

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

Факультет електроніки  
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

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

“ ” 2024 р.

**Дипломна робота**  
на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка  
(код та назва спеціальності)

на тему: Забезпечення електромагнітної сумісності мультимедійної  
електронної апаратури

Виконав: студент 4 курсу, групи ДВ-01  
(шифр групи)

Володін Данило Кирилович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник: професор кафедри АМЕС, к.т.н. професор Пілінський В.В.

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

(підпис)

Консультант

(назва розділу)

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

(підпис)

Рецензент: доцент кафедри КЕОА к.т.н., доцент Корнев В.П.

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

(підпис)

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

Студент

(підпис)

Київ – 2024 р.

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

**Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – Електроніка

Освітньо-професійна програма «Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій НАЙДА

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

**Володіну Данилу Кириловичу**

1. Тема роботи «Забезпечення електромагнітної сумісності мультимедійної електронної апаратури», керівник роботи професор Пілінський Володимир Володимирович, затверджені наказом по університету від «23» травня 2024 р. № 2076-с
2. Термін подання студентом роботи «9» червня 2024р.
3. Вхідні дані до роботи – Облаштування офісу мультимедійними пристроями та стан електромагнітної обстановки, яку створюють мультимедійні прилади.
4. Зміст роботи – Забезпечення електромагнітної сумісності мультимедійних систем в межах офісу.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) – набір слайдів презентації з узагальнюючими матеріалами.
6. Дата видачі завдання «28» березня 2024р.

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошук і розгляд літератури, розробка змісту	«21» квітня 2024р.	виконано
2	Розробка першого розділу	«28» квітня 2024р.	виконано
3	Розробка другого розділу	«12» травня 2024р.	виконано
4	Розробка третього розділу	«24» травня 2024р.	виконано
5	Розробка четвертого розділу, підготовка та оформлення презентації	«30» травня 2024р.	виконано

Студент



Данило ВОЛОДІН

Керівник



Володимир ПЛІНСЬКИЙ

УДК 621.372.8

## РЕФЕРАТ

«Забезпечення електромагнітної сумісності мультимедійної електронної апаратури»: дипломна робота бакалавра: 171 Електроніка. – КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ – 47 с.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, електромагнітна обстановка, електромагнітні завади ЕМС, ЕМО, мультимедіа.

Об'єктом досліджень є процес формування електромагнітної обстановки приміщень з мультимедійним обладнанням.

Предмет дослідження: модель електромагнітної обстановки в офісі.

Мета роботи: забезпечення електромагнітної сумісності мультимедійних систем, тобто їх штатне функціонування.

Метод дослідження: теоретичне дослідження за допомогою програми для досягнення електромагнітної сумісності в приміщенні.

У результаті виконання дипломної роботи розглянуто проблеми електромагнітної сумісності, а також програма для її досягнення у змодельованому приміщенні.

Галузь застосування: компанії з надання послуг Інтернету і налаштувань маршрутизаторів для локальної мережі.

## ABSTRACT

"Ensuring Electromagnetic Compatibility of Multimedia Electronic Equipment": Bachelor's Thesis: 171 Electronics. – Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, 2024 – 47 p.

Keywords: electromagnetic compatibility, electromagnetic environment, electromagnetic interference, EMC, EME, multimedia.

The object of the research is the process of forming the electromagnetic environment in rooms with multimedia equipment.

Subject of the research: model of the electromagnetic environment in the office.

Objective: to ensure the electromagnetic compatibility of multimedia systems, i.e., their proper functioning.

Research method: theoretical research using software to achieve electromagnetic compatibility in the room.

As a result of this thesis, the problems of electromagnetic compatibility were considered, and a program to achieve it in a simulated environment was developed.

Field of application: companies providing Internet services and router settings for local networks.

## ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ.....	2
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ.....	9
1.1 Поняття електромагнітної сумісності.....	8
1.2 Класифікація електромагнітних завад.....	12
1.3 Фізичні основи виникнення та поширення електромагнітних завад.....	15
1.4 Висновки до 1 розділу.....	17
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ.....	18
2.1 Пасивні методи захисту від електромагнітних завад.....	18
2.2 Екранування.....	22
2.3 Висновки до 2 розділу.....	24
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОФІСУ. ВИБІР МУЛЬТИМЕДІЙНОЇ АПАРАТУРИ.....	25
3.1 Опис моделі офісу.....	25
3.2 Характеристика мультимедійної апаратури.....	29
3.3 Маршрутизатори Wi-Fi.....	32
3.4 Висновки до 3 розділу.....	34
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ В РОЗРОБЛЕНІЙ МОДЕЛІ ОФІСУ.....	35
4.1 Опис програми EkaHau Site Survey.....	35
4.2 Процес моделювання EkaHau Site Survey.....	37
4.3 Аналіз результатів.....	38
4.4 Висновки до четвертого розділу.....	41
ВИСНОВКИ.....	42
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ.....	43

## ВСТУП

Швидкий розвиток мультимедійної електронної апаратури призвів до її широкого впровадження в офісних приміщеннях. При цьому важливою забезпечити електромагнітну сумісність (ЕМС) цієї апаратури, оскільки невідповідність стандартам ЕМС може призвести до значних перешкод у роботі пристроїв та систем. Проблема забезпечення електромагнітної сумісності набуває все більшої актуальності у зв'язку зі збільшенням кількості різних джерел електромагнітних завад в сучасних офісних середовищах.

Актуальність роботи полягає у необхідності розробки моделей і рекомендацій щодо забезпечення ЕМС мультимедійної апаратури в офісах.

**Об'єктом дослідження** є процеси формування електромагнітної обстановки та забезпечення електромагнітної сумісності в приміщеннях з мультимедійною апаратурою.

**Предмет дослідження:** методи та засоби забезпечення електромагнітної сумісності мультимедійної апаратури в офісах.

**Метою роботи** є розробка рекомендацій щодо забезпечення електромагнітної сумісності мультимедійної апаратури в офісних приміщеннях.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Визначити основні типи мультимедійної апаратури та частоти, на яких вона працює.
2. Створити модель офісного приміщення з розміщенням мультимедійної апаратури.
3. Проаналізувати методи моделювання електромагнітної обстановки (ЕМО).
- 4) Виконати оцінку електромагнітної обстановки у моделі офісу.

5) Розробити рекомендації щодо забезпечення електромагнітної сумісності мультимедійної апаратури, з урахуванням раціонального розташування приладів, застосування екранів та інших захисних заходів.

**Методи дослідження:** теоретичне моделювання електромагнітної обстановки та практичний аналіз сумісності мультимедійної апаратури.

**Новизна роботи** полягає у пошуку та обґрунтуванні ефективних методів забезпечення електромагнітної сумісності в офісних приміщеннях, насичених мультимедійною апаратурою.

**Практична цінність** роботи полягає у наданні рекомендацій щодо прогнозування та забезпечення електромагнітної сумісності, що сприятиме стабільній роботі мультимедійної апаратури в офісних умовах.

# 1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ

## 1.1 Поняття електромагнітної сумісності

Забезпечення електромагнітної сумісності – це важливий початок проектування, виробництва та експлуатації радіоелектронної апаратури, що визначає не тільки як працюватиме створюваний пристрій, але й як у майбутньому проектуватимуться інші.

Електромагнітна сумісність; EMC (electromagnetic compatibility; EMC) – спроможність обладнання чи системи штатно функціонувати в навколишній електромагнітній обстановці та не створювати недопустимих електромагнітних завад будь-чому в цій обстановці [1]. Згідно з національним, гармонізованим з міжнародним стандартом ДСТУ ІЕС 60050-161, електромагнітна сумісність означає "здатність пристрою, обладнання або системи працювати задовільно у електромагнітній обстановці, не створюючи неприйнятних електромагнітних завад для будь-якого обладнання в цій обстановці".

З самого початку епохи радіо інженери та користувачі стикалися з проблемами шуму, завад та уземлення. Проте, внаслідок вдосконаленню радіозв'язку, появі цифрових систем, потужних процесорів та нових методів проектування, електромагнітна сумісність (EMC) стала одним з найважливіших аспектів сучасного електронного дизайну. Питання EMC не втрачають актуальності вже з ранніх років радіо, і з розвитком технологій воно стає ще більш критичною для забезпечення безперебійної роботи та безпеки електронних пристроїв.

Прогрес у сфері радіозв'язку, цифрових систем, процесорів та методів проектування визначає забезпечення EMC ключовим фактором під час проектування електроніки. У сучасному світі EMC стає все більш важливою для забезпечення надійності та якісного функціонування

електронних пристроїв, роблячи її невід'ємною частиною процесу електронного дизайну.

Вирішення проблеми ЕМС потребує комплексного та багаторівневого підходу. Вже на початку стадії проектування необхідно враховувати характеристики компонентів, мінімізувати внутрішні шуми та завади, а також тестувати готові пристрої та системи, щоб вони відповідали вимогам ЕМС.

Навіть під час експлуатації важливо зважати на вплив систем одна на одну, щоб запобігти виникненню електромагнітних завад.

Через глобальний характер проблеми ЕМС, її вирішенням на міжнародному рівні займаються авторитетні організації, такі як МЕК та МСЕ, які розробляють стандарти та рекомендації для забезпечення сумісності електроприладів та систем у всьому світі.

Глобальний характер проблеми забезпечення ЕМС вимагає компетенції міжнародних установ, наприклад Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) – International Electrotechnical Commission (IEC); Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) – International Telecommunication Union (ITU) [1].

Електромагнітна обстановка (ЕМО) — це сукупність електромагнітних явищ, що існують у певному місці. Ці явища можуть включати електричні і магнітні поля, електромагнітні хвилі та імпульси, які виникають як природним чином, так і внаслідок діяльності людини. Електромагнітна обстановка впливає на роботу електронних і електричних пристроїв, їхню сумісність і можливість взаємодії без створення завад один для одного [2].

Електромагнітна завада; ЕМЗ (electromagnetic interference) – електромагнітне збурення, яке погіршує характеристики обладнання, каналу передавання чи системи [1].

Електромагнітне збурення – це будь-яке електромагнітне явище, яке може погіршити характеристики пристрою, обладнання або системи. Це

збурення може мати як кондуктивний, так і радіаційний (у навколишньому середовищі) характер. Кондуктивні збурення виникають у вигляді наведення на струми або напруги в провідниках, тоді як радіаційні збурення виникають під впливом змінного електромагнітного поля.

Умовно можна визначити п'ять аспектів проблеми ЕМС: інженерний, економічний, захисту інформації, маркетинговий та біологічний.

1. Інженерний аспект полягає в тому, що фахівець має знати завдання, розв'язок яких дає змогу реалізувати забезпечення ЕМС. Для цього необхідно знати вимоги до забезпечення ЕМС; бути обізнаним з нормативною базою; вміти застосовувати технічні засоби і заходи для забезпечення ЕМС і мати навички вимірювання параметрів, пов'язаних із забезпеченням ЕМС[1].

2. Економічний аспект полягає в тому, що розробка і впровадження засобів забезпечення ЕМС повинні здійснюватися на ранніх стадіях проектування апаратури, коли можливості майже необмежені, а витрати мінімальні. Під час розробки радіоелектронної апаратури необхідно враховувати вимоги електромагнітної сумісності, обумовлені Регламентом ЕМС та відповідними стандартами (майже 170 за Директивою 2014/30/EU). Помилки у застосуванні засобів ЕМС потрібно виправляти на початкових етапах розробки, оскільки на пізніших стадіях це потребуватиме значно більше зусиль і коштів або стане неможливим, що робить апаратуру непридатною для використання.

3. Аспект захисту інформації полягає у забезпеченні захисту від несанкціонованого доступу. У сучасній професійній діяльності інколи існує загроза доступу до конфіденційної інформації із застосуванням спеціальних технологій, без згоди її власника.

4. Маркетинговий аспект полягає в тому, що натеper згідно з вимогами чинної Директиви ЕМС Європейського Парламенту за номером 2014/30/EU треба випробовувати будь-які електричні, електронні, радіоелектронні прилади, апаратуру та системи щодо забезпечення ЕМС.

Знак СЕ на електронних засобах означає, що даний виріб випробувано і він відповідає нормам, зазначеним у Європейських стандартах щодо забезпечення ЕМС та електробезпеки.

5. Біологічний аспект полягає в можливому негативному впливі електромагнітної енергії на здоров'я людей та інші біологічні об'єкти [1].

як впливає з визначення ЕМС, ця проблема має дві основні складові: 1) сприйнятливість і 2) емісія.

Перша складова – це забезпечення нормального функціонування апаратури в умовах наявних завад, або питання несприйнятливості (immunity) апаратури до цих завад.

Друга складова – це забезпечення такої ситуації, при якій завади, створені апаратурою і передані через навколишній простір та провідні елементи (кабелі, шасі, уземлювачі тощо), не перевищують допустимих рівнів. Ця складова називається емісією (emission). Термін "емісія" узагальнює будь-які способи вивільнення енергії.

## **1.2 Класифікація електромагнітних завад**

Джерела завад поділяються на функціональні та нефункціональні. Функціональні джерела включають радіо- і телепередавачі, генератори високочастотних коливань, промислові та медичні мікрохвильові печі, радіокеруючі пристрої.

Нефункціональні джерела - це розрядні лампи, електричний транспорт, комутаційні процеси в високовольтних лініях, контактні та безконтактні перемикачі, атмосферні та коронні розряди, розряди статичної електрики, використання потужних імпульсів у технологічних процесах тощо.

Досягнення ЕМС у функціональних джерелах завад забезпечується їх конструкцією, тоді як для нефункціональних джерел ця проблема є значно складнішою. Основним завданням є виявлення джерел завад, визначення їх

параметрів і механізмів взаємодії, що дозволить забезпечити електромагнітну сумісність.

Джерела електромагнітних завад класифікуються за спектром їх випромінювання на вузькосмугові та широкосмугові. Для кількісної оцінки цих спектрів вводиться поняття енергетичного спектру імпульсного або періодичного процесу [4].

Для імпульсного процесу енергетичний спектр визначається

$$F(\omega) = \frac{2}{T} |\dot{X}(\omega)|^2, \quad (1.1)$$

де  $T$  – тривалість імпульсу;

для періодичного процесу

$$F(\omega) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\varepsilon}{2} |\dot{C}_n|^2 \delta(\omega - n\omega_0), \quad (1.2)$$

де  $\varepsilon = 2, n = 0$  і  $\varepsilon = 1, n > 1$  [4].

Якщо енергетичний спектр має максимум  $F(\omega_0)$  за частотою  $\omega_0$  – тоді шириною полоси енергетичного спектру називають площу під кривою спектра, віднесеною до енергетичного спектра на частоті  $\omega_0$ :

$$\Delta_{\Pi} = \frac{1}{2\pi F(\omega_0)} \int_0^{\infty} F(\omega) d\omega. \quad (1.3)$$

Це можна трактувати як ширину рівномірного в смузі  $\Delta_{\Pi}$  енергетичного спектра процесу, еквівалентного даному за середньої потужності [4].

Широкосмугові завади характеризуються спектром з щільно розташованими спектральними лініями (безперервний спектр). Джерела таких завад діляться на шумові та перехідні завади.

Шумові завади складаються з багатьох щільно розташованих імпульсів різної амплітуди, які неможливо розділити. Перехідні завади, навпаки, чітко відрізняються одна від одної, рідко повторюються і мають вигляд окремих імпульсів.

Широкосмугові сигнали також розрізняють за когерентністю. Для когерентних сигналів реакція приймача пропорційна ширині смуги, тоді як для некогерентних сигналів, спектральні складові яких співвідносяться випадковим чином, реакція приймача пропорційна квадратному кореню з ширини смуги.

Вузькосмугові завади зазвичай створюються штучно, наприклад, радіопередавачами, які на відповідних частотах випромінюють великі потужності. Такі джерела випромінюють вищі гармоніки через нелінійність своїх елементів, до прикладу, медичні та промислові ВЧ генератори або мережа з частотою 50 Гц. Такі джерела характеризуються амплітудою або ефективною величиною завади на відповідній частоті.

Передавачі зв'язку генерують електромагнітну енергію для передачі або прийому інформації і випромінюють її в навколишній простір. Вони поділяються на п'ять груп. Допустимі потужності передач на відповідних частотах встановлюються в залежності від регіонального розташування і часу направленості передач за погодженням з Міжнародним союзом електрозв'язку (ITU). Для передавачів, що працюють на одній частоті, електромагнітна сумісність досягається просторовим розділенням або обмеженням радіусу дії. Введення нового передавача в дію вимагає дозволу влади, виданого на основі перевірки його ЕМС. Випромінювання передавачів зв'язку зазвичай вузькосмугові і включають носійну частоту, бокові смуги, а також гармонічні та негармонічні складові [4].

У промисловості, медицині, домашньому господарстві та науці широко використовують високочастотні генератори великої та середньої потужності для індукційного нагріву, плавлення, електротерапії, прискорення елементарних часток (циклотрони, синхротрони) тощо. Усі ці пристрої генерують високочастотну енергію для досягнення локальних електрофізичних ефектів, тому їх відносять до групи функціональних передавачів.

Більшість високочастотних пристроїв працюють на дозволених частотах у діапазоні від 1 до 200 МГц при достатньому екрануванні. Крім того, у процесі випромінювання необхідно забезпечувати електромагнітну сумісність пристроїв із середовищем перебування людей.

Радіоприймачі, комп'ютери та комутаційні пристрої мають власні генератори, які через вхідні і вихідні проводи, шасі та корпуси випромінюють електромагнітну енергію в зовнішнє середовище. Діапазон робочих частот цих пристроїв коливається від сотень кілогерц до кількох десятків мегагерц.

У радіо- та телеприймачах частоту вхідного високочастотного сигналу змішують із частотою гетеродина, утворюючи проміжну частоту, внаслідок чого випромінюються як частота гетеродина, так і постійна проміжна частота разом із вищими гармоніками. Проміжна частота під час амплітудної модуляції складає 455 кГц, а частотній модуляції — 10,7 МГц [4].

### **1.3 Фізичні основи виникнення та поширення електромагнітних завад**

Електромагнітні завади виникають через природні явища або технічні процеси. Прикладами природних завад можуть бути атмосферні розряди (електромагнітні імпульси, що виникають під час удару блискавки) або електростатичні розряди, які мають особливе значення в напівпровідниковій електроніці. У промисловому обладнанні основним джерелом завад є процеси перемикання в електричних колах, які супроводжуються дуже швидкими змінами струмів і напруг, що призводить до появи електромагнітних завад. Ці завади можуть бути періодичними або випадковими і мають як кондуктивний (наведення на струми або напруги в провідниках), так і радіаційний (вплив змінного електромагнітного поля) характер.

Кондуктивні завади, за яких наведений струм у провідниках має однакову амплітуду в прямому та зворотному напрямках, називаються симетричними або диференціальними. Якщо струм завади замикається на землю або протікає у прямому та зворотному провідниках в одному напрямку, то це асиметрична або синфазна завада.

Електромагнітний зв'язок між джерелом і приймачем завад може виникати через гальванічний зв'язок, який створює симетричні завади; ємнісний зв'язок, який виникає в результаті впливу змінного електричного поля на паразитні конструктивні ємності й індуктивний зв'язок, спричинений перебуванням провідника зі струмом у змінному магнітному полі.

Електромагнітний зв'язок, який може мати кондуктивний характер (наведення на провідники в кабельних джгутах або на провідні доріжки друкованої плати) або поширюватися шляхом випромінювання (якщо ширина зазору між джерелом і приймачем завади перевищує 0,1 довжини хвилі випромінювання) [3].

Електромагнітні випромінювання будь-якого радіопередавача зосереджені як у діапазоні його робочої частоти (основне випромінювання), так і за її межами (неосновне випромінювання). Основне і неосновне випромінювання можуть поширюватися як у головній пелюстці діаграми направленості, так і в бокових та задній пелюстках при використанні направлених антен. Хоча підсилення сучасних направлених антен у головній пелюстці може досягати 50 дБ, рівні задньої та бокових пелюсток залишаються досить високими (від мінус -20 дБ до мінус -40 дБ). Це означає, що потужні радіолокаційні станції можуть випромінювати через задні та бокові пелюстки з потужністю до 1 кВт і більше.

При цьому і в головній, і в бокових пелюстках випромінюються електромагнітні хвилі як з робочою поляризацією, так і з поляризацією, параметри якої відрізняються від робочої. Тому в приймальній антені та в трактах радіоприймального пристрою (РПП) для виділення

електромагнітних коливань робочого радіоканалу необхідно використовувати різні типи селекції: частотну, просторову, поляризаційну тощо.

Електромагнітна ситуація також залежить від випромінювань, які супроводжують основне випромінювання радіопередавача і виникають через нелінійні властивості вольт-амперних характеристик його окремих елементів. Це додатково ускладнює реальну електромагнітну обстановку в місці прийому.

Таким чином, для забезпечення ефективної спільної роботи якомога більшої кількості радіоелектронних засобів (РЕЗ) у тому ж радіочастотному просторі, необхідно підвищити їх електромагнітну ефективність, тобто покращити певні параметри випромінювання та/або прийому[5].

#### **1.4 Висновки до 1 розділу**

1. Описане поняття електромагнітної сумісності (ЕМС) та її значення у розробці й експлуатації радіоелектронної апаратури.
2. ЕМС визначають як здатність обладнання функціонувати без створення неприйнятних електромагнітних завад.
3. Джерела електромагнітних завад класифікують на функціональні та нефункціональні.
4. Описано фізичні основи виникнення і поширення електромагнітних завад.
5. Проаналізовано механізми зв'язків між джерелами і приймачами завад.
6. Забезпечення ЕМС вимагає врахування інженерного, економічного, захисту інформації, маркетингового та біологічного аспектів.

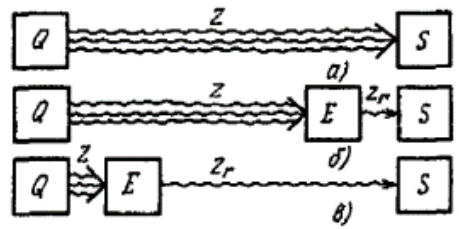
7. Підкреслено важливість комплексного підходу до проектування і тестування радіоелектронних систем для забезпечення їх ефективної та безпечної роботи в сучасному електромагнітному середовищі.

## 2. МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

### 2.1 Пасивні методи захисту від електромагнітних завад

Досягнення електромагнітної сумісності (ЕМС) виробу найбільш ефективно забезпечується за планомірній та безперервній роботі на стадії його проектування, враховуючи експлуатаційні та економічні умови. ЕМС розглядають як комплексну характеристику якості виробу нарівні з іншими параметрами, а її реалізація контролюють системою якості під час виготовлення. Це фактично означає гарантію забезпечення внутрішньої завадостійкості, тобто усунення внутрішніх електромагнітних впливів у системі, а також завадостійкості до зовнішніх впливів за обґрунтованих витратах. Крім того, здійснюються необхідні заходи для того, щоб вплив пристрою на навколишнє середовище не перевищував встановлених норм [6].

Для забезпечення електромагнітної сумісності часто необхідно зменшити емісію завад, спричинених гальванічними зв'язками з джерелами, або проникнення таких завад через чутливий елемент. Це включає запобігання виникненню перенапруг у потенційних джерелах завад, обмеження небезпечних для ізоляції перенапруг або завад, а також зменшення випромінюваних джерелом електромагнітних полів і запобігання їх проникненню через чутливий елемент. Для досягнення цього використовуються пасивні пристрої притлумлення завад, такі як фільтри, обмежувачі напруги і екрани. Вони можуть бути встановлені безпосередньо біля чутливого елемента або біля джерела залежно від вирішуваного завдання. Ефективність захисної дії таких компонентів демонструється через співвідношення  $2/r_T$  [7].



а – захист відсутній; б – захист приймача;  
 в – притлумлення завади  $x$  у джерела

Рисунок 2.1 - Взаємні розташування джерела завад приймача і захисного компонента [7]

Протизавадні фільтри використовуються для зменшення завад, що передаються по проводах. Їхнє ефективне застосування передбачає, що спектральні складові корисного сигналу і завад достатньо відрізняються одна від одної. Це дозволяє при правильних параметрах фільтра селективно пригнічувати завади без помітного спотворення корисного сигналу. Основний ефект пригнічення досягається завдяки поділу напруги.

Основні елементи фільтрів - це котушки індуктивності і конденсатори. Вони можуть використовуватися окремо або в комбінації для притлумлення завад. Фільтрові елементи залежно від номінальної напруги та пропускної здатності за силою струму можуть бути приладами для монтажу в приміщеннях, компактними елементами для вбудовування в шафи, прилади, роз'єми або чіп-елементи для монтажу на друкованих платах[7].

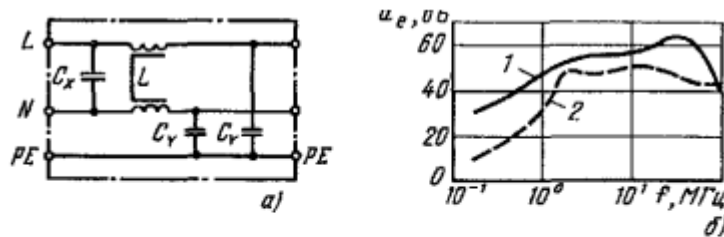
Двополюсні конденсатори, залежно від з'єднання в струмове коло (між прямим і зворотним проводами або між проводом і землею), підходять для захисту як від синфазних, так і від диференціальних завад. Конденсатори-вводи, підключені до корпусу, захищають лише від синфазних завад. Конденсатори-чотиріполюсники захищають від диференціальних завад, а багатосекційні конденсатори — від обох типів завад.

Захисні котушки індуктивності є котушками з малими ємністю і активним опором обмотки. Вони мають замкнуті або розімкнуті сердечники з феромагнітного матеріалу. Котушки із стержневим або простим кільцевим сердечником пригнічують як синфазні, так і диференціальні сигнали.

Оскільки в котушках індуктивності з сердечниками магнітне коло не замкнуте, їх магнітна проникність і індуктивність практично не залежать від робочого струму. Проте, при великих струмах розміри таких котушок можуть бути значними. Менші розміри мають котушки з компенсуючим магнітним полем, де магнітне поле, створюване робочим струмом, компенсується завдяки зустрічному включенню обмоток.

Потрібно враховувати, що будь-який конденсатор разом з ємністю має паразитну індуктивність, що залежить від довжини виводів конденсатора. Ця індуктивність особливо велика у двополюсних конденсаторів і менша у коаксіальних конденсаторів-вводів. Кожна котушка індуктивності, окрім індуктивності, має паразитну ємність.

Мережеві протизавадні фільтри є фільтрами низьких частот, які вільно пропускають напругу мережі і фільтрують високочастотні складові, такі як гармоніки. Їх застосування має дві цілі: захист пристрою від завад, що надходять з мережі живлення, і зниження рівня емісії завад від пристрою через дроти живлення. Подовжній елемент фільтра вибирається з урахуванням споживаного струму з мережі. На рисунку 2.2 показана схема фільтра з котушкою індуктивності з компенсуючим магнітним полем, що містить конденсатор для демпфування симетричної напруги завади і два конденсатори [7].



а - схема,  $C_x = 0,1 \text{ мкФ}$ ,  $C_y = 2 \times 3 \text{ нФ}$ ,  $L = 2 \times 3,7 \text{ мГн}$ ;  
 б - частотна залежність  $\alpha_e$ ; 1 - асиметричні перешкоди;  
 2 - симетричні перешкоди

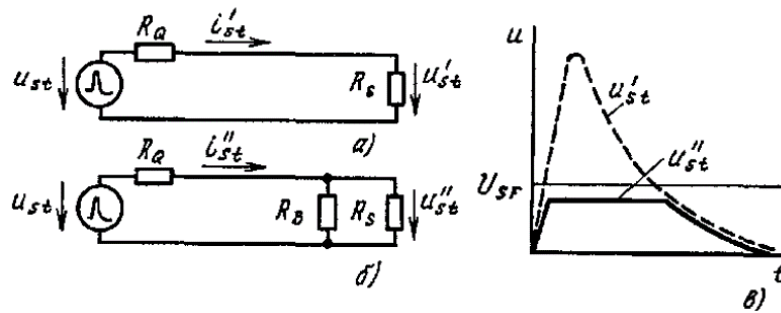
Рисунок 2.2 – Приклад мережевого фільтру на 250 В, 1 А [7]

Обмежувачі перенапруг — це спеціальні елементи, захисні схеми та пристрої, які використовуються для зниження перенапруг в електроенергетичних та інформаційно-електронних системах, спричинених блискавкою, розрядами статичної електрики, комутаційними процесами або іншими чинниками. Вони виконують захисні функції, запобігаючи виходу з ладу електричних і електронних засобів та порушенню нормального функціонування системи, що важливо для забезпечення електромагнітної сумісності.

Принцип дії обмежувачів базується на використанні резисторів з нелінійною вольт-амперною характеристикою (варистори) та напівпровідникових TVS. У межах допустимих робочих напруг резистори мають дуже великий опір, а з за перевищенні заданої напруги — дуже малий опір, що забезпечує ефективний захист. Разом з опором джерела завади обмежувач утворює схему нелінійного дільника напруги (рис.2.3,б), який і знижує перехідне перенапруження до допустимого значення

$$U_{st}'' = U_{st} - i_{st}'' R_Q, \quad (2.1)$$

що не перевищує імпульсну електричну ємність елемента (рис. 6.5, в), що захищається[7].



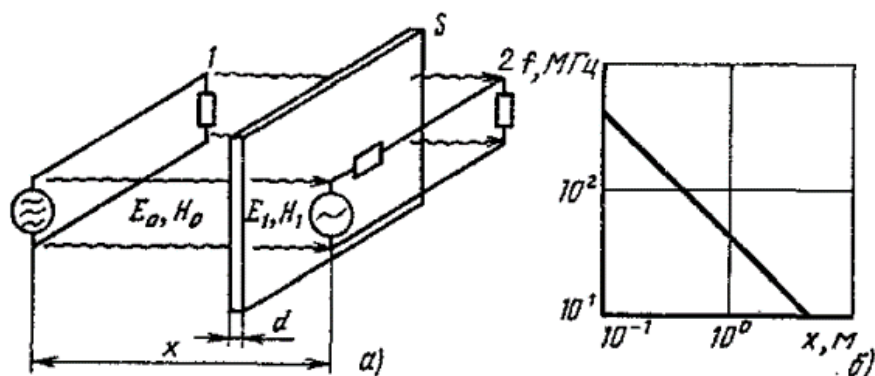
а – схема без захисту; б – схема із захистом; в – зміна напруги в часі;  
 $U_{SF}$  – імпульсна ємність вхідного кола

Рисунок 2.3 – Обмеження перенапруг за допомогою нелінійного  
 опору  $R_B$  [7]

## 2.2 Екранування

Екранування використовують для зменшення впливу електричних, магнітних і електромагнітних полів на елементи, блоки, прилади, кабелі, приміщення і будівлі, а також для притлумлення завад, що виходять від електричних і електронних промислових пристроїв. Екран розміщується між джерелом та приймачем завад і знижує інтенсивність впливаючого поля від значень  $E_0, H_0$  до значень  $E_1, H_1$  за екраном. Це досягається завдяки наведенню заряду або індукції струму на поверхні екрану, що створює поле, яке послаблює впливаюче поле, ефективно віддаляючи чутливий приймач від джерела завад.

На ефективність екранування значно впливають частота поля, електропровідність і магнітна проникність матеріалу екрану, а також його конфігурація і розміри. Екранування здійснюється частково шляхом поглинання енергії поля матеріалом екрану (коефіцієнт загасання обумовлений поглинанням), а частково — шляхом відображення падаючої хвилі (коефіцієнт загасання обумовлений відбиванням) [7].



- а – принципове розташування контурів 1, 2 і екрану 5;  
 б – межа між умовами ближнього (нижня ліва частина) і далекого (верхня права частина) полів

Рисунок 2.4 – Екранування струмових контурів від зовнішніх електричних і магнітних полів [7]

Результуючий коефіцієнт загасання, дБ, можна визначити як

$$a_s = 20 \lg(E_0 / E_1) \quad (2.2)$$

$$a_s = 20 \lg(H_0 / H_1) \quad (2.3)$$

Для встановлення суттєвих взаємозв'язків між цими коефіцієнтами загасання і характеристиками магнітного поля, а також розмірами екрану та властивостями його матеріалу зручно використовувати поняття повних опорів, за аналогією з поширенням хвиль у довгій електричній двопровідній лінії.

Металеві корпуси електронних пристроїв забезпечують певний захист від проникнення електромагнітних завад із зовнішнього середовища. Однак розрізи, шви, отвори для кабелів та вентиляції суттєво знижують їх екрануючу дію. У корпусах, які відповідають вимогам електромагнітної сумісності, ці недоліки мають бути усунені. Спеціальні конструкції забезпечують суцільне гальванічне з'єднання всіх стінок приладу, використовуючи відповідні ущільнення, наприклад, дротяні плетені прокладки. Приладові шафи повинні мати безперервні корозійностійкі контактні поверхні, до яких по всьому периметру дверей притискаються

пружинні контакти з берилієвої бронзи. Спеціальна система забезпечує однакову силу притиснення пружин по всьому периметру дверей. Відведення тепла з шаф здійснюється через отвори або жалюзі в стінках. Електричні з'єднання із зовнішніми пристроями здійснюються виключно за допомогою роз'ємів, кабелі не можна вводити всередину шафи іншим чином. Коефіцієнт загасання в таких випадках досягає 40-100 дБ в діапазоні частот від 30 МГц до 1 ГГц.

Ефективне екранування електронних приладів із пластмасовими корпусами (наприклад, комп'ютерів, радіопередавачів, вимірювальних приладів, моніторів) досягається використанням металевих ниток у сполучному матеріалі або металізацією поверхні корпусу.

Забезпечення електромагнітної сумісності, створення умов для вимірювань і випробувань приладів без завад, а також аспекти забезпечення надійності даних часто вимагають електромагнітного екранування приміщень. Прикладами цього є:

- випробувальні приміщення і лабораторії для засобів зв'язку, вимірювань, автоматизації і техніки високої напруги;
- вимірювальні приміщення для наукових досліджень і метрологічних служб;
- медичні діагностичні і терапевтичні кабінети в лікарнях;
- обчислювальні центри на промислових підприємствах, у банках і багатьох інших цивільних і військових організаціях[7].

### **2.3 Висновки до 2 розділу**

1. Використання протизавадних фільтрів і обмежувачів перенапружень дає змогу ефективно зменшити рівень електромагнітних завад.

2. Ці методи сприяють захисту електронних пристроїв від зовнішніх впливів і запобігають пошкодженням внаслідок перенапружень.

3. Екранування забезпечує захист від проникнення і впливу електромагнітних полів на різні елементи, блоки, прилади, кабелі, приміщення і будівлі.

4. Екранування також запобігає виходу електромагнітних завад від електронних пристроїв, підвищуючи їх електромагнітну сумісність.

5. Металеві корпуси і спеціальні конструкції забезпечують суцільне гальванічне з'єднання всіх стінок приладу, що підвищує ефективність екранування.

6. Для електронних приладів з пластмасовими корпусами ефективно екранування досягається використанням металевих ниток або металізацією поверхні корпусу.

7. Забезпечення електромагнітної сумісності вимагає екранування приміщень, що є важливим для випробувальних лабораторій, медичних кабінетів, обчислювальних центрів та інших спеціалізованих приміщень.

### 3. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОФІСУ. ВИБІР МУЛЬТИМЕДІЙНОЇ АПАРАТУРИ

#### 3.1 Опис моделі офісу

Змодельований план офісу за допомогою програми Adobe Photoshop зображено на рис. 3.1. Ця модель буде використана для розміщення мультимедійної апаратури і дослідження електромагнітної обстановки.

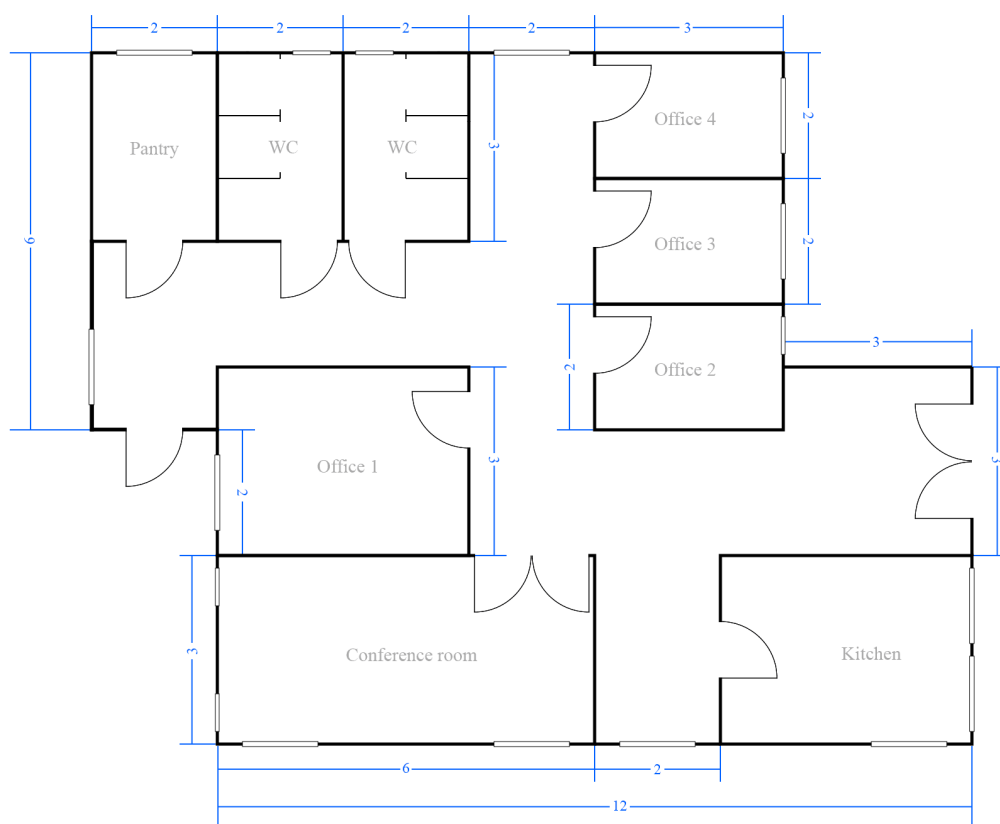


Рисунок 3.1 – модель офісу

Головний вхід розміщений справа подвійними дверима. Офіс має 4 кабінети, один з яких є головним і найбільшим, а поруч з ним розташований зал для конференцій. Для відпочинку і їжі недалеко розташована кухня. Далі по коридору розміщено туалет і невеликий склад речей. У кінці – чорний вихід з офісу.

Велике значення мають матеріали, двері і вікна, з яких створений офіс. Різні матеріали мають різний рівень поглинання і відбиття радіосигналів, що може суттєво вплинути на якість і стабільність зв'язку. Нижче наведена таблиця, що показує вплив матеріалу на розповсюдження Wi-Fi сигналу на частоті 2,4 ГГц [8].

Таблиця 3.1 - Таблиця впливу матеріалів на розповсюдження WiFi сигналу

Матеріал	Додаткові втрати (дБ)	Ефективна відстань (%)
Відкрите середовище	0	100%
Вікно без тонування (без металізованого покриття)	3	70%
Вікно з тонуванням (металізоване покриття)	5-8	50%
Дерев'яна стіна	10	30%
Внутрішня стіна (15.2 см)	15-20	15%
Несуча стіна (30.5 см)	20-25	10%
Бетонна підлога/стеля	15-25	10-15%
Монолітна залізобетонна плита	20-25	10%

Зовнішні стіни офісу зроблені з цегли товщиною 25 см (рис. 3.2). Внутрішні стіни, що не виходять назовні, виконані з тієї ж цегли, але товщиною 9 см. Чим товща стіна з цеглин, тим більше поглинання поширеного сигналу. Всі вікна, і маленькі, і великі, зроблені з подвійного скла (рис. 3.3), товщина якої складає 2,5 см.



Рисунок 3.2 – зображення цегляної стіни 25 см [9]



Рисунок 3.3 – зображення вікна з подвійним склом [10]

Вхідні двері, у тому числі й інший вхід, мають товщину 6,4 см, зроблені зі сталі і мають протипожежну властивість (рис. 3.4). Внутрішні двері, що мають товщину 4,5 см, зроблені з суцільного дерева (рис. 3.5).



APC

Рисунок 3.4 – сталеві двері [11]



Рисунок 3.5 – двері з суцільного дерева [12]

### 3.2 Характеристика мультимедійної апаратури

**ІР-камера.** Таро С200 від TP-Link - це внутрішня Wi-Fi камера з функціями панорамування та нахилу, яка забезпечує високу якість відео та розширені можливості безпеки для дому (рис. 3.6) [13].



Рисунок 3.6 - Таро С200 [13]

Характеристики:

- Роздільна здатність: 1080p Full HD;
- Горизонтальне панорамування 360°;
- Вертикальний нахил 114°;
- Нічне бачення: До 30 футів (10 метрів);
- Детекція руху: Смарт-детекція руху з миттєвими сповіщеннями;
- Двосторонній аудіо: Вбудований мікрофон та динамік;
- Зберігання: Підтримка карт MicroSD до 512 ГБ;
- Режим приватності: Можливість зупинити запис для забезпечення приватності;
- Голосове управління: Сумісність з Google Assistant та Amazon Alexa[13].

**Проектор.** Epson EB-1795F - це ультратонкий та портативний проектор з Full HD роздільною здатністю, призначений для використання в бізнесі та освіті. Проектор оснащений технологією 3LCD, яка забезпечує високу яскравість і точність кольорів, а також має бездротове підключення для зручного проведення презентацій (рис. 3.7) [14].



Рисунок 3.7 - Epson EB-1795F [14]

**Характеристики:**

- Роздільна здатність: Full HD 1080p (1920 x 1080);
- Яскравість: 3200 люмен (біле світло і кольорове світло);
- Технологія проєкції: 3LCD;
- Контрастність: 10,000:1;
- Корекція трапецеїдальних спотворень: Автоматична вертикальна і горизонтальна;
- З'єднання: HDMI, VGA, USB Type A і B, бездротове LAN (Wi-Fi);
- Технології: Miracast, NFC, Epson iProjection;
- Термін служби лампи: До 12,000 годин в режимі ECO;
- Розміри: 292 x 44 x 213 мм;
- Вага: 1.83 кг [14].

**Інтерактивна дошка.** Інтерактивна дошка DTEN D7 55" створена для проведення інтерактивних зустрічей та конференцій, забезпечуючи можливості для відеоконференцій, цифрових нотаток та обміну контентом в одному пристрої. Вона ідеально підходить для використання в офісах, навчальних закладах та інших професійних середовищах, де потрібна колаборація в режимі реального часу (рис. 3.8) [15].



Рисунок 3.8 - Інтерактивна дошка DTEN D7 [15]

#### Характеристики:

- Розмір дисплея: 55 дюймів;
- Роздільна здатність: 4K UHD (3840 x 2160 пікселів);
- Технологія сенсорного екрана: 10-точкова ємнісна;
- Камера: 4K веб-камера з кутом огляду 120°;
- Мікрофони: масив з 16 мікрофонів;
- Вбудовані динаміки;
- Підключення: Wi-Fi 5 (802.11ac), Gigabit Ethernet, HDMI входи та виходи, USB-A порти;
- Підтримка AI для поліпшення звуку та відео;
- Підтримка Zoom Rooms;

- Живі нотатки на екрані та обмін документами;
- Вага: 23 кг;
- Габарити: 124.5 x 77.4 x 5.4 см [15].

### 3.3 Маршрутизатори Wi-Fi

Wi-Fi роутер потрібен для забезпечення інтернет-з'єднання для декількох пристроїв одночасно. Він підключається до модема для отримання даних та розподіляє їх між усіма підключеними пристроями як через дротове (Ethernet), так і бездротове (Wi-Fi) з'єднання. Кожному пристрою роутер надає унікальну внутрішню IP-адресу, що дозволяє ефективно керувати інтернет-трафіком. Завдяки вбудованим брандмауерам роутер забезпечує додатковий рівень безпеки мережі [16, 17].

**TP-Link TL-WR941HP** - це високопродуктивний Wi-Fi роутер з підтримкою високої потужності і великої зони покриття, що забезпечує стабільне і швидке підключення для різноманітних пристроїв (рис. 3.9) [18].



Рисунок 3.9 - TL-WR941HP [18]

Характеристики:

- Частотний діапазон: 2.4 ГГц;
- Швидкість передачі даних: до 450 Мбіт/с;
- Коефіцієнт посилення антени: 9 дБі;
- Потужність передатчика: 1000 мВт (30 дБм);
- Режим роботи: роутер, точка доступу, ретранслятор;
- Порти: 1x 10/100 Мбіт/с WAN, 4x 10/100 Мбіт/с LAN;
- Безпека: WPA/WPA2, SPI Firewall, MAC фільтрація [18].

**TP-Link Archer C7** - це потужний двохдіапазонний бездротовий маршрутизатор, який підтримує сучасний стандарт 802.11ac, забезпечуючи високу швидкість з'єднання та велику зону покриття. Він ідеально підходить для великих будинків та офісів, де потрібна стабільна та швидка мережа (рис 3.10) [19].



Рисунок 3.10 - TP-Link Archer C7 [19]

Характеристики:

- Частотні діапазони: 2.4 ГГц і 5 ГГц;
- Швидкість передачі даних: до 450 Мбіт/с на 2.4 ГГц і до 1300 Мбіт/с на 5 ГГц;

- Коефіцієнт посилення антени: 5 дБі;
- Потужність передатчика: до 23 дБм (200 мВт);
- Порти: 1x Gigabit WAN, 4x Gigabit LAN;
- Додаткові можливості: Підтримка USB-порту для обміну файлами, гостьова мережа, підтримка Tether App для легкого налаштування та управління [19].

### **3.4 Висновки до 3 розділу**

1. Створена модель офісу дозволяє детально аналізувати електромагнітну обстановку, враховуючи розташування мультимедійної апаратури. Важливість матеріалів стін, дверей та вікон підтверджена їх впливом на поширення Wi-Fi сигналу, що враховано при моделюванні.

2. В моделі розташовано мультимедійну апаратуру, яка забезпечує якісну роботу в умовах офісу завдяки використанню сучасних технологій та високих характеристик.

3. Використання Wi-Fi маршрутизаторів TP-Link TL-WR941HP та Archer C7 забезпечує стабільне інтернет-з'єднання та ефективне керування мережею в умовах офісу.

## 4. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ В РОЗРОБЛЕНІЙ МОДЕЛІ ОФІСУ

### 4.1 Опис програми Ekahau Site Survey

Ekahau Site Survey - це професійне програмне забезпечення для проведення Wi-Fi досліджень, планування та оптимізації бездротових мереж. Програма дозволяє виконувати всебічний аналіз Wi-Fi мереж, створювати точні плани розгортання, виявляти проблеми продуктивності та забезпечувати їх оптимальну роботу. Ekahau Site Survey підходить для будь-яких середовищ, включаючи офісні будівлі, складські приміщення, великі публічні місця та інші простори [20].

Характеристики програми:

- Легке збирання даних для аналізу продуктивності мережі.
- Типи досліджень: Пасивні, активні, безперервні, GPS-навігація та режим «Автопілот».
- Виявлення інтерференцій та аналіз радіочастот.
- Програма автоматично визначає місця розташування точок доступу.
- Детальна інформація про точки доступу: Включає дані про канал, швидкість передачі даних, виробника, тип шифрування тощо.
- Підтримка різних стандартів Wi-Fi: 802.11a/b/g/n/ac/ax (Wi-Fi 6E та попередні покоління).
- Генерація звітів у форматах PDF, HTML та ODT (Microsoft Word) [20].

Головна причина, чому важливо інспектувати та профілювати бездротові мережі, полягає в необхідності передбачити розповсюдження радіохвиль в приміщеннях перед їх встановленням, особливо в закритих просторах. На практиці неможливо врахувати всі чинники, що можуть вплинути на продуктивність і якість роботи Wi-Fi мережі, без використання спеціалізованого програмного забезпечення.

Раптові зміни в навколишньому середовищі, наприклад, підключення ноутбука зі старим адаптером 802.11g, можуть суттєво вплинути на продуктивність мережі. З урахуванням широкого поширення пристроїв, що використовують Wi-Fi та Bluetooth, їх вплив на мережу стає ще більш значним.

Перед встановленням точок доступу необхідно провести інспекцію для підтвердження працездатності запланованої мережі. Тимчасове розміщення точок доступу і швидка оцінка їхньої продуктивності дозволяють інженерам оптимізувати розташування, визначити потрібну кількість та типи точок доступу, а також уникнути зон зі слабким прийомом сигналу.

Після встановлення точок доступу проводиться повне профілювання мережі для підтвердження, що її продуктивність і зона покриття відповідають запланованим вимогам.

Для підтримки високої продуктивності та широкого покриття мережі необхідні регулярні перевірки. Вплив нових користувачів, нового обладнання, розширення зони покриття та сусідніх бездротових мереж може негативно впливати на роботу Wi-Fi мережі, тому такі перевірки повинні проводитися регулярно.

Зовнішній вигляд інтерфейсу програми показано на рис. 4.1.

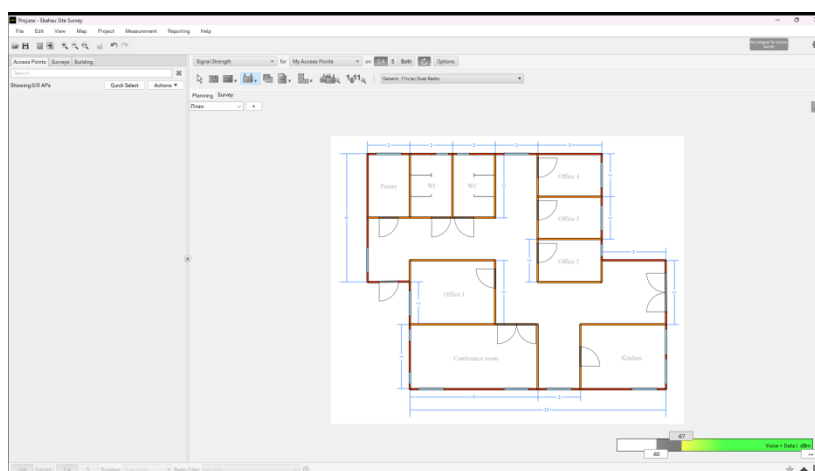


Рисунок 4.1 – Інтерфейс Ekahau Site Survey

## 4.2 Процес моделювання Ekahau Site Survey



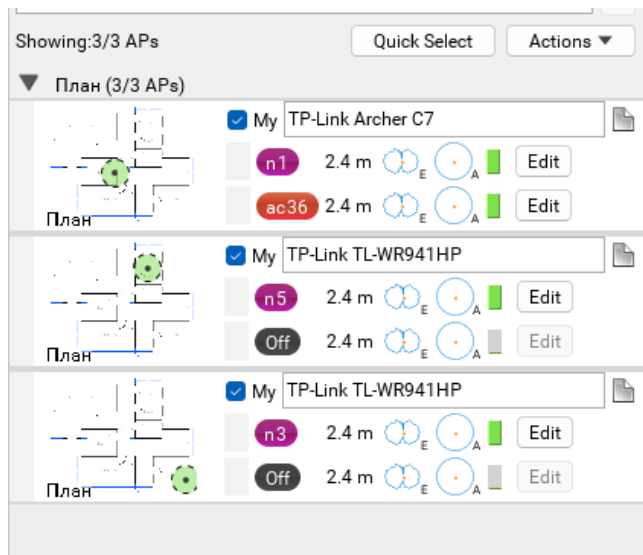


Рисунок 4.3 – Налаштування роутерів

### 4.3 Аналіз результатів

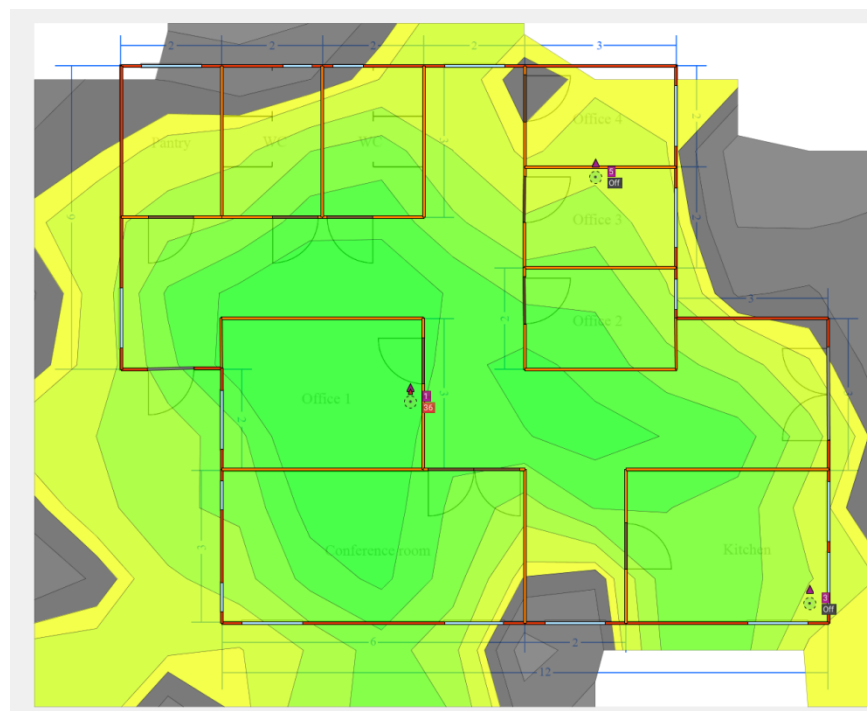


Рисунок 4.4 – Рівень сигналу на частоті 5 ГГц



Рисунок 4.5 – Рівень сигналу на частоті 2,4 ГГц

Опираючись на рисунки, зазначені вище, офіс має практично все Wi-Fi покриття на частоті 2,4 ГГц. Найслабший сигнал – у коморі, найвіддаленішій точці офісу, проте ці зони далеко не обов’язкові для покриття. На частоті 5 ГГц сигнал задовільний для того, щоб розміщені поруч мультимедіа пристрої типу інтерактивної дошки, проектори або навіть комп’ютери, мали зв’язок між собою і передавали дещо великі об’єми інформації (зображення та аудіо).

Встановимо режим перегляду – рівень сигнал/завади. Рівні **50 дБ** і вище відображаються темно-зеленим.

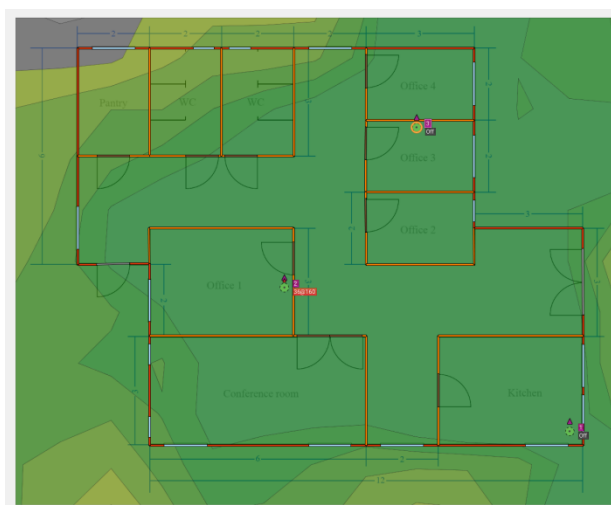


Рисунок 4.6 – Рівень сигнал/завада на 2,4 ГГц

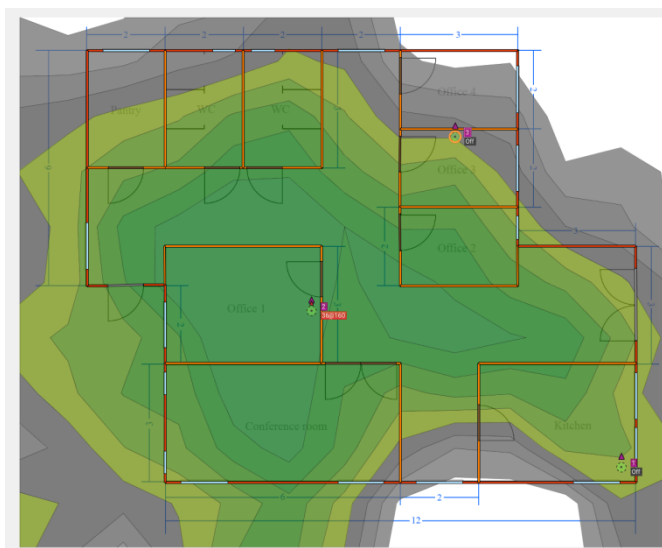


Рисунок 4.7 – Рівень сигнал/завада на частоті 5 ГГц

Результат рівня/завади є незадовільним, навіть після зміни каналів у налаштуваннях роутерів, що свідчить про занадто близьке розташування роутерів, або їх перенасичення в офісі. Номери каналів вказані на рисунках вище.

Зробимо моделювання рівня шуму, зображено на рисунку 4.8.

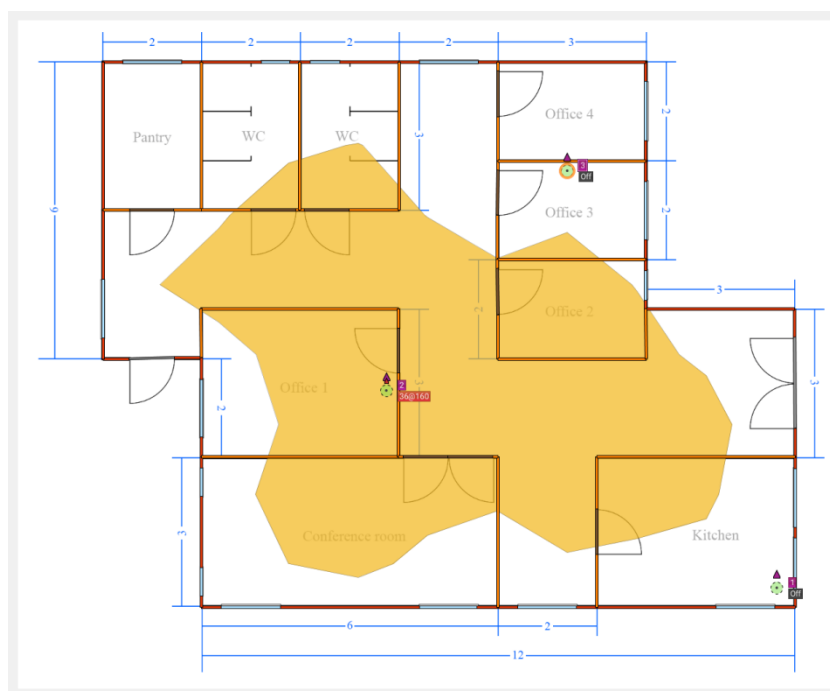


Рисунок 4.8 – Рівень шуму

#### **4.4 Висновки до 4 розділу**

1. Програма Ekahau Site Survey дозволила ефективно проаналізувати та спланувати бездротову мережу в моделі офісу. Вона забезпечила детальне дослідження рівня сигналу та інтерференцій.

2. Проведений аналіз показав, що на частоті 2.4 ГГц мережа має майже повне покриття, за винятком кількох віддалених зон, що не критичні для основної роботи. На частоті 5 ГГц сигнал є достатньо сильним для підтримки мультимедійних пристроїв, що використовують великі об'єми даних.

## ВИСНОВКИ

1. Дослідження підтвердило, що забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) мультимедійної апаратури в офісних умовах є критично важливим завданням. Використання спеціалізованого програмного забезпечення, такого як Ekahau Site Survey, дозволяє точно моделювати та аналізувати електромагнітну обстановку, визначаючи зони можливих перешкод та оптимальні місця для розміщення обладнання.

2. Встановлення точок доступу Wi-Fi та мультимедійної апаратури згідно з результатами аналізу дозволяє досягти стабільного і якісного покриття всієї площі офісу. Особливо важливим є правильне розташування точок доступу, щоб уникнути зон з поганим прийомом сигналу та мінімізувати вплив інтерференцій.

3. Аналіз показав, що матеріали, з яких виготовлені стіни, двері та вікна офісу, значно впливають на поширення Wi-Fi сигналу. Використання даних про втрати сигналу при проходженні через різні матеріали дозволило точніше моделювати електромагнітну обстановку і оптимізувати мережу.

4. Робота продемонструвала важливість комплексного підходу до забезпечення електромагнітної сумісності в офісних приміщеннях з використанням сучасних методів та інструментів для аналізу та оптимізації бездротових мереж.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. Лазебний В. С., Пілінський В. В., Швайченко В. Б. Електромагнітна сумісність електронних засобів, 2023. [Електронний ресурс] - <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57278> - (дата звернення: 16.05.2024).
2. ДСТУ EN 61000-2-4:2017. Електромагнітна сумісність (ЕМС). Частина 2-4. Електромагнітна обстановка. Рівні сумісності щодо низькочастотних кондуктивних завад для промислових підприємств [Електронний ресурс] - [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=75936](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=75936) - (дата звернення: 20.05.2024).
3. Лекція 9. Електромагнітна сумісність і вплив на неї якості електричної енергії [Електронний ресурс] - <https://org2.knuba.edu.ua/mod/book/view.php?id=30903&chapterid=420> - (дата звернення: 16.05.2024).
4. Рой В. Ф., ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. Електромагнітна сумісність у системах електроспоживання: Конспект лекцій, 2018. с. 8-20. [Електронний ресурс] - <https://eprints.kname.edu.ua/48989/1/2018%20печат.%20134Л%20КОНСПЕКТ%20ЕМС.doc.pdf> - (дата звернення: 16.05.2024).
5. Причини і шляхи виникнення електромагнітних завад [Електронний ресурс] - <https://studfile.net/preview/5368664/page:3/> - (дата звернення: 17.05.2024).
6. Технічне забезпечення ЕМС [Електронний ресурс] - [https://org2.knuba.edu.ua/mod/book/view.php?id=30910&chapterid=427#mod\\_book-chapter](https://org2.knuba.edu.ua/mod/book/view.php?id=30910&chapterid=427#mod_book-chapter) - (дата звернення: 17.05.2024).
7. Хмельницький Є. Д. Конспект лекцій з дисципліни «Електромагнітна сумісність джерел живлення і навантаження» [Електронний ресурс] - <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/30/6-30-k155.pdf> - (дата звернення: 18.05.2024).

8. Keenetic. Коефіцієнти ослаблення сигналу Wi-Fi при проходженні через різні матеріали. [Електронний ресурс]. – <https://help.keenetic.com/hc/en-us/articles/213968869-Wi-Fi-signal-attenuation-coefficients-when-passing-through-different-materials> (дата звернення 25.05.2024)
9. Тривита. Дім із цегли: в яку товщину цегли будувати. [Електронний ресурс]. – <https://trivita.ua/ua/blog/dom-yz-kyrpycha-v-kakuiu-tolshtchynu-kyrpycha-stroyt> (дата звернення 25.05.2024)
10. Architectural Digest. Вартість подвійних вікон. [Електронний ресурс]. – <https://www.architecturaldigest.com/reviews/windows/double-pane-windows-cost> (дата звернення 25.05.2024)
11. APC. Двері металеві Міністерство дверей PU-179 дуб графіт, 96x205 см, ліві. [Електронний ресурс]. – <https://ars.ua/dveri-metalevi-ministerstvo-dverej-pu-179-dub-grifel-96-205-sm-livi.html> (дата звернення 25.05.2024)
12. PC Дом. Дерев'яні двері SD-04, натуральна сосна. [Електронний ресурс]. – <https://rsdom.com.ua/kupit-mejkomnatnie-dveri/derevyannaya-dver-sd-04-naturalnaya-sosna.html> (дата звернення 25.05.2024)
13. TP-Link. Панорамна та нахильна домашня Wi-Fi камера безпеки Тапо С200. [Електронний ресурс]. – <https://www.tp-link.com/uk-ua/home-networking/cloud-camera/tapo-c200/> (дата звернення 25.05.2024)
14. Epson. Бездротовий Full HD 3LCD проектор Epson EB-1795F. [Електронний ресурс]. – <https://www.epson.com.ph/Projectors/Epson-EB-1795F-Wireless-Full-HD-3LCD-Projector/p/V11H796052> (дата звернення 25.05.2024)
15. B&N Photo Video. Інтерактивна дошка DTEN D7 55" All-In-One. [Електронний ресурс]. – [https://www.bhphotovideo.com/c/product/1706922-REG/dten\\_db50455e\\_d7\\_55\\_all\\_in\\_one\\_conferencing.html](https://www.bhphotovideo.com/c/product/1706922-REG/dten_db50455e_d7_55_all_in_one_conferencing.html) (дата звернення 25.05.2024)

16. HighSpeedInternet. Що таке роутер? [Електронний ресурс]. – <https://www.highspeedinternet.com/resources/what-is-a-router> (дата доступу 25.05.2024)
17. Optimum. Чи потрібні модем і роутер? [Електронний ресурс]. – <https://www.optimum.com/articles/internet/do-i-need-modem-and-router> (дата звернення 25.05.2024)
18. TP-Link. 450Mbps High Power Wireless N Router TL-WR941HP. [Електронний ресурс]. – <https://www.tp-link.com/in/home-networking/high-power-router/tl-wr941hp/> (дата звернення 25.05.2024)
19. TP-Link. Archer C7 AC1750 Wireless Dual Band Gigabit Router. [Електронний ресурс]. – <https://www.tp-link.com/us/home-networking/wifi-router/archer-c7/> (дата звернення 25.05.2024)
20. Ekahau. Ekahau Site Survey. [Електронний ресурс]. – <https://www.ekahau.com/products/wifi-site-survey> (дата звернення 27.05.2024)