

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

До захисту допущено:

В.о. зав. кафедрою

 Євгеній НЕЛІН

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології  
мікросистемної радіoeлектронної техніки»

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: Стерилізатор для мобільного телефону з функцією бездротової зарядки

Виконав:

студент IV курсу, групи РІ-п81

Скригонюк Артем Валерійович

Прізвище, ім'я, по батькові

Керівник: асистент Зінгер Яна Леонідівна

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові

Рецензент: доц, к.т.н Лашевська Наталія Олександрівна

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові

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

Студент



Київ – 2021 року

# ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	PI-п81.565141.001 ПЗ	Пояснювальна записка	75	
2	A2	PI-п81.565141.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
3	A2	PI-п81.565141.001 Е1	Схема електрична структурна	1	
4	A2	PI-п81.758725.001	Друкована плата	1	
5	A2		Плакат із блок схемою програми	1	
6	A1		Плакат із зовнішнім виглядом пристрою	1	

				PI-п81.565141.001			
	ПІБ	Підп	Дата				
Розробн.	Скригонюк А.В.			Стерилізатор для мобільного телефону з функцією бездротової зарядки	Лист	Листів	
Керівн.	Зінгер Я.Л.				1	1	
Н/контр.	Попсуй В.І.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. КіВРА, гр. PI-п81		
Зав.каф.	Нелін С. А.						

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

**Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедрою



Євгеній НЕЛІН

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломний проєкт студенту

**Скригонюку Артему Валерійовичу**

1. Тема проєкту «Стерилізатор для мобільного телефону з функцією бездротової зарядки», керівник проєкту Зінгер Яна Леонідівна, ас., затверджені наказом по університету від «18» травня 2021 р. № 1205-с
2. Термін подання студентом проєкту 07 червня 2021 року
3. Вихідні дані до проєкту Напруга живлення: 5 В; час стерилізації 20 хв (не більше) габарити 270 мм x 150 мм x 35 мм; роз'єм живлення USB Type-C.
4. Зміст пояснювальної записки: Огляд аналогів; Аналіз існуючих схемотехнічних рішень; Синтез схеми електричної структурної та принципової, вибір елементної бази; Проєктування електронного модулю; Розрахунки для підтвердження працездатності; Проєктування приладу.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема електрична структурна, схема електрична принципова, кресленик друкованої плати, плакат з блок-схемою коду, плакат із зовнішнім виглядом, презентація.
6. Дата видачі завдання 12 квітня 2021 року

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Огляд існуючих рішень	12.04.21 - 19.04.21	
2.	Обґрунтування та вибір схемотехнічного рішення, синтез схеми електричної структурної	19.04.21 - 26.04.21	
3.	Підбір елементної бази	26.04.21 - 03.05.21	
4.	Синтез схеми електричної принципової	03.05.21 - 10.05.21	
5.	Проектування електронного модулю	10.05.21 - 17.05.21	
6.	Аналіз працездатності приладу	17.05.21 - 24.05.21	
7.	Проектування приладу	24.05.21 - 31.05.21	

Студент

АРТЕМ СКРИГОНЮК

Керівник

ЯНА ЗІНГЕР

Скригонюк А. В. РІ-П81, 2021

## АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт складається з пояснювальної записки обсягом 75 сторінок, включає 31 рисунок, 6 таблиць, 3 креслення, 21 посилання, 3 додатки.

У дипломному проєкті розроблено стерилізатор для телефона з функцією бездротової зарядки. Особливістю даного приладу є можливість одночасної стерилізації, та бездротового заряджання мобільного телефона.

Виконано синтез структурної та принципової схеми, підібрані електрорадіоелементи. Написано програмний код, для функціонування стерилізатора, та вибору декількох режимів роботи. Розроблено друковану плату для пристрою, та спроектовано 3D модель корпусу пристрою. Проведено розрахунки які підтверджують працездатність пристрою.

Ключові слова: Стерилізатор, бездротова зарядка, потужність, енергія, BQ50002A, BQ500511A, Qi стандарт, передача потужності.

## ANNOTATION

The thesis consist of an explanatory note of 75 page, containing 31 illustrations, 6 tables, 21 references and 3 supplement.

In the thesis has developed the sterilizer for a mobile phone with a wireless churching function. A specialty of this device is the possibility of simultaneous sterilization and wireless charging of a mobile phone.

The synthesis of the structural and schematic diagram is performed, the electroradioelements are selected. A printed circuit board for the device was designed and a 3D model of the device body was designed. Calculations confirming the efficiency of the device were performed.

Keywords: Sterilizer, wireless charging, power, ultraviolet, energy, BQ50002A, BQ500511A, Qi standard, power transmission.

# **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПІСКА**

**до дипломного проекту**

на тему: «Стерилізатор для мобільного телефону з  
функцією бездротової зарядки»

Київ — 2021 року

# ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	3
Вступ.....	4
1 Огляд існуючих рішень.....	6
1.1 Огляд та аналіз аналогів існуючих рішень .....	6
1.2 Висновок до першого розділу.....	15
2 Обґрунтування та вибір схемотехнічного рішення, елементної бази. Синтез електричної схеми .....	17
2.1 Синтез схеми електричної структурної.....	17
2.2 Огляд та аналіз схемотехнічних рішень.....	20
2.3 Підбір елементної бази.....	23
2.3.1 Підбір резисторів .....	23
2.3.2 Підбір конденсаторів.....	24
2.3.3 Підбір діодів.....	24
2.3.4 Підбір світлодіодів .....	24
2.3.5 Підбір транзисторів .....	25
2.3.6 Підбір терморезистора .....	26
2.3.7 Підбір котушки індуктивності .....	26
2.3.8 Підбір п'єзоелектричного звуковипромінювача.....	27
2.3.9 Підбір перемикача .....	27
2.3.10 Підбір роз'єму.....	27
2.3.11 Підбір мікросхем .....	27
2.4 Синтез схеми електричної принципової .....	29
2.5 Висновки до другого розділу .....	39

					<i>PI-n81.565141.001 ПЗ</i>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Скригонюк А.В.			Стерилізатор для мобільного телефону з функцією бездротової зарядки	Літ.	Лист
Перев.		Зінгер Я. Л.					Листів
							1
							75
Н. Контр.		Попсуй В.І.			<i>PI-n81 РТФ</i>		
Затв		Зінгер Я. Л.					



3	Проектування електронного модулю .....	40
3.1	Аналіз з точки зору технолога .....	40
3.1.1	Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати .....	40
3.1.2	Класу точності плати .....	40
3.1.3	Вибір матеріалу плати .....	40
3.2	Визначення мінімальної відстані між елементами провідного рисунка .....	40
3.3	Розрахунок розмірів контактних майданчиків .....	40
3.4	Розрахунок площі друкованої плати .....	42
3.4.1	Робота в редакторі Altium PCB .....	43
3.4.2	Трасування провідників .....	43
3.5	Висновки до третього розділу .....	45
4	Проектування приладу .....	46
4.1	Проектування приладу .....	46
4.2	Висновки до четвертого розділу .....	49
5	Розрахунки що підтверджують працездатність приладу .....	51
5.1	Розрахунок надійності.....	51
5.2	Розрахунок віброміцності вузла .....	53
5.3	Висновки до п'ятого розділу .....	54
	Висновки.....	56
	Перелік джерел посилань .....	58
	Додаток А. Комплект конструкторської документації.....	61
	Додаток Б. Лістинг програми для мікроконтролера Arduino–nano .....	<b>Error!</b>
	<b>Bookmark not defined.</b>	6
	Додаток В. Розрахунки .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
		9

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

DPL — dynamic power limiting — динамічне обмеження потужності

FOD — foreign object detection — виявлення сторонніх предметів.

LDO — low drop out — низька вихідна напруга.

SMD — surface mount device — поверхневий монтаж.

WPC — Wireless Power Consortium — Консорціум Бездротової енергії.

АМ — амплітудна модуляція.

ДП — друкована плата.

ЕРЕ — електрорадіоелемент.

МК — мікроконтролер.

ПМ — поверхневий монтаж.

УФ — ультрафіолет.

					РІ-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		3

## ВСТУП

В наші дні коли всі стурбовані станом свого здоров'я, не можна не приділяти уваги дезінфекції робочих поверхонь, предметів та пристроїв, якими ми постійно користуємось упродовж дня, особливо мобільні телефони, смартгодинники, бездротові навушники. Відповідно до останніх досліджень, бактерії та деякі віруси (наприклад COVID-19) можуть залишатися життєздатними поза людського організму від 3 годин до 4 днів в залежності від різновиду поверхні. Найдовше вірус зберігається на нержавіючій сталі (2 доби) та пластику (3 діб), однак його концентрація знижується.

У зв'язку з вищевикладеним, дезінфекційні заходи є життєво необхідними в умовах пандемії COVID-19. Безумовно, виконання та дотримання правил дезінфекції істотно знижує ризик зараження, а так само поширення коронавірусної інфекції. Проте оскільки в наш час мобільний телефон це найпопулярніший пристрій, з яким людина контактує упродовж всього дня, існує потреба дезінфікувати даний прилад, для зниження ризику зараження різними вірусами та бактеріями.

Більшість сучасних приладів, які ми використовуємо у побуті мультизадачні, та часто мають виходи для зарядки портативних пристроїв (смартфон, смартгодинник тощо), при виборі користувачем будь-якого пристрою, це є перевагою, оскільки пристрій дає більше можливостей, та не потребує для використання певних функцій інших пристроїв.

Сучасний світ з кожним днем намагається все більше переходити на новий стандарт передачі енергії – бездротовий, тому що це зручно, не потребує зайвих дротів. Деякі відомі виробники смартфонів, вже показали світу, прототипи мобільних телефонів, які зовсім не мають роз'ємів для живлення.

Більшість бездротових зарядних пристроїв використовують Qi – стандарт, який розроблений для бездротової, індуктивної передачі енергії, на невеликій відстані. В загальному вигляді система такого стандарту складається з двох частин енергопередавача, та приймача, який вбудований, в пристрій.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

В даному дипломному проєкті виконано розробку пристрою котрий поєднує в собі дві важливі функції для сучасного користувача мобільним телефоном, а саме стерилізація та бездротова зарядка для мобільного телефону.

Скригонюк А. В. РІ-п81, 2021

					РІ-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5

# 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

## 1.1 Огляд та аналіз аналогів існуючих рішень

На сьогоднішній день, існують різні види приладів для стерилізації різних предметів. Вони поділяються за ціною, технічними характеристиками, типом стерилізації, та іншими критеріями. Нижче розглянуті ультрафіолетові стерилізатори для телефонів. У сучасних умовах цей прилад набуває популярності, тому з'являється все більше його варіантів на ринку. Деякі з них розглянуто нижче:

Стерилізатор ультрафіолетовий «FIVE UV Sterilizer» з бездротовою зарядкою для смартфона зображений на рис. 1.1 [1].



Рисунок 1.1 — Стерилізатор ультрафіолетовий «FIVE UV Sterilizer»

Стерилізатор від китайського виробника є одним із популярних варіантів на ринку, через свою ціну, простоту у використанні, та додаткову функцію бездротової зарядки, для гаджетів. Цей прилад має такі характеристики:

- функція бездротової зарядки;
- автоматичне закриття кришки при стерилізації;
- час стерилізації 15хв;
- роз'єм живлення Micro USB;
- габарити 189мм x 105мм x 38мм;

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

- вихідна потужність  $< 15\text{Вт}$ ;
- вартість 750 грн.

Проаналізуємо характеристики даного приладу. Даний прилад є класичним зразком того що представлено на ринку на даний момент. Стерилізатор має функцію бездротової зарядки, автоматичне закриття кришки, щоб забезпечити безпеку користувачу від УФ випромінення. Прилад не працює на стандарті Qi, а отже не виконує ті функції які вимагає WPC специфікація.

Стерилізатор для телефону портативний «Sanitizer», зображений на рис. 1.2 [2].



Рисунок 1.2 — Стерилізатор для телефону «Sterilizer»

Цей прилад має такі характеристики:

- час стерилізації 5хв;
- функція бездротової зарядки відсутня;
- індикація завершення стерилізації;
- роз'єм Micro USB;
- живлення 5 В постійного струму;
- внутрішній об'єм камери для стерилізації 0,4 л;
- вартість 499 грн.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

Проаналізуємо характеристики даного приладу. Дана модель приладу є однією з найдешевших на ринку, прилад має індикацію зарядки, та на відміну від більшості інших стерилізатор для телефону не надає функцію бездротової зарядки.

Стерилізатор для мобільного телефону «Gelius Pro elius Pro UV Disinfection Box GP–UV001» зображений на рис. 1.3 [3].



Рисунок 1.3 — Стерилізатор для телефону «Gelius Pro elius Pro UV Disinfection Box GP–UV001»

Цей прилад має такі характеристики:

- два режими стерилізації;
- функція бездротової зарядки;
- матеріал ABS пластик;
- розміри 210мм x 120мм x 62мм;
- Роз'єм micro–USB;
- живлення 5 В постійного струму;
- вартість 799 грн.

Даний прилад має функцію бездротової зарядки яка розроблена за Qi стандартом. В якості матеріалу для корпусу використовується ABS пластик. До недоліків можна віднести вже застарілий роз'єм для живлення, та високу ціну.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Стерилізатор для мобільного телефону «Qitech Wireless Charging Sterillizing» зображено на рис. 1.4 [4].



Рисунок 1.4 — Стерилізатор для мобільного телефону «Qitech Wireless Charging Sterillizing»

Цей прилад має такі характеристики:

- час стерилізації 5 хв;
- функція бездротової зарядки;
- магнітна зарядка для Apple Watch;
- роз'єм живлення USB Type-C;
- живлення 5 В;
- вартість 1899 грн.

Даний прилад має функцію бездротової зарядки яка розроблена за Qi стандартом. Прилад є багатофункціональним, в ньому реалізована можливість зарядки Apple Watch, Apple Air Pods, бездротові навушники. До недоліків можна віднести високу ціну.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9



Оскільки більшість стерилізаторів реалізують в собі функцію бездротової зарядки, але виробники не надають повної та змістовної інформації про неї, розглянемо які бездротові зарядки зараз доступні на ринку та в чому їх відмінність

Бездротовий зарядний пристрій ColorWay MagSafe Duo Charger зображено на рис. 1.5 [5].



Рисунок 1.5 — Бездротовий зарядний пристрій ColorWay MagSafe Duo Charger

Цей прилад має такі характеристики:

- вихідний струм 3 А;
- вихідна потужність до 15 Вт;
- фіксація пристроїв за допомогою магнітів;
- кількість заряджаємих пристроїв – 2;
- сумісний лише з продукцією Apple iPhone, Apple Watch, AirPods;
- вартість 899 грн.

Бездротовий зарядний пристрій «Xiaomi Mi Wireless Charging Stand» зображено на рис. 1.6 [6].

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6 — Бездротовий зарядний пристрій «Xiaomi Mi Wireless Charging Stand»

Цей прилад має такі характеристики:

- вихідний струм 2 А;
- швидка зарядка;
- кількість заряджаємих пристроїв – 1;
- сумісний з усіма пристроями які підтримують стандарт Qi;
- індикатор зарядки;
- вартість 699 грн.

Бездротовий зарядний пристрій «Promate AuraDock–5 10 Вт» зображено на рис. 1.7 [7].

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.7 — Бездротовий зарядний пристрій «Promate AuraDock-5 10 Вт»

Цей прилад має такі характеристики:

- швидка зарядка;
- вихідний струм 1 А;
- вихідна потужність 10 Вт;
- кількість заряджаємих пристроїв – 1;
- захист від перегріву, короткого замикання;
- сумісний з усіма пристроями які підтримують стандарт Qi;
- індикатор зарядки;
- вартість 499 грн.

Бездротовий зарядний пристрій Zens Dual Aluminium Wireless Charger + Apple Watch зображено на рис. 1.8 [8].

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12



Рисунок 1.8 — Бездротовий зарядний пристрій Zens Dual Aluminium Wireless Charger + Apple Watch

Цей прилад має такі характеристики:

- швидка зарядка;
- вихідний струм 2 А;
- швидка зарядка;
- вихідна потужність 10 Вт;
- кількість заряджаємих пристроїв – 2 смартфона та Apple Watch;
- сумісний з усіма пристроями які підтримують стандарт Qi;
- вартість 4 199 грн.

Проведемо порівняння загальних характеристик стерилізаторів, результати порівняння наведені у таблиці 1.1.

Також проведемо порівняння бездротових зарядних пристроїв, результати порівняння наведені у таблиці 1.2

Таблиця 1.1 — Порівняння загальних властивостей стерилізаторів для мобільного телефону

	FIVE UV STERILIZER	STERILIZER	Qitech Wireless
№	1	2	3
Функція бездротової зарядки	Так	Ні	Так
Індикація стерилізації	Ні	Так	Ні
Час стерилізації, хв	15	5	5
Роз'єм для живлення	Micro USB	Micro USB	USB Type-C
Вихідна потужність зарядки, Вт	< 15	10	< 15
Вартість, грн	750	499	1899

З переваг та недоліків вище зазначених приладів можна зробити висновки:

Більшість приладів надають функцію бездротової зарядки, деякі пристрої реалізують в собі індикацію стерилізації, але в жодному не реалізована індикація зарядки, лише в одному з представлених приладів користувач може сам обирати час стерилізації, деякі прилади в якості роз'єму для живлення використовують більш сучасний USB Type-C. Всі пристрої мають невеликі габарити, що робить їх зручними у використанні, матеріал корпусу зроблений із ABS пластику. Але найголовніший недолік це вартість. Прилади зі схожими характеристиками мають велику різницю в ціні, і ціна є досить великою.

Таблиця 1.2 — Порівняння загальних властивостей бездротових зарядних пристроїв

	ColorWay MagSafe Duo Charger	Xiaomi Mi Wireless Charging Stand	Promate AuraDock	Zens Dual Aluminium
№	1	2	3	4
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
PI-п81.565141.001 ПЗ				
Лис 14				

Вихідний струм, А	3	2	1	2
Вихідна потужність, А	15	10	10	10
Кількість одночасно заряджаємих пристроїв	2	1	1	3
Сумісність з іншими пристроями	Лише з продукцією Apple	Всі пристрої які підтримують Qi стандарт	Всі пристрої які підтримують Qi стандарт	Всі пристрої які підтримують Qi стандарт
Швидка зарядка	Ні	Так	Так	Так
Вартість, грн	899	699	499	4199

Проаналізувавши вище наведені прилади можна зробити висновки.

Всі прилади реалізовані на Qi стандарт, але деякі пристрої не підтримують сумісність з приладами якими засновані на Qi стандарті. Чим вища ціна пристрою тим більше додаткових можливостей закладено в його функціонал, наприклад як запобігання нагрівання пристроїв, захист від надмірного заряджання. Прилади мають високу ціну, та якщо пристрій підтримує одночасне заряджання декількох пристроїв, це збільшує його ціну в значній мірі.

## 1.2 Висновок до першого розділу

З огляду доступних аналогів існуючих стерилізаторів для мобільного телефону та бездротових зарядок, можна зробити висновок що більшість бездротових зарядних пристроїв відповідають Qi стандарту, зі збільшенням вартості приладу, збільшується його функціональні можливості. Більшість пристроїв переходять на сучасний роз'єм живлення Type-C. Деякі підтримують одночасне заряджання кількох пристроїв. Але чим більший функціонал має пристрій тим більша його ціна, яка є одним з головних недоліків таких пристроїв.

Стерилізатори для телефону відрізняються між собою часом стерилізації, в деяких реалізована можливість вибору режиму стерилізації. Також перевагу можна

надати тим стерилізаторам які, інформують користувача про поточний стан стерилізації, та мають інтерфейс керування.

Жодний з наведених пристроїв не надає можливості, одночасно стерилізувати та заряджати мобільний пристрій.

Скригонюк А. В. РІ-п81, 2021

					РІ-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

## 2 ОБҐРУНТУВННЯ ТА ВИБІР СХЕМОТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ, ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ. СИНТЕЗ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ

### 2.1 Синтез схеми електричної структурної

Схема електрична структурна визначає основні функціональні частини виробу(пристрої, функціональні групи, елементи), їх призначення і зв'язки.

Функціональні частини структурної зображують у вигляді прямокутників, або умовних графічних позначень. При зображенні прямокутниками найменування, умовні позначення або номери функціональних частин пишуть всередині прямокутників [9].

Функціональні частини на схемі з'єднують лініями електричного зв'язку на яких стрілками вказують напрям ходу робочого процесу.

В загальному вигляді структурна схема стерилізатора для мобільного телефону зображена на рис. 2.1.

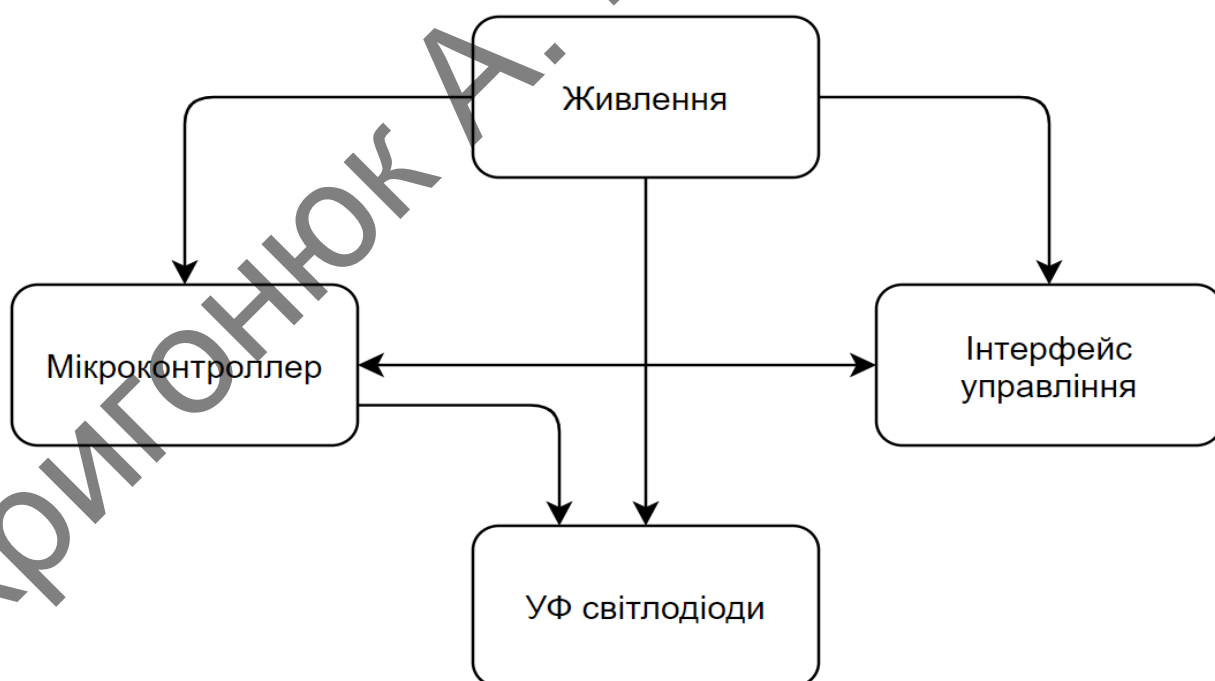


Рисунок 2.1 — Схема структурна стерилізатора мобільного телефону

У мікроконтролері закладена вся логіка для роботи стерилізатора мобільного телефону, в ньому визначається час роботи світлодіодів, режими роботи, за



допомогою інтерфейсу управління користувач може змінювати режим роботи, та отримувати інформацію про те на якому етапі стерилізація, вимикати пристрій тощо, та коли мікроконтролер отримує команду через інтерфейс управління, вмикає ультрафіолетові світлодіоди для стерилізації.

Структурна схема пристрою для бездротової зарядки в загальному вигляді представлена на рис. 2.2 [10].

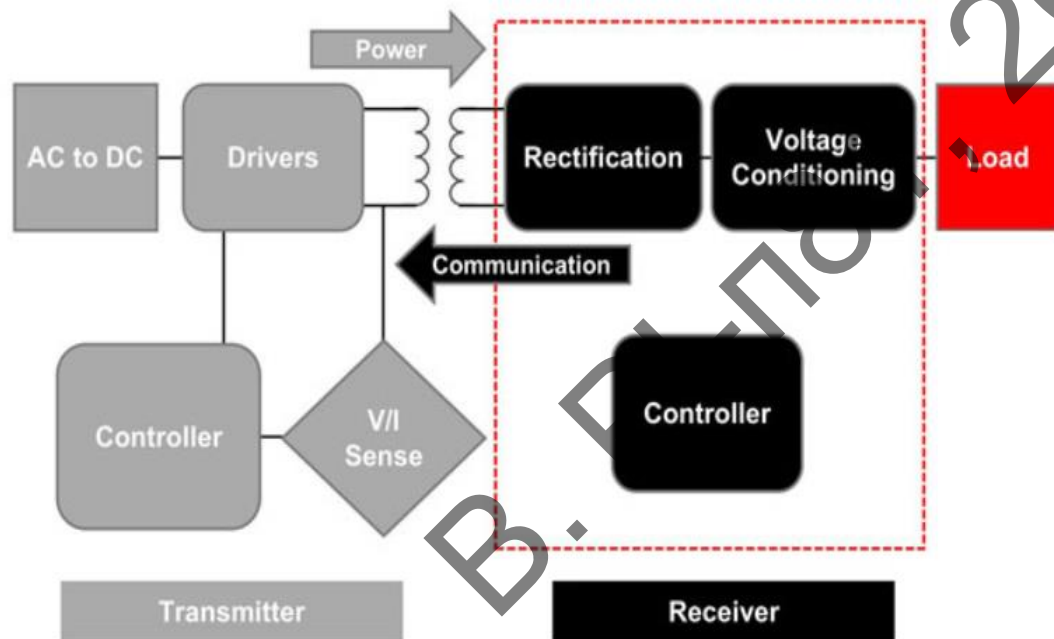


Рисунок 2.2 — Схема структурна пристрою бездротової зарядки

Передавач для бездротової енергії працює наступним чином, напруга від джерела живлення подається на передавач, де за допомогою перетворювача енергії, енергія подається на первинну котушку індуктивності, яка передає енергію через взаємозв'язане магнітне поле, на приймач, на іншому боці – у приймачі, якщо котушка знаходиться поблизу передавача, через неї проходить значна частина силових ліній магнітного поля, створюючи змінний струм, який потім перетворюється на постійний. За допомогою модулів зв'язку, приймач передає інформацію про стан заряду заряджаемого пристрою, та інформацію про те чи треба збільшувати чи зменшувати потужність передачі енергії.

Структурна схема стерилізатора для телефону з функцією бездротової зарядки зображена на рис. 2.3.

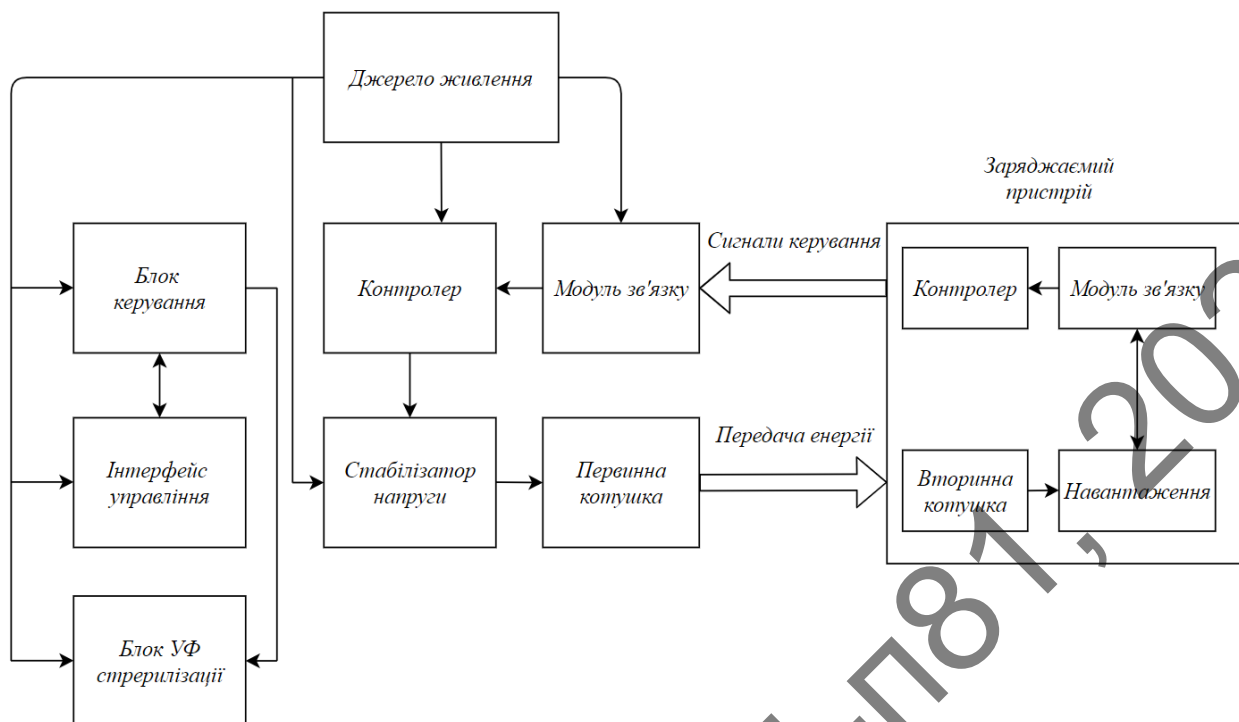


Рисунок 2.3 — Схема електрична структурна стерилізатора для телефону з функцією бездротової зарядки

Структурна схема пристрою є типовою для модулів бездротових зарядок які відповідають Qi стандарту. Стандартом Qi передбачена спільна робота по безпроводній передачі потужності та інформаційній взаємодії між безпроводною зарядною станцією та заряджаємим пристроєм. Qi стандарт передбачає що передавальний пристрій контролює процедуру зарядки та регулює потужність передаваної потужності відповідно до запиту приймаючого пристрою.

Від джерела живлення, 5 В постійного струму подається на стабілізатор напруги, завдяки якому напруга підтримується в заданих межах, при впливі дестабілізуючих факторів(температура, тиск, вологість, струм, напруга). Після стабілізатора, напруга подається на первинну котушку індуктивності, в результаті проходження струму по котушці навколо неї утворюється магнітне поле, через яке передається енергія. Через вторинну котушка яка знаходиться в приймаючому пристрої проходять силові лінії магнітного поля, таким чином в ній утворюється змінний струм який подається на випрямляч, стабілізатор напруги, та навантаження. Контролер в приймаючому пристрої зчитує інформацію про напругу зі стабілізатора напруги, та в залежності від отриманих даних передає пакет даних,

на модуль зв'язку передаючого пристрою. Пакет даних містить в собі інформацію про те, чи треба збільшити або зменшити передавану потужність, який відсоток заряду в даний момент на приймаючому пристрої. Модуль зв'язку приймаючого пристрою зчитує пакетні данні, та в залежності від отриманої інформації керує через контролер передавачем потужності.

Блок керування (мікроконтролер Arduino Nano) живиться від 5 В постійного струму, та запрограмований для реалізації режимів роботи стерилізації мобільного телефону. За допомогою інтерфейсу управління користувач керує надає інформацію мікроконтролеру і таким чином починається або припиняється ультрафіолетова стерилізація мобільного пристрою.

## 2.2 Огляд та аналіз схемотехнічних рішень

На даний момент на ринку існує багато схем для реалізації бездротової зарядки (передавача).

Наприклад схема на основі мікросхеми ХКТ–510 зображена на рис. 2.4 [11].

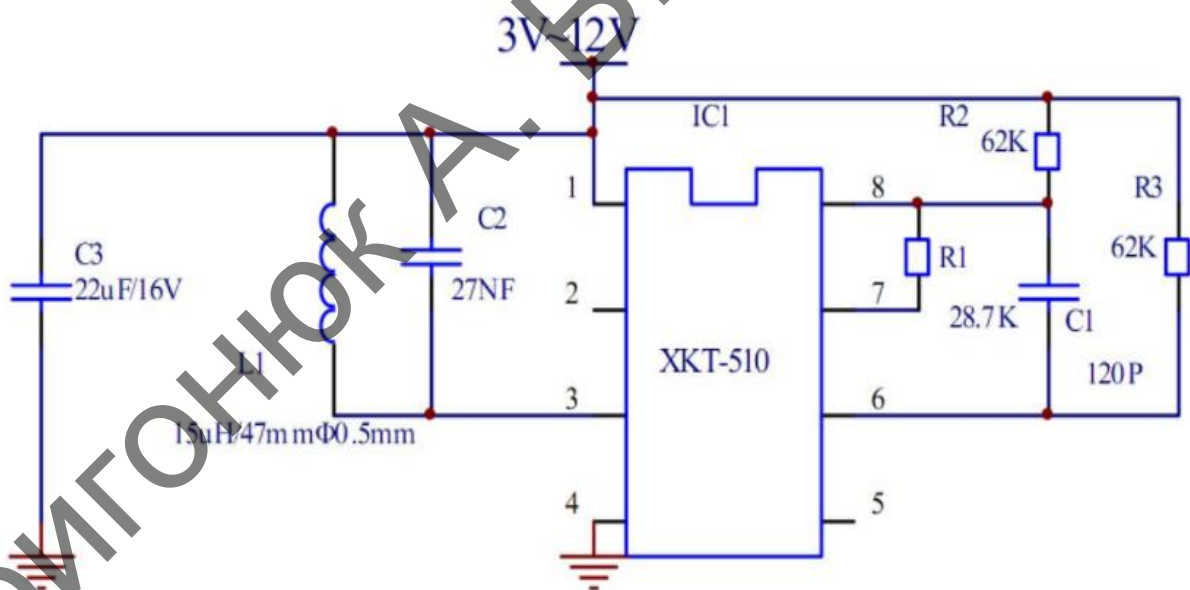


Рисунок 2.4 — Схема на основі датчика ХКТ–510

Дана схема потребує живлення 9 В постійного струму, не підтримує Qi стандарт, дає можливість заряджати одночасно лише 1 пристрій, вихідна потужність не змінюється, не має реалізація вимкнення пристрою по завершенню зарядки, а отже при завершенні зарядки, користувачу потрібно самому вимикати

PI-п81.565141.001 ПЗ					Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	20

пристрій, не має інтерфейсу для користувача (не сигналізує коли почалась, закінчилась зарядка).

Схема без мікроконтролера на основі мікросхеми BQ5105 зображена на рис. 2.5 [12].

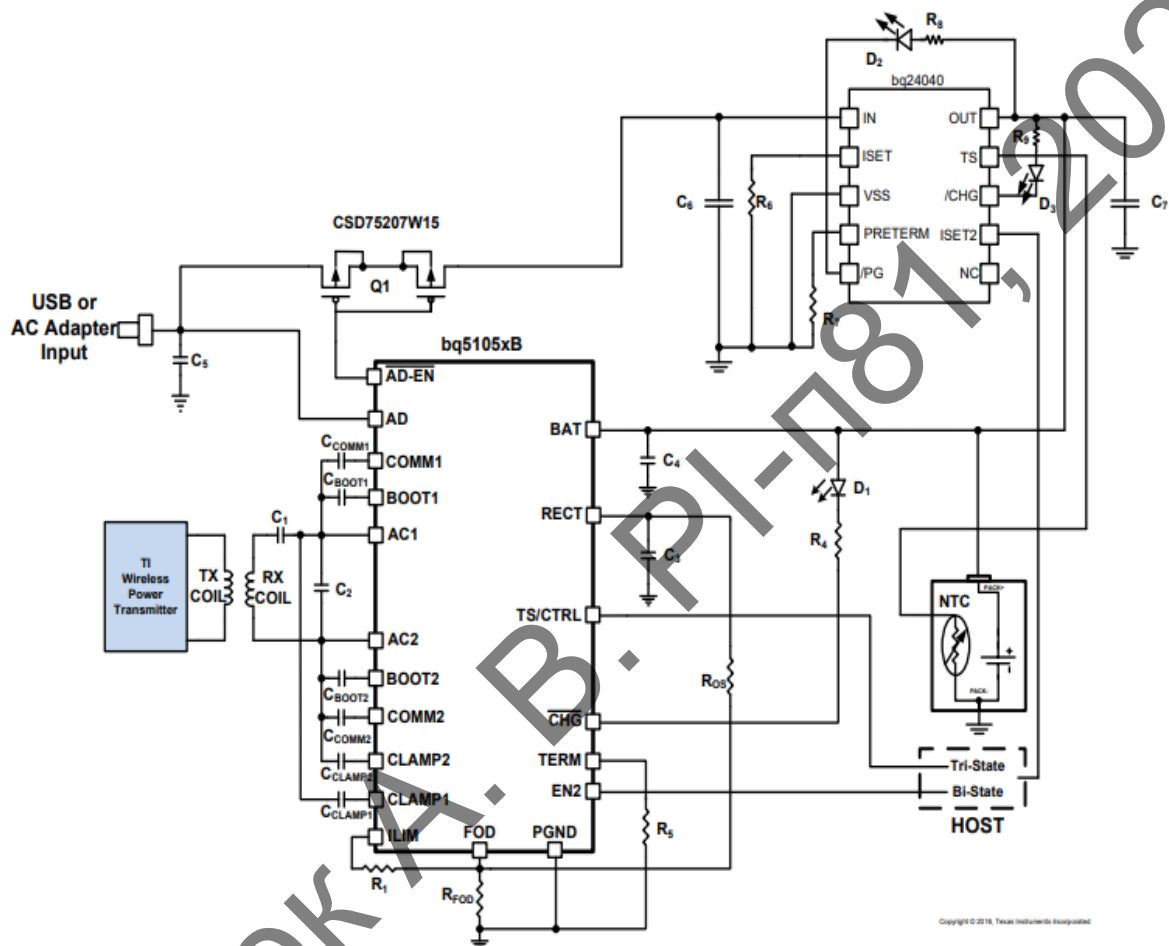


Рисунок 2.5 — Схема на основі датчика BQ5105

Пристрій bq5105x – це високоефективний, сумісний з Qi стандартом бездротовий передавач живлення з вбудованим контролером заряду акумулятора.

Пристрої bq5105xV забезпечують ефективне перетворення змінного та постійного струму, та забезпечує весь необхідний контроль та алгоритми, необхідні для ефективної та безпечної зарядки акумулятора. Разом з контролером на стороні приймача bq500212A, bq5105x забезпечує повну бездротову систему передачі потужності для рішень із прямими зарядними пристроями. Використовуючи індуктивну передачу потужності поблизу поля, котушка приймача, вбудована в

Схема на базі BQ50002RHB зображена на рис. 2.6 [13].

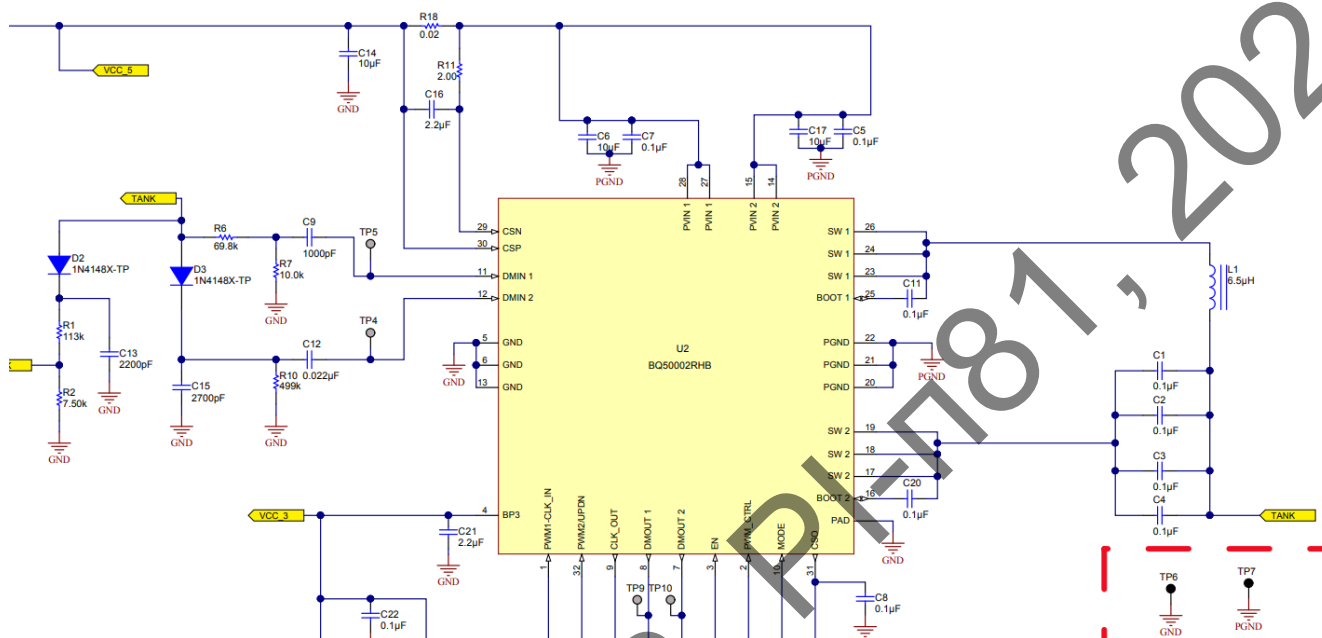


Рисунок 2.6 — Схема на основі мікроконтролера BQ5002RHB

В даній схемі мікроконтролер BQ50002RHB підтримує Qi стандарт виконує роль контролера який контролює вихідну величину передаваної потужності, містить в собі стабілізатор напруги, функцію для виявлення сторонніх предметів між приймачем та передавачем енергії. Схема задовольняє умови передачі енергії по WPC специфікації, але для реалізації пристрою на такому мікроконтролері потребується ще одна мікросхема, яка повинна відповідати за зв'язок між передавачем та приймачем енергії.

В даному випадку для рішення такої задачі підходить мікросхема BQ500511RHAR [14] рис.2.7, яка реалізовує функціонал зв'язку між передавачем та приймачем, постійно відправляючи та приймаючи пакети даних які містять в собі інформацію про енергію яка передається, яка була прийнята, на приймаючий пристрій, та яка кількість енергії була втрачена.

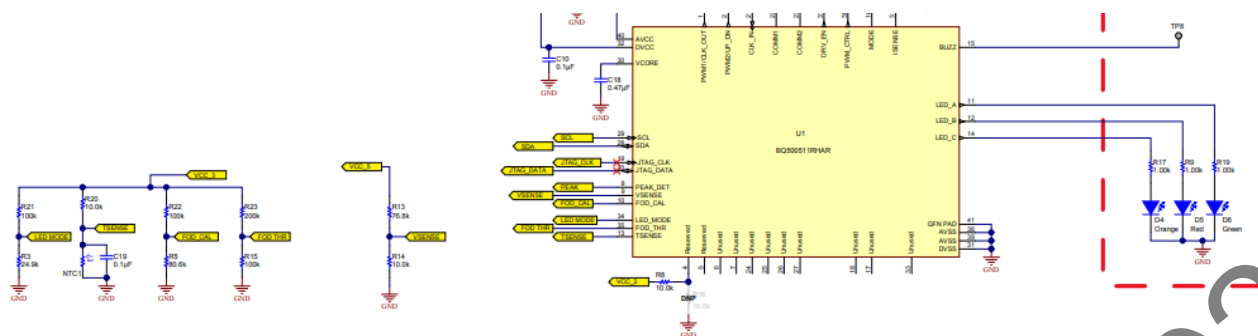


Рисунок 2.7 — Схема модуля зв'язку між приймаючим на передавальним пристроєм на основі мікроконтролера BQ5002RHB

Вище зазначені схеми відрізняються тим що підтримують або не підтримують сучасний Qi стандарт. Мікроконтролери серії BQ від Texas Instruments, мають в собі великий запас функціональних можливостей, і задовільняють умови Qi стандарту.

## 2.3 Підбір елементної бази

Вся елемента база для пристрою стерилізації із функцією бездротової зарядки підбирається із врахування вартості та доступності на ринку України.

### 2.3.1 Підбір резисторів

В схемі пристрою застосовані резистори потужністю 0,125 Вт.

Існує кілька різних типів резисторів, що відрізняються за номінальною потужністю, розмірами, експлуатаційними якостями і вартості. Найбільш поширені типи – чіп-резистори (SMD-резистори), вивідні резистори для монтажу в отвори, та дріт'яні резистори.

SMD – резистори призначені для поверхневого монтажу. Вони відрізняються від вивідних резисторів меншими розмірами, що робить їх оптимальними для застосування на ДП.

Будемо використовувати SMD резистори типорозміру 0805 з наступного переліку:

- 0805 – серія RC0805FR-750R від Hitano з номінальною потужністю 0,125 (1/8 Вт) і діапазоном доступних опорів 1 Ом ... 6,8 МОм;
- 0805 – серія RC0805FR-750R від Cinetech з номінальною потужністю 0,125 (1/8 Вт) і діапазоном доступних опорів 1 Ом ... 10 МОм;

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

- 0805 – серія RC0805FR–750R від Panasonic з номінальною потужністю 0,125 (1/8 Вт) і діапазоном доступних опорів 1 Ом ... 2 МОм.

### 2.3.2 Підбір конденсаторів

Будемо використовувати керамічні SMD конденсатори ємністю до 10 мкФ типорозміру 0805 з наступного переліку:

- 0805, серія C0805B474K160N3 від TDK з діапазоном доступних ємностей 0,47 пФ – 10 мкФ;
- 0805, серія CL21B47KBANNC від Hitano з діапазоном доступних ємностей 1 пФ – 22 мкФ;
- 0805, серія CL21B47KBANNC від Murata з діапазоном доступних ємностей 4,3 пФ – 4,7 мкФ.

### 2.3.3 Підбір діодів

В якості діодів будемо використовувати імпульсні діоди 1N4148X–TP.

Характеристики:

- Пікова зворотня напруга 75 В;
- Прямий струм: 0,15 А;
- Прямий струм (макс.): 0,3 А;
- Корпус: SOD523.

### 2.3.4 Підбір світлодіодів

В якості світлодіодів HL5, HL6 будемо використовувати наступні вивідні ультрафіолетові світлодіоди OSV6YL56A1A.

Характеристики:

- Напруга живлення 3,0 В – 3,8 В;
- Розмір 4,8 мм;
- Довжина хвилі 415 нм.

В якості світлодіодів HL1, HL2 будемо використовувати наступні вивідні світлодіоди зеленого кольору L–512GD.

Характеристики:

- Падіння напруги 2,0 В – 2,5 В;

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис 24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Розмір 5 мм;
- Світловий потік 3–15 мКд.

В якості світлодіодів HL3, HL5 будемо використовувати наступні вивідні світлодіоди жовтого кольору L-833YD:

Характеристики:

- Падіння напруги 2,0 В – 2,5 В;
- Розмір 5 мм;
- Світловий потік 3 мКд;
- Довжина хвилі: 590 нм.

В якості світлодіода HL4 будемо використовувати світлодіод червоного кольору L132G-NOR:

Характеристики:

- Падіння напруги 2,0 В – 2,5 В;
- Розмір 5 мм;
- Світловий потік 3 мКд;
- Довжина хвилі: 700 нм.

### 2.3.5 Підбір транзисторів

В якості транзисторів будемо використовувати BC846W.

Характеристики:

- Структура n-p-n;
- Напруга колектор-емітер, не більше: 65 В;
- Напруга колектор-база, не більше: 80 В;
- Напруга емітер-база, не більше: 6 В;
- Струм колектора, не більше: 0,1 А;
- Розсіювана потужність, не більше: 0,2 Вт;
- Коефіцієнт підсилення транзистора за струмом: від 110 до 800;
- Гранична частота коефіцієнта передачі струму: 150 МГц;
- Корпус: SOT-323.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис 25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



### 2.3.6 Підбір терморезистора

Терморезистор застосовується для захисту від теплового нагрівання схеми, для підбору та вибору терморезистора виконують наступні дії:

1) В технічному паспорті терморезистора знаходять криву опору за температурою.

2) За допомогою термозонда вимірюють поточну температуру, на тому місці, де буде розміщений терморезистор.

3) З технічного паспорту вибирають опір терморезистора при цій температурі.

В якості терморезистора будемо використовувати NCP21XV103J03RA.

Характеристики:

— Опір: 10 кОм;

— Тип: NTC;

— Допустиме відхилення: 5%

— Номінальна потужність: 200 мВт;

— Розмір: 0805;

### 2.3.7 Підбір котушки індуктивності

Контролери від Texas Instruments працюють та підтримують визначеними котушками індуктивності, тож BQ500511A підтримує тип A11, для якого специфікація котушки та відповідного конденсатора встановлена стандартом WPC, хоча пристрій може використовуватися у власній системі (не WPC). Котушка типу A11[17] зображена на рис. 2.8, будемо використовувати котушку: 760–308–111 від Wurth Electronics.



Рисунок 2.8 — Котушка індуктивності типу A11

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

Характеристики:

- Індуктивність: 6,5 мкГн;
- Робоча температура:  $-20^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$ ;
- Функціонал: передавальна;
- Допустима похибка: 10%;
- Струм насичення: 16А.

#### 2.3.8 Підбір п'єзоелектричного звуковипромінювача

В якості терморезистора будемо використовувати KLS3-PB-23.

Характеристики:

- Резонансна частота: 3500 Гц;
- Струм: 12 мА;
- Рівень звука: 85 дБ;
- Живлення: 3–20 В.

#### 2.3.9 Підбір перемикача

В якості кнопки для вибору режимів стерилізації будемо використовувати C&K KSC9.

Характеристики:

- Форма: кругла;
- Тип перемикача: активний;
- Розмір: діаметр 6 мм висота 10 мм;

#### 2.3.10 Підбір роз'єму

В якості роз'єму для живлення будемо використовувати USB Type-C.

Характеристики:

- Тип: USB Type-C;
- Інтерфейс 3.0.

#### 2.3.11 Підбір мікросхем

В якості мікросхем для модуля бездротового живлення, будемо використовувати BQ50002A BQ50511A відповідно.

					РІ-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

Мікросхема DA1 BQ50002A — це мікросхема яка виконує функції аналогового бездротового передавача потужності, який містить всі собі всі необхідні схемотехнічні рішення, які необхідні для реалізації передавача потужності, який відповідає вимогам Wireless Power Consortium (WPC). У мікросхемі DA1 інтегровані повномістовий драйвер живлення транзисторами, генератор змінної частоти, двоканальний демодулятор зв'язку, лінійний регулятор та ланцюгами захисту схеми.

Мікросхема DA1 BQ50002A використовується разом із цифровим мікроконтролером DD1 BQ500511A для реалізації компактного двочіпового бездротового передавача потужності.

Мікросхема DD1 BQ500511A — це контролер бездротового передавача потужності, який у поєднанні з пристроєм аналогового переднього кінця DA1 BQ50002A реалізовує всі функції, необхідні для створення Qi-сумісного передавача [16].

Зв'язок у межах специфікації WPC v1.2 здійснюється від приймача до передавача. Наприклад, для регулювання вихідної потужності передавача приймач надсилає повідомлення з проханням до передавача збільшити або зменшити потужність. Приймальний пристрій здійснює зв'язок шляхом модуляції напруги випрямляча напруги і за допомогою амплітудної модуляції (АМ) передає пакети інформації передавальному пристрою. Пакет складається з преамбули, заголовка, фактичного повідомлення та контрольної суми, як визначено стандартом WPC.

Приймач відправляє пакет, модулюючи мережу імпедансу. Результат цього АМ сигналу відображається назад як зміна амплітуди напруги на котушці передавача.

BQ50002A характеристики:

- Напруга живлення 4,5 В – 5,5 В;
- Робоча температура: від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $125^{\circ}\text{C}$ ;
- Призначення: бездротовий передавач живлення;
- Виробник: Texas Instruments.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис 28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

BQ500511A характеристики:

- Робоча температура:  $-40^{\circ}\text{C} - 85^{\circ}\text{C}$ ;
- Напруга – живлення: 2 В – 3,6 В;
- Струм – живлення: 3,45 мА;
- Виробник: Texas Instruments.

В якості мікросхеми DD2 будемо використовувати Arduino Nano. Arduino Nano – це плата для відладки невеликого розміру, яка входить до трійки лідерів за популярністю серед радіоаматорів–програмістів. Незважаючи на свій скромний розмір, вона практично нічим не поступається популярній Arduino Uno по функціоналу, виграє за ціною і може використовуватися в проєктах, де габарити відіграють істотну роль.

Характеристики:

- Робоча напруга: 5 В;
- Частота 16 МГц;
- Flash пам'ять: 16 кБ.

## 2.4 Синтез схеми електричної принципової

Створивши умовні графічні позначення в бібліотеці *SCH Library* за допомогою середовища Altium, можна приступити до проєктування електричної принципової схеми. Принципові електричні схеми призначені для повного відображення взаємозв'язків пристроїв з урахуванням принципів їх дії і послідовності роботи. На електричних схемах показують лише ті елементи, які пояснюють електричні процеси. Деталі на схемі розміщують так, як це зручно для їх зображення. Важливо зберігати і враховувати послідовність проходження струму. Всі елементи мають позиційне позначення. Позиційне позначення складається з літер та цифр. Літери вказують вид елемента. Цифра показує порядковий номер елемента. Порядкові номери однакових елементів записують зліва направо та зверху вниз.

В основі принципу бездротової передачі потужності — сердечник трансформатора, що складається з котушок передавача і приймача. Котушка передавача та електроніка яка відповідає за розподілення, управління і передачу

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис 29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

енергії, а також обмін даними з приймаючим пристроєм, вбудовані в зарядний пристрій, а котушка приймача та електроніка яка відповідає за комунікацію з передавальним пристроєм вбудовані в портативний пристрій, такий як мобільний телефон, смарт годинник, планшет тощо.

Схема електрична принципова стерилізатора для телефону з функцією бездротової зарядки зображена на рис. 2.8

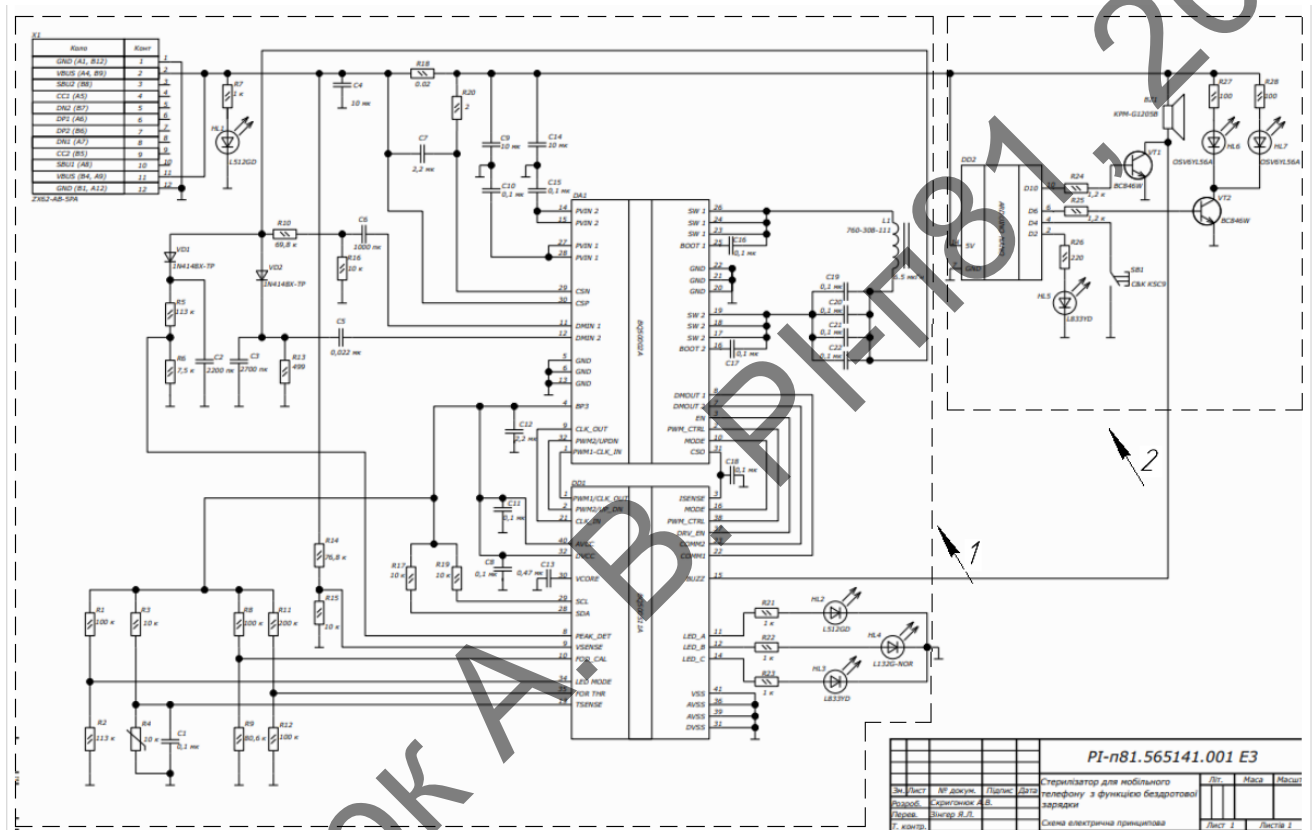


Рисунок 2.8 — Схема електрична принципова стерилізатора для телефону з функцією бездротової зарядки

Схему умовно можна поділити на дві частини, перша – модуль бездротової зарядки, друга – частина яка відповідає за стерилізацію пристрою.

Модуль безпроводної зарядки побудований на базі двох мікросхем від компанії Texas Instruments [15] яка є однією із провідних компаній у виробництві напівпровідників.

Живлення 5 В постійного струму, подається, подається на виводи 14-15 27-28 DA1, ці виходи одночасно, є входами драйверів MOSFET транзисторів.

Живлення на мікросхему DD1, подається з DA1, через вивід 3, і складає приблизно 3 В постійного струму.

У системі утвореною DD1 BQ500511A та DA1 BQ50002A, DA1 виконує функцію демодулятора. У мікросхемі DA1, використовується 2 канала демодуляції, один (вивід 11 DMIN1) для виявлення огинаючої, а другий (вивід 12 DMIN2) – для синхронного детектування. Канали змінюються в залежності від того, в якій точці робочого діапазону навантаження знаходиться пристрій.

DA1 приймає модульований сигнал з котушки індуктивності L1, на виводи 11, 12, демодулює та за допомогою АЦП передає оцифровану версію повідомлення через виводи 7 DMOUT1, та 8 DMOUT2, на виводи 22 COMM2 та 23 COMM1 мікросхеми DD1 (частота демодульованого сигналу 2 кГц), де повідомлення декодується та обробляється. Наприклад, у відповідь на пакет помилок керування, DD1 обчислює необхідну зміну вихідної потужності і керує DA1 через виводи 9 CLK\_OUT, 32 UP\_DOWN і 10 MODE робочою точки, а отже, і її вихідною потужністю.

При синхронному детектуванні амплітудно-модульований сигнал множиться на опорне немодульоване коливання з частотою несучого коливання, потім отриманий сигнал пропускається через фільтр нижніх частот R13, C4 та R16, C6. В результаті множення виходить сигнал, що складається з двох доданків, перше з яких прямо пропорційно початковому модулюючому сигналу, а друге – амплітудно-модульованому сигналу з подвоєною несучою частотою. Другий доданок пригнічується фільтром нижніх частот, і таким чином залишається сигнал, прямо пропорційний початковому інформаційному сигналу.

Мікросхема DA1 має вбудований стабілізатор напруги з малим падінням напруги (LDO), який подає живлення на супутній мікроконтролер DD1 BQ500511A. Аббревіатура LDO як: "low drop out" або низьке падіння на виході. Це означає те, що для того щоб отримати необхідну напругу на виході стабілізатора вхідна напругу не повинна перевищувати необхідну вихідну напругу.

Після подачі живлення на пристрій та виходу з режиму очікування передавач автоматично розпочинає процес виявлення та живлення приймача. BQ500511A надсилає пінг для виявлення присутності приймача на майданчику, де розташовується приймальний пристрій.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис 31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Після виявлення приймального пристрою мікросхема DA1 BQ500511A намагається встановити зв'язок і розпочати передачу живлення. За допомогою простого інтерфейсу DA1 BQ500511A отримує пакетний зв'язок від приймального пристрою та надає інформацію на BQ50002A (відповідно до специфікації WPC) наскільки збільшити або зменшити потужність.

Виводи мікросхеми DA1 1, 2, 32 (PWM-1CLK\_IN PWM\_CTRL, PWM2/UPDN відповідно) слугують для управління подачі живлення на котушку, та передачі енергії, вони управляються мікросхемою DD1 через виводи 2, 21, 38.

Система що поєднує в собі мікросхеми DA1, DD1 має функцію виявлення сторонніх предметів (FOD, за вимогою WPC специфікації) на шляху передачі енергії між передавачем та приймачем, це реалізовується шляхом постійного підрахунку потужності переданої енергії та порівняння цієї кількості з отриманою потужністю на приймальному пристрої, про яку повідомляє останній. Це захищає від втрат потужності, яка може розсіюватися на металевих предметах, які можуть бути випадково розміщені в дії електромагнітного поля бездротової передачі енергії. Для цього DA1 точно вимірює силу вхідного струму за допомогою давача струму. Який реалізується наступним чином:

Виводи 29 та 30 мікросхеми DA1, під'єднані до лінії вхідного живлення через резистор R18, номіналом 0,02 Ома. Такий номінал резистора (максимально близький до замикання) використовується для утворення давача струму, та має бути розташований на схемі якомога ближче до виводу 30. Відповідно вивід 29 це негативний вхід давача а вивід 30 — позитивний вхід давача. Вивід 31 CSO, це вихід давача струму, який з'єднаний з виводом 3 ISENSE мікросхеми DD1, для того щоб передати інформацію про поточне значення струму.

Якщо втрата енергії перевищує поріг, встановлений резисторами R8, R9, R11, R12, світлодіоди HL4 буде вказувати на несправність (швидко мерехтить) і передача потужності припиняється. Поріг становить 400 мВт, його можна змінювати підбором резисторів, але треба бути уважним, через те що надмірна чутливість системи може призвести до випадкових помилок

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

Виводи мікросхеми 10 і 35 (FOD\_CAL та FOD\_THR відповідно), використовуються для калібрування (FOD).

Якщо є необхідність відключити функцію FOD (не рекомендується), це можна зробити подавши на вивід 35 мікросхеми DD1 напругу 3 В постійного струму.

Вивід 9 VSENSE мікросхеми DD1 використовується для виявлення падіння напруги, (всередині мікросхеми реалізований давач напруги який використовується для розрахунку та контролю величини напруги в даному об'єкті) наприклад коли схема отримує недостатню напругу живлення із вхідного роз'єму, та для розрахунку функції FOD, а саме для розрахунку потужності, яка передається та яка можлива максимальна втрата енергії. На цей вивід подається напруга від джерела живлення 5 В постійного струму, через дільник напруги який складається з двох резисторів R14, R15 номіналами 10 кОм та 76,8 кОм відповідно. За формулою дільника напруги, яку можна вивести із закону Ома, напруга складає

$$U_{out} = R15 \frac{U_{inp}}{R14 + R15} = 0,57 \text{ В} \quad (2.2)$$

де  $U_{out}$  — напруга, яка подається на мікросхему;  $U_{inp}$  — напруга живлення; R14, R15 — резистори номіналом 10 кОм та 76,8 кОм відповідно.

Значення напруги вивід 9 VSENSE мікросхеми DD1 складає 0,57 В постійного струму, таке значення на цьому виводі передбачає максимальну втрату потужності 400 мВт. Це значення можна змінювати шляхом підбору резисторів R14, R15, але не рекомендується.

Терморезистор R4 застосований для теплового захисту схеми. Він під'єднаний до виводу 13 TSENSE мікросхеми DD1. Якщо напруга на виводі 13 становить менше ніж 1 В постійного струму, то це призводить до вимкнення пристрою.

Пристрій відновлює нормальну роботу приблизно через п'ять хвилин..

Модуль бездротової зарядки надає наступний інтерфейс для користувача (світлодіоди HL1, HL2, HL3, HL4 та п'єзоелектричний звуковипромінювач BZ1).

При подачі живлення на пристрій загоряється світлодіод HL1 напруга на якому регулюється через резистор R7.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33



Коли починається передача енергії (зарядка приймаючого пристрою) DD1 через контакт 15 BUZZ, подає звуковий сигнал на п'єзоелектричний звуковипромінювач BZ1, частотою 4 кГц тривалістю 400 мс, який вказує на те, що передача потужності розпочалася.

В залежності від обраного режиму індикації пристрою DD1 безпосередньо керує трьома світлодіодними виходами (вивід 11, вивід 12 і вивід 14) до яких через прості обмежувальні резистори R22, R23, R24 під'єднані світлодіоди HL2, HL3, HL4. Три обмежувальні резистори R22, R23, R24 можна налаштувати індивідуально, щоб налаштувати або відповідати яскравості світлодіодів, але потрібно не перевищувати максимальний вихідний струм пристрою, щоб світлодіоди не вийшли із ладу (450 Ом – 1.2 кОм).

Можна використовувати будь-які засоби встановлення напруги на виводі на виводі 4 LED\_MODE мікросхеми DA1, якщо використовується дільник напруги між 3 В і землею, як використано у схемі, слід використовувати порівняно великі значення, щоб мінімізувати втрати потужності в режимі холостого ходу. Використовуючи 100 кОм як значення верхнього резистора R1 і значення резистора R3, відповідно до напруги на її вході, мікросхема обирає один з запрограмованих варіантів схем світлодіодної індикації, представлену на рисунках 2.3, 2.4.

LED CONTROL OPTION	R <sub>LED</sub> SELECTION RESISTOR (kΩ)	DESCRIPTION	LED	OPERATIONAL STATES					
				STANDBY	POWER TRANSFER <sup>(1)</sup>	CHARGE COMPLETE	FAULT <sup>(1)(2)</sup>	FOD WARNING <sup>(2)</sup>	DPL <sup>(1)</sup>
1	24.9	2-LED option #1	LED_A (green)	off	blink slow	on	off	off	blink slow
			LED_B (red)	off	off	off	on	blink fast	blink slow
			LED_C (orange)	–	–	–	–	–	–
2	36.5	2-LED option Standby LED's	LED_A (green)	on	blink slow	on	off	off	blink slow
			LED_B (red)	on	off	off	on	blink fast	blink slow
			LED_C (orange)	–	–	–	–	–	–
3	49.9	Single LED option	LED_A (green)	off	on	off	blink fast	on	on
			LED_B (red)	–	–	–	–	–	–
			LED_C (orange)	–	–	–	–	–	–

Рисунок 2.9 — Режими роботи світлодіодної індикації пристрою

LED CONTROL OPTION	R <sub>LED</sub> SELECTION RESISTOR (kΩ)	DESCRIPTION	LED	OPERATIONAL STATES					
				STANDBY	POWER TRANSFER <sup>(1)</sup>	CHARGE COMPLETE	FAULT <sup>(1)(2)</sup>	FOD WARNING <sup>(2)</sup>	DPL <sup>(1)</sup>
4	66.5	2-LED option #2	LED_A (green)	off	on	off	off	off	—
			LED_B (red)	off	off	off	on	blink fast	blink slow
			LED_C (orange)	—	—	—	—	—	—
5	86.6	3-LED option #1	LED_A (green)	off	off	on	off	off	—
			LED_B (red)	off	on	off	on	on	on
			LED_C (orange)	off	off	off	off	off	off
6	113	3-LED option #2	LED_A (green)	off	blink slow	on	off	off	off
			LED_B (red)	off	off	off	on	blink fast	off
			LED_C (orange)	off	off	off	off	off	blink slow
7	147	3-LED option #3	LED_A (green)	off	blink slow	off	off	off	off
			LED_B (red)	off	off	on	off	off	off
			LED_C (orange)	off	off	off	on	blink fast	blink slow
8	200	2-LED option #3	LED_A (green)	off	off	on	blink slow	off	off
			LED_B (red)	off	on	off	blink slow	on	on
			LED_C (orange)	—	—	—	—	—	—
9	274	2-LED option #4	LED_A (green)	off	blink slow	on	off	off	blink slow
			LED_B (red)	off	off	off	on	blink fast	blink slow
			LED_C (orange)	—	—	—	—	—	—
10	392	2-LED option #5	LED_A (green)	off	on	off	blink fast	on	blink slow
			LED_B (red)	off	off	on	off	off	off
			LED_C (orange)	—	—	—	—	—	—

Рисунок 2.10 — Режими роботи світлодіодної індикації пристрою

Для даного проєкту R3 обрано зі значенням 113 кОм, це значення резистору забезпечує режим роботи світлодіодної індикації 3–LED option #2, в даному режимі на відміну від інших, задіяні всі 3 світлодіоди (рис. 2.4). Даний режим роботи інформує користувача про те що:

- Відбувається передача енергії між передавальним та приймальним пристроєм (повільно мерехтить світлодіод HL2 (зелений колір));
- Зарядка завершена (світиться світлодіод HL2 (зелений колір));
- Виникла помилка(світиться світлодіод HL4 (червоний колір));
- FOD попередження (швидко мерехтить світлодіод HL4 (червоний колір));
- DPL (повільно мерехтить світлодіод HL2 (жовтий колір)).

Мерехтить швидко – частота 5 Гц.

Мерехтить повільно – частота 1,25 Гц.

Для регулювання вихідної напруги вразі виникнення нестабільного живлення на вході пристрою, мікросхема DD1 має функцію Dynamic Power Limiting (динамічне обмеження потужності) (DPL). DPL дозволяє працювати від джерела живлення 5 В постійного струму та невеликий струмом (наприклад, через порт

USB). Коли спостерігається зниження вхідної напруги, вихідна потужність динамічно обмежується для зменшення навантаження і забезпечує передачу енергії відносно можливостей джерела живлення.

Щоразу, коли пристрій за допомогою DPL фіксує вихід за робочий діапазон напруги, світлодіод вказуватиме, що функція DPL активна (повільно мерехтить світлодіод HL3). Але якщо приймальний пристрій надсилає пакет даних з проханням зменшити потужність що передається, DD1 повернеться до нормальної роботи (цей функціонал є обов'язковим у WPC специфікації).

Конденсатори C19–C22 з котушкою L1 утворюють послідовний коливальний контур. Конденсатори C19–C22 номіналом 0,1 мкФ обрані згідно специфікації WPC, та слугують для досягнення потрібної резонансної частоти коливального контуру.

Резонансна частота коливального контуру за формулою Томсона:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \approx 100 \text{ кГц} \quad (2.1)$$

де  $f$  — резонансна частота коливального контуру;  $L$  — індуктивність коливального контуру;  $C$  — ємність коливального контуру.

Напруга на котушку індуктивності подається через виводи 16 BOOT1 та 25 BOOT 2 мікросхеми DA1, ці виводи мають бути під'єднані до виводів 17-19 SW 1 та 23-26 SW 2 через згладжувальних керамічний конденсаторів C16, C17 ємністю 0,1 мкФ. Виводи SW це виходи драйверу керування MOSFET транзисторами, які реалізовані у мікросхемі DA1, SW1 мають бути під'єднані до котушки індуктивності, а виводи SW2, мають бути під'єднані до конденсатору коливального контуру.

DD1 використовує обмін даними з приймаючим пристроєм щоб відстежувати поточний рівень заряду приймаючого пристрою. Отримавши повідомлення про повну зарядку, пристрій змінює світлодіодну індикацію, але на відміну від відповіді на EPT, не зупиняє передачу потужності, навіть якщо світлодіодний індикатор вказує, що заряд завершено, а переходить в режим дрібної зарядки.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

Якщо отриманий дані свідчать що рівень заряду опускається нижче 90%, пристрій переходить в звичайний стан передачі енергії, поки приймаючий пристрій не досягне 100% заряду.

Ефективність передачі потужності та міцність залежать від зв'язку між котушкою передавача та приймача. Зв'язок залежить від відстані між котушками, розташування одна відносно іншої, розмірів котушки, матеріалів котушки, кількості витків, магнітного екранування, узгодження імпедансу, та частоти. Найголовніше, котушки приймача та передавача повинні бути правильно розташовані та відцентровані відносно одна одної для найкращого забезпечення міцного зв'язку та ефективності передачі енергії.

Чим менше простір між котушками, тим кращий зв'язок. Екран застосовується як підкладка для котушок, як для передавача, так і до приймача, щоб направити магнітне поле до зони зчеплення. Магнітні поля поза зоною зв'язку не передають потужність. Таким чином, екранування також служить для утримання полів, щоб уникнути зчеплення з іншими сусідніми компонентами системи.

У системі BQ500511A або BQ50002A передача потужності регулюється зміною робочої частоти від 110 кГц до 205 кГц. Чим вище частота, тим далі резонанс і менша потужність. Робочий цикл залишається незмінним на рівні 50% у всьому діапазоні потужності і зменшується лише після досягнення 205 кГц

Мікросхеми DA1, DD1 обмінюються інформацією між собою (виводи 28 SDA та 29 SCL, мікросхеми DD1 з'єднані з виводом 4 BP3 мікросхеми DA1) за допомогою I<sup>2</sup>C інтерфейсу [18].

I<sup>2</sup>C – це послідовна шина даних для зв'язку інтегральних схем всередині електронних пристроїв.

Комплексні функції моніторингу стану пристрою та несправностей, забезпечують низьку вартість, але надійну конструкцію бездротової системи живлення, сертифіковану WPC.

Друга частина схеми пристрою це реалізація стерилізації мобільного телефону.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37

Arduoni Nano – це універсальна плата, що підходить практично для всіх електронних проєктів DIY. Ці крихітні мікроконтролери роблять розробку компактного DIY обладнання доступною більшій кількості людей, ніж будь-коли раніше.

Мікроконтролер DD2 живиться від 5 В постійного струму через згладжувальний конденсатор C5.

Пристрій забезпечує для користувача 2 режими роботи стерилізації мобільного телефону: в першому випадку стерилізація триває 10 хв, а в другому 20хв. Для реалізації такого функціоналу доцільно використати Arduino Nano.

Мікроконтролер запрограмований так щоб забезпечити два режими стерилізації. Режим обирається за допомогою кнопки SB1.

При одному короткому натисканні на кнопку SB1 обирається перший режим стерилізації, який триватиме 10 хв, вмикається навантаження DD2 — 2 ультрафіолетові світлодіоди HL6, HL7 а також світлодіод індикації роботи пристрою HL5. Якщо користувачу необхідно перервати стерилізацію або на деякий час забрати мобільний телефон зі стерилізації, для цього необхідно ще раз натиснути на кнопку SB1, та ультрафіолетові світлодіоди вимикаються, а світлодіод HL5 блимає з визначеною частотою, сповіщаючи користувача що стерилізація призупинилась, при цьому DD2 вираховує скільки часу залишилося до завершення стерилізації, та коли користувач захоче завершити стерилізацію пристрою він ще раз повинен натиснути на кнопку SB1, та стерилізація продовжиться. По завершенню стерилізації світлодіоди HL6, HL7 та світлодіод індикації HL5 вимикаються, та про завершення стерилізації пристрою сповістить п'єзоелектричний звуковипромінювач, який подасть 5 коротких сигналів тривалістю 50мс. Якщо під час сповіщення звукових сигналів натиснути на кнопку SB1, звукове сповіщення зупиниться.

Другий режим передбачає такий самий функціонал, але тривалістю 20 хв.

Для вибору цього режиму користувачу потрібно затиснути кнопку SB1, приблизно на 1–2 секунди.

Код з реалізацією режимів наведений в додатку Б.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис 38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Тривалість режимів стерилізації, кількість сигналів по завершенню робочого циклу та їх тривалість звукових сигналів можна налаштувати в коді.

## 2.5 Висновки до другого розділу

В результаті проведення аналізу структурної схеми виконано підбір елементної бази а саме: мікросхеми, транзистори, терморезистор, резистори, конденсатори, перемикач, діоди, світлодіоди, п'єзоелектричний звуковипромінювач, та котушку індуктивності. Синтезовано схему електричку принципову, яка задовольняє WPC специфікації, та враховує всі перелічені недоліки та переваги наведених схемотехнічних рішень. Саме таке схемотехнічне рішення, виділяє пристрій, що розроблюється серед інших. Запропоноване рішення реалізує можливість одночасної бездротової зарядки мобільного телефону та його стерилізації.

					РІ-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

### 3 ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЮ

#### 3.1 Аналіз з точки зору технолога

##### 3.1.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати

Так як схема, має велику кількість елементів поверхневого монтажу і вивідні елементи, то дана плата матиме двосторонній монтаж та два шари металізації, тож її доцільно виготовляти комбінованим позитивним методом, тобто спочатку металізуються отвори, а потім витравляються провідники [19].

##### 3.1.2 Класу точності плати

Так як плата зі штирьовими і планарними виводами з високим насиченням поверхні ДП елементами, то доцільно обрати клас точності — 3.

##### 3.1.3 Вибір матеріалу плати

Матеріалом плати обрано двосторонній фольгований склотекстоліт FR-4-35/35-1,5. Склотекстоліт має високу механічну міцність, термостійкість, низькі втрати, високий поверхневий опір.

#### 3.2 Визначення мінімальної відстані між елементами провідного рисунка

Для створення бібліотеки елементів необхідно чітко визначитися з корпусами елементної бази, прорахувати розміри монтажних отворів та розміри контактних майданчиків.

Для третього класу точності основні найменші номінальні відстані значення елементів конструкції такі:

- ширина провідника,  $t = 0,25$  мм;
- відстань між провідниками,  $s = 0,25$  мм;
- ширина гарантійного поясочка,  $b = 0,10$  мм;

#### 3.3 Розрахунок розмірів контактних майданчиків

Більшість виробників елементів для друкованої плати, вказують рекомендовані розміри контактних майданчиків, у технічній документації на елемент.

Якщо така інформація відсутня, контактні майданчики можна розрахувати за формулами які приведені нижче:

$$d_o = D_v + 0,2 \quad (3.1)$$

де  $d_o$  – діаметр отвору, мм;  $D_v$  – діаметр виводу, мм

$$D_k = \frac{5d_o}{3} \quad (3.2)$$

де  $D_k$  – діаметр контактного майданчика, мм

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу за формулою:

$$D_k = D_v + 0,3 \quad (3.3)$$

де  $D_k$  – розміри контактних майданчиків;  $D_v$  – розміри виводів.

Розрахунки значення контактних майданчиків для вивідних елементів наведено у таблиці 3.1.

Розрахунки значення контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 — Розміри контактних майданчиків для вивідних елементів

Назва елемента	$D_v$ , мм	$d_o$ , мм	$D_k$ , мм
Роз'єм Х1	0,8	1	1,7
Світлодіод	0,8	1	1,7

Таблиця 3.2 — Розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу

Назва елемента	$D_v$	$D_k$ , мм
Резистор 0805	Datasheet	2,1x1,3
Конденсатор 0805	Datasheet	2,2x1,45
Транзистор біполярний	Datasheet	9,65x9,65



Для не наведених елементів у таблицях 4.1 та 4.2 розміри контактних площадок обрано згідно їх технічного документу на елемент від виробника.

### 3.4 Розрахунок площі 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.

З рис.3.1 отримаємо, що мінімальна площа плати приблизно дорівнює 3000 мм<sup>2</sup>.

Назва	К-сть	Площа	Коеф	Площа загалом
Резистор 0805	28	7	1,00	196
Конденсатор 0805	22	8	1,00	176
Світлодіод	7	35	1,00	245
Діод	2	4	1,00	8
Термістор	1	7	1,00	7
Транзистор	2	8	1,50	24
Звуковипромінювач	1	34	1,00	34
Кнопка	2	57	1,00	114
Роз'єм X1	1	150	1,00	150
Контакти для котушки	1	36	1,00	36
Мікроконтролер Arduino	1	820	1,50	1230
Мікросхема	2	50	2,00	200
Кріплення гвинтове	4	144	1,00	576
Сумма				2996

Рисунок 3.1 — Загальна площа компонентів

Кріплення до плати буде здійснюватися за допомогою чотирьох гвинтів стандарту M2.

Для розрахунку ширини друкованих провідників необхідно знати який максимальний струм та напруга проходять через силові та сигнальні ланцюги. Аналізуючи отримане завдання отримуємо, що для сигнальних провідників

$I_{\max} = 0,3 \text{ А}$ , а для силових  $I_{\max} = 2,0 \text{ А}$ . Проведемо розрахунки ширини друкованих провідників за допомогою Mathcad. Розрахунки наведені в додатку В.

Результати розрахунків для сигнальних та силових ланцюгів наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 — результати розрахунків

Тип лінії	Напруга, В	Струм, А	Ширина провідника, мм		Зазор, мм
			У вузькому	У широкому	
Силова	5,0	2,0	1,2	1,2	0,35
Сигнальна	5,0	0,3	0,4	0,6	0,35

#### 3.4.1 Робота в редакторі Altium PCB

Після створення бібліотеки з умовними графічними позначеннями компонентів SCH Library та PCB library у Altium Designer, з урахуванням правил розробки друкованої плати у цьому середовищі, виконується перевірка схеми електричної принципової, за відсутності помилок, елементна база переноситься на модель PCB плати. Після розміщення елементів на платі в редакторі PCB проведемо трасування, тобто створимо доріжки та полігони.

#### 3.4.2 Трасування провідників

В редакторі PCB проведемо трасування, тобто створимо доріжки та полігони. Заливка землі (ланцюг GND) виконана полігоном з обох сторін плати. Результати трасування у верхньому шарі наведено на рис. 3.2, у нижньому шарі — рис. 3.3.

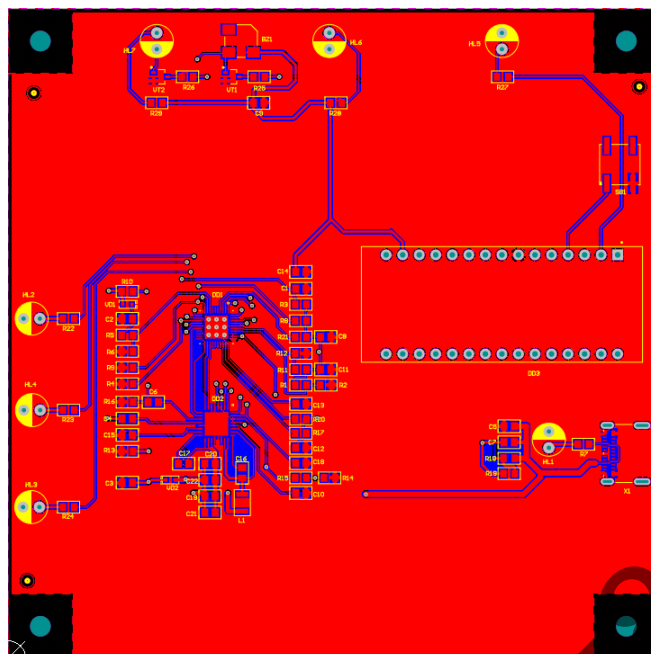


Рисунок 3.2 — Трасування у верхньому шарі

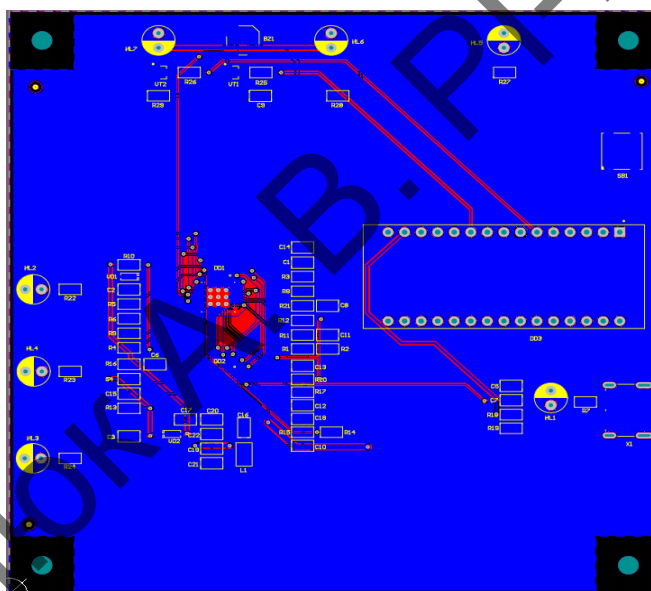


Рисунок 3.3 — Трасування у нижньому шарі

					РІ-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

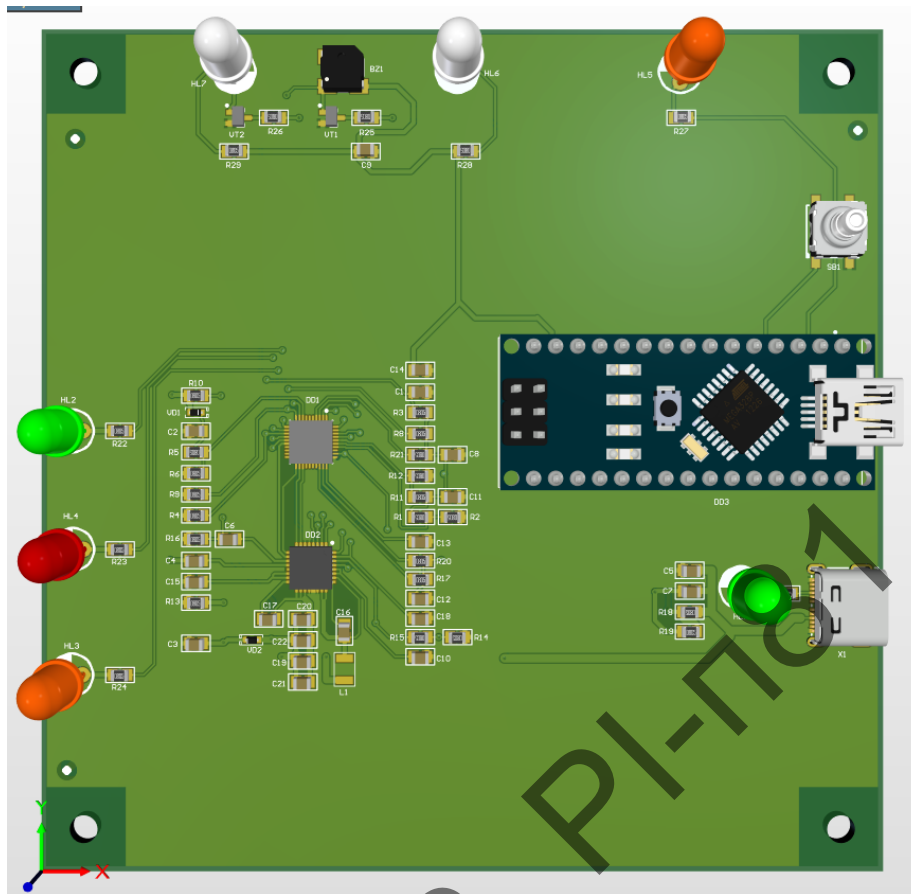


Рисунок 3.4 — 3D модель друкованої плати в Altium Designer

### 3.5 Висновки до третього розділу

Розроблено друковану плату пристрою, для цього, виконано аналіз завдання з точки зору технолога, було визначено метод виготовлення друкованої плати, матеріал з якого буде виготовлена друкована плата та клас точності.

Також розраховано розміри контактних майданчиків, виводів та створено бібліотеку елементів, за допомогою редактора Altium Designer.

Визначено мінімальну площу друкованої плати яка скла – 3000 мм<sup>2</sup>, визначено розміри друкованих провідників та проведено їх трасування. Мінімальна ширина провідника склала 0,25 мм, мінімальна відстань між провідниками 0,25, та ширина поясочку 0,10 мм.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

## 4 ПРОЄКТУВАННЯ ПРИЛАДУ

### 4.1 Проєктування приладу

Проєктування приладу проведемо за допомогою середовища SolidWorks.

Корпус буде складатися з трьох частин, перша частина – нижня кришка для закріплення плати, на ній будуть кріпитися елементи інтерфейсу користувача, а також на ній буде 2 стійки для закріплення на них ультрафіолетових світлодіодів. Також в цій частині передбачені кріплення з отворами під гвинт M2 для другої середньої кришки.

Для встановлення світлодіодів, роз'єму для живлення та перемикача необхідно спочатку створити отвори для них.

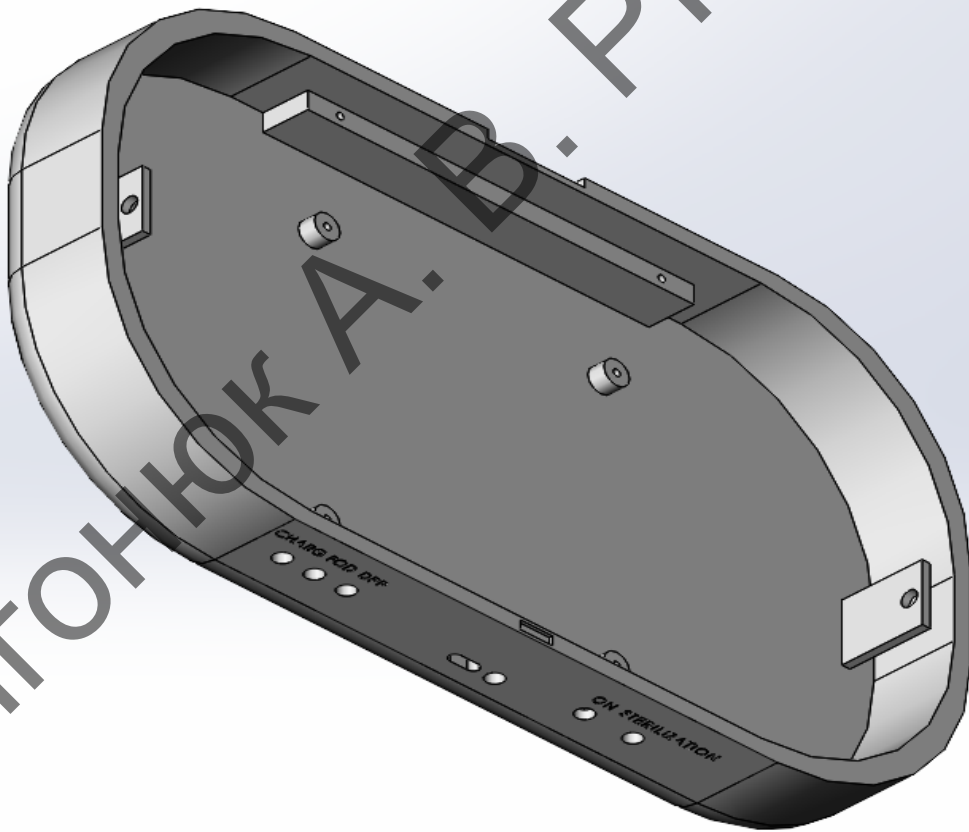


Рисунок 5.1 — Нижня кришка

З верхньої частини середньої кришки буде розташовуватись телефон (або інші речі які підходять за габаритами) для стерилізації, та бездротової зарядки. Середня

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис 46
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

кришка кріпиться до корпусу за допомогою гвинтів M2, та має 2 отвори під стійки нижньої кришки, в які встановлені ультрафіолетові світлодіоди.

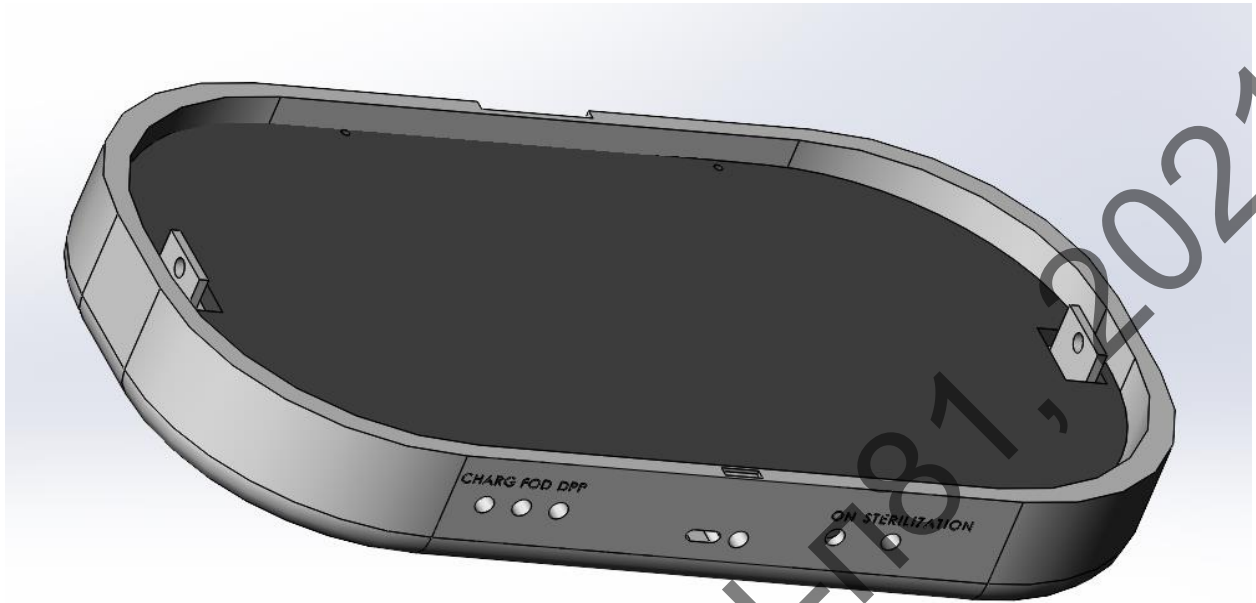


Рисунок 5.2 — Нижня та середня кришки

Плата кріпиться до нижньої кришки за допомогою чотирьох гвинтів M2.

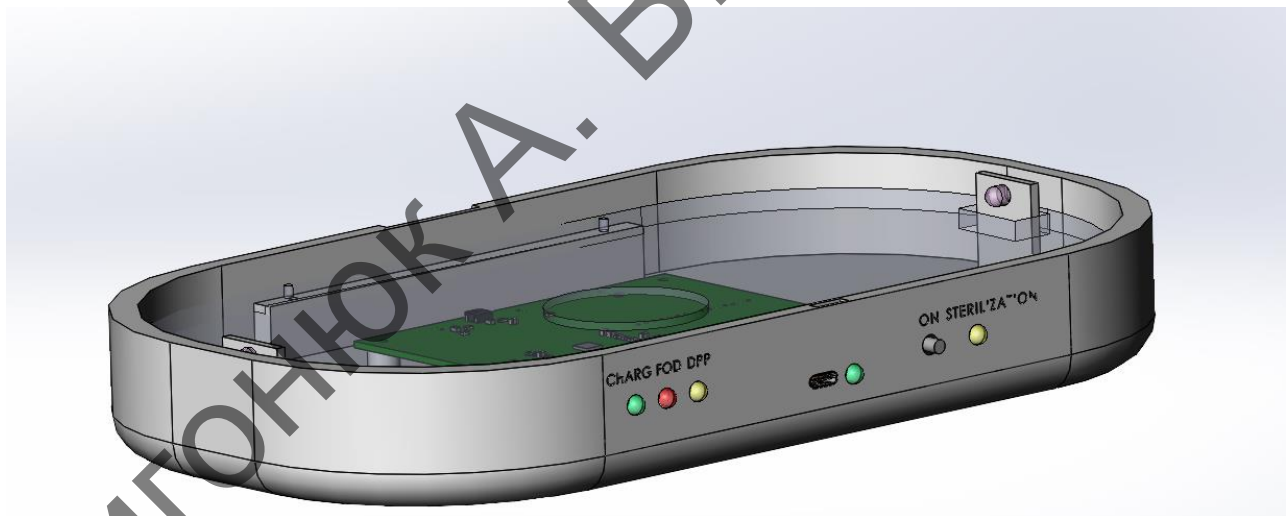


Рисунок 5.3 — Кріплення плати та середня кришка

Нижня кришка закривається верхньою кришкою, яка кріпиться до корпусу, за допомогою стійок, які зображені на рис 5.2, 5.3



Рисунок 5.4 — Стійка для кріплення верхньої кришки

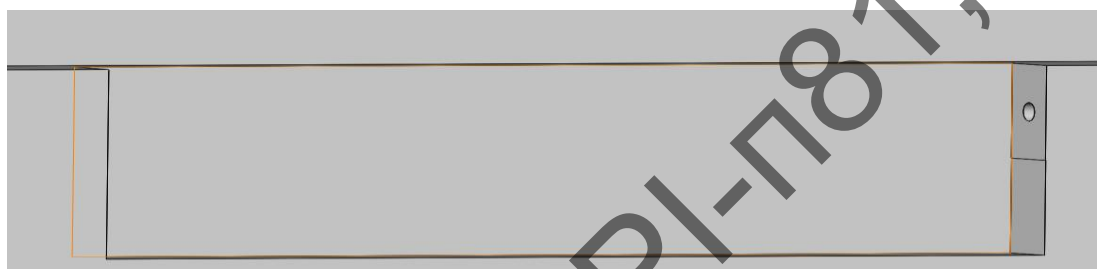


Рисунок 5.5 — Стійка для кріплення верхньої кришки

Верхня кришка та корпус досягають щільного закриття за допомогою засувки.  
Верхня кришка може відкриватись на 90°.

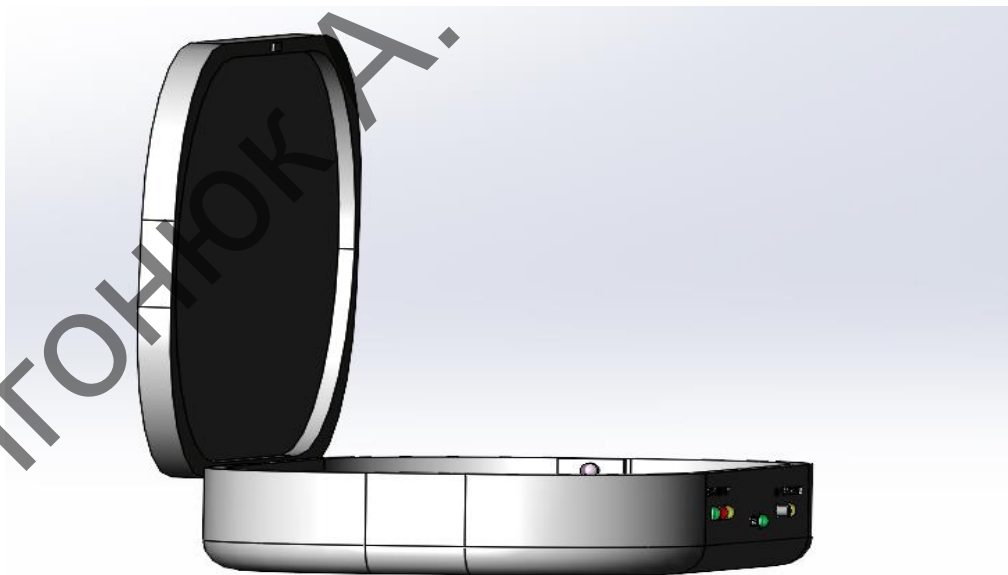


Рисунок 5.6 — Вигляд з боку відкритого пристрою

					РІ-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48

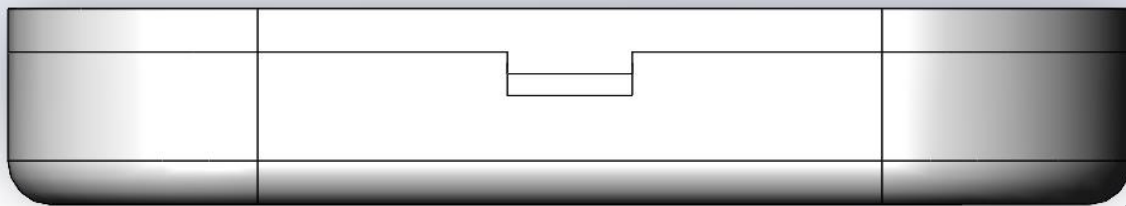


Рисунок 5.7 — Вигляд з тильної сторони

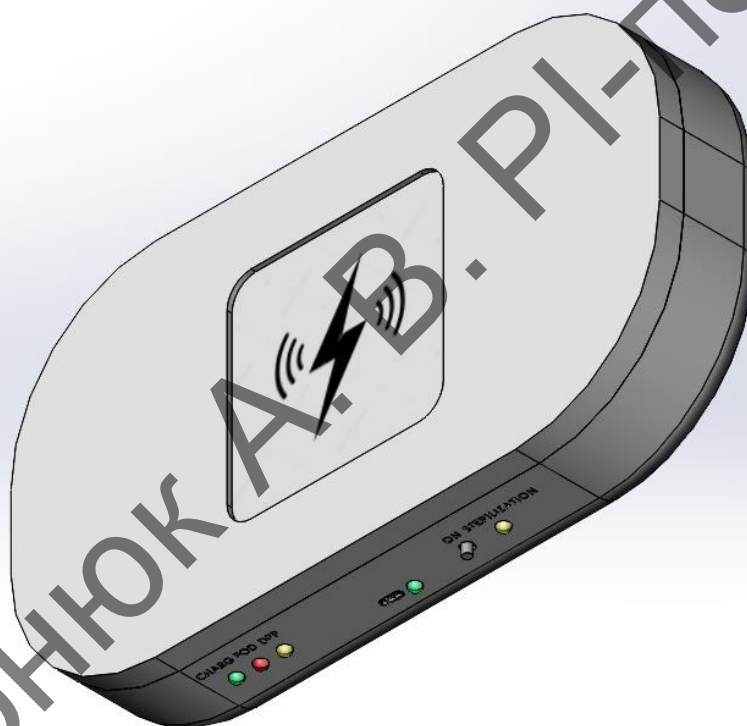


Рисунок 4.8 — Загальний вигляд корпусу

#### 4.2 Висновки до четвертого розділу

Було спроектовано корпус пристрою, за допомогою середовища SolidWorks. Отриманий результат задовольняє вимоги по габаритам із завдання, та складає 270 x 150 x 35 мм. В якості матеріалу для корпусу було обрано PLA пластик, який використовується для 3D друку.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис 49
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рішення кріпити котушку індуктивності до середньої кришки, надає можливість заряджати мобільний телефон всередині пристрою, а отже можна реалізувати одночасну зарядку та стерилізацію пристрою, як було заплановано при синтезі схеми електричної принципової.

Скригонюк А. В. РІ-п81, 2021

					РІ-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		50

## 5 РОЗРАХУНКИ ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРИЛАДУ

При розробці пристрою важливо забезпечити виконання певних функцій при збереженні значень в межах, заданих нормативно технічною документацією при певних умовах експлуатації. Звідси виходить, що потрібно враховувати надійність, механічний та тепловий вплив на пристрій.

### 5.1 Розрахунок надійності

Розрахунок надійності проводимо згідно ДСТУ–2862–94 [20].

Основні показники і характеристики надійності є:

- $P(t)$  – вірогідність безвідмовної роботи;
- $\lambda(t)$  – інтенсивність відмов;
- $T$  – середній час напрацювання до першої відмови;
- $Q(t)$  – вірогідність відмови.

Розрахунок надійності полягає у визначенні показників надійності приладу за відомими характеристиками надійності складових компонентів та умов експлуатації. Дані для розрахунку надійності наведені в табл. 5.1

$$\lambda_{pe} = \lambda_{oe} N_i K_n a_t a_e \quad (5.1)$$

де,  $N_i$  – кількість елементів;  $\lambda_{oe}$  – інтенсивність відмови при нормальних умовах експлуатації (нормальними умовами можна вважати умови максимальної вологості (до 93%), та температури (від 18°C до 40°C);  $K_n$  – коефіцієнт навантаження,  $a_t$  – температурний коефіцієнт;  $a_e$  – коефіцієнт, враховуючий умови експлуатації.

Коефіцієнт навантаження електрорадіоелементів визначається за формулами:

Для мікросхем за формулою:

$$K_n = \frac{\sum^n I = I'_{\text{вх}}}{I_{\text{вих.мах}}} \quad (5.2)$$

					РІ-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

де,  $I_{\text{вих.мах}}$  — максимальний вихідний струм, А;  $I_{\text{вх}}$  — вхідний струм мікросхем, А;  $A_n$  — число навантажених діодів.

Для конденсаторів за формулою:

$$K_n = \frac{U}{U_{\text{доп}}} \quad (5.3)$$

де  $U$  — напруга на обкладках, В.

Для резисторів за формулою:

$$K_n = \frac{P}{P_{\text{доп}}} \quad (5.4)$$

Таблиця 4.1 — Дані для розрахунку надійності

Найменування елементів	$N_i$	$\lambda_{\text{oe}}, \Gamma^{-1}$	$K_n$	$a_t$	$a_e$	$\lambda_{\text{oe}} \cdot N_i \cdot K_n \cdot a_t \cdot a_e$
Резистор 0805	28	$3,3 \cdot 10^{-9}$	0,1	0,45	9	$3,875 \cdot 10^{-8}$
Конденсатор 0805	22	$3,3 \cdot 10^{-9}$	0,1	0,45	10	$3,267 \cdot 10^{-8}$
Транзистори	2	$3,0 \cdot 10^{-9}$	0,05	0,9	9	$2,430 \cdot 10^{-8}$
Мікроконтролер	3	$2,0 \cdot 10^{-9}$	0,25	2	10	$3,000 \cdot 10^{-8}$
Кнопка	1	$2,2 \cdot 10^{-9}$	0,12	1,1	10	$2,904 \cdot 10^{-8}$
Світлодіоди	7	$2,2 \cdot 10^{-9}$	0,05	0,5	10	$3,850 \cdot 10^{-8}$
Звуковипромінювач	1	$2,0 \cdot 10^{-9}$	0,1	0,6	10	$1,200 \cdot 10^{-8}$
Роз'єм	1	$0,3 \cdot 10^{-9}$	0,2	0,45	9	$2,430 \cdot 10^{-8}$
Друкована плата	1	$2,0 \cdot 10^{-9}$	1	1	10	$2,000 \cdot 10^{-8}$

З таблиці 5.1 отримуємо що  $\lambda_{\text{загальне}} = 2,496 \cdot 10^{-7}$ .

Середній час напрацювання на відмову розрахуємо за формулою:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda_{\text{загальне}}} = 4006410 \text{ год} \quad (5.5)$$

Відповідно до отриманих розрахунків час напрацювання на відмову становить 166934 днів безвідмовної роботи приладу.

Вірогідність безвідмовної роботи приладу протягом одного року роботи будемо розраховувати за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\text{рез}} t} = 0,360 \quad (5.6)$$

Вірогідність відмов за 1 рік роботи розраховуємо за формулою:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 0,640 \quad (5.7)$$

Вірогідність безвідмовної роботи приладу протягом п'яти років роботи:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\text{рез}} t} = 0,280 \quad (5.8)$$

З часом роботи пристрою вірогідність безвідмовної роботи зменшується, а вірогідність відмов збільшується. З цього випливає, що чим більший час напрацювання, тим менша вірогідність пристрою без відмов.

## 5.2 Розрахунок віброміцності вузла

Розрахунок віброміцності є одним із найважливіших етапів проєктування пристрою [21].

- габарити плати 100 x 100 мм;
- матеріал плати двосторонній фольгований склотекстоліт FR4;
- товщина плати  $h = 1,6 \cdot 10^{-3}$  м;
- модуль пружності  $E = 3,02 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;
- коефіцієнт Пуассона  $\xi = 0,22$ ;
- густина  $\rho = 2,05 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Циліндрична жорсткість:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \xi^2)} = 10,83 \text{ Н/м} \quad (5.9)$$

Власна частота:

$$\omega_0 = \frac{\varphi(\beta)}{\alpha^2} \sqrt{\frac{D}{m}} \quad (5.10)$$

де  $\beta = a/b$  – коефіцієнт залежний від співвідношення довжини і ширини плати.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		53

Визначаємо значення функції  $\varphi(\beta)$  для кріплення плати в чотирьох точках:

$$\varphi(\beta) = \pi^2 \sqrt{\frac{1 + 1,621 \frac{\xi}{\beta} + \frac{1}{\beta^2}}{1 + 1,621 \frac{1}{\beta^3} + \frac{1}{\beta^6}}} = 7,962 \quad (5.11)$$

Слід прийняти навантаження ЕРЕ на ДП як рівномірно розподілене, а тому можна вважати, що зведена маса буде дорівнювати:

$$m = m_n + m_e \quad (5.12)$$

де  $m_n$  – зведена маса плати,  $m_e$  – зведена маса всіх елементів;

$M = 0,1$  маса встановлених елементів

$$m_n = \rho \cdot h \cdot a \cdot b = 0,033 \text{ кг/м}^2 \quad (5.13)$$

Визначимо приведену масу плати із встановленими елементами.

$$m = \frac{m_n + M}{a \cdot b} = 13,28 \text{ кг} \quad (5.14)$$

Наступним кроком знаходимо власну частоту за формулою (5.10) отримаємо що  $\omega_b = 1998$  рад/с.

Знайдемо резонансну частоту плати:

$$f = \frac{\varphi}{2\pi \cdot a^2} = 114,45 \text{ Гц} \quad (5.15)$$

Отже резонансна частота плати дорівнює 114,45 Гц.

### 5.3 Висновки до п'ятого розділу

У розділі було проведено розрахунки які підтверджують працездатність пристрою, розраховано коефіцієнт навантаження для мікросхем, резисторів та конденсаторів. Також розрахована ймовірність безвідмовної роботи яка склала  $P(t) = 0,360$ , ймовірність відмов за один рік роботи яка склала  $Q(t) = 0,640$ . Також розраховано віброміцність вузла, згідно розрахованих значень власна частота плати приблизно дорівнює  $f_{\text{вл}} = 114$  Гц, що 2 рази перевищує максимальну

частоту вібраційних впливів ( $f = 50$  Гц), це означає, що обраний варіант кріплення плати влаштовує вимоги віброміцності.

Скригонюк А. В. РІ-п81, 2021

## ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз існуючих стерилізаторів для телефону з функцією бездротової зарядки, виявлено їх основні недоліки, висока вартість пристрою, та якщо вартість низка, пристрій має не великий функціонал, який не відповідає сучасним стандартам
2. Синтезовано схему електричну структурну та підібрано елементу базу а саме: резистори, конденсатори, діоди, світлодіоди, транзистори, п'єзоелектричний звуковипромінювач, терморизстор, мікросхеми, роз'єм живлення, котушку індуктивності, та перемикач. Синтезована схему електричну принципову відповідає останнім стандартам Qi по бездротовій передачі енергії. Для реалізації модулю бездротової зарядки за основу було взято 2 мікросхеми (BQ50002A та BQ500511A). Для реалізації блоку стерилізації використано мікроконтролер Arduino–Nano.
3. Обрано метод виготовлення ДП, а саме комбінований позитивний метод. Проведено розрахунки розмірів контактних майданчиків та виводів. Визначено мінімальну площу плати, розміри друкованих провідників та проведено їх трасування в програмному забезпеченні Altium Designer. Визначено мінімальну площу друкованої плати яка складала – 3000 мм<sup>2</sup>, визначено розміри друкованих провідників та проведено їх трасування. Мінімальна ширина провідника склала 0,25 мм, мінімальна відстань між провідниками 0,25, та ширина поясочку 0,10 мм.
4. Проведено розрахунки надійності та віброміцності що підтверджують працездатність пристрою. Ймовірність безвідмовної роботи склала  $P(t) = 0,360$ , ймовірність відмов за один рік роботи яка склала  $Q(t) = 0,640$ . Також розраховано віброміцність вузла, згідно розрахованих значень власна частота плати приблизно дорівнює  $f_{вл} = 114$  Гц, що 2 рази перевищує максимальну частоту вібраційних впливів ( $f = 50$  Гц), це означає, що обраний варіант кріплення плати влаштовує вимоги віброміцності.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис 56
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Виконано тривимірне моделювання приладу в програмному забезпеченні Solidworks та описано конструкцію приладу та місця кріплення компонентів. Отриманий результат задовольняє вимоги по габаритам із завдання, та складає 270 x 150 x 35 мм. Оскільки корпус буде виготовлятися за допомогою 3D друку, в якості матеріалу для корпусу було обрано PLA пластик, оскільки PLA пластик це екологічний пластик, тому його використання, не є загрозою для навколишнього середовища.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Стерилизатор ультрафиолетовый FIVE UV Sterilizer с беспроводной зарядкой для смартфона — Rozetka.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://br.rozetka.com.ua/254766523/p254766523/> — Назва з екрану.
2. Портативный стерилизатор для телефона Portable Phone UV Sanitizer с функцией ароматерапии Белый — Rozetka.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://bt.rozetka.com.ua/223661491/p223661491/> — Назва з екрану.
3. Стерилизатор для мобильного телефона Gelius Pro elius Pro UV Disinfection Box GP-UV001 — Rozetka.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rozetka.com.ua/296454008/p296454008/> — Назва з екрану.
4. Стерилизатор для мобильного телефона с функцией беспроводной зарядки Qitech Wireless Charging Sterilizing Box 4 в 1 White— Rozetka.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://rozetka.com.ua/qitech\\_qt\\_uvs\\_4in1/p265156736/](https://rozetka.com.ua/qitech_qt_uvs_4in1/p265156736/) — Назва з екрану.
5. Беспроводное зарядное устройство ColorWay MagSafe Duo Charger (15W) Black (CW-CHW32Q-BK)— Rozetka.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://rozetka.com.ua/colorway\\_cw\\_chw32q\\_bk/p295712833/](https://rozetka.com.ua/colorway_cw_chw32q_bk/p295712833/) — Назва з екрану.
6. Беспроводное зарядное устройство Xiaomi Mi Wireless Charging Stand 20W WPC02ZM (GDS4145GL) — Rozetka.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://rozetka.com.ua/xiaomi\\_gds4130cn/p265155551/](https://rozetka.com.ua/xiaomi_gds4130cn/p265155551/) — Назва з екрану.
7. Беспроводное зарядное устройство Promate AuraDock-5 10 Вт Black (auradock-5.black)— Rozetka.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://rozetka.com.ua/promate\\_auradock\\_5\\_black/p65352749/](https://rozetka.com.ua/promate_auradock_5_black/p65352749/) — Назва з екрану.

					<i>PI-п81.565141.001 ПЗ</i>	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

8. Беспроводное зарядное устройство Zens Dual Aluminium Wireless Charger + Apple Watch 10W White (ZEDC05W / 00) — Rozetka.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа:  
[https://rozetka.com.ua/qitech\\_zedc05w\\_00/p94889175/](https://rozetka.com.ua/qitech_zedc05w_00/p94889175/) — Назва з екрану.
9. Схема техніка [Электронный ресурс]. — Режим доступа:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/Схема\\_\(техніка\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Схема_(техніка)) — Назва з екрану.
10. Как это работает [Электронный ресурс]. — Режим доступа:  
<https://trashbox.ru/topics/39439/kak-eto-rabotaet-qi> — Назва з екрану.
11. Беспроводная зарядка [Электронный ресурс]. — Режим доступа:  
<https://habr.com/ru/post/397153/> — Назва з екрану.
12. BQ51051B integrated Wireless power Reciever [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.ti.com/product/BQ51051B> — Назва з екрану.
13. BQ50002A Low-Cost 5-V Wireless Pores Transmitter [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.ti.com/product/BQ50002A> — Назва з екрану.
14. BQ500511A Wireless Power Transmitter Controller [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.ti.com/product/BQ500511A> — Назва з екрану.
15. Texas Instruments [Электронный ресурс]. — Режим доступа:  
<https://www.elec.ru/brands/texas-instruments/> — Назва з екрану.
16. BQ500511A datasheet [Электронный ресурс]. — Режим доступа:  
[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq500511a.pdf?ts=1621432230770&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FBQ500511A](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq500511a.pdf?ts=1621432230770&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FBQ500511A) — Назва з екрану.
17. BqTesla Transmitter Coil Vendors [Электронный ресурс]. — Режим доступа:  
<https://www.ti.com/lit/an/slva649g/slva649g.pdf?ts=1622885080339> — Назва з екрану.
18. I<sup>2</sup>C [Электронный ресурс]. — Режим доступа:  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/I<sup>2</sup>C](https://ru.wikipedia.org/wiki/I%C2%82C) — Назва з екрану.
19. Комбінований позитивний метод [Электронный ресурс]. — Режим доступа :  
<http://pcbdesigner.ru/pcb/sposobi-izgotovleniya-pechatnih-plat/kombinirovannye-metody.html> — Назва з екрану.

					PI-п81.565141.001 ПЗ	Лис 59
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

20.ДСТУ 2862-94 [Електронний ресурс]. — Режим доступу:  
[https://budstandart.ua/normativ-document.html?id\\_doc=53946&minregion=852](https://budstandart.ua/normativ-document.html?id_doc=53946&minregion=852) — Назва з екрану.

21.Расчёт печатной платы на виброустойчивость [Електронний ресурс]. —  
Режим доступу:  
[https://studbooks.net/2530668/tovarovedenie/raschyot\\_pechatnoy\\_platy\\_vibroustoychivost](https://studbooks.net/2530668/tovarovedenie/raschyot_pechatnoy_platy_vibroustoychivost) — Назва з екрану.

					РІ-п81.565141.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

# ДОДАТОК А

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки			
	<u>П'єзоелектричний звуковипромінювач</u>					
BZ1	KPM-G1205B	1				
	<u>Конденсатори</u>					
C1	CGA2B3X7R1H104M050B 0,1 мкФ 50 В ± 20%	1				
C2	C0805B222K500NT 2200 пФ 50 В ± 10%	1				
C3	CL21B272KBANNC 2700 пФ 50 В ± 10%	1				
C4	C2012X7R1A106K125AC 10 мкФ 50 В ± 20%	1				
C5	C0805B223K500NT 0,022 мкФ 50 В ± 10%	1				
C6	C0805B102K500NT 1 нФ 50 В ± 10%	1				
C7	0805ZD225KAT2A 2,2 мкФ 10 В ± 10%	1				
C8	CGA2B3X7R1H104M050B 0,1 мкФ 50 В ± 20%	1				
C9	C2012X7R1A106K125AC 10 мкФ 50 В ± 20%	1				
C10-C11	CGA2B3X7R1H104M050B 0,1 мкФ 50 В ± 20%	2				
C12	0805ZD225KAT2A 2,2 мкФ 10 В ± 10%	1				
C13	C0805B474K160N3 0,47 мкФ 10 В ± 10%	1				
C14	C2012X7R1A106K125AC 10 мкФ 50 В ± 20%	1				
C15-C18	CGA2B3X7R1H104M050B 0,1 мкФ 50 В ± 20%	3				
C19-C22	C0805B104J500NT 0,1 мкФ 50В ± 5%	3				
	<u>Мікросхеми</u>					
DA1	Мікросхема BQ50002A	1				
DD1	Мікросхема BQ500511A	1				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			
Дата						
Розробив	Скригонюк А.В.					
Перевірів	Зінгер Я.Л.					
Рецензія						
Н.контроль	Попсуй В.І.					
Затвердив						
PI-п81.565141.001 ПЕ						
Перелік Елементів				Літ.	Арк	Аркушів
					1	3
				НТУУ «КПІ» РТФ		

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Світлодіоди</u>		
HL1, HL2	Світлодіод L512GD	2	
HL3	Світлодіод L833YD	1	
HL4	Світлодіод L132G-NOR	1	
HL6, HL7	Світлодіод OSV6YL56A	2	
	<u>Резистори</u>		
R1	Резистор RC0805FR-100KR-Hitano 100 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R2	Резистор RC0805FR-113KR-Hitano 113 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R3	Резистор RC0805FR-10KR-Hitano 10 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R5	Резистор RC0805FR-113KR-Hitano 113 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R6	Резистор RC0805FR-113KR-Hitano 113 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R6	Резистор RC0805FR-7K5-Hitano 113 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R7	Резистор RC0805JR-1KR-Hitano 1 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R8	Резистор RC0805FR-100KR-Hitano 100 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R9	Резистор RC0805FR-80K6R – Hitano 80,6 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R10	Резистор RC0805FR-69K8R – Hitano 69,8 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R11	Резистор RC0805FR-200KR – Hitano 200 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R12	Резистор RC0805FR-100KR-Hitano 100 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R13	Резистор RC0805FR-499R-Hitano 499 Ом 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R14	Резистор RC0805FR-76K8R-Hitano 76,8 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	1	
R15-R17	Резистор RC0805FR-10KR-Hitano 10 кОм 0,125 Вт $\pm 1\%$	3	
			Арк.
			2
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис
			Дата
PI-п81. 565141.001 ПЕ			

[illegible]

## ДОДАТОК Б. ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ДЛЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА ARDUINO–NANO

```
#define pin_buz A4
```

```
#define pin_out 12
```

```
#define pin_but 3
```

```
#define pin_led 7
```

```
#define TIM_BOTT 100
```

```
#define TIM_BOTT_W 1000
```

```
#define TIMER_1 20
```

```
#define TIMER_2 10
```

```
#define BLINK_DELAY 500
```

```
#define BUZER_DELAY 500
```

```
#define BUZER_CLOCK 7
```

```
boolean finish;
```

```
void setup() {
```

```
    pinMode(pin_led, OUTPUT);
```

```
    pinMode(pin_buz, OUTPUT);
```

```
    pinMode(pin_out, OUTPUT);
```

```
    pinMode(pin_but, INPUT_PULLUP);
```

```
    pinMode(9, OUTPUT);
```

```
    digitalWrite(9, 0);
```

```
    pinMode(11, OUTPUT);
```

```
    digitalWrite(11, 0);
```

```
}
```

```
void loop() {  
    Timer();  
}
```

```
void Timer() {  
    static boolean start_stop;  
    static unsigned long stops;  
    static unsigned long timer;  
    static byte TIMER;  
    byte But = Button();  
  
    if (But != 0 && !finish) start_stop = !start_stop;  
  
    if (But == 1) TIMER = TIMER_1;  
    else if (But == 2) TIMER = TIMER_2;  
  
    if (start_stop) timer = millis() - stops;  
    else stops = millis() - timer;  
  
    if (start_stop && timer >= TIMER * 1000 * 60) {  
        stops = millis();  
        timer = 0;  
        start_stop = 0;  
        finish = 1;  
    }  
  
    if (finish) Buzzer(BUZER_DELAY, BUZER_CLOCK);
```



```
if (But == 1 && finish) {  
    finish = 0;  
    digitalWrite(pin_buz, 0);  
}
```

```
if (!timer && stops > 0) {  
    digitalWrite(pin_led, 0);  
    digitalWrite(pin_out, 0);  
}
```

```
if (timer && start_stop) {  
    digitalWrite(pin_led, 1);  
    digitalWrite(pin_out, 1);  
}
```

```
if (timer && !start_stop) {  
    Blink(BLINK_DELAY);  
    digitalWrite(pin_out, 0);  
}  
}
```

```
void Blink(int wait) {  
    static unsigned long tim_blink;  
  
    if (millis() - tim_blink >= wait) {  
        digitalWrite(pin_led, !digitalRead(pin_led));  
        tim_blink = millis();  
    }  
}
```

```
void Buzer (int wait, int clocks) {
```

```
    static unsigned long tim_buz;
```

```
    static byte cls;
```

```
    if (millis() - tim_buz >= wait * 2) cls = clocks * 2;
```

```
    if (millis() - tim_buz >= wait) {
```

```
        digitalWrite(pin_buz, !digitalRead(pin_buz));
```

```
        tim_buz = millis();
```

```
        cls--;
```

```
    }
```

```
    if (cls == 0) finish = 0;
```

```
}
```

```
byte Button() {
```

```
    static unsigned long tim_but;
```

```
    boolean but = digitalRead(pin_but);
```

```
    static boolean flag;
```

```
    byte out = 0;
```

```
    if (but && !flag) {
```

```
        tim_but = millis();
```

```
    }
```

```
    if (!but && !flag) {
```

```
        if (millis() - tim_but >= TIM_BOTT && millis() - tim_but < TIM_BOTT_W) {
```

```
            flag = 1;
```

```
            out = 1;
```

```
}  
    else if (millis() - tim_but >= TIM_BOTT_W) out = 2;  
}
```

```
if (flag && but) {  
    flag = 0;  
    return out;  
}  
else return 0;  
}
```

Скригонюк А. В. РІ-П81, 2021

## ДОДАТОК В. РОЗРАХУНКИ

Розрахунок ширини друкованих провідників для всіх присутніх у схемі рівнів сигналу

Для сигнальних:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у вузькому місці, мм:

Вибираємо за класом точності-  $t_{minD_S} := 0.25\text{mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення)  $\Delta t_{no_S} := -0.05\text{mm}$

$$t1V_S := t_{minD_S} + |\Delta t_{no_S}| = 0.3\text{-mm}$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності (на один менше)  $t_{minD_S} := 0.45\text{mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення)  $\Delta t_{no_S} := -0.1\text{mm}$

$$t1III_S := t_{minD_S} + |\Delta t_{no_S}| = 0.55\text{-mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом\*мм<sup>2</sup>/м)-  $\rho := 0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

Довжина провідника (м)-  $l_S := 0.060\text{m}$

Товщина фольги (мм)-  $h_S := 35 \cdot 10^{-3} \text{mm}$

Прикладена напруга (В)-  $U_{жив_S} := 5\text{V}$

Максимальний струм (А)-  $I_{max_S} := 0.3\text{A}$

$$t2_S := \frac{l_S \cdot I_{max_S} \cdot \rho}{h_S \cdot U_{жив_S} \cdot 0.03} = 0.06\text{-mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t3 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (А)-  $I_{max_S} := 0.3\text{A}$

Товщина фольги (мм)-  $h_S := 35 \cdot 10^{-3} \text{mm}$

Допустима щільність струму в провіднику(А/мм<sup>2</sup>)-  $j_S := 25 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

$$t3_S := \frac{I_{max_S}}{h_S \cdot j_S} = 0.343\text{-mm}$$

З розрахованих даних обираємо ширину провідників у вузькому та широкому місці, при цьому повинна виконуватись умова:

Для силових:

$$t_{min\_v} \geq \begin{cases} t1V_P & \text{у вузькому місці} \\ t2_P \\ t3_P \end{cases}$$

$$t_{min\_w} \geq \begin{cases} t1III_P & \text{у широкому місці} \\ t2_P \\ t3_P \end{cases}$$

$$t_{min\_vS} := \max(t1V_P, t2_P, t3_P) = 2.286 \cdot \text{mm} \quad t_{min\_wS} := \max(t1III_P, t2_P, t3_P) = 2.286 \cdot \text{mm}$$

Для сигнальних:

$$t_{min\_v} \geq \begin{cases} t1V_S & \text{у вузькому місці} \\ t2_S \\ t3_S \end{cases}$$

$$t_{min\_w} \geq \begin{cases} t1III_S & \text{у широкому місці} \\ t2_S \\ t3_S \end{cases}$$

$$t_{min\_vP} := \max(t1V_S, t2_S, t3_S) = 0.343 \cdot \text{mm} \quad t_{min\_wP} := \max(t1III_S, t2_S, t3_S) = 0.55 \cdot \text{mm}$$

Рекомендована ширина для сигнального провідника  $t_{min\_wP} = 0.55 \cdot \text{mm}$

Рекомендована ширина для силового провідника  $t_{min\_wS} = 2.286 \cdot \text{mm}$

Якщо не можливо провести провідник шириною  $t_{min\_wP} = 0.55 \cdot \text{mm}$  та  $t_{min\_wS} = 2.286 \cdot \text{mm}$

то можна використовувати ширину провідників  $t_{min\_vP} = 0.343 \cdot \text{mm}$  та  $t_{min\_vS} = 2.286 \cdot \text{mm}$

Розрахунок зазорів S між елементами друкованого монтажу:

Найменша номінальна відстань Sm між елементами провідникового рисунку (між двома провідниками)

Мінімально допустима відстань між сусідніми друкованими об'єктами (мм)-  $S_m := 0.25 \text{mm}$

Допуск на ширину провідника (верхнє відхилення) (мм)-  $\Delta t_{bo} := 0.1 \text{mm}$

$$S_{min} := S_m + \Delta t_{bo} = 0.35 \cdot \text{mm}$$

Для силових:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у вузькому місці, мм:

Вибираємо за класом точності-

$$t_{\min D_P} := 0.25 \text{ mm}$$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення)

$$\Delta t_{\text{но } P} := -0.05 \text{ mm}$$

$$t1V_P := t_{\min D_P} + |\Delta t_{\text{но } P}| = 0.3 \cdot \text{mm}$$

ПРИМІТКА: Для завдань підвищеної складності - клас точності 3, для завдань звичайної складності - клас точності 2.

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності-

$$t_{\min D_P} := 0.45 \text{ mm}$$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення)

$$\Delta t_{\text{но } P} := -0.1 \text{ mm}$$

$$t1III_P := t_{\min D_P} + |\Delta t_{\text{но } P}| = 0.55 \cdot \text{mm}$$

ПРИМІТКА: Для завдань підвищеної складності - клас точності 2, для завдань звичайної складності - клас точності 1.

Мінімально допустиму ширину провідника t2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом\*мм<sup>2</sup>/м)-

$$\rho := 0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Довжина провідника (м)-

$$l_P := 0.060 \text{ m}$$

Товщина фольги (мм)-

$$h_P := 35 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Прикладена напруга (В)-

$$U_{\text{жив } P} := 5 \text{ V}$$

Максимальний струм (А)-

$$I_{\max P} := 2 \text{ A}$$

$$t2_P := \frac{l_P \cdot I_{\max P} \cdot \rho}{h_P \cdot U_{\text{жив } P} \cdot 0.03} = 0.4 \cdot \text{mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t3 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (мА)-

$$I_{\max P} := 2 \text{ A}$$

Товщина фольги (мм)-

$$h_P := 35 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Допустима щільність струму в провіднику (А/мм<sup>2</sup>)-

$$j_P := 25 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$t3_P := \frac{I_{\max P}}{h_P \cdot j_P} = 2.286 \cdot \text{mm}$$