

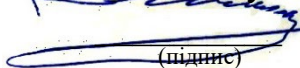
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО"

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)

"_12_"__01__2024 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності

171 Електроніка
(код і назва)

на тему: Дослідження електромагнітної обстановки у приміщенні з
мультимедійною електронною апаратурою

Виконав: студент II курсу, групи ДВ-21мп
(шифр групи)

Герасименко Дмитро Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник професор кафедри АМЕС, к.т.н., професор
Пілінський В. В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)


(підпис)

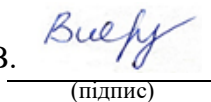
Консультант

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

(підпис)

Рецензент

завідувач кафедри ЕПС, д.т.н., доц. Вербицький Є.В.
(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)

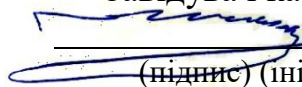
Київ – 2024 року

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

Інститут/факультет _____ Факультет електроніки
(повна назва)
Кафедра _____ Акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва)
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Спеціальність (спеціалізація) _____ 171 – Електроніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

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

«01» _____ 09 _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Герасименко Дмитру Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації _____ Дослідження електромагнітної обстановки у приміщенні
з мультимедійною електронною апаратурою

Керівник роботи _____ Пілінський Володимир Володимирович, к.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «09» листопада 2023 р. № 5218-с

2. Строк подання студентом роботи _____ 10.01.2024

3. Об'єкт дослідження: _____ Електромагнітна обстановка (ЕМО) у приміщеннях,
оснащених електронною апаратурою

4. Вхідні дані: радіоелектронна апаратура для створення системи
відеоконференції, теоретичні та практичні методи визначення
електромагнітної обстановки

5. Мета роботи: Визначити електромагнітну обстановку з метою забезпечення
електромагнітної сумісності

6. Перелік завдань, які потрібно розробити задля досягнення мети :
- проаналізувати методи дослідження електромагнітної обстановки.

- Провести аналіз радіоелектронної апаратури, як формувача електромагнітну обстановку.

- Змодельовати електромагнітну обстановку конкретного приміщення.

- рекомендувати засоби та заходи для забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС)

7. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріал: Презентація з наведеними результатами дослідження :

8. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів роботи

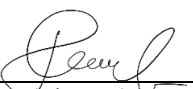
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 01.09.2023р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Затвердження плану магістерської роботи	11.09.2023	Виконано
2	Написання першого розділу	02.10.2023	Виконано
3	Написання другого розділу	26.10.2023	Виконано
4	Написання третього та четвертого розділу	25.12.2023	Виконано
5	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	09.01.2024	Виконано

Студент


(підпис)

Д. В. Герасименко

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи


(підпис)

В. В. Пілінський

(ініціали, прізвище)

УДК 654.16

РЕФЕРАТ

Герасименко Д.В. «Дослідження електромагнітної обстановки у приміщенні з мультимедійною електронною апаратурою»: магістерська дисертація: 171 Електроніка. - КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2023. - 70 с.

Магістерська робота: 70 с., 38 рис., 2 табл., 1 дод., 40 джерел.

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ; ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ОБСТАНОВКА; ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЗАВАДИ; МУЛЬТИМЕДІЙНЕ ЕЛЕКТРОННЕ ОБЛАДНАННЯ.

Об'єкт дослідження: електромагнітна обстановка в приміщеннях, насичених радіоелектронними приладами.

Предмет дослідження: мультимедійне електронне обладнання, що створює складну електромагнітну обстановку

Мета роботи: визначення електромагнітної обстановки (ЕМО) задля забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС)

У результаті виконання дипломної роботи наведено аналіз формувачів системи відеоконференцз'язку. Аналізовано особливості забезпечення електромагнітної сумісності, а також розглянуто методи моделювання ЕМО, а саме: метод моментів, метод скінченних елементів, метод кінцевих різниць. Рекомендовано програму для визначення ЕМО. У відповідному програмному забезпеченні проведено моделювання мультимедійної електронної апаратури в ідеальних умовах та з урахуванням впливу завад.

Галузь застосування: компанії, які працюють зі створенням систем відеоконференцз'язку з різним додатковим функціоналом.

ABSTRACT

Herasymenko D.V. "Study of the electromagnetic situation in a room with multimedia electronic equipment": master's thesis: 171 Electronics. - Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, 2023. - 70 c.

Master's thesis: 70 p., 38 figures, 2 tables, 1 appendix, 40 sources.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY; ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT; ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE; MULTIMEDIA ELECTRONIC EQUIPMENT.

Object of research: electromagnetic situation in rooms saturated with radio electronic devices.

Subject of research: multimedia electronic equipment that creates a complex electromagnetic environment

Purpose of the work: to determine the electromagnetic environment (EME) to ensure electromagnetic compatibility (EMC)

As a result of the thesis, an analysis of the formers of the video conferencing system is presented. The peculiarities of ensuring electromagnetic compatibility are analyzed, and the methods of modeling EMC are considered, namely: the method of moments, the method of finite elements, the method of finite differences. A program for determining the EMC is recommended. In the appropriate software, the modeling of multimedia electronic equipment under ideal conditions and taking into account the influence of interference is carried out.

Scope: companies that work with the creation of video conferencing systems with various additional functionality.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1 СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ВІДЕОКОНФЕРЕНЦВ'ЯЗКУ	11
1.1 Відеоконференцв'язок та його особливості	11
1.2 Види відеоконференцій	15
1.3 Формувачі системи відеоконференцв'язку в офісному приміщенні	19
1.3.1 Logitech Rally Bar Mini	21
1.3.2 LogitechTAP IP	22
1.3.3 Acer X118HP	24
1.3.4 Logitech Rally Mic Pod	25
1.3.5 MikroTik hAP ax ²	25
1.3.6 PeiKo World Smart Bluetooth.....	26
1.4 Висновки до розділу	27
2 ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНІСТІ	28
2.1 Електромагнітні завади	28
2.1.1 Загальна класифікація електромагнітних завад (ЕМЗ)	28
2.1.2 ЕМЗ що виникають під час роботи радіоелектронних пристроїв	31
2.2 Потреба у забезпеченні відповідності електромагнітним стандартам і сумісності	33
2.3 Висновки до розділу	36
3 СПОСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ЕМО РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ	37
3.1 Характеристики дослідження засобів забезпечення електромагнітної сумісності	37
3.2 Метод кінцевих елементів	43

3.3 Метод кінцевих різниць	46
3.4 Метод моментів	47
3.5 Порівняльна характеристика методів	48
3.5 Висновки до розділу	50
4 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ	51
4.1 ANSYS HFSS	51
4.2 Результати моделювання	53
4.3 Висновки до розділу	62
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	64
Додаток А	68

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

AI	– Artificial intelligence (Штучний інтелект)
BYOD	– Bring your own device (Модель передбачає, що співробітники працюють на власних пристроях.)
COVID-19	– COronaVirus Disease (захворювання, викликане коронавірусом)
MCU	– Multipoint Control Unit (Багатоточковий блок керування)
PoE	– Power over Ethernet (Передача електроенергії через Ethernet)
PTZ	– Pan-tilt-zoom-камера (Камера, яка підтримує віддалене керування напрямом та збільшенням)
RGB	– red, green, blue (адитивна кольорова модель)
SMB	– Server Message Block (мережевий протокол прикладного рівня для віддаленого доступу до файлів, принтерів та інших мережевих ресурсів)
USB	Universal Serial Bus (послідовний інтерфейс для підключення периферійних пристроїв до обчислювальної техніки)
VCC	– Video Conferencing (Відеоконференція)
VCaaS	– Videoconferencing as a Service (Відеоконференції як послуга)
WiFi6	– Wireless Fidelity (це стандарт бездротового підключення LAN)
ЕМЗ	– Електромагнітні завади
ЕМО	– Електромагнітна обстановка
ЕМП	– Електромагнітне поле
ЕМС	– Електромагнітна сумісність
МСЕ	– Міжнародна спілка електрозв'язку
РЕП	– Радіоелектронні пристрої
РК	– Рідкокристалічний дисплей
	–

ВСТУП

Відеоконференцзв'язок став невід'ємною частиною нашого сучасного життя, особливо в контексті світу, що динамічно змінюється. В епоху, де географічні відстані скорочуються, а межі втрачають своє значення, використання відеоконференцій стає вкрай актуальним. Сьогодні ця технологія стимулює розвиток міжнародного бізнесу, освіти та обміну досвідом. Більше того, вона є важливою складовою у формуванні майбутнього, де віртуальні зустрічі стають стандартом для спілкування та співробітництва, долаючи тимчасові та просторові бар'єри. Це неймовірне зростання попиту на відеоконференцзв'язок вказує на його значущість та перспективи в еволюції спілкування та робочих процесів у майбутньому.

Електромагнітні завади (ЕМЗ) є поширеною проблемою, яка впливає на електронні пристрої і може призвести до зниження продуктивності або виходу системи з ладу. Оскільки електронні пристрої продовжують розвиватися, розуміння та вирішення проблем, пов'язаних з електромагнітними завадами, стає критично важливим як для виробників, так і для споживачів. Усвідомлюючи роль електромагнітних полів у несправностях пристроїв, ми можемо приймати обґрунтовані рішення для захисту та оптимізації роботи наших електронних пристроїв. Впроваджуючи необхідні запобіжні заходи та найкращі практики, ми можемо гарантувати безперебійну роботу наших пристроїв, що забезпечить нам безпроблемне користування.

Актуальність роботи полягає у забезпечення електромагнітної сумісності всіх пристроїв за застосування яких формується система відео конференцій зв'язку в офісному приміщенні.

Об'єктом дослідження є електромагнітна обстановка в приміщеннях з радіоелектронними приладами.

Метою роботи є моделювання електромагнітної обстановки та аналіз впливу ЕМО на забезпечення ЕМС.

Для досягнення мети необхідно:

- розглянути радіоелектронні прилади для створення систем відеоконференцз'язку, як формувачі електромагнітної обстановки;
- з'ясувати характеристики радіоелектронних приладів;
- проаналізувати засоби моделювання електромагнітної обстановки;
- змодельовати роботу приладів у замкненому приміщенні;
- опрацювати результати моделювання.

Методи дослідження: теорії електричних кіл та електромагнітного поля для аналізу джерел неумисних електромагнітних завад, що формують електромагнітну обстановку.

Новизна роботи полягає у пошуку шляхів забезпечення електромагнітної сумісності в офісних приміщеннях, насичених електронною апаратурою, які можуть сприйматись, як джерело ненавмисних завад.

Практична цінність полягає у визначенні електромагнітної обстановки задля визначення засобів і заходів забезпечення електромагнітної сумісності за конкретної ситуації.

1 СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ВІДЕОКОНФЕРЕНЦІВ'ЯЗКУ

1.1 Відеоконференцв'язок та його особливості

Відеоконференції (VCC) сьогодні є важливим інструментом ділового спілкування. Особливо значний прорив стався на ринку відеоконференцій за останні роки [1]. На це вплинули такі фактори:

- масове впровадження хмарних сервісів,
- передові технології оброблення звуку та зображення,
- потужні процесори,
- системи штучного інтелекту,
- вихід на ринок нових гравців - виробників, що пропонують недороге та функціональне рішення в області аудіо та відео,
- необхідність дистанційної роботи співробітників компанії через пандемію COVID-19 та воєнним станом у країні.

Завдяки хмарним сервісам VCaaS (Videoconferencing as a Service) клієнту пропонують комплекс послуг, що містять планування, підготовку та проведення відео конференцій [1]. У цій ситуації клієнт може обрати певні послуги. Саме хмарні сховища надають змогу усунути головне обмеження, яке було на шляху широкого впровадження відеоконференцій – високу ціну відеосервера. Зрештою, апаратне забезпечення системи корпоративної відеоконференції коштує десятки тисяч доларів плюс ліцензії на програмне забезпечення. Сьогодні можливо отримати подібні можливості з хмари за кілька десятків доларів на місяць. При цьому основні технічні проблеми лягають на плечі провайдера хмарного відеосервісу [2].

Що стосується появи на ринку «новачків», то, поза сумнівом, сталася цікава подія. Такі «монстри», як Cisco [3], Avaya [4] або Poly (до придбання Plantronics вона називалася Polycom), не очікували, що Logitech [5], більш відомий як виробник аксесуарів для ПК, «почне грати на їхньому полі». Крім того, інші виробники активно розробляють дуже надійні системи для співпраці, наприклад, європейські Jabra [6], Rexip, Neat, китайські Yealink, Kandaо, Fanvil [7].

Все це стало можливим внаслідок появи високопродуктивних процесорів, нових технологій оброблення зображення і звуку, а також аудіо- і відеоформатів - наприклад, від алгоритмів шумозаглушення до відеоформату H265. У результаті те, що раніше забезпечували флагмани відеоконференцв'язку на основі фірмових кодеків і камер FullHD PTZ із розпізнаванням обличчя людини, тепер можуть пропонувати менш відомі компанії та за нижчою ціною [8].

Зазвичай, мова йде про системи відеоконференцв'язку для середнього та малого бізнесу (SMB). У сегменті великих компаній – де потрібні великі переговорні кімнати та/або хмарні сервіси – лідери ринку все ще «на коні». До останніх належать Avaya, Cisco, Microsoft, Google, Poly, Lifesize, Huawei. Крім того, Microsoft почала пропонувати свій відеосервіс як безкоштовне доповнення до офісного пакету Microsoft Office 365 (перейменованого на Microsoft 365) [8].

Ці зміни підтверджено звітом IDC MarketScape для оцінення провідних світових постачальників інформаційно-комунікаційних технологій за 2020 рік. У цьому квадранті чітко помітні новатори та лідери у кожному сегменті ринку. При цьому експерти вважають, що щонайменше до 2025 року ринок відеоконференцв'язку буде зростати в середньому на 10% на рік. [9].

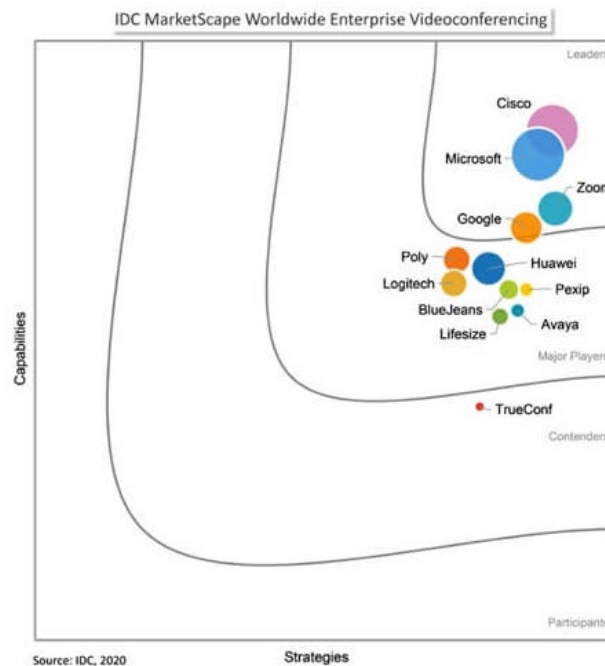


Рисунок 1.1 – Лідери ринку відеоконференцв'язку [9]

Внаслідок цього системи відеоконференцзв'язку значно подешевшали, ціна пристроїв знизилася, і тому їх можуть придбати навіть невеликі компанії. Відповідно зросла доступність якісного міжміського відеозв'язку.

Ще одним фактором, який прискорив впровадження систем відеоконференцзв'язку в глобальному масштабі, стала зростаюча загроза коронавірусу. Тому компанії почали активно переводити своїх співробітників на віддалену роботу [8].

Переваги відеоконференцзв'язку

Системи відеоконференцзв'язку активно використовують у бізнесі, промисловості, державних установах, системах охорони здоров'я та освіти. Відеоконференція має багато переваг, але частіше її використовують як засіб швидкого прийняття рішень - за екстрених ситуаціях. Також це може зменшити витрати на відрядження у територіально розподілених установах, підвищити ефективність бізнесу, проводити судові процеси за участю підозрюваних дистанційно, як один із елементів телемедицини та технологій дистанційної освіти [10].

Внаслідок впровадження систем відеозв'язку бізнес і промисловість можуть скорочувати операційні витрати, підвищувати швидкість прийняття рішень, здійснювати дистанційний контроль і моніторинг, проводити як міжнародні відео зустрічі, так і безпосередньо спілкуватися з клієнтами. Крім того, комунікація підтримується не тільки всередині установи (з філіями), але і з клієнтами, партнерами та постачальниками зі всьому світу [10].

У цьому випадку можна використовувати персональні пристрої, адже багато сучасних відеосистем підтримують концепцію BYOD [11]:

- коли користувачі підключаються до переговорного процесу зі своїх ноутбуків, смартфонів чи планшетів;
- або вони використовують інші системи для обміну вмістом через безпроводові канали зв'язку.

Підвищується швидкість колегіального прийняття рішень органами влади, покращується можливість проведення дистанційних пленарних засідань,

екстреного зв'язку (найважливішого для правоохоронних органів та екстрених служб), а також покращується рівень спілкування з громадськістю.

Наприклад, з 2020 року через карантинні обмеження більшість засідань парламентських комітетів народних депутатів Верховної Ради України проводять у режимі відеоконференцій. Для того, щоб взяти участь у переговорах, депутатам не потрібно виходити з дому, їм достатньо взяти в руки смартфон. Проте, навіть це для деяких депутатів виявилось нереальним – рівень показників присутності була нижче 100%.

Охорона здоров'я сьогодні неможлива без високотехнологічного обладнання. Внаслідок вдосконалення систем відеозв'язку та збільшенню їх доступності дистанційна діагностика та консультації стали нормою (рис.1.2), а ризик передавання інфекційних захворювань значно зменшився. Планування зустрічей і консультацій може відбуватися швидше та ефективніше. Тепер є можливість дистанційно спостерігати за пацієнтом [10].



Рисунок 1.2 – Застосування відеозв'язку у лікарській справі

Передача і обробка документації та результатів медичних обстежень (лабораторії, дослідницькі центри) спрощена, дає можливість обмінюватися ними з іншими фахівцями через захищені канали зв'язку. Відеозв'язок надає допомогу лікарям, які працюють у віддалених населених пунктах або тимчасових медичних пунктах. Крім того, це спрощує навчання молодих спеціалістів та лікарів з інших країн у дистанційному форматі.

Освіта вже активно використовує дистанційне навчання та моніторинг навчального процесу. Відеозв'язок дає можливість проводити онлайн-уроки, лекції, вебінари або просто спілкуватися з однокласниками та викладачами з будь-якого комп'ютера, планшета чи смартфона з будь-якого місця. Крім того, можливо використовувати спеціалізоване навчальне обладнання, таке як інтерактивні дошки та відеопроєктори. При цьому зберігається інклюзивність навчального процесу – відвідати відеозаняття може кожен здобувач знань, незалежно від його фізичних можливостей чи інших проблем [10].

1.2 Види відеоконференцій

Існує два основні типи відеоконференцій – персональна та групова. Персональна відеоконференція передбачає сеанс відеозв'язку, в якому бере участь лише два абоненти. Під груповими відеоконференціями мають на увазі всі інші види відеоконференцій. Різні правила відображення учасників відеоконференції для кожної зі сторін називаються видами відеоконференцій [12].

Відеоконференції 1-на-1 (рис. 1.3):

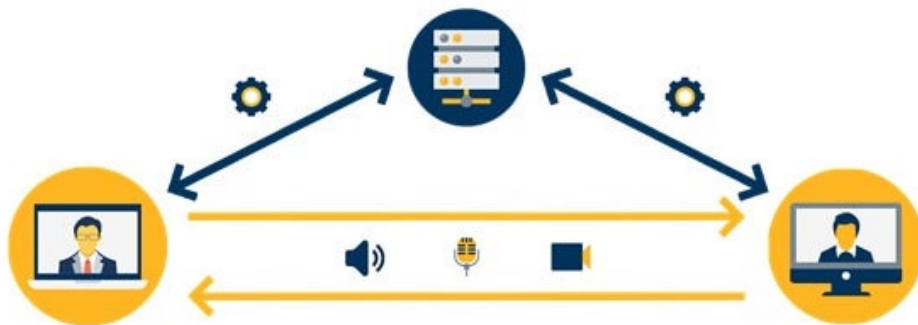


Рисунок 1.3 – Структура системи Point-to-Point

Тут все просто: беруть участь два абоненти, обидва бачать та чують один одного одночасно. Під час будь-якого сеансу відеоконференції можуть використовуватись різні інструменти для спільної роботи, такі як обмін текстовими повідомленнями, файлами, презентаціями та іншими медіаданими [8].

«Груповий» відеозв'язок (режим Multipoint, «multipoint») - багатосторонні відеоконференції (рис 1.4).

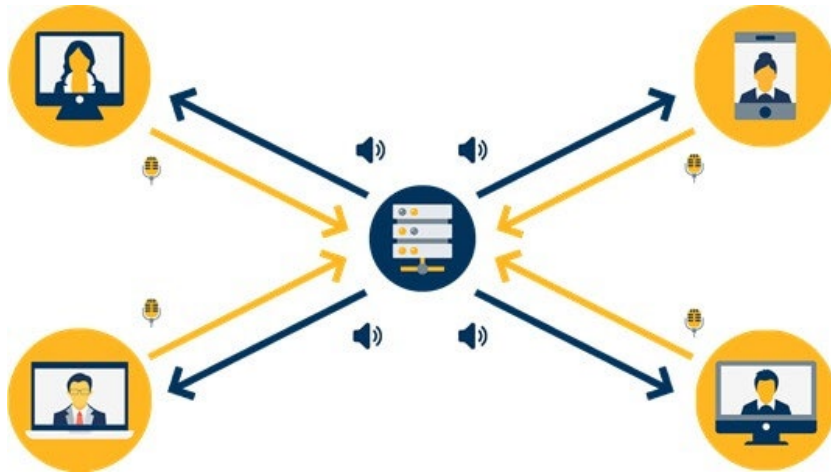


Рисунок 1.4 – Структура системи Multipoint

Режим багатоточкової відеоконференції

Відеозв'язок «точка-точка» в основному задовольняє лише основні потреби компаній і є найпростішим за його організації. Тому більш затребуваним є колективний відеозв'язок у багатоточковому режимі. Для його реалізації потрібен спеціальний багатоточковий сервер відеоконференцій MCU (Multipoint Control Unit) або ліцензія на хмарний сервіс відеоконференцій [8].

«Груповий» відеозв'язок можна розділити на три підвиди:

- симетрична група - усі учасники мають однакові права та можуть активувати відеоконференції незалежно один від одного;
- симетрична група з модерацією - модератор надає право виступу окремим учасникам (наприклад, відео заняття або конференція);
- груповий конференц-дзвінок - всі учасники бачать ічують тільки спікерів, але без аудіо-відео зворотного зв'язку (наприклад, вебінар).

Симетричні відео конференції:

Приклад симетричної відеоконференції показано на рисунку 1.5.

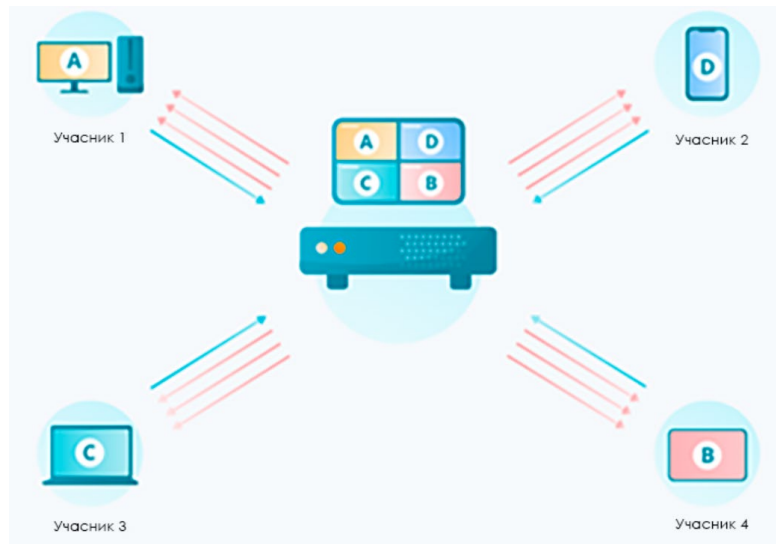


Рисунок 1.5 – Структура симетричної відеоконференції

Це відеоконференції з постійною присутністю учасників - від англ. Continuous Presence. Так називають сеанс відеоконференції, в якому беруть участь понад 2 особи та всі учасники бачать і чують один одного одночасно. Звичайно, відеоконференція передбачає повнодуплексне спілкування. Іншими словами, це аналог круглого столу, де у всіх рівні права. Режим “все на екрані” прийнятний для зустрічей, де потрібне максимальне залучення кожного учасника [8].

Селекторні відеоконференції (рис. 1.6)

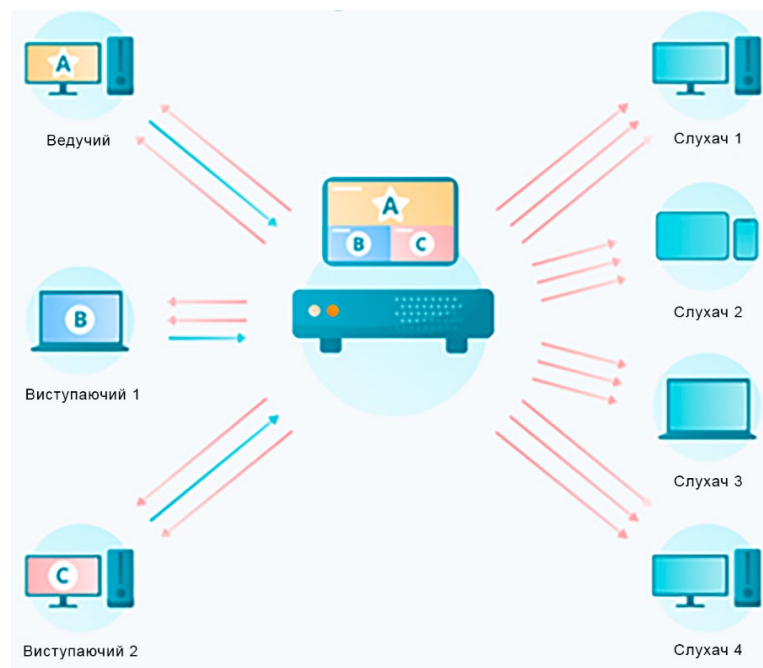


Рисунок 1.6 – Структура симетричної група з модерацією

Режим, у якому учасники поділяються на два види: доповідачі та слухачі, де кожен із слухачів може стати доповідачем (з дозволу організатора конференції). Доповідач такої конференції сам призначає доповідачів та може видалити їх з відео-трибуни у будь-який момент [8].

Цей режим можуть також називати рольовою відеоконференцією. Селекторну відеоконференцію найчастіше використовують під час проведення вебінарів.

Груповий конференц-дзвінок

Це відеоконференція, за яких доповідач веде мовлення на широку аудиторію слухачів, при цьому він не бачить і не чує їх. Решта учасників бачать ічують лише доповідача. Зворотній зв'язок можливий лише через текстовий чат. Найчастіше, для згладжування зміни мережових умов, в ході трансляції вноситься значна затримка до кількох секунд між мовниками та слухачами [8]. Структурна схема показана на рисунку 1.7.

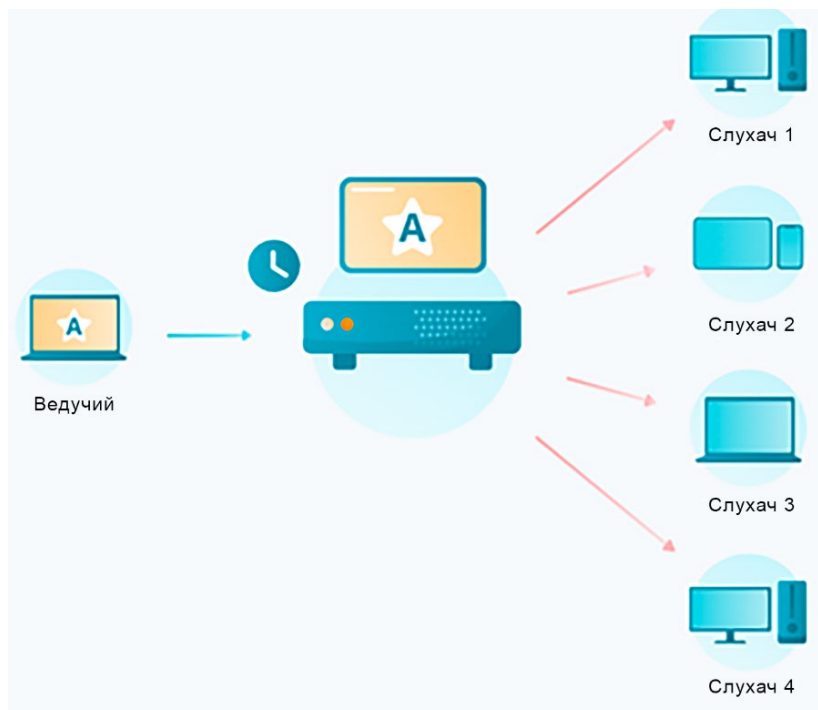


Рисунок 1.7 – Структура симетричної групи з модерациєю

1.3 Формувачі системи відеоконференцзв'язку в офісному приміщенні

Залежно від місця та способу підключення до сеансу відеоконференції може знадобитися різне периферійне обладнання.

Щоб якісно обладнати переговорну кімнату, необхідно дотриматись багато нюансів. Природно, якщо їх більше, то вища вартість підготовки. Насамперед, необхідно правильно розрахувати та встановити систему звукопідсилення [13].

Якщо зал невеликий, то достатньо встановити один або кілька спікерфонів (це спеціальні пристрої, що поєднують один або кілька мікрофонів і динаміків, і призначені для усунення луни і шумів).

Далі потрібна PTZ відеокамера, від звичайної її відрізняє можливість повертатися, нахилитися вгору та вниз, а також наближати та віддаляти. Така камера може як у ручному, так і автоматичному режимах (для цього потрібно спеціальне обладнання) перемикатися між доповідачами та залом. Як систему відображення рекомендують використання двох РК екранів великої діагоналі: один для відео учасників, другий для презентацій та іншого контенту [13].

І не останнє місце займає інтер'єр приміщення: хороша освітленість, контрастне, але не яскраве тло на стінах, шумопоглинальні панелі тощо. Отже вартість обладнання переговорної кімнати залежно від обраного рішення відеоконференцій, периферійного обладнання та обробки може відрізнятися на порядок [13].

Розглянемо систему відеоконференцзв'язку Zoom Rooms з функціоналом проведення презентації для великого конференц-залу.

Табл. 1.1.- Компоненти системи відеоконференцзв'язку

Фото	Модель	Опис	Кількість
	Logitech Rally Bar Mini	Універсальна система відеоконференцзв'язку для середніх і великих кімнат. Не потребує додаткових ноутбуків, ПК	1

	LogitechTAP IP	Сенсорний контролер відеоконференцсистеми, версія Cat5e Kit з додатковим входом HDMI	1
	2E display 4:3, 200", 4x3 м, MW	Полотно моторизоване для проектора, 160 град., настінне або стельове кріплення, діагональ 200 дюймів, формат 4:3, Ширина короба 416 см	1
	Acer X118HP (MR.JR711.00Z)	Проектор DLP, SVGA, 4000 lm)	1
	2E pendant mount (PJC1320)	Кріплення для проектора 13-20 см	1
	Logitech Rally Mic Pod	Модульний мікрофон для Rally Bar, охоплення до 4,5 м	3
	Logitech Rally Mic Pod Extension Cable	Кабель-подовжувач для мікрофонів Rally, 10м.	1
	LOGITECH Rally Mic Pod Pendant Mount	Стельове кріплення для мікрофону Rally	3
	Logitech Presenter R400	Презентер, безпроводове підключення, до 15м, живлення від 2xAAA батарей	1
	Wi-Fi роутер MikroTik hAP ax ²	WiFi6 1.8Gbps, (5) 10/100/1000 Ethernet ports, PoE-out Ether 1, IPQ-6010, 864 MHz CPU, 1GB RAM, 128MB NAND, 2.4GHz 802.11b/g/n/ax, 5GHz 802.11a/n/ac/ax, 2.4GHz.	1

	PeiKo World Smart Bluetooth	Peiko World є компактною гарнітурою для мобільного телефону з функцією перекладача.	10
---	-----------------------------	---	----

1.3.1 Logitech Rally Bar Mini :



Рисунок 1.8 – Logitech Rally Bar Mini

Logitech Rally Bar Mini (рис. 1.8) - універсальна система відеоконференцзв'язку з комп'ютером. Пристрій виконано як саундбар і поєднує камеру, гучномовці, мікрофон і комп'ютер в одному корпусі. Posession можна використовувати для проведення відеоконференцій у різних сервісах і програмах. На даний час є 2 режими роботи - з комп'ютером і без комп'ютера [14]. Приклад застосування Logitech Rally Bar Mini та Logitech TAP IP показано на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Застосування Logitech Rally Bar Mini та Logitech TAP IP

Режими робота Logitech Rally Bar Mini

Режим USB - відеопанель підключають до комп'ютера для виконання функції основної веб-камери, мікрофона та гучномовця. У цьому режимі Rally Bar розкривається можливість працювати за будь-якою програмою на своєму комп'ютері [14].

Офлайн-режим (режим пристрою) – цей режим використовує комп'ютер для проведення відеоконференцій у кількох системах, таких як Zoom, Microsoft Teams, Google Meet та багатьох інших. Для цього режиму не потрібен звичайний комп'ютер. Клієнти відеоконференцій Android тестуються під час роботи в автономному режимі. Їх вплив може відрізнятися в залежності від версії аналогічних програм для комп'ютерів Windows [14].

Переваги Rally Bar Mini:

- моторизована камера з горизонтальним і вертикальним обертанням система штучного інтелекту AI для автоматичного налаштування кадру,
- висока інтенсивність звуку, високий дуплекс,
- . можливість підключення 2 екранів,
- технологія RightLight забезпечує передачу природних кольорів,
- технологія RightSight - автоматично налаштовує кадр, камера розпізнає обличчя учасників і налаштовується, щоб показати всіх учасників в кадрі; тепер рамку встановлюють так, щоб учасники були у центрі за горизонталі та вертикалі;
- технологія RightSound – аналізує голоси учасників, нормалізує їх гучність і зменшує надмірний шум.

1.3.2 Logitech TAP IP [15]:

Системи відеоконференцій Logitech Tap (рис. 1.10) забезпечують миттєве підключення, інтеграцію календаря та швидкий обмін даними – і вони завжди готові. Системи відеоконференцій Logitech постачають з попередньо налаштованим програмним забезпеченням від Google, Microsoft і Zoom, яке адаптовано до типу приміщення [15].



Рисунок 1.10 – Logitech TAP IP

Зручний сервіс

Безшумний контролер Тар із датчиком руху, який завжди тримає пристрій наготові, робить онлайн-конференцію легкою та зручною.

Кілька варіантів кріплення

Доступні настільні та вертикальні кріплення придатні до стандартних монтажних отворів і повертаються на 180° для кращої видимості та зручності. Настінний тримач надає можливість економити місце в невеликих приміщеннях.

Внаслідок гнучким параметрам підключення контролер Тар можна розмістити поблизу учасників для зручності роботи, незалежно від того, чи встановлено головний комп'ютер у шафі, під столом чи за дисплеєм.

Миттєвий обмін даними

Рішення для відеоконференцій із контролером Тар надають можливість легко ділитися будь-яким вмістом з учасниками зустрічі.

Сумісний із основними платформами відеоконференцій

Сертифікований і сумісний із популярними службами відеоконференцій, Тар надає можливість ІТ-фахівцям стандартизувати свої зустрічі, використовуючи надійні платформи.

Правильний формат

Контролер Тар працює з наступним поколінням неймовірно простих у використанні рішень для відеоконференцій від Logitech для малих, середніх і великих кімнат.

Просте управління

Платформа Logitech Sync надає можливість контролювати пристрої у кімнаті та отримувати основну інформацію про використання кімнати.

1.3.3 Acer X118HP:

Проектор X118HP (рис. 1.11) забезпечує високу чіткість і яскравість зображення навіть у добре освітлених приміщеннях середнього розміру внаслідок яскравості 4000 люмен. Технології Acer LumiSense, ColorBoost3D і Color Safe II надають можливість реалізувати реалістичну передачу кольорів, а технологія Acer BlueLightShield знижує втому очей [16].



Рисунок 1.11 – Acer X118HP

Основні характеристики:

- яскравість 4000 люмен надає можливість насолоджуватися чітким і яскравим зображенням навіть на великій відстані, при денному світлі та у великих приміщеннях;
- точне відтворення кольорів і чітке реалістичне зображення внаслідок технології Acer ColorBoost3D;
- реалістичне та природне відтворення кольорів внаслідок технології ColorSafe II, яка динамічно контролює канали RGB;
- технологія Acer LumiSense регулює яскравість і насиченість залежно від проєктованого контенту;

- внаслідок технології Acer BlueLightShield знижується навантаження на очі;
- звук буде таким же якісним, як і зображення, внаслідок потужним вбудованим динамікам.

1.3.4 Logitech Rally Mic Pod :

Mic Pod використовують з системами відеоконференцій Logitech Rally. Дас змогу розширити зону звукозапису, рекомендовано приблизно для 6...8 осіб.

Загалом система Logitech Rally (рис. 1.12) може мати до 7 мікрофонів, що придатне для кімнат до 46 осіб.



Рисунок 1.12 – Logitech Rally Mic Pod

Усі мікрофони працюють як єдиний масив і забезпечують чистий і природний звук за допомогою технології Logitech RightSound. Загальний сигнал мікрофонів формується так, щоб сприймати звук від поточного гучномовця, а фоновий шум відсікається й не передається на конференцію. Крім того, гучність наявних гучномовців збалансована, щоб однаково добре чути як тиху, так і гучну мову [17].

1.3.5 MikroTik hAP ax²:

Wi-Fi роутер MikroTik hAP ax² (C52iG-5HaxD2HaxD-TC) – нова версія hAP ax² з підтримкою WiFi6. PoE-вхід і PoE-вихід, набагато швидший безпроводовий зв'язок, більший обсяг оперативної пам'яті та сучасний процесор. Найменший повноцінний маршрутизатор із підтримкою стандарту 802.11ax на ринку. Вигляд роутера показано на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – MikroTik hAP ax²

Сучасний чотири ядерний процесор, що працює на частоті 864 МГц, у поєднанні з достатнім об'ємом оперативної пам'яті (1 GB) забезпечує високу продуктивність, коли йдеться про важкі операції, такі як складні правила брандмауера, апаратне шифрування IPsec, використання більшої кількості потоків або експерименти з самими просуваннями. RouterOS. А з додаванням розширеної підтримки шифрування WPA3 користувач у більшій безпеці, ніж будь-коли раніше. Як і попередні моделі, hAPx² можна монтувати вертикально, горизонтально або навіть на стіні [18].

1.3.6 PeiKo World Smart Bluetooth

Компактний навушник-перекладач, що підтримує 25 мов, у тому числі англійську, німецьку та корейську. Під час розмови пристрій транслює вже перекладені слова безпосередньо на слуховий канал. Прилад отримав простий і діловий стиль, він легкий та мобільний, оскільки його маса лише 8 грамів [19].

У ньому застосовано функцію PeiKo World Smart Bluetooth, що відповідає за переклад розмови «віч-на-віч». Щодо автономності у PeiKo World повний порядок. Заряду акумулятора вистачить на 4-5 годин роботи в режимі розмови або на 120 годин очікування. А поповнюється заряд за 2 години [19]. Вигляд навушника показано на рисунку 1.14.



Рисунок 1.14 – PeiKo World Smart Bluetooth

Спосіб підключення – безпроводовий.

Тип конструкції: внутрішньо канальні.

Автономність 4-5 годин.

Кількість підтримуваних мов 25.

Сумісність iOS, Android.

1.4 Висновки до розділу 1

1. Розглянуто поняття відеоконференцзв'язку . Описано особливості його створення, та переваги.

2. Проаналізовано види відеоконференцій, а саме парсональні та групові. З'ясовано особливості відеоконференції 1-на-1, Multipoint, симетричних відеоконференцій, селекторних та групових.

3. Виділено формувачі системи відеоконференцзв'язку з функціоналом проведення презентації у великому конференцзалі компанії.

4. Описано кожний пристрій який використовується для створення відеоконференцій.

2 ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНІСТІ

2.1 Електромагнітні завади :

Електромагнітні завади (ЕМЗ) - це небажаний шум або завади в електричних колах спричинені зовнішнім неумисним джерелом. Вони також відомі як радіочастотні завади. Наявність ЕМЗ може призвести до того, що електроніка працюватиме не штатно, може частково вийти з ладу, або повністю припинить роботу [20].

ЕМЗ можуть бути спричинені природними або створеними штучно неумисними джерелами. Використання високоякісної електроніки, електричного екранування та сучасної корекції процесів може зменшити вплив електромагнітних завад.

Поширеним прикладом ЕМЗ є ситуація, коли мобільний телефон розміщують біля аудіоапаратури або гучномовців, що працюють, і він може спричинити шум або серію звукових сигналів.

ЕМЗ виникає внаслідок взаємозв'язку між енергіями електромагнітного поля різних джерел. Будь-який електричний струм створює відповідне магнітне поле. І навпаки, змінне магнітне поле створює електричний струм. Ці принципи дають змогу працювати електродвигунам і генераторам. Крім того, всі електричні провідники можуть виконувати функції емісії як «радіоантени». Високопотужні електричні та радіотехнічні джерела можуть спричиняти небажані ефекти у пристроях, що знаходяться навіть на далекій відстані. Оскільки електронна апаратура за габаритами стає меншою, більш щільно упакованою і чутливою, вона стає більш сприйнятливою до цих впливів, та з іншого боку сама може бути джерелом неумисних ЕМЗ [20].

2.1.1 Загальна класифікація електромагнітних завад

Електромагнітні завади можуть виникати різними способами і від різних джерел. Ці типи можна класифікувати різними способами [21].

Один із видів класифікації типу ЕМЗ - це спосіб його створення [21]:

- Штучні ЕМЗ:

цей тип зазвичай виникає від інших електронних схем, хоча деякі ЕМЗ можуть виникати від перемикачів у «своїх» функціональних вузлах великих струмів тощо.

- Природні ЕМЗ:

Цей тип може виникати з багатьох джерел - космічний шум, а також блискавки та інші види атмосферного шуму роблять свій внесок.

Інший вид класифікації типу ЕМЗ - за його тривалістю [21]:

- Безперервні завади.

Цей тип зазвичай виникає від джерела, такого як електричне коло, що емітує безперервний сигнал. Проту фоновий шум, який є безперервним, може бути створений різними способами, як штучно, так і природно.

- Імпульсний шум.

Цей тип ЕМЗ також може бути штучним або природним. Блискавка, електростатичний розряд і комутаційні системи - все це сприяє виникненню імпульсного шуму, який є різновидом ЕМЗ.

Також можна класифікувати різні типи ЕМЗ за їх пропускну здатністю .

- Вузькосмугові:

Зазвичай ця форма ЕМЗ, швидше за все, є джерелом однієї несної частоти, що створювана генератором певної форми сигналів. Іншою формою вузькосмугових ЕМЗ є паразитні сигнали, спричинені інтермодуляцією та іншими формами спотворення у передавачі, такому як мобільний телефон або Wi-Fi роутер. Ці паразитні сигнали є в різних смугах і можуть створювати завади іншому користувачеві радіочастотного спектра. Тому ці паразитні сигнали мають бути обмежені у жорстких межах [21].

- Широкопсмуговий:

Існує багато форм широкопсмугового шуму, з якими можна зіткнутися. Вони може виникати з найрізноманітніших джерел. Штучні широкопсмугові завади можуть виникати від таких джерел, як дугові зварювальні апарати, де безперервно

генерується іскра. Природні широкосмугові завади можуть виникати від Сонця - вони можуть спричиняти сонячні затемнення для систем супутникового телебачення, коли Сонце з'являється за супутником, і завади можуть маскувати сигнал супутника, що передається. На щастя, ці епізоди тривають лише кілька хвилин [21].

Механізми електромагнітного з'єднання

Існує багато способів, якими електромагнітні завади можуть передаватися від джерела до приймача. Розуміння того, яким саме способом завади потрапляють до приймача, є ключем до вирішення проблеми [22].

- Емісія у навколишньому середовищі (у ближній зоні – індукція, у дальній – випромінювання).

Цей тип електромагнітного зв'язку є найбільш очевидним. Це тип електромагнітного зв'язку, який зазвичай виникає, коли джерело і рецептор розділені відстанню - як правило, більше довжини хвилі. Джерело випромінює сигнал, який може бути бажаним або небажаним, а рецептор отримує його таким чином, що порушує його роботу [22].

- Провідний:

Кондуктивні завади виникають, як випливає з назви, коли є провідний шлях, по якому можуть поширюватися сигнали у електричних колах і провідниках. Це може бути вздовж силових кабелів або інших з'єднувальних кабелів. Характер поширення може бути у режимах [22]:

- Загальний режим (common mode):

Цей тип електромагнітного зв'язку виникає, коли шум з'являється в однаковій фазі на двох провідниках, наприклад, вихідний і зворотний для сигналів, або $+U_z$ і $-U_z$ для силових кабелів.

- Диференціальний режим (differential mode):

Виникає, коли шум є в протифазі на двох провідниках.

Необхідні методи фільтрації залежать від типу електромагнітних завад, що виникають. Для синфазного режиму лінії фільтруються разом. Для диференціального режиму вони відфільтровані відповідним чином.

- Індуктивний зв'язок:

Те, що зазвичай називають індуктивним зв'язком, є внаслідок наведення (індукції).

- Ємнісний зв'язок:

Це відбувається, коли напруга, що змінюється від джерела, через паразитну ємність переносить заряд на рецептор.

- Магнітний зв'язок:

Цей тип зв'язку ЕМЗ існує, коли між джерелом і жертвою існує змінне магнітне поле - як правило, два провідники можуть проходити близько один до одного (на відстані менше λ один від одного). Це індукує струм у колі рецептора, і таким чином передає заваду.

Визначивши форму зв'язку, що існує, і спосіб, яким він досягає рецептора, може виявитися, що найефективнішим методом зменшення ЕМЗ є вжиття заходів для зменшення зв'язку і зниження рівня завад до прийняттого рівня [22].

Електромагнітні завади на жаль є у всіх сферах електроніки. Розуміючи джерело, способи зв'язку і сприйнятливість рецептора, в жертви, можна визначити рівень завад та застосувати необхідні засоби.

2.1.2 ЕМЗ що виникають від роботи радіоелектронних пристроїв

Електромагнітні поля (ЕМП) - це комбінація електричних і магнітних полів, які виникають природним чином або генеруються штучними джерелами. Вони можуть мати різні форми, починаючи від низькочастотних полів, що випромінюються лініями електропередач та побутовими приладами, і закінчуючи високочастотними полями, що випромінюються пристроями безпроводового зв'язку, такими як смартфони та Wi-Fi-роутери [22].

Електромагнітні поля можуть негативно впливати на продуктивність і функціональність електронних пристроїв. Ось деякі з способів, як ЕМП можуть спричинити несправності пристроїв [22]:

Електромагнітні завади: ЕМП можуть заважати належному функціонуванню електронних пристроїв, порушуючи електромагнітні сигнали, на які вони покладаються. Ці завади можуть призвести до нестабільної роботи, втрати даних або навіть повного виходу пристрою з ладу.

Виділення тепла: ЕМП можуть індукувати струми в колах електронних пристроїв, що призводить до виділення тепла. Надмірне нагрівання може пошкодити чутливі компоненти, вплинути на продуктивність і скоротити термін служби пристрою.

Порушення сигналу: Високочастотні ЕМП, наприклад, ті, що випромінюються пристроями безпроводового зв'язку, можуть заважати сигналам, які використовуються електронними пристроями для зв'язку один з одним. Це може призвести до погіршення зв'язку, переривання дзвінків або зниження швидкості передачі даних.

Чутливість до магнітних полів: Деякі електронні пристрої, особливо ті, що мають жорсткі диски, що обертаються, дуже чутливі до магнітних полів. Вплив сильних магнітних полів може призвести до пошкодження або втрати даних.

Вплив на повсякденні пристрої

Вплив ЕМП на повсякденні пристрої є більш значним, ніж будь-коли раніше [24]. Розглянемо приклади:

Смартфони: За оцінками, у світі налічується 6,5 мільярдів користувачів смартфонів [23], тому вплив ЕМП на ці пристрої спричиняє все більше занепокоєння. Від переривання дзвінків до скорочення терміну служби акумулятора - ЕМП можуть впливати на загальний досвід користувача.

Медичне обладнання: У закладах охорони здоров'я електромагнітні завади, спричинені ЕМП, можуть порушити роботу критично важливих медичних приладів, що може загрожувати безпеці пацієнтів.

Аерокосмічні технології: В авіаційній промисловості ЕМП можуть втручатися в електронні системи літаків, що потенційно може призвести до навігаційних помилок або несправностей.

Промислове обладнання: ЕМП, що генеруються промисловим обладнанням, можуть втручатися у системи управління машин, може викликати збій в роботі або загрожувати безпеці.

Мінімізація ризику несправностей пристроїв

Хоча повністю усунути наявність ЕМЗ неможливо, існують заходи, яких окремі фахівці та установи можуть застосувати, щоб зменшити ризик несправностей пристроїв [22]:

Екранування: Розташування електронних пристроїв у екрановані корпуси або використання екранувальних матеріалів може зменшити вплив зовнішніх електромагнітних полів.

Належне уземлення: Забезпечення належного уземлення пристроїв та електричних систем допомагає відвернути небажані електромагнітні завади.

Випробування на електромагнітну сумісність: Проведення випробувань на електромагнітну сумісність (ЕМС) під час проектування та виробництва дає змогу виявити потенційні вразливості та мінімізувати ризик несправностей пристрою.

Нормативи електромагнітної сумісності: Уряди та регуляторні органи впроваджують, так звані Норми (фактично – це є гранично допустимі рівні) щодо електромагнітної сумісності для забезпечення безпеки та продуктивності електронних пристроїв. Дотримання цих вимог може зменшити ризик несправностей пристроїв.

2.2 Потреба у забезпеченні відповідності електромагнітним стандартам і сумісності

Виникненню ЕМЗ сприяють кілька факторів. Розуміння цих причин може допомогти у розробці ефективних стратегій для мінімізації їхнього впливу [25]:

Близькість: Чим ближче електронні пристрої розташовані один до одного, тим вища ймовірність виникнення ЕМЗ. Пристрої, розміщені у безпосередній близькості, можуть створювати електричні та магнітні поля, які заважають один одному.

Неефективне екранування: Якщо пристрій не захищений належним чином, електромагнітні хвилі можуть бути випромінені у навколишнє середовище і - створювати завади для пристроїв, розташованих поруч.

Дефектні схеми: Несправна конструкція, неналежне уземлення або неправильне розташування електричних кіл можуть призвести до підвищеного ризику електромагнітних завад. Ці проблеми можуть спричинити перехресні завади сигналу або - шум в електронних колах.

Наслідки ЕМЗ можуть варіюватися від незначних незручностей до критичних збоїв у роботі системи:

Пошкодження даних: ЕМЗ може пошкодити передачу даних, що призводить до помилок, втрати інформації та зниження цілісності даних.

Погіршення якості сигналу: Завади можуть погіршити якість сигналів, що передаються між пристроями, що призводить до низької якості аудіо- чи відеосигналу, обриву дзвінків або повільного з'єднання з Інтернетом.

Несправність пристрою: У деяких випадках ЕМЗ може призвести до збою в роботі, «зависання» або навіть до незворотного пошкодження пристроїв.

Зменшення впливу електромагнітних завад

Щоб мінімізувати вплив ЕМЗ та забезпечити безперервну роботу електронних пристроїв, можна зробити кілька практичних кроків [25]:

Належне уземлення: Забезпечення належного уземлення електронних пристроїв може значно зменшити вплив електромагнітних завад. Належне уземлення «розсіює» небажані електричні струми і запобігає формуванню електромагнітних полів, що можуть створювати завади.

Екранування: Впровадження ефективних методів екранування, таких як використання провідних матеріалів або додавання фільтрів, дає змогу «стримувати» електромагнітні хвилі всередині пристрою, що запобігає їхньому впливу на сусідні пристрої.

Якісні кабелі: Використання високоякісних екранованих кабелів дає змогу мінімізувати кондуктивні ЕМЗ, оскільки вони зменшують ймовірність поширення електромагнітних хвиль у кабелі.

Проектування схем: Ретельне проектування електронних схем, за ретельну увагу правильному розміщенню та компонуванню електронних компонентів, може зменшити ризик випромінюваних ЕМЗ.

Впровадження цих заходів дає змогу електронним пристроям функціонувати більш надійно і забезпечувати кращу продуктивність, без збоїв, спричинених ЕМЗ.

Вплив електромагнітного поля на здоров'я людини

Коли мова йде про здоров'я людини, взаємозв'язок між впливом ЕМП і потенційними ризиками є предметом постійних досліджень. Хоча остаточних доказів зв'язку між впливом ЕМП та шкідливими наслідками для здоров'я немає, деякі питання викликають занепокоєння [26]. До них відносять таке.

Підвищений ризик раку: деякі дослідження вказують на потенційний зв'язок між довготривалим впливом ЕМП та підвищеним ризиком виникнення певних видів раку.

Неврологічні ефекти: Вплив ЕМП був пов'язаний з неврологічними симптомами, такими як головний біль, порушення сну та проблеми з концентрацією уваги.

Проблеми з фертильністю: Дослідження показують, що тривалий вплив електромагнітних хвиль може впливати на чоловічу фертильність, знижуючи якість і рухливість сперматозоїдів.

Електромагнітна гіперчутливість: Деякі люди стверджують, що під впливом електромагнітних полів вони відчують такі симптоми, як втома, нудота і проблеми зі шкірою.

Хоча ці побоювання існують, важливо зазначити, що регуляторні органи, такі як Всесвітня організація охорони здоров'я, не встановили остаточних рекомендацій щодо безпечних меж впливу ЕМП на людину. Тим не менш, рекомендується проявляти обережність і мінімізувати небажаний вплив ЕМП, особливо для вразливих груп населення, таких як вагітні жінки та діти [26].

2.3 Висновки до розділу 2

1. Електромагнітні поля можуть негативно впливати на робочий процес електронних пристроїв, що потенційно може призвести до збоїв у роботі або виходу з ладу.
2. Високочастотні ЕМП, що випромінюють пристрої безпроводового зв'язку, можуть спотворювати сигнали і ставити під загрозу зв'язок.
3. Деякі пристрої, такі як смартфони та медичне обладнання, є більш чутливими до електромагнітних завад.
4. Належне екранування, уземлення та дотримання норм щодо електромагнітних завад може мінімізувати ризик несправностей пристроїв.
5. Усвідомлюючи роль електромагнітних полів у несправностях пристроїв, ми можемо приймати обґрунтовані рішення для захисту та штатної роботи наших електронних пристроїв.
6. Дослідження впливу ЕМП на здоров'я людини тривають, вже висловлюються занепокоєння щодо підвищеного ризику раку, неврологічних наслідків, проблем з фертильністю та електромагнітною гіперчутливістю.

3 СПОСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ЕМО РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИБОРІВ

3.1 Характеристики дослідження засобів забезпечення електромагнітної сумісності

Електромагнітна сумісність (ЕМС) - це здатність електронного пристрою або системи працювати в своєму електромагнітному середовищі, не створюючи неприйнятних електромагнітних завад для інших пристроїв і не зазнаючи негативного впливу електромагнітних випромінювань від інших пристроїв. Випробувальне обладнання для електромагнітної сумісності призначене для перевірки та забезпечення цієї відповідності [27].

Поширення електронних пристроїв у кожному аспекті нашого життя значно збільшило потенціал електромагнітних завад. Без належної електромагнітної сумісності ці завади можуть призвести до збоїв у роботі або навіть до відмови, що може бути катастрофічним у таких сферах застосування, як медичне обладнання або авіаційна електроніка. Таким чином, випробування на електромагнітну сумісність є не тільки важливим, але й вимагається Нормативними документами для забезпечення безпеки та ефективної роботи пристроїв [27].

Випробувальне обладнання для електромагнітної сумісності охоплює широкий спектр пристроїв. Їх можна умовно поділити на дві категорії: обладнання для тестування емісії та обладнання для тестування несприйнятливості.

Обладнання для тестування емісії: Ці пристрої вимірюють кількісні параметри електромагнітної енергії, яку емітує електронний пристрій. Вони визначають, що пристрій, який тестується, не випромінює понад допустимі рівні. Приклади включають аналізатори спектра і осцилографи [28].

Обладнання для тестування імунітету: Ці пристрої піддають обладнання, що тестується, різним електромагнітним явищам, щоб перевірити його надійність. Вони оцінюють, чи може пристрій протистояти електромагнітним збуренням, з

якими він, ймовірно, зіткнеться протягом свого терміну експлуатації. Приклади включають симулятори електростатичного розряду та генератори перенапруги.

Аналіз ЕМС проводиться з метою визначення можливостей спільної роботи радіоелектронних, електронних та електротехнічних засобів. Результати аналізу дають змогу прогнозувати виконання умов ЕМС у конкретній ситуації та є основою для вжиття практичних заходів щодо забезпечення ЕМС радіоелектронних пристроїв (РЕП). Аналіз ЕМС містить якісне і кількісне вивчення різних аспектів загальної проблеми. Зважаючи на її складність і велику кількість практичних ситуацій, загальний аналіз ЕМС розпадається на ряд завдань, що становлять самостійне значення для практики [28].

Під час аналізу ЕМС можна назвати такі групи задач:

- дослідження електромагнітної обстановки;
- дослідження показників ЕМС пристроїв та їх елементів;
- визначення умов забезпечення ЕМС у конкретній ситуації.

Ці дослідження поєднують широке коло питань, пов'язаних з визначенням характеристик радіоелектронних пристроїв та їх елементів, що впливають на умови їхньої спільної роботи. Вивченню підлягають як характеристики РЕП (радіоелектронних пристроїв) що є причиною виникнення неумисних завад так і характеристики. До конкретних завдань входить визначення [28]:

- кількісних характеристик не основних емісій радіо передавальних пристроїв;
- рівнів та спектрального складу індустриальних завад створюваних різними пристроями;
- параметрів, що характеризують сприйнятливість радіоприймальних пристроїв поза основним каналом прийому сигналів як антенами, так і за колами електроживлення, керування та комутації;
- сприйнятливості електронних пристроїв за впливу завад через корпуси, колах електроживлення тощо.

Завдання визначення характеристик ЕМС можна вирішувати з урахуванням детермінованого чи ймовірнісного підходу. За детермінованому підході шукані параметри ЕМС описують детермінованими величинами та функціями, за ймовірнісному - випадковими величинами та функціями. Адекватним є ймовірнісний опис характеристик ЕМС, оскільки на зазначені характеристики впливає велика кількість факторів, що мають випадковий характер.

Визначення електромагнітної обстановки.

Електромагнітна обстановка (ЕМО) - це сукупність всіх природних та штучних електромагнітних полів, що існують у заданій області простору, визначена для заданих смуги частот та проміжку часу. Електромагнітна обстановка створюється всіма видами електромагнітних завад що існують у ситуації, що розглядається, і залежить як від характеристик ЕМС пристроїв та їх елементів, так і від умов поширення завад. Будь-який радіоелектронний пристрій як функціонує у певної електромагнітної обстановці, та й бере участь у створенні електромагнітної обстановки іншим засобам. Аналіз ЕМО - це знаходження умов, в яких мають функціонувати конкретний РЕП або група пристроїв, та вироблення кількісних оцінок за ступенем впливу завад на конкретний засіб [29].

По відношенню до аналізованих засобів електромагнітна обстановка може бути зовнішньою або внутрішньою. Внутрішня обстановка створюється РЕП розміщеними, наприклад, на літальному апараті, кораблі, вузлі зв'язку тощо, і визначається лише властивостями групи засобів, що розглядається, зовнішня — засобами різних об'єктів, наприклад ЕМО, що існує між літаками, кораблями, їх сукупностями, між РЕП [29].

До завдань аналізу ЕМО ставлять: визначення ступеня завантаження окремих частотних діапазонів засобами різних радіослужб; знаходження залежностей рівнів неумисних завад від просторових, частотних, часових, поляризаційних співвідношень; складання відповідних гістограм розподілу частот та енергетичних рівнів випромінювання передавачів та чутливості приймачів (рис. 3.1), рівнів індустриальних завад у навколишньому просторі та на об'єктах,

рівнів завад у проводах живлення та управління; розрахунок зон, у межах яких рівні конкретних завад не перевищують деякого допустимого значення, тощо.

Оцінка електромагнітної обстановки може бути детермінованою або ймовірнісною. За детермінованому підході рівні завад їх спектральний склад тощо оцінюють детермінованими величинами і функціями. За ймовірнісній оцінці шукані величини описують у ймовірнісних категоріях - густини ймовірності розподілу потужностей, ймовірності існування неприпустимих завад у межах певних зон тощо.

Завдання, які стосуються аналізу електромагнітної обстановки та аналізу характеристик ЕМС, тісно пов'язані між собою. Електромагнітна обстановка у конкретній ситуації залежить від показників ЕМС пристроїв та його елементів [29].

Дослідження виконання ЕМС у конкретній групі

Вони проводяться з метою встановлення факту електромагнітної сумісності та за її порушення — знаходження конкретних причин несумісності, включаючи виявлення джерел неумисних завад причин поширення завад та шляхів їх впливу на рецептори. Аналіз ЕМС у групі коштів базується на результатах дослідження електромагнітної обстановки та параметрів, що впливають на ЕМС. Аналіз електромагнітної обстановки дає змогу з'ясувати, які саме завади діють у конкретному випадку та які їх енергетичні, спектральні та статистичні характеристики. Для вирішення питання про наявність чи відсутність сумісності необхідно встановити характер впливу цих завад та оцінити результати цього впливу на якість функціонування РЕП у цій групі [30].

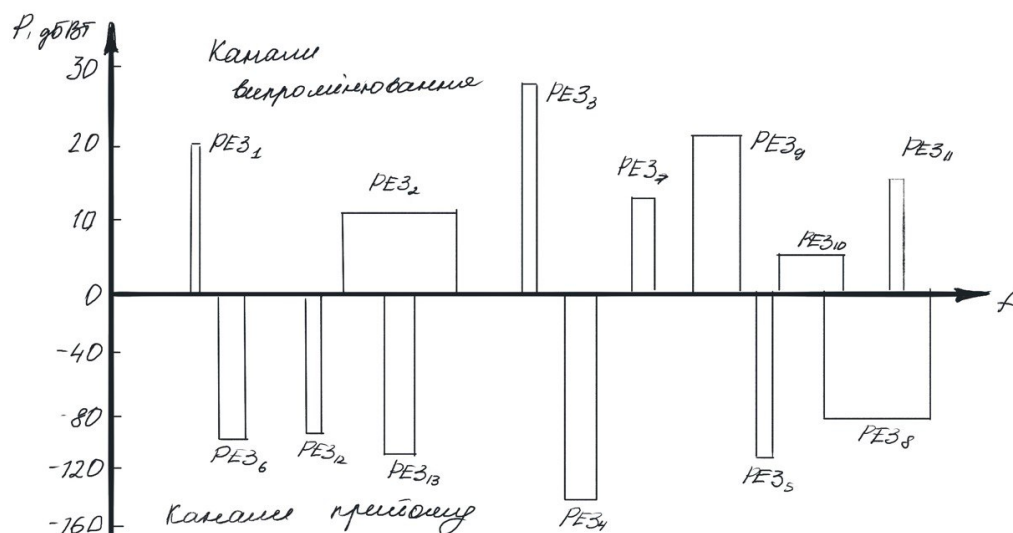


Рис.3.1. Приклад діаграми розподілу частот та енергетичних рівнів джерел та рецепторів завад

Аналіз ЕМС для конкретної ситуації проводиться з урахуванням використання моделей взаємодії. Моделі доцільно розрізняти [30]:

а) за видом оцінки ЕМС - парна оцінка, групова та комплексна. За парній оцінці враховується вплив завад створюваних кожним із двох засобів, при більшій кількості їх — попарна дія кожного із засобів групи на кожну іншу. Групова оцінка передбачає вивчення впливу групи джерел однією рецептор чи по чергово попри всі рецептори групи. При комплексній оцінці розглядається вплив групи джерел попри всі рецептори, що входять до складу цієї сукупності пристроїв. Комплексна оцінка базується на використанні групової, групова - на використанні парної, але ні групова, ні комплексна оцінки в загальному випадку не є простою сумою кількох парних оцінок;

б) за характером функціональних зв'язків, що враховуються між аналізованими засобами — проста і складна логіка впливу. Проста логіка припускає, що кожен із пристроїв у групі можна розглядати як функціонально незалежне від інших засобів. При цьому зниження індивідуальних показників якості кожного із засобів у групі обумовлено лише рівнями та типом діючих завад і не залежить від погіршення індивідуальних показників інших засобів. За

складній логіці враховується те, що у випадку окремі кошти групи можуть мати функціональні зв'язку друг з одним. Наявність зв'язків призводить до того, що вплив завад на деякий i -й рецептор не тільки спричинює погіршення його індивідуальних показників, а й спричинить зміну якості іншого засобу, наприклад, j -го, що має з ним функціональний зв'язок;

в) за характером оцінки електромагнітної обстановки - детерміновані процеси та імовірнісні;

г) за характером оцінки якості функціонування – також детерміновані та імовірнісні.

Можливі різні комбінації цих моделей. Вибір конкретної моделі визначається метою аналізу, вимогами до його точності, докладністю та достовірністю вихідних даних. Найбільш прості моделі (наприклад, парна оцінка, що відповідає простій логіці за детермінованих описах електромагнітної обстановки та оцінці характеру впливу) вимагають для проведення аналізу меншого часу і меншого обсягу вихідної інформації, але мають найменшу надійність. Їх застосування найдоцільніше для отримання попередніх оцінок. Більш досконалі моделі вимагають детальнішої вихідної інформації та значно складніше [30].

З огляду на різноманітність завдань аналізу ЕМС широким є і арсенал використовуваних засобів, що містить:

- аналітичні методи дослідження, що дають змогу отримати результати розрахунковим шляхом на основі використання математичних моделей досліджуваних явищ;
- методи імітаційного моделювання, що дають змогу отримати результати, що досліджуються, шляхом математичного моделювання досліджуваних явищ;
- експериментальні методи, що дають змогу отримати результати, шляхом вимірювань фізичних величин.

Під час прогнозування ЕМС радіоелектронних пристроїв на етапі розробки використовують аналітичні методи. Завдання визначення реакції РЕП на вплив сигналів та завад на наступних етапах можуть успішно вирішуватися методами імітаційного моделювання та експериментальними методами. Нарешті, визначення характеристик ЕМС різних пристроїв доцільніше використовувати експериментальні методи аналізу.

3.2 Метод скінченних елементів

Концепція методу скінченних елементів (МСЕ) запропонована Клафом на початку 1960-х років у його книзі під назвою "Метод скінченних елементів в аналізі плоских напружень". У роботі Тернера та ін. (1956) представлено застосування скінченних елементів для аналізу авіаційних конструкцій, і її вважають одним з ключових внесків у розвиток МСЕ. У роботі Hutton (2004) справедливо зазначено, що МСЕ - це обчислювальна техніка, яку використовують для отримання наближених розв'язків крайових задач в інженерії. Для зручності процедура МСЕ дозволяє дискретизувати континуум на скінченну кількість частин (або елементів) і підкреслює, що характеристики неперервної області можна оцінити, зібравши подібні властивості дискретизованих елементів у кожному вузлі. Як результат, МСЕ був чітко реалізований для вирішення широкого спектру проблем у прикладній науці та інженерії, і він швидко розвивався протягом багатьох років [31].

Глобальна система рівнянь має відомі методи розв'язання і може бути обчислена з початкових значень вихідної задачі для отримання числової відповіді.

На першому кроці, рівняння елементів є простими рівняннями, які локально апроксимують вихідні складні рівняння, що вивчаються, де вихідні рівняння часто є рівняннями в частинних похідних (PDE). Для пояснення апроксимації в цьому процесі зазвичай вводять метод скінченних елементів як окремий випадок методу Гальоркіна [37]. Процес, математичною мовою, полягає в побудові інтеграла від внутрішнього добутку залишкової та вагової функцій і

прирівнюванні інтеграла до нуля. Простіше кажучи, це процедура, яка мінімізує похибку апроксимації шляхом підбору пробних функцій до рівняння. Залишок - це похибка, спричинена пробними функціями, а вагові функції - це поліноміальні функції апроксимації, які проектують залишок [31]. Процес усуває всі просторові похідні з PDE, таким чином апроксимуючи PDE локально за допомогою:

- алгебраїчних рівнянь для стаціонарних задач,
- звичайних диференціальних рівнянь для перехідних задач.

Ці набори рівнянь є елементарними рівняннями. Алгебраїчні системи рівнянь, що виникають у стаціонарних задачах, розв'язуються за допомогою методів чисельної лінійної алгебри. На противагу цьому, звичайні диференціальні рівняння, які виникають у перехідних задачах, розв'язуються шляхом чисельного інтегрування за допомогою стандартних методів, таких як метод Ейлера або метод Рунге-Кутта [31]. Приклад візуалізації того, як автомобіль деформується під час асиметричного зіткнення, за допомогою аналізу скінченних елементів показано на рисунку 3.2

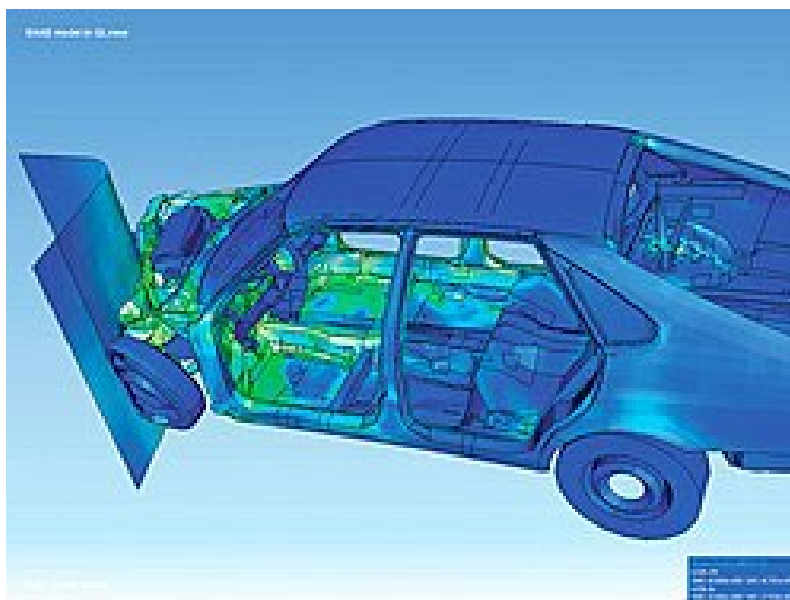


Рисунок 3.2 - Візуалізація того, як автомобіль деформується під час асиметричного зіткнення, за допомогою аналізу скінченних елементів

На кроці 2, глобальна система рівнянь генерується з рівнянь елементів шляхом перетворення координат від локальних вузлів підобластей до глобальних вузлів області. Це просторове перетворення містить відповідні коригування орієнтації відносно еталонної системи координат. Цей процес часто виконується програмним забезпеченням МСЕ з використанням координатних даних, отриманих з піддоменів. Використання методу моделювання FEM показано на рисунку 3.3.

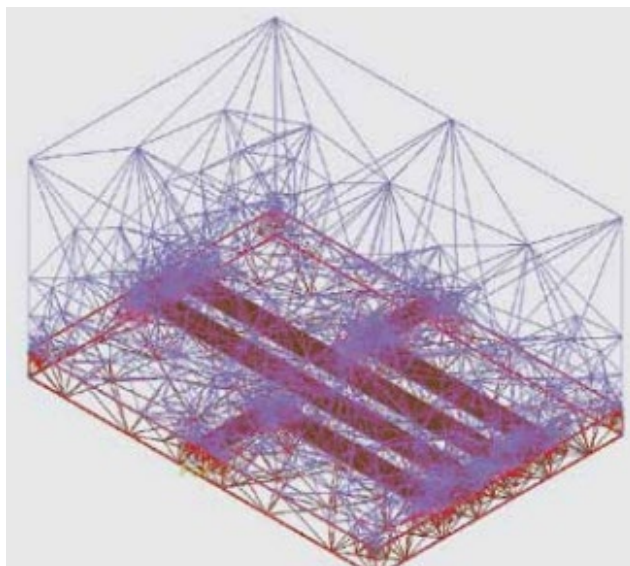


Рисунок 3.3 - Типова тетраедрична сітка, що використовується у методі моделювання FEM

Практичне застосування МСЕ відоме як аналіз скінченних елементів ("FEA"). МСЕ в інженерії - це обчислювальний інструмент для виконання інженерного аналізу. Він містить використання методів генерації сітки для розділення складної задачі на невеликі елементи, а також використання програмного забезпечення, в якому закладено алгоритм МСЕ. За застосуванні МСЕ складною задачею зазвичай є фізична система з основними фізичними рівняннями, такими як рівняння променя Ейлера-Бернуллі, рівняння теплопровідності або рівняння Нав'є-Стокса, виражені у вигляді диференціальних або інтегральних рівнянь, тоді як розділені невеликі елементи складної задачі представляють різні області у фізичній системі [32].

FEA може бути використаний для аналізу проблем у складних областях, коли область змінюється (як під час твердотільної реакції з рухомою межею), коли бажана точність змінюється по всій області, або коли рішення не є гладким. Моделювання за методом скінченно-елементного аналізу є цінним ресурсом, оскільки усуває численні випадки створення і тестування складних прототипів для різних ситуацій з високою точністю. Наприклад, під час моделювання лобового зіткнення можна підвищити точність прогнозування у "важливих" зонах, таких як передня частина автомобіля, і знизити її в задній частині (таким чином, знижуючи вартість моделювання). Іншим прикладом може бути чисельне прогнозування погоди, де важливіше мати точні прогнози щодо розвитку високонелінійних явищ (таких як тропічні циклони в атмосфері або вихори в океані), а не відносно спокійних областей [32].

3.3 Метод кінцевих різниць

Метод кінцевих різниць у часовій області – стандартний метод обчислювальної математики, що використовується, зокрема, на вирішення залежних від часу електродинамічних завдань. Цей метод використовується для вирішення завдань загального типу, в яких є джерело електромагнітних хвиль, що описується деякою тимчасовою функцією [34]. Ця часова залежність може виявлятися двома способами (часто існуючими одночасно).

- **Перехідний процес:** система демонструє перехід між двома стійкими станами або осциляцію щодо одного рівноважного положення. Такий тип часової залежності проявляється, коли система збуджується імпульсно, або гармонійним джерелом зі ступінчастою амплітудною функцією [34].
- **Керований процес:** зміна системи за часом, пов'язані з зміною джерела, що у ній. Відгук системи повністю визначається поведінкою часової функції джерела. Зазвичай у таких випадках існує початковий відгук системи, який через деякий час спадає до нуля, аналогічно тому, як це відбувається в колах RLC [34].

Приклад застосування методу FDTD показано на малюнку 3.4



Рисунок 3.4 - Оцінка випромінювання антени мобільного телефону – приклад застосування методу FDTD

Як і будь-якого іншого рівняння в часткових похідних, для FDTD початковий стан і граничні умови в системі мають бути визначені спочатку.

3.4 Метод моментів

Цей метод не слід плутати зі статичним методом оцінки, який має таку саму назву. У цьому чисельному методі використовують сітку дискретизації на межі топології системи, в якій вирішують задачу визначення густини струмів (J) або зарядів (Q або ρ), за допомогою ітеративних матричних методів. З огляду на те, що у цьому методі вирішуються матричні рівняння, час обчислень показово зростає залежно від рівня розмірності завдання, тобто. порядку $O(LMN)$, де L – масштаб довжини, M – кількість просторових вимірів, N – кількість вузлів у сітці. До того ж підвищення густини сітки не гарантує збільшення точності розрахунку. У деяких випадках сітка низької густини забезпечує більш точний результат, ніж сітка високої густини [35].

Використання матричного формулювання має свої переваги; Значні результати, такі як, матриці параметрів радіотехнічних кіл, може бути моментально визначено на портах топології системи. Саме тому в додатках

проектування друкованих плат використовується МоМ для графічної візуалізації імпедансних характеристик (рис. 3.5) [35].

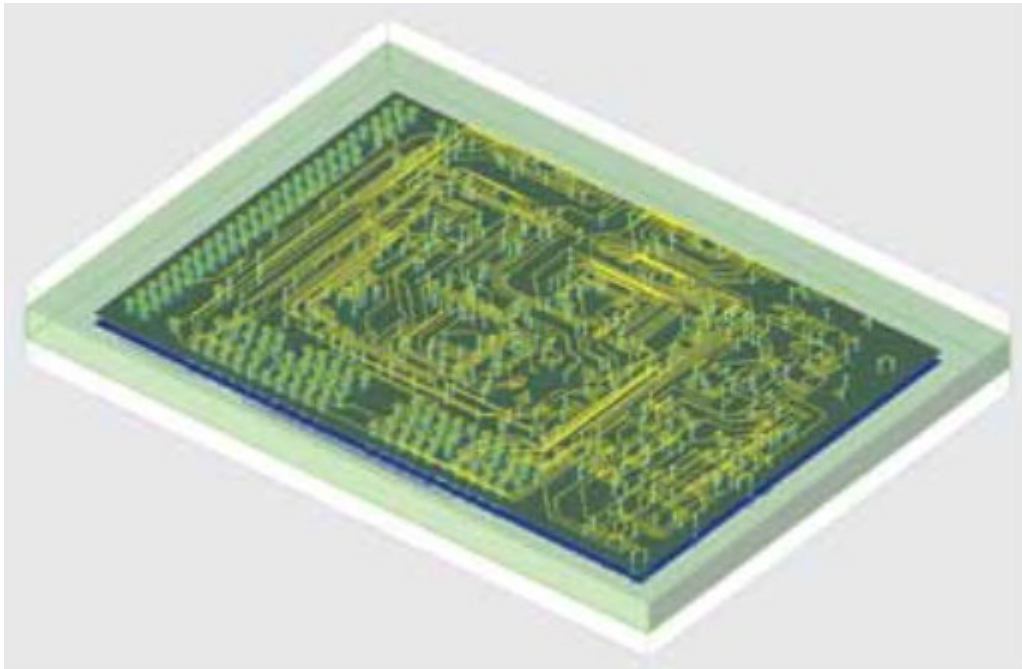


Рисунок. 3.5 - Топологія друкованої плати, яка моделюється за використовуючи метод МоМ

3.5 Порівняльна характеристика методів

Необхідно відзначити кілька важливих моментів щодо цих обчислювальних технік. Це пов'язано з тим, що багато проектувальників просто використовують їх метод, ігноруючи переваги доступних альтернатив. У зведеній таблиці (табл. 3.1), показаній нижче, коротко описані області застосування методів.

Табл. 3.1 - Порівняльна характеристика методів			
	FDTD	FEM	МоМ
Обчислення	Електричні та магнітні поля	Електричні та магнітні поля	Щільності струмів та зарядів
Часова залежність	Перехідні чи імпульсні процеси, гармонічні процеси в частотній області	Статичні чи гармонічні процеси без часової залежності	Гармонічні процеси або еквівалентні рішення в частотній області
Лінійність	Нелінійність	Нелінійність	Вирішення

	простору та часу може врахована	простору може бути врахована	лінійних інтегральних рівнянь
Час обчислення	$O(LN)$	$O(LN)$	$O(LmNm)$
Збіжність рішень	Гарантована	Гарантована	Не гарантована

Симбіоз зазначених стандартних чисельних методів з нелінійними рівняннями, що описують дисперсію, властивості матеріалів і навіть напівкласичні ефекти є сучасною темою для досліджень. До того ж, крім FDTD, FEM і МоМ, існують й інші чисельні методи, що використовують для дискретизації складних геометрій і вирішення систем диференціальних рівнянь, у тому числі в електромагнітних задачах. Деякі приклади містять такі області як лазери, нелінійна оптика, широкосмугові сигнали в нелінійному середовищі з дисперсією, що еволюціонують у часі системи. Під час розв'язання задач електродинаміки сучасні підходи можуть бути ефективно використані для вибору будь-якого чисельного методу всього доступного користувачеві набору [36]. Приклади використання методів розрахунку залежно від завдань показано на малюнку 3.6.

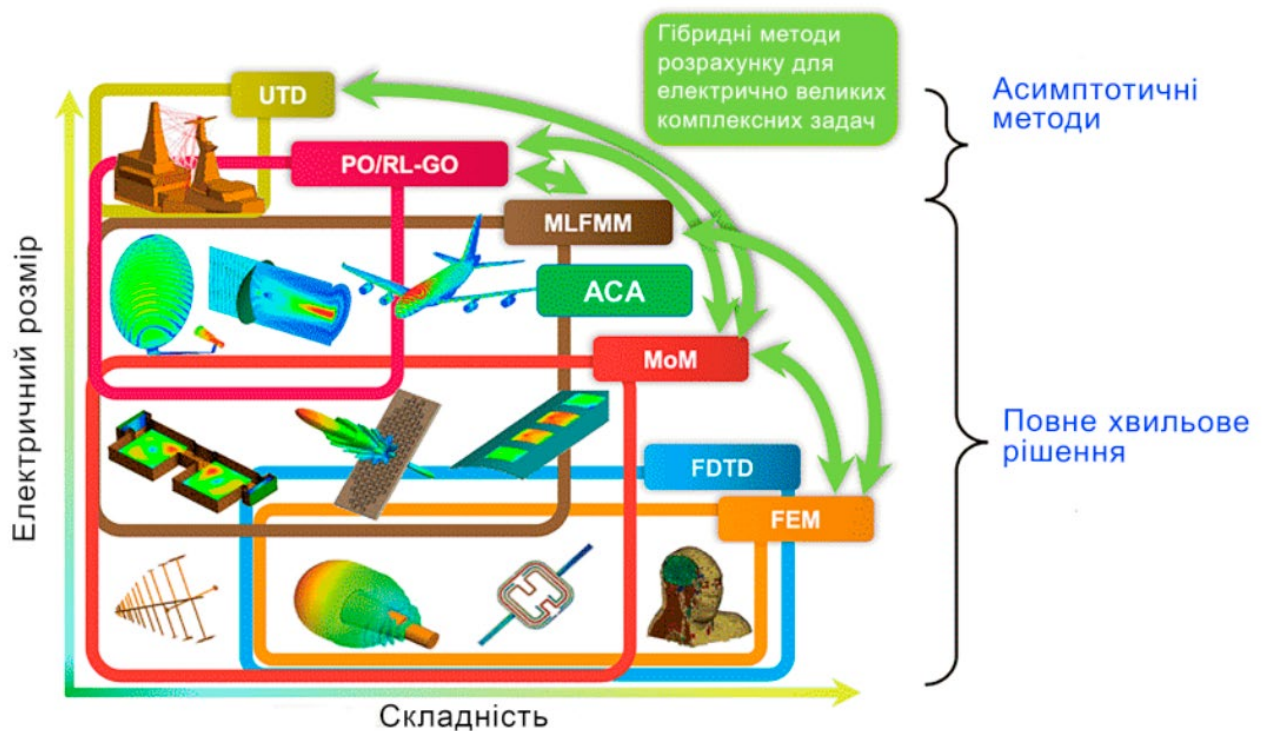


Рисунок 3.6 - Методи розрахунку залежно від завдань

3.6 Висновки до розділу 3

1. Електромагнітна сумісність є важливішою проблемою для забезпечення штатної роботи електронних пристроїв у різних сферах, від медичного обладнання до авіаційної електроніки.
2. Обладнання для тестування емісії та завадостійкості визначає рівень електромагнітної енергії, що емітують пристрої, і треба переконатись, що ці рівні не перевищують допустимі значення.
3. Задачі аналізу ЕМС містять визначення рівнів завад у різних аспектах, від частотних діапазонів до індустриальних завад у навколишньому просторі.
4. Оцінка електромагнітної обстановки може бути здійснена детермінованими величинами або у ймовірнісних категоріях, залежно від потреб.
5. Використання чисельних методів, таких як FDTD, FEM та МоМ, в електродинаміці дає змогу вирішувати завдання аналізу, щодо забезпечення електромагнітної сумісності, враховуючи різні аспекти пристроїв.
6. Електромагнітна обстановка визначається показниками ЕМС пристроїв, і вибір методу аналізу залежить від потрібної інформації про об'єкт дослідження.

4 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ

Щоб вирішити поставлену задачу, необхідно знайти програму для моделювання, яка відповідає потрібним вимогам та здатна побудувати діаграму направленості та розподіл поля. У цьому випадку Ansys HFSS буде доречним вибором.

4.1 ANSYS HFSS

ANSYS HFSS (High-Frequency Structural Simulator) є унікальним та провідним у своєму класі програмним забезпеченням для моделювання електромагнітних полів. Розроблений компанією ANSYS, цей інструмент став фундаментальним рішенням для інженерів, дослідників та проектувальників у галузі електродинаміки та високочастотних систем[38].

HFSS забезпечує широкий спектр можливостей для аналізу та проектування пристроїв, що працюють у високочастотних діапазонах, таких як антени, мікрохвильові пристрої, інтегральні схеми, радіочастотні пристрої зв'язку та багато іншого. Своєю точністю моделювання, великими можливостями аналізу і зручним інтерфейсом користувача HFSS завоював широке визнання в індустрії [38].

ANSYS HFSS привертає увагу своєю здатністю створювати складні тривимірні моделі з урахуванням електромагнітної природи об'єктів та їхньої взаємодії. Це включає геометричну конфігурацію пристроїв, електричні та магнітні властивості матеріалів, а також ефекти навколишнього середовища на електромагнітні поля. Однією з основних сильних сторін HFSS є його здатність забезпечувати точні аналітичні рішення широкого спектра електромагнітних завдань. Це включає частотний, часовий, параметричний та оптимізаційний аналіз, що дозволяє дослідникам оцінювати та покращувати продуктивність електромагнітних систем [39].

Однією з важливих переваг HFSS є його здатність працювати з різноманітними матеріалами та враховувати їх електромагнітні властивості при моделюванні. Це значно покращує точність і реалістичність моделей під час аналізу роботи пристроїв у реальних умовах експлуатації [39].

Важливим аспектом програми є можливість параметричного аналізу, що дозволяє користувачам оцінити вплив змін параметрів на характеристики системи. Це дозволяє оптимізувати конструкції та параметри пристроїв для досягнення оптимальних результатів. Однією з ключових особливостей HFSS є можливість інтеграції з іншими інструментами та програмами в рамках платформи ANSYS. Це дозволяє користувачам проводити комплексний аналіз, включаючи структурний аналіз, теплові розрахунки та інші види моделювання, що суттєво покращує дослідження в галузі електромагнітних полів [40].

ANSYS HFSS можна вважати найкращим варіантом для моделювання електромагнітної обстановки тому що:

- Точність та реалістичність моделей: HFSS забезпечує високу точність моделювання, що дозволяє передбачати поведінку електромагнітних систем з великою достовірністю.
- Широкий спектр аналізу: Програма надає безліч інструментів для проведення різних видів аналізу, що дозволяє дослідникам та інженерам розглядати систему з різних точок зору.
- Інтеграція та спільна робота: HFSS інтегрується з іншими інструментами ANSYS, що дозволяє проводити комплексний аналіз різних аспектів проектування та розробки продуктів.
- Універсальність та застосовність: Програма може бути використана у широкому спектрі галузей, від телекомунікацій та електроніки до медицини та оборонної промисловості.

Насамкінець, ANSYS HFSS, завдяки своїй точності моделювання, широкому спектру аналізу та можливості інтеграції з іншими інструментами, являє собою ідеальний вибір для моделювання електромагнітної обстановки.

Своєю універсальністю та здатністю передбачати поведінку електромагнітних систем, HFSS залишається одним із найкращих інструментів для інженерів та дослідників у цій галузі.

4.2 Результати моделювання

Проведемо моделювання EMC Wi-fi роутера MikroTik hAP ax² та гарнітури-перекладача ReiKo World Smart Bluetooth, що працює на частоті 2.4 ГГц. Для початку моделювання задаємо початкові параметри (рисунок 4.1), а саме частоту на якій працює антена Wi-fi.

Довжина хвилі - λ , знаходиться за формулою:

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

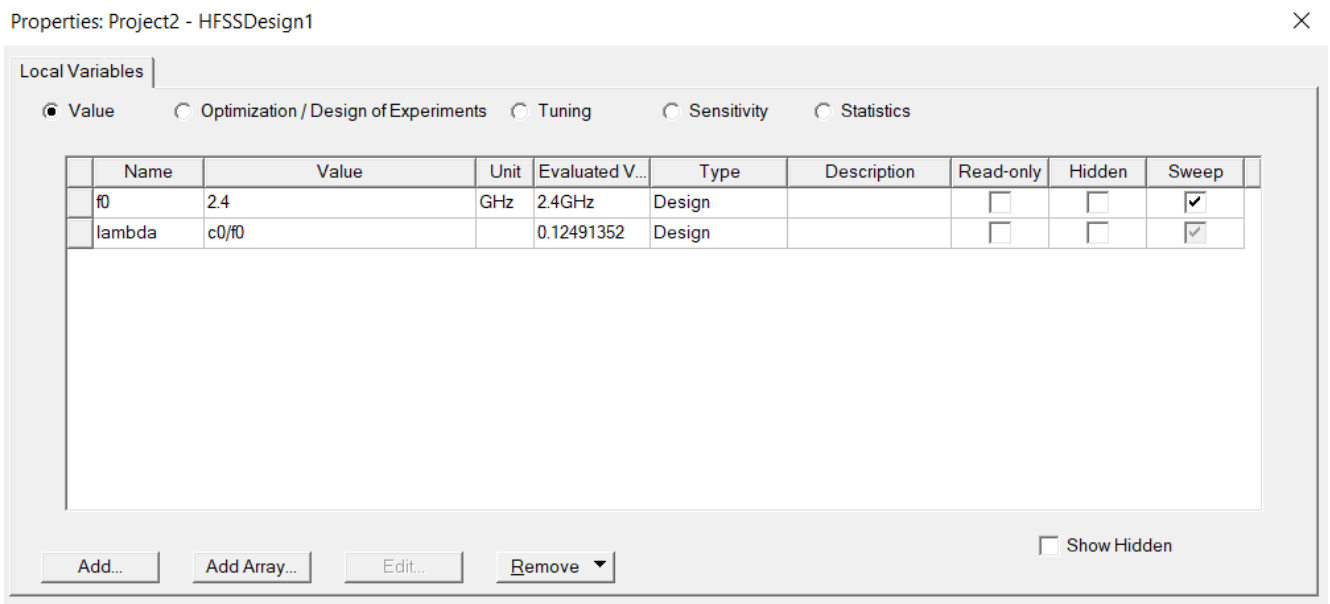
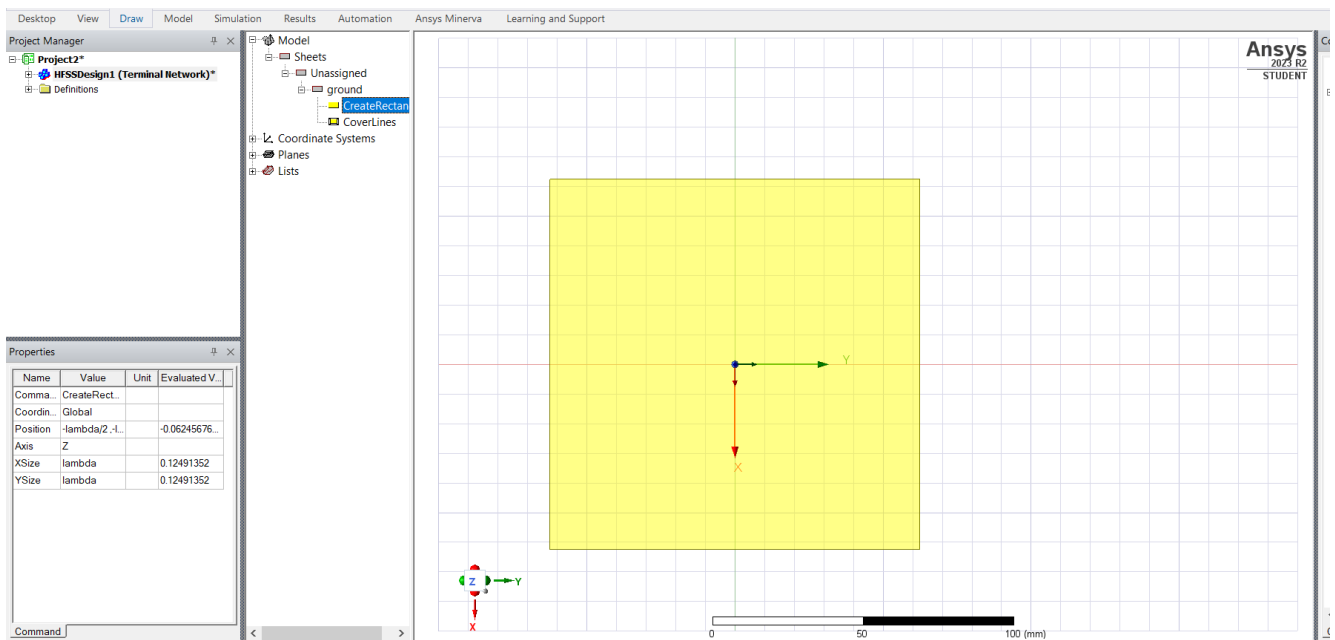


Рисунок 4.1 – Початкові параметри (c_0 - швидкість світла, вшита в програму)

Для розташування антени створюємо «Ground». Побудована «земля» показана на малюнку 4.2.



4.2 – Побудова «землі»

У якості основи антени створюємо циліндр (рисунок 4.3), саме він буде випромінювати магнітне поле. Радіус антени 1,5 мм, основа зроблена з міді, яку і використовують для виробництва антен.

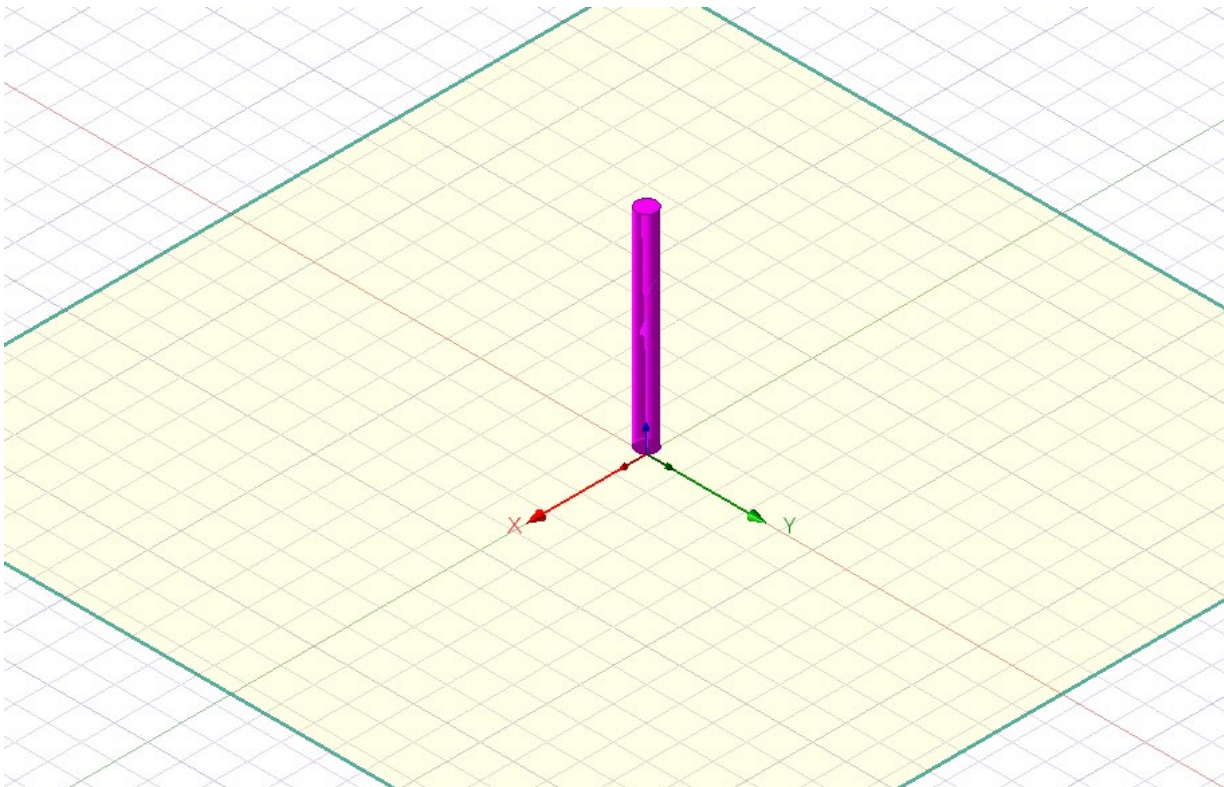


Рисунок 4.3 – Вигляд антени

Наприкінці антени ставимо порт. Він зображається у якості прямокутника.

Вигляд порта продемонстровано на рисунку 4.4.

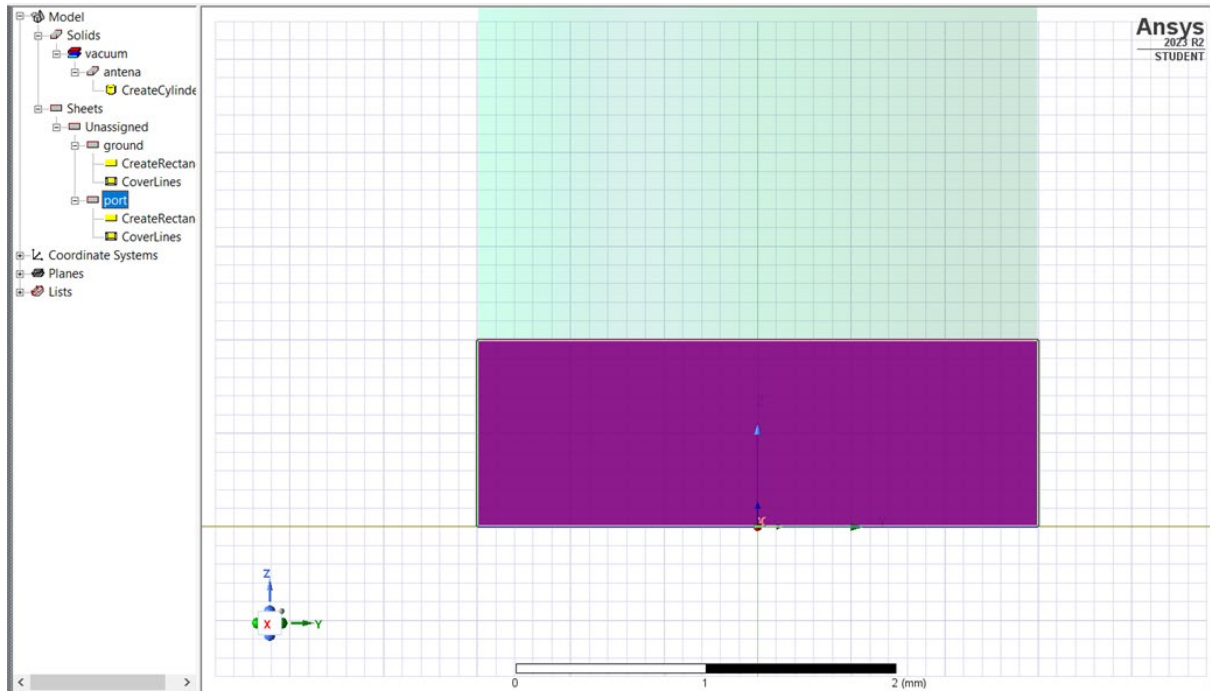


Рисунок 4.4 – Вигляд порта

Для подальшої роботи задаємо площині («землі») значення ідеального провідника, проілюстровано на рис. 4.5.

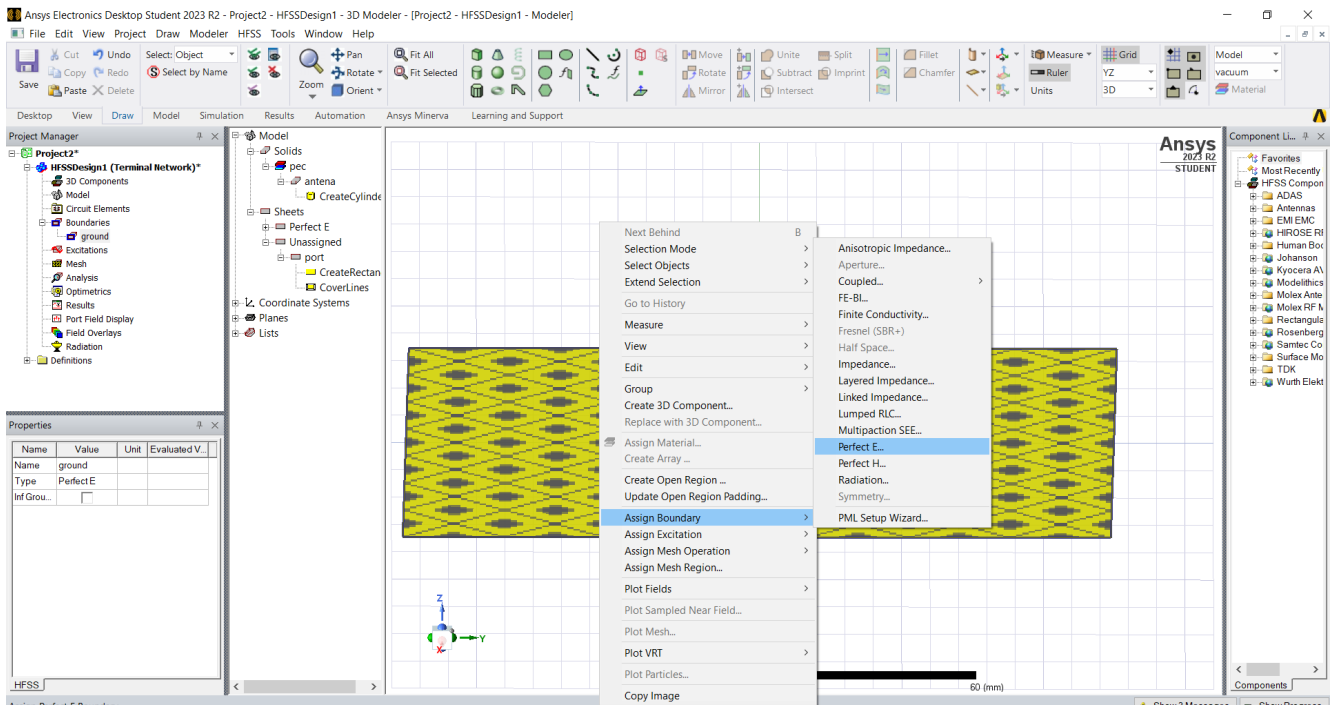


Рисунок 4.5 – Налаштування «Землі»

Наступним етапом робимо прив'язку порта до землі. Для цього у налаштуваннях обираємо Lumped port і ставимо галочку в клітинці «Земля» (рисунок 4.6-4.7).

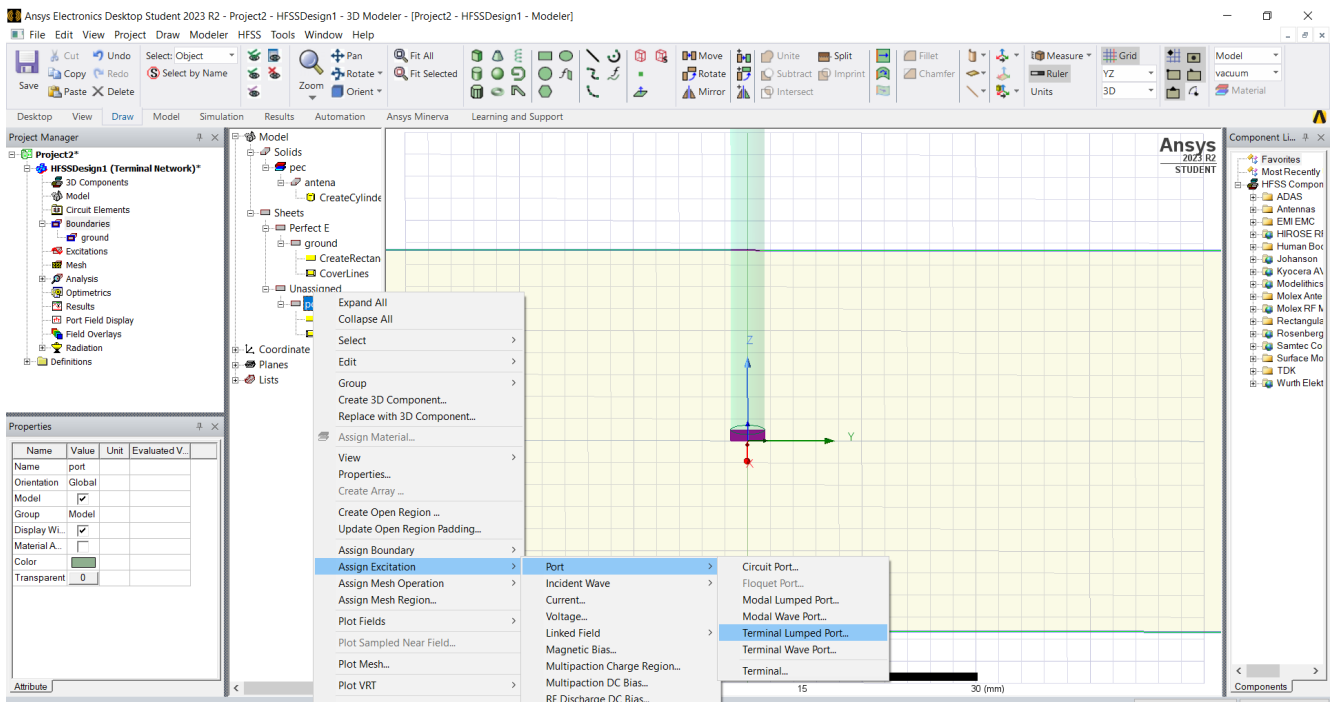


Рисунок 4.6 - Присвоєння статусу Lumped port

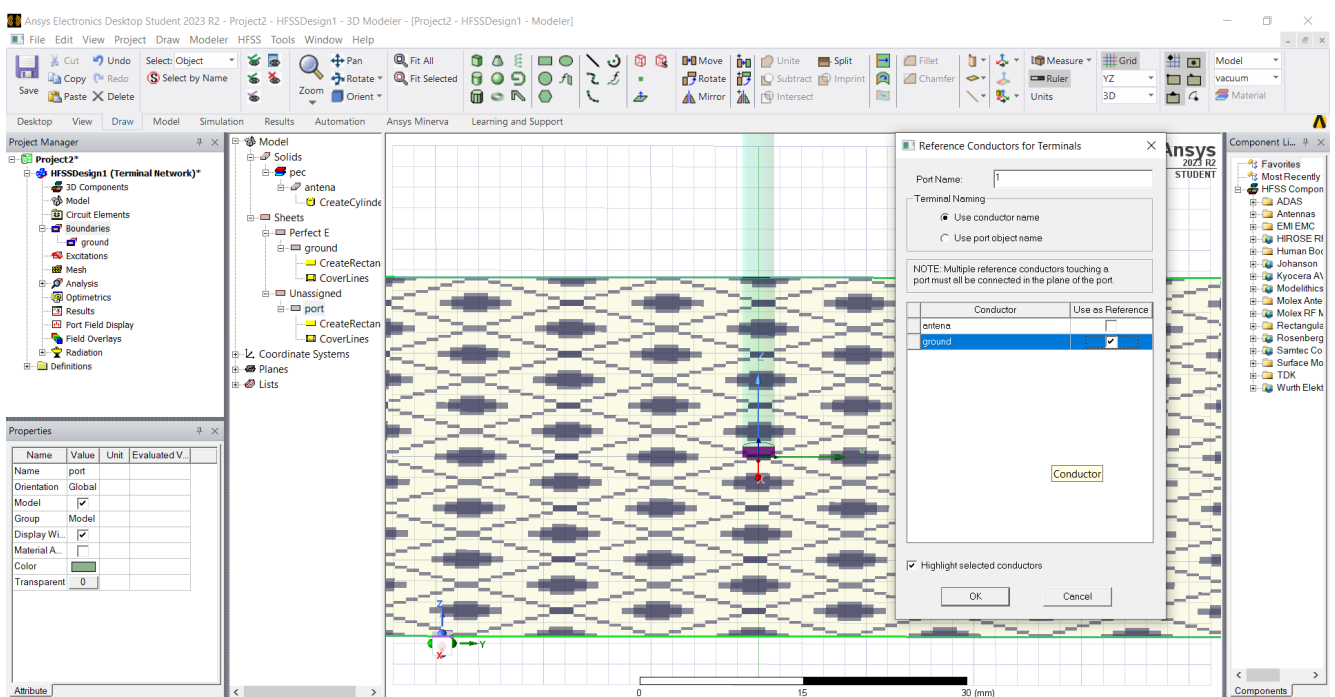


Рисунок 4.7 - Прив'язка порту до землі

Для моделювання встановлюємо потрібну частоту розрахунку, а саме 2.4 ГГц. Для налаштування цього параметру вписуємо значення в пункт Auto1 (рисунок 4.8).

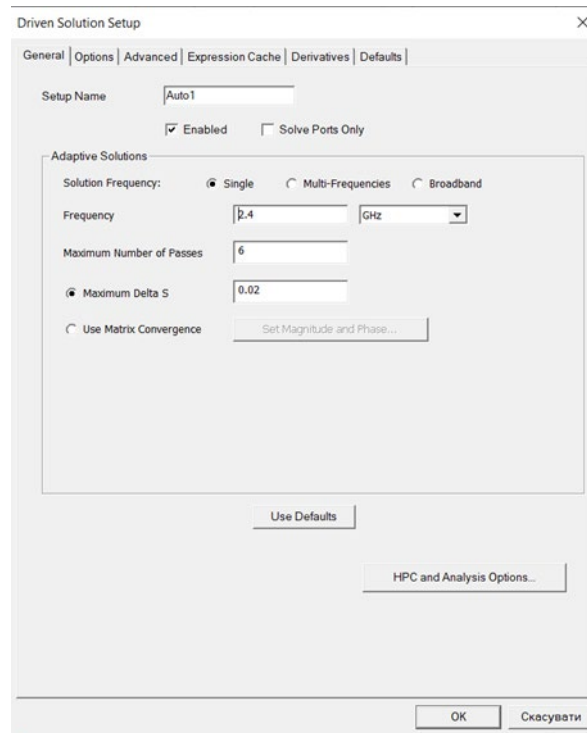


Рисунок 4.8 – Налаштування частоти розрахунку

Наступним кроком виконуємо моделювання за допомогою Validate та Analyze All (рис. 4.9). Перевірка успішності моделювання можна побачити на рисунку 4.10.

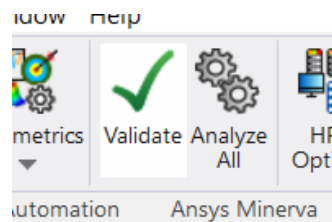


Рисунок 4.9 – Виконання моделювання

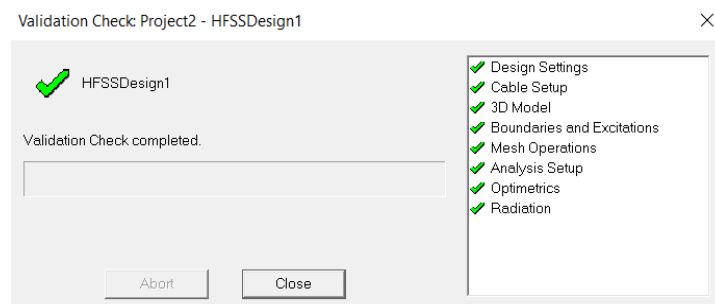


Рисунок 4.10 – Успішність моделювання

Результати моделювання, а саме діаграму спрямованості, зображено на рисунку 4.11, з максимальним рівнем в 4,01 дБ. Розподіл поля від антени в логарифмічному виді, проілюстровано на рис. 4.12.

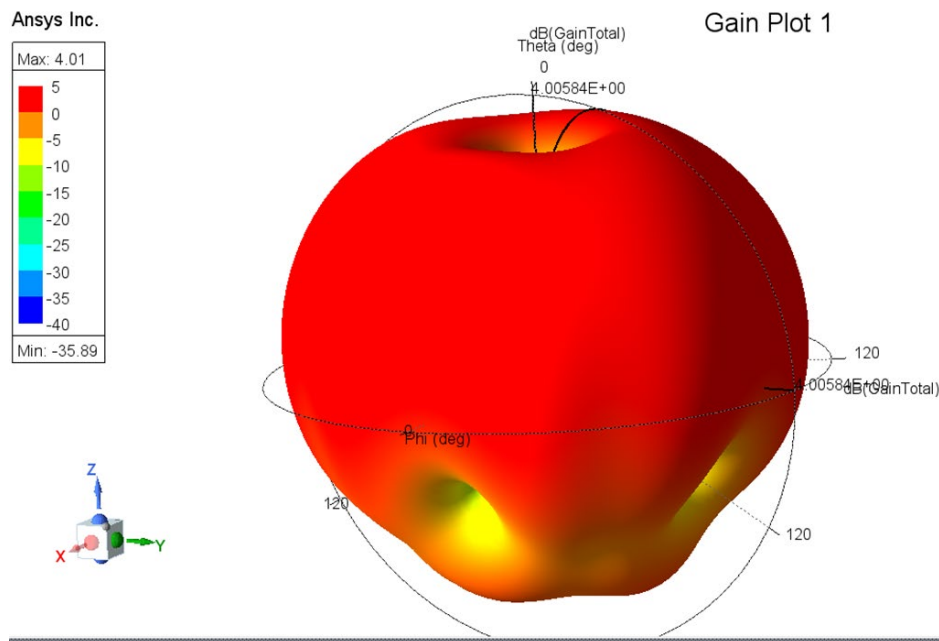


Рисунок 4.11 – Результати моделювання (діаграма спрямованості)

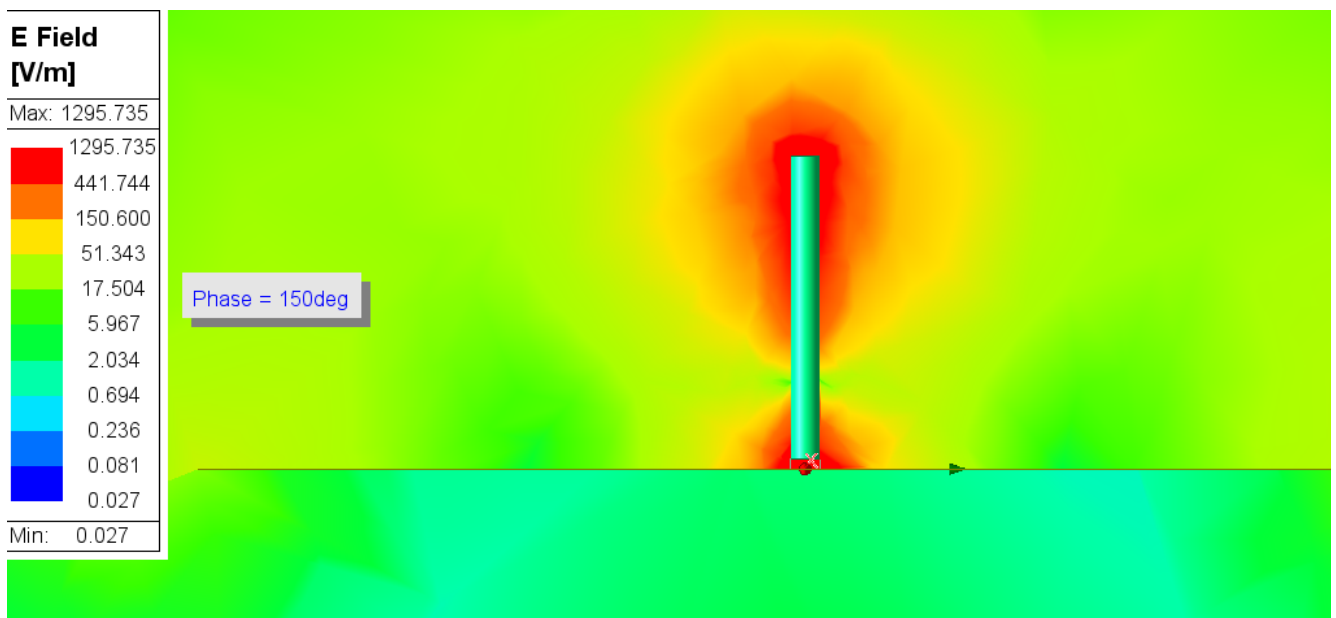


Рисунок 4.12 – Логарифмічний розподіл поля від антени

Повторимо побудову антени, тільки тепер для блютуз гарнітури. Так як блютуз працює на тій же частоті, що і роутер, антена буде схожа, але розміри

задаємо інші. Антена блютуз гарнітури зображена на рисунку 4.13. Прив'язка порту антени до землі проілюстровано на рис. 4.14.

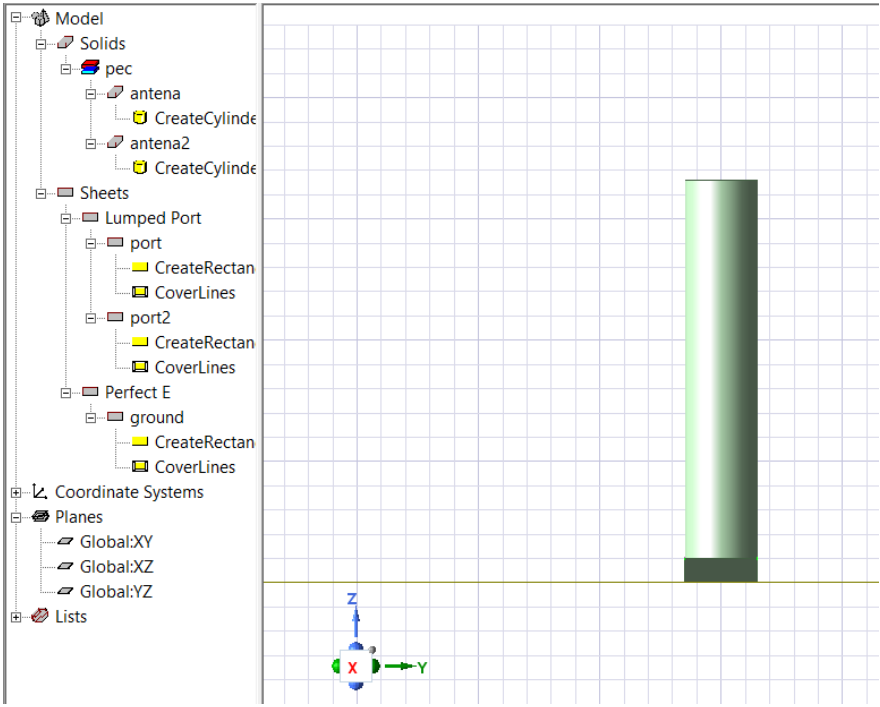


Рисунок 4.13 – Побудова антени блютуз гарнітури

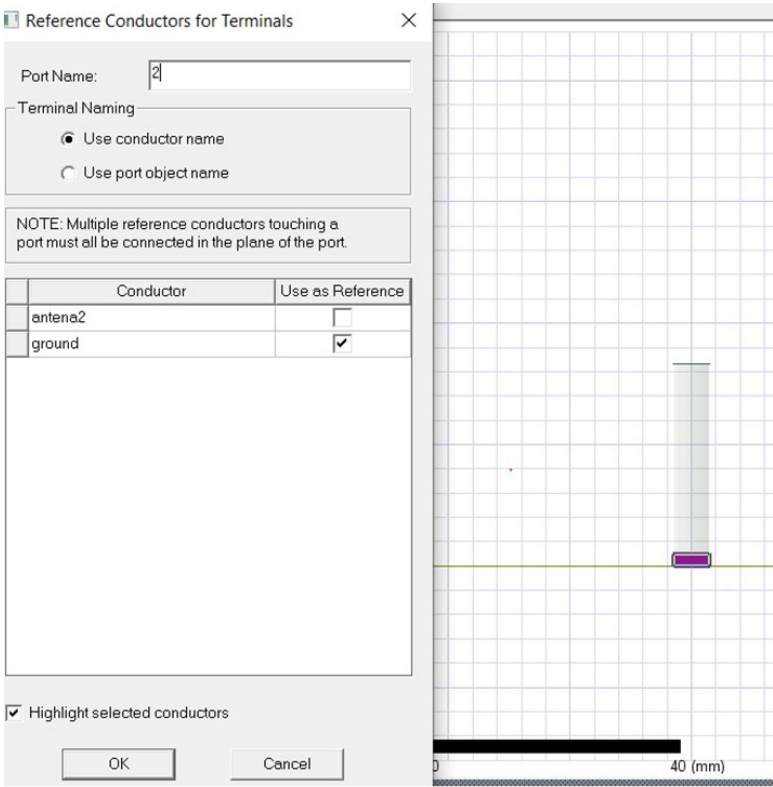


Рисунок 4.14 – Налаштування прив'язки другого порту до землі

Проводимо моделювання для визначення розподілу поля від антени блютуз гарнітури в логарифмічному виді (рис. 4.15).

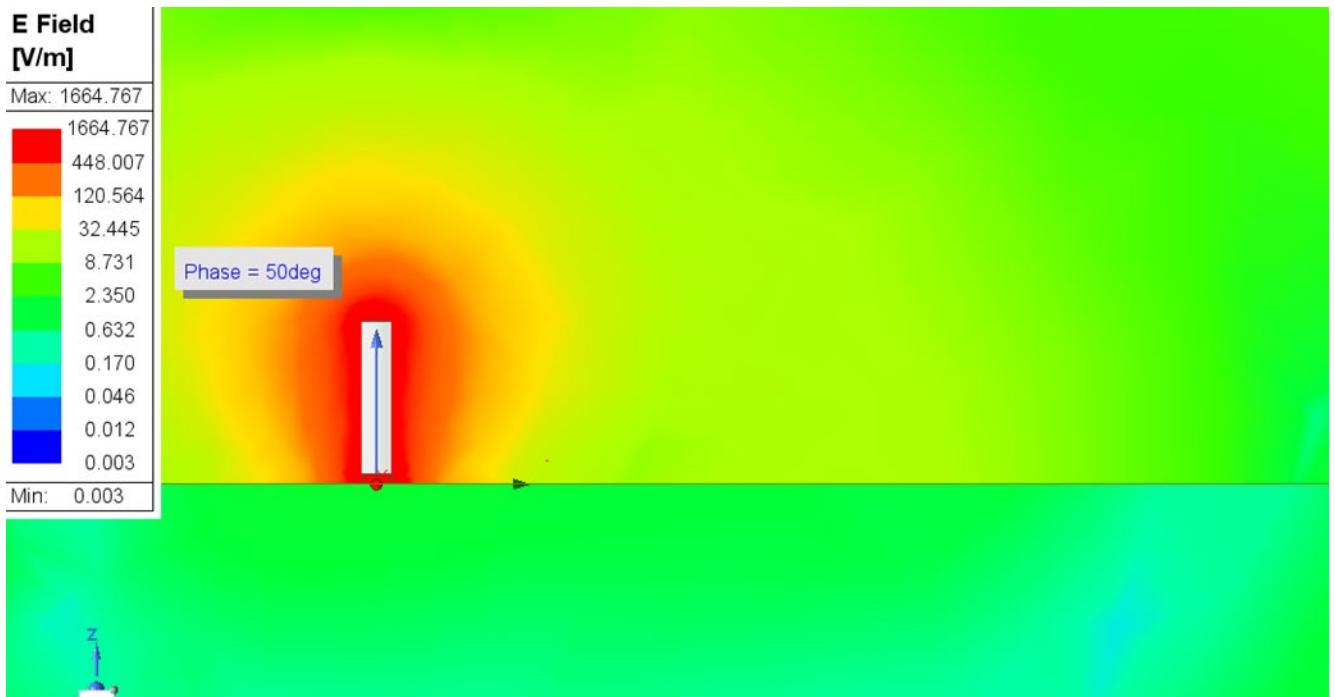


Рисунок 4.15 – Розподіл поля блютуз гарнітури

В результаті моделювання також отримали діаграму спрямованості антени блютуз гарнітури, яка зображена на рисунку 4.16 з максимальним рівнем в 7,25 дБ.

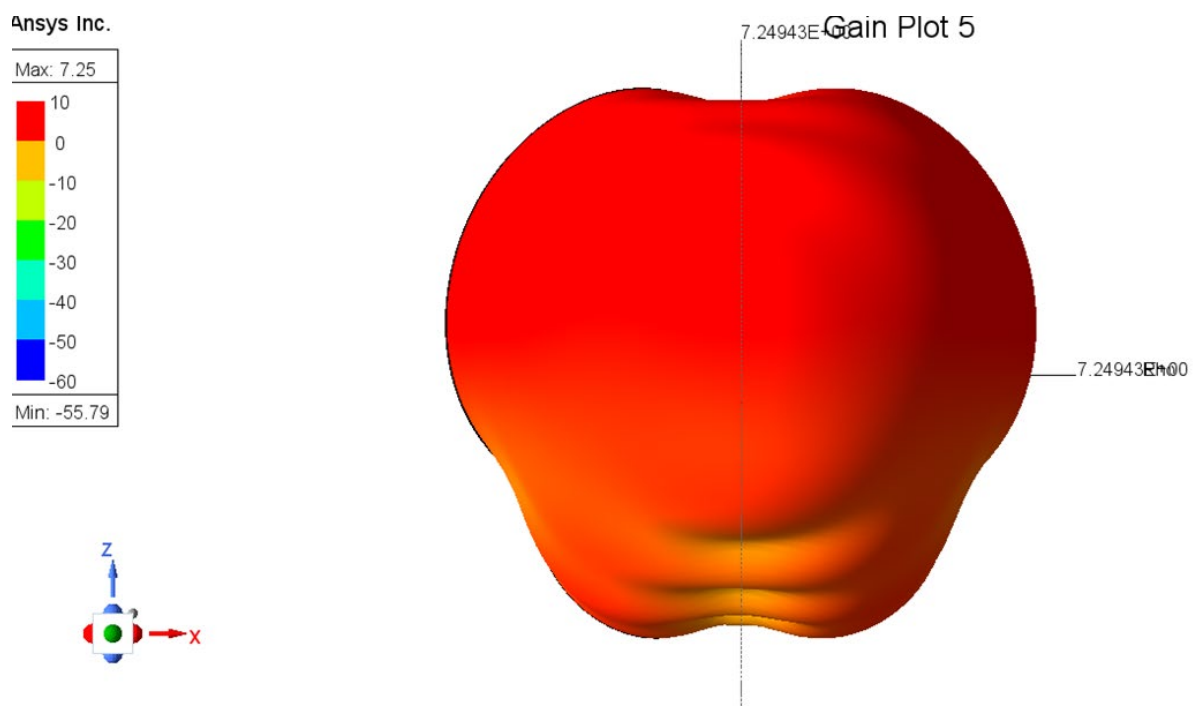


Рисунок 4.16 - Діаграма спрямованості блютуз гарнітури

Для аналізу впливу ЕМП двох антен розташуємо їх разом, та проведемо моделювання. З результатів моделювання (рис. 4.17-4.18) можна зробити висновок, що пересікання антен призводить до погіршення результату, що доводить необхідність забезпечення електромагнітної сумісності.

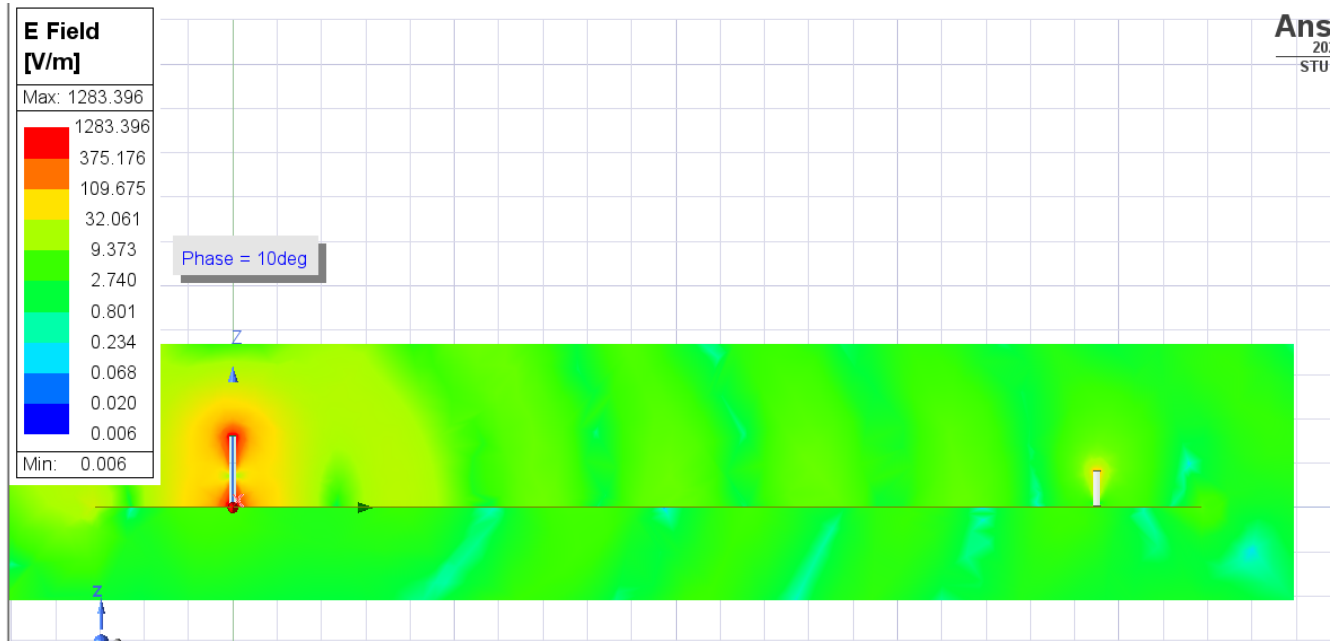


Рисунок 4.17 - Розподіл поля антени при додаванні блютуз гарнітури

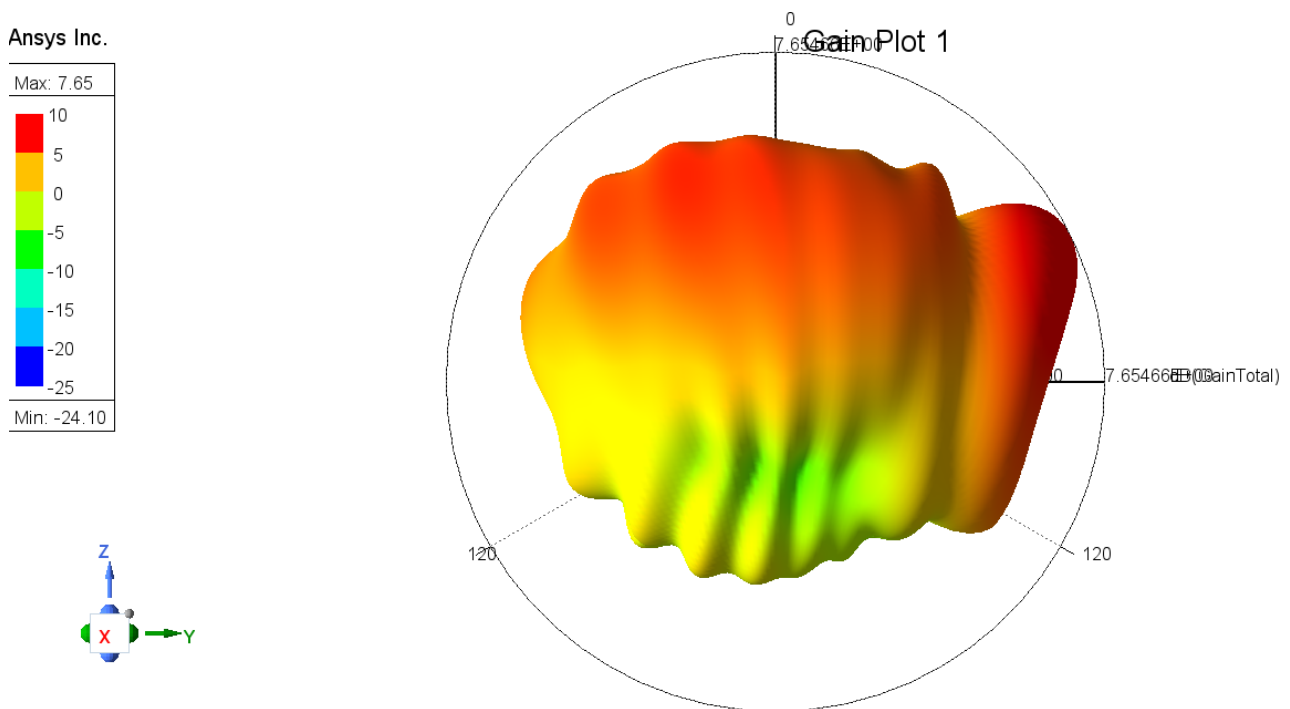


Рисунок 4.18 – Діаграма спрямованості

4.3 Висновки до розділу 4

1. Обрана програма ANSYS HFSS пропонує високоточне моделювання електромагнітних полів з великими можливостями аналізу, дозволяючи інженерам та дослідникам детально вивчати та оптимізувати поведінку систем у широкому діапазоні частот та умов.
2. За допомогою програми визначено електромагнітну обстановку між двома антенами, роутера та блютуз гарнітури, що працюють на частоті 2.4 ГГц.
3. Зроблено висновки щодо ненавмисних ЕМЗ якими можуть бути пристрої.
4. В програмі Ansys Electronics Desktop Student змодельовано діаграми спрямованості та розподіл поля при різних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

1. Опрацьовано питання щодо створення систем відеоконференцзв'язку, а саме види відеоконференцій та їх особливостей. Розроблено систему відеоконференцзв'язку Zoom Rooms з функціоналом проведення презентації у великому конференцзалі на 10 осіб. Де у кожного учасника є компактна гарнітура з функцією перекладача.

2. Розглянуто питання щодо забезпечення електромагнітної сумісності. Досліджено загальну класифікацію електромагнітних завад та потребу у забезпеченні відповідності електромагнітним стандартам і сумісності.

3. Досліджено електромагнітні поля, які можуть втручатися в роботу електронних пристроїв, що потенційно може призвести до збоїв у роботі або виходу з ладу. Зроблено висновок, що належне екранування, уземлення та дотримання норм щодо електромагнітних завад може допомогти мінімізувати ризик несправностей пристроїв.

4. Аналізовано, як залежить реакція організму людина на вплив ЕМП. Виділено такі проблеми як: підвищений ризик раку, неврологічні ефекти, проблеми з фертильністю, електромагнітна гіперчутливість.

5. Розглянуто способи моделювання електромагнітної обстановки радіoeлектронних пристроїв. Виділено та досліджено основні методи моделювання, а саме FDTD, FEM та MoM, які в електродинаміці дозволяють вирішувати завдання аналізу електромагнітної сумісності, враховуючи різні аспекти пристроїв.

6. Виконано теоретичне та практичне дослідження програмного забезпечення Ansys Electronics Desktop Student. За допомогою якого промодельовано окремо роботу антени роутера та блютуз гарнітури в ідеальних умовах, та отримано діаграму і 3D модель її направленості. Також показано як ці антени впливають один на одного. Аналізовано результати моделювання, та доведено необхідність забезпечення електромагнітної сумісності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Video conferencing URL: <https://www.techtarget.com/searchunifiedcommunications/definition/video-conference> (дата звернення 15.09.2023).
2. CLOUD-BASED VIDEO CONFERENCING SERVICES. URL: <https://cloudtweaks.com/15-cloud-based-video-conferencing-services/> (дата звернення 15.09.2023).
3. Cisco URL: https://www.cisco.com/c/ru_ua/index.html (дата звернення 17.09.2023).
4. Avaya URL: <https://www.avaya.com/en/> (дата звернення 20.09.2023).
5. Logitech URL: <https://www.logitech.com.ua/> (дата звернення 20.09.2023).
6. Jabra URL: https://jabra.store/ru/pers_shop/jabrapanacast/ (дата звернення 20.09.2023).
7. Fanvil URL: <https://www.fanvil.com/> (дата звернення 25.09.2023).
8. Обладнання та сервіси для відеоконференцзв'язку. URL: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/9941.html> (дата звернення 25.09.2023).
9. Огляд ринку систем відеоконференцзв'язку URL: <https://habr.com/ru/companies/roi4cio/articles/435326/> (дата звернення 27.09.2023).
10. Відеоконференцзв'язок — переваги, способи застосування, режими, застосування URL: <https://www.04141.com.ua/news/3496349/videokonferenczvezok-perevagi-sposobi-zastosuvanna-rezimi-zastosuvanna> (дата звернення 27.09.2023).
11. Bring your own device URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Bring_your_own_device (дата звернення 27.09.2023).
12. Системи відеоконференцзв'язку URL: <https://infotel.ua/sistemi-videokonferetszvyazku> (дата звернення 29.09.2023).
13. Обладнання і сервіси для відеоконференцзв'язку. URL: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/10185.html> (дата звернення 29.09.2023).

14. Система відеоконференцій Logitech Rally Bar Mini URL: <https://unified.com.ua/ua/p1519015063-sistema-videokonferentsij-logitech.html> (дата звернення 29.09.2023).
15. Logitech TAP IP. URL: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/9941.html> (дата звернення 29.09.2023).
16. X118HP DLP-проектор URL: <https://www.acer.com/ru-ru/projectors/meeting-room/x118hp/pdp/MR.JR711.00Z> (дата звернення 01.10.2023).
17. Logitech Rally Mic Pod URL: <https://unitsolutions.com.ua/ru/widedirec/2121-mikrofon-logitech-rally-mic-pod-accessories.html> (дата звернення 01.10.2023).
18. MikroTik hAP ax² URL: <https://mikrotik.ua/ru/product/mikrotik-hap-ax-c52ig-5haxd2haxd-tc> (дата звернення 01.10.2023).
19. PeiKo World Smart Bluetooth URL: <https://www.amazon.ae/Bluetooth-Headphone-Translator-Languages-Inter-translation/dp/B07QDC7BTK> (дата звернення 01.10.2023).
20. electromagnetic interference. URL: <https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/electromagnetic-interference> (дата звернення 01.10.2023).
21. Types of electromagnetic interference. URL: <https://www.trentonsystems.com/blog/what-is-electromagnetic-interference#:~:text=Types%20of%20electromagnetic%20interference,conducted%20EMI%2C%20and%20coupled%20EMI.> (дата звернення 03.10.2023).
22. The Impact of Electromagnetic Fields on Electronic Devices URL: <https://energy5.com/the-impact-of-electromagnetic-fields-on-electronic-devices> (дата звернення 05.10.2023).
23. How Many People Own Smartphones? (2024-2029) URL: <https://explodingtopics.com/blog/smartphone-stats> (дата звернення 05.10.2023).
24. Electromagnetic fields URL: <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-electromagnetic-fields> (дата звернення 05.10.2023).

25. The importance of fulfilling EMC obligations URL: <https://www.plantengineering.com/articles/understanding-your-emc-obligations/#:~:text=> (дата звернення 07.10.2023).
26. The effects of electromagnetic fields on human health URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1120179716308766#:~:text=Some%20studies%20show%20a%20link,both%20are%20of%20great%20concern.> (дата звернення 07.10.2023).
27. Electromagnetic Compatibility (EMC) Test Equipment URL: <https://www.electricity-magnetism.org/electromagnetic-compatibility-emc-test-equipment/> (дата звернення 09.10.2023).
28. Методи аналізу електромагнітної сумісності URL: <https://studfile.net/preview/9809314/page:15/> (дата звернення 20.10.2023).
29. Microfluidics: Modeling, Mechanics and Mathematics URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9781455731411/microfluidics-modeling-mechanics-and-mathematics> (дата звернення 25.10.2023).
30. Electromagnetic compatibility analysis of electric equipments URL: <http://pe.org.pl/articles/2012/9a/64.pdf> (дата звернення 25.10.2023).
31. Finite element method URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Finite_element_method#:~:text=The%20FEM%20is%20a%20general,simpler%20parts%20called%20finite%20elements. (дата звернення 30.10.2023).
32. Who Uses FEM URL: <https://blog.spatial.com/finite-element-modeling> (дата звернення 02.11.2023).
33. Swanson Jr D.G., Hoefer W.J.R. Microwave Circuit Modelling Using Electromagnetic Field Simulation. – Artech House. (дата звернення 09.11.2023).
34. VanHese J, Sercu J, Pisssoort D, Lee H-S. State of the Art in EM Software for Microwave Engineers. – Agilent Technologies Application Note 5990-3225EN, February 2009. (дата звернення 20.11.2023).
35. Morris D.J. Virtual RF PCB Prototypes. – Printed Circuit Design & Fab, June 2006. (дата звернення 20.11.2023).

36. Yee K.S. Numerical Solution of Initial Boundary-Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media. – IEEE Trans. Ant. Prop., 1996, v.AP-14, №5, p.302–307. (дата звернення 20.11.2023).
37. МЕТОД ГАЛЬОРКІНА URL:
https://stud.com.ua/178838/prirodoznavstvo/metod_galorkina (дата звернення 05.10.2023).
38. Ansys HFSS. Best-In-Class 3D High Frequency Structure Simulation Software. URL: <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss> (дата звернення 10.12.2023)
39. Огляд можливостей ANSYS HFSS для тривимірного моделювання НВЧ-пристроїв довільної геометрії. URL: <https://sapr.ru/article/22765> (дата звернення 15.12.2023)
40. Програмне забезпечення для розробки HFSS. URL:
<https://www.directindustry.com.ru/prod/ansys/product-9123-504436.html> (дата звернення 20.12.2023)

Додаток А.
SUMMARY

ABSTRACT

Video conferencing has become an integral part of our modern lives, especially in the context of a dynamically changing world. In an era where geographical distances are shrinking and borders are losing their meaning, the use of video conferencing is becoming extremely relevant. Today, this technology stimulates the development of international business, education, and experience exchange. Moreover, it is an important component in shaping the future, where virtual meetings are becoming the standard for communication and collaboration, overcoming time and space barriers. This incredible growth in demand for video conferencing indicates its importance and prospects in the evolution of communication and workflows in the future.

Electromagnetic interference (EMI) is a common problem that affects electronic devices and can lead to reduced performance or system failure. As electronic devices continue to evolve, understanding and addressing EMI issues is becoming critical for manufacturers and consumers alike. By understanding the role of electromagnetic fields in device malfunctions, we can make informed decisions to protect and optimize the performance of our electronic devices. By implementing the necessary precautions and best practices, we can ensure that our devices operate smoothly, providing us with a hassle-free experience. The first chapter deals with the issue of creating video conferencing systems, namely the types of video conferencing and their features. A Zoom Rooms video conferencing system with the functionality of conducting a presentation in a large conference room for 10 people was developed. Each participant has a compact headset with a translator function. The issue of ensuring electromagnetic compatibility is considered. The general classification of electromagnetic interference and the need to ensure compliance with electromagnetic standards and compatibility are investigated.

The second section examines electromagnetic fields that can interfere with the operation of electronic devices, which can potentially lead to malfunctions or failure. It is concluded that proper shielding, grounding, and compliance with EMC regulations can help minimize the risk of device malfunction. The author analyzes how the human

body's reaction to EMF exposure depends on the factors. Such problems as an increased risk of cancer, neurological effects, fertility problems, and electromagnetic hypersensitivity are highlighted.

The third section considers the methods of modeling the electromagnetic environment of radioelectronic devices. The main modeling methods, namely FDTD, FEM and MoM, which in electrodynamics allow solving the problems of electromagnetic compatibility analysis, taking into account various aspects of devices, are identified and investigated.

In the last section, a theoretical and practical study of the Ansys Electronics Desktop Student software was performed. With the help of this software, the operation of the router antenna and the Bluetooth headset in real conditions was modeled separately, and a diagram and a 3D model of its directionality were obtained. It is also shown how these antennas affect each other. The modeling results are analyzed, and the need to ensure electromagnetic compatibility is proved.