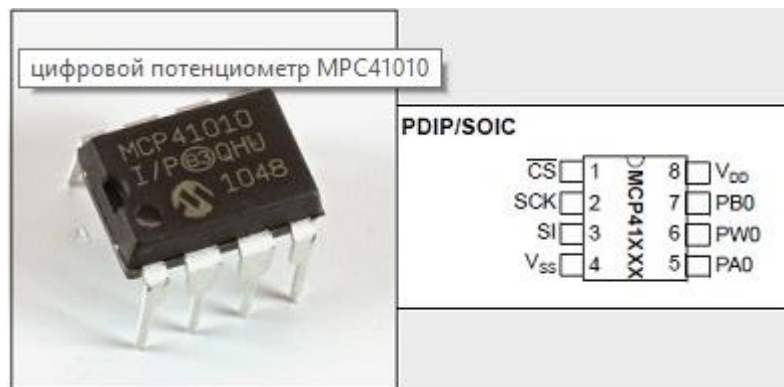


Рисунок 2.2 — Цифровой потенциометр MCP41010

- PA0: вивід А потенціометра;
- PB0: вивід В потенціометра;
- PW0: контакт цифрового «повзунка» потенціометра;
- CS: лінія вибору мікросхеми;
- SCK: тактовий сигнал SPI;
- SI: лінія вхідних послідовних даних SPI;
- VDD і VSS: лінії живлення 2.7В - 5.5 В (плюс і нуль відповідно).

Підключення цифрового потенціометра до Arduino здійснюється з використанням порту SPI. На рис. 2.3 представлена схема підключення Arduino і MCP41010.

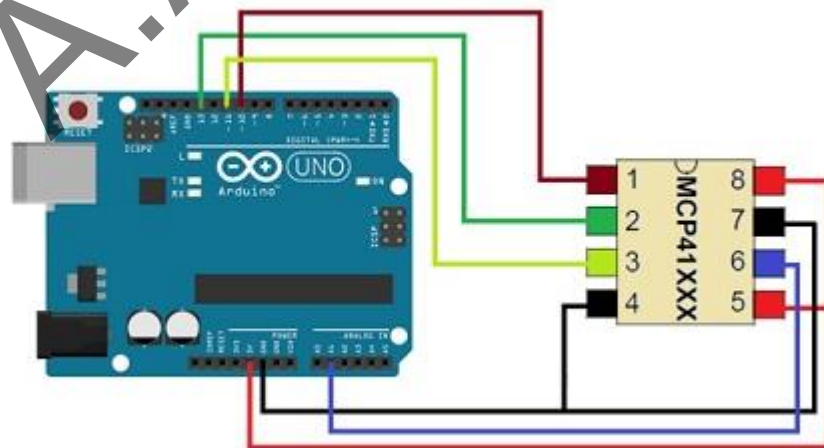


Рисунок 2.3 — Схема підключення MCP41010 до Arduino

Для реалізації такого генератора застосовуються різні підходи, але найбільш гнучким є прямий цифровий синтез (DDS). Прямий цифровий синтез це відносно новий метод синтезу частоти, який з'явився на початку 70-х років

двадцятого століття. Всі описані методи синтезу доступні розробникам вже багато часу, але тільки останнім часом DDS приділяється пильна увага. Поява дешевих мікросхем з DDS і зручних засобів розробки робить їх сьогодні привабливими для різних сфер застосування.

DDS унікальні своєю цифровою визначеністю, згенерований ними сигнал синтезується з властивою цифровим системам точністю. Частота, амплітуда і фаза сигналу в будь-який момент часу точно відомі і підконтрольні. DDS практично не схильні до температурного дрейфу і старіння. Високі технічні характеристики стали причиною того, що останнім часом DDS витісняють звичайні аналогові синтезатори частот.

Основні переваги DDS:

- дуже висока роздільна здатність по частоті і фазі, управління якими здійснюється в цифровому вигляді;
- швидкий перехід на іншу частоту (або фазу), перебудова по частоті без розриву фази, без викидів і інших аномалій, пов'язаних з часом встановлення;
- архітектура, заснована на DDS, зважаючи на дуже малий крок перебудови по частоті, виключає необхідність застосування точного підстроювання опорної частоти, а також забезпечує можливість параметричної температурної компенсації;
- цифровий інтерфейс дозволяє легко реалізувати мікроконтролерне управління.

Частотна роздільна здатність DDS складає соті і навіть тисячні частки герца при вихідній частоті порядку десятків мегагерц. Така роздільна здатність неможлива для інших методів синтезу. Іншою характерною особливістю DDS є дуже висока швидкість переходу на іншу частоту. Для DDS швидкість перебудови обмежена практично тільки швидкодією цифрового керуючого інтерфейсу. Більш того, всі перебудови по частоті в DDS відбуваються без розриву фази вихідного сигналу. Оскільки вихідний сигнал синтезується в цифровому вигляді, дуже просто можна здійснити модуляцію різних видів.

					ПК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Мікросхема - синтезатор DDS - генерує аналоговий сигнал (зазвичай це синусоїда, але трикутний або прямокутний сигнали також характерні) за рахунок генерації послідовності відліків в цифровій формі і подальшого перетворення цих відліків в аналоговий сигнал за допомогою ЦАП. Так як DDS - це, по суті, цифровий прилад, він забезпечує швидке перемикання значення частоти вихідного сигналу, найвищу роздільну здатність по частоті і здатний працювати в широкому діапазоні частот.

Завдяки розвитку схемотехніки і технології сучасні синтезатори DDS є дуже компактні і малоспоживані мікросхеми. Доступні сьогодні DDS можуть генерувати сигнал з частотою від менш 1 Гц до 400 МГц (при частоті тактового сигналу 1 ГГц), роздільна здатність за частотою відповідає розрядності до 48 біт. Низька ціна мікросхем, створених за сучасною технологією, високі показники якості, можливість цифрового управління - все це разом робить генератор DDS надзвичайно привабливим рішенням в порівнянні з традиційними підходами, які є менш гнучкими і вимагають застосування більшої кількості дискретних елементів. Багатоканальні синтезатори DDS, такі як двоканальний AD9958 і двоканальний AD9959, допускають незалежне програмування до чотирьох синхронізованих каналів. Це дуже корисна властивість для систем з високою щільністю компонентів і обмеженим обсягом (наприклад, радары / сонари на фазованих антенних решітках, автоматичне тестове обладнання, медичні засоби візуалізації, оптичні комунікаційні мережі).

В даний час DDS застосовується в двох основних областях: для генерації сигналу в комунікаційних системах і для аналізу сигналів в промислових і біомедичних системах.

Варто відзначити також такі області застосування, як електронні системи боротьби з крадіжками (electronic article surveillance, EAS).

У комунікаційних системах від генератора часто потрібна швидка перебудова частоти, низький рівень фазового шуму і гармонік, в поєднанні з

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

високою роздільною здатністю за частотою і хорошим спектром сигналу. У системах телекомунікацій синтезатори DDS генерують пілотний сигнал для ідентифікації WDM (мультиплексування з поділом по довжині хвилі) в оптичних каналах, вони застосовуються і в опорних генераторах з ФАПЧ з розширеними можливостями налаштування, як гетеродином, а також в якості генераторів для прямої передачі сигналу.

У тих областях застосування, де потрібен аналіз сигналів, - у багатьох промислових і біомедичних приладах - DDS застосовується для генерації сигналів з програмованої формою і можливістю зручного управління частотою і фазою і без перемикання зовнішніх компонентів, що було притаманне традиційним генераторам сигналів. Зручне управління частотою сигналу може бути використано для пошуку резонансів або для компенсації температурного дрейфу. Синтезатор DDS може бути використаний в якості перестроюваного генератора сигналу збудження в схемі вимірювання імпедансу датчика або для генерації сигналу з широтно-імпульсною модуляцією для мікроактюаторів (мікроактюатор – компонент мікромеханічних систем, що перетворює електричну енергію в керований рух), для вимірювання коефіцієнта ослаблення сигналу в мережах LAN або в телефонних лініях.

Для модуля генератора сигналів прямого синтезу DDS обрано мікросхему AD9851, яка має компактний корпус SSOP, мале енергоспоживання, напругу живлення 5 В, та робочу частоту до 40 МГц, що відповідає вимогам ТЗ.

2.2.6 Вибір операційних підсилювачів

Основною вимогою до ОП у даному приладі є використання ОП типу «rail-to-rail». Такі ОП дозволяють отримати вихідний сигнал з амплітудою майже від 0 В до напруги живлення.

Обрано ОП «LMP7707MF_NOPB» від компанії Texas Instruments. Даний ОП виготовляється у корпусі SOT23-5 (поверхневий монтаж), максимальна напруга живлення у даному ОП сягає значення 12 В.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2.2.7 Вибір драйверу інтерфейсу UART

Драйвером може слугувати будь-який МК, який має підтримку інтерфейсу UART та інтерфейсу USB.

У якості такого драйверу обрано CH340.

Вибір обумовлено доступністю цього МК та наявність готового програмного забезпечення у вільному доступі.

2.2.8 Вибір мікроконтролера

Модуль генератора сигналів прямого синтезу DDS зібраний на мікросхемі AD9851 підійде для Arduino, Raspberry Pi, AVR, PIC, STM.

Сьогодні існує безліч вже готових контролерних плат з розміщеними на них мікроконтролерами і засобами завантаження програм. Такі плати призначені як для оцінки роботи з мікроконтролером (називаються оціночними платами), так можуть працювати і в рамках закінченого пристрою.

Розглянемо кілька популярних рішень, що базуються на мікроконтролерах відомих виробників.

STM8S-Discovery — офіційна плата від STMicroelectronics з 8-розрядних мікроконтролерів STM8S105C6T6. Має 32 КБ Flash-пам'яті для прогамм, 2 КБ оперативної пам'яті, 1 КБ енергонезалежної пам'яті EEPROM. Також на платі є призначений для користувача світлодіод і сенсорні кнопки, а також модуль має зручний макетний майданчик для монтажу додаткових елементів схеми. У плату інтегрований програматор / відладчик ST-Link, що дозволяє завантажувати програми в пам'ять мікроконтролера, підключивши плату до порту USB. Програматор може бути легко відділений від плати, а плата може використовуватися в закінченому пристрої.

MSP430 LaunchPad — плата від Texas Instruments для швидкого знайомства з 16-розрядними мікроконтролерами MSP430. Поставляється з встановленим мікроконтролером MSP430G2553 (16 КБ Flash-пам'яті для

					PK51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

програм, 512 Байт ОЗУ) і додатковим MSP430G2452. Для складання програм на мові Сі можна використовувати безкоштовну Code Composer Studio від виробника плати.

Плата з сімейства Arduino, орієнтована на непрофесійних користувачів. Програмування вбудованого мікроконтролера ATmega328 від Atmel проводиться на спеціальній мові Arduino за допомогою безкоштовного однойменного середовища програмування. Uno R3 має 32 КБ пам'яті для програм, 2 КБ ОЗУ і 1 КБ енергонезалежної пам'яті EEPROM. Програми для Arduino називаються скетчами. При завантаженні скетчу використовується Завантажувач Arduino - невелика програма, заздалегідь завантажена в мікроконтролер на платі. Запрограмувати Arduino Uno R3 можна просто підключивши плату до комп'ютера звичайним USB-кабелем. Також плата є доволі дешевою.

Зважаючи на те що прилад має бути бюджетним та використовуватись в лабораторіях студентами для навчання, доцільно обрати плату Arduino.

2.3 Опис та обґрунтування схеми електричної принципової

В результаті аналізу структурної схеми та перевірки наявності елементів у вільному доступі, проведено вибір елементної бази та обрані відповідні елементи.

В середовищі Altium Designer була побудована схема [10] , що показана на рис. 2.4.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

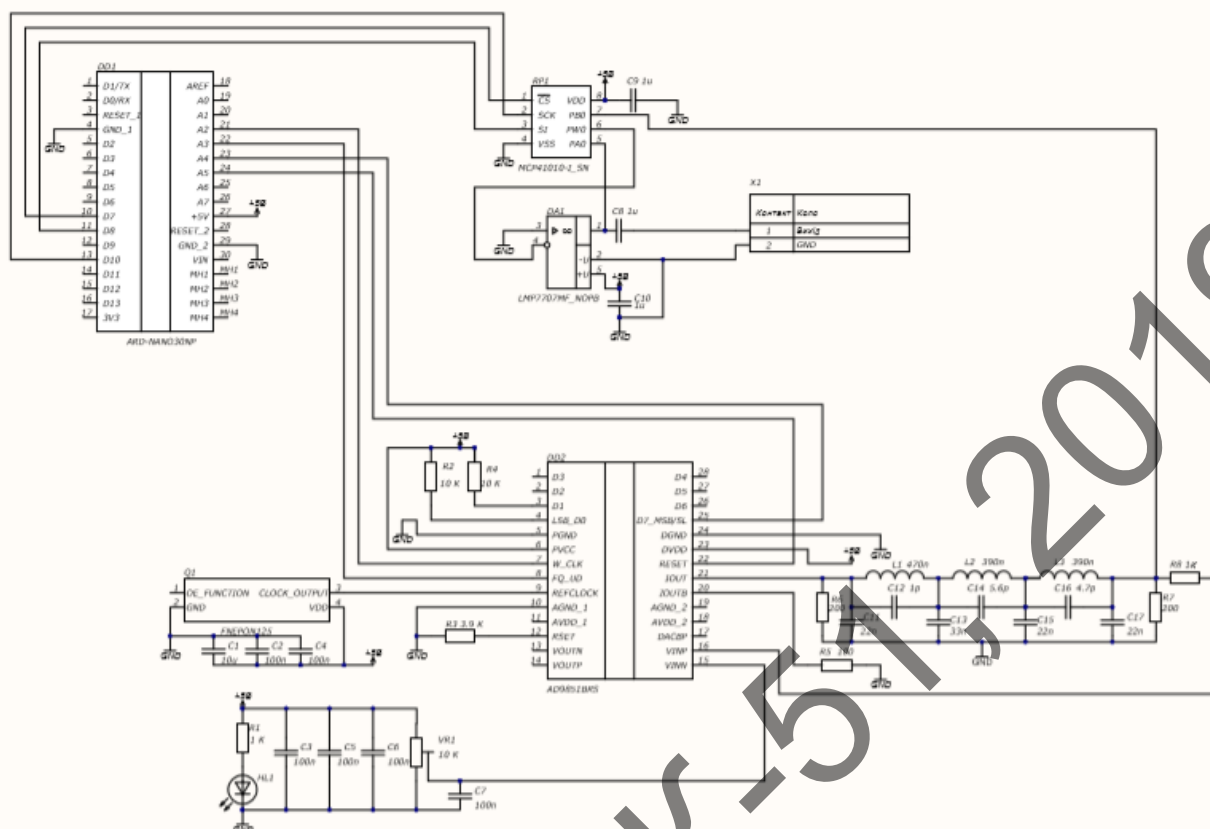


Рисунок 2.4— Схема електрична принципова

В результаті роботи над цим розділом проаналізовано характеристики та доступність елементної бази та обрано елементну базу, параметри якої цілком задовольняють вимогам технічного завдання та структурній схемі.

3 ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ

3.1 Вибір матеріалу друкованої плати

Існують два основні матеріали для виготовлення ДП, а саме фольгований склотекстоліт та фольгований гетинакс. Користуючись довідником [11], визначено переваги та недоліки кожного з цих видів. В загальному гетинакс є досить дешевим матеріалом, але не має гарних механічних властивостей. Склотекстоліт є трохи дорожчим за гетинакс, але має гарні механічні властивості. Проаналізувавши матеріали, які є на ринку, обрано фольгований склотекстоліт марки «FR-4-35/0» товщиною 1 мм, який виготовляється по ГОСТ 26246.5-89 [12].

3.2 Вибір технології виготовлення друкованої плати

Проаналізувавши доступні методи виготовлення ДП доцільно обрати субтрактивний метод, оскільки ДП є фольговою лише з одної сторони. Виготовлення ДП цим методом передбачає наступні технологічні операції:

- підготовка матеріалу;
- свердління отворів для вивідних елементів та для кріплення;
- нанесення та експонування фоторезисту;
- проявлення фоторезисту та видалення зайвої фольги;
- видалення фоторезисту та нанесення маркувальної фарби;
- нанесення захисної маски.

3.3 Розрахунок ширини друкованого провідника

При проектуванні ДП в першу чергу слід визначити ширину провідника.

Допустимі значення ширини друкованого провідника зазначено у ГОСТ 23751-86 [13]. Цей нормативний документ вводить поняття класів точності ДП. Класи точності впливають на якість виготовлення ДП: 1 та 2 класи точності використовується при виробництві ДП у домашніх умовах, 3 клас точності використовується для побутової апаратури, 4 та 5 класи точності

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

використовуються при виробництві високоточних ДП (наприклад в апаратурі оборонної промисловості). Основні параметри, які необхідні для визначення класу точності занесені в таблицю 3.1. Перший та другий класи точності не розглядаються, оскільки їхнє використання не є доцільним.

Таблиця 3.1 — Класи точності

Параметр	Клас точності		
	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	0,25	0,15	0,1
Відстань між сусідніми елементами провідного малюнку, мм	0,25	0,15	0,1
Гарантійний поясок, мм	0,1	0,05	0,025

Оскільки деякі радіоелементи мають ширину контактів рівну 0,3 мм для ДП приймається третій клас точності. Мінімально допустима ширина провідника з урахуванням допустимого падіння на ньому (3%) визначається за формулою:

$$t_{min1} = \frac{l_p \rho I_{max}}{0,03 h_p U}, \quad (3.1)$$

де l_p — максимальна довжина провідника, м;

ρ — питомий опір матеріалу провідника, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

I_{max} — максимальна сила струму, А;

h_p — товщина фольги, мм;

U — прикладена напруга, В.

Мінімально допустима товщина провідника з урахуванням допустимого рівня струму визначається за формулою:

$$t_{min2} = \frac{I_{max}}{h_p j_p}, \quad (3.2)$$

де I_{max} — максимальна сила струму, А;

h_p — товщина фольги, мм;

j_p — допустима щільність струму у провіднику, $\frac{A}{mm^2}$.

Для друкованого провідника з фольги за ГОСТ 23751-86 щільність струму приймається рівною $100 \frac{A}{mm^2}$.

Після розрахунків отримано рекомендоване значення ширини провідника, що становить 0,55 мм. Якщо неможливо використати провідник такої ширини можна використовувати провідник шириною 0,3 мм.

3.4 Розрахунок розмірів контактних майданчиків

Майже всі виробники елементів, що описані у розділі 2, вказують рекомендовані розміри контактних майданчиків у технічній документації на елемент. За відсутності такої інформації розміри контактних майданчиків можуть бути розраховані за формулами приведеними нижче.

Розрахунок розмірів контактних майданчиків для вивідних елементів проводиться за наступними формулами:

$$d_o = D_v + 0,2, \quad (3.3)$$

де d_o — діаметр отвору, мм;

D_v — діаметр виводу, мм.

$$D_k = \frac{5d_o}{3}, \quad (3.4)$$

де D_k — діаметр контактного майданчика, мм;

d_o — діаметр отвору, мм.

Розрахунок розмірів контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу проводиться за наступною формулою:

$$D_k = (b + 0,3 \dots 0,5) (l + 0,3 \dots 0,5), \quad (3.5)$$

де D_k — розмір контактного майданчика, мм;

b — ширина виводу, мм;

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

l — довжина виводу, мм.

У деяких випадках результати розрахунків за формулами (3.3 — 3.5) можуть бути округлені в більшу сторону.

Розраховані значення контактних майданчиків для вивідних елементів наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2— Розміри контактних майданчиків для вивідних елементів

Назва елемента	D_v , мм	d_o , мм	D_k , мм
Роз'єм X_1	0,8	1	1,7

Розраховані значення контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3— Розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу

Назва елемента	b , мм	l , мм	D_k , мм
Резистори R_1-R_8	0,5	1,6	1 x 2,1
Конденсатори C_1-C_{17}	0,5	1,6	1 x 2,1
Дроселі L_1-L_3	0,6	1,8	1,1 x 2,2

Для елементів не наведених у таблицях 3.1 та 3.2 розміри контактних площинок обрано згідно з технічною документацією на елемент від виробника.

3.5 Розрахунок площі друкованої плати

Для визначення мінімальної площі ДП використовується наступна формула:

$$S_{\text{ДП}} = S_{\text{м}} + (1,5 \dots 2) \cdot S_{\text{с}} + (2,5 \dots 3) \cdot S_{\text{в}}, \quad (3.6)$$

де $S_{\text{ДП}}$ — мінімальна площа ДП, мм²;

$S_{\text{м}}$ — площа малогабаритних елементів, мм²;

$S_{\text{с}}$ — площа середньогабаритних елементів, мм²;

$S_{\text{в}}$ — площа великогабаритних елементів, мм²;

Результати розрахунку площі елементів занесені у таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 — Площа елементів

Назва	Розміри, мм	Площа, мм ²	Кількість	Заг. площа, мм ²
Резистори R ₁ -R ₈	2,1x1,3	2,75	8	22
Конденсатори C ₁ -C ₁₇	2x1,25	2,5	17	42,5
Роз'єм X ₁	7x17	119	1	119
Дроселі L ₁ -L ₃	3,1x1,6	5	3	15
Мікроконтролер DD ₁	43,2x17,8	769	1	769
Модуль DD ₂	10,5x8,2	86	1	86
Осцилятор Q ₁	7x5	35	1	35
Світлодіод HL1	3,17x3,17	32	1	32
Операційний підсилювач DA1	6,2x8,75	54,25	1	52,25
Цифровий потенціометр RP1	3,91x4,9	19,2	1	19,2

Підставивши значення із таблиці 3.4 у формулу (3.6), отримано значення мінімальної площі ДП, рівне 1192 мм². Виходячи з цього, обрано корпус, при якому розміри ДП без врахування товщини становлять 40 на 60 мм (площа ДП 2400 мм²).

3.6 Трасування друкованої плати

Трасування ДП виконано у програмному забезпеченні AltiumDesigner. Результати трасування показано на рис. 3.1.

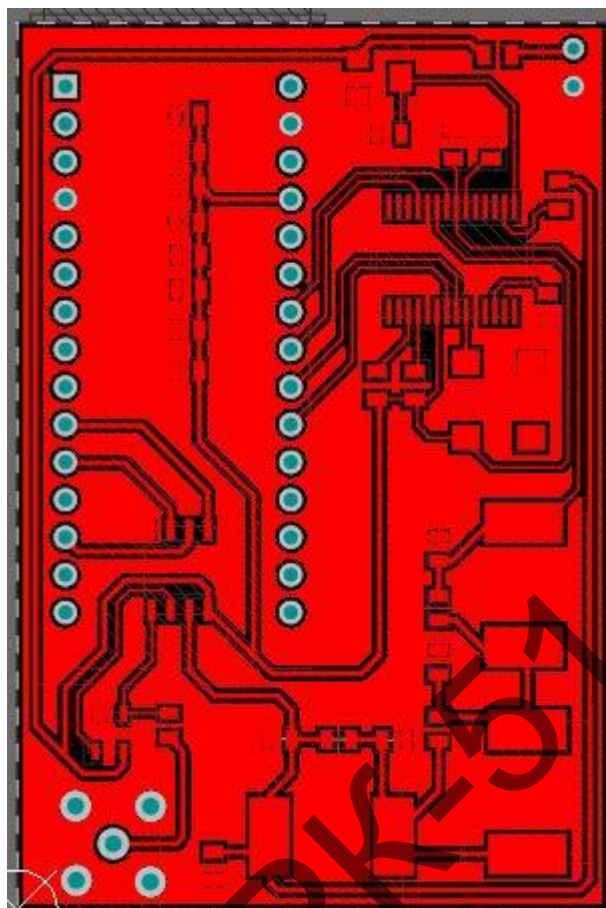


Рисунок 3.1 — Трасування ДП генератора

Додатково на рис. 3.2 та 3.3 показано 3D модель ДП, звідки видно, що плата Arduino Nano кріпиться зверху таким чином, щоб можна було під нею можна було розмістити елементи.

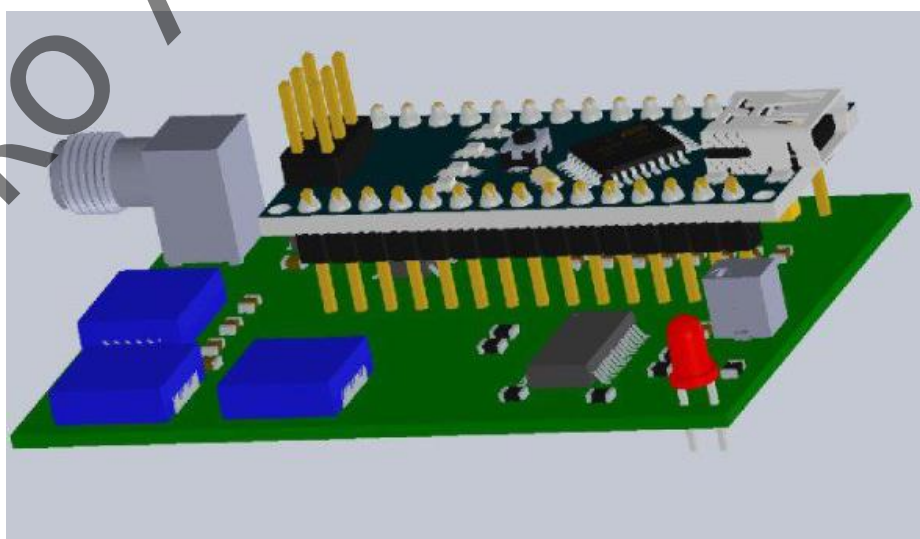


Рисунок 3.2 — 3D-модель ДП генератора

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

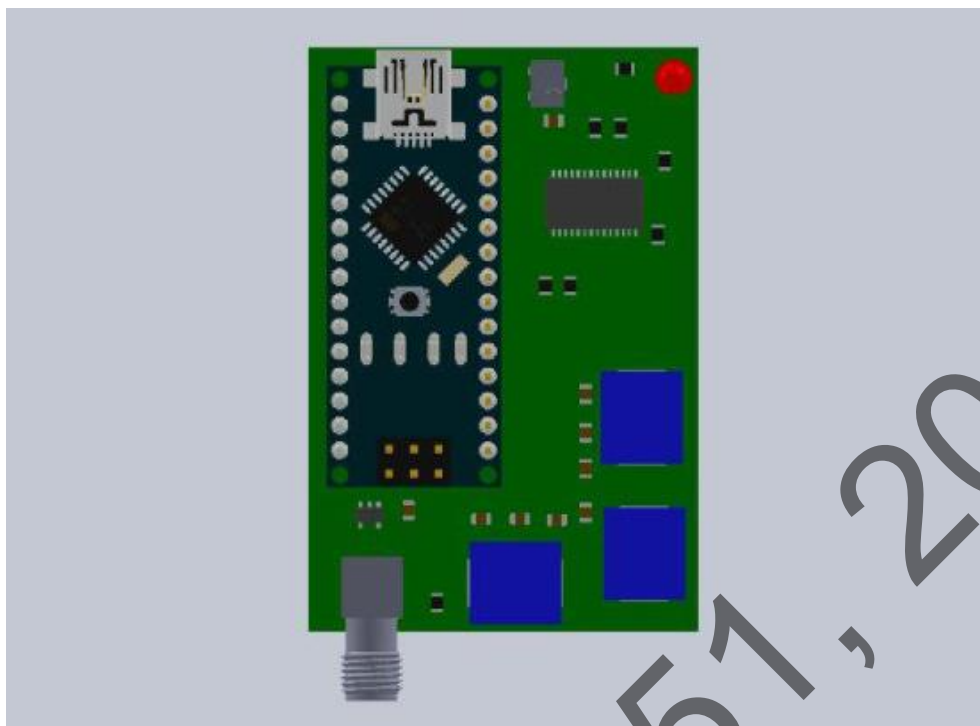


Рисунок 3.3 — 3D-модель ДП генератора, вид зверху

У цьому розділі виконано аналіз існуючих методів виготовлення плат, проведено розрахунки ДП та виконано трасування ДП.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПРИЛАДУ

4.1 Вибір безсвинцевого припою

Згідно з директивою європейського парламенту № 2011/65/EU «RoHS 2» на території Європи діє обмеження на використання свинцю у побутовій апаратурі [14]. Виходячи з цього у приладах недопустимо використовувати олов'яно-свинцеві припої.

У безсвинцевих припоях до олова обов'язково додається стабілізатор (наприклад вісмут), оскільки при низьких температурах олово стає крихким. Такий ефект має назву «олов'яна чума» [15].

Проаналізувавши ринок обрано припій ЕСОЗ-05/01Н який складається з олова (97 %) та міді (3 %). Цей припій має вищу температуру плавлення ніж популярний припій ПОС -61 (183 °C) і становить 227 °C.

4.2 Проектування корпусу для генератора

Згідно з розрахунками проведеними у розділі 3 мінімальна площа ДП становить 1192 мм². Відповідно до даної площі розроблено пластиковий корпус. Корпус складається з двох деталей. У корпусі передбачено дві стійки для встановлення ДП.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

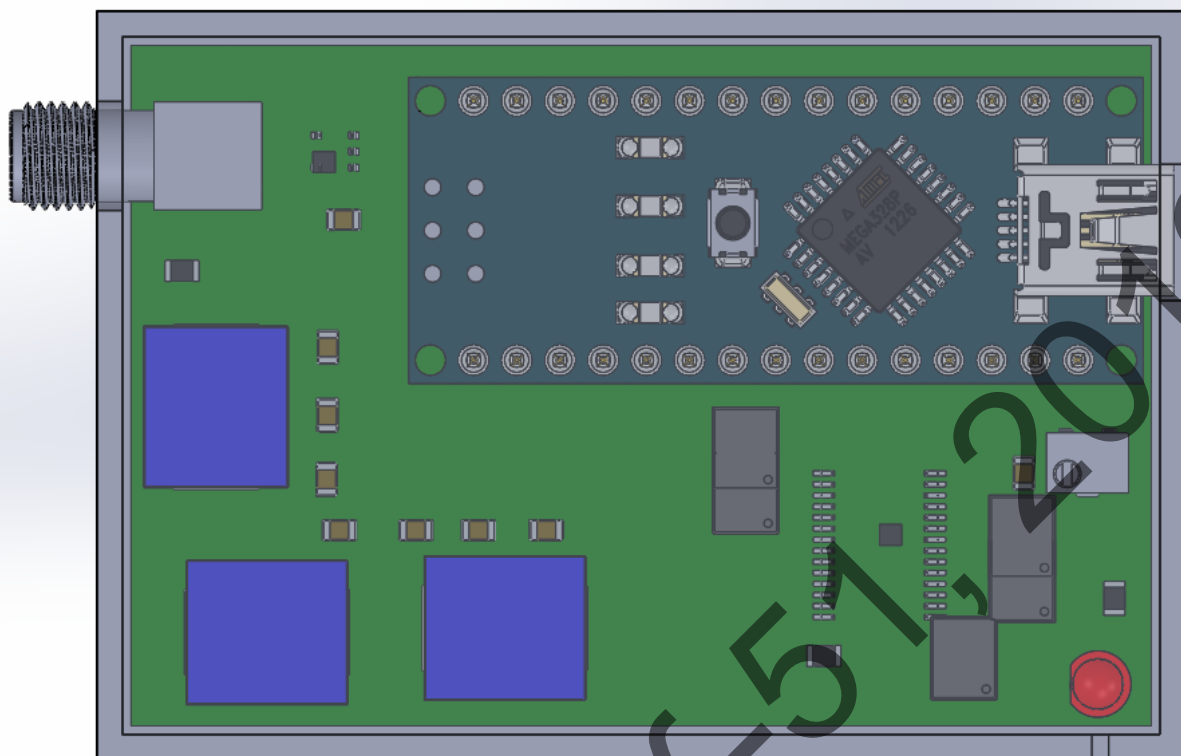


Рисунок 4.1 — Зовнішній вигляд генератора, вид зверху

На платі встановлено два роз'єми, тому у корпусі повинно бути два отвори під них. Також у корпусі є отвір для перевірки індикації світлодіода.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

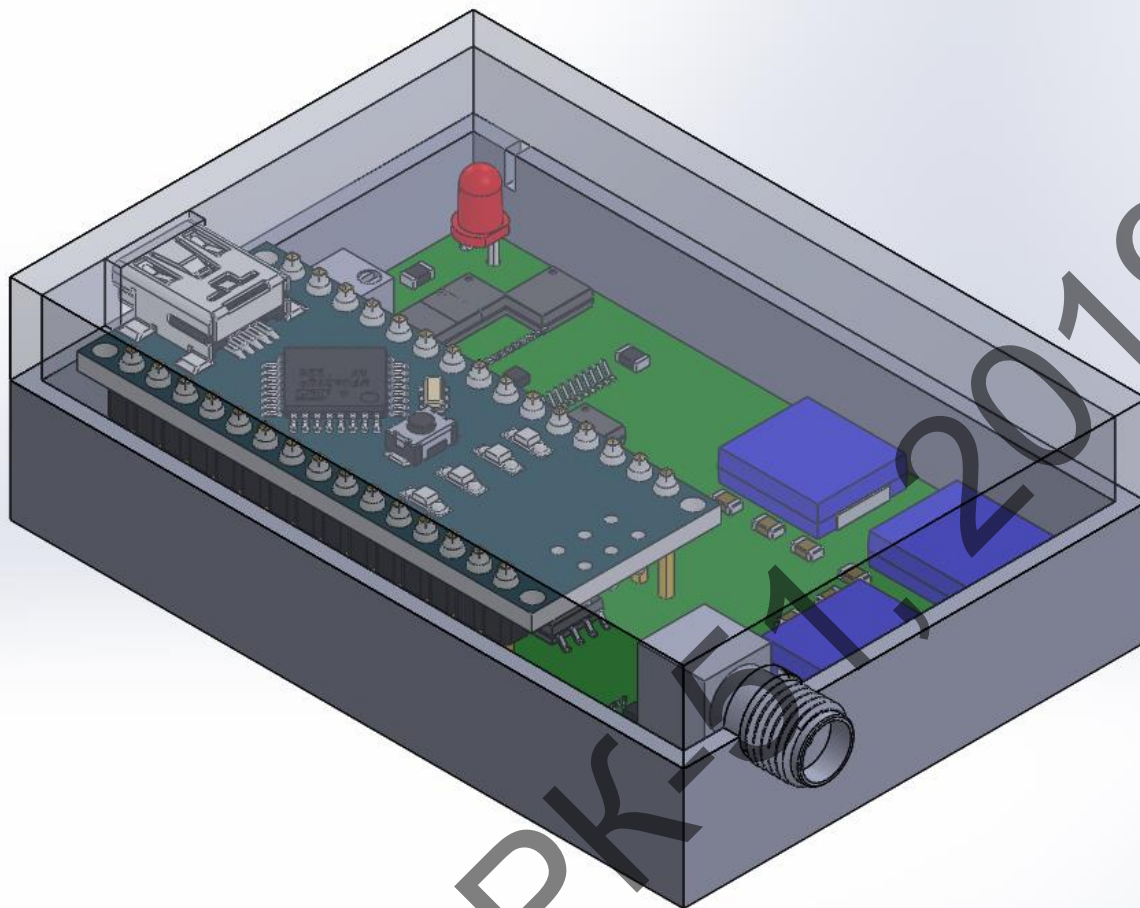


Рисунок 4.2 — Зовнішній вигляд генератора

Для моделювання зовнішнього вигляду готового пристрою використано програмне забезпечення SolidWorks [16].

4.3 Розрахунок надійності пристрою

Для розрахунку надійності використано методику [17].

Розрахунок напрацювання на відмову передбачає наступні умови:

- відмова будь-якого елемента пристрою призводить до відмови пристрою загалом;
- відмови елементів – випадкові і взаємонезалежні події;
- інтенсивності відмов (λ_0) або потоки відмов (ω_0) не залежать від часу, тобто $\lambda_0 = const$ і $\omega_0 = const$.

Робоча інтенсивність відмов кожного елемента визначається за наступною формулою:

$$\lambda_p = \lambda_0 \cdot K_1 \cdot K_E \cdot K_H, \quad (4.1)$$

де λ_p — робоче значення інтенсивності відмов;

λ_0 — середньостатистичне значення інтенсивності відмов;

K_1 — поправний коефіцієнт, який враховує теплове та електричне навантаження;

K_E — поправний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації;

K_H — коефіцієнт навантаження.

Потік відмов визначається за наступною формулою:

$$\omega = \sum_{i=1}^n \lambda_p \cdot N_i, \quad (4.2)$$

де ω — потік відмов;

n — кількість елементів;

λ_p — робоче значення інтенсивності відмов;

N_i — кількість елементів кожного типу.

Час безвідмовної роботи визначається за наступною формулою:

$$T_0 = \frac{1}{\omega}, \quad (4.3)$$

де T_0 — час напрацювання, год;

ω — потік відмов.

Значення інтенсивності відмов та коефіцієнтів наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Параметри надійності елементів пристрою

Назва елементу	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$	K_1	K_H	Кількість елементів	$\lambda_p \cdot 10^{-6}$
Роз'єми живлення	0,5	0,3	0,2	1	0,03
Роз'єми SMA	0,5	0,4	0,01	1	0,002
Дроселі SMD	0,6	0,4	0,8	3	0,192
Резистори SMD	0,06	1	0,05	8	0,006
Конденсатори керамічні	0,7	0,1	0,05	17	0,007
Мікросхеми	3	0,3	0,5	4	0,9
Світлодіоди	3	0,05	0,7	1	0,1

Оскільки прилад відноситься до побутової апаратури поправний коефіцієнт K_E має значення 2.

Підставивши значення із таблиці 4.1 у формулу (4.2) отримаємо значення потоку відмов рівне $4,475 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{год}}$. Підставивши це значення у формулу (4.3) отримано значення напрацювання на відмову рівне 22346 годин.

Оскільки це значення є теоретичним на практиці воно може відрізнятися від розрахованого, тому доцільно прийняти найгірший варіант функціонування приладу, а саме 24 години на добу, 7 днів на тиждень. При таких допущеннях прилад може працювати без відмов 3 роки, що задовольняє умовам технічного завдання.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Основним завданням цього розділу є визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів при керуванні генератором сигналів із застосуванням ПК, а також розробка відповідних технічних рішень та організаційних заходів з безпеки, гігієни праці та виробничої санітарії на робочих місцях користувачів ПК та визначення основних заходів з пожежної безпеки та профілактики у робочих приміщеннях.

Оскільки даний пристрій призначений для використання на базі існуючих рішень, які мають сертифікати згідно з ДСНІП 239-96, то питання захисту від електромагнітного впливу не розглядається у даному розділі.

Основну увагу приділено питанням електробезпеки та питанням, які пов'язані із створенням безпечних та комфортних умов праці користувачів ПК.

У цьому розділі визначені основні потенційно шкідливі та небезпечні виробничі фактори, а також запропоновані необхідні рішення та організаційні заходи з безпеки гігієни та виробничої санітарії і визначено основні поняття пожежної безпеки та їх профілактика.

5.1 Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

Основними потенційно небезпечними та шкідливими факторами, які мають місце при застосуванні ПК, є:

- можливістю поразкою електричним струмом;
- недостатнім рівнем освітленості або підвищеної яскравості освітленості робочої зони;
- пожежній безпеці;
- значне розумове навантаження тощо.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни та виробничої санітарії

5.2.1 Вимоги з охорони праці при роботі з ПК.

При роботі з комп'ютером працюючий піддається впливу наступних небезпечних та шкідливих факторів як:

- вплив електромагнітного випромінювання;
- наявність шуму вентиляторів;
- невідповідність освітлення;
- невідповідна організація робочого місця;
- можливість ураження електричним струмом;
- монотонність праці, тощо.

Важливу роль грає планування робочого місця, що повинна задовольняти вимогам зручності виконання робіт й економії енергії й часу працівника, зручності обслуговування пристроїв комп'ютера. Нераціональна конструкція й розташування робочих місць приводить до змушеної робочої пози й до напруги кістково-м'язової системи. При тривалій роботі за екраном дисплея в операторів спостерігається виражена напруга органів зору з появою скарг на незадоволеність роботою, дратівливість, порушення сну, хворобливі відчуття в очах, області шиї й у руках. У зв'язку з цим для працівників повинні забезпечуватися оптимальні умови праці й відпочинку. Праця операторів комп'ютера ставиться до I і II класу по гігієнічних умовах праці.

Вентилятори системних блоків при значному шумі слід замінювати.

Тривалість роботи оператора за кольоровим монітором не повинна перевищувати шести годин на добу.

Під час роботи електронно-променевої трубки екран опромінюється потоком заряджених часток, а це у свою чергу викликає виникнення електростатичного поля. Електростатичне поле притягає багато пилу й створює навколо таких приладів підвищену концентрацію пилу, що

					PK51.468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

несприятливо впливає на організм людини. Для боротьби із цим шкідливим фактором використовується спеціальне екранування.

Основним джерелом електромагнітного випромінювання є котушка системи горизонтального та вертикального відхилення, що знаходиться біля цокольної частини електронно-променевої трубки. Дія електромагнітного випромінювання на організм людини проявляється у функціональному розладі ЦНС (підвищена стомлюваність, головні болі).

Умови при роботі із моніторами ПК повинні відповідати вимогам щодо безпеки захисту працівників під час роботи з екранними пристроями та ДСанПіН_3.3.2.007-98.

5.2.2 Електробезпека.

Причинами поразок електричним струмом можуть бути:

- дотик до струмоведучих частин;
- дотик до відключених струмоведучих частин або до конденсаторів, на яких залишився залишковий заряд в разі помилкового включення установки;
- дотик до неструмоведучих металевих частин при аварійному режимі роботи електроустаткування.

Прилади й устаткування живляться від 3-х фазної електричної мережі напругою 220В и частотою 50Гц, тобто відносяться до електроустановок напругою до 1000В.

Згідно з ДСТУ ІЕС 61140:2015 електрообладнання, яке встановлене у робочому приміщенні має 0І клас електрозахисту - вимірювальні пристрої, І клас – системні блоки ПК, II клас – ПК, III – допоміжне обладнання та периферія ПК.

Виробниче приміщення згідно ПУЕ-2017 та ДБН В.2.5-27 – 2006 відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналу електричним струмом, оскільки:

- відносна вологість повітря не перевищує 75%;

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

- температура не вище 35°C;
- відсутні хімічно агресивні середовища;
- відсутня можливість одночасного дотику до металевих елементів електроустаткування та до металоконструкцій будинку, які з'єднані із землею;
- має місце надійне заземлення та занулення.

Проведемо перевірочний розрахунок вимикаючої здатності автоматів захисту й вирівнювання режиму роботи елемента заземлення корпусів електроустаткування. Струм короткого замикання визначаються по формулі:

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_n + \frac{Z_T}{3}}$$

де U_{ϕ} — фазова напруга, 220В;

де R_{ϕ} — опір фазового проводу, 2Ом;

де R_n — опір нульового проводу, 1,6Ом;

де $\frac{Z_T}{3}$ — еквівалентний опір трансформатора, 2Ом.

Підставивши всі значення отримаємо результат 57,89А. Для правильної роботи автоматів максимального струмового захисту повинна виконуватись нерівність:

$$I_{кз} \geq 1,4 \cdot I_{от}$$

де $I_{от}$ — номінальний струм спрацювання автомату захисту. Звідси визначаємо, що $I_{от}$ повинен бути не більше, ніж 41,35А. Автомати, що використовуються у робочих приміщеннях мають номінальний струм спрацювання 20А – 25А, що відповідає вимогам.

Розрахуємо напругу дотику до зануленого встаткування:

$$U_n = I_{кз} \cdot R_n$$

Розрахована величина напруги дотику U_n при часі спрацювання автоматів струмового захисту $t < 0.5$ с не перевищує припустимого значення

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$U_{\text{доп}} = 100 \text{ В}$, що задовольняє вимогам ПУЕ-2017.

Додаткових засобів по забезпеченню електробезпеки не потрібно.

5.2.3 Вимоги до освітленості робочих місць користувачів ПК.

Одним із елементів, що впливають на комфортні умови праці працюючих, є виробниче освітлення. До систем виробничого висвітлення, що обслуговує робочі місця з комп'ютером, пред'являються наступні основні вимоги:

- відповідність рівня освітленості робочих місць характеру виконуваної зорової роботи;
- рівномірний розподіл яскравості на робочих поверхнях й у навколишньому просторі;
- відсутність різких тіней, прямих і відбитих відблисків;
- сталість освітленості в часі й просторі;
- оптимальна спрямованість випромінюваного освітлювальними приладами світлового потоку;
- довговічність, економічність, електро- і пожежобезпечність, естетичність, зручність і простота експлуатації.

Для висвітлення робочих місць, обладнаних ПК, застосовується природне, штучне освітлення.

Згідно вимогам щодо безпеки захисту працівників під час роботи з екранними пристроями та ДСанПіН 3.3.2-007-98, освітлення у виробничих приміщеннях з моніторами комп'ютерів повинна бути сумісне. Природне освітлення повинне здійснюватися через отвори, орієнтовані переважно на північ і північний схід. Згідно ДБНВ 2.5-28-2006 «Природне й штучне освітлення. Норми проектування» коефіцієнт природної освітленості (КПО) виробничих приміщень із моніторами комп'ютерів повинен бути не нижче 1,5 %.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Розташування будинків і планування виробничих приміщень повинне виключати надмірне надходження тепла від сонячної радіації через вікна і пряме попадання сонячних променів на пристрої ПК і носії інформації.

Штучне освітлення в приміщеннях з моніторами комп'ютерів необхідно здійснювати по загальній системі рівномірного освітлення. Світильники загального освітлення необхідно розташувати у виді ліній (суцільних або переривчастих) збоку від робочих місць паралельно лінії зору користувачів. Допускається використання світильників таких класів світлорозподілу:

- прямого світла (П);
- переважно прямого світла (Н);
- переважно відбитого світла (В).

Як джерела штучного освітлення використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ із розсіювачами й екранними сітками.

Коефіцієнт пульсації світлового потоку джерел світла не повинен перевищувати 5 %. Для зменшення коефіцієнта пульсації світлового потоку необхідно використати джерела світла з високочастотними пускорегулюючими апаратами. Яскравість світильників загального висвітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° щодо вертикалі в поздовжній і поперечній площинах повинна становити не більше 200 кд/м², а захисний кут світильників повинен становити не більше 40°.

Для обмеження прямої близькості від джерел природного й штучного освітлення необхідно, щоб яскравість їхніх поверхонь, які перебувають у полі зору користувачів, не перевищувала 100 кд/м², яскравість відблисків на екрані монітору комп'ютера 40 кд/м², а яскравість стелі 200 кд/м².

У поле зору користувача монітора комп'ютера повинне бути забезпечене відповідний розподіл яскравості. Відношення значень яскравості робочих поверхонь до загальної яскравості у приміщенні не повинне перевищувати 3:1, а робочих поверхонь і навколишніх предметів (стіни, устаткування, меблі) – 5:1.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

У виробничих приміщеннях з моніторами комп'ютерів показник засліпленості повинен становити не більше 20 одиниць, а показник дискомфорту – не більше 40 одиниць.

Для забезпечення нормованих показників освітленості в приміщеннях з моніторами ПК необхідно не менш 2 разів у рік очищати від пилу й бруду скла вікон і світильники і вчасно замінювати несправні світильники.

5.3 Пожежна безпека та профілактика

Причини виникнення пожежі в робочому приміщенні, де використовується комп'ютер, можуть носити електричний і неелектричний характер.

До причин електричного характеру ставляться: короткі замикання, перевантаження, іскріння від порушення ізоляції, електрична дуга, що виникає між контактами комутаційних апаратів, незадовільні контакти в місцях з'єднання проводів (скрутки) і їхнє сильне нагрівання внаслідок великого перехідного опору при протіканні електричного струму.

Причини неелектричного характеру: порушення режимних вимог, халатне й необережне поводження з вогнем, порушення правил пожежної безпеки.

Приміщення відповідно до ДБН В.2.5-56-2014 обладнане чотирма пожежними датчиками типу ДПС-038 (площа, що перебуває під захистом одного датчика становить до 25 м², відстань між датчиками становить 4м). Відповідно до ДСТУ 3675-98 і ISO 3941-77 як первинний засіб гасіння пожежі використовується чотири вогнегасника ОУ-3 – вуглекислий (клас пожежі "Е"). Вибір речовини вогнегасника обґрунтовується тим, що у вогні можуть виявитися електричні пристрої, що перебувають під напругою. Кількість, розміщення і зміст первинних засобів гасіння пожежі повністю задовольняє всім вимогам ДСТУ 3675-98 й ISO 3941-77. Крім цього, у коридорі є 2

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

пожежних крани і ящик з піском. Витримано всі умови НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Витримано всі умови ДБН В.1.1-7-2016 по вогнестійкості будинків, часу евакуації у випадку пожежі, ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень. Двері приміщень відкриваються назовні, ширині дверей 1.3 м при нормі не менш 0.8 м, висота проходу 2.2 м при нормі не менш 2м, ширина коридору 3м при нормі не менш 2м.

ЛЯШКО А.А. РК-51, 2019

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. У результаті проведення аналізу існуючих електронних модулів для генератора сигналів виявлено їхні основні недоліки — високу вартість, великі масогабаритні параметри та велику кількість складних функцій.

2. Для виконання навчальних завдань доцільно, щоб генератор мав такі параметри: напруга живлення — 5 В, амплітуда вихідного сигналу 0...5 В, частота вихідного сигналу 0...40 МГц. Види сигналів: синусоїдальний, трикутний та прямокутний. На основі цих даних розроблено структурну схему та схеми електричні принципи, підібрано елементну базу. Основними складовими є: готовий модуль Arduino Nano, DDS генератор AD9851.

3. У результаті проведення аналізу методів виготовлення ДП обрано субтрактивний метод. Розраховано мінімальну ширину друкованого провідника з урахуванням сили струму, напруги та класу точності. Розроблено друковану плату для генератора сигналів та оформлено відповідну конструкторську документацію.

4. В процесі розробки конструкції прийнято рішення використовувати пластиковий корпус, виконаний на 3D принтері. Оформлено конструкторську документацію на прилад в цілому та його складові частини. Розраховано час безвідмовної роботи приладу, що складає 22346 годин.

5. Розроблений прилад задовольняє вимогам технічного завдання. Конструкцію можна вдосконалити встановленням підсилювача потужності.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. АНР-3122 USB Генератор сигналов произвольной формы — aktakom.ru [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.aktakom.ru/kio/index.php?SECTION_ID=923&ELEMENT_ID=7090 — Назва з екрану.

2. Генераторы сигналов произвольной формы и стандартных функций Tektronix AFG31000— tehencom.com [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.tehencom.com/Companies/Tektronix/AFG31000/Tektronix_AFG31101_AFG31102_AFG31251_AFG31252.htm — Назва з екрану.

3. Машины, приборы и другие технические изделия.: ГОСТ 15150-69. — [Чинний від 1971—01—01]. — М. : Государственный стандарт союза ССР, 1969. — 81с.

4. Изделия электротехнические: ГОСТ 23216-78. — [Чинний від 1979—07—01]. — М. : Стандартиформ, 2008. — 44с.

5. Ресурсосбережение. Обращение с отходами: ГОСТ 30773-2001. — [Чинний від 2002—07—01]. — М. : Издательство стандартов, 2002. — 11с.

6. Аппаратура сухопутной подвижной радиосвязи: ГОСТ 16019-2001. — [Чинний від 2002—01—01]. — М. : Межгосударственный стандарт, 2001. — 11с.

7. Имрад радиодетали — imrad.com.ua [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://imrad.com.ua/> — Назва з екрану.

8. РКС компоненти - Радиомаг — rcscomponents.kiev.ua [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/> — Назва з екрану.

9. Интернет магазин радиотехники и радиодеталей - Радиодетали — radiodetali.com.ua [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://radiodetali.com.ua/> — Назва з екрану.

10. Altium Designer — Altium.com [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.altium.com/altium-designer> — Назва з екрану.

11. Справочник по электротехническим материалам. Том 1//М.: Энергоатомиздат. — 1986. — С.313 - 327.

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

12. Материал электроизоляционный фольгированный нормированной горючести для печатных плат на основе стеклоткани, пропитанный эпоксидным связующим. Технические условия: ГОСТ 26246.5-89. — [Чинний від 1991—01—01]. — М. : Межгосударственный стандарт, 1989. — 59с.

13. Платы печатные. Основные конструкции: ГОСТ 23751-78. [Чинний від 1987—07—01]. — М. : Государственный стандарт союза ССР, 1978. — 7с.

14. Directive 2011/65/EU — Schmidt-export.ru [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://schmidt-export.ru/sites/default/files/pdf/ce_cert/2011-65_rohs-en.pdf — Назва з екрану.

15. Олов'яна чума - Вікіпедія — Wikipedia.org [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Олов'яна_чума — Назва з екрану.

16. Solid Works — Solidworks.com [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.solidworks.com> — Назва з екрану.

17. Фізико-теоретичні основи конструювання електронних апаратів: Методичні рекомендації до виконання розрахункових та контрольних робіт для студентів напряму підготовки 6.050902 «Радіоелектронні апарати» / Уклад.: С. М. Перегудов, М. В. Зінченко. — К.: НТУУ «КПІ», 2012. — Електронне видання комбінованого використання на CD-ROM.

					PK51. 468173.002 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

ЛЯШКО А.А. РК-51, 2019

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛЯШКО А.А. РК-51, 2019

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛЯШКО А.А. РК-51, 2019

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛЯШКО А.А. РК-51, 2019

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛЯШКО А.А. РК-51, 2019

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б. СПЕЦИФІКАЦІЯ РК51.468173.001

ЛЯШКО А.А. РК-51, 2019

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛЯШКО А.А. РК-51, 2019

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛЯШКО А.А. РК-51, 2019

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК В. СПЕЦИФІКАЦІЯ РК51.468173.002

ЛЯШКО А.А. РК-51, 2019

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Г. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ РК51.331429.001ПЕ

ЛЯШКО А.А. РК-51, 2019

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛЯШКО А.А. РК-51, 2019

					РК51. 468173.002 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		