

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

«На правах рукопису»
УДК 621.318.434.1

До захисту допущено:

В.о. зав. кафедри

 Євгеній НЕЛІН

« » 20 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

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

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Бездротовий портативний зарядний пристрій»

Виконав:

студент 2 курсу, групи РІ-91мп

Макаренко Владислав Сергійович

Керівник:

Доцент, к.т.н. Шульга Аліна Вікторівна

Рецензент:

Доцент, к.т.н. каф.РОС Лашевська Наталія Олександрівна

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент 

Київ – 2020 року

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

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

Е.Нелін Євгеній НЕЛІН

«02» вересня 2020 р.

ЗАВДАННЯ

**на магістерську дисертацію студента
Макаренка Владислава Сергійовича**

1. Тема дисертації «Бездротовий портативний зарядний пристрій»
науковий керівник дисертації Шульга Аліна Вікторівна доцент, к.т.н.
затверджені наказом по університету від «5» листопада 2020 р. №3223-с
(Для групи РІ-391 від 5 листопада 2020 р. №3222-с)
2. Термін подання студентом дисертації 11 грудня 2020 року
3. Об'єкт дослідження: Бездротовий портативний зарядний пристрій

4. Вихідні дані: Qi стандарт, котушка індуктивності, конструкція простої форми.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Розглянути ціни, об'єм акумуляторів та функції аналогів зарядних пристроїв на ринку. Розробити портативний бездротовий зарядний пристрій, розрахувати його надійність та провести термосимуляцію
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:
Мультимедійна презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Дата видачі завдання 02 вересня 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	02.09.2019-30.10.2019	виконано
2	Огляд типів бездротової зарядки	31.10.2019-01.01.2020	виконано
3	Вибір батареї	02.01.2020-01.06.2020	виконано
4	Вибір котушки індуктивності	02.06.2020-01.08.2020	виконано
5	Розробка моделі у ANSYS WORKBENCH	02.08.2020-01.10.2020	виконано
6	Стартап проєкт	02.10.2020-11.12.2020	виконано
	Остаточне оформлення дисертації	11.12.2020-18.12.2020	виконано

Студент

Владислав МАКАРЕНКО

Науковий керівник

Аліна ШУЛЬГА

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Бездротовий портативний зарядний пристрій» містить 82 сторінок, 33 рисунки, 23 таблиці, 11 бібліографічних посилань.

Актуальність роботи полягає в тому, щоб за рахунок зміни функціональних параметрів безпроводних зарядних пристроїв зменшити їхню вартість та правильно підібрати комплектуючі, що в свою чергу призведе до зросту їхньої доступності серед користувачів.

Метою роботи є розширення функціоналу, спрощення та зменшення вартості бездротового портативного зарядного пристрою.

Призначення дисертації — модифікація зарядного пристрою під бездротовий зарядний пристрій та дослідження його характеристик.

Об'єкт дослідження — бездротовий портативний зарядний пристрій.

Предмет дослідження — конструкція, функціонал та характеристики пристрою.

Створений пристрій рекомендований для живлення будь-якого смартфона, або пристрою з напругою живлення 5В, який має приймач Qi стандарту.

Ключові слова: бездротовий портативний зарядний пристрій, PowerBank, Qi стандарт, котушка індуктивності, зарядний пристрій.

ABSTRACT

The master's dissertation on the topic "Wireless portable charger" contains 82 pages, 33 figures, 23 tables, 11 bibliographic references.

The urgency of the work is to reduce their cost by changing the functional parameters of wireless chargers, and to choose the right components, which in turn will increase their availability among users.

The aim is to expand the functionality, simplify and reduce the cost of a wireless portable charger.

The purpose of the dissertation is to modify the charger for a wireless charger and study its characteristics.

The object of study is a wireless portable charger.

The subject of research is the design, functionality and characteristics of the device.

The created device is recommended for powering any smartphone or device with a supply voltage of 5V, which has a *Qi* standard receiver.

Keywords: wireless portable charger, PowerBank, *Qi* standard, inductor, charger.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до магістерської дисертації**

«Бездротовий портативний зарядний пристрій»

Макаренко В.С. РГ 91 МП, 2020

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	6
ВСТУП	7
1 Огляд існуючих рішень	8
1.1 Огляд та аналіз аналогів на ринку.....	9
1.1.1 Xiaomi Mi Power Bank 3	10
1.1.2 Xiaomi Mi Wireless Charger.....	11
1.1.3 Samsung 10000 mAh	12
1.1.4 Gelius Pro Edge 20000 mAh	13
2 Огляд типів бездротової зарядки.....	16
2.1 Проблеми різних способів бездротової зарядки.....	16
2.2 ККД бездротової зарядки	16
2.3 Порівняння ККД різних способів бездротової передачі енергії	21
3 Вибір батареї.....	24
3.1 Графенові акумулятори для електромобілів і електроніки	24
3.2 Зарядка акумулятора.....	26
3.3 Захищена індуктивна зарядка	27
4 Вибір котушки індуктивності	29
4.1 Архітектура бездротової зарядки	29
4.1.1 Конструкція котушки	30
4.1.2 WPT з'єднання.....	32
4.1.3 Виявлення сторонніх предметів (FOD)	33
4.2 Порівняння та вибір котушки	33
4.3 Параметри, які розглядаються	37

	5
4.3.1 Котушки приймача і його резонансна частота	37
4.3.2 Котушки передавача і його резонансна частота	38
4.4 Коефіцієнт трансформації	39
4.4.1 Осцилограма	42
4.4.2 Струми в коливальному контурі	43
4.4.3 Внесений імпеданс	44
5 Розробка моделі у ANSYS WORKBENCH	47
5.1 Експорт плати з AltiumDesigner	47
5.2 Робота в середовищі ANSYS WORKBENCH	49
5.3 Розрахунок надійності друкованого вузла	51
6 Стартап проект	54
6.1 Інформаційна карта проекту	54
6.2 Ідея проекту	58
6.3 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	64
6.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	67
Висновки	77
Перелік джерел посилань	78

Макаренко В.С. РІ-91МП, 2020

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

DC — direct current (постійний струм);

ДП — друкована плата;

ДВ — друкований вузол

ККД — коефіцієнт корисної дії;

РЕА — радіоелектронна апаратура;

LED — light-emitting diode

WPID — 48-бітове число, яке однозначно ідентифікує *Qi*-сумісний пристрій;

PID — пропорційний інтегральний диференціал

USB — універсальна послідовна шина

MPPT (maximum power point tracking) — спосіб використовується для отримання максимальної можливої потужності на виході фотомодулів, електричних генераторів вітроустановок, електричних генераторів зі змінною швидкістю обертання і крутний момент, електродвигунів, що працюють в режимі рекуперативного гальмування.

PET (polyethylene terephthalate) — пластик для підвищення ударостійкості

Qi — стандарт, розроблений *WPC* для бездротової, індуктивної передачі енергії на відстані до 4 см

LCD — liquid crystal display

DHC — Dynamic Harmonization Control

WPC — Wireless Power Consortium

САПР — система автоматизованого проектування.

РЕЗ — радіоелектронних засобів.

IoT — internet of things.

WPT — Wireless Power Transmission

FOD — foreign object detection

СКЗ — середньоквадратичне значення

ВСТУП

З розвитком технологій, у людей з'являються нові потреби. Вже сьогодні світ переходить на новий стандарт передачі енергії, наприклад більшість компаній показала рендери своїх мобільних телефонів, які взагалі не мають роз'ємів. До того ж, щоб не брати з собою кабель зарядки можна використовувати портативний зарядний пристрій з можливістю бездротової передачі енергії. Це дуже зручно і в плані економії місця і для легкості користування.

Всі бездротові зарядні пристрої використовують Qi — стандарт, який розроблений *WPC* для бездротової, індуктивної передачі енергії на відстані до 4 см (1.6 дюймів). Типова система стандарту Qi складається з енергопередавача та приймача, вбудованого в портативний пристрій. Для використання такої системи мобільний апарат, який потрібно зарядити і який містить в собі Qi -приймач, кладуть зверху на пристрій у вигляді підкладки або підставки з інтегрованим Qi -передавачем.

Основою в зарядних пристроях є *DC-DC* перетворювачі. Лінійні зарядні пристрої мають коефіцієнт корисної дії (ККД), який не перевищує 50% і відносно великі габарити та масу. Тому останнім часом все ширше використовуються імпульсні джерела живлення. ККД таких пристроїв досягає 98%, а габаритні розміри в кілька разів менші ніж у лінійних. Саме тому проектування зарядного пристрою краще проводити на основі імпульсних перетворювачів.

***DC-DC* перетворювачі** — це імпульсні перетворювачі однієї постійної напруги в іншу (імпульсні джерела живлення, *DC-DC* конвертори). *DC-DC* перетворювач відноситься до пристроїв високочастотної мікроелектроніки і може бути використаний як для зарядки пристроїв (девайсів), так і для їх безпосереднього живлення [1].

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Зростаюча популярність Qi стандарту пов'язана з тим, що не потрібно використовувати дроти, а також це збільшує ресурс як роз'єму, так і дроту. Передача енергії базується на принципі електромагнітної індукції між пласкими котушками передавача і приймача.

Система складається з двох компонентів:

Базова станція — ініціює процес і передає енергію у вигляді коливань магнітного поля через передавальну котушку.

Мобільний пристрій — відповідає на запити базової станції і приймає енергію через котушку приймача.

В цілому, система схожа на трансформатор струму. Для ефективної передачі електричної енергії, котушка базової станції і приймальна котушка мобільного пристрою мають розташовуватись на невеликій відстані. Зазвичай форма котушок пласка.

Частота змінного струму в системах Qi [2] для низької потужності — 110-205 kHz, та 80-300 kHz — для середньої потужності.

ККД Qi систем може досягати 80%. Через неточне позиціонування пристроїв або збільшену відстань між пристроями реальна ефективність ближча до 60%.

Одним з основних напрямків розвитку модулів $DC-DC$ [3] перетворювачів є збільшення діапазону входних напруг. Модулі живлення з розширеним діапазоном активно використовуються в пристроях промислової автоматики, охоронних системах, вимірювальної техніки і побутових електронних пристроях. Однак найкращим чином їх переваги розкриваються в складі джерел живлення автомобільних та телекомунікаційних пристроїв, а також в розробках авіаційного, залізничного та космічного призначення, що проектується на основі жорстких вимог галузевих стандартів. Вони практично незамінні при виробництві апаратури, яка повинна зберігати працездатність і забезпечувати довготривалу надійність при значних

відхиленнях зовнішньої напруги живлення від норми та при надзвичайно високому рівні імпульсних перешкод.

1.1 Огляд та аналіз аналогів на ринку

Бездротова зарядка для побутових мобільних електронних пристроїв набула широкого поширення і була реалізована в декількох варіантах, кожен з яких пропонує свій набір переваг. На жаль, різні системи бездротової зарядки не сумісні один з одним, тому розробникам, які планують використовувати в своїх виробках технології бездротової зарядки, необхідно вивчити переваги і недоліки всіх існуючих стандартів. Основним критерієм вибору системи бездротової зарядки є компроміс між ефективністю передачі енергії і перевагами, пропонованими користувачам. Однак відсутність єдиної галузевої методики вимірювання ефективності не дозволяє оцінити переваги і недоліки основних варіантів бездротової зарядки.

Основні характеристики систем бездротової зарядки, що використовують для передачі енергії змінне магнітне поле, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Основні характеристики систем бездротової зарядки

Конфігурація котушок	Стандарти, які підтримуються	Робоча частота, кГц	Структура антени	Переваги*
Резонансна (слабозв'язана)	<i>Resence</i>	6780	Периметральна	Збільшена відстань по осі Z
	<i>Qi</i>	105	Планарна матриця котушок або	Декілька приладів
Індуктивна (сильнозв'язана)	<i>Qi</i>	110 ~ 205	Планарна матриця котушок або	Високий ККД
	<i>PMA</i>	200 ~ 300		Приваблива ціна

* - В даний час на ринку відсутні пристрої, що працюють за стандартом Rezence. Заявлені переваги представлені на основі матеріалів, опублікованих у відкритій пресі.

Проаналізувавши конфігурації та стандарти виникла ідея створити портативний зарядний пристрій з підтримкою Qi стандарту на індуктивній конфігурації, яка матиме високий ККД, резонансна не сильно підходить для портативного пристрою, так як матиме великі габарити. Резонансна конфігурація більш підходить для бездротових зарядних пристроїв у вигляді док-станції, які простіше використовувати в домашніх умовах. В той час як індуктивну можливо встановити в портативний зарядний пристрій, навіть не збільшивши (помітно) габаритних розмірів.

Тому необхідно розглянути існуючі рішення

1.1.1 *Xiaomi Mi Power Bank 3*

На рисунку 1.1 зображений *Xiaomi Mi Power Bank 3* [4].



Рисунок 1.1 — Портативний зарядний пристрій ТМ «*Xiaomi*» *Mi Power Bank 3 10000 mAh*

Основні параметри:

— ємність акумулятора 10000 мАгод;

- індикація про стан акумуляторів виводиться на діоди;
- має 2 роз'єми для зарядки типу *Micro-USB* та *USB Type-C*;
- вихідний струм 2.4/2/1.5 А.

Xiaomi Mi 3 20000 mAh Fast Charge White має 2 роз'єми *USB*, 1 порт *Type-C* і 1 *micro-USB*. Це дозволить заряджати відразу кілька пристроїв, не вибираючи, яке з них важливіше. Крім цього, зовнішній акумулятор підтримує функцію швидкої зарядки, яка значно заощадить ваш час.

Цей зарядний пристрій має металевий корпус, що робить його більш жорстким. Також є плюсом наявність двох вихідних роз'ємів з досить великим вихідним струмом. Але індикація не інформативна, а також даний пристрій не має бездротової зарядки.

1.1.2 *Xiaomi Mi Wireless Charger*

Наступний зарядний пристрій *Xiaomi Mi Wireless Charger* зображений на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 — Портативний зарядний пристрій ТМ «*Xiaomi*» *Mi Wireless Charger*

Основні параметри цього пристрою:

- Ємність акумуляторів 10000 мА год;
- Індикація про стан акумуляторів здійснена у вигляді чотирьох індикаторів;
- Має 2 роз'єми для заряду типу *Micro-USB* та *USB Type-C*;
- Вихідний струм 1.5/2.0/3.0 А.

Зарядний пристрій схожий на попередній, але має модуль бездротової зарядки. Він також не має екранного індикатора заряду, та робить на літій-іонних акумуляторах, які складно замінити.

1.1.3 *Samsung 10000 mAh*

Бездротовий пристрій *Samsung 10000 mAh* зображений на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Портативний зарядний пристрій ТМ «*Samsung*» 10000 mAh

Основні параметри:

- Ємність акумуляторів 10000 мА год;
- Індикація про стан акумуляторів виводиться на світлодіоди.
- Функція бездротової зарядки;
- 1 роз'єм для заряду типу *USB Type-C*.

Даний пристрій має бездротову зарядку, але має лише 1 роз'єм *USB Type-C*. Функція бездротової зарядки збереже кабелі та роз'єм від поломок.

1.1.4 *Gelius Pro Edge 20000 mAh*

Портативний зарядний пристрій *Gelius Pro Edge 20000 mAh* [5] зображений на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Портативний зарядний пристрій ТМ «*Gelius*» 20000 mAh

Основні параметри:

- Ємність акумуляторів 20000 мАгод;
- Індикація про стан акумуляторів виводиться на *LED*-екран;
- 3 роз'єми для заряду типу *USBx2* та *USB Type-C*.

Даний пристрій не має бездротової зарядки, але має 3 роз'єми для зарядки, а також зручний екран, за допомогою якого можна контролювати скільки заряду залишилося.

В таблиці 1.2 представлений аналіз вищеперерахованих зарядних пристроїв.

Таблиця 1.2 Порівняльний аналіз зарядних пристроїв

Назва	Ціна, грн	Вага, г	Індикація	Роз'єми живлення	Наявність <i>Qi</i>	Ємність акумулятора, мАг
<i>Xiaomi Mi Power Bank 3</i>	479	250	Світлодіоди	<i>USBx1 + USB Type- C</i>	-	10000
<i>Xiaomi Mi Wireless Charger</i>	800	303	Світлодіоди	<i>USBx1 + USB Type- C</i>	+	10000
<i>Samsung 10000 mAh</i>	1600	251	Світлодіоди	<i>USB Type- C</i>	+	10000
<i>Gelius Pro Edge</i>	700	280	LED екран	<i>USBx2 USB Type- C x1</i>	-	20000

Аналіз характеристик та цін на портативні зарядні пристрої показав, що більшість пристроїв мають схожі характеристики, але за рахунок бренду бувають дорожчі. Майже у всіх наведених приладів використовуються Літій-іонні акумулятори, які складні в заміні, так як припаяні до роз'ємів, та не завжди відповідають заявленій ємності. Бездротова зарядка на сьогоднішній

день стає обов'язковою функцією для нових смартфонів, які не мають роз'ємів, а також для телефонів, у яких проблеми з роз'ємами або дротами.

Портативні зарядні пристрої можна поділити на декілька видів, а саме: великі пристрої з великим об'ємом акумулятора, який дає змогу навіть завести автомобіль, та портативні пристрої для звичайних повсякденних гаджетів.

Виходячи з огляду аналогів, було прийнято рішення розробити зарядний пристрій, який матиме міцний та легкий пластиковий корпус, матиме *LCD* екран, який вказуватиме заряд акумуляторів у відсотках, кнопку *ON/OFF*, два вихідних роз'єми з вихідним струмом 2,1 А, чотири акумулятори типорозміру 18650, сумарною ємністю до 10 А год, модуль бездротової зарядки протоколу *Qi* потужністю 15 Вт. Пристрій буде зручний у користуванні та матиме відносно низьку собівартість.

Макаренко В.С. РІ-91МП 2020

2 ОГЛЯД ТИПІВ БЕЗДРОТОВОЇ ЗАРЯДКИ

Більшість бездротових зарядних пристроїв випускається в конфігурації з сильнозв'язаними котушками. Класичним прикладом такої системи є смартфон, встановлений в бездротову зарядну підставку на робочому столі. Конфігурація з сильнозв'язаними котушками забезпечує максимальний ККД, мінімальний рівень перешкодоємисії і мінімальну вартість.

У слабкозв'язаних конфігураціях передавач встановлюється на поверхні панелі, стільниці або інших частинах меблів, при цьому пристрій, який заряджається може розташовуватися десь поблизу від передавача. Слабкозв'язані конфігурації можуть вбудовуватися в готові меблі і охоплюють 5 ... 10% обсягу продажів бездротових зарядних пристроїв. Їх основною перевагою є більша відстань до пристрою, який заряджається. Це досягається за рахунок меншого ККД і більшої вартості. Недоліком слабкозв'язаних конфігурацій з високою робочою частотою є також проблема забезпечення відповідності нормам перешкодоємисії.

2.1 Проблеми різних способів бездротової зарядки

Одна з проблем, пов'язаних з отриманням придатних для практики даних про ефективність різних способів бездротової зарядки, полягає у відсутності узгодженої методики вимірювань. Ефективність передачі енергії від котушки до котушки або від входу до виходу перетворювача постійного струму не дозволяють оцінити загальний ККД системи. Наприклад, Сильнозв'язані (нерезонансні) і слабкозв'язані (резонансні) системи можуть забезпечити ефективність передачі енергії понад 90%. Однак ці дані можуть ввести в оману, тому що висока ефективність передачі енергії не означає, що і загальний ККД системи складає 90%.

2.2 ККД бездротової зарядки

При вимірах з навантаженням, підключеного до виходу випрямляча бездротового приймача (рис. 2.1, вихід А), також можна отримати високі

значення ефективності передачі енергії в навантаження (понад 85% в сильнозв'язаних і 75% в слабкозв'язаних системах). Але і ці дані не можуть розглядатися як характеристика загального ККД системи. Більш точним показником реальної ефективності є результати вимірювань на виході стабілізатора напруги (рисунок 2.1, вихід В), проте його вихідна напруга і опір навантаження необхідно вибирати з урахуванням імітації циклу зарядки акумулятора (рис. 2.1, вихід С).

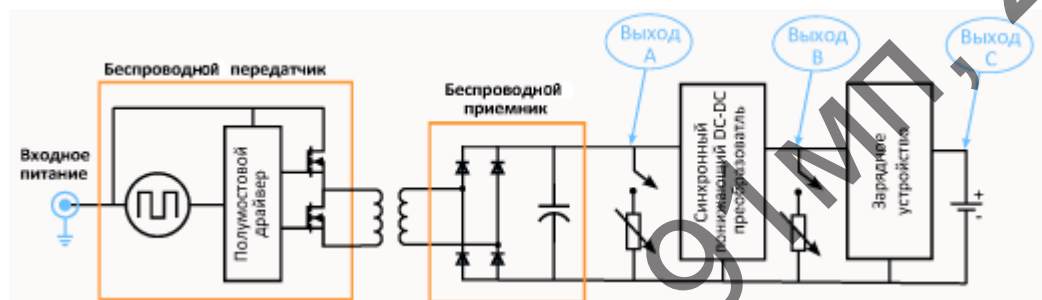


Рисунок 2.1 – Схема вимірювання ККД системи бездротової зарядки

Консорціум бездротового живлення (*Wireless Power Consortium, WPC*), який розробив перший у світі стандарт бездротової зарядки під назвою *Qi*, провів вимір ККД двох типів бездротових зарядних пристроїв: слабкозв'язаної системи з котушками, працюючими в резонансі на частоті 6,78 МГц, і сильнозв'язаної нерезонансна системи з частотою комутації 110...205 кГц. В обох випадках використовувалася типова система зарядки акумулятора мобільного телефону. У стабілізаторі напруги і зарядному пристрої використовувалися імпульсні перетворювачі постійної напруги, в якості яких були обрані кращі в своєму класі пристрої з ККД більше 90%. Для імітації характеристик навантаження була розроблена модель акумулятора ємністю 2100 мАг, що описує процес його заряду (рис. 2.2) [6].

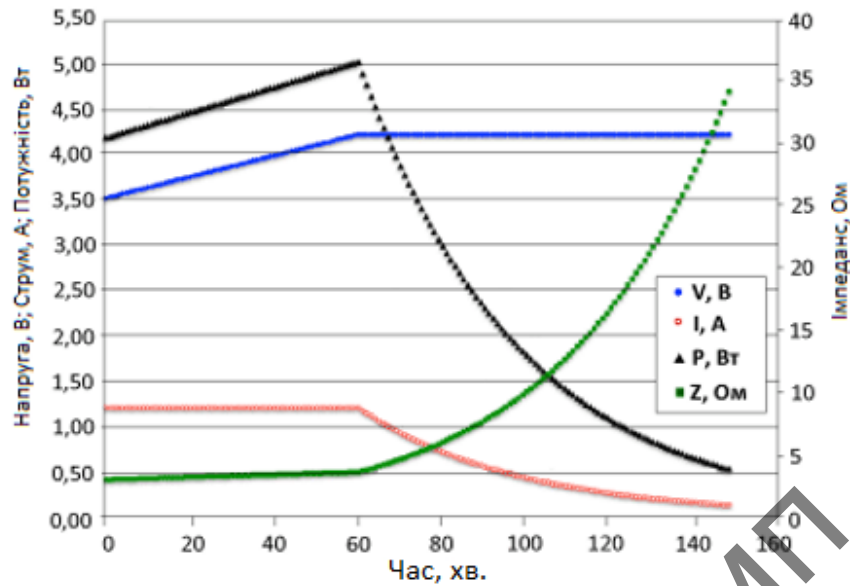


Рисунок 2.2 – Графік заряду літій-іонного акумулятора ємністю 2100 мАг

Оскільки конструкція зарядних систем допускає установку користувачем приймальні частини (телефону) довільним чином, випробування включали в себе побудову трикоординатної просторової карти ефективності передачі енергії. В обох випадках приймач розташовувався оптимальним чином в площині X-Y з відстанню між котушками 5 мм по осі Z. Вимірювання ККД проводилися протягом типового циклу заряду акумулятора (від 5 до 95%). Результати досліджень (рис. 2.3а та рис.2.3б) стали основою методики точної оцінки ККД бездротової зарядної системи.

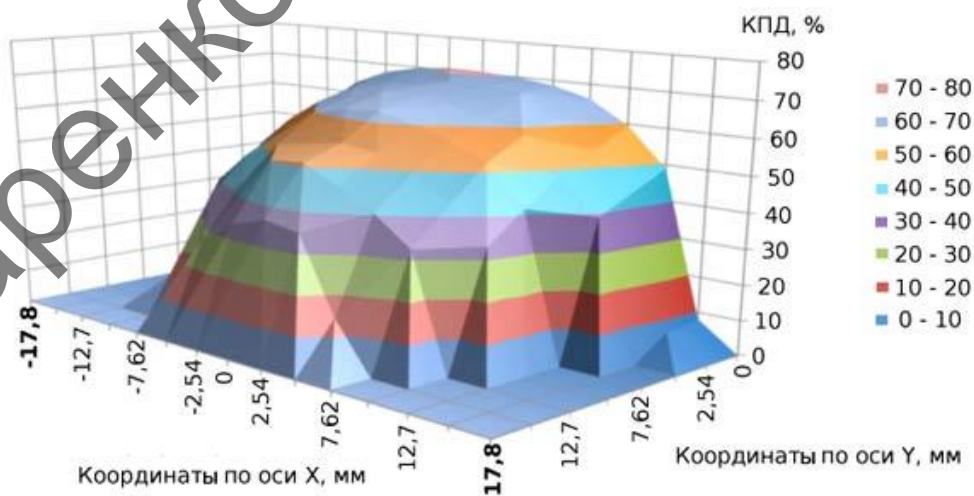


Рисунок 2.3а – 3D-моделювання ефективності передачі енергії бездротового зарядного пристрою для сильнозв'язаних котушок

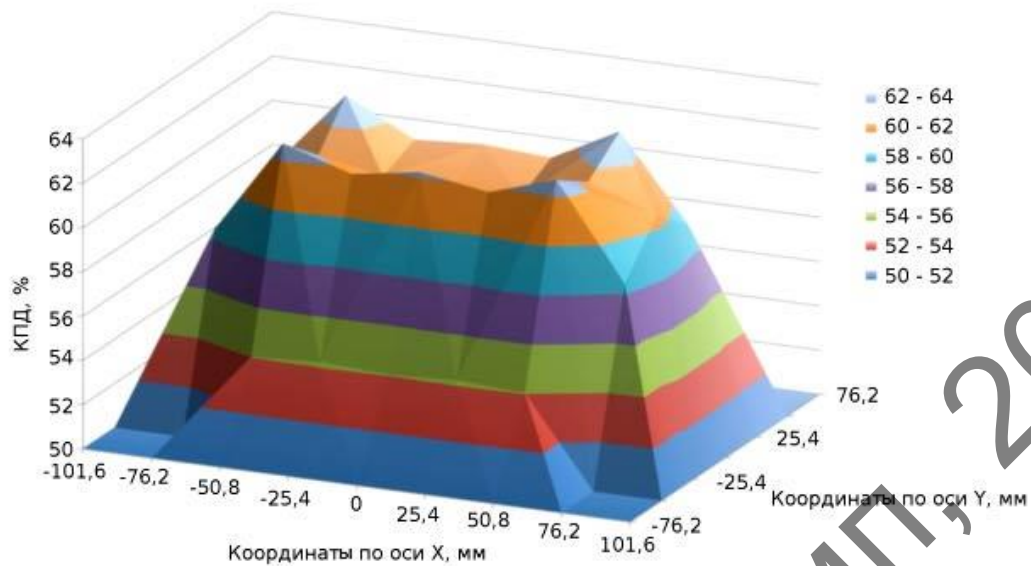


Рисунок 2.36 – 3D-модельювання ефективності передачі енергії бездротового зарядного пристрою для слабозв'язаних котушок

За результатами випробувань було запропоновано, по-перше, розраховувати ККД системи в реальних умовах експлуатації як відношення енергії, накопиченої акумулятором, до енергії, отриманої передавачем протягом циклу заряду батареї. При живленні резистивного навантаження від бездротового приймача можна досягти високих показників енергоефективності - в деяких випадках більше 90% для низькочастотних систем. Однак результати випробувань показують, що загальний ККД може значно знизитися, якщо приймач є частиною зарядного пристрою акумулятора, особливо в високочастотних системах.

Зменшення ефективності передачі енергії обумовлено двома основними причинами:

- високочастотна система вимагає відносно високого імпедансу прийомної антени. Діапазон вихідних напруг приймача зміщує усереднений за часом вхідний імпеданс імпульсного стабілізатора в робочу точку, де ефективність передачі енергії значно нижче;

- значні комутаційні втрати в вихідних транзисторах високочастотних передавачів.

Також було запропоновано представляти результати вимірювання ефективності передачі енергії у вигляді усередненого просторового показника. З урахуванням карти розподілу магнітного потоку тестованого передавача ККД системи може значно змінюватися в залежності від розташування пристрою, який заряджається на поверхні або в просторі. Для імітації реальних умов експлуатації вимір ККД необхідно проводити з кроком 2 мм по всьому профілю навантаження. При використанні значень напруги і імпедансу, відповідної моделі акумулятора, можна розрахувати загальну енергію циклу заряду для будь-якої точки простору.

За результатами випробувань було запропоновано оптимальний спосіб розрахунку повної енергії протягом циклу заряду. Навантажувальна характеристика акумулятора описує зміну в часі напруги на акумуляторі $V_B(t)$ і струму заряду $I_B(t)$ протягом циклу зарядки. Енергію E_B , отриману акумулятором, можна обчислити таким чином: в момент часу t циклу заряду приріст енергії акумулятора дорівнює добутку потужності P на інтервал часу dt (формула 2.1) [7]:

$$dE_B(t) = P(t)dt = V_B(t)I_B(t)dt. \quad (2.1)$$

Отже, енергія, яка надходить в акумулятор протягом циклу заряду, є інтегралом від потужності, який, при розрахунку по дискретним інтервалах часу, можна замінити простим підсумовуванням (формула 2.2):

$$E_B(t) = \int_{cycle} dE_B(t) = \int_{cycle} V_B(t)I(t)dt = \sum_n V_B(t_n)\Delta t, \quad (2.2)$$

де Δt - крок збільшення, а t_n - діапазон часу протягом циклу заряду.

У наведених розрахунках Δt становило одну хвилину, а t_n (час заряду) встановлювалося програмно від 1 до 150 хв. Аналогічним чином можна використовувати залежність ККД від струму заряду акумулятора $\eta(I_B)$ для розрахунку частки енергії dE_S , витраченої передавачем для збільшення енергії акумулятора на величину dE_B , як функції струму заряду акумулятора (формула 2.3):

$$dE_s(t) = \frac{dE_B(t)}{\eta(I_B(t))} = \frac{V_B(t)I_B(t)}{\eta(I_B(t))} dt. \quad (2.3)$$

Таким чином, ККД циклу заряду визначається за формулою 2.4:

$$\eta_{cycle} = \frac{E_B}{E_S} = \frac{\sum_n V_B(t_n)I_B(t_n)\Delta t}{\sum_n [V_B(t_n)I_B(t_n)/\eta(I_B(t_n))]\Delta t} \quad (2.4)$$

2.3 Порівняння ККД різних способів бездротової передачі енергії

Перша з розроблених систем, сильнозв'язана система Qi, була орієнтована на отримання максимального ККД при мінімальній вартості. Цей варіант зарядки найбільш часто застосовується в тих випадках, коли передавач і приймач можна розташувати в безпосередній близькості один від одного, наприклад, в тумбочках з вбудованим зарядним пристроєм, настільних зарядних панелях і станціях для зарядки телефонів в громадських місцях.

Системи бездротової зарядки із збільшеною відстанню між приймачем і передавачем можуть бути реалізовані за рахунок деякого зниження ефективності передачі енергії. Типовим прикладом таких систем є зарядні пристрої, що вбудовуються в готову мебель. Консорціум WPC надає OEM-виробникам повну свободу вибору найбільш підходящого для них варіанту бездротової зарядки за умови повної сумісності між пристроями, що працюють за стандартом Qi.

При використанні методики розрахунку ефективності протягом зарядного циклу можна побудувати графік залежності повної енергії від часу протягом циклу заряду акумулятора для різних точок в зоні зарядки або в просторовій області зарядки. Як видно з графіків на рисунку 2.4, протягом циклу заряду акумулятора ємністю 2100 мАгод сильнозв'язана система витратила на 50% менше енергії джерела живлення, ніж слабозв'язана система.

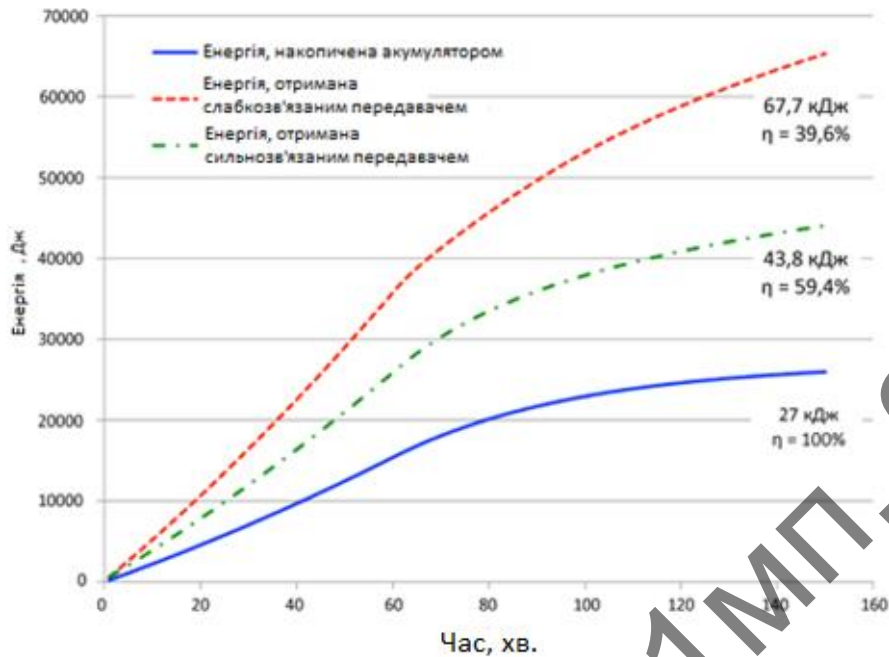


Рисунок 2.4 Графік залежностей енергій від часу

Втрати в слабозв'язаних високочастотних і сильнозв'язаних низькочастотних системах визначаються різними факторами. У слабозв'язаній системі висока робоча частота призводить до значних комутаційних втрат в передавачі (більше 800 мВт), незважаючи на використання в вихідному каскаді нітрид-галієвих транзисторів і переключення їх в нулі напруги. Очевидною перевагою слабозв'язаної резонансної системи є те, що втрати при передачі енергії залишаються порівняно малими навіть при зміщенні котушок на відстань до 20 мм.

Іншим суттєвим фактором втрат є проблема відбору енергії в точці максимальної потужності (MPPT). Характерний імпеданс слабозв'язаної прийомної антени (приблизно 24 Ом) не відповідає імпедансу акумулятора (3,5...32 Ома). Більшість систем оптимізує точку відбору потужності для максимального навантаження (4,2 В, 1,2 А, 3,5 Ом), однак на повну енергію заряду впливає також тривалий за часом заряд при малому навантаженні і, відповідно, з більш високим опором.

Як впливає з графіків на рис. 2.5, сильнозв'язані системи забезпечують більш високий ККД, ніж слабкозв'язані.

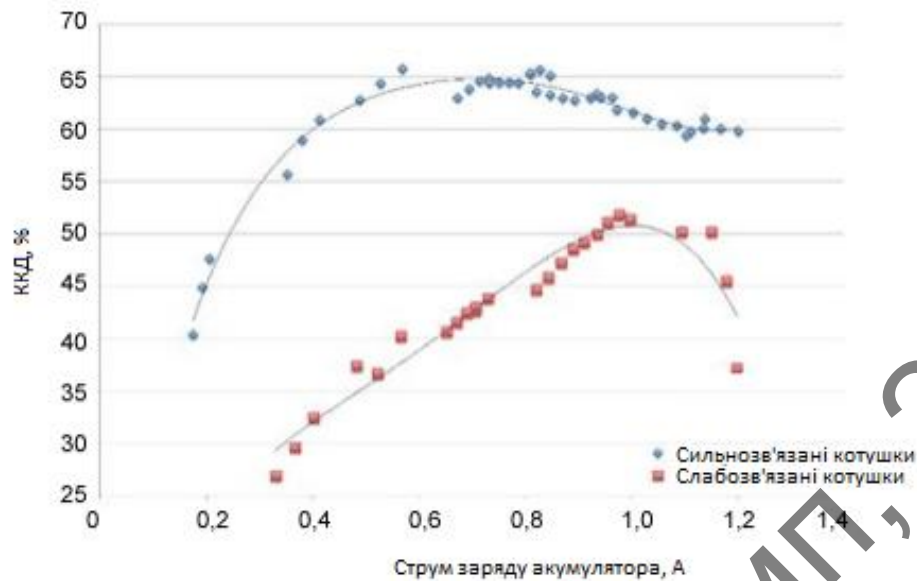


Рисунок 2.5 – Порівняння ККД бездротових систем зарядки з сильнозв'язаною і слабозв'язаною котушками

Висновки

Грунтуючись на реальних даних, слід сказати, що менш ефективну високочастотну слабозв'язану систему недоцільно використовувати в тих випадках, коли можна обійтися сильнозв'язаною. І навпаки, може виявитися доцільним допустити деяке зниження ККД для збільшення відстані по осі Z. Тому специфікація бездротового зарядного пристрою, яка відповідає всім вимогам ринку, повинна підтримувати як сильно-, так і слабозв'язані конфігурації.

3 ВИБІР БАТАРЕЇ

Вибір батареї для даного вузла бездротового зарядного пристрою або конструкції, що носяться, є складним. Серед важливих факторів є:

- скільки часу передбачається, що пристрій працюватиме з однією батареєю;
- вибір між різними хімічними речовинами первинної та вторинної батареї;
- номінальна і гранична напруги електроніки;
- профіль споживання енергії/струму, максимальний імпульсний струм і частота.

Цей розділ поширених запитань зосереджується на доступних варіантах акумуляторів та технологіях зарядки для бездротових вузлів *IoT* та пристроїв, які можна носити з собою. Застосування суперконденсаторів та/або збирання енергії не включається в цю дискусію. У деяких конструкціях суперконденсатори використовуються для задоволення потреб в імпульсному живленні при одночасному використанні менших батарей.

3.1 Графенові акумулятори для електромобілів і електроніки

Так як батареї на основі літію поліпшуються повільно і важко, вчені і стартапи почали експерименти по модифікації або заміні літій-іонних акумуляторів за допомогою нових технологій.

Графен вважається одним з найбільш перспективних матеріалів в електроніці за рахунок високої теплопровідності, рухливості електронів і екологічності.

Графенові акумулятори за рахунок підвищеної активності заряджених частинок можуть бути більшої місткості, ніж літєві. Наприклад, питома ємність літій-іонного акумулятора близько 200 Вт на годину на 1 кг ваги, у графенового акумулятора такої ж ваги -1000 Вт на годину.

За допомогою графена можна поліпшити ємність і швидкість заряду літій-іонних батарей. Наприклад, вчені замінили графіт, який використовується в якості анода, на графен (поєднання кремнію і графена), що збільшує обсяг акумулятора для міського транспорту на 20%.

З 2017 роки над графеновим акумулятором для смартфонів працює *Samsung*: інженери змогли за допомогою графенових елементів в катоді і аноді збільшити ємність літій-іонних батарей на 45%, а швидкість зарядки в п'ять разів.

У січні 2020 року стартап *Real Graphene* на CES 2020 представив графеновий акумулятор (рис. 3.1) на основі літій-іонного. Інженери додали в звичайний акумулятор графеновий шар і змішали літій з графеном. [8]

В результаті час зарядки акумулятора на 3000 мАг (наприклад, в *iPhone 11* 3110 мАг) скоротилося до 20 хвилин на зарядці потужністю 60 Вт, а термін життя виріс з 300-500 до 1500 циклів.



Рисунок 3.1 – Графеновий акумулятор *Real Graphene*

Версія пристрою на 10 тисяч мАг вартістю \$ 85, блок живлення на 100 Вт - \$ 15.

Одна з основних проблем графена – його штучне синтезування призводить до високої вартості виробництва (\$ 67-200 тисяч за тонну чистого

матеріалу). Тому дослідники прагнуть знайти нові способи його видобутку: наприклад, за допомогою екстракту кори евкаліпта або нагріванням провідних матеріалів зі сміття.

Втім, ціна на графен швидко падає у світі розвитку технології і виробництва: у 2010 році вартість графена розміром з поштову марку становила десятки тисяч доларів.

3.2 Зарядка акумулятора

BQ25125 від *Texas Instruments* є прикладом високо інтегрованого управління зарядом батареї ІС для літій-іонні / літій-полімерних батарей, які використовують найпоширеніші функції для пристроїв, які носяться з собою: лінійність зарядного пристрою, регульований вихід, перемикач навантаження, ручне скидання з таймером і монітор напруги акумулятора. Інтегрований перетворювач - це високоефективний комутатор з низьким коефіцієнтом інтелекту з використанням *DCS-Control* (*DCS* - це пряме управління з плавним переходом в режим економії енергії), який збільшує ефективність легкого навантаження до струмів навантаження 10 мкА. *BQ25125* призначений для використання в різних сферах застосування, включаючи:

- Розумні годинники та інші пристрої, які можна носити з собою;
- Фітнес-аксесуари;
- Медичні аксесуари для моніторингу здоров'я;
- Акумуляторні іграшки;
- Бездротова гарнітура (*TWS*);
- Пристрої, що заряджаються без дроту.

Для користувачів літій-титанатних акумуляторів нещодавно компанія *Torex Semiconductor Ltd.* Розробила мікросхеми регулятора зарядки *XC6240* та мікросхеми контролю напруги батареї *XC6140*, спеціалізовані для батарей, сумісних із зарядкою з постійною напругою. Обидва ці продукти доступні з

компактними низькопрофільними пакетами (XC6240:USPN-4, USP-6B06/XC6140: USPQ-4B05), а також SSOT-24, що дозволяє їх встановлювати в пристрої, які вимагають менші розміри або нижчі профілі у різноманітних додатках.

3.3 Захищена індуктивна зарядка

Infineon Technologies розширила своє сімейство продуктів *OPTIGA*™ *Trust* спеціальним рішенням для захищеної індуктивної зарядки. Нова *OPTIGA Trust Charge* (рис. 3.2) – це перше вбудоване рішення в галузі безпеки, яке можна використовувати для стандарту бездротової зарядки *Qi*. Він розрахований на зарядні пристрої для невеликих персональних електронних пристроїв, таких як смартфони, навушники, планшети, пристрої, які можна носити з собою, або медичні пристрої з потужністю зарядки до 15 Вт.

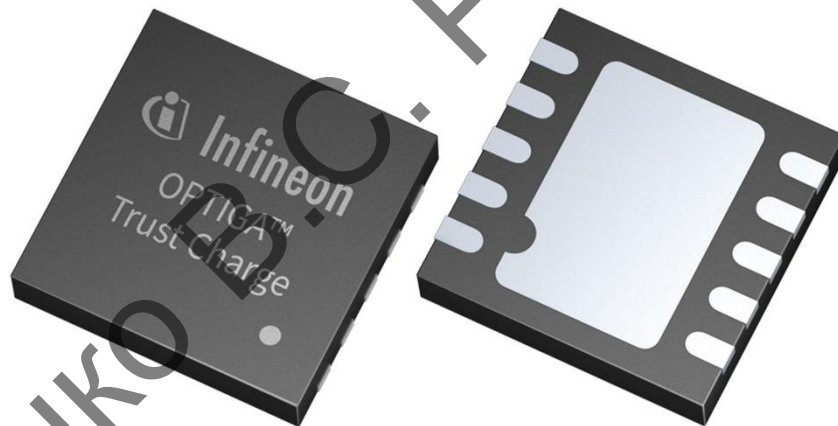


Рисунок 3.2 – *OPTIGA Trust Charge*

OPTIGA Trust Charge поставляється в упаковці *USON10-2* (3 × 3 мм) та оптимізований для невеликих пристроїв.

Хоча бездротова зарядка зручна, однак, неточне джерело живлення може завдати шкоди терміну служби акумулятора портативного пристрою, а в гіршому випадку і користувачеві. Аутентифікація пристрою за допомогою *OPTIGA Trust Charge* допомагає запобігти пошкодженню споживчих

пристроїв небезпечними, підробленими зарядними пристроями та захищає бренди споживачів від проблем з репутацією.

Консорціум бездротового живлення (*WPC*) видає стандарт *Qi* і відповідно тестує та сертифікує пристрої. Нова версія 1.3 цього стандарту вимагає надійної криптографічної автентифікації для бездротових зарядних пристроїв. Бездротовий зарядний пристрій може автентифікуватися на зарядному пристрої та довести, що він сертифікований *Qi* 1.3 і тільки тоді пристрій буде заряджено максимальною потужністю.

Отже, живлення бездротових вузлів *IoT* та пристроїв, які можна носити з собою є досить актуальним питанням сьогодні і попит на них зростає кожного дня, тому правильно підібраний стандарт та захист дає їм змогу ефективніше працювати.

Макаренко В.С. РІ-91МГ 2020

4 ВИБІР КОТУШКИ ІНДУКТИВНОСТІ

Індукція, яка використовується для зарядки телефону заснована на явищі відкритому Фарадеєм – якщо струм тече через котушку, він генерує електромагнітне поле навколо неї. Простіше кажучи цей принцип працює в обох напрямках. Воно працює як трансформатор в тому, що первинна обмотка знаходиться в зарядному пристрої, а вторинна – в смартфоні (рис. 4.1)

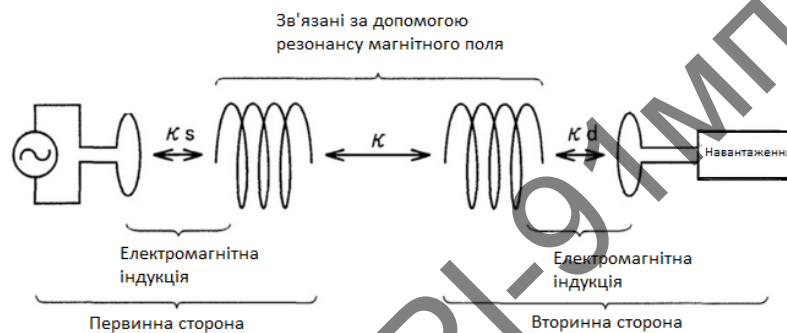


Рисунок 4.1 – Принцип роботи резонансу магнітного поля

Тобто, якщо ми помістимо котушку в змінне електромагнітне поле, то отримаємо змінну напругу на її виходах. Начебто на вигляд просто, але це питання потребує більш широкого вивчення.

4.1 Архітектура бездротової зарядки

Незалежно від обраного стандарту індуктивна бездротова система складається з двох частин – зарядної станції або подушечки, що містить схеми станції і первинну котушку і пристрої зарядки, які містять вторинну котушку і пов'язані з нею схеми. (рис. 4.2)

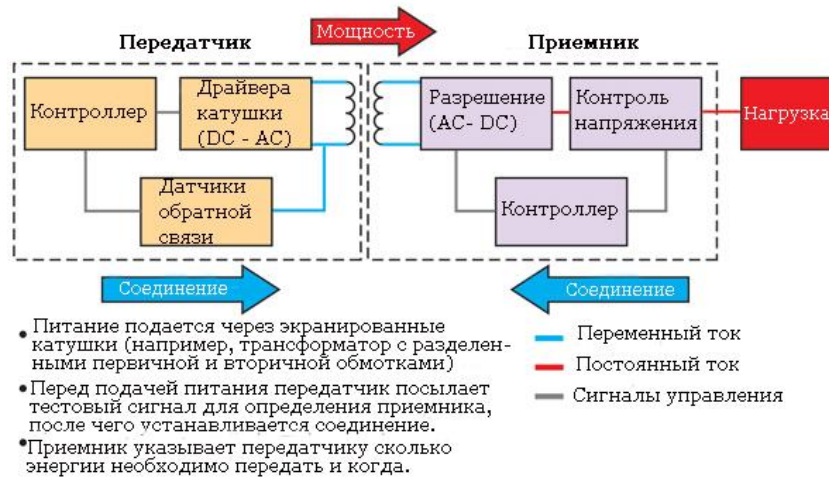


Рисунок 4.2 – Принцип роботи безпроводного пристрою [9]

Під час роботи передавач знаходиться в режимі низького енергоспоживання (режим «сну») більшу частину часу та періодично «прокидається» для перевірки наявності приймача. Якщо вторинна котушка виявлена, передавач запитує авторизацію від приймача. Після успішної авторизації починається процес зарядки. Якщо вторинна котушка була виявлена, передавач знову переходить в режим «сну». Вторинна сторона зберігає повний контроль над процесом передачі енергії використовуючи пакети зв'язку.

4.1.1 Конструкція котушки

Стандарт WPC вимагає вибору передавальної котушки, яка повинна відповідати точній специфікації для необхідної вхідної напруги - 5 В, 12 В або 19 В. Котушка A5, наприклад, представляє собою 5 В; 6,3 мкГн, це котушка з 10 витками дроту, круглим поперечним перерізом і магнітом всередині (рис. 4.3):



Рисунок 4.3 – Котушки

Нові конструкції прагнуть до котушок A11, з дуже схожою конструкцією, але без магніту всередині. Рішення з декількома котушками, такими як A6, збільшує доступну область зарядки, але при цьому зростає кількість витрачених матеріалів і вартість пристрою, так як кожній котушці необхідний окремий драйвер.

Котушки передавачів і приймачів, як правило, виготовляють з літцендрата, що складається з безлічі ізольованих проводів намотаних за певною схемою, для мінімізації скін-ефекту і ефекту близькості. Для більш потужних пристроїв котушку встановлюють на аркуші фериту. Виробники передавачів і приймачів часто надають списки рекомендованих котушок для використання з їхньою продукцією.

Для досягнення максимального потягосцеплення котушки приймача і передавача повинні мати однакові розміри. Котушка приймача, як правило, більш складна. Вона повинна бути дуже тонка і при цьому витримувати вібрації, удари і інші фізичні дії на пристрій. Наприклад, *Würth Elektronik* складається з п'яти шарів:

- Провід літцендрата;
- Клейка стрічка;
- Шар *PET* (*polyethylene terephalate*) пластика для підвищення ударостійкості;

- Феритовий лист;
- Клейкий шар для кріплення до пристрою.

4.1.2 WPT з'єднання

Приймач (вторинна сторона) контролює кількість потужності, що передається передавачем (первинна сторона). Вторинна сторона обмінюється даними з первинною шляхом зміни навантаження.

Можливо два варіанти. Зміна резистивного навантаження змінює амплітуду напруги передавача, а ємнісна зміна навантаження призводить до зміщення сигналу в часі (рис. 4.4)

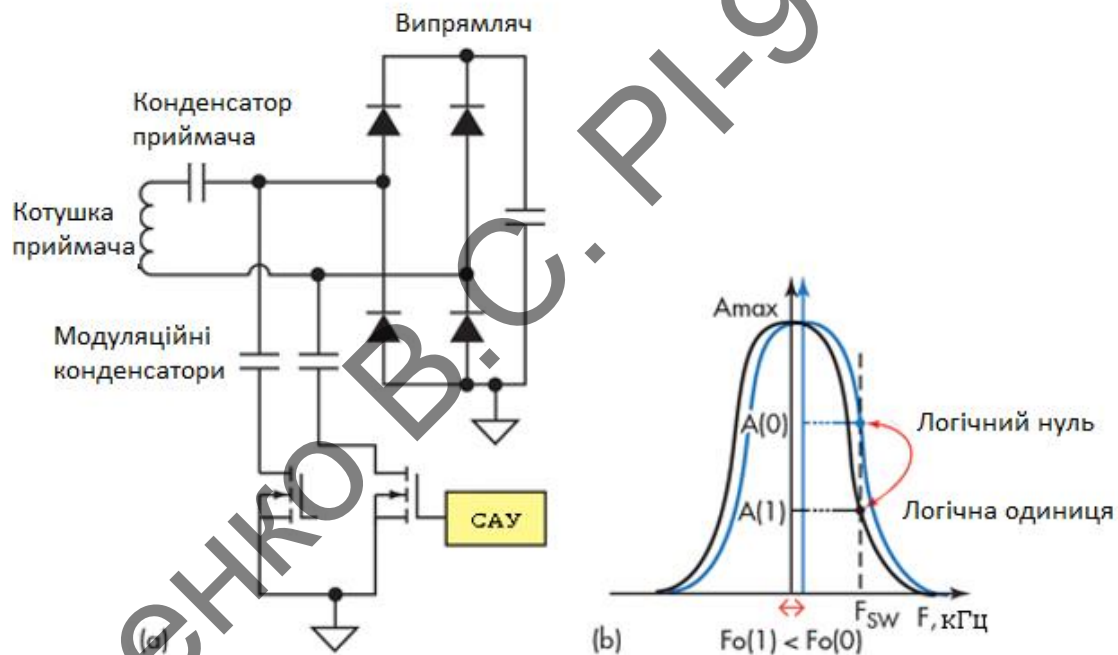


Рисунок 4.4 – Перемикання в ємнісний навантаження (а), ефект зміщення амплітуди щодо нульової точки (b)

Стандарт Qi визначає швидкість передачі даних в 2 кб/с з біфазним бітовим кодуванням. Різноманітність комунікаційних пакетів визначені для функцій, таких як ідентифікація і аутентифікація, виявлення помилок, контроль, споживання енергії, кінець зарядки і ефективність.

4.1.3 Виявлення сторонніх предметів (*FOD*)

Будь-який металевий предмет, наприклад ключ або монета, який знаходиться між первинною і вторинною котушками, поглинає частину електромагнітного поля. Це знижує ефективність передачі енергії, а також предмет може нагріватися і створювати загрозу пожежної безпеки.

Індуктивна система WPC виявляє сторонній предмет шляхом порівняння відданої передавачем потужності до прийнятої приймачем. Якщо втрата потужності перевищує допустиму, передавач знижує передачі потужності або зовсім припиняє передачу і повідомляє про помилку в систему управління.

Так звані «родинні метали», такі як металеві частини смартфонів, також можуть поглинати енергію при передачі. Слідуючи з цього можна зробити висновок, що для кожного окремого випадку необхідно проводити калібрування до впровадження у виробництво для того, щоб визначити нормальний рівень втрати потужності.

FOD вимагає специфікацію WPC v1.1 або вище.

4.2 Порівняння та вибір котушки

Компанія *Würth Elektronik eiSos* є членом консорціуму по бездротовій передачі енергії WPC (*Wireless Power Consortium*) і альянсу по системам бездротового живлення A4WP (*Alliance for Wireless Power*), в даний час відомого як *Rezence*. Компанія займається самостійною розробкою конструкції різних котушок для бездротових приймачів і передавачів, які повністю сумісні стандартом *Qi*. На рис.4.5 і 4.6 показані приклади декількох передавальних і приймальних котушок компанії для бездротових рішень в області систем живлення. Нижче наведені типи котушок від *Würth Elektronik eiSos* для приймача і передавача, які були використані в цьому дослідженні:

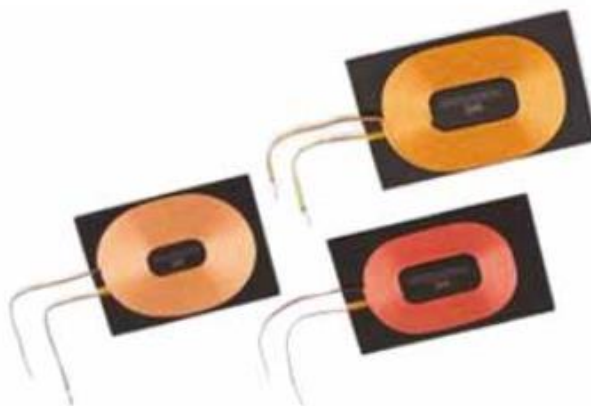


Рисунок 4.5 – Котушки для приймача



Рисунок 4.6 – Котушки для передавача

Котушки для передавача:

1.760 308 111;

2.760 308 110;

3.760 308 104 113;

4.760 308 101 302.

Котушки для приймача:

1.760 308 201;

2.760 308 101 303.

Для даного дослідження було обрано контролер бездротового зарядного пристрою *LTC4120*, який являє собою приймач бездротового зарядного пристрою на струм 400мА з підвищуючим імпульсним перетворювачем на

одному чіпі. Контролер *LTC4120* приймача використовується в складі демонстраційної плати *DC1967A*, що входить в комплект *DC1969A*. Резонансна частота коливального контуру приймача становить 127 кГц при узгодженості налаштування і 140кГц при його неузгодженості. Демонстраційна плата приймача *DC1967A* показана на рис.4.7.



Рисунок 4.7 – Демонстраційна плата приймача *DC1967A*

Технічні особливості контролера *LTC4120*:

- Динамічне узгодження управління *DHC* (*Dynamic Harmonization Control*) оптимізує роботу бездротового зарядного пристрою в широкому діапазоні зміни коефіцієнта зв'язку з контурною котушкою передавача;
- Широкий діапазон вхідної напруги: від 4,3 до 40В;
- Регульована напруга холостого ходу: від 3,5 до 11В;
- Струм заряду батареї від 50 до 400 мА, програмується за допомогою лише одного резистора:
 - точність напруги зворотного зв'язку $\pm 1\%$;
 - точність програмування струму заряду 5%;
 - відсутність феритового сердечника в котушці.

Бездротовий передавач у вигляді демонстраційної плати *DC1968A* (рис.5.7), що входить в комплект *DC1969A*, є базовим передавачем, який в своїй схемі використовує не синхронізований мультивібратор з частотою коливань, яка визначається резонансною частотою коливального контуру, котушка якого збуджується від джерела струму. Частота коливань встановлена

130кГц. Проте ця частота буде змінюватися в залежності від навантаження, якою є коливальний контур приймача, і коефіцієнта зв'язку між котушками приймача і передавача. Існує ще один варіант передавача виробництва компанії *PowerbyProxi, Ltd.* Він має додаткову перевагу у вигляді автоматичного виявлення зовнішніх сторонніх об'єктів, наприклад монет або інших металевих предметів, і низькою власною споживаною потужністю в режимі очікування.

Функція *DHC*, реалізована в контролері *LTC4120*, здійснює управління частотою резонансного контуру приймача, видаляючи або наближаючи її до резонансної частоти передавача. Вона заснована на потужності, необхідній для батареї (навантаження). Коли зв'язок між передавальною і приймальною котушками висока, то для того, щоб обмежити передачу потужності, частота резонансу приймача буде скоригована в бік її видалення від частоти передавача. А коли зв'язок між передавальною і приймальною котушками мала, то частота резонансу приймача буде коригуватися таким чином, щоб збільшити прийом потужності від передавача. Важливо відзначити, що контролер на мікросхемі *LTC4120* забезпечує гальванічну розв'язку без використання будь-яких сердечників, як це характерно для звичайних трансформаторів з індуктивним зв'язком.

Технічні характеристики котушок передавача наведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Основні технічні характеристики котушок

Номер котушки	Індуктивність, мкГн	Опір по постійному струму, мОм	Добротн ість, Q	Типорозмір	Робочий струм, А, при 40С
760 308 111	6,3	17	80	5353	13
760 308 110	24	7	180	5353	6
760 308 104 113	12	60	120	6052	6
760 308 101 302	5,3	33	100	50	6

4.3 Параметри, які розглядаються

Зупинимося, перш за все, на особливостях функціонування та можливості контролера бездротового зарядного пристрою *LTC4120*, а також на технічних характеристиках котушок. Вище ми перерахували котушки, які використовуються в бездротових передавачах і приймачах, які використовуються в складі плат *DC1968A* [9] і *DC1967A*, відповідно. В одному з розділів вище ми коротко згадали функції і особливості цих демонстраційних плат. Зауважимо, що для забезпечення гарного синусоїдального сигналу передавача його котушка збуджується від джерела струму. Як впливає з специфікації для контролера *LTC4120*, ідеальним співвідношенням при виборі значень індуктивностей *LX* (котушка передавача) і *LR* (котушка приймача) є співставлення 1:3. Однак значення індуктивності можна підібрати так, що котушка не опиниться занадто великою (при використанні дуже малої місткості конденсатора на стороні передавача), а струм в передавальному контурі - не надто великий (при дуже невеликій індуктивності на первинній стороні). Для правильного вибору резонансних котушок індуктивності і конденсаторів застосовується зворотний аналіз.

4.3.1 Котушки приймача і його резонансна частота

У котушки приймального контуру, яка використовується в оціночному комплекті *DC1969A*, індуктивність дорівнює 47 мкГн. Вона являє собою вбудовану чотиришарову плату з феритовою основою. Характеристики котушки від компанії *Würth Elektronik eiSos* набагато перевершують параметри котушок, виконаних у вигляді провідників друкованої плати. Наприклад, деякі характеристики котушки 760308101303, яка забезпечує значно більшу ефективність. [10] Частота коливального контуру приймача змінюється зі 127 на 142 кГц. В налаштованому стані резонансна частота F_t визначається ємностями двох конденсаторів *C2P* і *C2S*, а при відбудові контуру його резонансна частота F_d залежить тільки від ємності конденсатора *C2S*:

$$F_t \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{L_R(C2P+C2S)}},$$

$$F_d \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{L_R C2S}}. \quad (4.1)$$

4.3.2 Котушки передавача і його резонансна частота

Вибравши котушку приймача з індуктивністю 47 мкГн, розрахуємо індуктивність котушки для передавача, виходячи з того, що співвідношення витків дорівнює 1:3 відповідно до рекомендації з технічного опису і з LTC4120:

$$n = \frac{n_R}{n_X} = \sqrt{\frac{L_R}{L_X}}, \quad (4.2)$$

$$3^2 = 9 = \frac{47 \text{ мкГн}}{L_X},$$

$$L_X = 5,2 \text{ мкГн}.$$

Цій умові задовольняє котушка 760308101302 від *Würth Elektronik eiSos* з індуктивністю 5,3 мкГн. Робочий струм котушки: 6А; Опір по постійному струму: 33 мОм; Добротність: 100. В такому випадку резонансна частота дорівнює:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_X C_X}} = 130 \text{ кГц}. \quad (4.3)$$

Щоб резонансна частота передатчика дорівнювала 130 кГц, ємність конденсатора C_X повинна скласти 283 нФ. Оскільки це значення не є стандартним, скористаємося двома паралельно включеними конденсаторами ємністю 180 і 100 нФ. Для більш точної відповідності розрахункової резонансній частоті підбираються конденсатори з більш підходящими номіналом. В розглянутому прикладі сумарна ємність конденсаторів дорівнює 280 нФ, резонансна частота становить 130,71 кГц, тобто перевищує необхідне значення на 0,5%. Однак з урахуванням того, що на платі DC1969A використовуються два конденсатора *ECHU1H154GX9* по 0,15 мкФ, резонансна частота за відсутності навантаження дорівнює 126,3 кГц.

При розрахунку за допомогою наведеної формули для резонансної частоти при відбудові ($F_d = 142$ кГц) потрібно, щоб ємність конденсатора $C2S$ дорівнювала 26,7 нФ. Задана ємність величиною 26,7 нФ досягається шляхом паралельного включення конденсаторів на 22 і 4,7 нФ. Фактична частота відбудови становить 142, а не 140 кГц, що обумовлено обмеженим вибором значень серед наявних конденсаторів. Аналогічно, щоб при налаштуванні резонансна частота F_t склала 127 кГц, ємність конденсатора $C2P$ повинна бути рівною 6,75 нФ. Найближчим значення ємності в такому випадку становить 6,8 нФ. Оскільки ємності паралельно встановлених конденсаторів на платі DC1969A рівні 1,8 і 4,7 нФ, частота настройки контуру сягає 131 кГц.

4.4 Коефіцієнт трансформації

Співвідношення витків в котушках передавача і приймача в розглянутому прикладі становить 1:3, проте бувають випадки, коли це значення важко реалізувати. Як співвідношення витків впливає на робочі характеристики системи? Ми змінили схему так, щоб витягти більше енергії з котушки, задавши вихідна напруга рівним 8,23 В. При цьому схема повинна забезпечити максимальний струм і максимальну ефективність. Розглянемо в цьому зв'язку кілька варіантів вибору котушок. [11]

Варіант 1

Котушка передавача TX : 760308101302 (5,3 мкГн; 33 мом; $Q = 100$; 6 А);

Котушка приймача RX : 760308101303 (47 мкГн; 460 мом; $Q = 25$; 1,4 А);

$$n = \sqrt{\frac{47 \text{ мкГн}}{5,3 \text{ мкГн}}} = 3.$$

Результати вимірювань:

$V_{cc} = 5$ В;

$I_{input} = 0,973$ А;

$V_{inLR} = 15,04$ В;

$$I_{IN} = 0,239 \text{ A};$$

$$V_{output} = 8,21 \text{ В};$$

$$I_{output} = 0,275 \text{ A};$$

$$P_{MAX_BAT} = 4,865 \text{ Вт};$$

$$\text{ККД}(\eta) = \frac{V_{inLR} I_{in}}{V_{cc} I_{input}} = 73.9\%.$$

Варіант 2

Котушка передавача

$$T_x: 760 \ 308 \ 104 \ 113 \ (12 \ \mu\text{Гн}; \ 60 \ \text{МОм}; \ Q = 120; \ 7 \ \text{А});$$

Котушка приймача

$$R_x: 760 \ 308 \ 101 \ 303 \ (47 \ \mu\text{Гн}; \ 460 \ \text{МОм}; \ Q = 25; \ 1,4 \ \text{А});$$

$$n = \sqrt{\frac{47 \ \mu\text{Гн}}{12 \ \mu\text{Гн}}} \approx 2.$$

Результати вимірювань:

$$V_{cc} = 5 \text{ В};$$

$$I_{input} = 0,224 \text{ А};$$

$$V_{inLR} = 11,85 \text{ В};$$

$$I_{IN} = 0,072 \text{ А};$$

$$V_{output} = 8,23 \text{ В};$$

$$I_{output} = 0,05 \text{ А};$$

$$P_{MAX_BAT} = 1,12 \text{ Вт};$$

$$\text{ККД}(\eta) = \frac{V_{inLR} I_{in}}{V_{cc} I_{input}} = 76.2\%.$$

Варіант 3

Котушка передавача

$$T_x: 760 \ 308 \ 110 \ (24 \ \mu\text{Гн}; \ 7 \ \text{МОм}; \ Q = 180; \ 6 \ \text{А});$$

Котушка приймача

$$R_x: 760 \ 308 \ 101 \ 303 \ (47 \ \mu\text{Гн}; \ 460 \ \text{МОм}; \ Q = 25; \ 1,4 \ \text{А});$$

$$n = \sqrt{\frac{47\text{мкГн}}{24\text{мкГн}}} = 1,4 .$$

Результати вимірювань:

$$V_{cc} = 5 \text{ В};$$

$$I_{input} = 0,1 \text{ А};$$

$$V_{inLR} = 11,65 \text{ В};$$

$$I_{IN} = 0,025 \text{ А};$$

$$V_{output} = 8,23 \text{ В};$$

$$I_{output} = 0,013 \text{ А};$$

$$P_{MAX_BAT} = 0,5 \text{ Вт};$$

$$\text{ККД}(\eta) = \frac{V_{inLR} I_{in}}{V_{cc} I_{input}} = 58.3\%.$$

Варіант 4

Котушка передавача

T_x : WT-505060-8K2-LT (5,0 мкГн; 30,3 мом; $Q = 80$; X А);

Котушка приймача

R_x : 760 308 101 303 (47 мкГн; 460 мом; $Q = 25$; 1,4 А);

$$n = \sqrt{\frac{47\text{мкГн}}{3\text{мкГн}}} = 3,07.$$

Результати вимірювань:

$$V_{cc} = 5 \text{ В};$$

$$I_{input} = 1,159 \text{ А};$$

$$V_{inLR} = 13,16 \text{ В};$$

$$I_{IN} = 0,314 \text{ А};$$

$$V_{output} = 8,21 \text{ В};$$

$$I_{output} = 0,275 \text{ А};$$

$$P_{MAX_BAT} = 5,795 \text{ Вт};$$

$$\text{ККД}(\eta) = \frac{V_{inLR} I_{in}}{V_{CC} I_{input}} = 53.3\%.$$

Позначення:

V_{in} - напруга в точці вимірювання V_{in} на платі DC1967A;

I_{in} - струм від котушки приймача;

V_{CC} - вхідна напруга, що подається на плату передавача DC1968A;

I_{input} - струм від джерела напруги V_{CC} .

4.4.1 Осцилограма

Кожен з представлених варіантів ілюструється відповідною осцилограмою на рис. 4.8. Канал *Ch1* представляє випрямлений сигнал, в каналі *Ch2* сигнал відсутній, *Ch3* - сигнал приймача, а канал *Ch4* - випрямлений струм приймача. По цим осцилограмами можна зробити висновок, що варіант 1 забезпечує найкращі характеристики. Для аналізу були обрані такі критерії як ефективність котушок і здатність підтримувати максимальний струм навантаження при високій вихідній напрузі на стороні приймача. Було встановлено, що ККД при передачі потужності вище, коли коефіцієнт трансформації котушок *TX/RX* становить 1:3. При меншому значенні цього відношення зменшується потужність сигналу, що передається приймачу. Отже, програма не в змозі забезпечити достатній навантажувальний струм. Ця ситуація ілюструється варіантами 2-3, коли котушки не в змозі підтримувати потужність вище 1,895 і 1,18 Вт, відповідно. Таким чином, 1:3 - досить гарне співвідношення між витками котушок передавача і приймача, але воно не скасовує необхідність вибору Правильного розміру, форми, товщини ферритової підставки і коректного розміщення на ньому обмотки. [12]



Рисунок 4.8 – Осцилограми, що описують різні умови випробувань: а) варіант 1 ($TX - WE \# 760\ 308\ 101\ 302$, $L = 5,3\ \mu\text{Гн}$); б) варіант 2 $TX - WE \# 760\ 308\ 104\ 113$, $L = 12\ \mu\text{Гн}$); в) варіант 3 ($TX - WE \# 760\ 308\ 110$, $L = 24\ \mu\text{Гн}$); г) варіант 4 ($TX - TDK \# WT-505060-8K2-LT$, $L = 5\ \mu\text{Гн}$)

4.4.2 Струми в коливальному контурі

Для надійної роботи схеми необхідно розрахувати струми в первинному і вторинному коливальних LC -контурі. Напряга на первинній котушці визначається наступним чином:

$$V_{p-p} = 2\pi V_{IN_DC} = 2 \cdot 3,14 \cdot 5 = 31,4\ \text{В.}$$

Відповідно, величина напруги в контурі $V_p = 15,7\ \text{В}$. Реактивний опір вихідного контуру передавача при використанні конденсатора ємністю $0,3\ \mu\text{Ф}$ на частоті $126,3\ \text{кГц}$ становить:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} = 3,74\ \text{Ом.} \quad (4.4)$$

Таким чином, амплітуда струму приблизно дорівнює 4,2А, а середньоквадратичне значення (СКЗ) - 3А. Відповідно, кожен з конденсаторів ємністю по 0,15 мкФ необхідно вибирати з того міркування, щоб на частоті 126,3 кГц допустиме СКЗ робочого струму, щонайменше, дорівнювало 1,5 А. В розглянутому прикладі був обраний конденсатор *ECHU1H154GX9*, у якого допустимий струм складає 1,5 А. перерахуємо значення струму в цьому контурі, які залежать від умов проведення випробувань:

- 1.Варіант 1: 2,07 А (СКЗ);
- 2.Варіант 2: 0,931 А (СКЗ);
- 3.Варіант 3: 0,459 А (СКЗ);
- 4.Варіант 4: 2,14 А (СКЗ).

4.4.3 *Внесений імпеданс*

Оскільки резонансні частоти коливальних контурів передавача і приймача в навантаженому і не навантаженому станах різні, слід розуміти, що впливає на внесений імпеданс в пов'язані резонансні контури і як внесений імпеданс впливає на робочі параметри системи. Для цього скористаємося рисунками 4.9 – 4.10. Внесений імпеданс Z_R можна виразити за допомогою рівнянь (4.5) і (4.6). Відповідно до закону Кірхгофа для першого контуру (див. рис. 4.9):

$$I_1 Z_1 + I_2 Z_M = V_1 . \quad (4.5)$$

відповідно до закону Кірхгофа з урахуванням короткозамкненою навантаження:

$$I_1 Z_M + I_2 Z_2 = 0, I_2 = \frac{-I_1 Z_M}{Z_2}. \quad (4.6)$$

підставивши значення I_2 в рівняння (4.5), отримаємо:

$$Z_M = \frac{V_1}{I_1} = Z_1 - \frac{(Z_M)^2}{Z_2}, \quad (4.7)$$

де $Z_M = -j\omega M$, а M - коефіцієнт взаємоіндукції між першим і другим контурами. Таким чином, отримуємо:

$$Z_M = Z_1 - \frac{\omega^2 M^2}{Z_2}. \quad (4.8)$$

Отже, внесений імпеданс в цій схемі можна визначити як $\omega_2 M_2 / Z_2$.

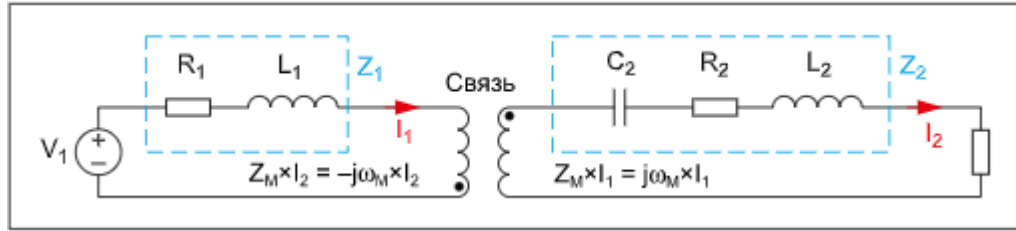


Рисунок 4.9 – Модель зв'язаних резонансних контурів

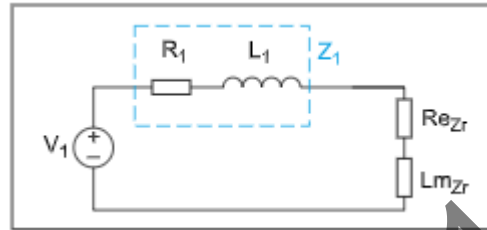


Рисунок 4.10 – Еквівалентна модель передавального контуру з внесеним імпедансом

Коли вторинний контур резонує на тій же частоті, що і первинний, внесений опір в первинний контур є чисто активним, тобто не має індуктивної або ємнісної складових:

$$Z_2 = R_2 + R_L.$$

Таким чином, внесений імпеданс при резонансі обох ланцюгів на однаковій частоті визначається як:

$$R_e Z_R = \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + R_L}. \quad (4.9)$$

Вважається, що ефективність системи стане рости зі збільшенням значення $R_e Z_R$. Проте істотне зменшення опору навантаження RL впливає на ефективність вторинного контуру, тому що в цьому випадку RS відіграє визначальну роль в падінні напруги. Коефіцієнт падіння напруги у вторинному контурі дорівнює $R_L / (R_2 + R_L)$.

Висновки

Сильніший зв'язок і менша фізична відстань між передавачем і приймачем, а також більш високий коефіцієнт трансформації сприяють підвищенню напруги на приймачі та відповідно, більшому значенню. Функція *DNC* обмежує напругу, що надходить на *DC/DC*-перетворювач, дозволяючи передавачу працювати в більш широкому діапазоні робочої напруги. Експеримент показав (варіант 2), що ефективність вище, якщо форма прийнятого сигналу максимально близька до синусоїдальної. Отже, при необхідності забезпечити широкий діапазон вхідної напруги вибирається вищий коефіцієнт трансформації (близько 3), а при вимозі підвищити ефективність рекомендується використовувати оптимізоване значення цього коефіцієнта. Для того, щоб забезпечити високу ефективність і збільшити діапазон вхідної напруги для демонстраційного комплекту *DC1969A*, котушки передавача і приймача вибираються з урахуванням всіх розглянутих в розділі міркувань. Компанія *Würth Elektronik eiSos* пропонує високонадійні котушки, які дозволяють підвищити ефективність передачі потужності в системі бездротової зарядки.

5 РОЗРОБКА МОДЕЛІ У ANSYS WORKBENCH

Вирішення проблеми моделювання засноване на методі кінцевих елементів з використанням *ANSYS Workbench*. Процес моделювання включає в себе наступні етапи: попередню обробку результат і просто обробку результатів. Етап попередньої обробки складається з п'яти етапів:

- 1) експорт плати з середовища *AltiumDesigner* в *ANSYS WORKBENCH*;
- 2) редагування геометрії і присвоєння атрибутів
- 3) вибір типу аналізу – термоелектричний аналіз, який застосовується для моделювання ТЕГ;
- 4) налаштування фізичних властивостей матеріалів, з яких складається модельований об'єкт (технічні дані),
- 5) створення моделі твердотілого об'єкту використовуючи механічний модуль *ANSYS*, який дозволяє нам визначити температурне поле, вирішуючи проблеми стаціонарної і нестаціонарної теплопровідності, конвекції і радіаційного теплообміну; а також генерацію елементної стінки з використанням модуля *ANSYS Meshing*.

5.1 Експорт плати з AltiumDesigner

Altium Designer — комплексна система автоматизованого проектування (САПР) радіоелектронних засобів (РЕЗ). Дозволяє проектувати друковані плати у тривимірному вигляді, а також обмінюватись інформацією з механічними САП (*SolidWorks, Pro/ENGINEER* та ін.).

В середовищі *Altium Designer* була спроектована двошарова ДП (рис. 5.1) для портативного зарядного пристрою, яка є основною електричною складовою всього пристрою.

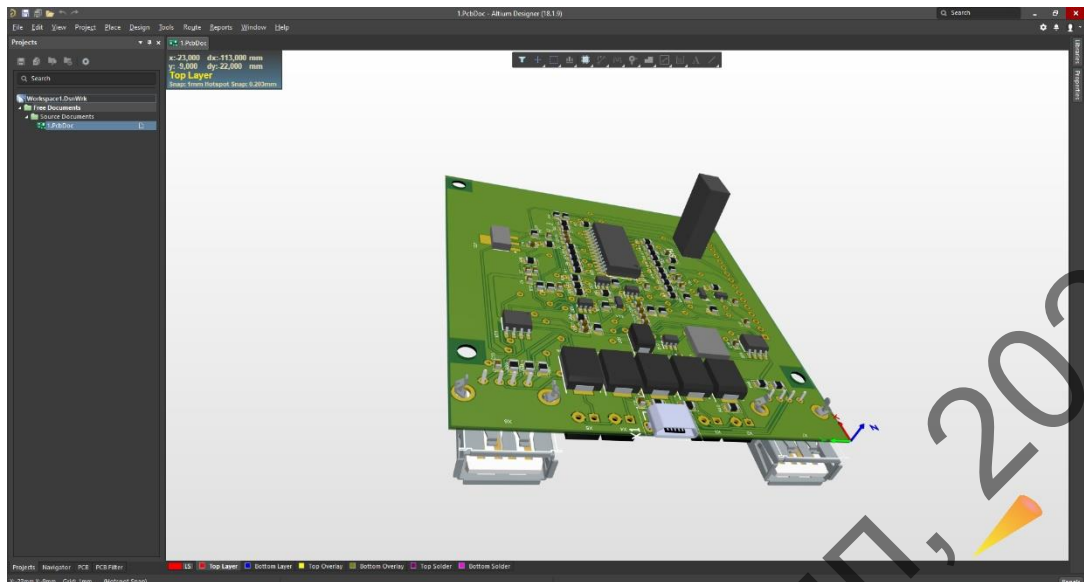


Рисунок 5.1 – 3D вигляд ДП спроектованої в *AltiumDesigner*

Середовище *Altium Designer* дає змогу користувачам експортувати проекти в форматах, які підтримують інші САПР. На мій погляд, більш детальним та правильним опинився формат *PARASOLID*, в якому я і працював в майбутньому.

Для експорту файлу відкриваємо проект, яких хочемо перенести, знаходимо *File-Export-Parasolid* (рис 5.2), далі обираємо умови, за якими ми хочемо перенести файл.

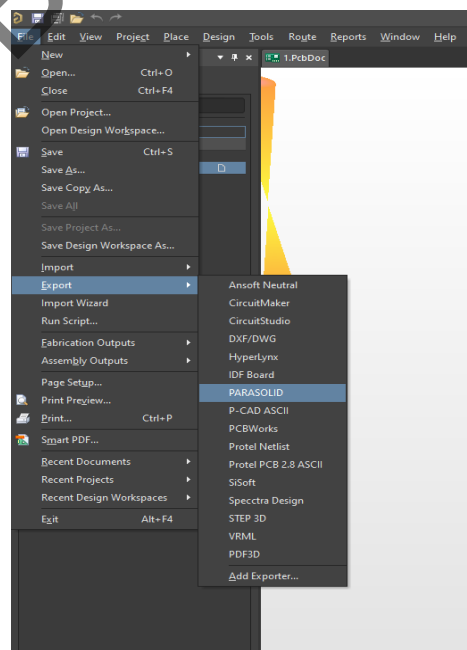


Рисунок 5.2 – Експорт файлу

5.2 Робота в середовищі ANSYS WORKBENCH

В *ANSYS WORKBENCH* був використаний модуль *Steady-State Thermal*, за допомогою якого можна симулювати вплив навколишнього середовища на ДП та перевірити температуру в різних точках плати, що допоможе зробити плату надійніше, та при необхідності поставити активне охолодження.

Для того, щоб почати працювати треба відкрити *ANSYS WORKBENCH* та в розділі *analysis system* обрати *Steady-State Thermal*, відкриється вікно, яке зображено на рисунку 5.3.

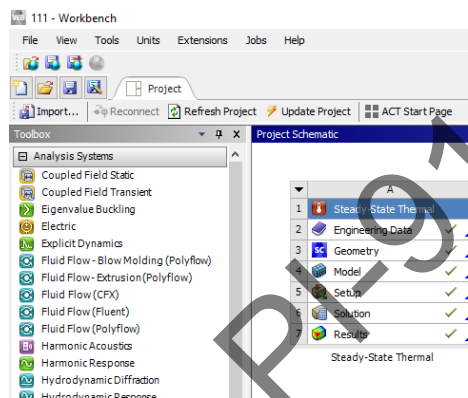


Рисунок 5.3 – Вікно *Steady-State Thermal*

Відкриваємо пункт *Geometry* та вносимо нашу 3D модель плати, зберігаємо її та закриваємо вікно. Далі нам треба задати параметри в розділі *Engineering Data* (рис. 5.4)

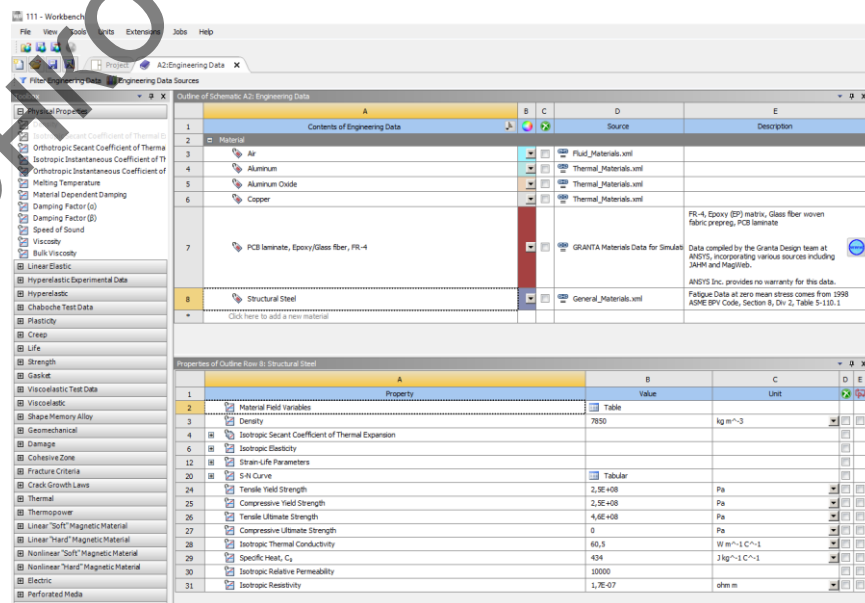


Рисунок 5.4 – Параметри *Engineering Data*

Далі вже працюємо з самою платою, задаємо параметри елементів та їх матеріали. Дані внесені в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 Параметри елементів та їх матеріали

Елементи	Матеріал	Потужність (макс.), Вт.
Конденсатори	Оксид алюмінію	0,1 Вт
Резистори	Оксид алюмінію	1 Вт
Мікросхеми	Кремній	5 Вт
Мікросхема PIC16f1933	Кремній	10 Вт
Котушки	Мідь	3 Вт
транзистори	кремній	5 Вт
Роз'єми USB	алюміній	—
Роз'єми штирьовий (гребінка)	Мідь в корпусі ABS пластмаси	—

В результаті маємо готову для розрахунків плату яка зображена на рисунку 5.5.

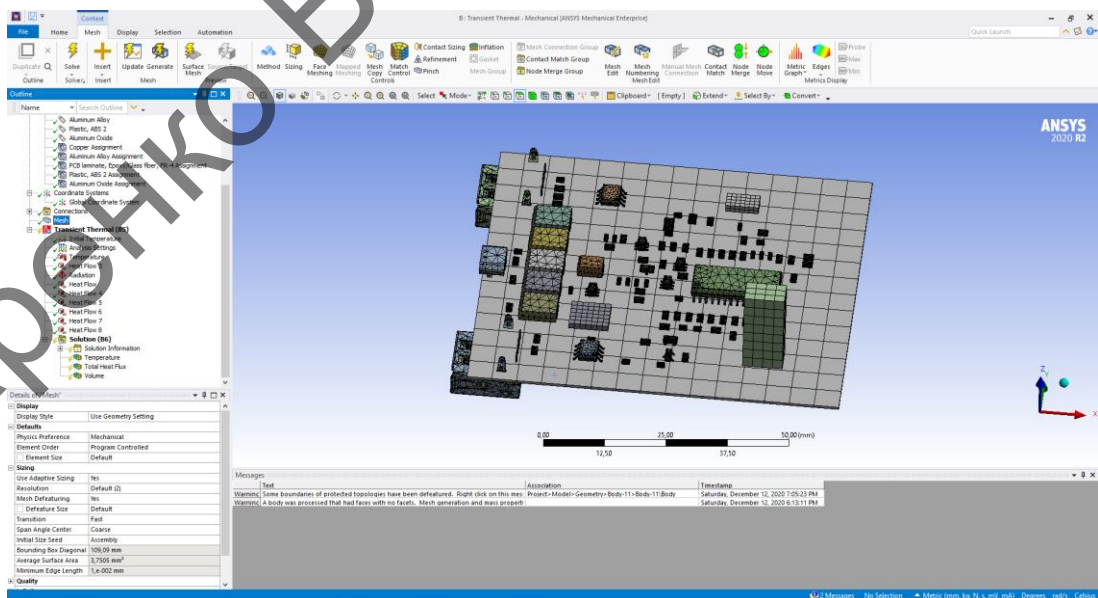


Рисунок 5.5 – Готова до симуляції плата

В розділі розрахунків були обрані пункти: температура (макс. та мін.), сумісне тепловиділення, результати вимірювань зображені на рисунку 5.6.

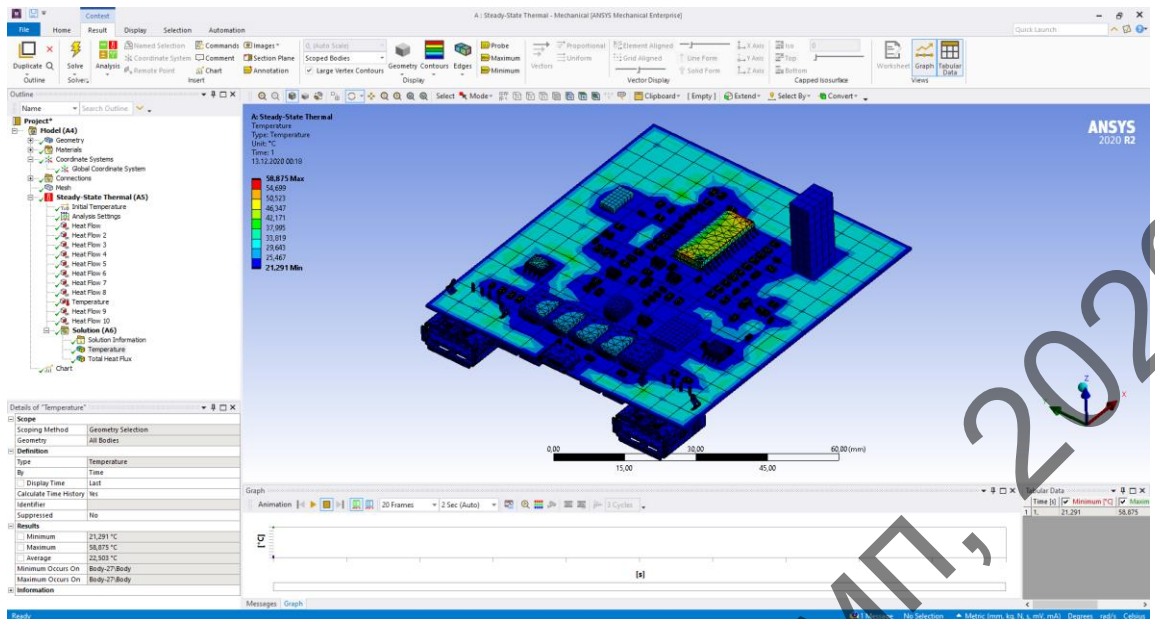


Рисунок 5.6 – Результати термосимуляції

Як видно з результатів симуляції при температурі навколишньої середовища в 22°C ми маємо: мінімальна температура на ДП складає 21.3°C , максимальна температура 58.9°C , що повністю задовольняє очікування, та показує те, що ДП не потребує в додатковому охолодженні.

5.3 Розрахунок надійності друкованого вузла

Найбільш точна кількісна міра надійності кожного конструктивного елемента – його індивідуальне напрацювання до моменту виникнення відмови. Важлива характеристика надійності – середній час безвідмовної роботи визначається (5.1):

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}. \quad (5.1)$$

Інтенсивність відмов ЕРЕ є їх вихідною характеристикою надійності, залежить від режиму роботи та ступеню тяжкості таких зовнішніх впливів, як температура, тепловий удар, вологість, вібрації і т.д. Тоді можна записати наступну формулу (5.2):

$$\lambda_c = \lambda_{oc} K_1 K_2 \dots K_n, \quad (5.2)$$

де λ_{oc} - інтенсивність відмов елемента при нормальних умовах роботи (температура навколишнього середовища $T_{нав.ср} = 20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, відносна вологість $65 \pm 15\%$); коефіцієнт електричного навантаження $K_n = 1$, K_1 , K_2 , K_n –

поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації. Для врахування впливу режиму роботи на інтенсивність відмов електронно-обчислювальної апаратури вводять коефіцієнт навантаження, що дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі (5.3):

$$K_H = \frac{H_{\text{роб}}}{H_{\text{ном}}}. \quad (5.3)$$

Коефіцієнт навантаження для резисторів:

$$K_{H,p} = \frac{P_{\text{роб}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R \times P_{\text{ном}}}, \quad (5.4)$$

$$K_{H,p} = \frac{P_{\text{роб}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{5,5^2}{100000 \times 0,125} = 0,00242.$$

Для конденсаторів:

$$K_{H,c} = \frac{P_{\text{роб}}}{P_{\text{ном}}}$$

$$K_{H,c} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{5,5}{6,3} = 0,00242. \quad (5.5)$$

В нашому випадку розраховуватимемо K_H для світлодіодів *KT-SMD0603-G* за струмом, оскільки струми, за яких працюють ці елементи, значно ближчі до максимальних значень (~ 2 до 100 мА), ніж напруги.

$$K_H = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{78,85}{110} = 0,73. \quad (5.6)$$

Для мікросхем розраховуватимемо K_H за потужністю. Як найгірший випадок беремо *PIC16f1933*:

$$K_H = \frac{U \times I}{P_{\text{ном}}} = \frac{5,5 \times 0,0104}{0,5} = 0,1144. \quad (5.7)$$

Для усіх інших елементів оберемо $K_H=1$.

Визначаємо результуючу інтенсивність відмов друкованого вузлу формувача величини напруги. Друкований вузол відноситься до наземної апаратури, експлуатується при $T_p=60^\circ \text{C}$, інші умови експлуатації нормальні. Вихідні дані для розрахунку λ_p – схема принципова, перелік елементів, часова

діаграма та інтенсивність відмов “компонентів надійності” від температурних впливів.

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів (5.8):

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi},$$

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} = 36,5. \quad (5.8)$$

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{36,5 \times 10^{-6}} = 37404(\text{год}). \quad (5.9)$$

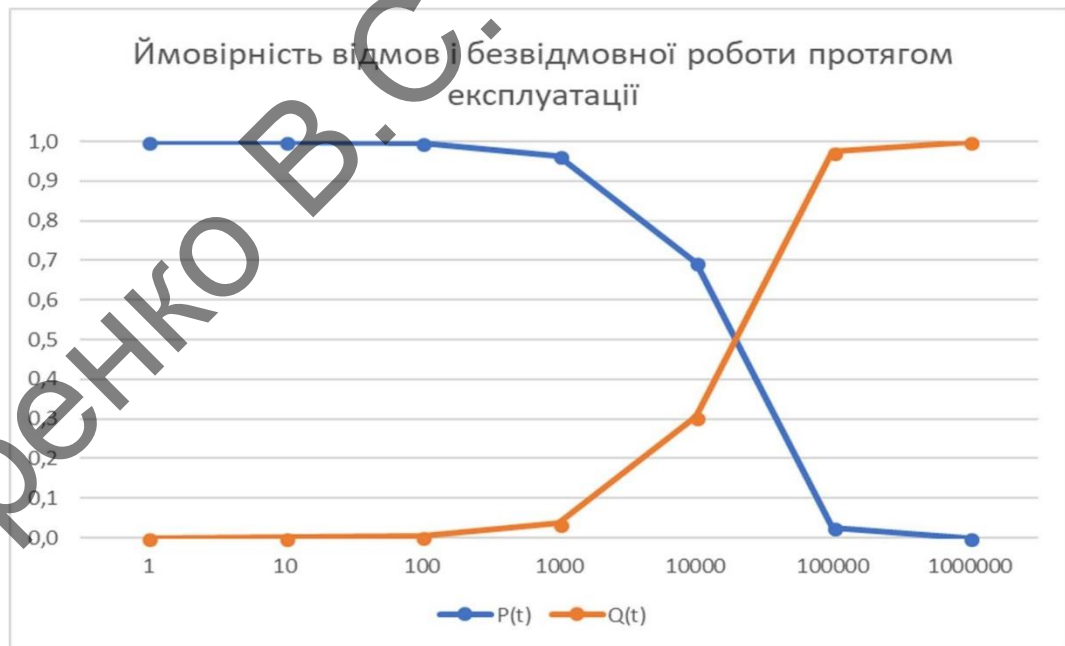
Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року:

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-36,5 \times 10^{-6} \times 8760} \approx 0,7264. \quad (5.10)$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$Q(t) = 1 - 0,7294 = 0,2736.$$

Графік залежності безвідмовної роботи ДВ та ймовірність відмов ДВ від часу представлені на наступних графіках (рисунку 5.7):



Рисунку 5.7 - Графік залежності безвідмовної роботи ДВ від часу

6 СТАРТАП ПРОЕКТ

Даний розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямків реалізації цього впровадження.

6.1 Інформаційна карта проекту

Таблиця 6.1 Інформаційна карта

1. Назва проекту	Бездротовий портативний зарядний пристрій
2. Автори проекту	Макаренко Владислав Сергійович
3. Коротка анотація (не більше 1/3 сторінки)	Бездротовий портативний пристрій дозволяє зберегти роз'єм телефону, дроти від зносу та пошкоджень. Також пристрій дозволяє швидко та комфортно заряджати мобільний телефон у будь який час і місці.
4. Термін реалізації проекту	14
	<i>Тривалість проекту (в місяцях)</i>
5. Необхідні ресурси	Інтелектуальні: Дослідження плівок на міцність, та об'єднання їх з котушками. Дослідження розмірів та характеристик. 500 тис. грн. Матеріальні: Різні типи чіпів, котушки, меткорпуси, магніти та акумулятори. 50 тис. грн. Фінансові: ~ 30-40 тис. грн.
6. Опис проблеми, яку вирішує проект	В час розвитку новітніх технологій людство переходить до нового стандарту передачі даних та енергії – бездротового. Мобільні телефони теж слідує цим тенденціям і мають приймачі для живлення, що дозволяє заряджати телефон не використовуючи дротів.

Продовження таблиці 6.1

<p>7. Головні цілі та завдання проекту</p>	<p>Створення бездротового портативного пристрою який дозволить швидко та ефективно зарядити будь-який пристрій, який потребує напругу живлення 5 В, та струм до 2 А. Завдання: Збільшення ресурсу та надійності акумуляторів. Збільшення ККД котушки індуктивності. Інформативний дисплей, на якому відобразатиметься вся потрібна інформація.</p>
<p>8. Очікувані результати</p>	
<p>Очікується збільшення ККД, а також відстань від передавача до приймача, та зменшення витрат на потрібну сировину.</p>	

Бездротовий портативний пристрій:

- Розробка плати зарядного пристрою;
- Підбір котушки індуктивності під плату передавача;
- Розробка і тестування ПЗ;
- Видача ТЗ (Замовник);
- Просування товарів для звичайних користувачів, та магазинів з продажу техніки або електроніки;
- Пошук та налагодження клієнтської бази (Дипломат) + PR(Інтернет-конференції-виставки);
- Юридичне забезпечення (найманий юрист).

Розгляд:

- формування ТЗ (замовник+інженер-конструктор);
- формування ПЗ;
- ПЗ перевіряють на правильність – конструктор;
- просування PR: повинен займатися рекламодавець;
- фінансування – замовник;

- для закупки матеріалів повинен бути безпосередній зв'язок між постачальником (ним може бути фірма, оптові склади, інтернет-магазини) – цим питанням повинні займатися дипломат і конструктор;
- конструктор повинен підібрати (в сенсі прописати, правильно сформулювати збірку компонентів, перелік елементів), а дипломат у свою чергу повинен продукцію по фінансовим можливостям заданим в ТЗ;
- PR повинен займатися рекламник, якщо такий відсутній можна передати дипломату;
- аналітик має взаємодіяти із замовником;
- найманий юрист;
- пошук замовників дипломат;
- ПЗ розробляє конструктор;
- закупка матеріалів у двосторонньому порядку, з безпосередньою можливістю повернення або заміни товару;
- Розробка методики;
- Видача ТЗ;
- Розробка ПЗ;
- Тестування;
- Просування і реклама після закінчення ПЗ;
- Пошук замовника;
- Юридичне забезпечення;
- Закупка матеріалів.

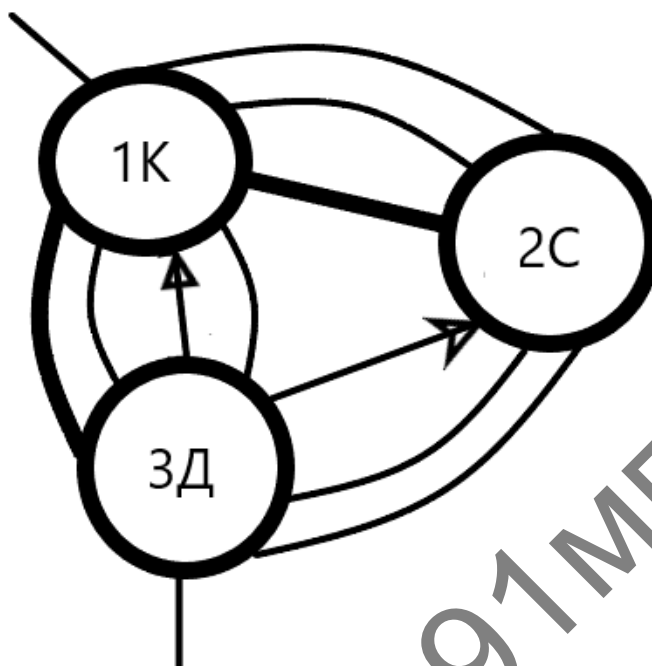


Рисунок 6.1 — Ролі партнерів

1 К — $V_x/V_{\text{вих}} = 3/7 = 0,42$;

2 С — $V_x/V_{\text{вих}} = 4/5 = 0,8$;

3 Д — $V_x/V_{\text{вих}} = 3/2 = 1,5$.

1 К — $6,5/6 = 1,08$

2 С — $4,5/6 = 0,75$

3 Д — $5/6 = 0,83$

Дипломат незбалансований – багато входів, мало виходів; є сенс в розділенні функцій дипломата на комунікатора і рекламника і тоді всі функції будуть збалансованими;

Конструктор і спеціаліст – збалансовані;

Дослідження протягом місяця.

Тема проекту: “Бездротовий портативний зарядний пристрій”.

Таблиця 6.2 Ролі партнерів

Фактор	Вага	Партнер 1	Партнер 2	Партнер 3
Ідея	7	8	0	5
Підготовка бізнес плану	2	4	9	5
Компетентність	5	7	4	6
Залученість і ризику	7	0	7	0
Обов'язки	6	8	4	7

6.2 Ідея проекту

Визначення основних функцій (їх можна визначити як за результатами наукових досліджень, так і суто інтуїтивно). У цьому випадку їх визначено за комбінацією названих методів:

- Потужність 15 Вт;
- Напруга живлення 5 В, струм до 2 А;
- Матеріал корп.=усу АБС пластикова;
- Прийнята вологість;
- Тип котушки – одинарна;
- Тип охолодження – конвективне;
- Джерело енергії акумулятор типу 18650.

Побудова морфологічної карти, на якій показати можливі варіанти рішень – засобів реалізації кожної функції (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 Морфологічна карта

Основні параметри	Проміжні рішення			
	1-ше	2-ше	3-ше	4-ше
Потужність, Вт	15 Вт	10 Вт	5 Вт	3 Вт
Матеріал корпусу	Пластмаса (SoftTouch)	Метал	Пластмаса (ABS)	Скло+Пластмаса
Вологість повітря	Нерегульована	Зволожувач-випарювач	Інші	
Тип котушки	Одинарна	Подвійна		
Акумулятори	2 Ом	4 ом	2 x 2 Ом	8 Ом
Тип охолодження	За допомогою радіатора	Отвір всередині корпусу (корзини)	Змішаний	
Напруга та струм живлення	5В 3А	5В 1.5А	5В 1А	

Обрання по одному прийнятному рішенню для кожної функції. Темним затіненням показано традиційну систему, більш світлим – інноваційний варіант.

Задум товару:

Товар за задумом. Бездротовий портативний зарядний пристрій, потужністю 15 Вт, з током живлення 3А.

Товар у реальному виконанні. Бездротовий портативний зарядний пристрій, потужністю 15 Вт, з током живлення 2А.

Товар з підкріпленням. Система може бути додатково оснащена новими графеновими акумуляторами.

Сервісна підтримка.

Переваги інноваційної портативної зарядки: збільшення відстані детектування пристрою.

Завдяки правильно підібраній котушці, отримується максимальне ККД:

Таким чином, ідею нового товару можна сформулювати так: плівкова акустична система має кращий звук порівняно з сучасними, та коштує менше у виробництві.

1-й MVP: В 1831 році англійський фізик-експериментатор Майкл Фарадей спостерігав за явищем електромагнітної індукції

2-й MVP: Італієць Антоніо Меучі займався розробкою «розмовляючого телеграфа». В 1849 році Меучі створює повністю робочий прототип прародича сучасного телефону.

3-й MVP: В 1874 році Ернест Сіменс отримав патент на використання «манітоелектричного апарату для отримання механічного руху електричної котушки під дією струму»

Таблиця 6.4 Опрацювання питань для удосконалення продукту «бездротовий портативний зарядний пристрій»

№ з/п	Запитання	Відповідь
1	Частиною яких систем є продукт?	Зарядний пристрій є частиною живлення будь-якого пристрою який має акумулятор
2	Які функції надсистеми може виконувати продукт? Як їх з ним пов'язати?	За рахунок постійного струму в котушці виникає магнітне поле, яке передає енергію іншій котушці (приймачу).
3	Чи можна розділити продукт на частини?	Корпус, плата зарядного пристрою, акумулятори, плата передавача, котушка передавача.

Продовження таблиці 6.4

1	2	3
44	Чи можна об'єднати (агрегувати) кілька елементів продукту в один?	Пристрій також має роз'єми USB-A, що дозволяє зарядному пристрою живити телефон як за допомогою бездротового типу, так і за допомогою звичайних дротів.
55	Чи можна нерухомі частини продукту зробити рухомими і навпаки?	Усі частини в середині корпусу закріплені, та не рухомі.
66	Яким має бути ідеальний продукт?	Максимальний струм живлення 2А, відстань між котушками до 10 см.
77	Що відбудеться, якщо вилучити цей продукт? Чим його можна замінити?	Прилад можна замінити блоком живлення, який вмикається в мережу 220В
88	Яким цей продукт був у минулому?	Блоки живлення, NFC мітки, генератор Тесли.
99	На розвиток яких функцій було спрямоване удосконалення продукту?	Головною причиною удосконалення портативного зарядного пристрою було: внесення системи бездротової зарядки, прискорення часу зарядки пристрою, використання новітніх акумуляторів.
110	Як можна натепер розвинути ці функції?	Бездротовий портативний зарядний пристрій, яких має більшу ККД, швидку зарядку пристрою, та велику ефективну потужність.

Імовірно за інерцією мислення виробники динаміків і далі будуть збільшувати об'єм корпусів для більш нижчої частоти, та будуть збільшувати хід дифузору.. Тому ці ідеї можна вважати безперспективними. Навіть у разі їх реалізації вони не додадуть конкурентних переваг.

Отже, виберемо цікаві, на наш погляд, ідеї.

Ідея 1. Блок живлення зі струмом заряду 2А.

Ідея 2. Котушки індуктивності с високим ККД.

Ідея 3. Графенові акумулятори, які дозволяють швидко зарядитися.

Ідея 4. Інформативний Led дисплей.

Ідея 5. Плати зарядних пристроїв з 5-ма колами живлення

Наступним кроком є об'єднання знайдених ідей, їх агрегування або комбінування.

Агрегування 1. Завдяки котушці індуктивності з більшим ККД збільшується струм заряду, що зменшує час, потрібний для повної зарядки пристрою.

Агрегування 2. За допомогою 5-ти кіл живлення акумулятори довше зношуються, та не потребують заміни.

Агрегування 3. Бездротова зарядка підійде як для телефонів які її підтримують, так і для інших, за умови, якщо придбати приймач на телефон.

Агрегування 4. Такий портативний пристрій можна використовувати як з дротами так і без, що робить користування більш комфортним, а також захищає роз'єм телефону від поломок.

Таким чином отримано три додаткові ідеї. Кількість продуктивних та унікальних ідей збільшено до десяти. Навіть без їх ретельного аналізу, якщо скласти морфологічну таблицю, то можна отримати близько 30–40 якісно нових ідей.

Таблиця 6.5 Етапи

<i>Етапи</i>	<i>Продукти</i>		
Минуле століття	Телефон Белла	Електромагнітний капсюль	Гучномовець олівера Лорджа
Сьогодні	У 2009 році компанія Wireless Power & Communication зробила ліхтар здатний працювати від вогнебезпечного газу	Стандарт бездротової передачі енергії Qi	У 2010 році компанія Apple представила свію бездротову зарядку
Завтра	У 2015 вчені вашингтонського університету створили прототип телефону без батареї	Передача енергії за допомогою Wi-Fi	—
Динаміки XX століття	У 1961 році Уільям Браун написав статтю про передачу енергій за допомогою мікрохвиль	У 1968 році Пітер Глайзер запропонував використовувати бездротову сонячну енергію	—

6.3 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 6.6 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1	Якість	Товар пропонує найвищу якість на ринку	За рахунок використання нових матеріалів та сплавів та осучаснення методики виробництва
2	Економність	Товар пропонує найнижчі ціни на ринку	Створення легких та надійних корпусів, що базується на алгоритмах, які не потребують великих затрат.

Макаренко В.С. РІ-97МН 2020

Таблиця 6.7. Опис трьох рівнів моделі товару

<i>Рівні товару</i>	<i>Сутність та складові</i>		
I. Товар за задумом	Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар (згідно концепції), її основної функціональної вигоди		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Н М	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Потужність (7,5 – 15 Вт) 2. Ціна (600-2000 грн.) 3. Надійність	АПБ	1. Потужність 2. Надійність 3. Дешевизна компонентів
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо		
	Пакування у коробку заповнену пінопластом		
	Марка: Wolfcharge, Модель OA10, OA12.		
III. Товар із підкріпленням	До продажу — акційні пропозиції		
	Після продажу — гарантійне обслуговування протягом 3 років		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Технологія виготовлення, та товарна марка будуть запатентовані			

Таблиця 6.8 Визначення меж встановлення ціни

<i>№ п/п</i>	<i>Рівень цін на товари-замінники</i>	<i>Рівень цін на товари-аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
1	60000 - 740000 грн/рік	60000 - 740000 грн/рік	400000 тисяч – 220 млн. грн/рік	6000-25000 грн.

Таблиця 6.9 Формування системи збуту

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1.	Орієнтація на нових клієнтів	Розробка катушок індуктивності	0 (без посередників)	Роздільно через магазини електротехніки

Таблиця 6.10 Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
1	Акцент на дешевизну	Неформальні	Висока надійність; Доступність	Презентація	Даний продукт пропонує ефективнішу та дешевшу матеріально-сировинну базу

6.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 6.11. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	>20 (JBL, Apple, Xiaomi, meizu e.t.c)
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	500 тис. грн./ум.од
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Висока якість, надійність, широкий діапазон потужності.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Є. Необхідно пройти процедуру патентування і ліцензування. RMS
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	1,9 Рентабельність операційної діяльності великих та середніх підприємств за видами економічної діяльності промисловості за січень–вересень 2018 року

Таблиця 6.12 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Гучність, легкість в установці, та широкий діапазон відтворюваних частот	Автомобільні компанії, магазини електроніки.	Потужність, об'єм акумуляторів.	Висока якість Надійність

Таблиця 1.13 Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Криза	Здорожчання вартості на матеріально- сировинну базу	Комбінування різноманітних сплавів та складових компонентів
2	Застаріла методика виробництва	DLS, LoudSound постійно осучаснюють технологію.	Вкладення коштів в інноваційні підходи розробки пристрою.

Таблиця 6.14 Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Неправильне ведення цінової політики у конкурентів	Неправильне виставлення конкурентами цін на товари та послуги	Тимчасове зниження ціни на певну частину товарів
2	Зниження якості у конкурентів	Поява клієнтів зацікавлених у дешевшому товарі при збереженні необхідної якості	Мотивація клієнтів можливістю покупки товару чи послуги в кредит, різноманітні реферальні програми

Таблиця 6.15 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Вказати тип конкуренції - олігополія	На ринку сформувалася форма групового монополізму, за якої кілька самостійних великих фірм монополізують виробництво і збут маси товарів даного роду.	Реклама - переконання

Продовження таблиці 6.15

2. За рівнем конкурентної боротьби - міжнародний	Пристрій може бути використано для зарядки пристроїв з напругою живлення 5В будь де.	Варто пропонувати продукт із максимально можливим набором локалізацій
3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Галузь акустика.	Фірма по виробництву акустичних систем будуються в цій галузі
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Пристрій може конкурувати лише з подібними собі товарами, займаючи нішу за рахунок вищої якості, чистоті звуку та меншої вартості	Просування ідеї акустичного пристрою, який буде пропонувати більш об'ємний звук, та більшу гучність
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Акцентування на універсальності товару	Якість продукту на першому місці
6. За інтенсивністю - марочна	Використання торгової марки	Реклама - нагадування

Таблиця 6.16 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Низькі ціни	Використання дешевших матеріалів
2	Підвищення рівня організації процесу виробництва на підприємстві	Залучення спеціалістів, що допоможуть осучаснити виробництво – залучення до співпраці висококласних product-manager'ів
3	Підвищення ступеня задоволення потреб споживача	Налагодження комунікативної бази, для тісної співпраці – цей обов'язок буде покладено на дипломата

Таблиця 6.17 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «назва проекту»

n/p	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (назва підприємства)							
			3	2	1		1	2	3	
	Висока якість	17								
	Реферальні програми	9								
	Лізинг, кредит	14	*							

Таблиця 6.18 SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Відмінна якість товарів 2) Місцезнаходження (центральный район міста) 3) Виконання постійних маркетингових кампаній та досліджень; 4) Широкий асортимент послуг, що надаються 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Велика з/п співробітників 2) Велика орендна платня 3) Нехватка даних, щодо стратегічних напрямків розвитку технології 4) Система прийняття рішень-централізована, так як мале фінансування
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Державні програми 2) Залучення інвесторів через оптимізацію асортимента та послуг, що надаються 3) Розширення клієнтської бази при ефективній політиці ціноутворення 4) Зростання кваліфікації всіх співробітників 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Жорстка конкуренція на ринку технологічних послуг 2) Посилення позицій компаній-конкурентів 3) Несприятлива економічна ситуація в країні 4) Складно контрольована наповненість ринку

Таблиця 6.19 Планова вартість нематеріальних активів

№ з/п	Вид активів	Активи, що можуть бути віднесені до даного виду	Вартість, тис. грн.
1.	Права користування природними ресурсами	(право користування надрами, іншими ресурсами природного середовища, геологічною та іншою інформацією про природне середовище)	-
2.	Права користування майном	(право користування земельною ділянкою відповідно до земельного законодавства, право користування будівлею, право на оренду приміщень тощо)	700000 грн
3.	Права на комерційні позначення	(права на торговельні марки (знаки для товарів і послуг), комерційні (фірмові) найменування тощо)	9800 грн.
4.	Права на об'єкти промислової власності	(право на винаходи, корисні моделі, промислові зразки, сорти рослин, породи тварин, компонування інтегральних мікросхем, комерційні таємниці, у тому числі ноу-хау, захист від недобросовісної конкуренції)	15700 грн.
5.	Авторське право та суміжні з ним права	(право на літературні, художні, музичні твори, комп'ютерні програми, фонограми, відеограми, передачі (програми) тощо)	6000 грн.
6.	Інші активи	(право на провадження діяльності, використання економічних та інших привілеїв тощо)	-

Визначити плановий обсяг виробництва продукції стартап-проекту (в натуральних показниках) по роках за формою, наведеною в табл. 6.21

Таблиця 6.20 Плановий обсяг виробництва продукції стартап-проекту

Вид продукції	Одиниця виміру	Обсяги виробництва за період		
		1-й рік	2-й рік	3-й рік
Встановлення ПЗ на вже існуючий пристрій (Бездротовий портативний зарядний пристрій)	Од.	300	1000	5000
Зібрання готової бездротової портативної зарядки	Од.	500	1200	5300

Таблиця 6.21 Планова потреба у матеріальних ресурсах та комплектуючих

№ з/п	Вид ресурсу	Одиниця виміру	Витрати на одиницю продукції в натуральних показниках	Вартість на одиницю продукції, тис. грн.	Вартість за плановим обсягом виробництва за період, тис грн.		
					1-й рік	2-й рік	3-й рік
1.	Матеріали						
1.1.	Неодим	2 кг	18000 грн.	18000 грн.	3600 0	5000 0	7400 0
1.2.	Пластикові корпуси	2 кристалала	100 016 грн.	100 016 грн.	2003 2	3302 0	4780 0
Всього матеріалів		—	—				
2.	Комплектуючі						

Продовження таблиці 6.21

2.1.	Котушки	200 шт.	388.96 грн.	388.96 грн.	77792 грн.	85000	93250
2.2.	ДП	50 шт.	1458.600 грн.	1458.600 грн.	4862 грн.	-	
2.3.	Пластикові корпуси	50	600 грн.	600 грн	13000	17000	21000
Всього комплектуючих		—	—				
3.	Сировина						
3.1.	Фанера	1000 лист.	1000 лист.	140 грн.	14000	17000	25000
...							
Всього сировини		1000 од.					
<i>Разом:</i>		—	—	120560 грн.	152600 грн.	185020 грн.	261050 грн.

Таблиця 6.22 Планові загальногосподарські витрати

№ з/п	Стаття витрат	Витрати за період, тис. грн.		
		1-й рік	2-й рік	3-й рік
1.	Витрати на оренду земельних ділянок, будівель, приміщень, споруд	145980	145980	145980
2.	Витрати на обладнання, устаткування та пристрої	1000000	1000000	1000000
3.	Витрати на придбання нематеріальних активів	770640	770640	770640
4.	Витрати на персонал (на відрядження, соціальні заходи тощо)	30000 грн.	36000 грн.	42000 грн.
5.	Витрати на зв'язок	10000 грн.	10000 грн.	10000 грн.
6.	Витрати на паливо та електроенергію	10000 грн.	10000 грн.	10000 грн.
7.	Витрати на водопостачання	2000 грн.	2000 грн.	2000 грн.
8.	Витрати на утримання обладнання та приміщень	1000 грн.	1000 грн.	1000 грн.
9.	Витрати на збут	65000	65000	60000
10.	Витрати на просування та рекламу	30000	30000	45000
11.	Оплата юридичних послуг	30000	30000	30000
12.	Податкові платежі (земельний, комунальний податки, інші)	389000	388 700	390000
<i>Разом:</i>		2094620	2042120	2133620

ВИСНОВКИ

1. Провівши аналіз існуючих рішень було прийнято рішення розробити зарядний пристрій, який матиме міцний та легкий пластиковий корпус, матиме *LCD* екран, який вказуватиме заряд акумуляторів у відсотках, кнопку *ON/OFF*, два вихідних роз'єми з вихідним струмом 2,1 А, чотири акумулятори типорозміру 18650, сумарною ємністю до 10 А год, модуль бездротової зарядки протоколу *Qi* потужністю 15 Вт. Пристрій буде зручний у користуванні та матиме відносно низьку собівартість.

2. Слід відзначити, що менш ефективну високочастотну слабозв'язану систему недоцільно використовувати в тих випадках, коли можна обійтися сильнозв'язаною. І навпаки, може виявитися доцільним допустити деяке зниження ККД для збільшення відстані по осі *Z*. Тому специфікація бездротового зарядного пристрою, яка відповідає всім вимогам ринку, повинна підтримувати як сильно-, так і слабопов'язані конфігурації.

3. Показано, що для найвищого значення напруги на приймачі потрібні: сильний зв'язок і мала фізична відстань між передавачем і приймачем, а також високий коефіцієнт трансформації. Функція *DHC* обмежує напругу V_{in} , що надходить на *DC/DC*-перетворювач, який дозволяє передавачу працювати в більш широкому діапазоні робочої напруги.

4. В середовищі *AltiumDesigner* спроектована ДП. Змодельовано термосимуляцію в середовищі *ANSYS WORKBENCH*, яка показала що плата не потребує додаткового охолодження та досить рівномірно розподіляє температуру. Також була розрахована надійність друкованого вузла, яка повністю задовольняє завдання.

5. Розроблено стартап проект, у якому розраховано конкуренто-спроможність даного приладу. Незважаючи на велику кількість аналогів на ринку, прилад може знайти свого клієнта.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. DC-DC преобразователи — elektrik.info.com [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://elektrik.info/main/praktika/1112-dcdc-preobrazovateli.html>
2. Hotline — hotline.ua / [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://hotline.ua/mobile/universalnye-batarei/575015-579026/?p=1>
3. Qi — ru.wikipedia.org / [Электронный ресурс] — Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Qi_\(стандарт_питания\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Qi_(стандарт_питания))
4. Wireless charging efficiency: how to measure in the real world — powerelectronicstips.com / [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.powerelectronicstips.com/measuring-wireless-charging-efficiency-in-the-real-world/>
5. Batteries and charging for wireless IoT sensor nodes and wearables — <https://www.powerelectronicstips.com> / [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://www.powerelectronicstips.com/batteries-and-charging-for-wireless-iot-nodes-and-wearables/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+PowerSupplyTips+%28Power+Supply+Tips%29
6. DC1969A-B— Wireless Power Kit including DC1967A-B (Rx) and DC1968A (Tx). www.linear.com / [Электронный ресурс] — Режим доступа: www.linear.com/solutions/4543
7. LTC4120/LTC4120-4.2— Wireless Power Receiver and 400mA Buck Battery Charger. www.cds.linear.com / [Электронный ресурс] — Режим доступа: www.cds.linear.com/docs/en/datasheet/4120fe.pdf
8. Индуктивная зарядка <https://expertnov.ru> / [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://expertnov.ru/raznoe/zaryadka-induktivnaya-besprovodnaya-zaryadka-ideologiya-i-raschet-bezopasnosti-sxemotexnika-izgotovlenie-svoimi-rukami.html>

9. Котушки індуктивності <https://docplayer.ru> / [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://docplayer.ru/57790538-Katushki-induktivnosti-dlya-sistem-besprovodnoy-zaryadki.html>

10. Nurayanan R. Wireless Power Charging Coil Changing Considerations. Application Notes. Würth Elektronik, 2015-02-23b.

11. Выбор катушек для беспроводных систем. www.ecworld.ru / [Електронний ресурс] — Режим доступу: http://www.ecworld.ru/media/bip/pdfs/rentuk_ct915.pdf

12. Технологии беспроводной зарядки <https://wireless-e.ru> / [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://wireless-e.ru/wp-content/uploads/4856.pdf>

Макаренко В.С. РІ-91МП 2020