

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО"**

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва кафедри)

"До захисту допущено"

Завідувач кафедри

С.А. Найда

(підпис)

(ініціали, прізвище)

" ___ " _____ грудня 2022 р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності _____

171 Електроніка

(код і назва)

на тему: _____

**"Особливості електромагнітної обстановки, створеної
обладнанням "Розумного будинку""**

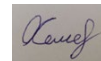
Виконав _____

студент II курсу, групи ДВ-12мп

(шифр групи)

Семерич Олексій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Керівник _____

**проф. каф. АМЕС, к.т.н., проф. Пілінський
В. В.**

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)



(підпис)

Консультант _____

(назва розділу) (посада, науковий ступінь, вчене звання,
прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

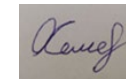
**доцент кафедри КЕОА, доцент, к.т.н.,
Корнев В. П.**

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____



(підпис)

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут” імені Ігоря Сікорського

Факультет	електроніки
Кафедра	Акустичних та мультимедійних електронних систем
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Спеціальність	171 Електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ С.А. Найда

(підпис) (ініціали, прізвище)

"___" _____ грудня _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

Семеричу Олексію Сергійовичу

1. Тема роботи _«Особливості електромагнітної обстановки, створеної обладнанням "Розумного будинку"»

керівник роботи к.т.н., професор Пілінський В.В.

затверджені наказом по університету від «08» листопада 2022 р. №4092-с

2. Строк подання студентом роботи _10 грудня 2022р. _____

3. Вхідні дані роботи: Характеристики радіоелектронного обладнання Розумного будинку та дані електромагнітної обстановки.

4. Зміст дипломної роботи: Особливості забезпечення електромагнітної сумісності обладнання Розумного будинку. Моделювання електромагнітної обстановки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Презентація з наведеними результатами аналізу.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

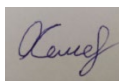
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 1.09.2022р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Написання першого розділу	12.10.2022	Виконано
2	Написання другого розділу	26.10.2022	Виконано
3	Написання третього та четвертого розділу	8.12.2022	Виконано
4	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	17.12.2022	Виконано

Студент



(підпис)

С.О. Семерич

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)



(підпис)

В. В. Пілінський

(ініціали, прізвище)

УДК 004.932

РЕФЕРАТ

Семерич О.С. «Особливості електромагнітної обстановки, створеної обладнанням "Розумного будинку": дипломна робота магістра : 171 Електроніка. - КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2022. - 72 с.

ЕМО, ЕМС, ЗАХИСНІ ПРИСТРОЇ, ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СПРИЙНЯТТЯ ІНФОРМАЦІЇ, МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ, РІВЕНЬ СИГНАЛУ, РОЗУМНИЙ БУДИНОК.

Об'єктом дослідження є електромагнітна обстановка (ЕМО) в приміщеннях, насичених радіоелектронними приладами.

Предмет дослідження: обладнання Розумного будинку, що створює складну електромагнітну обстановку.

Метою роботи є моделювання ЕМО та коментарі як ЕМО впливає на забезпечення електромагнітної сумісності .

Методом дослідження є аналіз приладів, що емітують електромагнітне поле та використання програми, щоб визначити вплив електромагнітної обстановки на забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС).

У результаті виконання дипломної роботи проаналізовано умови забезпечення електромагнітної сумісності між приладами, розташованими у Розумних будинках. Розглянуто методи моделювання ЕМО. Рекомендовано програму для визначення ЕМО.

Галузь застосування: компанії та установи, що працюють з радіоелектронними приладами в замкнених приміщеннях.

ABSTRACT

Semerych O.S Features of the electromagnetic environment created by the "Smart House" equipment: Bachelor Thesis: 171 Electronics. - Igor Sikorsky KPI, Kyiv, 2021. - 72 p.

EMO, EMS, EQUIPMENT FOR INFORMATION PERCEPTION, SET OF BASIC SERVICES, SIGNAL LEVEL, SMART HOME, SOFTWARE AND SERVICE.

The object of the study is the formation of the electromagnetic environment in rooms saturated with radio-electronic devices.

Subject of research: determination of the electromagnetic environment.

The purpose of the work is to review EMO and its modeling and comment on how EMO affects the provision of electromagnetic compatibility.

The research method is the analysis of devices emitting electromagnetic fields and the use of software to find the influence of the electromagnetic environment on EMC.

As a result of the diploma work, the provision of electromagnetic compatibility between devices located in Smart Houses was analyzed. Considered wireless technologies and their features. The recommended program for achieving EMO is considered.

Field of application: companies working on the optimization of devices in confined spaces.

ЗМІСТ

1. РОЗУМНИЙ БУДИНОК ТА ЇХ БЕЗПРОВОДОВІ СИСТЕМИ.....	11
1.1 Розумний будинок.....	11
1.2 Автоматизація будівель	12
1.3 Відмінність між системою Розумний дім та стандартною електричною системою	19
1.3.1 Захисні пристрої	21
1.3.2 Перемикачі та кнопки	23
1.4 Структура системи Розумний дім.....	25
1.5 Висновки до розділу 1	28
2. ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗПРОВОДОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	29
2.1 Система надійного та ефективного безпроводового передавання енергії.....	29
2.2 Продуктивність Bluetooth в однорідному середовищі.....	32
2.3 Магнітний нанопорошок для технології 6G	34
2.4 Висновки до розділу 2	36
3. СПОСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ЕМО ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ....	37
3.1. Особливості дослідження засобів забезпечення ЕМС.....	37
3.2 Метод моментів.....	43
3.2 Метод кінцевих елементів	46
3.4 Метод кінцевих різниць FDTD.....	48
3.3 5 Висновки до розділу 3	49
4. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ	50
4.1 Ansis HFSS	50
4.2 Результати моделювання	52

4.3 Висновки до розділу 4.....	59
5. СТАРТАП	60
5.1 Опис ідеї проекту.....	60
5.2 Опис існуючих рішень	60
5.3 Опис проблем.....	61
5.4 Ціннісна пропозиція	61
5.5 Сфера застосування продукту	61
5.6 Етапи розвитку проекту	62
5.7 Модель «Канвас»	62
5.8 Сильні та слабкі сторони проекту.....	63
5.9 Етапи реалізації проекту	63
5.10 Висновки до розділу 4.....	64
ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	67
Додаток А.....	71

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ЕМО	– Електромагнітна обстановка;
ЕМС	– Електромагнітна сумісність;
АС	– Alternating current (змінний струм);
HFSS	– High Frequency Structural Simulator (Структурний симулятор концертних частот);
BER	– Bit error rates (частоти бітових помилок);
FDTD	– Finite-difference time-domain (Скінченно-різнична часова область);
FEM	– Finite element method (Метод скінченних елементів);
ISM	– Industrial, scientific and medical(індустріальний, науковий та медичний);
MoM	– Method of moments (Метод моментів);
PT	– Parity-time (Парність часу);
RGB	– Red Green Blue;
WLAN	– Wireless Local-area Network (Безпроводова локальна мережа).

ВСТУП

Пристрої передавання інформації та всесвітня мережа на сьогоднішній день стали важливими аспектами функціонування кожної людини, і від них залежить більшість сфер діяльності. Через мережу проходить безліч інформації. Всі ці аспекти призводять до наявності неумисних електромагнітних завад. Щоб вирішити цю проблему, треба досліджувати електромагнітну обстановку (ЕМО).

Актуальність роботи полягає реалізації забезпечення електромагнітну сумісність (ЕМС) у приміщеннях, насичених апаратурою призначену для роботи у Розумних будинках.

Об'єктом дослідження електромагнітноа обстановка в приміщеннях насичених радіоелектронними приладами.

Предмет дослідження: радіоелектронне обладнання, що формує електромагнітну обстановку.

Метою роботи є моделювання ЕМО та аналіз, як ЕМО впливає на забезпечення електромагнітної сумісності .

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі завдання:

- 1) з'ясувати характеристики застосованих приладів: значення смуг частот, потужності, чутливості;
- 2) проаналізувати засоби моделювання ЕМО;
- 4) визначити як прилади впливають на електромагнітну обстановку;
- 5) запропонувати засоби забезпечення сприйнятливої ЕМО (екрани, раціональне розташування, додаткові засоби для притлумлення завад тощо), тобто запропонувати рекомендації, щоб апаратура штатно

працювала і не створювала завад в інших приладах, отже була забезпечена електромагнітна сумісність.

Методом дослідження є теорія електромагнітного поля, теорія електричних кіл та використання програми, щоб визначити вплив електромагнітної обстановки на забезпечення ЕМС.

Новизна роботи полягає у пошуку засобів для покращення ЕМО у Розумних будинках, насичених радіоелектронною апаратурою.

Практична цінність полягає у наданні рекомендацій прогнозування електромагнітної обстановки для досягнення електромагнітної сумісності, тобто штатного функціонування і працездатності обладнання систем і приладів Розумного будинку.

1. РОЗУМНИЙ БУДИНОК ТА ЇХ БЕЗПРОВОДОВІ СИСТЕМИ

1.1 Розумний будинок

Будинки, квартири, комерційні приміщення та споруди різного призначення складають з окремих електричних пристроїв і систем, де кожен з них потребує окремого поводження та повинні працювати незалежно один від одного. Зазвичай в будинках неможливо відкрити двері за допомогою пульта від телевізора або не можемо змінити радіостанцію біля настінних вимикачів. Кожна система працює автономно.

Розумний будинок – це житло, де організована система домашньої автоматизації, яка об'єднує всі електричні пристрої для управління освітленням, опаленням, кондиціонуванням повітря, вентиляцією, охоронною сигналізацією, аудіо та відео система, пристрої виклику, обладнання контролю енергії, присутність, автоматика (двері, вікна, жалюзі, ворота), технічна сигналізація (наприклад, небажаний розлив води). Таким чином, Розумний будинок створений шляхом підключення окремих частин побутових установок, таких як освітлення, опалення, охолодження, жалюзі, датчики тощо у загальну систему. Ця форма автоматизації призводить до зменшення потреби у взаємодії з людьми та підвищення комфорту та безпеки надання додаткових переваг та підвищення енергоефективності [1].

Перш за все, ні електрична система, ні сам будинок не є «розумними», оскільки вони не запрограмовані самі, вони не навчають самостійно своїми помилками і не виправляють їх (за винятком випадків, коли вони оснащені штучними розумними системами).

По-друге, підвищуючи енергоефективність, тобто зменшуючи споживання електроенергії, зменшуємо вплив вуглецю, що відповідає

поточній європейській та світовій політиці. На рис 1.1 умовно показано особливості «взаємозв'язку» обладнання у Розумному будинку.

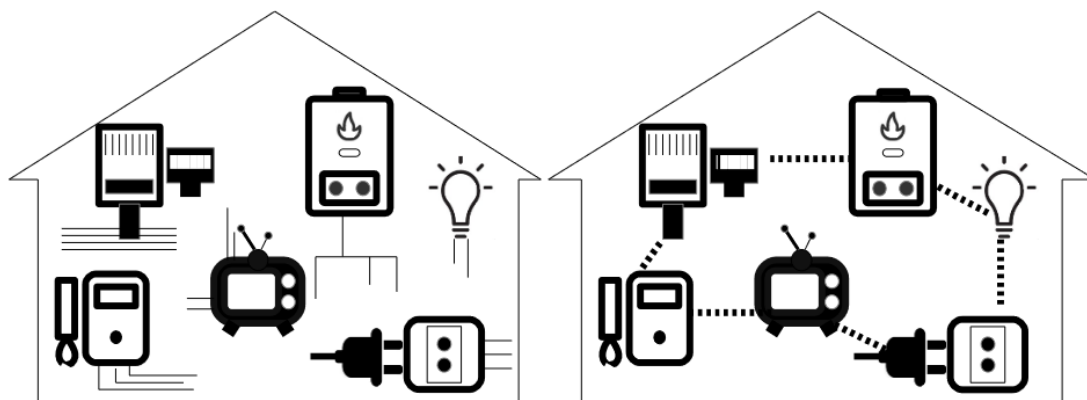


Рисунок 1.1 – Стандартні електричні системи у системі Розумного будинку

1.2 Автоматизація будівель

Домашня автоматизація, або системи Розумного дому складають з розумних термостатів, освітлення з датчиком руху, автоматизованого опалення та системами вентиляції. Також автоматизацію треба визначати як використання набору пристроїв, які керують базовими функціями будинку автоматично, а іноді й віддалено.

Більшу частину часу кімнати будівлі використовують вдень. Є десятки, сотні чи навіть більше пристроїв, якими потрібно керувати. Є також багато пристроїв, які не використовують у звичайних будинках (наприклад, ескалатори) [2].

Загальне визначення автоматизації будівель може бути таким: «Система автоматизації, яка містить: комплексний і скоординований контроль однією чи кількома основними системними функціями, що необхідні у об'єктах».

Системи Розумного будинку (або системи домашньої автоматизації) і системи автоматизації будівель є «спорідненими», які поділяють ті самі технології та здатність до контролю.

Освітлення. Освітлення є найважливішим і найчастіше використовуваним елементом електрики у домі. Наразі люди більшу частину часу вдома проводять увечері. Оскільки в цей час не вистачає природного світла, його замінюють на штучне. У деяких приміщеннях будинку рекомендують використовувати освітлення з можливістю затемнення або рівномірною зміною температури освітлення (колір світла). Такі кімнати – це не просто вітальні та спальні, де досягають різного рівня світлової сцени, але також може бути передпокій між спальнею і ванною або дитячою кімнатою. Розумні будинки зазвичай також мають зовнішнє освітлення. З різними лампами можна створити різні сцени та атмосфери перед домом.

За застосування системи Розумного будинку можна керувати всіма видами ламп у режимі ввімкнення/вимкнення або затемнення, вибір найкращого інтерфейсу (звичайна кнопка або віддалений інтерфейс, наприклад за застосування смартфона або пульта дистанційного керування). Можна вибрати лампу або групу ламп для ввімкнення або вимкнення, встановити певний час доби, щоб лампу увімкнути.

Також можна використовувати іншу функцію для того ж, що й домашня безпроводова мережа «знає», де знаходиться людина, тому що є смартфон. Таким чином, під'їзна дорога до будинку може бути засвічена, як тільки людина наблизиться до свого дому досить близько, щоб увімкнути його самостійно за телефоном.

Опалення. Опалення є однією з підсистем, які завжди присутні в оселі. Деякі користувачі, можливо, живуть в будівлі та мають центральне

опалення з радіаторами. У цьому випадку можна встановити термостатні клапани (рис 1.2), підключені до системи Розумного дому, і керувати ними кімнати, налаштовуючи різні температури. Деякі люди, живуть у таунхаусі або на віллі. У цьому випадку можна мати теплу підлогу з гідравлічним колектором, і можна встановити більше зональних клапанів з приводами підключених до системи Розумний дім.



Рисунок 1.2 - Термостатні клапани

Сцени (сценарії): «сцену» використовують для встановлення групи команд, які діють на їх приводи з різними значеннями. Типовими прикладами є освітлення сцен для різних ситуацій (вечірка, романтична вечеря, перегляд телевізора тощо).

Якщо є дво- або триповерховий будинок, завдання закрити або відкрити всі вікна може займати певний час. Але якщо є система Розумний дім, у вхідних дверей можна встановити на стіні вимикач, за допомогою якого можна вимкнути все світло в квартирі на момент, коли виходять з дому лише одним натисканням кнопки. Можливість надіслати команду для кількох різних приводів може бути дуже корисною.

Сцена не повинна мати справу лише з освітленням. Наприклад, «кіносцена» може включати спеціальне керування світлом, жалюзі в

кімнаті опущені, відеопроєктор увімкнено і моторизований екран активують.

Протизламна система: більшість виробників систем Розумного дому продають пристрої, які забезпечують захист від злону. Функції крадіжки, від найнижчого рівня (лише датчики присутності та сирена) до найвищого (зв'язок з поліцією або службою безпеки на випадок спрацювання протиугінної системи).

Якщо грабіжник проникне у будинок, система Розумного будинку також може викликати швидке мигання всього освітлення в квартирі (схоже на стробоскопічне світло), щоб максимально заплутати грабіжника [3].

Симуляція присутності. Навіть найкраща протизламна система у світі не відверне рішучого грабіжника. Але система Розумного дому може дещо зробити.

Система Розумний дім може надати набагато досконалішу функцію моделювання присутності. Записує команди протягом будь-якого дня, наприклад:

- коли в будинку вмикали та вимикали окремі світильники,
- підняті та опущені жалюзі у кожній кімнаті,
- змінене освітлення кімнат,
- змінено колір світлодіодних ламп RGB.

Таким чином, можна записувати те, що відбулося протягом дня, тижня чи навіть місяця, просто щоб відтворення запису мало якомога реалістичніший вигляд.

Будильник і кімнатний контроль. Система Розумного дому може дати можливість не тільки встановити більше будильників, але й бути

підключеним до дитячої кімнати (наприклад, за допомогою планшета або смартфона) і відразу включити світло в кімнаті на максимум і підняти жалюзі.

З простим натисканням кнопки можна заблокувати роботу вимикачів, які керують освітленням і жалюзями у дитячій кімнаті.

Контроль погоди. Система Розумного будинку може бути оснащена погодним модулем, здатним вимірювати такі дані, як інтенсивність дощу, вологість, швидкість вітру тощо.

Автоматика. Використовуючи електричні двигуни, керовані смарт-приводами, підключеними до системи Розумного будинку, можна автоматизувати майже все: двері, вікна, жалюзі, ворота, ширми, навіть крісла та диван.

Таким же чином можна керувати сторонніми пристроями, які можна інтегрувати в смарт управління домашніми системами, як сходовий підйомник тощо.

Безпека. Захист будинку сьогодні є абсолютно необхідним, оскільки забезпечує компенсацією у разі пожежі, крадіжки зі зломом, але необхідно запобігати цьому. Різні події, які фіксують датчики в Розумному будинку, а також дані про опалення, кімнатну температуру, освітлення, вентиляцію тощо обробляють в режимі реального часу. Це означає, що система повідомить користувача про подію, як тільки вона відбулась, а не пізніше. При цьому всі ці події можуть бути автоматично збережені в базі даних подій для можливих потреб пізніше [4].

Система Розумного будинку забезпечує зв'язок між різними важливими функціями безпеки. До системи сигналізації можна підключити електроустановку, а також датчики руху, дим, CO₂, розливання води, відкривання вікна та двері, вимірювання споживання

енергії. З їх допомогою можна захистити свій будинок від пошкоджень і зменшити побічні ефекти внаслідок випадкових подій.

Енергоефективність. Домогосподарства використовують енергію для різних цілей: опалення приміщень і води, охолодження приміщень, приготування їжі, освітлення, електроприлади та інші види кінцевого використання (рис 1.3) [5].

У більшості випадків користувач не усвідомлює споживання енергії, необхідне використаним обладнанням, і в цьому випадку лише можливість контролювати це, може зменшити витрати енергії.

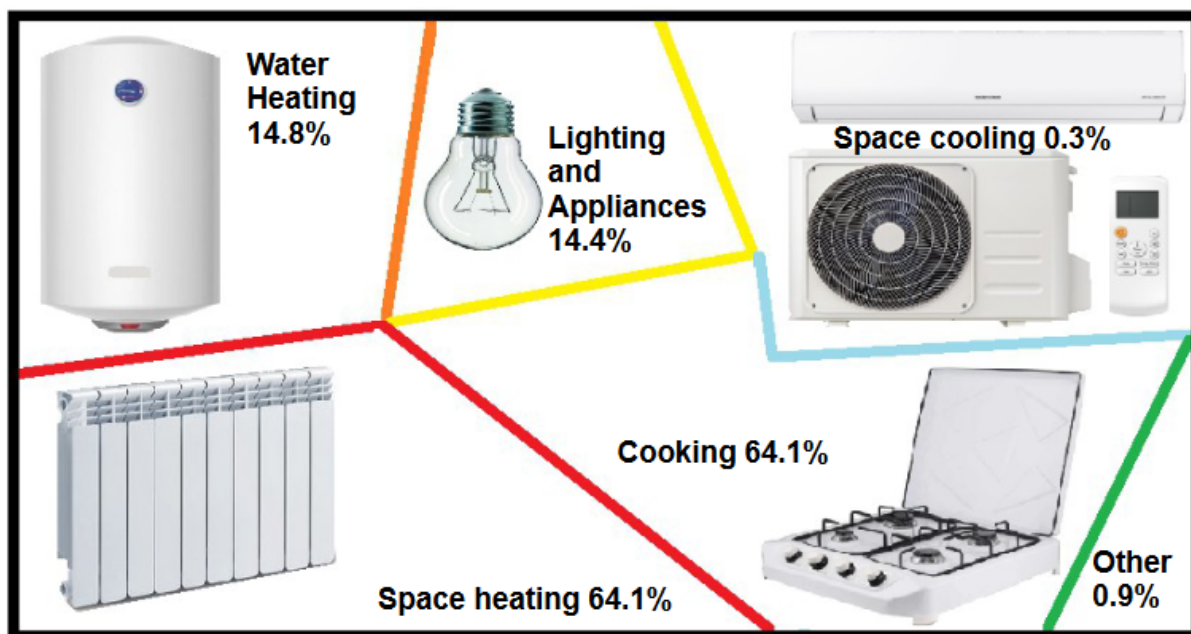


Рисунок 1.3 - Споживання енергії в домогосподарствах ЄС узимку

Система Розумного дому може вимірювати та відображати енергоспоживання всіх пристроїв підключених до електричної системи, встановити поріг потужності, який не треба перевищувати, щоб запобігти спрацюванню загального вимикача, активувати прилад, коли тариф на енергію є зручнішим, вимкнути світло і опалення, коли в кімнаті нікого немає. Окрім цього, це може бути інтерфейс з усіма видами систем виробництва відновлюваної енергії.

Системи Розумного будинку з розумними термостатами, датчиками присутності та моніторингом енергії пристроїв прокладають шлях до яскравішого, екологічнішого майбутнього – і заощаджують витрати.

Дистанційне керування будинком необхідно для того, щоб керувати всіма пристроями та функціями, які використовують перемикачі, кнопки, сенсорні екрани та навіть інтерфейс голосового керування. Більшість з виробників системи Розумний дім дає вам сьогодні можливість мати дистанційне керування інтерфейсу, і здебільшого він містить веб-сторінки, де входити і перевіряти стан кожного обладнання та кожної підсистеми (рис. 1.4).

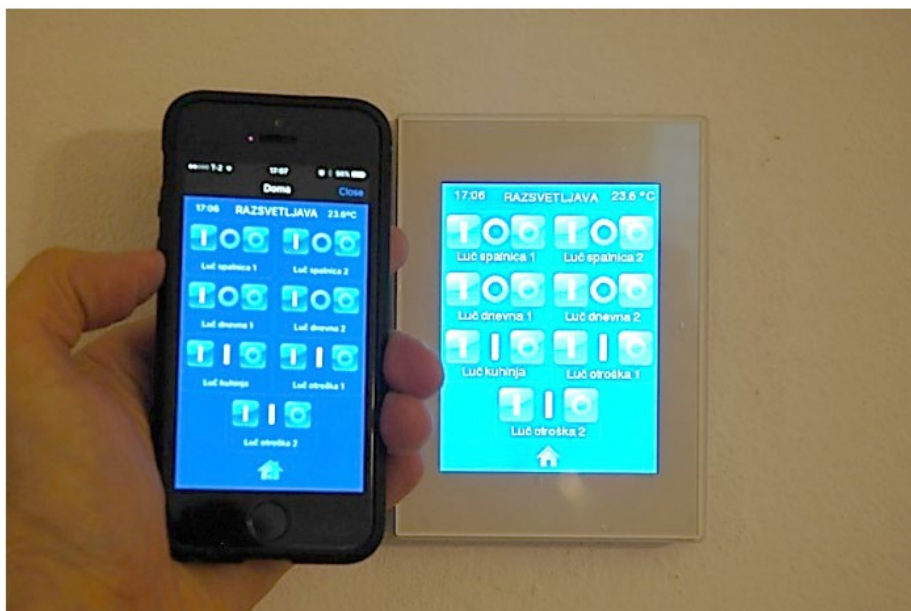


Рисунок 1.4 - Управління будинком зі смартфона

1.3 Відмінність між системою Розумний дім та стандартною електричною системою

Напруга, яку використовують в Європі (включаючи Великобританію і Україну у 2014 році), гармонізована з січня 2003 за номінальним значенням 230 В, 50 Гц. Її поширюють за допомогою двох провідників, які називають Line (буква L, колір коричневий або чорний) і нейтральний (літера N, колір синій). Між ними проходить змінна напруга (АС) синусоїдальної форми.

Правильний вибір провідника визначають призначенням кінцевого пристрою, тобто його потужністю. Найважливішим фактором під час вибору правильного кабелю є сила струму, яку він пропускає. Наприклад, провідник 1,5 мм² і захист 10 А найбільше зазвичай використовують для освітлення, тоді як провідник 2,5 мм² і захист 16 А або більше, в залежності від споживача, використовують для розеток. Для розрахунку провідника, падіння напруги від розподільної шафи до будинку також розраховують підключення вимірювальної шафи. Допустиме падіння напруги, на провіднику не може перевищувати 4% [2].

Усі навантаження (узагальнено) на електростанції підключені, як показано на рисунку 1.5.

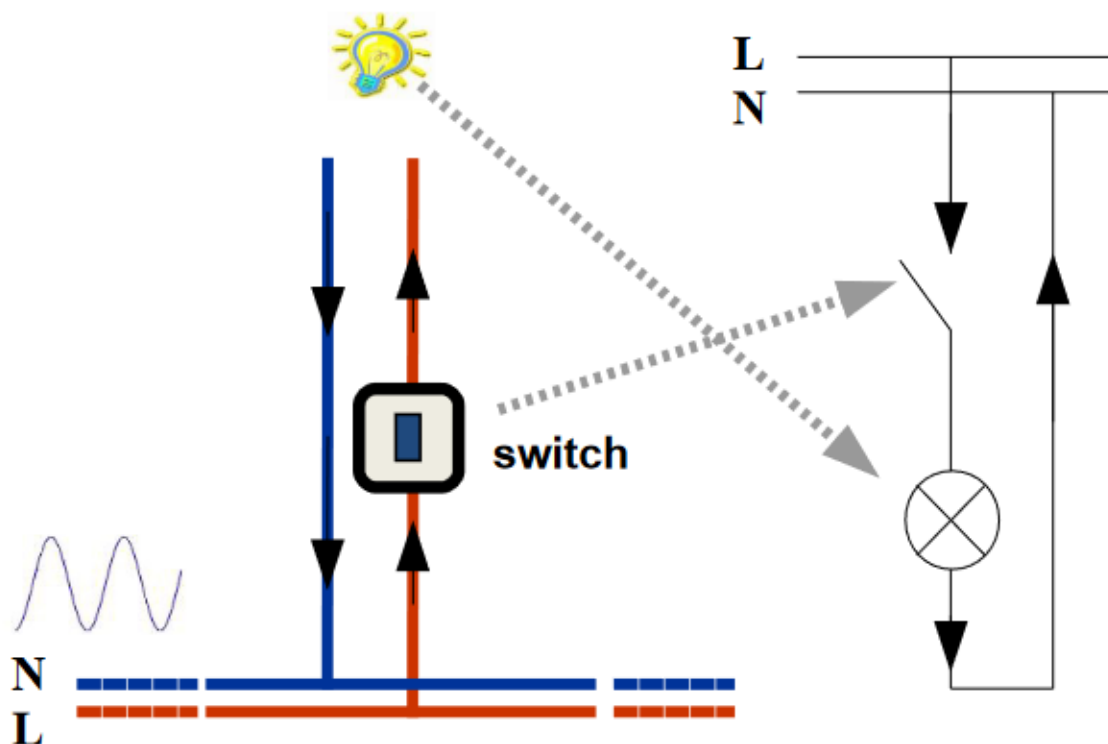


Рисунок 1.5 - Підключення навантаження та перемикача у стандартній електричній системі

Також є третій провід, який називають «Захисне уземлення» (букви PE – Рисунок 1.6). З міркувань безпеки цей провід подає потенціал землі до всіх електричних розеток. Техніку з металу під'єднано до проводу уземлення, щоб у разі пошкодження ізоляції всередині приладу струм був замкнутий на землю, тим самим спрацював вимикач або розплавив запобіжник цього кола, і це забезпечило захист життя людини (Рисунок 1.6).

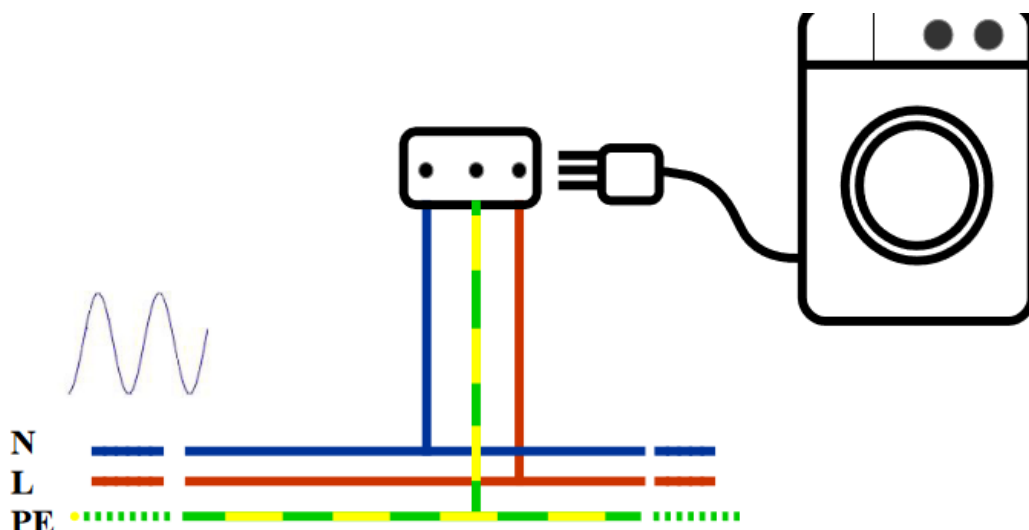


Рисунок 1.6 - Кабель захисного уземлення

У стандартній електричній системі вимикач — це точка, де користувач вирішує увімкнути або вимкнути load (тобто команда), а також є точкою, де лінія підключена чи ні до навантаження [2].

1.3.1 Захисні пристрої

З метою захисту виконаної електроустановки в будівлях встановлюють захисні пристрої від виходу з ладу внаслідок надмірного нагрівання та струму короткого замикання, а також для захисту людей від електричного струму.

Деякі приклади захисних пристроїв:

1. Автоматичний вимикач: служить для захисту провідників від надструму з місця їх установки на навантаження, але не саме навантаження (Рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 - Автоматичний вимикач

2. Автоматичний вимикач залишкового струму: також називають «диференційним вимикачем», оскільки він контролює вхідний і вихідний струм, і якщо створюють різницю, електричне коло розривають (інакше струм міг протікати в тіло людини).
3. Комбінований автоматичний вимикач (Рисунок 1.8): це пристрій, що поєднує в собі функції автоматичного кола вимикача і пристрій захисного відключення, тому це практичний елемент, якщо виникне проблема з місцем в розподільнику.



Рисунок 1.8 - Комбінований автоматичний вимикач

4. Switch-disconnectors (Рисунок 1.9): це пристрій, який використовують для складання та ізоляції електричних кіл і характеризують високим ступенем сумісності.



Рисунок 1.9 - Switch-disconnectors

5. Запобіжник (Рисунок 1.10): це пристрій, що захищає від короткого замикання. Здебільшого він має склад з нитки певного діаметру, відкалібрований для підтримки певної величини струму. Коли струм перевищує цю кількість, нитка і ланцюг перериває з'єднання.



Рисунок 1.10 - Запобіжник

1.3.2 Перемикачі та кнопки

Комутаційні елементи призначені для вмикання та вимикання електрообладнання та приладів. Приклади таких елементів:

1. Вимикачі (Рисунок 1.11): бістабільні пристрої, які використовують для вмикання та вимикання навантаження (лампи або приладу). Вони не мають, положення «відпочинок»: при натисканні вони залишились в тому положенні, яке мають, доки інше натискання не змінить цю позицію. Одна позиція відповідає стану ON, а інший – у стані OFF із фіксованим призначенням.



Рисунок 1.11 - Вимикачі

2. Кнопки (Рисунок 1.12): моностабільні пристрої, що використовують для вмикання та вимикання навантаження. У них тільки одне стабільне положення, а коли їх відпустити, вони автоматично повертають в це стабільне положення. В стандартній електричній системі, якщо треба використовувати кнопку для керування навантаженням, використовують реле, яке за одного запуску може змінювати та підтримувати свій стан.



Рисунок 1.12 - Кнопки

3. Імпульсний вимикач (Рисунок 1.13): електронний дистанційний вимикач з функцією енергозбереження. Якщо не вимкнемо світло протягом встановленого часу, натиснувши кнопку, воно автоматично вимкнулось.



Рисунок 1.13 - Імпульсний вимикач

1.4 Структура системи Розумний дім

У той час як у стандартній електричній системі функції керування та підключення живлення є одним і тим же пристроєм (перемикачем), у системі Розумного будинку ці дві ролі виконують відокремлено: функція керування виконують «розумним перемикачем» і підключенням до електромережі виконують «розумним приводом». Таким чином, і команди, і виконавчі механізми повинні мати можливість передавати та отримувати інформацію підключеної до комунікаційної шини, яка також є інфраструктурою, яка їх живить. Дана інфраструктура зображена на рисунку 1.14. Ця шина проходить через усі інтелектуальні модулі системи, починаючи від пристрою живлення.

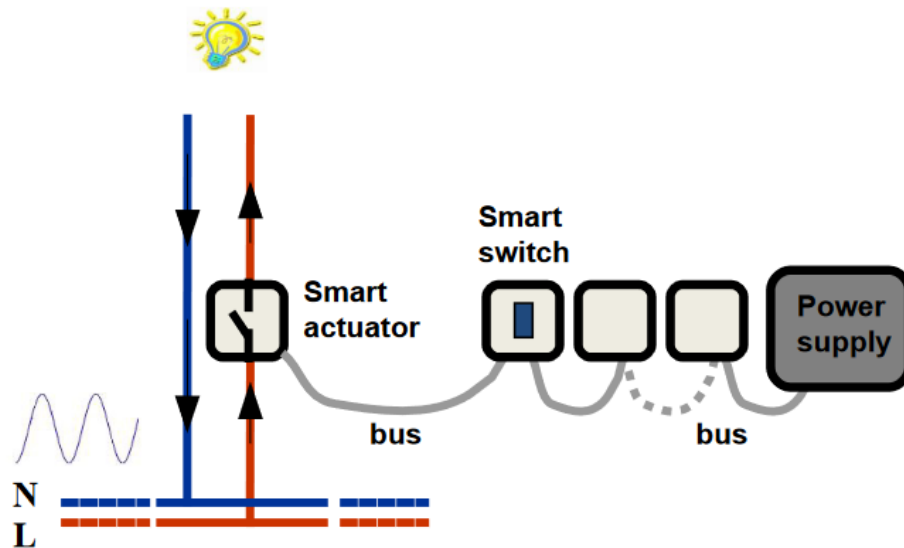


Рисунок 1.14 - Інфраструктура системи Розумний будинок

Щоб пристрої могли обмінювати інформацію один з одним, необхідно налаштувати протоколами, які дають змогу спілкуватись один з одним. Той факт, що система Розумного дому є децентралізованою, означає відсутність центральної життєво важливої точки (наприклад, центральний комп'ютер або контролер), що призведе до раптового вимкнення системи. Кожен комунікаційний елемент системи параметризують окремо і в разі відмови одного елемента, інші продовжують нормальний режим роботи [6].

У системі Розумного будинку розрізняють частину установки, яка розподіляє енергію (230 В) і комунікаційну частину установки (BUS), підключену до низької напруги, як показано на рисунку 1.15.

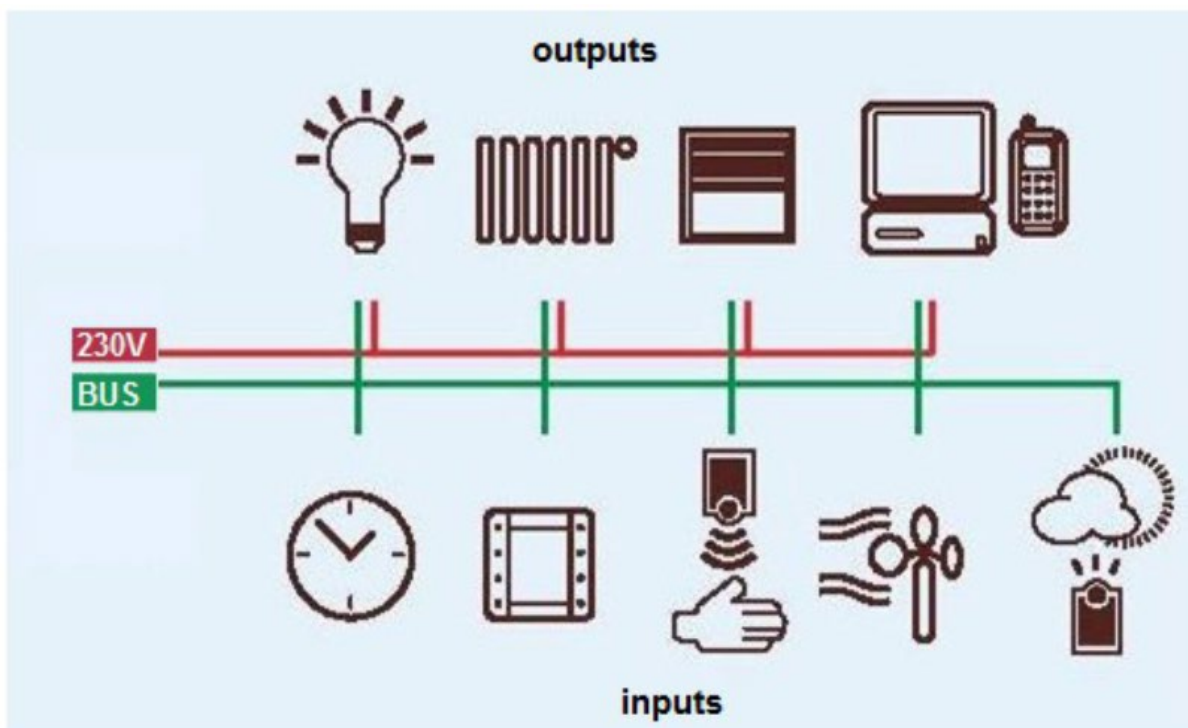


Рисунок 1.15 - Розподіл енергії та шини в системі Розумного будинку

Кожен кінцевий пристрій підключають до енергетичної частини установки і до комунікаційної шини через відповідний виконавчий механізм, а пристрої керування (кнопки, перемикачі, датчики, термостати, тощо) підключають тільки до шини зв'язку.

Оскільки всі елементи, вхід і вихід, підключені до комунікаційної шини, взаємодія між різними системами та пристроями (наприклад, інформація про поточну температуру, швидкість вітру, відблиски, інтенсивність світла, зайнятість простору, виміряні датчиком можуть використовувати як вхідні дані для кожного пристрою в системі). У зв'язку з можливістю взаємодії між різними системами більш високого рівню регуляції досягають управління системою, що забезпечує більшу економію енергії в будівлі. Після впровадження системи Розумний дім її можна перепрофілювати та змінювати [7].

1.5 Висновки до розділу 1

1. Розглянуто поняття Розумного будинку. Описано доцільність даної системи та її енергоефективність.
2. Проаналізовано систему автоматизації будівель. З'ясовано та перераховано системи, які використовують у Розумних будинках.
3. Розглянуто відмінність між системою Розумний будинок та стандартною електричною системою.
4. Описано захисні пристрої та перемикачі, що використовують в Розумних будинках.
5. Описано структуру системи Розумний будинок та взаємодію її складових.

2. ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗПРОВОДОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Система надійного та ефективного безпроводового передавання енергії

Сучасні методи заряджання електронних пристроїв безпроводової технології працюють, якщо загальні параметри системи налаштовані таким чином, щоб відповідати певній відстані передавання енергії. В результаті ці способи обмежені стаціонарними додатками передавання енергії, тобто пристрій, який отримує енергію, має підтримувати певну відстань від джерела, щоб акція була успішною.

Дослідники Стенфордського університету нещодавно розробили нову технологію, яка може забезпечити більш ефективне безпроводове передавання енергії незалежно від відстані між пристроєм та його джерелом живлення. Стаття, яка опублікована в журналі Nature Electronics, може допомогти подолати деякі поточні обмеження існуючих інструментів для безпроводової зарядки електронних пристроїв [8].

"Основною метою нашого дослідження було подолати завади для динамічного безпроводового заряджання", - сказав Сід Ассаваорраріт. "Наша ідея заснована на parity-time симетрії (PT симетрії), яка стосується систем зі збалансованим посиленням і втратами" [9].

В одному з своїх попередніх досліджень Ассаваорраріт та його колега Шаньхуей Фан представили нелінійну PT-симетричну схему, яка може забезпечити надійну безпроводову передачу енергії, зберігаючи цю можливість навіть під час швидкому переміщенні пристрою в заданому просторі. Хоча їх система досягла багатоо іцяючих результатів, її загальна ефективність була далека від задовільної. У своєму новому дослідженні

дослідники представили стратегію проектування, яка робить їх раніше розроблену систему більш надійною та ефективною [9].

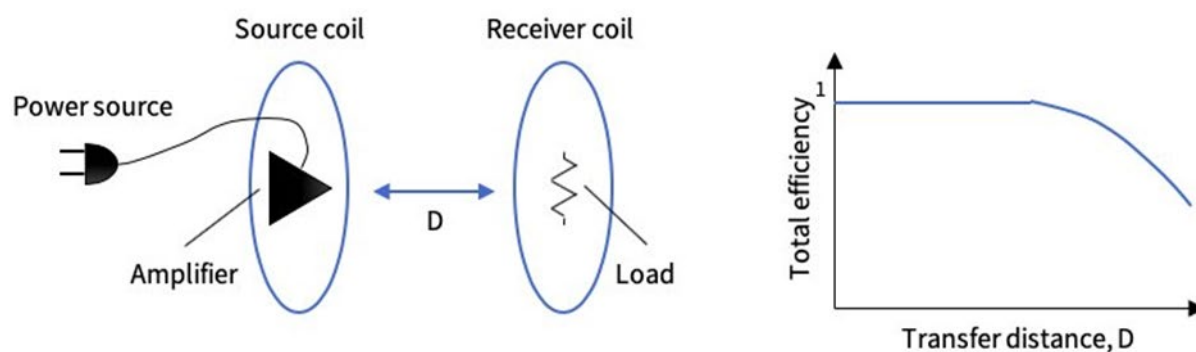


Рисунок 2.1 - Концептуальне креслення безпроводової системи передавання енергії

"Надійність нашої системи досягнуто внаслідок застосування підсилювача в якості елемента посилення на стороні джерела пропонованої безпроводової системи передавання енергії", - пояснив Ассававорраріт. "Посилення дає змогу енергії накопичуватись в системі з плином часу, причому частота коливань зростає найшвидше. Це схоже на те, що відбувається в генераторі, за винятком того, що джерело живлення і навантаження розділені в просторі."

Власна частота системи - це частота, на якій система добре працює і яка полегшує ефективну передачу потужності на пристрій. У системі, розробленій дослідниками, ця частота коливань самоналаштовується під мінливі умови роботи, переміщення пристрою, що отримує живлення в субмілісекундному масштабі часу, таким чином підтримуючи ефективну точку передавання, навіть коли пристрій перебуває в швидкому русі [10].

"Висока ефективність нашої системи досягнута завдяки ретельному проектуванню елемента посилення. Готовий підсилювач, який використовувався в нашій попередній роботі, генерує посилену версію

вхідного сигналу, відключаючи частину свого джерела постійного струму, яка не виходить у вигляді коливань на виході, і, таким чином, має низьку ефективність, зазвичай близько 50% або нижче".

Використовуючи перемикаючі підсилювачі, Ассаворраріт і Фан змогли запобігти втраті ефективності, яка заважала загальній ефективності схеми в своїх попередніх дослідженнях. Підсилювачі, які вони використовували, запобігли цій втраті ефективності, використовуючи транзистор в якості керованого перемикача, який майже не споживає енергії ні під час ввімкнення, ні за вимкненої системи.

Тим не менш, підсилювачі, що перемикають, зазвичай розраховані на вузьку робочу смугу частот через необхідність забезпечення ефективного режиму перемикавання та вихідної потужності, які зазвичай чутливі до частоти. При правильному проектуванні схеми вклади від зв'язку і варіацій власної частоти в відстань передачі зводять нанівець, і, отже, ефективне перемикавання може підтримувати в широкому діапазоні відстаней передачі.

Ключовою перевагою нової системи безпроводової зарядки, є її надійність, незалежно від того, наскільки далеко пристрій перебуває від джерела живлення. Система може швидко адаптуватись в масштабі часу менше мілісекунди, що означає, що вона може забезпечити віддалену безпроводову зарядку навіть тоді, коли пристрій перемістився з дуже високою швидкістю, наприклад, автомобіль, що мчить по автомагістралі.

З точки зору теоретичного внеску, наша робота вказує на важливість нелінійності в динаміці РТ-симетричних систем. З практичної точки зору наша робота являє собою важливий крок до динамічної безпроводової передачі енергії, показуючи, що така передача може бути здійснена надійно та ефективно.

У серії початкових тестів нова система досягла позитивних результатів, оскільки вона змогла ефективно передавати близько 10 Вт потужності по безпроводовій технології на рухомий пристрій, що перебуває на відстані від 0 до 65 см від джерела, з майже постійною загальною ефективністю 92%. У майбутньому система може бути вдосконалена ще більше, щоб забезпечити передачу більшої кількості енергії з ще більш широкого діапазону відстаней [9].

2.2 Продуктивність Bluetooth в однорідному середовищі

Різні безпроводові технології використовують неліцензійні ISM-смуги в діапазоні частот 2,4 ГГц. Через спільне розміщення, служби створюють взаємні завади один одному; це знижує продуктивність щодо частоти бітових помилок (BER) і, отже, пропускну здатності. Bluetooth займає меншу смугу пропускання і споживає мало енергії. Попри це створює більше завад в порівнянні з іншими службами з високою пропускну здатністю, що називають гетерогенним середовищем.

Bluetooth – це стандартна безпроводна технологія, доступна в різних пристроях, внаслідок низькій вартості і малопотужності безпроводового зв'язку на короткі відстані. Bluetooth може легко під'єднатись до різних пристроїв, таких як комп'ютери, камери, ноутбуки, гарнітури, мобільні телефони, безпроводові принтери та інші пристрої з підтримкою Bluetooth через безпроводову мережу. Bluetooth працює в без ліцензійному промисловому науковому і медичному діапазоні 2,4 ГГц, де присутні безліч радіо технологій, таких як WLAN, ZigBee і безпроводові телефони. Bluetooth призначений для роботи в шумному частотному середовищі, з швидким підтвердженням і методами перебудови частоти для зменшення завад у смузі частот. Радіоприймач Bluetooth працює швидше, ніж інші

пристрої. У різних роботах повідомлялось про продуктивність Bluetooth щодо швидкості, PER і пропускної здатності з наявністю інших технологій радіо доступу, таких як ZigBee і WLAN. Продуктивність Bluetooth швидко зменшилась через безпроводову мережу, яка також залежить від відстані. Відомо, що BER і пропускна здатність Bluetooth зменшить зі збільшенням завад Bluetooth. Існує компроміс між відстанню, на якому Bluetooth взаємодіє з BER, і пропускною здатністю. Продуктивність можна підвищити, застосувавши до Bluetooth іншу послідовність перемикання.

Bluetooth, ZigBee і WLAN працюють в одному і тому ж безліцензійному діапазоні, тому співіснування цих служб неможливо. Оскільки пристрої відрізняють за фізичним дизайном та аспектами протоколу, це призводить до того, що сигнал одного пристрою діє як завада для іншого пристрою. Оскільки протоколи Bluetooth і WLAN засновані на різному механізмі, їх сигнал не є взаємно «зрозумілим» один для одного. Це впливає на продуктивність щодо пропускної здатності. Wi-Fi перевіряє доступність каналу і потім передає сигнал, в той час як Bluetooth продовжує його передачу незалежно від доступності каналу. Хоча WLAN має більшу пропускну здатність, ніж Bluetooth, WLAN страждає від пропускної здатності більше, ніж Bluetooth. Метод запобігання перекриття (МЗП), при якому довжина пакета регулює в Bluetooth і Wi-Fi. Повідомлялось про деяку роботу по спільному використанню антени для цього протоколу за методом планування з поділом за часом. М. А. М. Мухамед. використовувались коди згортки [11].

2.3 Магнітний нанопорошок для технології 6G

Матеріалознавці розробили швидкий метод виробництва епсилон-оксиду заліза та продемонстрували перспективність для комунікаційних пристроїв наступного покоління. Видатні магнітні властивості роблять такий матеріал одним із найбажаніших, наприклад, для пристроїв зв'язку майбутнього покоління 6G і для довговічного магнітного запису. [12].

Оксид заліза (III) — один із найпоширеніших оксидів на Землі. Зустрічають здебільшого як мінерал гематит (або альфа-оксид заліза, α - Fe_2O_3) (Рисунок 2.2). Іншою стабільною і поширеною модифікацією є маггеміт (або гамма-модифікація, γ - Fe_2O_3). Перший широко використовують в промисловості як червоний пігмент, а другий як магнітний носій запису. Ці дві модифікації відрізняють кристалічною структурою (альфа-оксид заліза має гексагональну сингонію, а гамма-оксид заліза має кубічну сингонію) [13].



Рисунок 2.2 - Оксид заліза (III).

Крім цих форм оксиду заліза (III), існують більш екзотичні модифікації, такі як епсилон-, бета-, зета- і навіть склоподібний. Найбільш привабливою фазою є епсилон-оксид заліза, ϵ - Fe_2O_3 . Ця модифікація має надзвичайно високу коерцитивну силу (здатність матеріалу чинити опір зовнішньому магнітному полю). Крім того, матеріал поглинає електромагнітне випромінювання в субтерагерцевому діапазоні частот

(100...300) ГГц внаслідок ефекту природного феромагнітного резонансу. Частота такого резонансу є одним із критеріїв для використання матеріалів у пристроях безпроводового зв'язку — 4G. стандарт використовує частоти у діапазоні мегагерц, а 5G використовує частоти десятки гігагерц. Субтерагерцовий діапазон планують використовувати як робочий у безпроводовій технології шостого покоління (6G), яку активно впровадять на початку 2030-х років.

Отриманий матеріал придатний для виробництва блоків перетворення або схем поглинача на цих частотах. Наприклад, за допомогою композитних нанопорошків $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ можна буде виготовляти фарби, які поглинають електромагнітні хвилі і таким чином захищають приміщення від сторонніх сигналів і захищають сигнали від перехоплення ззовні. Сам $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ також можна використовувати в пристроях прийому 6G.

Епсилон-оксид заліза є надзвичайно рідкісною формою оксиду заліза, яку важко отримати. Сьогодні його виробляють в дуже невеликих кількостях, а сам процес займає до місяця. Це, звичайно, виключає його широке застосування. Автори дослідження розробили метод прискореного синтезу епсилон-оксиду заліза, здатний скоротити час синтезу до одного дня (тобто провести повний цикл більш ніж у 30 разів швидше) і збільшити кількість одержуваного продукту. Технологія проста у відтворенні, дешева і може бути легко реалізована в промисловості, а матеріали, необхідні для синтезу — залізо та кремній — є одними з найпоширеніших елементів на Землі.

Хоча епсилон-залізооксидна фаза була отримана в чистому вигляді відносно давно, в 2004 році, вона досі не знайшла промислового застосування через складність синтезу, наприклад, як середовище для магнітного запису [14].

«Матеріали з такими високими частотами феромагнітного резонансу мають величезний потенціал для практичного застосування. Сьогодні технологія терагерцового діапазону процвітає: це Інтернет речей, це надшвидкісні комунікації, це більш вузьконаправлені наукові пристрої, і це нове покоління медичної технології. Хоча стандарт 5G, який був дуже популярний минулого року, працює на частотах в десятки гігагерц, дані матеріали відкривають двері для значно вищих частот (сотні гігагерц), а це означає, що можна працювати зі стандартами 6G і вище [15].

2.4 Висновки до розділу 2

1. Розглянуто систему надійної та ефективної безпроводової передачі енергії. Описані переваги нової системи безпроводової зарядки.
2. Розглянуто продуктивність Bluetooth в однорідному середовищі.
3. Досліджено питання про магнітний нанопорошок для технології 6G.
4. Описано властивості оксиду заліза, та як він впливає на безпроводові технології.

3. СПОСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ЕМО ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

3.1. Особливості дослідження засобів забезпечення ЕМС

Електромагнітна сумісність— здатність радіоелектронних засобів і випромінювальних пристроїв одночасно функціонувати з обумовленою якістю в реальних умовах експлуатації з урахуванням впливу ненавмисних радіозавад і не створювати неприпустимих радіозавад іншим радіоелектронним засобам [16].

В основному у місці розташування електрообладнання діють декілька випромінювачів. Гарантування співпраці технічних приладів є задачею для забезпечення ЕМС. Предметом можна вважати знаходження закономірностей взаємодії усіх пристроїв, що мають випромінювання, на базі яких створюються певні рекомендації для забезпечення ЕМС.

Забезпечення ЕМС важливе не лише для реалізації функціональної продуктивності, а також, щоб прилад відповідав вимогам законодавства в усіх країнах світу, перш ніж його можна буде продати. Розробка електронного продукту для виконання нової функції безрезультатна, якщо в результаті не можна це продати. Наявність позначки на приладах або пакуванні СЕ означає дозвіл реалізації приладу в країнах Європейської Спільноти в сенсі відповідностей забезпечення ЕМС.

Техніка та методологія забезпечення ЕМС стали такою ж невід'ємною частиною конструкції, як, наприклад, цифровий дизайн. Актуальність теми зростатиме, оскільки тенденція до підвищення тактової частоти та швидкості передачі даних цифрових систем та чутливості апаратури продовжується [17].

Забезпечення електромагнітної сумісності пов'язана з генеруванням, передачею та прийманням електромагнітної енергії, як носія інформації.

Ці три аспекти проблеми забезпечення електромагнітної сумісності формують базову структуру будь-якого проекту електронної апаратури. Це показано на рис. 3.1. Джерело (також відоме як випромінювач емітер створює випромінювання, а шлях зв'язку передає енергію випромінювання до рецептора (приймача), де вона обробляється, що призводить до бажаної або небажаної поведінки.

Завада виникає, якщо отримана енергія змушує рецептор поводитись небажано. Передача електромагнітної енергії може відбуватись за ненавмисних режимів зв'язку.

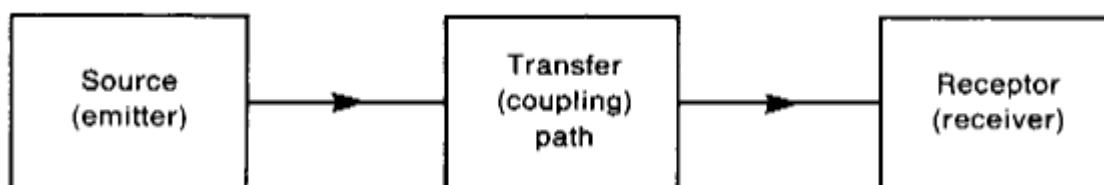


Рисунок 3.1 - Основна декомпозиція проблеми електрозв'язку.

Однак ненавмисна передача енергії призводить до завад у випадку, якщо отримана енергія має достатню величину значення та/або спектральний вміст на вході рецептора, щоб вплинути на рецептор і спричинити небажані функції [18].

Тому обробка отриманої енергії рецептором є важливою частиною питання про те, чи будуть завади. Досить часто важко визначити, чи сигнал, що потрапив на рецептор, створить завади в цьому рецепторі.

Це вказує на те, що в великій кількості випадків важко однозначно визначити три аспекти проблеми. Також важливо розуміти, що джерело може бути класифікованим як призначеним або ненавмисним. Насправді джерело або приймач можуть працювати в обох режимах.

Те, чи є джерело або приймач навмисним чи ненавмисним, залежить від шляху сполучення, а також типу джерела або рецептора. Як приклад,

передавач радіостанції АМ, передача якого вловлюється радіоприймачем, налаштованим на цю носійну частоту, є передбачуваним випромінювачем. З іншого боку, якщо та сама радіопередача АМ вловила радіоприймачем, який налаштований не на цю несучу частоту передавача, випромінювання є ненавмисним. Є деякі випромінювачі, викиди яких не можуть служити жодним корисним цілям. Прикладом є (невидиме) електромагнітне випромінювання від флуоресцентного світла.

Це означає, що існує три способи запобігання завадам:

1. Притлумити емісію в його джерелі.
2. Реалізувати шлях сполучення якомога менш ефективним.
3. Реалізувати рецептор менш чутливим до випромінювання.

Продовжуючи розгляд проблеми забезпечення електромагнітної сумісності, слід мати на увазі ці три альтернативи. «Перша лінія захисту» полягає в тому, щоб максимально притлумити емісію в джерелі. Наприклад, ми виявимо, що швидкий (короткий) час наростання/спаду цифрових імпульсів є основним фактором високочастотного спектрального вмісту цих сигналів. Загалом, чим вища частота сигналу, який потрібно пропустити через шлях зв'язку, тим ефективніший шлях зв'язку. Тому доцільно якомога більше уповільнити (збільшити) час наростання/спаду цифрових сигналів. Однак час наростання/спаду цифрових сигналів можна збільшити лише до точки, коли цифрова схема не працює з ладу.

Це не є достатньою причиною використовувати цифрові сигнали з часом наростання/спаду 100 пс, коли система буде належним чином функціонувати з часом наростання/спаду 1 нс. Зменшення високочастотного спектрального вмісту випромінювання за своєю суттю

призводить до зниження ефективності зв'язувального шляху і, отже, до зниження рівня сигналу на рецепторі.

Існують методи «грубої сили» зниження ефективності сполучного шляху. Наприклад, розміщення рецептора в металевому корпусі (екран) буде служити для зниження ефективності шляху зв'язку. Але екрановані корпуси коштують дорожче, ніж зменшення часу наростання/спаду випромінювача, і найчастіше їх фактичні характеристики в установці набагато нижчі за ідеальні. Зниження сприйнятливості рецептора досить часто важко реалізувати і при цьому зберегти бажану функцію продукту. Прикладом реалізації зниженої чутливості рецептора до шуму може бути використання кодів з виправленням помилок у цифровому рецепторі. Хоча небажана електромагнітна енергія потрапляє на рецептор, коди з виправленням помилок можуть дозволити рецептору функціонувати належним чином за наявності потенційно небезпечного сигналу [19].

Зведення до мінімуму витрат, доданих до системи, щоб зробити її електромагнітно сумісною, і надалі залишатиметься важливим питанням при проектуванні ЕМС. Можна помістити всі електронні продукти в металеві корпуси і живити їх від внутрішніх батарей, але зовнішній вигляд продукту, корисність і вартість будуть неприйнятними для покупця.

Можна розбити передачу електромагнітної енергії (що стосується запобігання завадам) на чотири підгрупи: випромінювання, випромінювана сприйнятливість, кондуктивне випромінювання та кондуктивна сприйнятливість, як показано на рис. 3.2.

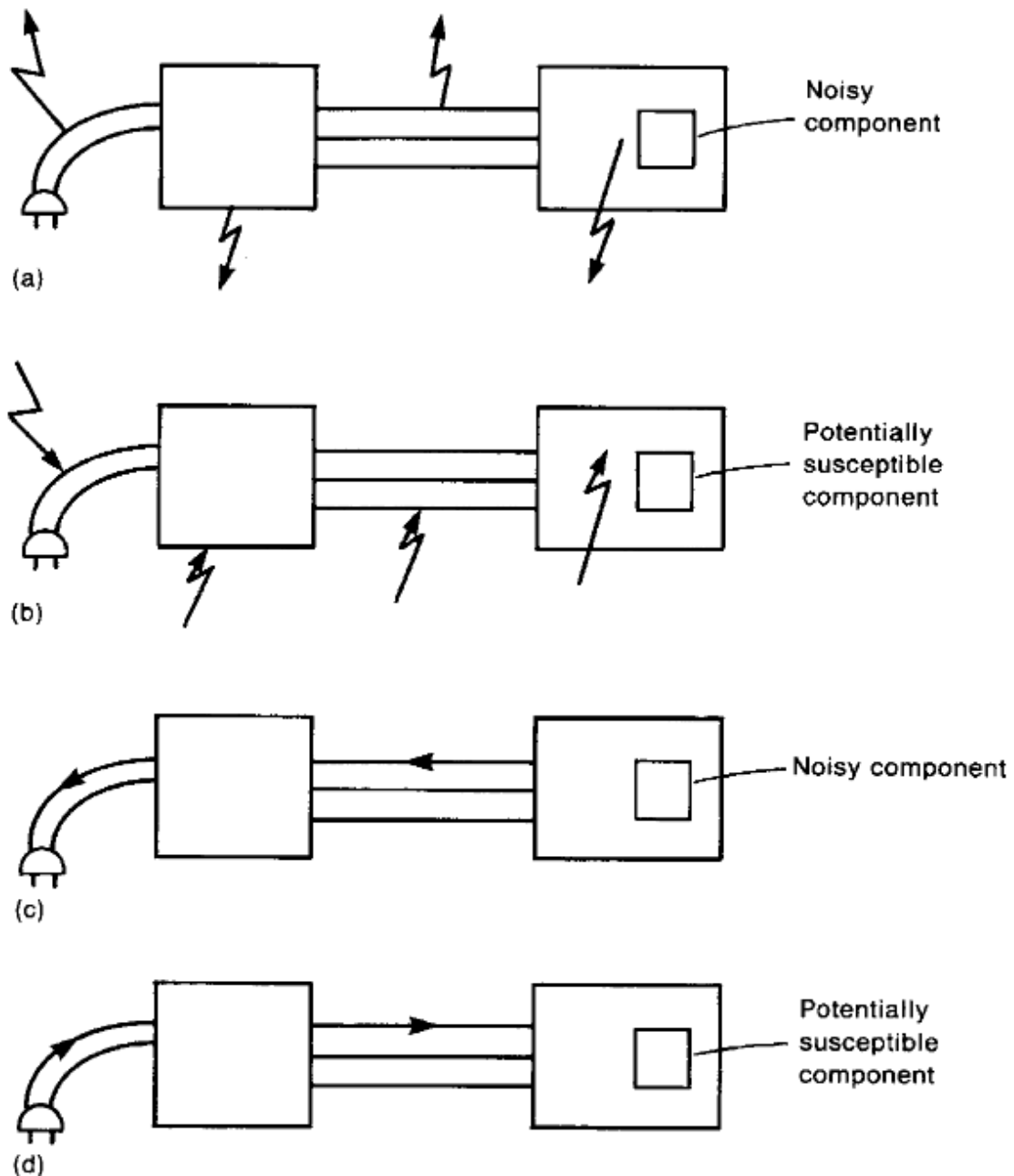


Рисунок 3.2 - Чотири основні підпроблеми забезпечення ЕМС

Типова електронна система зазвичай складається з однієї або кількох підсистем, які взаємодіють одна з одною через кабелі (пучки проводів). Засіб для енергопостачання цих підсистем зазвичай є комерційна система живлення змінного струму на місці установки. Джерело живлення в певній електронній системі перетворює напругу змінного струму 120 В, 60 Гц США Японії (230 В, 50 Гц у Європі) на різні рівні напруги постійного

струму (постійного струму), необхідні для живлення внутрішніх електронних компонентів системи. Наприклад, для живлення цифрової логіки потрібно 5 В постійного струму, для живлення аналогової електроніки – напруги +12 В і –12 В постійного струму.

Сигнали також можуть передаватися безпосередньо між підсистемами за допомогою прямої провідності по цих кабелях. Якщо підсистеми знаходяться в металевих корпусах, струми можуть індукуватися в цих корпусах внутрішніми або зовнішніми сигналами. Потім ці індуковані струми можуть емітувати в зовнішнє середовище або всередину корпусу.

Стає все більш поширеним, особливо в недорогих системах, використання неметалевих корпусів, зазвичай пластикових. Електронні схеми, що містяться в цих неметалевих корпусах, здебільшого повністю піддаються впливу електромагнітної емісії, і тому можуть безпосередньо поширюватись або бути чутливими до цього.

Чотири аспекти проблеми електромагнітної сумісності: радіаційне випромінювання, радіаційна сприйнятливість, кондуктивне випромінювання та кондуктивна сприйнятливість, проілюстровані на рис. 3.2, відображають ці міркування.

Незважаючи на те, що основним призначенням цього кабелю є передача частоти 50 Гц до системи, важливо розуміти, що на шнурі живлення змінного струму можуть існують інші сигнали зі значно вищою частотою! Вони під'єднані до кабелю живлення змінного струму від внутрішніх підсистем через низку сполучних шляхів, які ми обговоримо. Як тільки ці високочастотні струми з'являться на цьому довгому (1 м або більше) кабелі, вони будуть випромінювати досить ефективно. Крім того, цей довгий кабель може функціонувати як ефективна «антена» та

вловлювати випромінювання від інших сусідніх електронних систем, як показано на рис. 3.2b.

3.2 Метод моментів

На сьогоднішній день технології дуже швидко еволюціонують, у результаті вдосконалюються комп'ютерні програми від колективного користування до надпотужних робочих станцій сьогодення. Підвищення потужності обчислення комп'ютерів дало змогу розробникам мати інструменти для створення потужних програм. Для початку це стосується розрахунків електромагнітного поля, в якому були проблеми через обрахування рівнянь Системи рівнянь Максвелла. Були збудовані декілька методів електромагнітного моделювання.

Метод моделювання МоМ (часто званий "планарним 3D" методом) – один із найскладніших, оскільки потребує ретельного розрахунку функцій Гріна [20].

Перевагою саме цього методу є змога дискретизувати тільки металеві сполуки модельованої структури. Це пов'язано з величиною розподілу струму на металевих поверхнях. "Планарна" сітка МоМ значно легша і менша, на відміну від еквівалентної "об'ємної" сітки, що потрібна для моделювання в методах FEM та FDTD. Сітка однорідна і складається із прямокутних, квадратних або трикутних осередків (рис. 3.3).

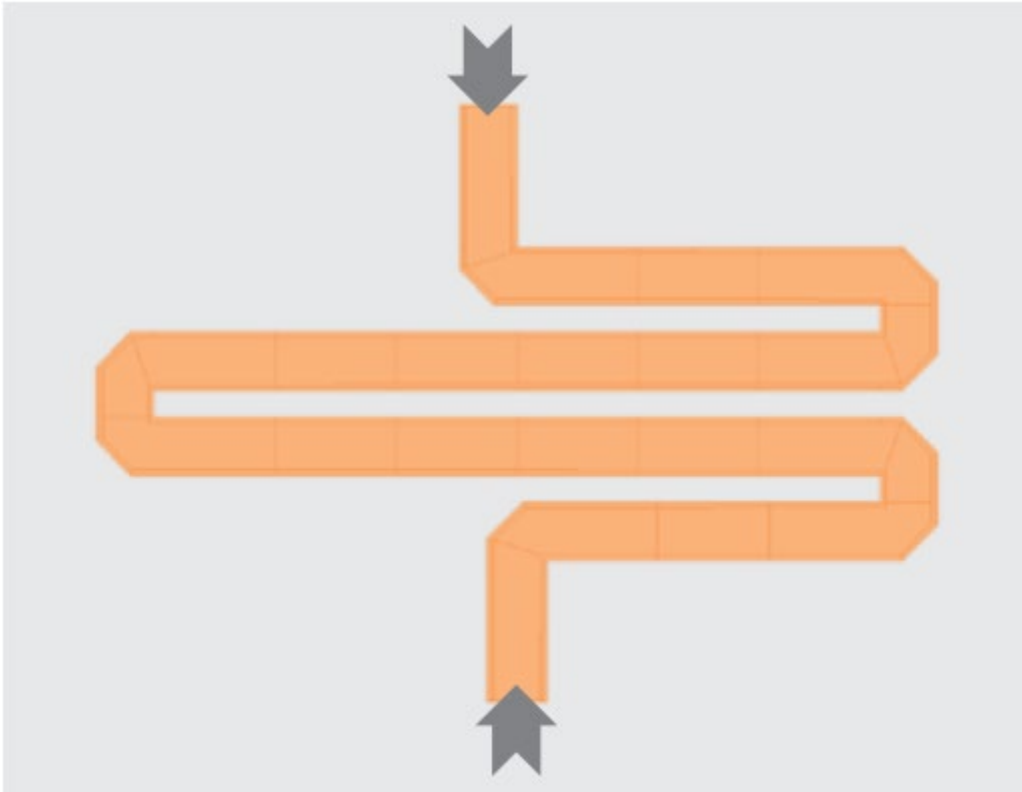


Рисунок 3.3 - Типова однорідна сітка, що використовується для моделювання за методом МоМ

Зменшення кількості чарунок сітки підвищила ефективність моделювання. Через це МоМ підходить для аналізу дуже складних структур. До цього додається перевага у використанні лише однієї матриці для всіх портів. Тому моделювання схем багатьма портами не вимагає більшого часу ніж інші методи [21].

Також метод МоМ має і недоліки. Наприклад, не підходить для довільно зроблених тривимірних структур. Моделювані структури за своєю суттю мають бути "планарними" з багатошаровою структурою або планарними об'єктами, що знаходяться в площині $x-y$, але витягнутими за вертикаллю (у напрямі осі z) вздовж декількох покладених один на одного шарами.

В основному для більшості ВЧ/НВЧ-приладів це обмеження не має особливої ролі, через використання саме планарної структури. Можна уявити багат шарову друковану плату, яка складається з накладених один на одного шарів та з'єднувальних провідників. Провідники, що з'єднують, покладені в площині x - y у абсолютно різних місцях підкладки, а перехідні отвори, що знаходяться між металевими шарами вважати плоскими об'єктами, що проходять вертикально через кілька шарів підкладки.

Типовим застосуванням методу МоМ може бути отримання детальної багатопортової моделі S -параметрів, що представляє всі з'єднання друкованої плати. Наприклад, порівняно просту топологію (рис. 3.4) можна охарактеризувати за допомогою методу МоМ і застосувати отриману модель S -параметрів у поєднанні з моделлю, що представляє дискретні компоненти для моделювання всієї друкованої плати [22].

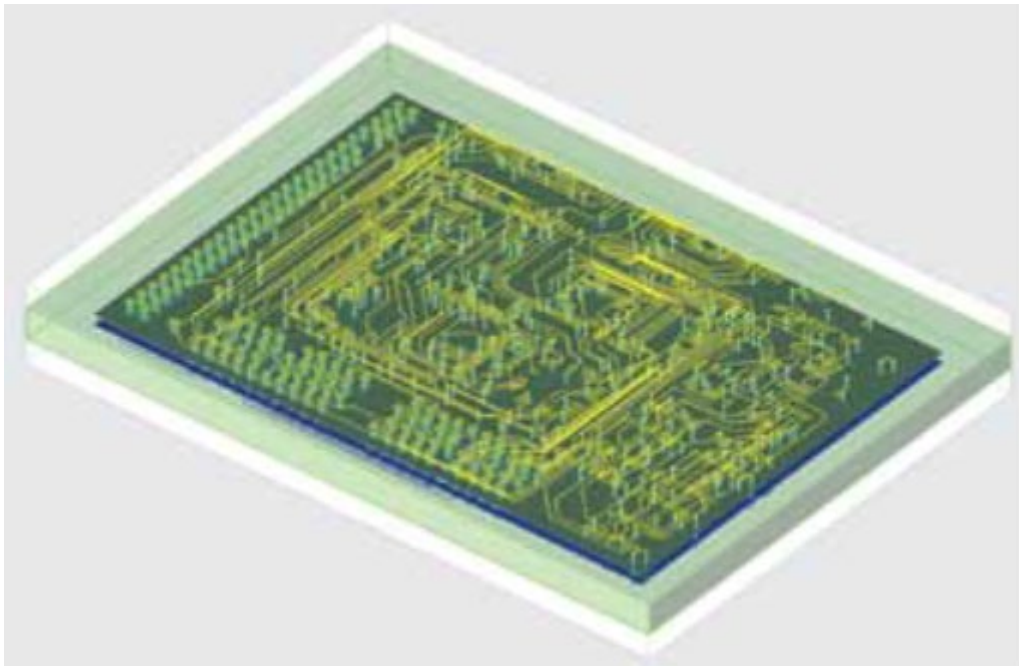


Рисунок. 3.4 - Топологія друкованої плати, яка легко моделюється за допомогою методу МоМ

3.2 Метод кінцевих елементів

Метод моделювання FEM являє собою об'ємний (3D) метод, що відрізняють від МоМ застосуванням для аналізу довільних об'ємних структур, не беручи до уваги багат шарові топології. Для використання вимагають приміщення, в якому знаходиться об'єкт, що моделюється в "скриню", де є обмежений простір і в якому виконують моделювання. Весь обсяг моделювання дискретизується через сітки з тетраедричними осередками, головне ближче до об'єкта, для створення більш щільної сітки (рис. 3.5).

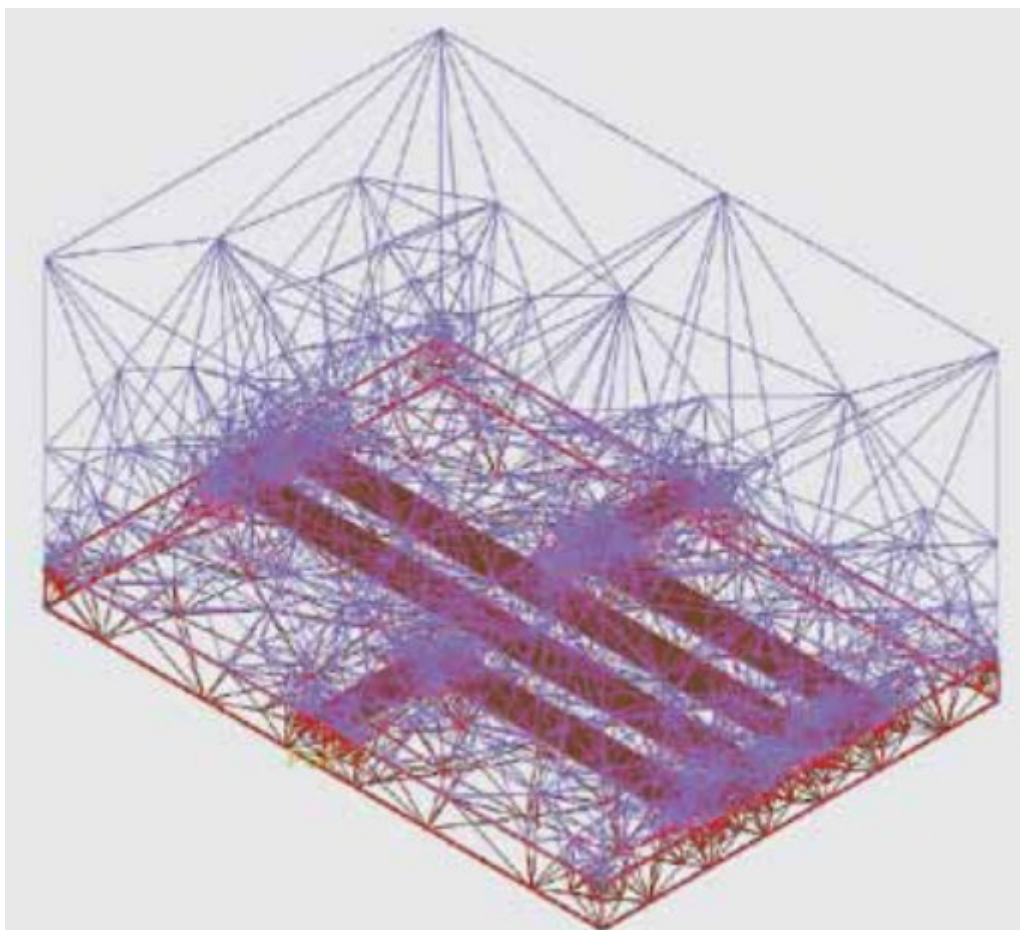


Рисунок 3.5 - Типова тетраедрична сітка, що використовується у методі моделювання FEM

Невідомою величиною методу FEM виступає значення поля. Поле апроксимується по всіх тетраедрах. Тут необхідно працювати лише з однією матрицею вхідних портів, так само як в методі МоМ.

Типове застосування методу FEM – визначення характеристик паразитного впливу корпусу ВЧ/НВЧ ІВ. Наприклад, метод можна використовувати для оцінки характеристик лінії передачі між провідником друкованої плати та контактним майданчиком кристала в корпусі QFN (рис.3.6). Модель корпусу/з'єднувальної лінії потім можна поєднати з моделлю схеми ІВ та оцінити вплив корпусу на характеристики ІВ [12].

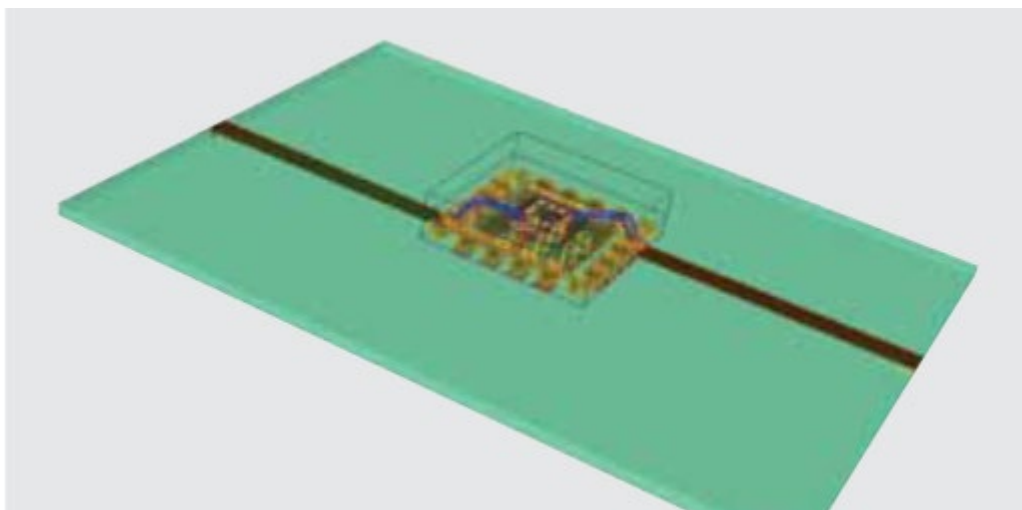


Рисунок 3.6 - 3D-модель досліджуваного QFN-корпусу

Можливо, FEM можна назвати гнучким методом електромагнітного-аналізу, що в результаті моделює багато об'ємних об'єктів. Але для геометрично складних об'єктів необхідна сітка з багатьма тетраедричних осередків. Це призводить до того, що приходиться мати справу з великими матрицями, що в свою чергу потребує використання більшої кількості комп'ютерної пам'яті.

3.4 Метод кінцевих різниць FDTD

Метод моделювання FDTD є тривимірним і використовується для аналізу об'єктів довільної форми. МоМ і FEM вирішують рівняння Максвелла за допомогою матриць, натомість алгоритми FDTD виконують це у явній формі.

Весь обсяг області моделювання в методі FDTD дискретизується, зазвичай, за допомогою сітки з гексаедричними осередками (які називаються осередками Yee) (рис.3.7). FDTD використовує алгоритм покрокового інтегрування за часом, який крок за кроком оновлює значення поля в комірці сітки, у явній формі відстежуючи просування електромагнітних хвиль через структуру, що моделюється [23].

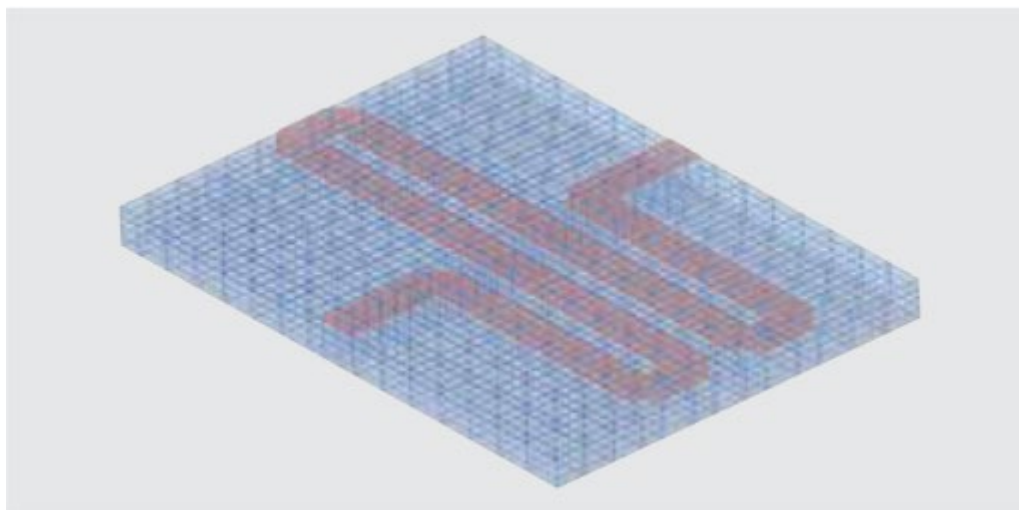


Рисунок 3.7 - Типова гексаедрична сітка, що використовується у методі моделювання FDTD

Перевага методу в порівнянні з FEM:

- не потрібно застосувати матриці, і в результаті складні проблеми вирішують меншою затратою комп'ютерної пам'яті.
- зручно працювати з сучасними графічними процесорами.

Недоліки методу FDTD. Окремий порт потребує окремого виконання моделювання, а це означає, що схема з N портами потребує стільки ж моделювань. Тобто метод стає неефективним для використання великою кількістю портів.

3.3 5 Висновки до розділу 3

1. Розглянуто особливості дослідження ЕМС.
2. Продемонстровано способи запобігання завадам, та як вони впливають на інші аспекти.
3. Досліджено декілька методів електромагнітного моделювання та як вони відрізняються один від одного. Також оглянуті переваги та недоліки цих методів.

4. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ

Для виконання поставленої задачі треба розглянути та вибрати програму для моделювання, яка буде відповідати своїм можливостям та зможе побудувати діаграму направленості і розподіл поля. З таким завданням зправиться Ansis HFSS.

4.1 Ansis HFSS

HFSS (аббревіатура від High Frequency Structural Simulator) - комерційна програма від компанії ANSYS для отримання S-параметрів, створення SPICE-моделей і тривимірного моделювання електромагнітного поля методом кінцевих елементів. Це один із кількох комерційних інструментів, що використовуються для розробки форми антен і складних елементів ВЧ/НВЧ-схем, включаючи фільтри, лінії передач та ін. HFSS використовується при проектуванні вбудованих кристал пасивних елементів, корпусів інтегральних схем, розведення друкованих плат і біомедичних пристроїв.

HFSS був спочатку розроблений професором Золтаном Цендесом (Zoltan Cendes) та його студентами в університеті Карнегі-Меллона. Професор Цендес та його брат Ніколас Цендес заснували компанію Ansoft та продали HFSS, в результаті маркетингових відносин з Hewlett-Packard. Нині належить до продукції Ansoft [24].

Використання HFSS допомагає вирішувати завдання розрахунку радіочастотних і мікрохвильових пристроїв, досліджувати електромагнітну обстановку. Наприклад, при розробці високочастотних компонентів, що застосовуються в приймальних та передавальних частинах комунікаційних систем, системах радіолокацій, супутниках і стільникових телефонах. Крім того, HFSS використовується для

розрахунку електромагнітної взаємодії між сполучними елементами, лініями електропередачі, перехідними отворами друкованих плат, а також для розрахунку високошвидкісних компонентів, що застосовуються в комп'ютерних серверах, пристрої зберігання даних, мультимедійних персональних комп'ютерах, розважальних і телекомунікаційних системах.

Для вирішення рівнянь електродинаміки HFSS використовується метод кінцевих елементів (Finite Element Method, FEM), що містить адаптивне генерування та розподіл осередків. Рішення для складових електромагнітного поля, отримані з Системи рівнянь Максвелла, точно визначають всі характеристики НВЧ пристрою з урахуванням виникнення та перетворення одних типів хвиль на інші, втрат у матеріалах і на випромінювання тощо [25].

HFSS надає можливості моделювання антен, дільників потужності, схем комутації, хвилеводних елементів, фільтрів НВЧ та тривимірних неоднорідностей, опис яких зводиться до побудови тривимірної геометричної моделі, завдання властивостей матеріалу, ідентифікації портів і необхідних характеристик. В результаті розрахунку знаходяться поля всередині та поза структурами, а також багатомодові Sпараметри.

Проектування із застосуванням HFSS забезпечує високу точність розрахунків; одержані при моделюванні характеристики збігаються з фізично вимірними характеристиками. Однак, для отримання достовірних результатів потрібно вибрати правильні параметри розрахунку. Це відноситься до коректної побудови геометричної моделі, точного завдання властивостей матеріалів аналізованої структури, вибору машинних ресурсів, можливості яких визначають, наскільки дрібно можна розбити простір на елементи декомпозиції, а також те, як швидко машина може вирішити задачу, використовуючи метод адаптивного ущільнення сітки. Важливе значення для успішного виконання розрахунку має і те,

наскільки обґрунтовано та правильно вибрано кількість аналізованих мод у складних елементах пристрою [26].

Потужним засобом підвищення ефективності виконання рішення є адаптивний метод ущільнення сітки, який полягає у наступному: початкові тетрадральні осередки створюються на основі структури. Це початкове розбиття на комірки надає грубу інформацію про поле, виділяючи області з його високою напруженістю або великими градієнтами. Розбиття на комірки потім ущільнюється тільки там, де поле зазнає різкої зміни, знижуючи обчислювальні витрати при підвищенні точності.

За потреби користувачі можуть адаптувати вручну, використовуючи інтерфейс програми. Користувач може встановити ущільнення, засноване на довжині або глибині скіншару.

HFSS має в своєму розпорядженні велику базу матеріалів із заданою діелектричною проникністю, магнітною проникністю, з електричними і магнітними тангенсами кута втрат для всіх матеріалів. Користувачі можуть використовувати однорідні, неоднорідні, анізотропні, провідні, резистивні та напівпровідникові матеріали під час моделювання. Програма містить можливість моделювання феритів для невзаємних приладів. Феррит може мати однорідне статичне підмагнічування [27].

4.2 Результати моделювання

Для початку треба задати початкові параметри від яких будемо відштовхуватись, що зображено на рисунку 4.1. f_0 – частота, на якій працює антена Wi-fi. λ – довжина хвилі, що знаходиться за формулою [28]:

$$\lambda = \frac{c_0}{f_0}$$

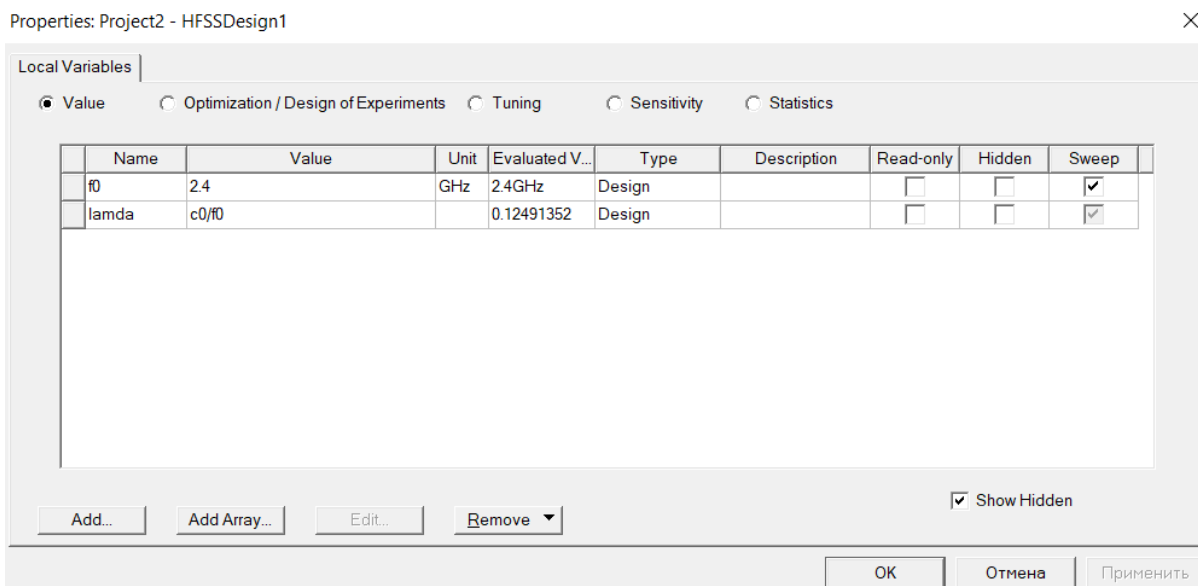


Рисунок 4.1 – Задані початкові параметри

Далі побудуємо «землю», на якій буде розташовуватись антена. Задамо величини цього квадрата $\lambda/2$, $\lambda/2$, 0 (x,y,z)(рисунок 4.2).

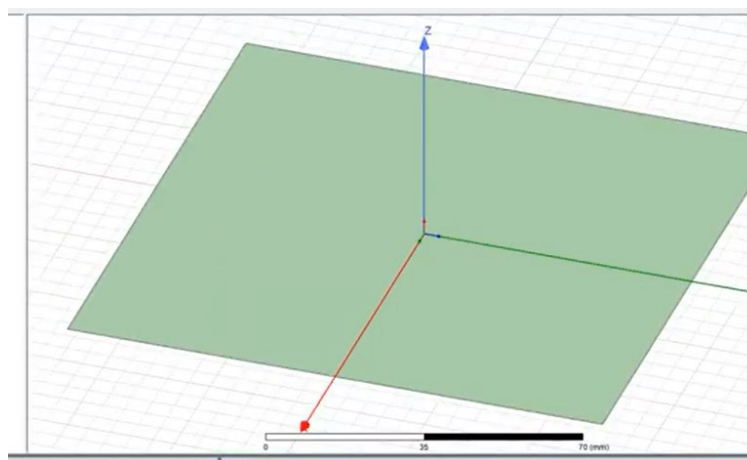


Рисунок 4.2 – Ground

Побудуємо циліндр, що буде необхідний в якості антени, який випромінює електромагнітне поле [29]. Радіус буде 1,5 мм і зроблений з міді (бо він не являється ферромагнетиком, і його використовують для виробництва антен) [30]. Вигляд даної антени зображено на рисунку 4.3.

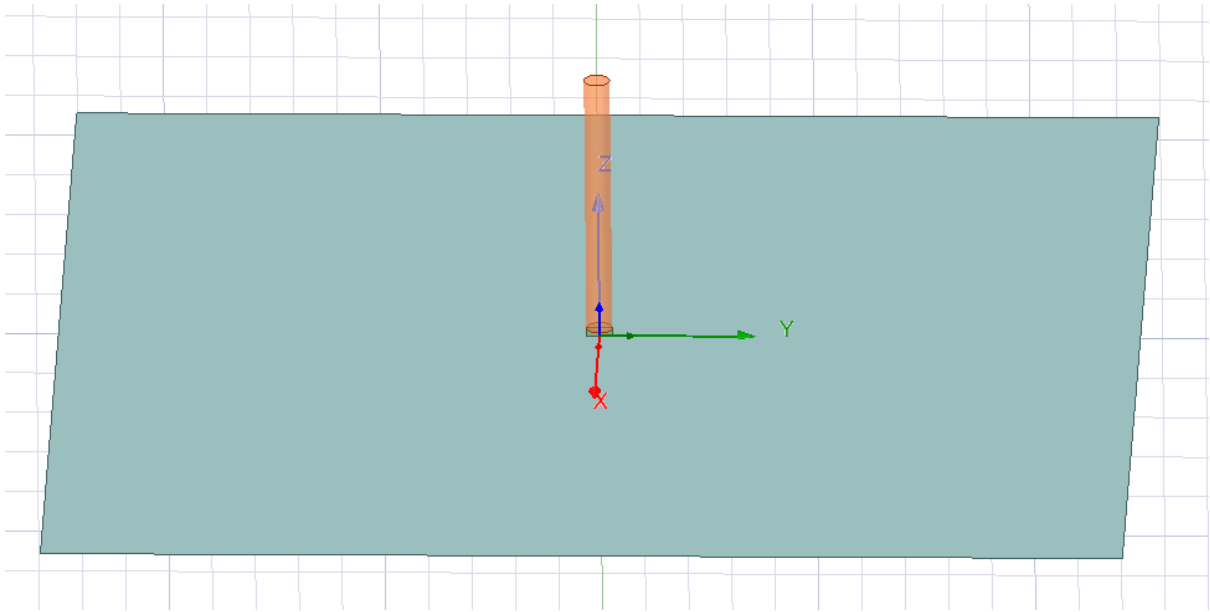


Рисунок 4.3 – Побудова антени

Наприкінці треба поставити порт, який в якості прямокутника зображений на рисунку 4.4.

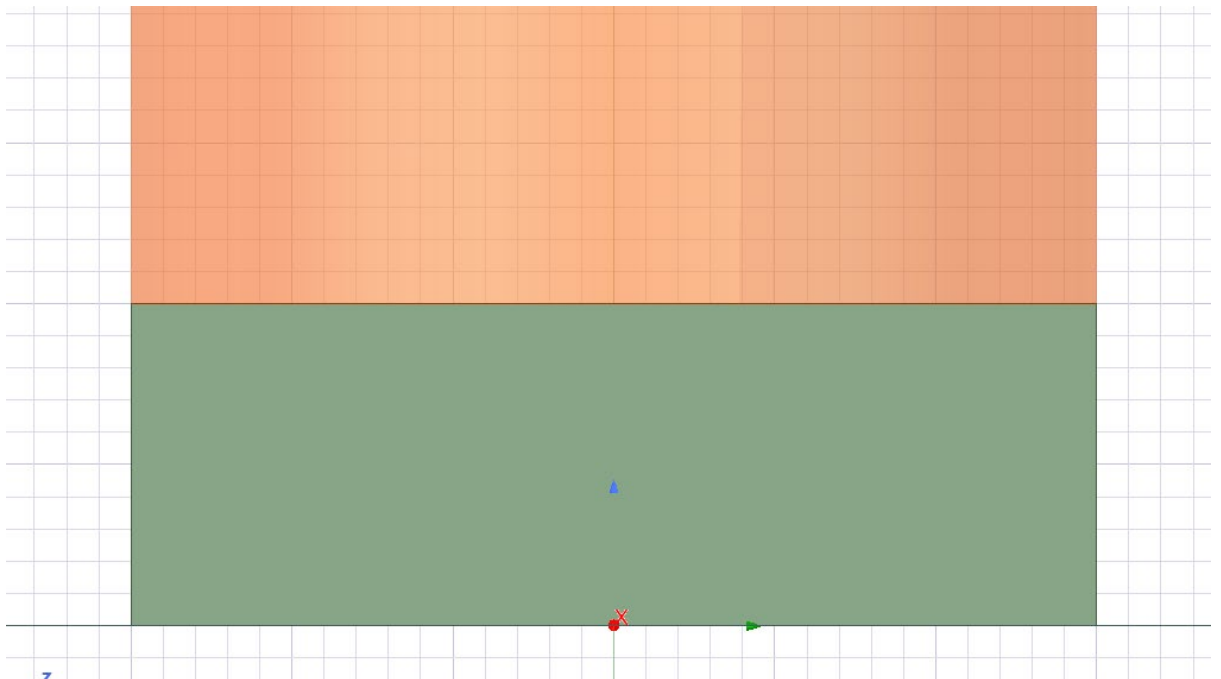


Рисунок 4.4 – Побудова порта

Тепер прив'яжемо порт до землі. Це можна зробити вибравши Lumped port (рисунок 4.5) і поставити галочку в ячейці Ground, як зображено на рисунку 4.6.

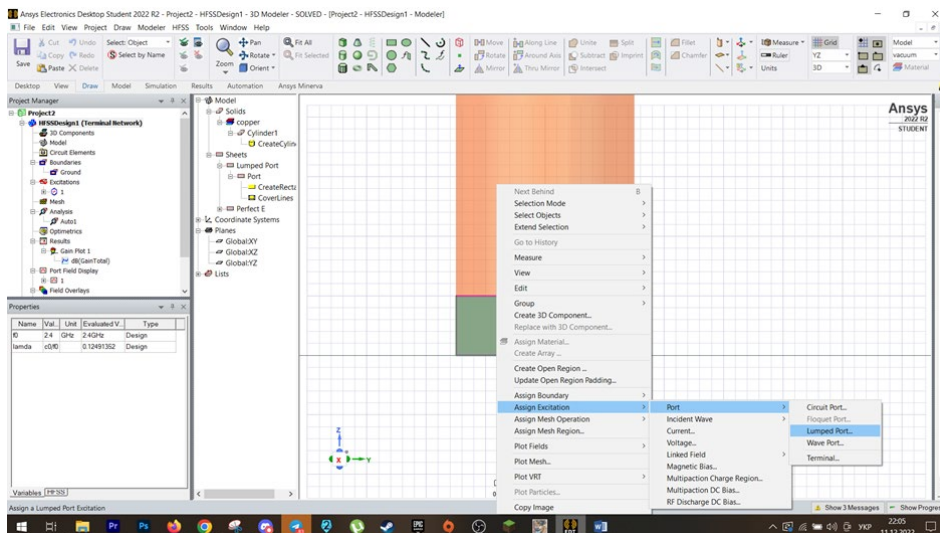


Рисунок 4.5 – Присвоєння статусу Lumped port

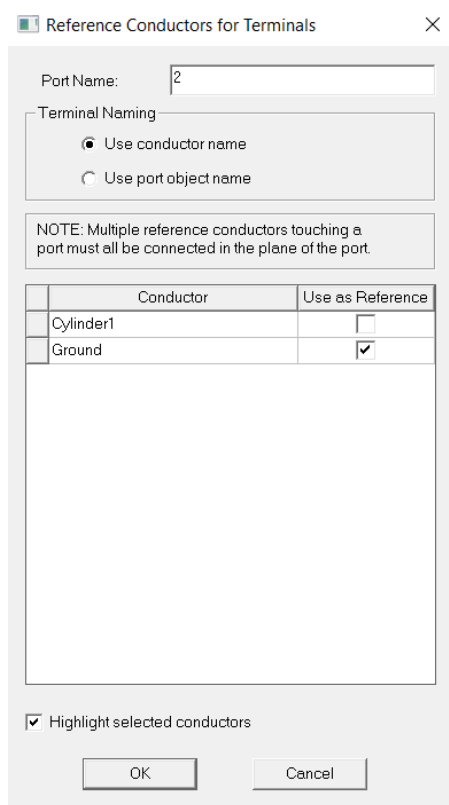


Рисунок 4.6 – Прив'язка порту до землі

Додатково треба встановити частоту розрахунку, яка в нашому випадку 2,4 ГГц. Для цього цей параметр треба вписати в пункт Auto1 (рисунок 4.7).

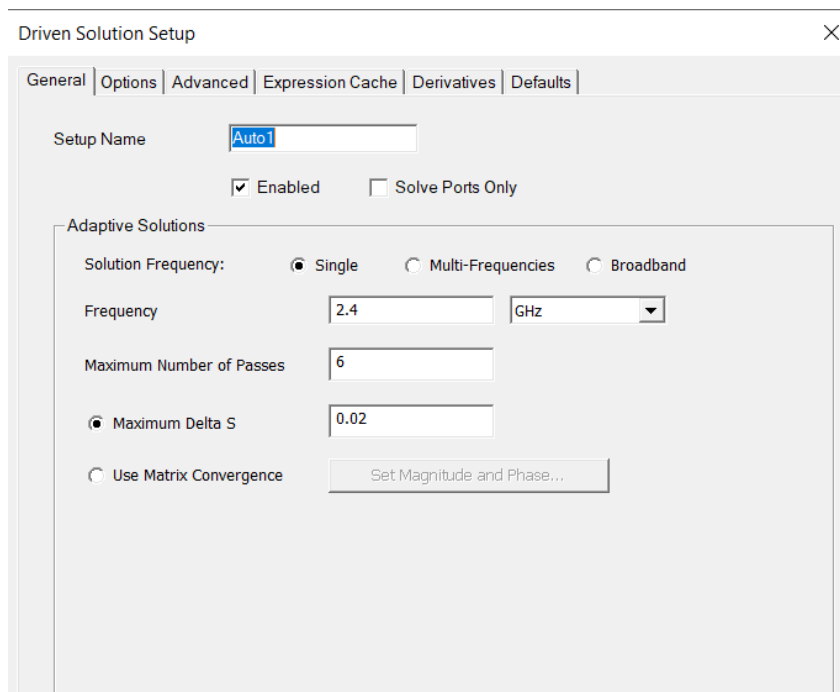


Рисунок 4.7 – Виставлення частоти розрахунку

Наприкінці треба провести моделювання, нажавши на *Validate* та *Analyze All* (рисунок 4.8) та перевірити чи вона пройшла успішно (рисунок 4.9).



Рисунок 4.8 – *Validate* та *Analyze All*

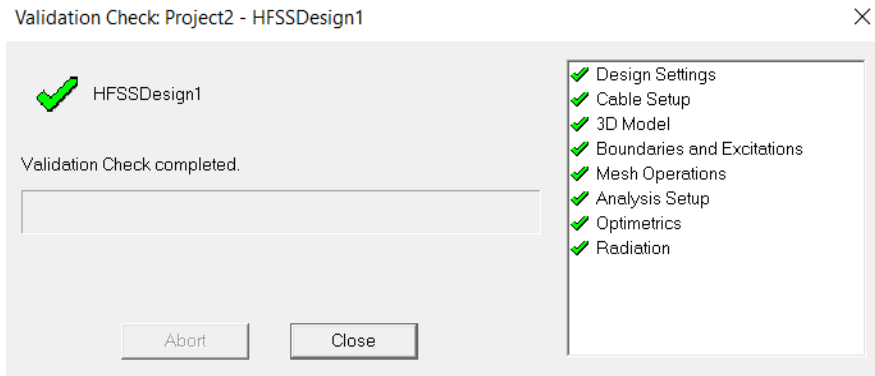


Рисунок 4.9 – Перевірка успішності моделювання

В результаті отримали діаграму спрямованості, яка зображена на рисунку 4.10 з максимальним рівнем в 4 дБ.

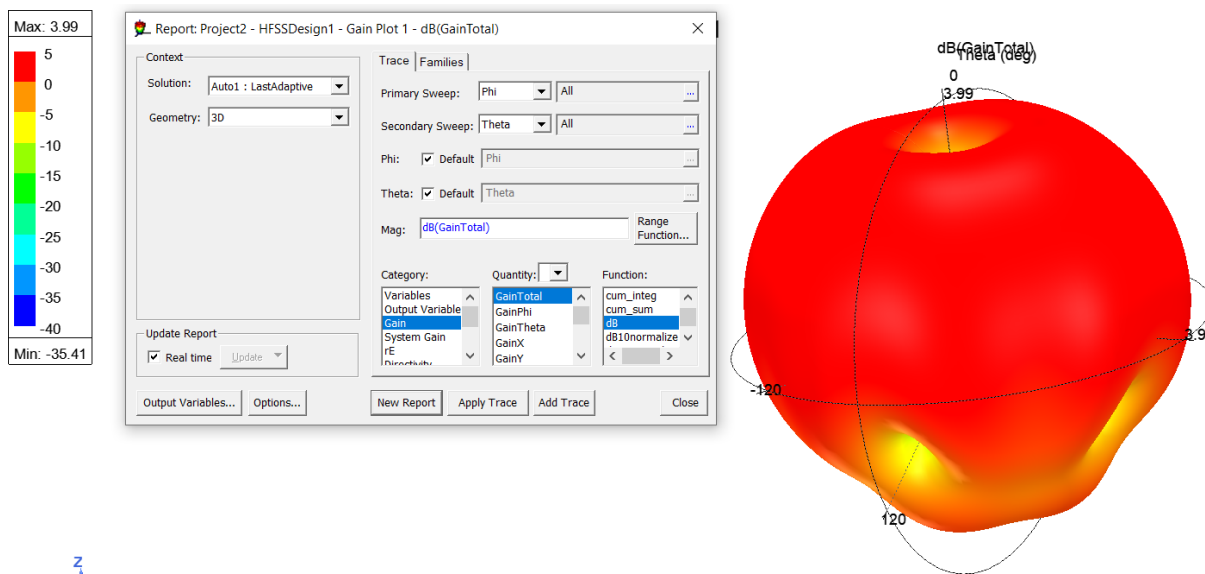


Рисунок 4.10 - Діаграма спрямованості антени

Також можна показати розподіл поля від антени в логарифмічному виді, що показано на рисунку 4.11.

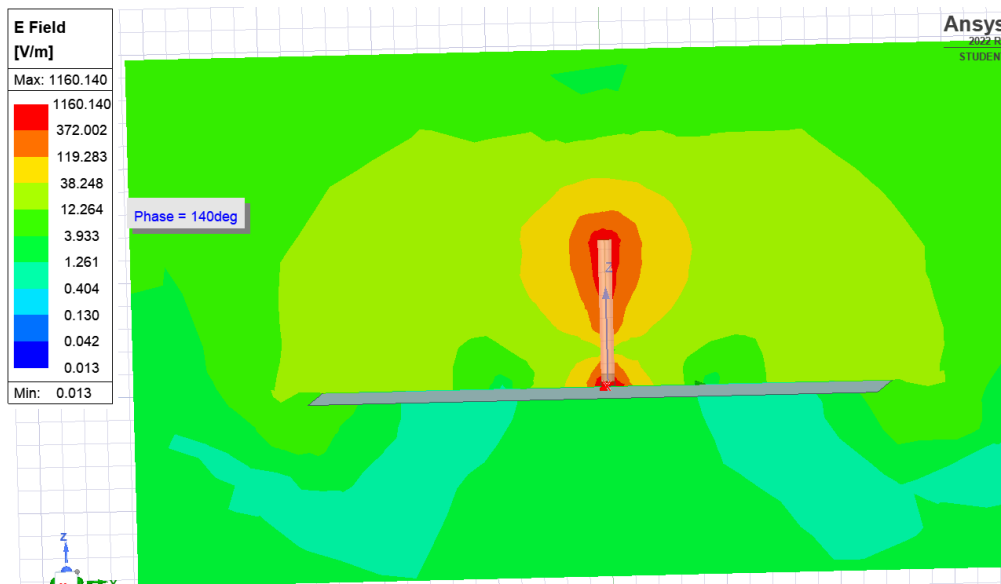


Рисунок 4.11 – Розподіл поля антени

Тепер побудуємо таку ж антену, щоб подивитись як вона буде впливати на поле. Як видно з рисунків 4.12 та 4.13, додавання антени призвело до погіршення результату, що доводить необхідність забезпечення ЕМО.

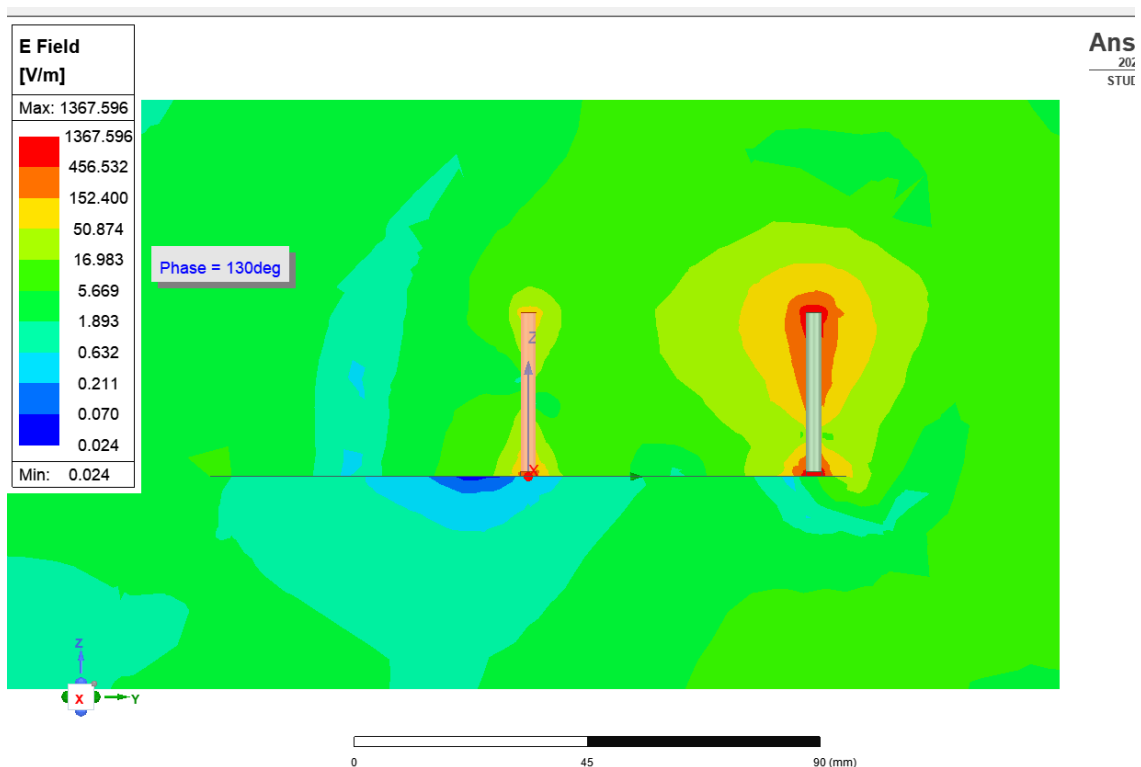


Рисунок 4.12 - Розподіл поля від двох антен

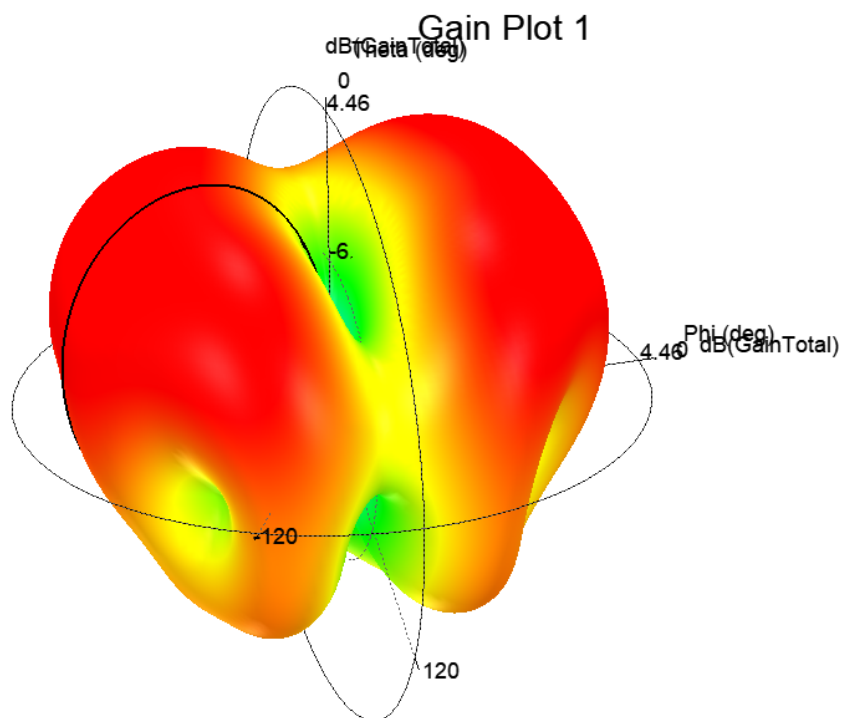


Рисунок 4.12 - Діаграма спрямованості антени

4.3 Висновки до розділу 4

1. Визначено ЕМО між двома антенами, що працюють на частоті 2,4 ГГц. Знайшли як декілька пристроїв можуть впливати на електромагнітну обстановку.

2. Наглядно показано в програмі Ansys Electronics Desktop Student, як електромагнітне поле двох пристроїв конфліктують. До того ж продемонстровано, як антени поширюють сигнал.

5. СТАРТАП

5.1 Опис ідеї проекту

Пристрої передавання інформації та всесвітня мережа на сьогоднішній день стали важливими аспектами функціонування кожної людини, і від них залежить більшість сфер діяльності. Через мережу проходить безліч інформації. Всі ці аспекти призводять до наявності неумисних електромагнітних завад. Щоб вирішити цю проблему, треба досліджувати електромагнітну обстановку (ЕМО). Підсумовуючи, ідеєю даного проекту є забезпечення ЕМС в приміщеннях Розумного будинку.

5.2 Опис існуючих рішень

Існує безліч рішень даної проблеми. Для прикладу можна привести програму TamoGraph Site Survey. З її допомогою аналізують, збирають та показують данні в сіті Wi-Fi стандарту 802.11 a/b/g/n/ac/ax. Також є змога побудувати план покриття, Інтерференції та рівня сигналу. Для реалізації необхідно побудувати приміщення з стінами, вікнами, дверима, які будуть впливати на поширення полів. Додатково з даною задачею може допомогти SolidWorks, задачею якого є аналіз електромагнітних ефектів електронної інформаційної апаратури завдяки модулю EMS.

5.3 Опис проблем

Дослідження проблем ЕМО дозволить зменшити кількість несправностей, а отже й кількість аварійних ситуацій не тільки в Розумних будинках, а й на критичній інфраструктурі, заводах та інших приміщеннях насичених радіоелектронною апаратурою. Іншу задачу яку розв'язує даний проект – це забезпечення електромагнітної сумісності.

5.4 Ціннісна пропозиція

Наразі проект на стадії доробки. Щоб даний проект можна було зробити готовим, необхідні інвестиції в 200 тисяч. грн. В ціну входить робота експертів програми Ansys Electronics Desktop та тестувальників системи Розумного будинку. На початковому етапі є плани по залучення коштів за допомогою виставлення проекту на платформі Kickstarter. Початкова клієнтська база в процесі доробки.

5.5 Сфера застосування продукту

Даний продукт націлений на використання в якості допоміжного засобу в побудуванні та забезпечення електромагнітної сумісності Розумних будинків. Потенційні споживачі – компанії та установи, що працюють з радіоелектронними приладами в замкнутих приміщеннях.

5.6 Етапи розвитку проекту

Початок активної фази планується на серпень 2023 року. За квітень 2023 року поставлені завдання зібрати команду та зробити тестовий варіант Розумного будинку. За наступні 2 роки є плани набрати базу до 10-15 клієнтів. Для початку в команді буде 6 людей. До них буде включатись керівник команди, розробник Розумного будинку, розробник електромагнітної обстановки, один маркетолог, одного розробника бекенд, одного розробника фронтенд для створення сайту команди.

5.7 Модель «Канвас»

Ключевими споживачами будуть люди від 30 до 50 років, які бажають зробити свій Розумний будинок, або розпланувати офіс, якщо представляють компанію.

Основна цінність для споживача є безпека для апаратури в приміщенні, які залежать від випромінювань.

Каналами збитку для проекту буде офіційний сайт команди, розроблений програмістами.

Взаємодіяти з клієнтом можна буде через пошту. Також буде можливість звязатись через Skype/Discord. І наприкінці, зустрічі особисто для огляду майбутнього Розумного будинку.

Надходження матеріальних ресурсів будуть від за допомогою інфестицій заінтересованих компаній. Також за допомогою платформи Kickstarter.

Ключовими способами для прогресу проекту це фінансування зібраної команди.

Ключові сили та гроші підуть на фінансування команди і створення сайту.

Ключовими партнерами будуть виступати компанії та установи, що працюють з радіоелектронними приладами в замкнених приміщеннях.

5.8 Сильні та слабкі сторони проекту

Сильною стороною проекту є актуальність забезпечення ЕМО. Збільшення пристроїв передавання інформації та всесвітньої мережі збільшують завади, які вони створюють, тому актуальність проекту росте з кожным днем. Слабкою стороною проекту можна вважати перенасичення ринку конкурентами, що будуть перетягувати до себе клієнтів.

5.9 Етапи реалізації проекту

Мета проекту – моделювання ЕМО та коментарі як воно впливає на забезпечення електромагнітної сумісності.

До етапів реалізації стартап-проекту можна включити такі пункти як: збір команди, створення офіційного сайту, розрахунок собівартості проекту та як реклама буде впливати на поширення інформації про проект.

5.10 Висновки до розділу 4

1. В даному розділі описано основну ідею проекту. Розглянуто можливості рішення проблеми забезпечення ЕМО. Проаналізовано, як рішення даної проблеми зменшить аварійні ситуації.

2. В розділі показані слабкі та сильні сторони проекту, запропоновано план розвитку, проаналізовані сфери застосування.

3. Наведено приблизний план розвитку проекту.

4. Розглянуто всі основні етапи в бізнес-моделі «Канвас».

ВИСНОВКИ

1. Опрацьовано поняття Розумний будинок та їх безпроводові системи. Обґрунтована користь даної системи та її енергоефективність. З'ясовано та перераховано системи, які використовують у Розумних будинках. Обґрунтована відмінність між системою Розумний дім та стандартною електричною системою. Описали захисні пристрої та перемикачі, що використовують в Розумних будинках.

2. Обґрунтували доцільність технології безпроводового зв'язку. З'ясовані системи для надійної та ефективною безпроводової передачі енергії. Також з'ясували продуктивність Bluetooth в однорідному середовищі. Обґрунтували питання про магнітний нанопорошок для технології 6G.

3. З'ясовані особливості дослідження ЕМО.

4. Обґрунтовані способи запобігання завадам, та як вони впливають на інші аспекти.

5. Опрацьовані декілька методів електромагнітного моделювання. Показано переваги та недоліки цих методів.

6. За застосування програми Ansys Electronics Desktop Student визначено ЕМО між двох антен, що працюють на частоті 2,4 ГГц.

7. З'ясовано способи запобігання завад: притлумлення випромінювання у джерелі, реалізувати шлях сполучення між джерелом неумисних завад та рецептором з максимальними втратами, застосувати рецептор менш чутливим до випромінювання.

8. Опрацьовані основні ідеї стартапу, з'ясовані які проблеми вирішує стартап, опрацьовали основні слабкі та сильні сторони проекту запропоновано план розвитку, проаналізовані сфери застосування.

Наведено приблизний план розвитку проекту. Опрацьовані всі основні етапи в бізнес-моделі «Канвас».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Smart home systems. URL: https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/4df4e928-8958-4552-80da-146977e666b9/Smart_Home_systems_FINAL.pdf (дата звернення 10.10.2022)
2. Overview of smart home systems. URL: <https://www.smarthouse.ua/en/kratkij-obzor-sistem-umnyj-dom.html> (дата звернення 11.10.2022)
3. Vincent Ricquebourg, David Durand. The Smart Home Concept : our immediate future. – 2007. P.7
4. Нова концепція житла - система «розумний дім». URL: <https://dominant-wood.com.ua/ua/news/217-nova-kontseptsiya-zhitla-sistema-rozumniy-dim> (дата звернення 20.10.2021)
5. Кращі системи "Розумний будинок" по виробниках 2022 року. ТОП 5 надійних та якісних систем "Розумний будинок". URL: <https://vencon.ua/ua/articles/rejting-sistem-umnyy-dom-po-proizvoditelyam> (дата звернення 27.10.2021)
6. Що таке система «Розумний дім»: 9 фішок для комфорту. URL: <https://www.mojo.ua/ua/news/chtoto-takoe-sistema-umnyy-dom-9-fishek-dlya-komforta.html> (дата звернення 27.10.2021)
7. Розумний дім і розумна опалювальна техніка. URL: <https://www.viessmann.ua> (дата звернення 29.10.2021)
8. Making the 'human-body internet' more effective. URL: <https://phys.org/news/2019-06-human-body-internet-effective.html> (дата звернення 29.10.2021)
9. A system for robust and efficient wireless power transfer. URL: <https://phys.org/news/2020-05-robust-efficient-wireless-power.html> (дата звернення 10.11.2022)

10. Wireless power transfer enhanced by metamaterials. URL:
<https://phys.org/news/2015-04-wireless-power-metamaterials.html> (дата звернення 10.11.2022)
11. Performance of Bluetooth in Homogeneous Environment. URL:
<https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/24127> (дата звернення 15.10.2022)
12. Phys.org. Scientists obtain magnetic nanopowder for 6G technology.
URL: <https://phys.org/news/2021-06-scientists-magnetic-nanopowder-6g-technology.html> (дата звернення 20.10.2022)
13. Wikipedia. Iron(III) oxide. URL:
[https://en.wikipedia.org/wiki/Iron\(III\)_oxide](https://en.wikipedia.org/wiki/Iron(III)_oxide) (дата звернення 22.10.2022)
14. Спосіб отримання оксиду заліза (III) Fe_2O_3 з водних розчинів солей.
URL: <https://patents.google.com/patent/2735608C> (дата звернення 24.10.2022)
15. Phys.org. Wireless technology. URL:
<https://phys.org/tags/wireless+technology/> (дата звернення 29.10.2022)
16. ДСТУ – ІЕС 60050 – 161 «Словник електротехнічних термінів. Глава 161. Електромагнітна сумісність»: 2003. Держспоживстандарт України, К.: 2005.- 60с.
17. Математичні моделі електромагнітної обстановки приміщень, насичених радіоелектронною апаратурою. Семерич Олексій Сергійович. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42357> (дата звернення 27.10.2022)
18. Introduction to Electromagnetic Compatibility. CLAYTON R. PAUL.
URL: <https://download.e-bookshelf.de/download/0000/5851/19/L-G-0000585119-0002361289.pdf> (дата звернення 2.12.2022)

19. Electromagnetic Compatibility Engineering. Henry W. Ott. URL: <https://www.amazon.com/Electromagnetic-Compatibility-Engineering-Henry-Ott/dp/0470189304> (дата звернення 3.12.2022)
20. Моделювання електромагнітних полів – як вибрати найкращий метод. Д. Моррис. URL: <https://www.electronics.ru/journal/article/3231> (дата звернення 4.12.2022)
21. Mathematical simulation of frequency sounding with electromagnetic field in a locally inhomogeneous half-space. URL: <https://science.lpnu.ua/jgd/all-volumes-and-issues/219-2015/mathematical-simulation-frequency-sounding-electromagnetic-field> (дата звернення 4.12.2022)
22. Моделювання поширень магнітних полів електротехнічного обладнання. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/9380/2021> (дата звернення 5.12.2022)
23. FDTD vs. FEM vs. MoM: What Are They and How Are They Different? URL: <https://resources.system-analysis.cadence.com/blog/msa2021-fdtd-vs-fem-vs-mom-what-are-they-and-how-are-they-different> (дата звернення 5.12.2022)
24. Wikipedia. HFSS. URL: <https://ua.wikipedia.org/wiki/HFSS> (дата звернення 6.12.2022)
25. Ansys HFSS. Best-In-Class 3D High Frequency Structure Simulation Software. URL: <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss> (дата звернення 6.12.2022)
26. Огляд можливостей ANSYS HFSS для тривимірного моделювання НВЧ-пристроїв довільної геометрії. URL: <https://sapr.ru/article/22765> (дата звернення 7.12.2022)

27. Програмне забезпечення для розробки HFSS. URL:
<https://www.directindustry.com.ru/prod/ansys/product-9123-504436.html>
(дата звернення 8.12.2022)
28. Дистанційна підтримка освіти школярів. Розділ 2. Характеристики хвилі. URL: <https://disted.edu.vn.ua/courses/learn/4879> (дата звернення 8.12.2022)
29. Радіус дії домашнього Wi-Fi роутера. URL:
<https://wifi.kz/articles/radius-wi-fi-routera/> (дата звернення 9.12.2022)
30. Вибір матеріалу для виготовлення антен. URL: <https://3g-aerial.biz/vybor-materiala-dlya-izgotovleniya-antenn> (дата звернення 10.12.2022)

Додаток А.
SUMMARY

ABSTRACT

Communication devices and the World Wide Web have become important aspects of every person today, and most areas of activity depend on them. A lot of information flows through the network. All these aspects lead to big problems. To solve this problem, it is necessary to study the electromagnetic environment (EMO).

The first section presents the concept of Smart house and their wireless systems has been elaborated. A well-founded program of this system and its energy efficiency. The systems offered in Smart Homes are clarified and listed. A well-founded difference between a Smart Home system and a standard electrical system. Protective devices and switches implemented in Smart Homes were described.

The second section presents substantiated the expediency of wireless communication technology. Elucidated systems for reliable and efficient wireless energy transmission. Bluetooth performance in a homogeneous environment was also investigated. The issue of magnetic nanopowder for 6G technology was substantiated.

The third section considered clarified features of EMC research. Ways to prevent an obstacle and how they affect other aspects are also substantiated. Several methods of electromagnetic modeling and how they differ from each other are elaborated. Advantages and disadvantages of these methods are also elaborated.

The fourth section examines EMO between two antennas operating at 2.4 GHz was determined using Ansys Electronics Desktop Student. They also found ways to prevent interference: to suppress radiation at its source, to make the communication path as less effective as possible, to make the receptor less sensitive to radiation.