

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

«На правах рукопису»  
УДК 621.3.09

До захисту допущено:

В.о. зав. кафедри

 Євгеній НЕЛІН

«17» листопада 2020 р.

**Магістерська дисертація**

на здобуття ступеня магістра

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

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Електромагнітна сумісність в системі «розумний дім»»

Виконав

студент 2 курсу, групи РІ-91мп  
Кубай Вадим Сергійович

Керівник:

Професор, д.т.н. Зіньковський Юрій Францевич

Рецензент:

Доцент, к.т.н. каф. РТІС Піддубний Володимир  
Олексійович

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

Студент 

Київ – 2020 року

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

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

 Євгеній НЕЛІН

«02» вересня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студента**  
**Кубая Вадима Сергійовича**

1. Тема дисертації «Електромагнітна сумісність в системі «розумний дім», науковий керівник дисертації Зіньковський Юрій Францевич, професор, д.т.н.

Затверджена наказом по університету від «5» листопада 2020 р. №3223-с

2. Термін подання студентом дисертації 11 грудня 2020 року

3. Об'єкт дослідження електромагнітна сумісність в системі «розумний дім»

4. Вихідні дані. Система типу KNX «розумний дім» складається з набору електричних пристроїв, що включає в себе давачі температури, вологості, руху і ін., виконавчі та системні пристрої, кабелі енергетичні та інформаційні, які здатні спотворювати функціональні характеристики системи, в зв'язку з цим вся система повинна бути забезпечена необхідним рівнем сумісності.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

1. Провести аналітичний огляд джерел інформації. 2. Провести аналіз моделі системи «розумний дім» 3. Провести дослідження характеристик заводової обстановки. 4. Розробити заходи щодо забезпечення електромагнітної сумісності. 5. Проаналізувати результати розрахунків екранування кабельних ліній. 6. Зробити висновки за отриманими результатами.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

Електронна презентація, що включає графічний матеріал в кількості 15 слайдів.

7. Орієнтовний перелік публікацій — наукова доповідь на IX міжнародній науково-технічній конференції "Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи".

9. Дата видачі завдання 02 вересня 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналітичний огляд джерел інформації	02.09.2020-08.09.2020	Виконано
2	Аналіз моделі системи «розумний дім»	09.09.2020-16.09.2020	Виконано
3	Написання розділу 1	17.09.2020-24.09.2020	Виконано
4	Написання розділу 2	25.09.2020-14.10.2020	Виконао
5	Написання розділу 3	15.10.2020-31.10.2020	Виконано
6	Висновки за МД, підготовка презентації	01.11.2020-21.11.2020	Виконано
7	Розроблення стартап-проекту	21.11.2020-30.11.2020	Виконано
8	Захист дисертації	18.12.2020	Виконано

Студент

Вадим КУБАЙ

Науковий керівник

Юрій ЗІНЬКОВСЬКИЙ

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до магістерської дисертації**

На тему «Електромагнітна сумісність в системі «розумний дім»

Київ -2020

## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки магістерської дисертації становить 88 сторінок, які включають в себе 4 розділи, 28 ілюстрацій, 23 таблиць, 1 додаток, 25 бібліографічних найменування за переліком джерел посилань.

**Ключові слова:** РОЗУМНИЙ ДІМ, СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ БУДИНКАМИ KNX, ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ, ЕКРАНУВАННЯ, ЗАЗЕМЛЕННЯ.

**Актуальність теми:** методи забезпечення електромагнітної сумісності в сучасних системах автоматизації та управління будинками є важливим аспектом належного функціонування їх електронних пристроїв.

**Мета дослідження:** визначення основних джерел завадової обстановки та розроблення заходів забезпечення електромагнітної сумісності для системи «розумний дім».

**Об'єкт дослідження:** електромагнітна сумісність в системі «розумний дім».

**Предмет дослідження:** методи забезпечення електромагнітної сумісності.

**Наукова новизна отриманих результатів:** наукова новизна полягає в аналізі електромагнітної обстановки в системі «розумний дім», в тому числі дослідження електромагнітних завод, забезпечення необхідного рівня екранування та розробка контуру заземлення.

**Публікації:**

Кубай В.С. Електромагнітна сумісність системи автоматизації і управління будинками KNX: матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференція "Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи".— Київ, 2020. — с. 42 – 46.

## ABSTRACT

The volume of the explanatory note of the master's dissertation consists of 88 pages, which include 4 chapters, 28 illustrations, 23 tables, 1 appendix, 25 bibliographic titles in the reference list.

**Keywords:** SMART HOUSE, AUTOMATION SYSTEM AND HOUSE MANAGEMENT KNX, ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, SCREENING, EARTHING.

**Relevance of the topic:** methods of ensuring electromagnetic compatibility in modern systems of automation and control of buildings are an important task for the proper functioning of electronic devices.

**Research purpose:** identification of the main sources of interference and development of methods to ensure electromagnetic compatibility for the system "smart home".

**Object of research:** electromagnetic compatibility of the "smart home" system.

**Subject of research:** methods of ensuring electromagnetic compatibility.

**Scientific novelty:** scientific novelty is the analysis of the electromagnetic situation in the system "smart home", including the study of electromagnetic interference, increasing the level of shielding and the development of the grounding circuit.

**Publications:**

Кубай В.С. Електромагнітна сумісність системи автоматизації і управління будинками KNX: матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференція "Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи".— Київ, 2020. — с. 42 – 46.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	6
Вступ.....	7
Електронні системи концепції «Розумний дім».....	8
1.1 Загальні дані.....	8
1.2 Пристрої.....	9
1.2.1 Сенсори (давачі).....	9
1.2.2 Виконавчі пристрої.....	10
1.2.3 Системні пристрої.....	10
1.3 Середовища передачі даних.....	12
1.3.1 Інформаційний мережа.....	12
1.3.2 Силова мережа.....	14
1.3.3 IP мережа.....	15
1.3.4 Радіоканал.....	15
2 Характеристика заводової обстановки системи «Розумний дім».....	19
2.1 Джерела завад, їх характеристики.....	19
2.1.1 Пристрої-джерела і рецептори електромагнітних індустриальних радіозавад.....	19
2.1.2 Властивості сприйняття і випромінювання радіозавад пристроями ...	23
2.1.3 Навколишня електромагнітна обстановка.....	26
2.1.4 Допустимі норми випромінювання радіозавад.....	28
3 Забезпечення необхідного рівня електромагнітної сумісності в системі «розумний дім».....	34
3.1 Екранування.....	34
3.1.1 Принципи екранування.....	34
3.1.2 Циліндричний екран.....	40

3.1.3	Розрахунок циліндричного екрану для силового кабелю на промислових частотах 50 і 400 Гц.....	49
3.1.4	Розрахунок циліндричного екрану для силової лінії на частоті передачі сигналу 115 кГц .....	51
3.1.5	Розрахунок циліндричного екрану для інформаційного кабелю.....	53
3.2	Заземлення .....	56
3.2.1	Сигнальні землі .....	56
3.2.2	Практичні схеми низькочастотного заземлення.....	61
4	Розроблення стартап-проекту .....	65
4.1	Опис ідеї.....	65
4.2	Технологічний аудит ідеї проекту.....	66
4.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту .....	67
4.4	Розробка ринкової стратегії проекту.....	72
4.5	Розробка маркетингової програми стартап проекту.....	75
	Висновки .....	78
	Перелік джерел посилань .....	80
	Додаток А.....	77

Кубай В.С.

РІОІМП, 2020



## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

EMC — електромагнітна сумісність.

PEA — радіоелектронна апаратура.

PEЗ — радіоелектронний засіб.

KNX — міжнародний стандарт для систем «розумний дім».

СРД — система «розумний дім».

KNX TP — середовище передачі даних по інформаційному кабелю.

KNX IP — середовище передачі даних через Ethernet.

KNX PL — середовище передачі даних по силовому кабелю.

KNX RF — середовище передачі даних по радіоканалу.

Кубай В.С. РІ-91МП, 2020

## ВСТУП

Сучасні пристрої автоматизації мають тенденцію до ускладнення. Завадове середовище погіршується внаслідок технічно недосконалого функціонування апаратури, яке супроводжується непередбаченими електромагнітними випромінюваннями, збільшенням фону індустриальних радіозавод у навколишньому середовищі. Одночасно кількість, складність і чутливість радіозасобів, що знаходяться в постійній експлуатації, неухильно підвищується.

Це, в першу чергу, відноситься до рецепторів системи «розумного дому». Завади знижують показники надійності та якості радіоелектронних засобів (РЕЗ), викликають загальне погіршення вхідного сигналу (поготів вихідного сигналу). Виникає необхідність кількісно оцінювати, як впливають завади на апаратуру, якими методами можна зменшити, нейтралізувати чи взагалі позбавитись від їх завадної дії.

Основною метою дослідження є аналіз умов електромагнітної сумісності (ЕМС) між радіоелектронними засобами системи «розумний дім» та побутовими пристроями і навколишньою обстановкою для їх сумісного функціонування, що безпосередньо впливає на забезпечення належного рівня управління та автоматизації.

Робота є актуальною у зв'язку з підвищенням уваги до систем автоматизації та управлінням та розробленням нещодавно в країні державних будівничих норм щодо АСМУ( автоматизована системи моніторингу та управління). Система KNX, яка досліджується в якості системи «розумний дім», набула поширення в світі та Україні впродовж останніх декількох років у зв'язку з її високою економічною та енергетичною ефективністю.

## ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ КОНЦЕПЦІЇ «РОЗУМНИЙ ДІМ»

Для дослідження системи «розумний дім» використано модель, побудовану на міжнародному стандарті KNX, яка включає в себе такі пристрої та середовища передачі інформації.

### 1.1 Загальні дані

KNX — відкритий комерційний міжнародний стандарт для автоматизації та управління будинками.

Високі вимоги, що пред'являються в наш час до безпеки, гнучкості і комфортності встановленого електрообладнання, в поєднанні з прагненням мінімізувати вартість енергоспоживання призвели до того, що вже на початку 90-х років була розроблена системна техніка для автоматизації будівель на базі Європейської інсталяційної шини (EIB).

Об'єднання асоціацій EIBA, Batibus і EHSА в асоціацію KNX створило необхідні передумови для розробки першого міжнародного відкритого стандарту в області інтелектуальної автоматизації будівель і домів — стандарту KNX, який визнаний в якості європейського (CENELEC EN 50090 і CEN EN 13321-1) і міжнародного (ISO / IEC 14543-3) стандарту.

Підключені до шини (мережі) абоненти (пристрої) можуть обмінюватися інформацією через загальний канал передачі або шину. При цьому підлягає передачі інформація, яка упаковується в телеграму та передається по кабелю від давача (сенсора — відправника команди) до одного або кількох виконавчих механізмів. При успішній передачі та прийомі кожного пристрою, приймач підтверджує проходження телеграм (інформації). При відсутності підтвердження передача повторюється ще три рази. Якщо і після цього підтвердження відсутнє, то процес передачі закінчується. Тому протокол EIB не є "промисловим", його можна застосовувати у побутових цілях з безпекою для людей [1].

## 1.2 Пристрої

Основними типами пристроїв, що використані в даній системі автоматизації та управління домами KNX є сенсори (давачі), виконавчі пристрої (актуатори) та системні пристрої.

### 1.2.1 Сенсори (давачі)

Сенсори (давачі) являють собою сенсорні настінні панелі і вимикачі з вбудованими або окремо існуючими давачами фізичних величин — температури, вологості і ін.; давачами руху, таймерами та іншими (рис.1.1). Вони відповідають за фіксування (реєстрацію) тих чи інших зовнішніх подій, настання яких викликає певну реакцію системи. Після настання такої події (натискання кнопки, перевищення температурою порогового значення і т.д.) сенсор посилає по мережі керуючу команду відповідному виконавчому пристрою.



Рисунок 1.1 — Сенсорний вимикач Zennio Z41 Pro

В даній моделі «розумний дім» використаний сенсорний вимикач з вбудованими давачами присутності та температури Zennio Z41 Pro [2].

### 1.2.2 Виконавчі пристрої

Виконавчі пристрої (актуатори, перетворювачі, суміжні модульні системи) являють собою пристрої для регулювання освітлення (диммери), релейні модулі з вбудованим ЕОМ та семисторами; модулі управління жалюзі та інші (рис.1.2). Вони змінюють свій стан (включено-виключено, відкрито-закрито і т. д.) відповідно до команд, які надходять від сенсорів, тим самим керуючи різним електроустаткуванням.



Рисунок 1.2 — Виконавчий пристрій Zennio MAXinBOX 16v3

В даній моделі «розумний дім» використано універсальний виконавчий пристрій для керування освітленням, жалюзі, фанкойлами та з релейними виходами типу Zennio MAXinBOX 16v3 [3].

### 1.2.3 Системні пристрої

Системні пристрої забезпечують можливість працездатності та налаштувань мережі KNX. До них віднесемо блоки живлення шини KNX, інтерфейсні модулі, та лінійні з'єднувачі.

Блоки живлення шини KNX формують і контролюють системну напругу, необхідну для живлення інсталяції KNX TP. Для живлення підключених шинних пристроїв кожна лінія має свій власний блок живлення. Блок живлення забезпечує

стабілізовану напругу і має захист від замикань в лінії. При зникненні первинного живлення блок живлення здатний підтримувати робочу напругу в шині за час мінімум до 100 мс.

Для надійної роботи шинні пристрої потребують напруги живлення не нижче 21 В.

В системі можуть використовуватися блоки живлення з різними значеннями вихідного струму (160 мА, 320 мА, 640 мА, 1280 мА).

Деякі блоки живлення мають вбудований дросель, а деякі вимагають наявності додаткового зовнішнього дроселя.

В даній моделі «розумний дім» використано блок живлення для інформаційної шини з вбудованим дроселем Zennio ZPS-640HIC230 (рис.1.3) [4].

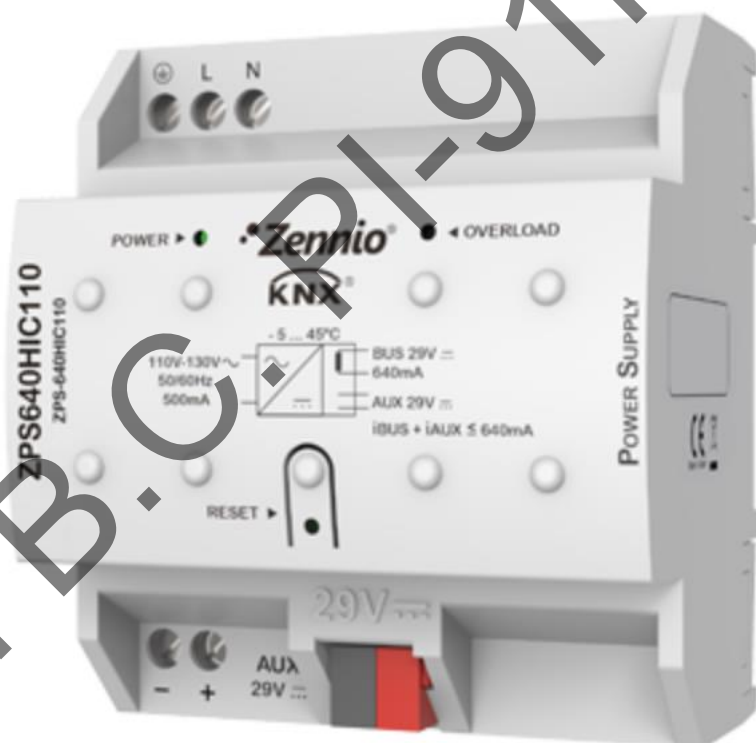


Рисунок 1.3 — Блок живлення шини KNX Zennio ZPS-640HIC230

Для запобігання статичних зарядів блок живлення має резистори в ланцюзі заземлення з великим опором, які пов'язують кожен жилу шини із заземленням. Блок живлення повинен бути заземлений для забезпечення електромагнітної сумісності.

Для цього необхідно підключити точку заземлення низьковольтної інсталяції до блока живлення.

### 1.3 Середовища передачі даних

Для передачі даних між пристроями системи автоматизації існує 4 основних середовища передачі даних, які відрізняються, в основному, частотою передачі сигналу. Проте, в даній моделі системи «розумний дім» використовується тільки інформаційна та силова мережі, а IP та радіоканал є резервними.

#### 1.3.1 Інформаційний мережа

Одним з основних середовищ передачі даних між пристроями являється шинний інформаційний кабель типу UNITRONIC BUS EIB 2x2x0.8 (Рис.1.6). Даний виріб являє собою кручену пару з чотирьох мідних провідників, товщиною 0,8 мм кожний, покритих шаром діелектрика з полівінілхлориду та алюмінієвим екраном товщиною 0,1 мм [5].

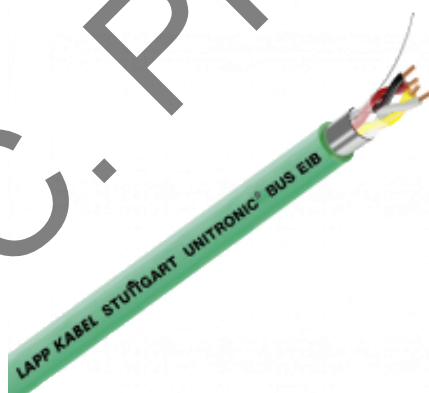


Рисунок 1.6 — Інформаційний шинний кабель UNITRONIC BUS EIB 2x2x0.8

На рис.1.7 показано елементарну модель зв'язку пристроїв автоматизації між собою, де зеленою лінією позначено інформаційну шинну лінію, а червоною силовою. Вона сполучає між собою сенсори, актуатори і блок живлення шини KNX. Дана інформаційна лінія служить для обміну даними і для забезпечення додатковою напругою.

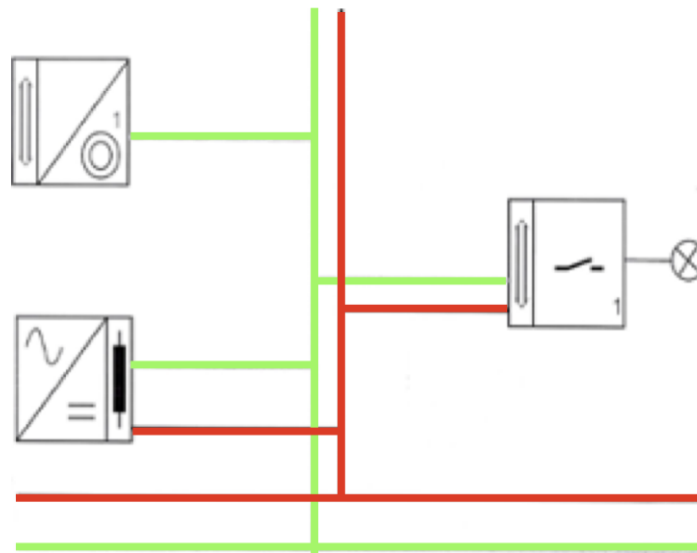


Рисунок 1.7 — Приклад мінімізованої структури істаляції KNX TP

Переданий по шині сигнал (рис. 1.8) з частотою 9,6 кГц може згасати через електромагнітну несумісність, а саме від впливу, в основному, паралельно прокладених силових та інформаційних ліній, індустриальних та інших завод.

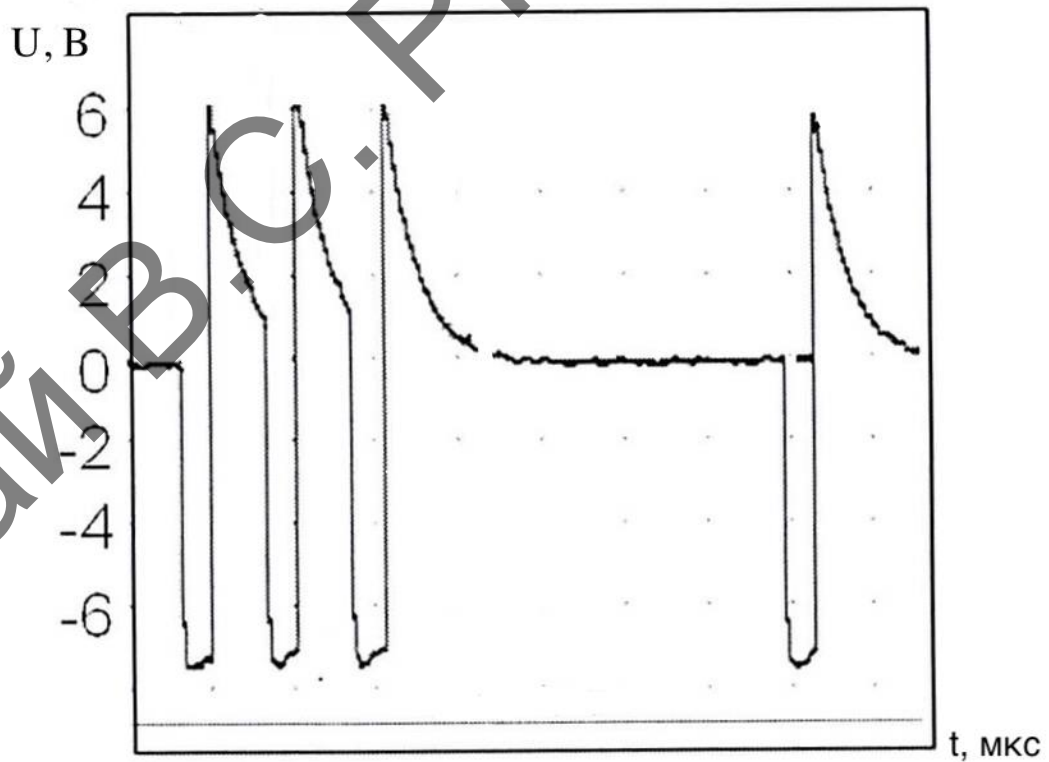


Рисунок 1.8 — Сигнал передачі по KNX TP



Щоб не зважати на ці завади та гарантувати надійну передачу даних, варто провести дослідження ефективності екранування інформаційної лінії.

### 1.3.2 Силова мережа

При неможливості прокладання додаткової інформаційної кабельної лінії використовується існуюча силова кабельна лінія, при цьому необхідно застосувати відповідний з'єднувач (рис. 1.9).

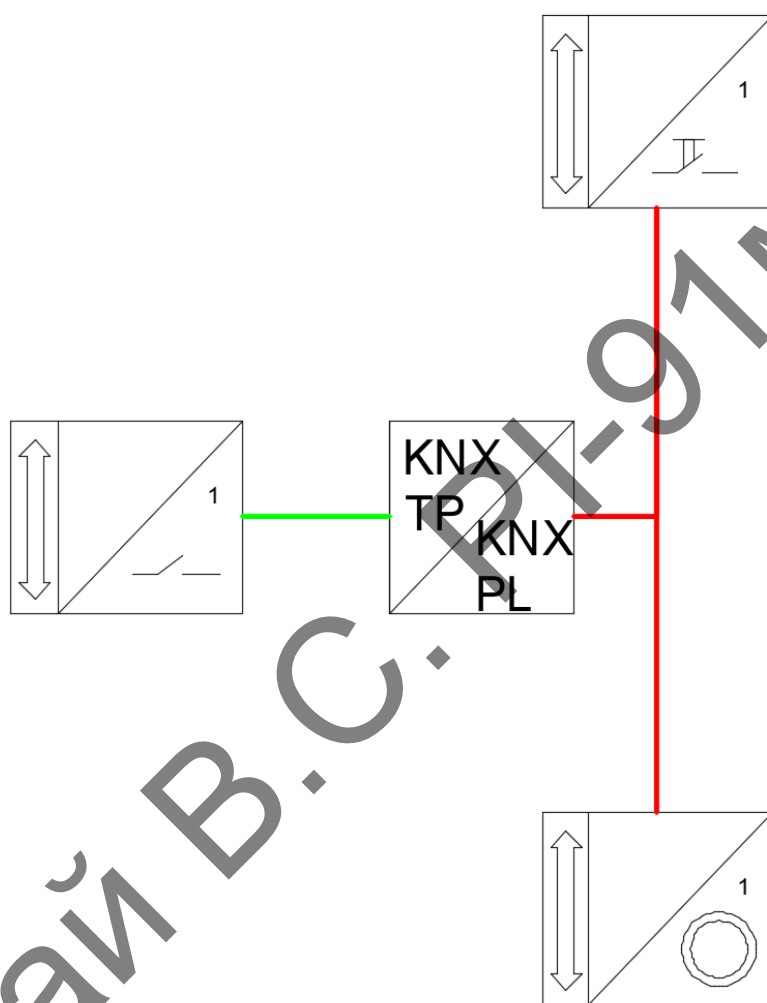


Рисунок 1.9 — Схема передачі по KNX PL

KNX PL працює на частоті 115 кГц зі швидкість передачі даних 1200 б/с.

Для прокладання силових кабельних ліній використаний кабель, пожежебезпечний з низьким димовиділенням типу ВВГнгд. Він не має захисного екрану, тому постає проблема розрахунку товщини екрану та матеріалу з якого його доцільно виготовляти, враховуючи властивості екрану та економічний фактор.

### 1.3.3 IP мережа

Важливою причиною передачі даних через IP являється підвищене навантаження на шину TP, яке може виникнути, коли користувач застосовує програми візуалізації і пристрої з великим числом каналів, кожний з яких автоматично повертає декілька підтверджених станів. Інформаційна кабельна лінія буде перевантажена, так як швидкість передачі даних по цій лінії обмежена 9600 б/с. Типова схема передачі інформації між пристрої автоматизації через мережу IP показана на рис.1.10.

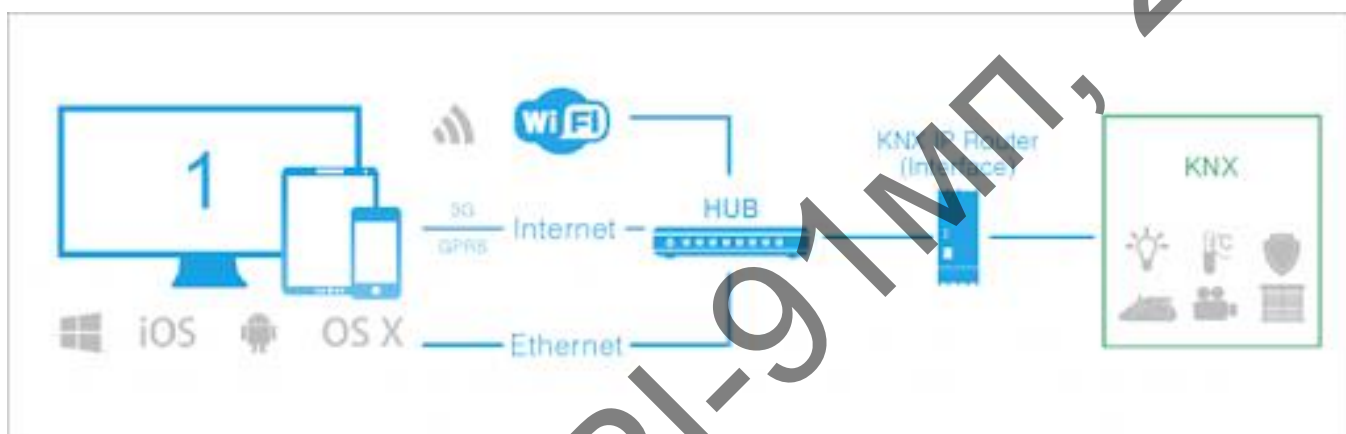


Рисунок 1.10 — Схема передачі даних по KNX IP

В такому випадку можна легко використовувати IP мережу в якості заміни електричним або інформаційним лініям, використовуючи відповідний системний з'єднувач KNX IP Router (interface) типу ZSYIPCL [6].

### 1.3.4 Радіоканал

KNX RF забезпечує бездротову передачу сигналу (рис.1.11). Тому не потрібно встановлювати окремий шинний кабель. KNX RF цікавий в разі, якщо необхідно розширити існуючу установку TP і в жодних інших випадках кабельні лінії не можуть бути встановлені через місцеві будівельні норми, естетичні міркування і т.д.

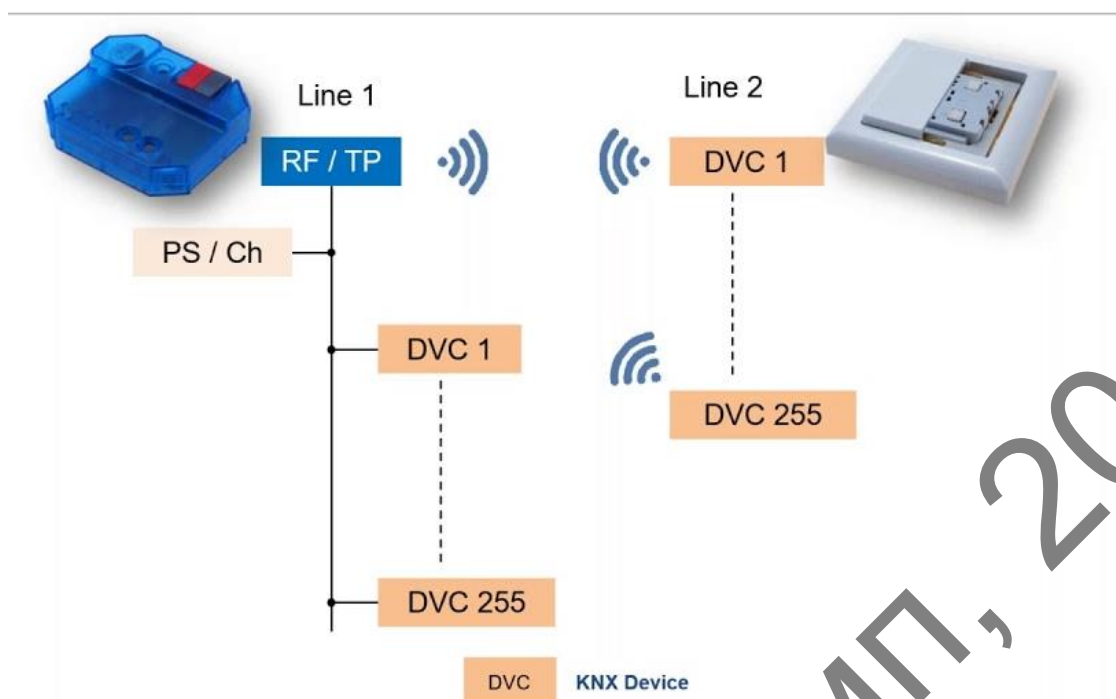


Рисунок 1.11 — Приклад передачі сигналу по KNX RF

На рис.1.11 позначено дві лінії, де на першій лінії може бути використаний шлюз для з'єднання середовищ передачі між TP і RF а на другій лінії позначено сенсор, що має вбудований приймач радіосигналу.

Зона дії компонентів KNX RF вказується, як зона на відкритому просторі, яка набагато більша, ніж відстань, досяжна в будівлі.

Через максимально допустимої потужності сигналу передачі і обмеженою енергією для передачі, яку мають пристрої, що працюють або від батареї, або без батареї (наприклад, від сонячної енергії) зона дії компонентів KNX RF становить близько 100 м.

Через безліч різних чинників на шляху від передавального пристрою до приймального радіочастотні сигнали слабшають (рис.1.12). Через це всередині будівель знижується розмір реальної робочої зони. KNX RF використовує частотний діапазон 868 МГц.

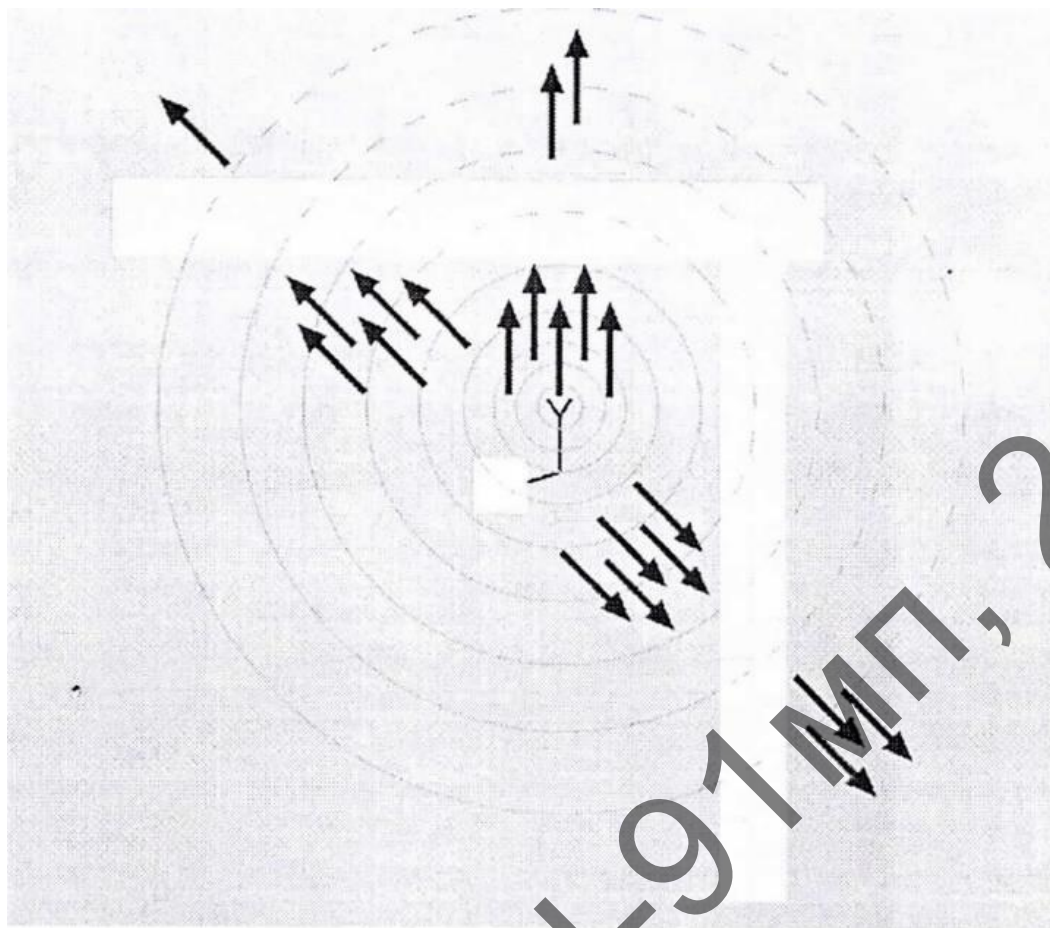


Рисунок 1.12 — Ослаблення сигналу передачі

Радіосигнали проходять через стіни, стелі і меблі, поступово слабшаючи і частково відбиваючись. Металеві предмети екранують або відображають радіосигнал, а за ними виникає зона відсутності сигналу, в якій прямий прийом сигналу неможливий.

Відображення можуть здійснювати як позитивний, так і негативний вплив. Позитивно позначаються відображення там, де неможливий прямий прийом сигналу. Негативний вплив відображень проявляється в тих випадках, коли в приймаючому радіопристроїві відбувається складання відбитого і прямого сигналів. Унаслідок різного часу проходження прямого і відбитого сигналів їх сумарний сигнал може бути слабкіше в порівнянні з сигналом отриманим безпосередньо [7].

Висновки за розділом

Прийнято за основу систему «розумний дім» модель системи автоматизації та управління будинками, що побудована на міжнародному стандарті KNX, що представляє собою інтегральний комплекс, що складається з системи датчика типу Zennio

Z41 Pro (що представляє собою сенсорну панель з вбудованими датчиками температури, вологості і руху), виконавчого пристрою типу MAXinBOX 16v3 (який має вбудовані семистори, що керують освітленням, жалюзі та фанкойлами), та системних пристроїв типу Zennio ZPS-640NIC230 (блок живлення шини KNX, з вихідним струмом 640 мА.)

Використані середовища передачі даних, побудовані на силових кабельних лініях типу ВВГнгд та інформаційних кабельних лініях, типу UNITRONIC BUS EIB 2x2x0.8, що являють собою джерела паразитних «напруг» з частотами 50 Гц, 115 кГц і 9,6 кГц відповідно.

Аналіз електромагнітної обстановки та зниження рівня паразитних полів до необхідних значень, що забезпечує нормальне функціонування системи, є важливим етапом по забезпеченню нормального функціонування системи.

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАВАДОВОЇ ОБСТАНОВКИ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ДІМ»

Важливим завданням для забезпечення електромагнітної сумісності системи «розумний дім» є дослідження джерел завад, їх характеристики, властивості сприйняття та випромінювання радіозавад пристроями, навколишня електромагнітна обстановка, а також аналіз допустимих норм випромінювання, цим проблемам присвячена цей розділ.

### 2.1 Джерела завад, їх характеристики

#### 2.1.1 Пристрої-джерела і рецентори електромагнітних індустриальних радіозавад.

Електричне або електронне обладнання створює випадкові електромагнітні промислові радіоперешкоди в смузі радіочастот (3 кГц ... 10 ГГц) (промислові радіоперешкоди не включають випромінювання, що генеруються антенними трактами радіопередавачів).

Відповідно до своїх функцій, пов'язаних з електричною енергією, пристрої-джерела промислових радіоперешкод можна розділити на чотири категорії: генератори, користувачі, перетворювачі та енергетичні канали.

Генератори, в свою чергу, поділяються на:

- Радіопередавачі;
- Промислові, наукові, медичні і побутові високочастотні пристрої;
- Пристрої, що мають двигун внутрішнього згоряння;
- Пристрої, що експлуатуються поза житловими будинками (бортова електромережа літальних апаратів, бортова електромережа пристроїв різного призначення і т.д.).

Користувачі, в свою чергу, поділяються на:

- Електротранспорт (наземний міський, залізничний, електроскутери, електроавтомобілі і т.д.);

— Пристрої, що використовуються у житлових будинках або підключаються до їх електромереж (апаратура для запису або відтворення інформації, переносні з приводом від електродвигунів, пристрої з приводом від електродвигунів і т.д.).

Перетворювачі поділяються на:

- Світильники з люмінесцентними лампами;
- Електричні підстанції;
- Радіоприймальні пристрої (приймачі радіолокаційного сигналу, телевізійні приймачі, радіомовні станції і т.д.).

До каналізаторів відносяться:

- Лінії електропередачі (інформаційні та силові кабельні лінії);
- Пристрої провідникового зв'язку.

Основними характеристиками промислових джерел радіоперешкод є напруженість поля, сила струму, напруга та потужність.

Специфікація промислових радіоперешкод — це допустиме значення напруги, напруженості поля, струму та перелічене значення промислових радіоперешкод, виражене у децибелах відповідно відносно  $1\text{ мкВ}$ ,  $1\text{ мкВ} / \text{м}$ ,  $1\text{ мкВт}$ , які встановлюються на статистичній основі та зазначені в нормативних актах.

Характеристики поширення радіоперешкод у навколишньому середовищі та електронному обладнанні залежать від коефіцієнта передачі промислових радіоперешкод  $K_n$ , котрий описує рівень загасання радіоперешкод на шляху поширення і дорівнює відношенню гармонічної напруги від сторонніх генераторів в електромережі джерела радіоперешкод до напруги, що генерується на вході приймача за певною схемою.

Сучасні електромагнітні та інформаційні методи захисту застосовуються не лише до радіостанцій РЕЗ, а й до їх електронних засобів (ЕЗ), таких як засоби цифрових технологій (ЦТЗ) для обчислювальної техніки та обробки сигналів, оскільки вони є не лише джерелом радіоперешкод, але й найбільш вразливими.

Оскільки ЦТЗ (комп'ютери) використовуються як компоненти для ефективного контролю перешкод у РЕЗ, необхідний уніфікований метод для реалізації та ор-

ганізації методів та технічних заходів для досягнення електромагнітної сумісності між РЕЗ та ЦТЗ.

Згідно з нормативно-правовими документами, технічними документами та іншими даними, РЕЗ, ЕОМ, інші електронні вироби та радіопродукція супроводжуються основним впливом на їх характеристики ЕМС. Основні впливи поділяються на дві категорії: ті, що дають визначення характеристики продукту, що випромінює і ті, що чутливі до радіовипромінювання.

Ефекти, що визначають властивості виробів випромінювати радіозавади поділяються на:

- Основні радіовипромінювання або радіоколювання РЕЗ;
- Небажані радіовипромінювання через радіоканал або антену;
- Радіовипромінювання і радіоколювання індустриальних радіозавод.

Радіовипромінювання і радіоколювання індустриальних радіозавод в свою чергу поділяється на:

- Індустриальні радіозавади РЕЗ (індустриальні радіозавод радіоприймальних пристроїв та індустриальні радіозавади радіопередавальних пристроїв);
- Індустриальні радіозавади ЦТЗ (поля завод від ЕОМ, симетрична і не симетрична завада від ЕОМ);
- Індустриальний радіозавод медичних і промислових пристроїв;
- Індустриальні радіозавод електротехнічних пристроїв (пристроїв з приводом двигуна, апаратури запису та відтворення інформації);
- Індустриальні радіозавади транспортних засобів (літаків, електротранспорту, автотранспорту).

Основне небажане випромінювання та радіоколювання здійснюються через антену або в фідері, тому, як параметри ЕМС, вони, в основному, є характеристиками РЕЗ (особливо радіопередавальних пристроїв). Небажані радіовипромінювання через радіоканал або антену в свою чергу поділяються на:

- Побічне радіовипромінювання або радіоколювання (Побічні ефекти включають випромінювання, що генерується в обладнанні радіопередачі



внаслідок будь-якого нелінійного процесу, відмінного від процесу модуляції (наприклад, нелінійність ВАХ активного елемента);

- Позасмугове радіовипромінювання або радіоколювання (це шкідливі радіовипромінювання від радіопередаючого обладнання поблизу необхідного діапазону радіочастот і є результатом модуляції сигналу);
- Шумове радіовипромінювання або радіоколювання (Це випромінювання радіопередавальної апаратури, яке спричинене шумом власних компонентів. Вони створюються шляхом модуляції несучої частоти шумом передавача).

Діапазон шумового випромінювання занадто широкий. Шумові випромінювання також існують в основній смузі випромінювання передавача, хоча вони не мають видимого впливу на якість корисного сигналу через їх низький рівень. Але вони можуть спричинити значні перешкоди для прилеглих радіостанцій поза основним діапазоном випромінювання. Випромінювання шуму має значний вплив на РЕЗ ЕМС. Отже, в діапазоні частот 225 ... 440 МГц шумові перешкоди становлять близько 30% від загальної кількості ситуацій взаємних перешкод. З метою обмеження шкідливих радіовипромінювань від радіопередаючого обладнання, що знизило б ефективність ЕМС, були введені стандарти щодо параметрів його компонентів (таких як високопотужні високочастотні транзистори) відповідно до стандартів ЕМС.

Просторові перешкоди — це електромагнітне поле в комп'ютері або комп'ютерному периферійному середовищі, утворене зовнішніми або власними джерелами перешкод. Залежно від складової напруженості електромагнітного поля перешкоди ця складова значно перевищує іншу, тому перешкоди електричного та магнітного полів будуть різними.

Залежно від характеру напруженості поля, що змінюється з часом, вони можуть бути як імпульсні, синусоїдальні та коливальні ослаблені шумові поля.

З кількісного боку, кондуктивні і просторові завади від обчислювальних машин характеризуються тими ж параметрами та рівнями їх значень, що й індустриальні радіозавади, як їх окремі види.

Параметр перешкод від комп'ютера є детермінованим значенням або статистичним значенням, яке представляє конкретне значення атрибута перешкод від комп'ютера.

Це значення може бути, наприклад, амплітудою напруги або струму імпульсу перешкод, тривалістю імпульсу або характеристиками послідовності перешкод імпульсів (середньою частотою послідовності перешкод імпульсів). Це значення може бути, наприклад, амплітудою напруги або струму імпульсу перешкод, тривалістю імпульсу або характеристиками послідовності перешкод імпульсів (середньою частотою послідовності перешкод імпульсів).

Рівень шуму визначається відношенням (вираженим у відносних або логарифмічних одиницях) значення параметру шуму комп'ютера та прийнятного контрольного значення [8].

### 2.1.2 Властивості сприйняття і випромінювання радіозавад пристроями

В основному класі параметрів ЕМС, які визначають властивості виробів сприймати радіозавади, виділяють три групи: параметри, які визначають властивості сприйнятливості до радіозавад радіопередавальних пристроїв, радіоприймальних пристроїв, допоміжного обладнання (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 — Параметри сприйнятливості до радіозавад ЕА

Класифікація			Номенклатура параметрів
Клас	Група	Вид	
1	2	3	4
Сприятливість радіопередавального пристрою (радіопередавача)	Сприятливість до електромагнітного поля, яке діє через антену і фідер		Напруга (струм), В(А). Частота, Гц

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
	Сприятливість до електромагнітного поля, яке діє окрім антени		Рівень сприйнятливості до електромагнітного поля, Вт/м <sup>2</sup> . Частота, Гц
	Сприятливість кіл живлення, керування, заземлення		Рівень сприйнятливості до напруги с(струму) В(А). Частота, Гц
Сприятливість радіоприймального пристрою	Сприятливість до електромагнітного поля, який діє через антену і фідер	Амплітудно-частотна характеристика радіоприймального пристрою	Чутливість, Вт, В, Вт/м <sup>2</sup> , В/м. Частота, Гц Коефіцієнт шуму. Ширина основного каналу приймання, Гц. Ширина смуги пропускання радіоприймача на рівні X, дБ, Гц. Коефіцієнт прямокутна сті основного каналу приймання
		Характеристика частотної вибірковості за побічними каналами приймання	Рівень сприйнятливості за побічним каналом приймання, Вт, В, Вт/м <sup>2</sup> , В/м, частота, Гц. Коефіцієнт проникнення за побічним каналом приймання. Динамічний діапазон за побічним каналом приймання, дБ

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
		Характеристика частотної вибірковості за блокуванням	Рівень сприйнятливості за блокуванням, Вт, В, Вт/м <sup>2</sup> , В/м. Частота, Гц. Коефіцієнт блокування. Динамічний діапазон за блокуванням

У відповідності до табл.2.1 більш сприйнятливими до радіозавад є радіоприймальні пристрої. Сприйнятливістю радіоприймальних пристроїв це їх властивість реагувати на радіозавади, які впливають через антену і окрім неї, у тому числі через екран, їх властивість комутації.

Визначають властивості сприйнятливості радіоприймальних пристроїв і впливають на їх ЕМС наступні їх характеристики і параметри: смуга частот побічного каналу приймання (знаходиться за межами приймання радіоприймача, через який завадний сигнал проходить на вихід радіоприймача, включаючи проміжну, дзеркальну, комбінаційні частоти і субгармоніки частоти налаштування радіоприймача), характеристика вибірковості радіоприймача, блокування в радіоприймачі, перехресні спотворення в радіоприймачі (зміна структури спектра сигналу на виході радіоприймача при дії сигналу і модульованої радіозавади, частота якої не співпадає з частотами основного і побічного каналу приймання радіоприймачів), інтермодуляція в радіоприймачах.

Властивості сприйнятливості пристроїв автоматизації та управління до зовнішніх завад визначаються: завадами (електромагнітними завадами), які спотворюють чи можуть спотворити інформацію, що зберігається, обробляється чи передається від одного пристрою до іншого; зовнішніми завадами (завадами ЕОМ, джерела яких не є її частиною).

### 2.1.3 Навколишня електромагнітна обстановка

Випромінювання промислових перешкод створює "проміжний фон" просторових перешкод. "Середнє фонове" значення промислових порушень залежить від природи району (для міської промисловості, жителів міст та сільської місцевості) та від частоти завад.

Для фактичної оцінки середньої потужності "загального фону" промислових завад було розраховано залежність середньої потужності промислових радіозавад від місцевості та частоти, та побудовано графік залежності (рис. 2.1). Потужність завад оцінюється щодо потужності завад приймальної антени [9].

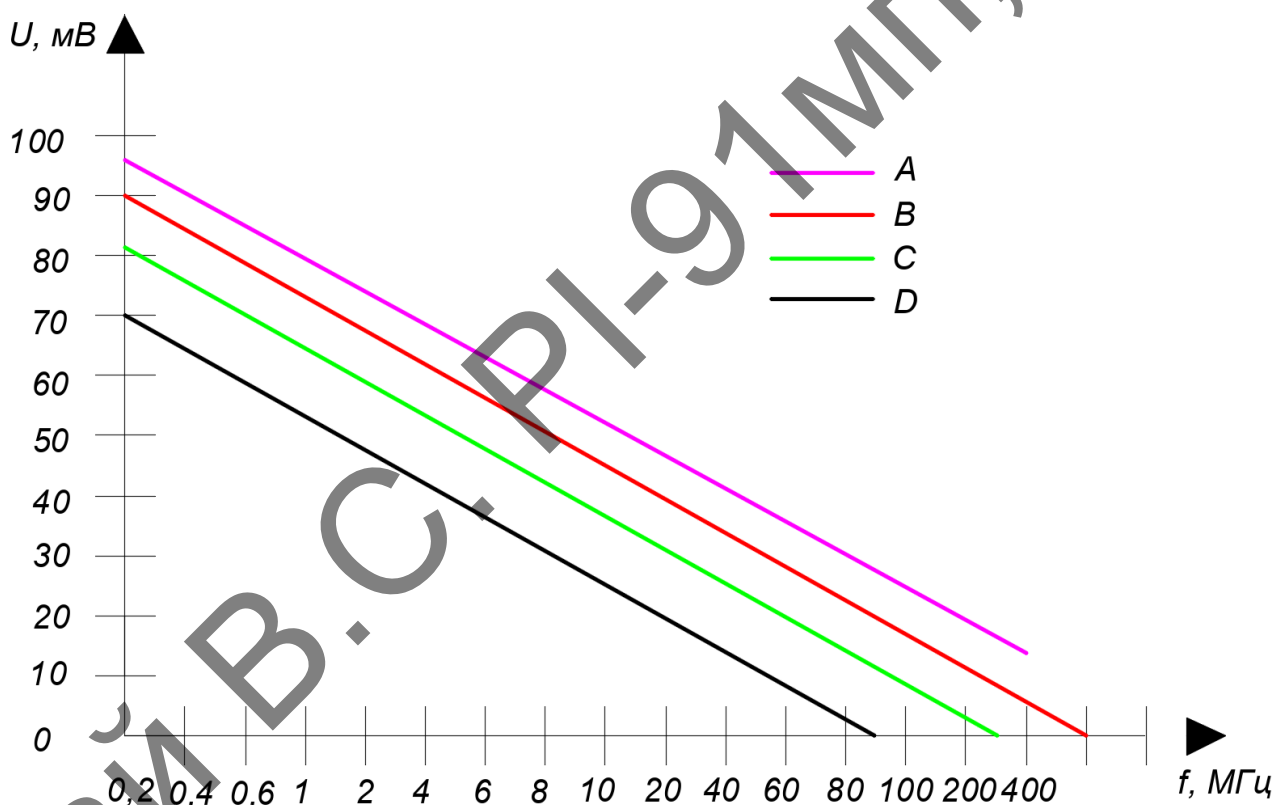


Рисунок 2.1 — Залежність середньої потужності промислових радіозавад від місцевості та частоти

Лінія залежності А розрахована для центру великого міста, В — для спальних районів міст, С — для сільської місцевості, D — для віддалених районів сільської місцевості.

Потужність завад для досліджуваного «розумного дому» взята з залежності для сільської місцевості, що в середньому на 10 дБ нижче, ніж для міста.

Можна зробити висновок, що середня потужність промислового шуму в діапазоні 150 ... 500 МГц походить від автомобільного запалювання. На рис. 2.2 наведені експериментальні залежності, отримані при вимірюваннях у денні години пік в Києві (крива А) і Одесі (крива В) [10]. Крутість нахилу двох залежностей майже однакова, але середнє значення потужності заводів у Одесі нижче на 10 дБ, що пояснюється менш інтенсивним автомобільним рухом, ніж у Києві.

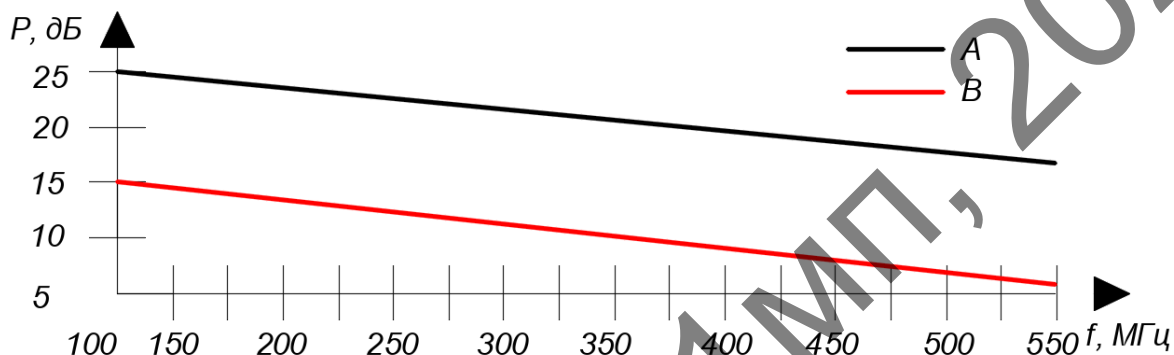


Рисунок 2.2 — Залежність середньої потужності індустриальних заводів від інтенсивності автомобільного руху

На додаток, окрім загального фону індустриальних радіозаводів, необхідно враховувати і «індивідуальні» радіозаводи, особливо від близько розташованих джерел.

Радіозаводи від автозапалювання, особливо в діапазоні частот від 32 МГц до 47 МГц діють на відстанях до кількох сот метрів від джерела.

Заводи на лініях електропередач можуть виявлятися в діапазоні частот від 30 до 42 МГц [10, с.20].

Заводи від засобів обчислювальної техніки були нерегулярними в часі. Вони виявлялись у мережі загального призначення у вигляді кондуктивних і, як наслідок, у випромінюваних заводів, відчутних на значних відстанях (сотнях метрів) від джерела живлення.

Такі ж випромінювання в діапазоні частот від 1,5 до 8 МГц показали наявність суттєвих рівнів заводів від електричного транспорту. Рівні заводів перевищували поріг чутливості приймача на 20 ... 30 дБ [10, с.17].

Значні рівні заводів у вигляді потужних сплесків від тиристорних випрямлячів виявлені, в основному, в діапазоні частот від 14,75 МГц до 14,85 МГц.

Як правило, слід зазначити, що багато промислових завод існують тільки в певному короткому проміжку часу, багато можуть тривати відносно довго. Тому варто сказати, що не існує однієї домінуючої заводи в певний момент часу.

З метою підвищення ефективності використання радіочастотного спектру, технологічність та якість радіообладнання параметри радіовипромінювання від промислових джерел радіоперешкод стандартизовані та обмежені.

В першу чергу, нормування здійснюється для параметрів сумісності радіоелектронних засобів, які мають найбільший вплив на забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів. Самі норми знаходяться в національних і міжнародних нормативних актах і стандартах. Норми вміщують всі необхідні та достатні для їх використання дані, відповідно до призначення нормативних параметрів. Числові значення, норми визначені й обґрунтовані виконаними у відповідних організаціях науково-дослідними роботами і встановлені з урахуванням можливості їх технічної реалізації і економічних витрат. Найбільша кількість норм розробляється в дослідних комісіях МККР у вигляді рекомендацій, які є регулювання використання радіочастотного спектра, а також для прийняття технічних рішень на міжнародних адміністративних радіоконференціях. Усталена система нормування параметрів EMC PE3 дозволяє підтримувати норми на ці параметри на рівні світових стандартів.

#### ***2.1.4 Допустимі норми випромінювання радіозавод***

На електротехнічні пристрої побутового, комунального і медичного призначення, які використовуються в житлових будинках чи підприємствах, електричні кола яких підключення до мереж живлення, норми квазіпікових значень напруг завод (в децибелах відносно 1 мікро вольта) не повинні перевищувати даних вказаних на рис. 2.3 [11].

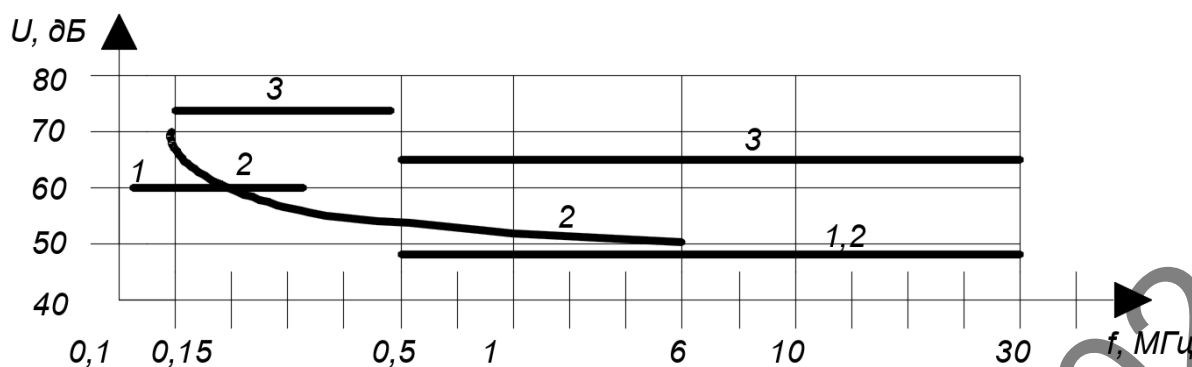


Рисунок 2.3 — Напруги радіозавад

Де на даному графіку зображено: 1 — напруги радіозавад на мережевих затискачах електропристроїв (крім переносних електричних інструментів, пересувних медичних приладів, ліфтів, а також електропристроїв з терморегулятором); 2 — напруги радіозавад на мережевих затискачах переносних електричних інструментів, пересувних медичних приладів, ліфтів, тощо; 3 — на затискачах для приєднання зовнішніх пристроїв, електричних навантажень, виконуючих пристроїв, органів керування, регулювання, комутації, тощо).

На частотах 0,5 і 2,5 МГц допустимі значення напруг радіозавад слід вважати більші значення.

Квазіпікові значення напруженості поля радіозавад (в децибелах відносно 1 мкВ/м) не повинні перевищувати значень вказаних на рис. 2.4 [12].

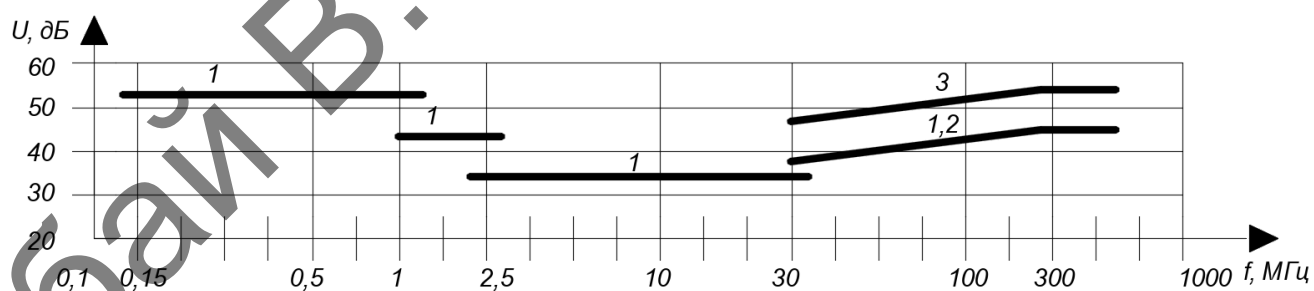


Рисунок 2.4 — Напруженість поля радіозавад

Де на даному графіку зображено: 1 — напруженість поля радіозавад для електропристроїв з автономним живленням, які не приєднанні до електричної мережі; 2 — для електропристрою, приєднаних до електричної мережі; 3 — для електроіграшок з автономним живлення. Напруженість поля радіозавад для електропри-



строїв з автономним живленням, які не приєднані до електричної мережі; 2 — для електро пристрою, приєднаних до електричної мережі; 3 — для електро іграшок з автономним живлення.

Для побутових приладів з приводом від електродвигунів (пилососів, вентиляторів, фенів, електрогодинників, кухонних машин, електроміксерів, електромлинів, електробритв, центрифуг, електросоковитискачів, швейних машин, друкарських машин, касових апаратів, проєкційних апаратів, кіно проєкторів, тощо), для переносних інструментів з приводом від електродвигунів (ручних свердлильних машин, пил, шліфувальних кругів, електронасоси для колодязів, тощо) і для апаратури запису і відтворення інформації (електрофонів, диктофонів, гучномовців, відеомагнітофонів, електропрогравачів, магнітофонів, звукових кінопроєкторів) режим роботи при вимірюваннях індустриальних радіозавад здійснюється з виключеним електродвигуном при номінальній напрузі мережі.

Норми квазіпікових значень напруженості поля радіозавад (в децибелах відносно 1 мкВ), у смузі частот 0,15...1000 МГц для ліній електропередачі вказані на рис.2.5 [13].

Вимірювання напруженостей полів радіозавад слід проводити на відстанях, вказаних у табл. 2.2.

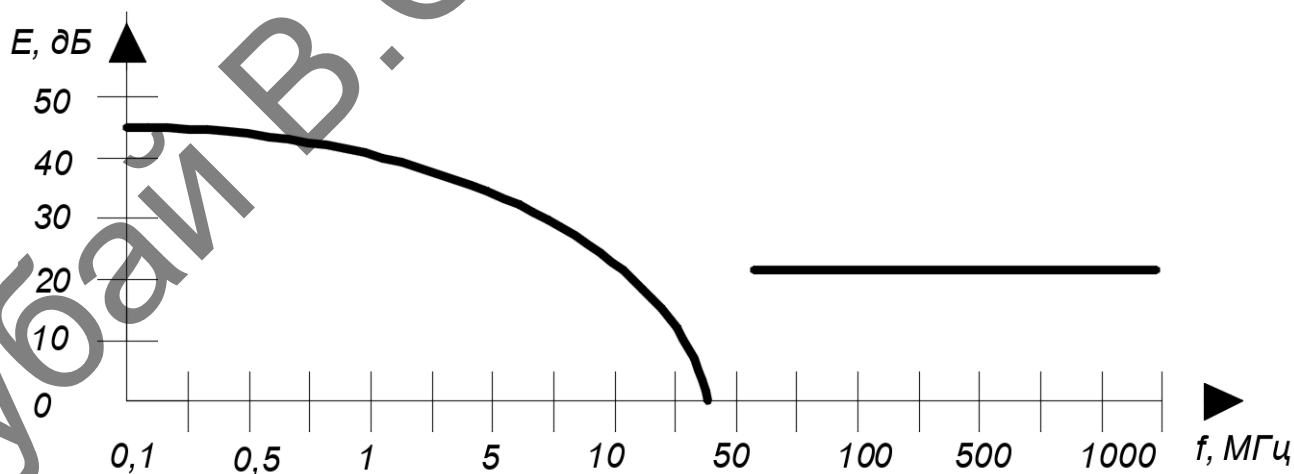


Рисунок 2.5 — Напруженість поля радіозавад від ліній електропередачі

Таблиця 2.2 — Встановлені відстані від джерел радіозавад при вимірюванні полів завад

Напруга ЛЕП (кВ) у смузі частот		Відстань від проекції провідника на землю, м
0,15...30 МГц	0,15...1000 МГц	
35	220	10
110, 220	330, 500	50
330	750	100

Норми квазіпікових значень напруги радіозавад (в децибелах відносно 1 мкВ), які створюються світильниками з люмінесцентними лампами, не повинні перевищувати значень, вказаних на рис. 2.6 [14].

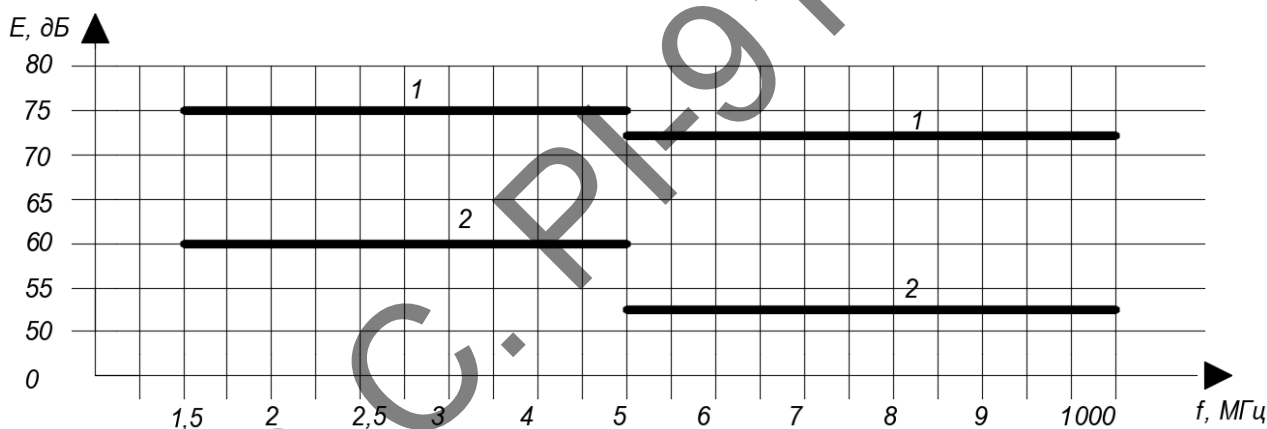


Рисунок 2.6 — Напруга радіозавад для люмінесцентних світильників

Де на даному графіку зображено: 1 — напруга радіозавад для світильників, які експлуатуються в приміщенні не в житлових приміщеннях і не зв'язані з їх електричними мережами; 2 — в житлових будівлях.

Для автотранспортних засобів (тракторів, прибиральник машин газонокосарок, бензопил, човнових двигунів та ін.) норми квазіпікових значень напруженостей полів радіозавад (в децибелах відносно 1 мкВ/м) на відстані 10 м не повинні перевищувати значень, вказаних.

На рис. 2.7 вказані норми квазіпікових значень напруженостей полів радіозавод (в децибелах відносно 1 мкВ/м) для автотранспортних засобів (тракторів, прибиральник машин газонокосарок, бензопил, човнових двигунів та ін.) [15].

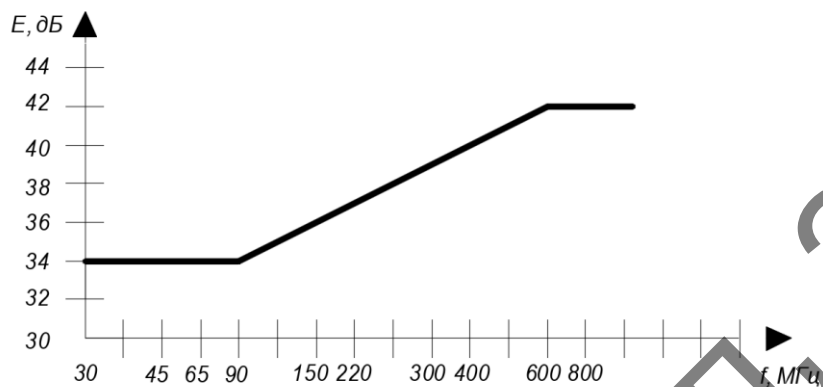


Рисунок 2.7 — Норми напруженості для автотранспорта

На відстані 10 м квазіпікові значення напруги не повинні перевищувати значення вказані на графіку.

### Висновки за розділом

Пристрої-джерела промислових радіоперешкод діють в системі «розумний дім» в діапазоні від 3 кГц до 10 ГГц. Їх доцільно розділити на чотири категорії: генератори, користувачі, перетворювачі та енергетичні канали, основними характеристиками яких є напруженість поля, сила струму, напруга та потужність.

В основному класі параметрів ЕМС, які визначають властивості виробів сприймати радіозавади, виділяються три групи: параметри, які визначають властивості сприйнятливості до радіозавад радіопередавальних пристроїв, радіоприймальних пристроїв і допоміжного обладнання, з яких більш сприятливими до радіозавад є радіоприймальні пристрої.

Потужність завод навколишнього середовища для досліджуваного «розумного дому» для сільської місцевості в середньому на 10 дБ нижче, ніж для міста. Середня потужність промислового шуму в діапазоні 150 ... 500 МГц походить від автомобільного запалювання і порівнявши, наприклад, два великі міста України, можна зробити висновок, що середні значення потужності завод в Києві на 10 дБ вище ніж у Одесі.

Допустимі норми випромінювання зазначені для:

- Електротехнічних пристроїв побутового, комунального і медичного призначення, які використовуються в житлових будинках чи підприємствах, електричні кола яких підключення до мереж живлення;
- Квазіпікових значень напруженості поля радіозавад для ліній електропередачі;
- Квазіпікових значень напруженості поля радіозавад для люмінесцентних ламп;
- Квазіпікових значень напруженості поля радіозавад для автотранспорту.

Зазначені об'єкти присутні в системі «розумний дім» і тому потребують проведення аналізу електромагнітної обстановки для конкретних радіоелектронних пристроїв в ньому.

Кубай В.С. РІ-91МП, 2020

### 3 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОГО РІВНЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ В СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ ДІМ»

Щоб забезпечити необхідний рівень електромагнітної сумісності, в даному випадку необхідно провести розрахунок для екранування силових та інформаційних кабельних ліній, а також розробити конструкції для заземлення пристроїв, що використовуються в системі «розумний дім».

#### 3.1 Екранування

##### 3.1.1 Принципи екранування

Електромагнітне екранування — це бар'єр, який повністю огортає пристрій, щоб захистити його від впливу навколишнього середовища, або може зупинити випромінювання самого пристрою, що перешкоджають роботі інших пристроїв у тому ж середовищі. Це форма ізоляції, оскільки вона зменшує або перешкоджає передачі енергії. У цьому випадку електромагнітна енергія, перебуваючи між пристроєм із високою вихідною потужністю та навколишнім середовищем, або захищає чутливий пристрій від електромагнітних полів у навколишньому середовищі. Електромагнітні умови навколишнього середовища за своєю природою непередбачувані. Екранування призначене для усунення цієї загрози продуктивності.

Екранування може бути ефективним при вирішенні складної проблеми, тобто з урахуванням великої кількості різних обставин, моделі яких повинні бути представлені фізично переконливо і математично просто. Прийняті спрощення не повинні вносити неприпустимі зміни в результати оцінок, інакше прогноз ефективності екранування буде, на жаль, лише якісним.

Незважаючи на те, що в практиці радіотехніки чітко розподілити поля по частоті та характеристиках потужності на суто електричні, магнітні та електромагнітні важливо, але робити це з методологічних міркувань дуже важливо. Визначено сутність особливих фізичних явищ та ефектів, що лежать у кожному процесі

скринінгу, що відбувається, завдяки чому створюються перекладені мови для досягнення необхідної ефективності.

В електростатичному режимі роботи екранів основний ефект досягається завдяки дії фізичного явища електростатичної індукції. Під дією екрануючого електростатичного поля на внутрішній та зовнішній поверхнях металевого екрану з'являються індуквані заряди протилежних знаків, які створюють екрануюче поле та поле повторного випромінювання відповідно. У біполярній системі індукованих зарядів ізолюваного електростатичного екрану екрануюче поле та поле повторного випромінювання взаємно компенсуються. Тому ефективність ізолюваного електростатичного екрану в ідеальних умовах дорівнює нулю. В електростатичному екрануванні існує проблема нейтралізації поля повторного випромінювання. Для досягнення необхідної ефективності для нейтралізації поля повторного випромінювання електростатичні екрани повинні бути заземлені. На практиці це досягається електричним з'єднанням екранів з масивними металевими деталями та компонентами обладнання: шасі, рами тощо. [16].

На електростатичному екрані, заземленому на корпусі, незв'язаний, некомпенсований заряд повторного випромінювання рівномірно розподіляється під дією градієнта на поверхнях екрану, системі заземлення та корпусі. В результаті зменшується поверхнева щільність заряду і напруженість поля повторного випромінювання на поверхні електростатичного екрану. Поле повторного випромінювання нейтралізується. Ефективність заземленого електростатичного екрану пропорційна збільшенню загальної маси його заземлення. Спроби розглянути електростатику як граничний хвильовий режим, відомий з літературних джерел, та використовувати для розрахунку цільових показників (коефіцієнтів) екранування електростатичних екранів моделі та співвідношень, подібних хвильовим, призводять до неефективних та ідеалізованих за критеріями практики результатів розрахунків (наприклад, до нескінченних числових значень коефіцієнтів екранування електростатичних екранів).

Магнітне (магнітостатичне, квазістатичне) екранування застосовується для захисту РЕЗ від зовнішнього магнітного поля чи для захисту частин РЕЗ від взаємного впливу при дії потоку розсіювання при постійному магнітному полі чи струмах низької частоти. Для виготовлення екранів використовуються магнітні матеріали з високою магнітною проникністю  $\mu$ , низькою залишковою індукцією  $B_r$ , і малою коерцитивною силою  $H_c$ . Завдяки малому магнітному опору зовнішній магнітний потік проходить, в основному, в товщу екрана і лише невелика частина його досягає середовища, що екранується, зовні чи всередині екрана. Шкідливий вплив залишкової намагніченості екрана (при  $H = 0$ ) тим менший, чим менша  $B_r$ , матеріалу. Форма екрана мало впливає на ефективність екранування, щілини і отвори в ньому в цілому погіршують екранування у зв'язку із зменшенням магнітної проникності, заземлення екранів не обов'язкове. У зв'язку з великою невідповідністю магнітної проникливості середовищ поширенню магнітних полів (повітря і екранів) виникає на поверхнях їх розділення суттєва зміна кутових координат падаючих заломлених товщах екранів полів  $\operatorname{tg} \alpha_1 / \operatorname{tg} \alpha_2 = \mu_1 / \mu_2$ , де  $\alpha_1, \alpha_2$  кутова координата падаючого і заломленого поля,  $\mu_1$  і  $\mu_2$  — відповідні магнітні проникності. Різку зміну кутових координат поширення полів і екранів необхідно враховувати при конструкторських розрахунках (визначення товщин, форм) екранів, а також при розрахунках цільових показників їх ефективності. Інтегральна ефективність екранування (відношення напруженості діючого поля  $H$  випромінювача до первинного в захищуємому середовищі) може бути оцінена для сферичного екрана як  $S = 0,22\mu (1 - (1 - d / R_e)^3)$ , де  $R_e$  — радіус еквівалентної сфери,  $d$  — товщина екрана. Коефіцієнт екранування такого екрана приблизно розраховується за виразом  $B = 20 \lg 0,7\mu (d / R_e)$ .

Для ізотропних речовин напруженість магнітного поля  $H$  зв'язана з магнітною індукцією  $B$  через коефіцієнт пропорційності  $\mu$ :  $B = \mu H$ . Із збільшенням насичення  $\mu$  феромагнітних матеріалів зменшується. Тому для екранування від сильних полів використовуються подвійні, потрійні екрани, виготовлені з різних матеріалів, причому зовнішній екран виготовляється з матеріалу (сталь), який насичується при високих значеннях  $H$ , а внутрішній — з матеріалу типу пермалой з високою початковою магнітною проникністю. Електростатичний і магнітостатичний режими харак-

теризуються частотним діапазоном від нуля до декількох кілогерц, і тому поля, що екрануються, описуються рівнянням Максвелла спрощеного вигляду для статичних полів  $rot H = \sigma E$ ;  $rot E = 0$ . Електростатичний і магнітостатичний режими відрізняються тим, що останній з них забезпечує невеликий і однаковий ефект екранування у всьому діапазоні частот - нуля до  $10^4$  Гц. Принцип дії магнітного екрана полягає в шунтуванні силових ліній поля внаслідок його підвищеної магнітопровідності.

Для електромагнітного екранування характерний найменш детермінований характер початкових даних розрахунків. Для нього не характерна єдність принципу дії в дуже широкому діапазоні частот, що характеризується відносною шириною в декілька (три, чотири) десятинних порядків. Для одержання достовірних, що добре співпадають з практикою, результатів розрахунків необхідно визначити до якого з двох основних режимів належать умови електромагнітного екранування, що розглядаються. У хвильових режимах роботи екранів (в діапазоні НВЧ:  $10^9 \dots 10^{11}$  Гц чи на значному віддаленні від випромінювача на радіочастотах) ефект екранування визначається фізичними явищами і процесами взаємодії падаючих, відбитих і заломлених хвиль на межах різко неоднорідних середовищ поширення полів і металевих матеріалів екранів засобами апарата моделювання хвиль (рівнянь Максвелла, законів Снеліуса, коефіцієнтів Френеля тощо). У хвильових режимах роботи екранів моделі щільових показників екранування носять найбільш аналітичний характер, оскільки зберігаються властивості їх подібностей при використанні цих вказаних найбільш відомих аналітичних методів моделювання [17].

На радіочастотах (від сотень кілогерц до десятків гігагерців для діапазонів ДХ, СХ, КХ, УКХ радіозв'язку) при існуючих габаритах вузлів і деталей радіоапаратури в енергетиці джерел полів, що екрануються у внутрішньому середовищі апаратури переважають реактивні та перерозподільні процеси, а хвильові — менш значимі. Тому "хвильові" аналітичні методи у квазістатичних і електродинамічних режимах роботи екранів (електромагнітне екранування) одержують характер напіваналітичних чи навіть наближених і видають ідеалізовані, які недостатньо співпадають з експериментальними даними, результати розрахунку показників екранування (завищені значення коефіцієнтів екранування чи занадто малі товщини екранів



тощо). Апарат математичної фізики, що адекватний процесам взаємодії полів і екранів на радіочастотах, може бути використаний у вигляді диференціальних рівнянь в часткових похідних другого порядку:

$$A \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + 2B \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} + C \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + a \frac{\partial^2 U}{\partial x} + b \frac{\partial^2 U}{\partial z} + cU = F(x, z, \tau), \quad (3.1)$$

де  $x, z$  розглядаються як просторові координати, час  $t$ , під  $U$  — інтегральні опори, ємності, індуктивності, напруги і струми в екранах, так і розподілені параметри — поля напруженостей електричних і магнітних векторів, густин струму, питомих потужностей тощо і приймаються припущення, що коефіцієнти  $A, B, C, a, b, c$  залежать тільки від  $x$  і  $z$ .

Рівняння у формі з частковими похідними придатні для моделювання неусталених процесів дифузійного типу (поширення тепла чи дифузійного проникнення електромагнітних полів у товщі металевих матеріалів екранів через масоперенесення електронів, що втягуються полями, що екрануються, в напівхаотичні рухи, які утворюють слабо каналізовані вихрові струми).

Широкому використанню рівнянь в часткових похідних моделювання процесів при екрануванні заважають обмеження, що накладаються, у відповідності до яких ефекти взаємодії полів з для зводяться до найпростіших аналогів за типами механічного тертя і виконуються за усередненими оцінками їх основних параметрів.

Ці обмеження можуть бути подолані та найбільш значимі для практики екранування результати можуть бути одержані при використанні чисельних математичних методів стосовно до моделей процесів дифузії полів в екрани. Чисельні моделі процесів придатні для переходу до програмних моделей і автоматичного здійснення моделювання за допомогою ЕОМ. Вони дозволяють виконувати дослідження процесів на глибину до окремих локалізованих у товщах екранів просторових елементів і навіть точок.

При чисельному підвищена за рахунок збільшення параметрів і показників дискретизації процесів (кількості відліків, рівнів квантування значень величин), які фізично обмежені лише необхідними моделюванні точність може бути місткостями

апаратної пам'яті, потрібної для великими розташування багатовекторних структур моделей.

Добре пристосований до обчислювальних можливостей сучасних персональних ЕОМ (ПК) метод дискретизації, який одержав назву "вторинних джерел". Алгоритм дискретизації за цим методом відрізняється добре вираженим фізичним сенсом і здійснюється у два етапи. На першому етапі складають проміжні аналого-дискретні моделі процесів дифузної взаємодії у вигляді інтегральних рівнянь Фредгольма другого роду [18]. На другому етапі одержують дискретні чисельні матричні моделі шляхом алгебризації аналого-дискретних моделей відомими методами, наприклад, за допомогою формули Сімпсона. Переходять до програмних моделей і виконують автоматичний розрахунок ефектів дифузійних взаємодій полів і екранів, використовуючи, наприклад, метод Гауса, а також розрахунок цільових показників призначення екранування шляхом обрахунку співвідношення існуючих і зменшених за допомогою екранів напруженостей полів чи величин вихрових на першому етапі струмів.

Електромагнітне екранування у хвильовому режимі на НВЧ в діапазоні частот від  $10^9$  ...  $10^{10}$  Гц і вище реалізується шляхом використання двох основних ефектів взаємодії хвиль з екранами — поглинання і відбиття електромагнітної енергії екраном. Поглинання в екрані обумовлене перетворенням електромагнітної енергії в теплову, в тому числі за рахунок втрат на вихрові струми, тому екранування поглинанням тим ефективніше, чим вища частота поля, більша магнітна проникність матеріалу, електропровідність екрана. Відбиття енергії пов'язане з невідповідністю хвильових характеристик (пов'язане основному опорю) металу екрана і діелектрика, який оточує екран. Ефективність екранування тим вища, чим значніша ця невідповідність.

У хвильовому режимі роботи екрана довжина хвилі близька до розмірів екрана. В цьому діапазоні частот розрахунок екранів необхідно проводити з урахуванням струмів зміщення за повними рівняннями електродинаміки. Важливою відмінною рисою екранування в цьому режимі від діапазону більш низьких частот є змінний характер залежності коефіцієнта екранування від частоти, що пояснюється

хвильовою природою НВЧ і призводить до його резонансу при відповідних значеннях відношення поперечного розміру екрана до довжини хвилі.

Таким чином, описаний підхід робить необхідним при розрахунку екранів урахувати не лише поперечну електромагнітну хвилю TEM, обов'язковість використання якої очевидна у квазістаціонарному режимі, але й хвиль вищого порядку і поперечно-магнітну ТМ, яка характеризує екранування магнітного поля, і поперечно-електричну ТЕ, яка характеризує екранування електричного поля.

В практиці екранування кабельних ліній, виникають питання відносно екрануючих властивостей діелектриків. Якщо розглядати діелектричну пластину з малими втратами, то опір  $Z_{\partial} = \sqrt{\mu/\varepsilon}$ . У виразі для ефективності екранування  $S = E_e/E_0$ , (де  $E_0$  — напруженість поля в середовищі при відсутності екрана,  $E_e$  — при його наявності) будуть відсутні гіперболічні функції у зв'язку з відсутністю періодичних процесів поглинання енергії. При електричній товщині екрана  $\beta d = m\pi$ ,  $m = 1, 2, 3, \dots$ ,  $\beta$  — хвильовий коефіцієнт,  $d$  — товщина екрану.  $S = 1$  — діелектрична пластинка не екранує [19].

### 3.1.2 Циліндричний екран

Основні рівняння електромагнітного поля в циліндричній системі координат (що характерно для кабельних систем):

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial E_{\varphi}}{\partial z} &= -i\omega\mu H_r \\
 \frac{\partial E_r}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial r} &= -i\omega\mu H_{\varphi} \\
 \frac{\partial E_{\varphi}}{\partial r} + \frac{E_{\varphi}}{r} - \frac{1}{r} \frac{\partial E_r}{\partial \varphi} &= -i\omega\mu H_z \\
 \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial H_{\varphi}}{\partial z} &= \sigma E_r \\
 \frac{\partial H_r}{\partial z} - \frac{\partial H_{\varphi}}{\partial r} &= \sigma E_{\varphi} \\
 \frac{\partial H_{\varphi}}{\partial r} + \frac{H_{\varphi}}{r} - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \varphi} &= \sigma E_z
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial E_\varphi}{\partial z} &= -i\omega\mu H_r \\
 \frac{\partial E_r}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial r} &= -i\omega\mu H_\varphi \\
 \frac{\partial E_\varphi}{\partial r} + \frac{E_\varphi}{r} - \frac{1}{r} \frac{\partial E_r}{\partial \varphi} &= -i\omega\mu H_z \\
 \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial H_\varphi}{\partial z} &= \sigma E_r \\
 \frac{\partial H_r}{\partial z} - \frac{\partial H_\varphi}{\partial z} &= \sigma E_\varphi \\
 \frac{\partial H_\varphi}{\partial r} + \frac{H_\varphi}{r} - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \varphi} &= \sigma E_z
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Ці співвідношення підходять для металу. Для діелектрика  $\sigma = 0$ , тому права частина другої групи рівнянь дорівнює нулю.

Для вирішення поставленої задачі – визначення екрануючої дії циліндричного екрану – енергії, що поширюється в радіальному напрямку від джерела збудження (що знаходиться в центрі екрану) до екрану та за екран [20].

Щільність потоку потужності в цьому напрямку виражена за законом Пойнтінга через складові електричного поля  $E_z$  і магнітного поля  $H_\varphi$ . Вона дорівнює  $\text{Re}0,5[E_z H_\varphi^*]$ . Хвильовий опір, чинний цьому потоку металічним або діелектричним середовищем, можна виразити через ті ж складові:

$$Z = \frac{E_z}{H_\varphi} \tag{3.3}$$

Тому, в першу чергу, необхідно визначити  $E_z$  і  $H_\varphi$ . Для цього спростимо рівняння, які були наведені в циліндричній системі координат. Маючи на увазі, що провідники розташовані вздовж екрану і орієнтовані, як показано на рис.3.1 по осі  $z$ , варто враховувати лише три складові електромагнітного поля  $E_z, H_\varphi, H_r$ . Інші складові  $H_z, E_\varphi, E_r$  будуть дорівнювати нулю.

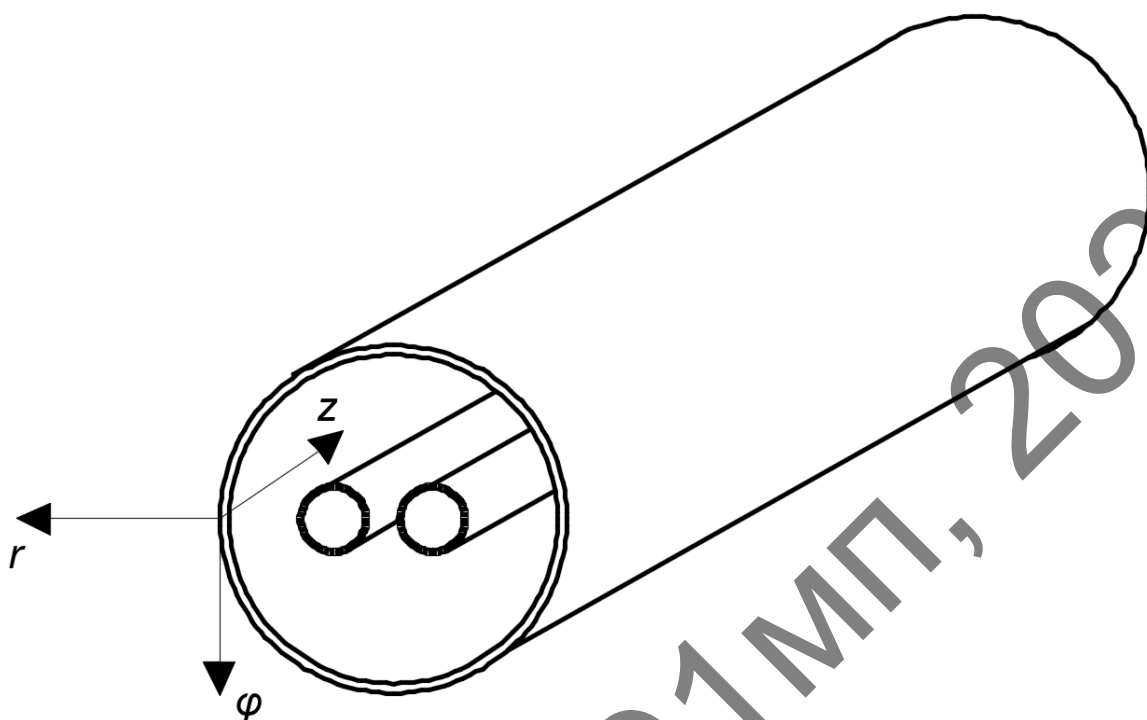


Рисунок 3.1 — Циліндричний екран

Тоді рівняння можна записати так:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \varphi} = -i\omega\mu H_r,$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial r} = i\omega\mu H_\varphi,$$

$$\frac{\partial H_\varphi}{\partial r} + \frac{H_\varphi}{r} - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \varphi} = \sigma E_z.$$

Після диференціювання  $H_r(\varphi)$  і  $H_\varphi(r)$  і підстановки їх в останній вираз отримаємо диференціальне рівняння другого порядку відносно  $E_z$

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \varphi^2} = \begin{cases} k^2 E_z, \\ 0 \end{cases}, \quad (3.4)$$

де  $k = \sqrt{i\omega\mu\sigma}$  — коефіцієнт вихрових струмів.

Зміна величини  $E_z$  по осі  $z$  не враховується, оскільки вона значно менша змін  $E_z$  на інших координатних осях.

Розв'язання даного диференційного рівняння для діелектрика:

$$E_z = \sum_{n=0}^{\infty} (A_n r^n + B_n r^{-n}) \cos n\varphi,$$

де  $A_n$  і  $B$  – постійні інтегрування.

Якщо розглядати в якості джерела збудження пару провідників, розташованих зі зсувом по  $\varphi$  у  $180^\circ$ , то будуть лише непарні гармоніки. Парні гармоніки будуть дорівнювати нулю:

$$E = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} (A_n r^n + B_n r^{-n}) \cos n\varphi. \quad (3.5)$$

Відповідно можна визначити іншу складову поля  $H_\varphi$

$$H_\varphi = \frac{1}{i\omega\mu} \frac{\partial E_z}{\partial r} = \frac{1}{i\omega\mu} E = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} (A_n r^{n-1} + B_n r^{-(n+1)}) \cos n\varphi. \quad (3.6)$$

У виразах для  $E_z$  і  $H_\varphi$  перші члени, зростаючі зі збільшенням  $r$ , характеризують відбиті хвилі, а другі члени, що зменшуються зі збільшенням  $r$ , відповідають падаючим хвилям:

$$\left. \begin{aligned} E_z^n &= \sum_{n=1,3,5}^{\infty} B_n r^{-n} \cos n\varphi \\ H_\varphi^n &= -\frac{1}{i\omega\mu} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} B_n n r^{-(n+1)} \cos n\varphi \end{aligned} \right\} \text{при } r \geq a;$$

$$\left. \begin{aligned} E_z^6 &= \sum_{n=1,3,5}^{\infty} A_n r^n \cos n\varphi \\ H_\varphi^6 &= \frac{1}{i\omega\mu} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} A_n n r^{n-1} \cos n\varphi \end{aligned} \right\} \text{при } r \leq a,$$

де  $a$  – половина відстані між провідниками пари.

В такому разі хвильові опори діелектрика під час руху енергії в радіальному напрямку для будь-якої величини, що включає  $n$  вимірюється за формулами:

$$\left. \begin{aligned} Z_r^n &= \frac{E_z^n}{H_\varphi^n} = -i \frac{\omega \mu r}{n} = Z_{\partial}^n \\ Z_r^e &= \frac{E_z^e}{H_\varphi^0} = i \frac{\omega \mu r}{n} = Z_{\partial}^e \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

Із отриманих результатів видно, що хвильові опори для падаючої та відбитої хвиль (3.7) відрізняються лише знаками, що вказує на протилежність напрямлення цих хвиль.

Тепер визначимо значення  $E_z$ ,  $H_\varphi$  і відповідно  $Z_r$  для металу. Для провідникового середовища – металу – диференціальне рівняння має такий вигляд:

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \varphi^2} = k^2 E_z$$

Рівняння вирішуємо методом розділу змінних у вигляді відтворення двох функцій:

$$E_z = R(r)\Phi(\varphi).$$

В результаті отримуємо два рівняння:

$$R'' + \frac{1}{r} R' - (k^2 + \frac{n^2}{r^2}) R = 0,$$

$$\Phi'' + n^2 \Phi = 0.$$

Перше рівняння є диференціальним рівнянням Бесселя  $n$ -го порядку, яке має наступне рішення:

$$R = A_n I_n(kr) + B_n K_n(kr),$$

де  $A_n$  і  $B_n$  – постійні інтегрування,  $I_n$  і  $K_n$  - видозмінні функції Бесселя першого і другого роду  $n$ -ного порядку [21].

Розв'язання другого рівняння виглядає так:

$$\Phi = C_n \cos n\varphi + D_n \sin n\varphi.$$

В результаті повне  $E_z$  для металу аналогічне формулі (3.5) буде рівне:

$$E_z = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \left[ A_n I_n'(kr) + B_n K_n'(kr) \right] \cos n\varphi, \quad (3.8)$$

відповідно

$$H_{\varphi} = \frac{k}{i\omega\mu} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \left[ A_n I_n'(kr) + BK_n'(kr) \right] \cos n\varphi. \quad (3.9)$$

Перші члени виразів для  $E_z$  і  $H_{\varphi}$ , що включають функцію  $I_n$ , яка збільшується з ростом аргументу, відповідають відбитій хвилі. Члени, що включають  $K_n$ , які зі збільшенням аргументу зменшуються, характеризують падаючу хвилю.

Відповідно з цим значення хвильових опорів металу для будь-якої  $n$  складової будуть:

для падаючої хвилі:

$$Z_r^n = \frac{E_z^n}{H_{\varphi}^n} = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma}} \frac{K_n(kr)}{K_n'(kr)} = Z_M^n,$$

для відбитої хвилі:

$$Z_r^e = \frac{E_z^e}{H_{\varphi}^e} = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma}} \frac{I_n(kr)}{I_n'(kr)} = Z_M^e$$

Мається на увазі, що при великих значеннях аргументу ( $kr \geq 5$ ), які практично мають місце в металевих середовищах  $\frac{K_n(z)}{K_n'(z)} \rightarrow -1$  і  $\frac{I_n(z)}{I_n'(z)} \rightarrow 1$ , отримаємо

$$Z_M^n = -\sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma}}, \quad (3.10.1)$$

$$Z_M^e = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma}}, \quad (3.10.2)$$

Розглянемо електромагнітні поля, що діють всередині і поза екраном.

Всередині екрану, в діелектрику, будуть діяти одночасно основне поле – поле джерела збудження ( $E_z^n = E_n$ ) і ( $H_{\varphi}^n = H_n$ ), та відбите поле — поле реакції екрану ( $E_z^e = E_n^e$ ) і ( $H_{\varphi}^e = H_n^e$ ).

Аналогічно формулі (3.5) йдеться про закон змін електричного і магнітного поля по  $\varphi$  в діелектриці і металі аналогічний і виражається через  $\cos n\varphi$ :



$$\sum_{n=1,3,5}^{\infty} E_n(1 - P_n) \cos n\varphi,$$

$$\sum_{n=1,3,5}^{\infty} H_n(1 + P_n) \cos n\varphi,$$

де  $P$  — коефіцієнт реакції екрана,

$$P = \frac{Z_{\partial} - Z_M}{Z_{\partial} + Z_M}.$$

Електромагнітне поле в діелектрику за екраном може бути виражене через коефіцієнт екранування  $S_n$

$$\sum_{n=1,3,5}^{\infty} E_n S_n \cos n\varphi$$

$$\sum_{n=1,3,5}^{\infty} H_n S_n \cos n\varphi$$

Для знаходження значень  $S_n$ ,  $P_n$ ,  $C_n$  і  $D_n$  скористаємося умовою безперервності тангенціальних складових електричного ( $E_z$ ) і магнітного ( $H\varphi$ ) полів на межі діелектрик – екран ( $r=r_e$ ) і екран-діелектрик ( $r=r_e+t$ ).

Відповідно для будь-якої  $n$  складової можна написати:

$$E_n(1 - P_n) = C_n I_n(kr_e), \quad (3.11)$$

$$H_n(1 + P_n) = \frac{k}{i\omega\mu} [C_n I_n'(kr_e) + D_n K_n'(kr_e)], \quad (3.12)$$

$$E_n S_n = C_n I_n[k(r_e + t)] + D_n K_n[k(r_e + t)], \quad (3.13)$$

$$H_n S_n = \frac{k}{i\omega\mu} \{C_n I_n'[k(r_e + t)] + D_n K_n'[k(r_e + t)]\}. \quad (3.14)$$

Використовуючи формули (3.7) і (3.9) для хвильових опорів  $Z_{\partial}$  і  $Z_M$ , отримаємо:

$$E_n(1 - P_n) = C_n I_n(kr_e) + D_n K_n(kr_e),$$

$$E_n S_n = C_n I_n[k(r_e + t)] + D_n K_n[k(r_e + t)],$$

$$E_n S_n = N \left\{ C_n I_n' [k(r_e + t)] + D_n K_n' [k(r_e + t)] \right\},$$

де  $N = \frac{Z_\partial}{Z_M}$ .

Склавши попарно вирази (3.11), (3.12) і (3.13), (3.14) та використовуючи рекурентні співвідношення бesselевих функцій:

$$x I_n'(x) = x I_{n-1}(x) - n I_n(x),$$

$$x K_n'(x) = -x K_{n-1}(x) - n K_n(x),$$

Отримаємо:

$$2E_n S_n = C_n N I_{n-1}[k(r_e + t)] + D_n N K_{n-1}[k(r_e + t)],$$

$$2E_n = C_n N I_{n-1}(kr_e) + D_n N K_{n-1}(kr_e).$$

Розв'язуючи задані рівняння відносно  $C_n$  і  $D_n$ , отримаємо:

$$C_n = \frac{2E_n N \{ K_{n-1}[k(r_e + t)] - K_{n-1}(kr_e) S_n \}}{M},$$

$$D_n = \frac{2E_n N \{ I_{n-1}[k(r_e + t)] - I_{n-1}(kr_e) S_n \}}{M},$$

де  $M = N^2 \{ I_{n-1}[k(r_e + t)] K_{n-1}[k(r_e + t)] I_{n-1}(kr_e) \}$ .

Для знаходження ефективності екранування  $S_n$  підставимо значення  $C_n$  і  $D_n$  у рівняння (3.3)

$$S_n \left[ 1 + \frac{2N \{ I_{n-1}(kr_e) K_n[k(r_e + t)] + K_{n-1}(kr_e) I_n[k(r_e + t)] \}}{N^2 \{ I_{n-1}[k(r_e + t)] K_{n-1}(kr_e) - I_{n-1}(kr_e) K_{n-1}[k(r_e + t)] \}} \right] =$$

$$= \frac{2N \{ I_{n-1}[k(r_e + t)] K_n[k(r_e + t)] + K_{n-1}[k(r_e + t)] I_n[k(r_e + t)] \}}{N^2 \{ I_{n-1}[k(r_e + t)] K_{n-1}(kr_e) - I_{n-1}(kr_e) K_{n-1}[k(r_e + t)] \}}.$$

Маючи на увазі, що  $I_{n-1}(x)K_n(x) + K_{n-1}(x)I_n(x) = \frac{1}{x}$ , отримаємо кінцеву формулу розрахунку ефективності екранування циліндричного екрану

$$S_n = \frac{1}{k(r_e + t) \left\{ I_{n-1}(kr_e)K_n[k(r_e + t)] + K_{n-1}(kr_e)I_n[k(r_e + t)] \right\}} \cdot x \cdot \frac{1}{\left\{ 1 + \frac{N}{2} \frac{\left\{ I_{n-1}[k(r_e + t)]K_{n-1}(kr_e) - I_{n-1}[k(r_e + t)] \right\}}{\left\{ I_{n-1}(kr_e)K_n[k(r_e + t)] + K_{n-1}(kr_e)I_n[k(r_e + t)] \right\}} \right\}}. \quad (3.15)$$

Використавши розкладання бesselевих функцій при великому аргументі  $x > 5$ , отримаємо з точністю до декількох відсотків, що:

$$I_{n-1}[k(r_e + t)]K_{n-1}(kr_e)K_{n-1}[k(r_e + t)] = X \approx \text{shkt} \left\{ \frac{1}{k(r_e + t)} + \frac{n^2}{[k(r_e + t)]^3} \right\},$$

$$I_{n-1}(kr_e)K_n[k(r_e + t)] + K_{n-1}(kr_e)I_n[k(r_e + t)] = Y \approx \text{chkt} \frac{1}{k(r_e + t)}.$$

В такому випадку ефективність екранування буде мати значення

$$S_n = \frac{1}{[k(r_e + t)]Y \left( 1 + \frac{N}{2} \frac{X}{Y} \right)} = \frac{1}{\text{chkt} \left\{ 1 + \frac{N}{2} \left[ 1 + \frac{n^2}{[k(r_e + t)]^2} \right] \text{thkt} \right\}}.$$

Маючи на увазі, що  $N = \frac{Z_{\partial}}{Z_M} = \frac{k(r_e + t)}{2}$ , отримаємо ефективність екранування циліндричного екрану в такому вигляді:

$$S_n = \frac{1}{\text{chkt}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left( N + \frac{1}{N} \right) \text{thbkt}}. \quad (3.16)$$

Коефіцієнт реакції  $P_n$  може бути визначений при підстановці виразів  $C_n$ ,  $D_n$ ,  $S_n$  у рівняння (3.11)

$$E_n(1 - P_n) = E_n 2N \frac{K_{n-1}[k(r_e + t)]I_n(kr_e) + I_{n-1}[k(r_e + t)]K_n(kr_e)}{I_{n-1}[k(r_e + t)]K_{n-1}(kr_e)K_{n-1}[k(r_e + t)]} -$$

$$- E_n 2NS \frac{I_{n-1}(kr_e)K_{n-1}(kr_e)I_n(kr_e)}{I_{n-1}[k(r_e + t)]K_{n-1}(kr_e)K_{n-1}[k(r_e + t)]}.$$

Використовуючи рекурентні співвідношення бesselевих функцій і провівши їх розкладання при великих аргументах, отримаємо значення  $P_n$  циліндричного екрану в такому вигляді:

$$P_n = \frac{\frac{1}{2}(N - \frac{1}{N})thkt}{1 + \frac{1}{2}(N + \frac{1}{N})thkt}. \quad (3.17)$$

В формулах (3.16) і (3.17) використані наступні позначки:

$$k = \sqrt{i\omega\mu\sigma}, \quad (3.18)$$

$$Z_0 = i\omega\mu r_e, \quad (3.19)$$

$$Z_M = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma}}, \quad (3.20)$$

де  $r_e$  — радіус екрану;

$i$  — уявна одиниця.

### 3.1.3 Розрахунок циліндричного екрану для силового кабелю на промислових частотах 50 і 400 Гц

Потрібно розрахувати екранне затухання алюмінієвого циліндричного екрану товщиною  $t = 0,2$  мм для промислової частоти 50 Гц. Радіус екрану  $r_e = 20$  мм.

Деяку складність додає розрахунок гіперболічних функцій від комплексних змінних ( $Z_0$ ,  $Z_a$ ,  $k$ ). Розрахунок значно спроститься, якщо скористатися лише модулями цих значень. Ступінь точності при цьому цілком достатній для практичних цілей.

Магнітна проникність алюмінію становить  $\mu = 1,256 \cdot 10^{-6}$  Н / А<sup>2</sup>.

Питома провідність алюмінію дорівнює  $\sigma = 2,5 \cdot 10^7$  См / м.

Значення хвильових опорів діелектрика та алюмінію і коефіцієнта вихрових струмів розраховані за формулами (3.18), (3.19), (3.20):

$$|Z_{\partial}| = 0,0079 \text{ Ом},$$

$$|Z_a| = 3,97 \cdot 10^{-6} \text{ Ом},$$

$$|k| = 0,115 \frac{1}{\text{мм}},$$

Ефективність екранування поглинанням та коефіцієнт екранування поглинанням:

$$S_n = 0,99;$$

$$B_n = 20 \lg \left| \frac{1}{S_n} \right| = 0,0023 \text{ дБ}$$

Ефективність екранування відбиттям:

$$S_e = 0,04$$

Коефіцієнт екранування відбиттям:

$$B_e = 20 \lg \left| \frac{1}{S_e} \right| = 26,94 \text{ дБ}$$

Сумарний коефіцієнт екранування:

$$B_e = B_n + B_e = 26,95 \text{ дБ}.$$

Для порівняння ефективності сумарного екранного затухання, було проведено такі ж розрахунки для товщин алюмінієвого та сталюого екранів від 0,1 до 1 мм на промислових частотах 50 Гц та 400 Гц та побудовано графік залежності  $B_{1al}(t)$ ,  $B_{1st}(t)$ ,  $B_{2al}(t)$  та  $B_{2st}(t)$ , де  $B_{1al}$  — екранне затухання для алюмінієвого екрану на частоті 50 Гц,  $B_{1st}$  — екранне затухання для сталюого екрану на частоті 50 Гц,  $B_{2al}(t)$  — екранне затухання для алюмінієвого екрану на частоті 400 Гц,  $B_{2st}(t)$  — екранне затухання для сталюого екрану на частоті 400 Гц (рис. 3.2).

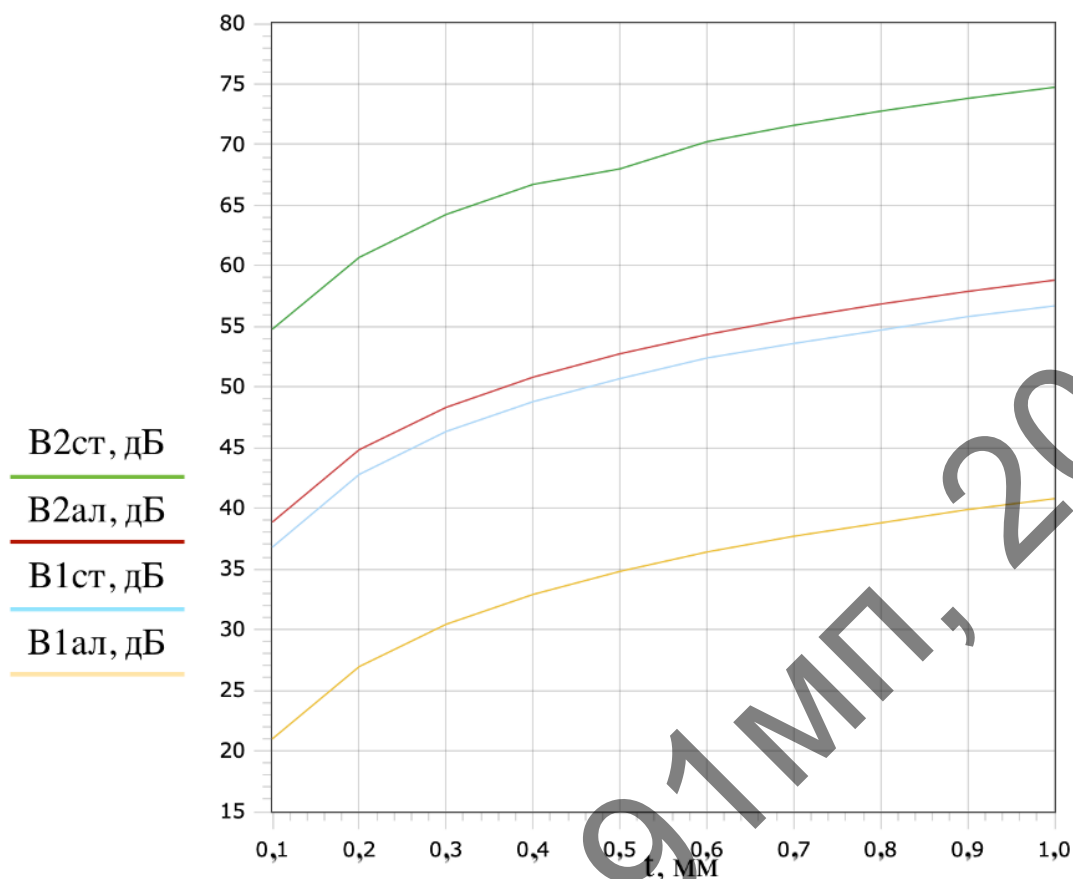


Рисунок 3.2 — Залежність сумарного екранного затухання від товщини алюмінієвого та сталюого екрану для силової кабельної лінії на частоті 50 та 400 Гц

Отримані результати показують, що при вказаній частоті 50 Гц та товщині алюмінієвого екрану в 0,2 мм є недостатньо для подавлення електромагнітної завади, тому для забезпечення електромагнітної сумісності варто брати товщину екрану мінімум 0,35 мм, або замінити алюмінієвий екран сталюим. Для промислової частоти в 400 Гц, достатньо алюмінієвого екрану товщиною 0,2 мм для достатнього подавлення електромагнітного поля.

### 3.1.4 Розрахунок циліндричного екрану для силової лінії на частоті передачі сигналу 115 кГц

Потрібно розрахувати екранне затухання сталюого циліндричного екрану товщиною  $t = 0,05$  мм для випадку передачі інформації через KNX PL на частоті 115 кГц. Радіус екрану  $r_e = 20$  мм.

Магнітна проникність сталі становить  $\mu = 875 \cdot 10^{-6}$  Н / А<sup>2</sup>.

Питома провідність дорівнює  $\sigma = 1,45 \cdot 10^6$  См / м.

Значення хвильових опорів діелектрика та алюмінію і коефіцієнта вихрових струмів розраховані за формулами (3.18), (3.19), (3.20):

$$|Z_{\partial}| = 18,15 \text{ Ом},$$

$$|Z_a| = 0,0209 \text{ Ом},$$

$$|k| = 5,544 \frac{1}{\text{мм}},$$

Ефективність екранування поглинанням та коефіцієнт екранування поглинанням:

$$S_n = 0,96;$$

$$B_n = 20 \lg \left| \frac{1}{S_n} \right| = 0,32 \text{ дБ}$$

Ефективність екранування відбиттям:

$$S_e = 0,0085$$

Коефіцієнт екранування відбиттям:

$$B_e = 20 \lg \left| \frac{1}{S_e} \right| = 97,16 \text{ дБ};$$

Сумарний коефіцієнт екранування:

$$B_e = B_n + B_e = 97,28 \text{ дБ};$$

Для порівняння ефективності сумарного екранного затухання, було проведено такі ж розрахунки для товщин екрану від 0,05 до 0,4 мм та побудовано графік залежності  $B_{ал}(t)$  та  $B_{ст}(t)$ , де  $B_{ал}$  — екранне затухання для алюмінієвого екрану,  $B_{ст}$  — екранне затухання для сталюого екрану (рис. 3.3).

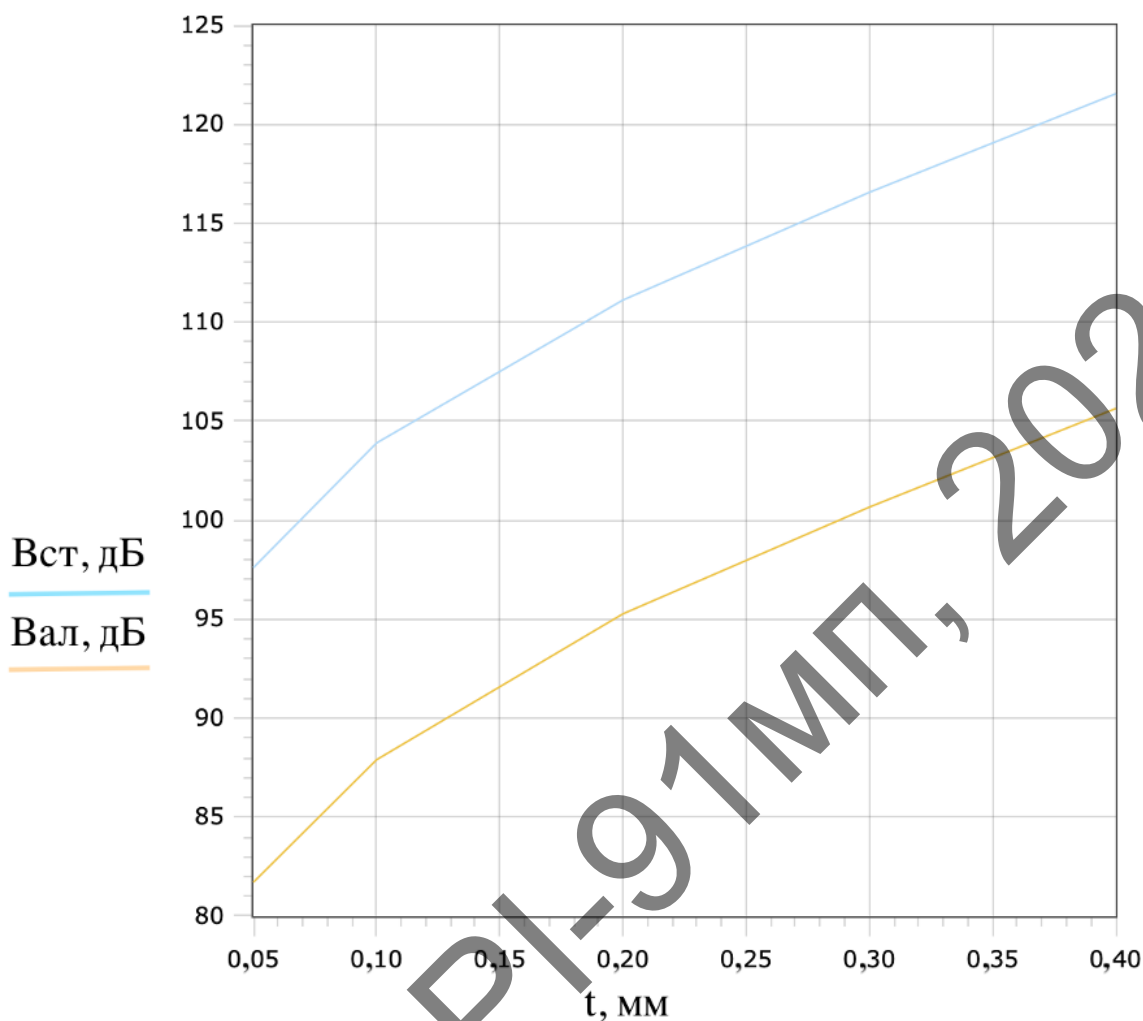


Рисунок 3.3 — Залежність сумарного екранного затухання від товщини сталевих та алюмінієвих екранів

Отримані результати показують, що при вказаній товщині сталевих екранів в 0,05 мм, на частоті 115 кГц є достатньо для подавлення електромагнітної завади, проте, можна рекомендувати і алюмінієвий екран також товщиною 0,05 мм для зменшення ваги кабелю.

### 3.1.5 Розрахунок циліндричного екрану для інформаційного кабелю

Потрібно розрахувати екранне затухання алюмінієвого циліндричного екрану товщиною  $t = 0,1$  мм на частоті передачі сигналу 9,6 кГц. Радіус екрану  $r_e = 10$  мм.

Деяку складність додає розрахунок гіперболічних функцій від комплексних змінних ( $Z_o$ ,  $Z_a$ ,  $k$ ). Розрахунок значно спроститься, якщо скористатися лише модулями цих значень. Ступінь точності при цьому цілком достатній для практичних цілей.



Магнітна проникність алюмінію становить  $\mu=1,256 \cdot 10^{-6} \text{ Н / А}^2$ .

Питома провідність алюмінію дорівнює  $\sigma=2,5 \cdot 10^7 \text{ См / м}$ .

Значення хвильових опорів діелектрика та алюмінію і коефіцієнта вихрових струмів розраховані за формулами (3.18), (3.19), (3.20):

$$|Z_{\partial}| = 1,51 \text{ Ом},$$

$$|Z_a| = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ Ом},$$

$$|k| = 1,6 \frac{1}{\text{мм}},$$

Ефективність екранування поглинанням та коефіцієнт екранування поглинанням:

$$S_n = 0,98;$$

$$B_n = 20 \lg \left| \frac{1}{S_n} \right| = 20 \lg \left| \frac{1}{0,98} \right| = 0,11 \text{ дБ}$$

Ефективність екранування відбиттям:

$$S_e = 0,0005$$

Коефіцієнт екранування відбиттям:

$$B_e = 20 \lg \left| \frac{1}{S_e} \right| = 60,18;$$

Сумарний коефіцієнт екранування:

$$B_e = B_n + B_e = 60,25 \text{ дБ};$$

Для порівняння ефективності сумарного екранного затухання, було проведено такі ж розрахунки для товщин алюмінієвого та сталюого екрану від 0,1 до 1 мм та побудовано графік залежності  $B_{al}(t)$  та  $B_{st}(t)$ , де  $B_{al}$  — екранне затухання для алюмінієвого екрану,  $B_{st}$  — екранне затухання для сталюого екрану (рис. 3.4).

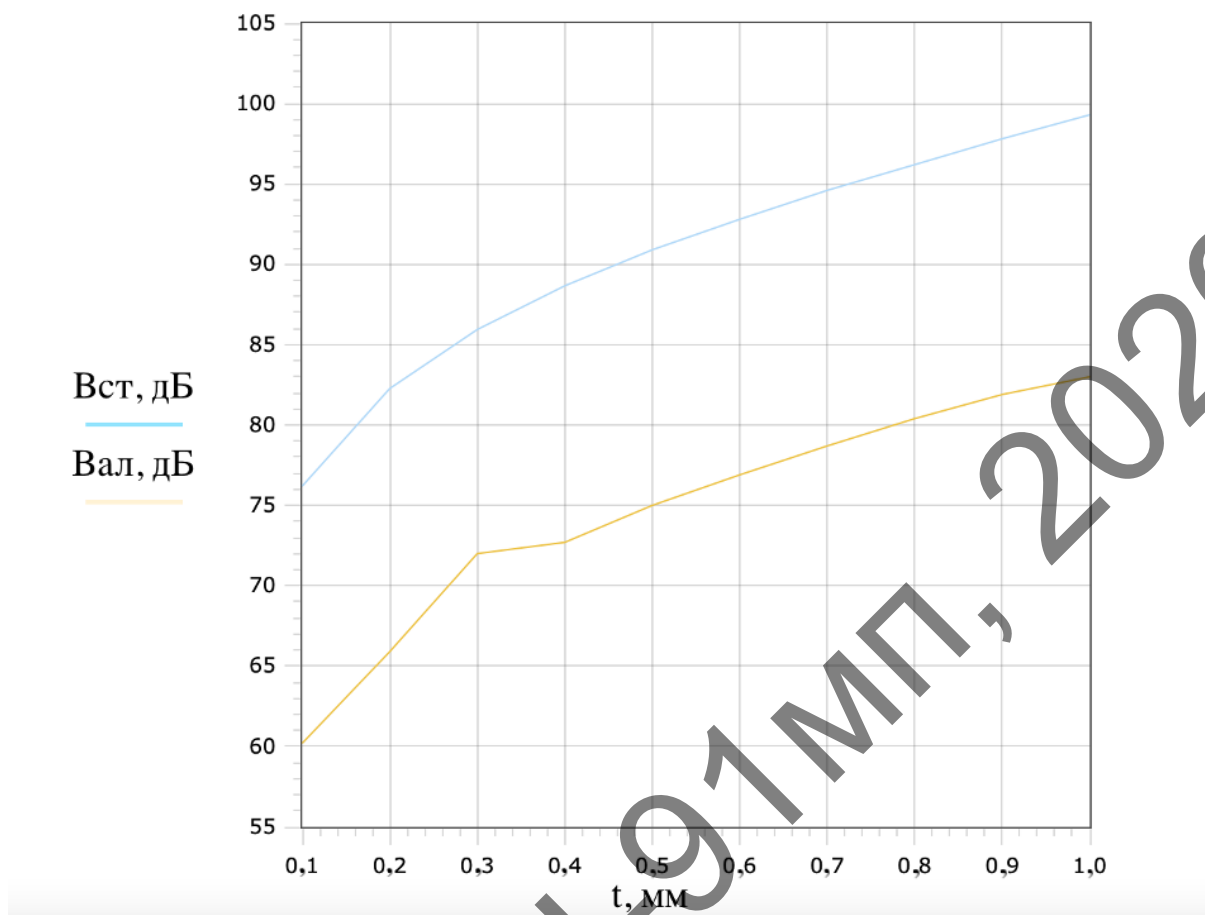


Рисунок 3.4 — Залежність сумарного екранного затухання від товщини алюмінієвого екрану для інформаційної кабельної лінії

Хоча значення сумарного екранного затухання сталюого екрану вищі, проте, отриманих результатів мінімальної товщини алюмінієвого екрану в 0,1 мм забезпечують достатнє екранне затухання для подавлення електромагнітної завади.

Для порівняння залежності сумарної ефективності екранування від частоти сигналу передачі в лінії, побудовано графік залежностей (рис.3.5).

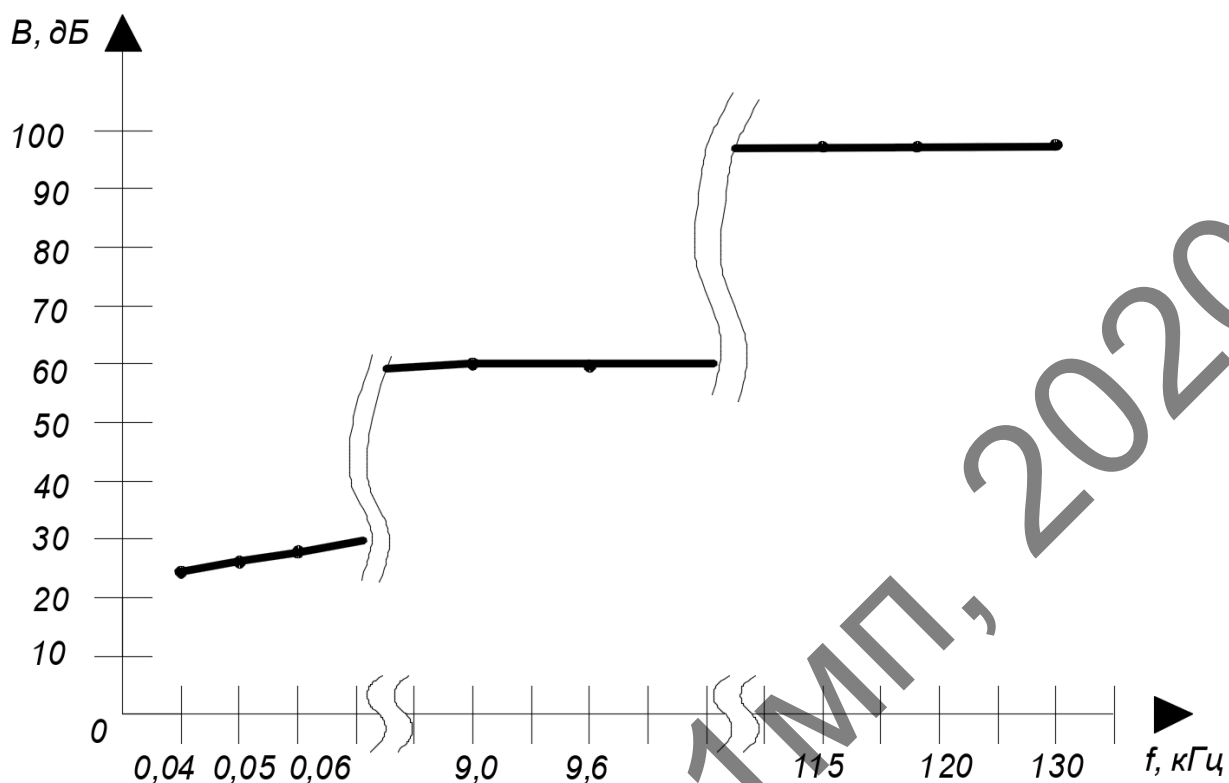


Рисунок 3.5 — Частотна характеристика сумарного екранного затухання на низьких та середніх частотах

Як видно із залежності, найбільше сумарне екранне затухання відбувається на відносно вищих частотах.

## 3.2 Заземлення

### 3.2.1 Сигнальні землі

Важливе значення для забезпечення електромагнітної сумісності системи автоматизації та управління будинками має правильне конструювання пристрою заземлення.

При розробці щитового обладнання системи управління та автоматизації, термін «земля» ототожнюється з терміном «корпус», зміст якого полягає в позначені способу здійснення лінії електричного зв'язку в радіоелектронних пристроях за рахунок струму провідності властивостей металевих елементів несучих конструкцій пристроїв, або спеціальних металевих шин, по яких протікають спільно струми різноманітних каскадів. Варто відрізнити терміни «земля» і «корпус» від захисного

заземлення, що частіше всього виконується з метою безпеки і звичайно завжди має потенціал землі [22].

У системі заземлення спільними лініями електричного зв'язку є, наприклад, стінки корпусів приладів, металеві несучі шасі приладів, що заземлюють шини і перемички, які з'єднують окремі металеві частини системи заземлення або блоки і прилади з цією системою.

Елементи конструкції пристроїв що входять в систему заземлення, — пристрої системи «розумний дім», якість яких звичайно перевіряють за їхнім опором постійного струму. Проте, еквівалентні схеми таких пристроїв можуть бути подані розподіленими величинами  $R$ ,  $L$  і  $C$ , що залежать від частоти, внаслідок чого ці кола мають резонансні властивості.

У загальному випадку шина заземлення повинна розглядатися як довго лінія, еквівалентний опір якої може бути індуктивним або ємнісним в залежності від геометричних розмірів шини і робочої частоти.

Це свідчить про необхідність враховувати вплив еквівалентних електричних параметрів елементів конструкцій (зокрема, шин заземлення) на режим роботи схем пристроїв, а також про необхідність конструювання з урахуванням мінімізації впливу елементів конструкції на роботу пристроїв.

Схеми заземлень зображені на рис. 3.6, а, б.

З точки зору шумів і наводок, найбільш небажаним є заземлення в декількох точках. При цьому способі еквівалентні опори земель всіх окремих схем стають включеними послідовно (рис. 3.6 в).

Як видно з еквівалентної схеми, при цьому способі заземлення зворотній струми  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  пристроїв (відповідно 1 — виконавчі пристрої, 2 — системні пристрої, 3 — сенсори), проходячи по загальних опорах заземлених провідників, створюють паразитні перехресні зв'язки між собою.

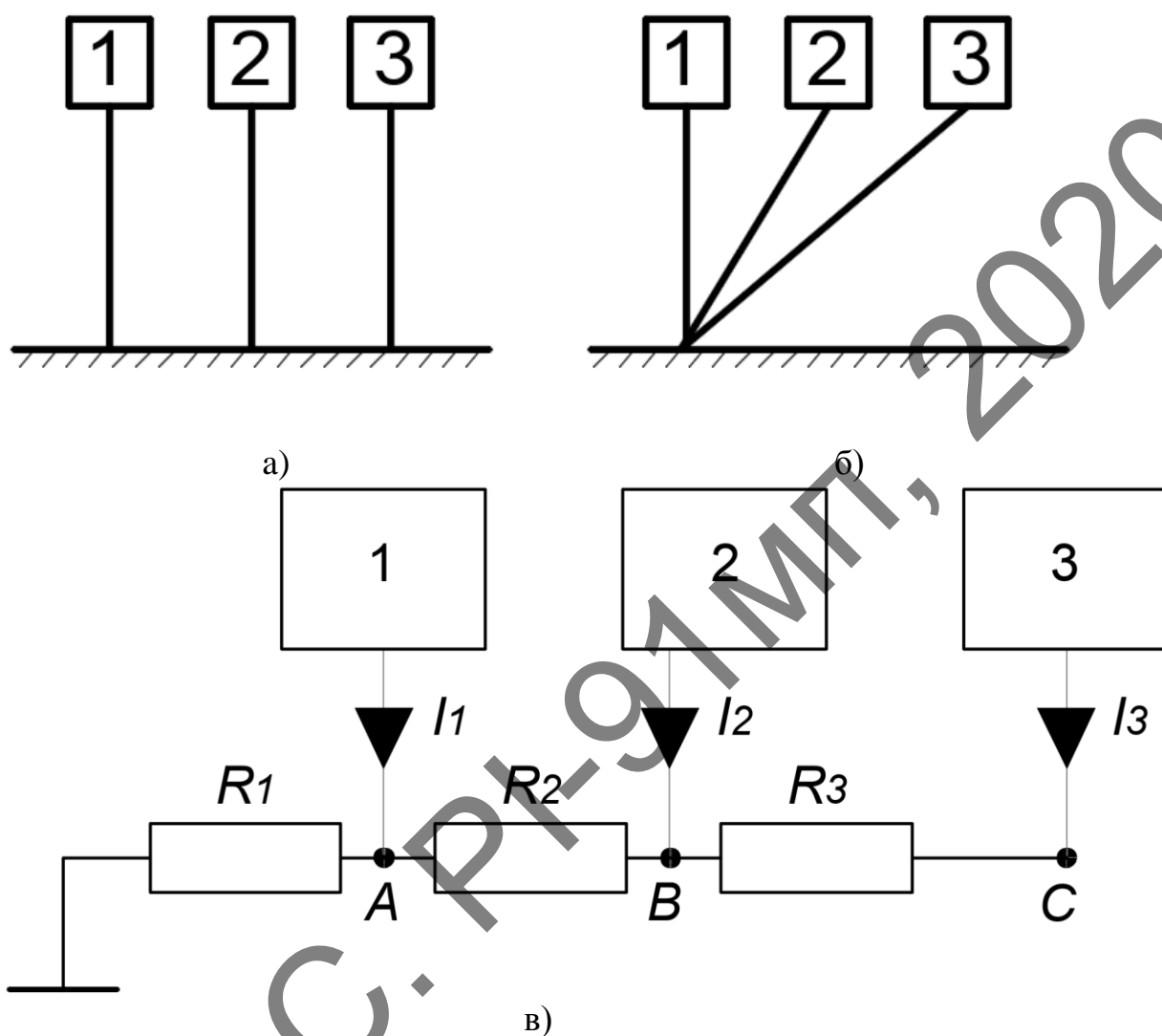


Рисунок 3.6— Заземлення:

а) у декількох точках; б) в одній точці; в) еквівалентна електрична схема заземлення в декількох точках

Шина заземлення корпус в цьому випадку не буде екіпотенціальною. Так у точці А потенціал відмінний від 0:

$$U_A = (I_1 + I_2 + I_3)R_1$$

А точка С має потенціал:

$$U_C = (I_1 + I_2 + I_3)R_1 + (I_2 + I_3)R_2 + I_3R_3$$

Ці потенціали являють собою завади взаємного зв'язку для розглянутих пристроїв 1, 2, 3. Хоча ця схема включення заземлення найменш бажана, але завдяки

своїй простоті вона найбільше використовується. Для некритичних схем з'єднання пристроїв її застосування може бути оправдане.

Таку систему не варто використовувати для кіл з дуже великим розкладом витраченої потужності, тому що потужні каскади створюють значні зворотні струми, що через загальні опори заземлення утворюють завади на слабкопотужні каскади. На рис. 3.7 зображені графіки залежності падіння напруги на омичному опорі мідного провідника довжиною 1 м різноманітного поперечного перерізу в залежності від струму що протікає [23].

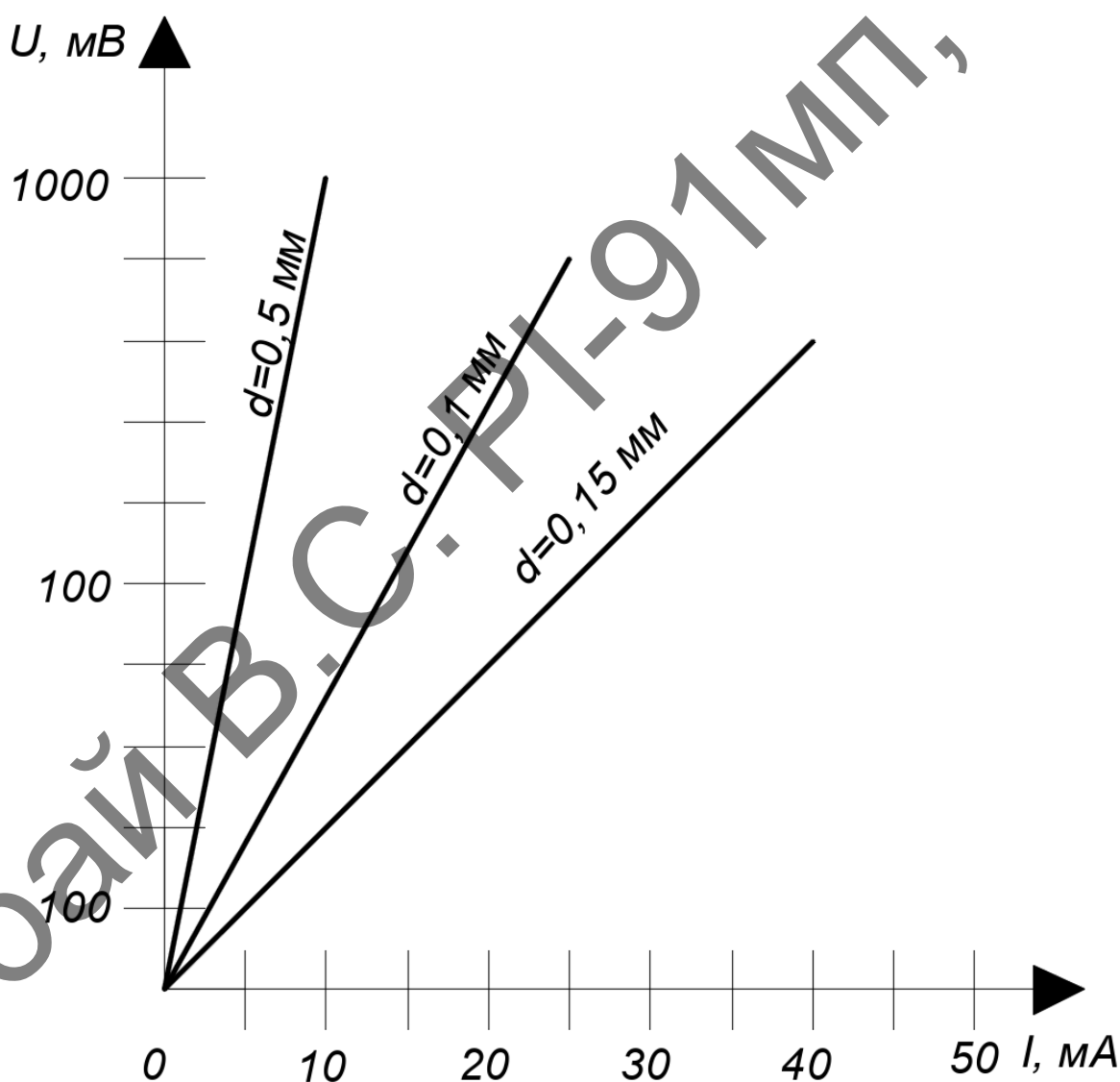


Рисунок 3.7 — Графіки залежності падіння напруги на омичному опорі мідного провідника довжиною 1 м при різноманітних діаметра провідів.

З цих графіків видно, що потужні джерела живлення на загальних проводах заземлення створюють для слабкострумів каскадів значні завади (порядку декілька часток вольт).

Систему з відокремленими землями (паралельне включення) (рис. 3.8) доцільніше використовувати на низьких частотах (причому потенціальний і земляний провід кожного пристрою необхідно скручувати).

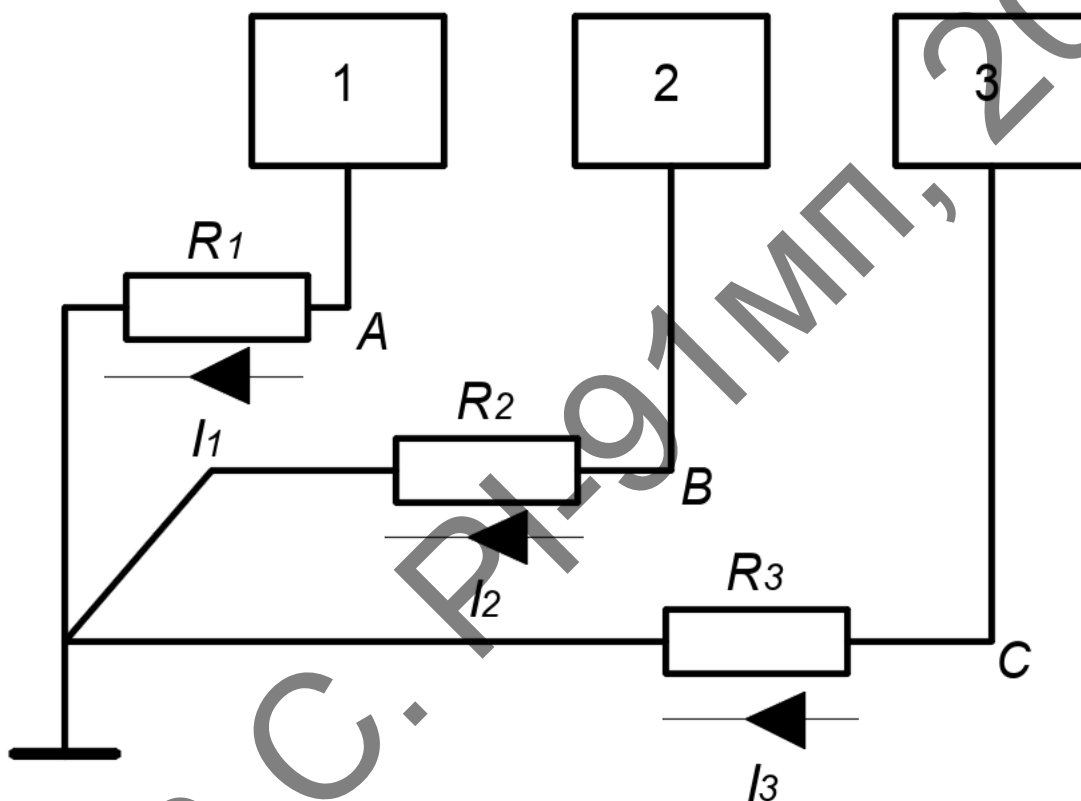


Рисунок 3.8 — Схема з відокремленими землями

Потенціал землі схеми є тепер функцією струму й опору шини заземлення тільки даної схеми:

$$U_A = I_1 R_1; \quad U_B = I_2 R_2; \quad U_C = I_3 R_3.$$

Обмеження системи відокремленого заземлення виявляється на високих частотах, де індуктивності провідників, що заземлюють, (збільшують опір землі на частоті 10 кГц прямолінійний провідник діаметром 0,7 міліметрів, розташований на відстані 25 міліметрів від заземленої поверхні, має індуктивний опір, що перевищує активний), а також створюють індуктивний зв'язок між шинами, що за землю.

### 3.2.2 Практичні схеми низькочастотного заземлення

Більшість практичних схем заземлення на низьких частотах являють собою комбінацію послідовного і паралельного заземлення. Як правило, у цих системах потрібно як мінімум 3 відокремлених кола і землі (рис. 3.9) [24].



Рисунок 3.9 — Основна схема виконання з'єднань, що заземляють

Сигнальну землю слабкострумових електричних пристроїв (в даному випадку сенсорів) варто відокремлювати від шумливої землі (в даному випадку виконавчих та системних пристроїв). Сигнальні, шумливу і корпусну землі варто з'єднувати разом для вилучення контурів заземлення (рис.3.10) тільки в одній точці у схемі джерела живлення. Потенціальний і відповідний земляний провід кожного джерела живлення необхідно виконати скрученими парами.



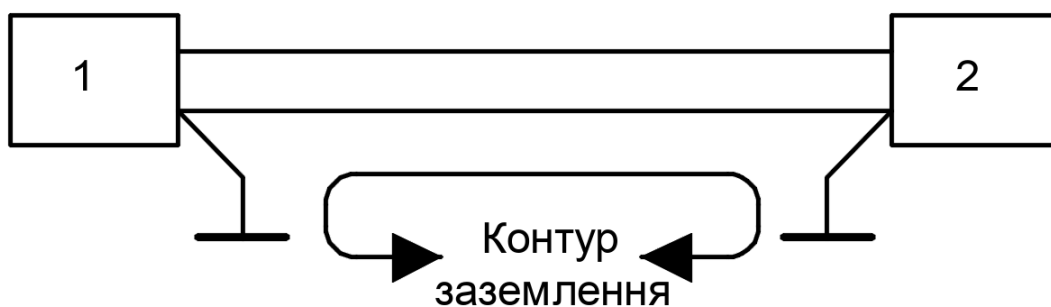


Рисунок 3.10 — Поява «паразитного» контуру заземлення між двома пристроями при заземленні у двох точках

Оскільки дві точки заземлення рідко мають однакові потенціал, різниця потенціалів землі буде прикладена до пристрою, якщо вона заземлена більш ніж в одній точці. На рис. 3.11 джерело сигналу заземлено у точці А, а підсилювач — в точці В.

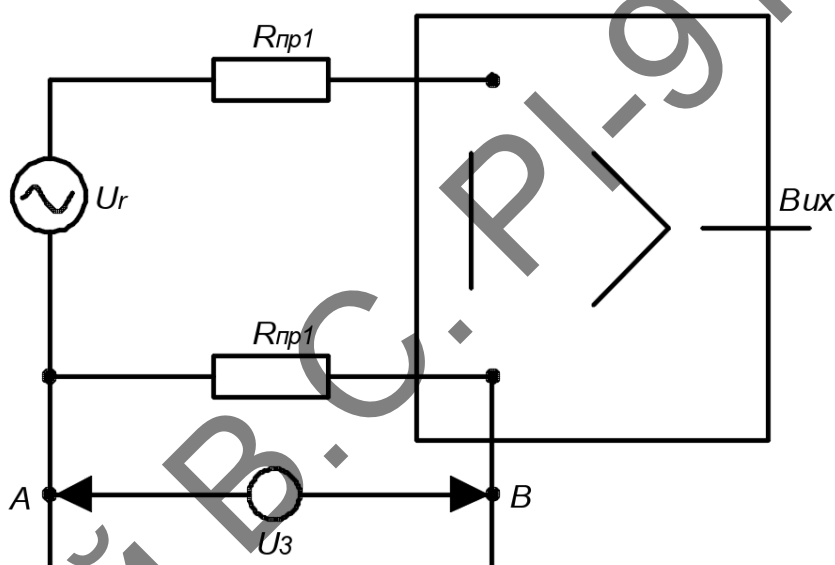


Рисунок 3.11 — Виникнення напруги завади  $U_3$  при заземленні схеми більше ніж в одній точці

Напруга  $U_3$  являє собою різницю потенціалів між точками землі А і В. При цьому напруга завади підсумовуються з напругою генератора і входною напругою підсилювача (тут підсилювач розглядається як зручний частковий приклад навантаження генератора, у той час як фізичні процеси і методи заземлення, що описується, носять загальний характер і властиві будь-якому навантаженню.)

## Висновки за розділом

Для забезпечення електромагнітної сумісності за допомогою екранування проведено розрахунки екрану для інформаційної та силової кабельної лінії, враховуючи заводову обстановку як від промислових частот в 50 та 400 Гц, так і від випадку передачі даних через систему передачі типу KNX TP та KNX PL.

Розрахунок заводових полів від інформаційних кабелів типу UNITRONIC BUS EIB 2x2x0.8 проводився з урахуванням механізмів екранування поглинанням та відбиття при частоті заводового поля 9,6 кГц, які мають циліндричний алюмінієвий екран товщиною 0,1 мм. Коефіцієнт екранування сягнув величини 60,2 дБ, з яких 0,11 забезпечує механізм поглинання, 60,1 дБ були реалізовані механізмом відбиття.

Розрахунок заводових полів від силових кабелю типу ВВГнгд проводився з урахуванням механізмів екранування поглинанням та відбиття при промисловій частоті заводового поля 50 Гц, який має циліндричний алюмінієвий екран товщиною 0,2 мм. Коефіцієнт екранування сягнув величини 26,9 дБ, з яких 0,02 дБ забезпечує механізм поглинання, 26,8 дБ були реалізовані механізмом відбиття.

Розрахунок заводових полів від силових кабелів типу ВВГнгд, що служать середовищем передачі сигналу для KNX PL, проводився з урахуванням механізмів екранування поглинанням та відбиття при частоті заводового поля 115 кГц, який має циліндричний сталевий екран товщиною 0,1 мм. Коефіцієнт екранування сягнув величини 97,6 дБ, з яких 0,3 дБ забезпечує механізм поглинання, 90 дБ і більше були реалізовані механізмом відбиття; таке співвідношення коефіцієнтів екранування пояснюється відносно невеликою частотою інформаційного сигналу.

Отримані результати згасання сигналів від інформаційного кабелю показують, що сигнал подавляється в повній мірі. Що стосується силового кабелю на частоті 50 Гц, то дослідження вказують на недостатній рівень подавлення заводового сигналу. У зв'язку з чим рекомендовано використання іншого силового кабелю товщиною екрану не менше 0,35 мм з необхідним рівнем подавлення не менше 30-35 дБ, що повністю забезпечує ЕМС досліджуваного будинку. Що стосується силового кабелю на частоті 115 Гц, то дослідження вказують на достатній рівень подавлення заводо-

вого сигналу. Проте, рекомендовано використовувати і алюмінієвий екран такої ж товщини 0,05мм і подавлення заводового поля буде ставити 84 дБ.

Для забезпечення електромагнітної сумісності за допомогою заземлення, варто виконувати заземлення в одній точці, щоб позбутися паразитних напруг, утворених між декількома точками. Також варто відокремити сигнальну землю (до якої віднесено сенсори) від «шумливої землі» (до якої віднесено виконавчі пристрої) та від корпусної землі (до якої віднесено корпуси зовнішніх щитів управління).

Прийняті заходи по забезпеченню належного рівня електромагнітної сумісності повністю забезпечують необхідний рівень сумісності в системі «розумний дім» даної моделі.

Кубай В.С. РІ-91МП, 2020

## 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Ця частина магістерської роботи присвячена аналізу ринку стартап-проекту для визначення можливості реалізації ринкового впровадження та можливих методів реалізації цього впровадження [25].

### 4.1 Опис ідеї

Цей розділ аналізує зміст ідеї, можливі сфери застосування, відмінності від існуючих рішень та переваги, які можуть отримати користувачі продукту.

Таблиця 4.1 — Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Електромагнітна сумісність системи «розумний дім»	Наука	Захист користувача «розумного дому» від небажаних ситуацій, спричинених завадами та перешкодами корисного сигналу
	Побут	

ентом розробленого проекту є прикладний програмний пакет *CST Studio Suite*, що дозволяє моделювати обладнання.

Таблиця 4.2 — Визначення сильних, слабких і нейтральних характеристик

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	Товари конкуrentів		W (Слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкуrent			
1	Простота					✓
2	Дешевизна					✓
3	Швидкодія					✓

#### 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

При реалізації цього проекту можливо використовувати автоматизовані комп'ютерні системи для виконання математичних розрахунків. Розглянуто три системи:

1. *Smath* — математична комп'ютерна веб система для простих розрахунків
2. *Mathcad* — відносно не складна математична комп'ютерна система для більш складних розрахунків з можливістю побудов графіків залежностей.
3. *MATLAB* — обширна та потужна автоматизована комп'ютерна система для складних математичних розрахунків, що використовує вектори та матриці і потребує певних навичок програмування.
4. Ручне створення необхідних розрахунків.

№ п/п	Ідея проекту	Технології для реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Електромагнітна сумісність си- стеми «розум-	<i>Smath</i>	Так	Так
2		<i>Mathcad</i>	Так	Так
3		<i>MATLAB</i>	Так	Ні

4	ний дім»	Ручне створення необхідних розрахунків	Ні	Так
Обрана технологія реалізації ідеї проекту — розрахунки електромагнітної сумісності та аналіз отриманих даних в <i>Mathcad</i>				

Таблиця 4.3 — Визначення сильних, слабких і нейтральних характеристик

Цей проект може бути реалізований шляхом створення необхідних алгоритмів у математичній системі *Mathcad*, оскільки автор має знання щодо використання даної комп'ютерної системи.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Цей розділ визначає ринкові можливості, доступні для реалізації проекту на ринку, та ринкові загрози, які можуть перешкоджати його реалізації. Визначення ринкових можливостей дозволяє планувати напрямок розвитку ринку. При цьому повинно бути враховано стан ринкового середовища, потреби в продуктах потенційних споживачів та проектні пропозиції, які можуть конкурувати.

Таблиця 4.4 — Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од.	1
2	Загальний обсяг продажів, ум. од.	Невідомий
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входження	Невідома
5	Середня норма рентабельності в галузі, %	Невідома
6	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують

За результатами попереднього аналізу можна зробити висновки щодо привабливості для входження товару на ринок.

Далі визначаються потенційні групи споживачів, їх характеристики та формується приблизний перелік проектних вимог. Необхідно проаналізувати потреби, що формують ринок, цільову аудиторію, відмінності в поведінці різних потенційних цільових груп споживачів та потреби споживачів до товару.

Таблиця 4.5 — Характеристики потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Збільшення електромагнітних завад що порушують електромагнітну сумісність системи «розумний дім»	Виробники кабельної, електрощитової продукції, виробники продукції автоматизації	Невідомі	Швидкість та точність розрахунків, ціна запропонованої моделі

Проаналізуємо ринкове середовище та складемо таблицю факторів, які допомагають та перешкоджають реалізації проекту на ринку.

Таблиця 4.6 — Чинники можливих загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Вдосконалення програмного забезпечення конкурентних компаній та створення нових алгоритмів розрахунків	Додавання нових функцій в програму комп'ютерного моделювання <i>CST Studio Suite</i> . Вдосконалення алгоритму розрахунку EMC	Вихід з ринку

Таблиця 4.7 — Чинники можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Нові шляхи вдосконалення функціоналу проекту	Додавання нових ідей для вирішення EMC системи «розумний дім»	Розробка новішого функціоналу

Проведемо аналіз пропозиції та визначимо загальні риси конкурентності ринку.

Таблиця 4.8 — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку



Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції — олігополія	Існує декілька конкуруючих фірм	Значний
2. За рівнем конкурентної боротьби — міжнародне	Підприємство відоме в багатьох країнах світу	Значний
3. За галузевою ознакою — внутрішньогалузева	Конкуренція розповсюджується в межах однієї області	Значний
4. Конкуренція за видами товарів — невідомо	Невідомо	Невідомо
5. За характером конкурентних переваг — цінова	Товар високо ціниться	Значний
6. За інтенсивністю — невідомо	Невідомо	Невідомо

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції у даній галузі.

Таблиця 4.9 — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	<i>CST Studio Suite</i>	Розробники програмного забезпечення для розрахунку EMC	Невідомий	Невідомий	Невідомий

На основі результатів аналізу можна зробити висновок, що, незважаючи на помірну конкуренцію, все ще можливо працювати на цьому ринку. Але для розповсюдження товару він повинен мати безліч особливостей, щоб відрізняли його від існуючих конкурентів.

Переглянемо фактори конкурентноспроможності.

Таблиця 4.10 — Обґрунтування факторів конкурентноспроможності

№ п/п	Фактор конкурентноспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Дешевизна	Низька ціна за проведення розрахунків EMC
2	Простота	Робочий алгоритм простий для користувача

Проведемо аналіз сильних та слабких сторін проекту, провівши аналіз факторів конкурентноспроможності, та порівнявши дані з рейтингом товарів конкурентів у порівнянні з розроблювальним проектом.

Таблиця 4.11 — Сильні та слабкі сторони проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспро- можності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з розроблюваним проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Дешевизна								
2	Простота								

Останнім кроком є складання SWOT- матриці для аналізу сильних (сильних) і слабких сторін (слабких), загроз (проблем) та можливостей (можливостей) (табл. 4.12) на основі вибраних ринкових загроз та можливостей, а також сильних та слабкі сторони.

Таблиця 4.12 — SWOT-аналіз

Сильні сторони:  Простота  Дешевизна	Слабкі сторони:  Маловідома компанія на існуючому ринку
Можливості:  Створення нових алгоритмів розрахун- ків ЕМС «розумних домів»	Загрози:  Силькі конкурентні компанії

На підставі результатів SWOT-аналізу проекту можна зробити висновок, що немає необхідності застосовувати альтернативні ринкові реалізації для розроблених проектів.

#### 4.4 Розробка ринкової стратегії проекту

Перший крок у формуванні маркетингової стратегії передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільової групи потенційних споживачів

Таблиця 4.13 — Цільові групи споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Виробники кабельної продукції	Готові	Високий	Середня	Просто
2	Виробники щитової продукції	Готові	Високий	Середня	Просто
3	Виробники пристроїв системи автоматизації	Готові	Високий	Середня	Просто
4	Науковці	Готові	Високий	Середня	Середня
Цільові групи обрано: виробники кабельної та щитової продукції, виробники продукції системи автоматизації та науковці.					

Для роботи у вибраних сегментах ринку необхідно визначити та сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.14 — Базова стратегія розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентос- проможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія ро- звитку
1	Стратегія концентро- ваного маркетингу	Простота, дешевизна	Стратегія спеціалізації

Вибір конкурентної поведінки.

Таблиця 4.15 — Базова стратегія конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «пер- шопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існую- чих у конку- рентів?	Чи буде компанія копіювати ос- новні характери- стики товару конкурента, і які?	Стратегія конку- рентної по- ведінки
1	Так	Так	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

Наступним кроком є розробка стратегії позиціонування. Виходячи з даних в табл.14, табл.15, нижче наведені результати, що включають формування ринкових котирувань, згідно з якими споживачі мають можливість ідентифікувати інші предмети.

Таблиця 4.16 — Стратегія позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Простота у використанні	Стратегія спеціалізації	Простота, дешевизна	Невідомо
2	Зрозумілість результату			

#### 4.5 Розробка маркетингової програми стартап проекту

Необхідно сформувавши концепцію збуту товару, яку прийме кінцевий споживач.

Таблиця 4.17 — Ключові переваги концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Аналіз та методи покращення ЕМС системи «розумний дім»	Покращення умов ЕМС системи «розумний дім»	Дешевизна, точність розрахунків, простота у використанні.

В подальшому розроблена трирівнева маркетингова модель товарів: концепція товарів та / або послуг, фізичні компоненти товарів та характеристики процесу нагородження товарами.

Таблиця 4.18 — Рівні моделі товару та їх сенс

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар (згідно концепції), її основної функціональної вигоди
2. Товар у реальному виконанні	Властивості
	1. Простота
	2. Дешевизна
	Якість: передексплуатаційна перевірка на фізичних моделях
	Пакування: не потрібне
3. Товар із підкріпленням	До продажу: невідомо
	Після продажу: невідомо
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: в даного товару не буде захисту від копіювання та розповсюдження.	

Далі варто розрахувати цінові границі для маркетинга.

Таблиця 4.19 — Визначення границь встановлених цін

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	40 тис. ум.од	До 15 тис. ум. од.	Високий	Безкоштовно

Розрахунок оптимальної системи збуту. Продумати чи продавати самостійно або залучати сторонніх посередників (власну або залучену систему продажів); потрібно вибрати і довести найкращу глибину каналу збуту, вибрати та сертифікувати вид посередника.

Таблиця 4.20 — Система збуту товару

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Невідома	Відкритий доступ	Невідома	Відкритий доступ

Останнім кроком потрібно розробити концепцію маркетингової комунікації

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Невідома	ЗМІ, наукові публікації, мережа Інтернет	Можливості створення проекту	Донесення доступності і можливостей проекту	Зосередження на перевагах проекту

Висновки за розділом

Згідно з проведеним аналізом в даному розділі, встановлено, що завдяки ринковому попиту на продукцію, проект можна розпочати для досягнення ринкової комерціалізації. Однак, оскільки проект не спрямований на збагачення авторів і буде розповсюджений безкоштовно через мережу Інтернет, без будь-яких обмежень та захисту від копіювання та поширення, то комерціалізація стартап-проекту не має будь-якого сенсу.



## ВИСНОВКИ

1. В даній магістерській дисертації було проведено аналіз моделі системи «розумний дім», пристроїв-джерел промислових радіоперешкод, основні властивості виробів сприймати радіозавади та електромагнітної обстановки навколишнього середовища.
2. Найбільш потужності завад від промислових джерел створюються на відносно низьких частотах, до 1 МГц, особливо в центрі великих міст та в залежності від вищої інтенсивності автомобільного руху.
3. Проведені дослідження показують, для інформаційної кабельної лінії з товщиною алюмінієвого екрану 0,05 мм лінії забезпечується рівень екранування в 60,2 дБ. Рівень електромагнітної сумісності в повній мірі забезпечує нормальне функціонування системи в цілому.
4. Дослідження показують, що для силової кабельної лінії з товщиною сталевого екрану 0,05 мм на частоті передачі сигналу 115 кГц забезпечується рівень подавлення в 97 дБ. Рівень електромагнітної сумісності достатній, проте, можна використувати і алюмінієвий екран з мінімальною товщиною 0,05 мм, для зменшення ваги кабелю, щоб в повній мірі забезпечити нормальне функціонування системи в цілому з коефіцієнтом екранування в 84 дБ.
5. Дослідження показують, що для силової кабельної з товщиною сталевого екрану 0,2 мм лінії на частоті передачі сигналу 50 Гц забезпечується рівень подавлення в 26 дБ. Рівень електромагнітної сумісності недостатній, тому варто використати екран з мінімальною товщиною 0,35 мм, щоб в повній мірі забезпечити нормальне функціонування системи в цілому з коефіцієнтом екранування в 35 дБ.
6. Для забезпечення електромагнітної сумісності за допомогою заземлення, варто виконувати заземлення в одній точці, щоб позбутися паразитних напруг, утворених між декількома точками. Також варто відокремити сигнальну землю (до якої віднесено сенсори) від «шумливої землі» (до якої від-

несено виконавчі пристрої) та від корпусної землі (до якої віднесено корпуси зовнішніх щитів управління).

7. Розроблений алгоритм для програми MathCad для розрахунку рівнів подавлення «паразитних» випромінювань від джерел-інформаційного та силових кабелів дозволяє ефективно з урахуванням механізмів «поглинання» та «відбиття» дослідити електромагнітну обстановку в системі «розумний дім» і укомплектувати останній кабельними пристроями, які забезпечують надійне функціонування системи в цілому.

Кубай В.С. РІ-91МП, 2020

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. What is KNX. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/What-is-KNX/A-brief-introduction/index.php>.
2. Capacitive touch panel Zennio Z41 Pro. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.zennio.com/products/touch-panels-room-controllers/z41-pro>.
3. Multifunction actuator Zennio MAXinBOX 16v3. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.zennio.com/products/actuators/maxinbox-16-v3>.
4. KNX power supply Zennio ZPS-640 HIC230. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.zennio.com/products/system/zps640hic230>.
5. Bus cabel UNITRONIC BUS EIB 2x2x0.8. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://complete-electronics.com/2170240-unitronic-bus-eib-2x2x0-8-lapp-cable>.
6. KNX IP Router ZSYIPCL. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.zennio.com/products/system/ip-router-cl>.
7. KNX Smart home and building solutions. Global. Secure. Connected. The KNX Standard — the basics. — 2015 — P. 1 — 24.
8. Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 16-22 листопада 2020 р.: матеріали конференції — Київ. — 42–45 ст.
9. Теорія і практика управління використанням радіочастотного ресурсу: Навч. посібник / За ред. д-ра техн. наук, проф. В. Г. Кривуци та Т. М. Наритника. — К.: ДУІКТ, 2012. — с.29.
10. Конспект лекцій з дисципліни «Електромагнітна сумісність джерел живлення і навантаження» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ укл.: Хмельницький Є.Д. — Кам'янське: ДДТУ, 2018 р., 100 с.

11. Д.А. Кривошеин, Л.А. Муравей, Н.Н. Роева. Экология и безопасность жизнедеятельности. Учебное пособие для вузов. — М.: Юнита-Дана, 2000. — 447 с.
12. ГОСТ 12.1.006-84. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ РАДИОЧАСТОТ Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Взамен 12.1.006 - 76; введ. 1987— Москва.
13. ДСН 239-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань, затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України 01.08.1996 № 239.
14. Постанова кабінету міністрів «Про затвердження Технічного регламенту щодо вимог до екодизайну для ламп спрямованого випромінювання, світлодіодних ламп і пов'язаного з ними обладнання.» // Кабінет міністрів України. — 2019. — №264.
15. Наказ України «Про затвердження Державних санітарних норм та правил при роботі з джерелами електромагнітних полів» // Міністерство охорони здоров'я України. — 2002. — №476.
16. Зінковський Ю. Ф., Клименко В. Г. Электромагнитна, інформаційна захищеність та сумісність електронних апаратів: Навчальний посібник для студентів вищих технічних закладів. — Ж.: ЖІТІ, 1999. — 376 с.
17. Kenneth L. Kaiser. Kettering University Flint, Michigan. Electromagnetic Shielding — 2006 — 300p.
18. Abdul J. Jerri. Introduction to Integral Equations with Applications, John Wiley & Sons Inc. — 1999.
19. Taylor & Francis Group. Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding. — CRS Press — 315p.
20. V.T. Erovenko. Mathematical model of penetration of cylindrical electromagnetic fields with axial symmetry through the plane screen from permalloy. — ISSN 1816-0301 — June 2018.

21. Poularikas A. D. “Bessell Functions” The Handbook of Formulas and Tables for Signal Processing. Ed. Alexander D. Poularikas Boca Raton: CRC Press LLC, — 1999.

22. Grounding And Shielding RYP Masters Program Electronics for Space Lecture notes Swedish Inst. of Space Physics 2005.

23. Лук’яненко Ю.В., Остапчук Ж.І., Кулик В.В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні. Навчальний посібник. — Вінниця: ВДТУ, 2002. — 116ст.

24. Grounding, Bonding and Shielding for Electronic Equipment and Facilities. 29.12.1987 — MIL. HDBK —419A.

25. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавришина. — Київ : НТУУ «КПІ», 2016. — 28с.

## Додаток А

### Електромагнітна сумісність системи автоматизації та управління будинками KNX

Кубай В.С., магістрант; Зіньковський Ю. Ф., д.т.н., проф.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Основною метою дослідження є визначення умов електромагнітної сумісності (ЕМС) між радіоелектронними засобами і кабельними лініями системи автоматизації та управління будинками KNX (відкритий стандарт комерційної та побутової автоматизації будівель) та побутовими пристроями, для їх належного сумісного функціонування

**Джерела електромагнітних завад.** Основними джерелами електромагнітних завад є пристрої-джерела електромагнітних індустриальних та побутових радіозавад, в першу чергу інформаційні та силові лінії.

Електромагнітні індустриальні радіозавади передбачено створюються електричними чи електронними пристроями в діапазоні радіочастот (3 кГц – 3 ГГц). Пристрої-джерела індустриальних радіозавад у відповідності до їх функцій відносно електричної енергії можуть бути розподілені на чотири класи: генератори, споживачі (приймачі), перетворювачі та каналізатори енергії.

Випромінювані індустриальні завади створюють «середній фон» просторових завад. При практичній оцінці середньої потужності «загального фону» індустриальних завад можна використовувати дані Міжнародного консультативного комітету радіо [1].

Сенсори, що використовуються в системі автоматизації житлового будинку (класифікатор 003)

Сенсори (давачі) - сенсорні настінні панелі і вимикачі; давачі фізичних величин — температури, вологості і т. д.; давачі руху, таймери та інші. Вони відповідають за фіксування тих чи інших зовнішніх подій, процесів, настання яких викликає певну реакцію системи. Після настання такої події (натискання кнопки, перевищення порогового значення температури, імпульсна електромагнітна завада і т. п.) сенсор посилає в мережу керуючу команду відповідному виконавчому пристрою. В залежності від стану інформаційного середовища передачі даних ці при-

строї відрізняються своїми параметрами та працюють на різних частотах. Основними середовищами передачі даних в об'єкті дослідження (будинку) є передача електромагнітного сигналу по крученій парі, силовій мережі, IP-мережі та по радіоканалу.

**Вплив завад на рецептори системи.** Сучасні пристрої автоматизації мають тенденцію до ускладнення. Завадове середовище погіршується внаслідок технічно недосконалого функціонування апаратури, яке супроводжується непередбаченими електромагнітними випромінюваннями, збільшенням фону індустриальних радіозавад у навколишньому середовищі. Одночасно кількість, складність і чутливість радіозасобів, що знаходяться в постійній експлуатації, неухильно підвищується. Це, в першу чергу, відноситься до рецепторів системи автоматизації. Завади знижують показники надійності та якості РЕЗ, викликають загальне погіршення вхідного сигналу (поготів вихідного сигналу). Виникає необхідність кількісно оцінювати, як впливають завади на апаратуру, якими методами можна зменшити, нейтралізувати чи взагалі позбавитись від їх завадної дії.

**Ефективність і точність моделей полів випромінювачів завад при екрануванні.** Розв'язок рівнянь електродинаміки в основних інтегральних чи диференціальних формах, чи в перетворених формах, наприклад, у вигляді хвильових рівнянь дають досить складні математичні моделі полів, з точки зору інженерних застосувань, і у зв'язку з цим потребують врахування конкретних параметрів реальної моделі паразитних полів. Тому доцільно за критеріями ефективності і точності дослідити моделі різного виду і наближення до реальних їх значень, які приймаються при екрануванні, і установити обмеження на їх використання особливо в критичних режимах, де спрощення можуть призвести до ідеалізованих за критеріями практики результатів розрахунків: сильно завищеним чисельним значенням цільових показників (коефіцієнтів) екранування чи, наприклад, малим розрахунковим товщинам екранів та ін. При електромагнітному екрануванні вирішуються задачі знаходження параметрів полів при допущеннях про заздалегідь відомих основних властивостях об'єктів, до яких належать чи можуть бути віднесені реальні джерела завад, що екрануються [2].

**Екранування лінії.** Так як, одними з середовищ передачі даних в системі автоматизації KNX є передача інформації по інформаційній та силовій електричній лінії, то потрібно забезпечити саме електромагнітну захищеність цих ліній [3].

Найбільш ефективним засобом захисту кабельних ліній від електромагнітних завад є їх екранування. Для захисту від зовнішніх завад сердечника кабелю застосовуються магнітні чи немагнітні екрани. Вони, як правило, мають суцільну циліндричну конструкцію і вироблені зі свинцю, алюмінію чи сталі.

Екран локалізує дію електромагнітних полів, створених джерелами завад, і захищає лінії і канали зв'язку від взаємних впливів і сторонніх завад. У реальних умовах екранування перешкоджає впливу як магнітних, так і електричних полів. Дія екрана визначається ефективністю екранування, що представляє собою відношення напруженості електромагнітного поля в якій-небудь точці простору при наявності екрана ( $E_3, H_3$ ) до напруженості поля в тій же точці без екрана ( $E, H$ ) –  $S = E_3/E = H_3/H$ .

Ефективність екранування  $S$  змінюється від 1 до 0, характеризуючи в останньому випадку найвищий екрануючий ефект. Відповідно до цього ефективність екрана можна виражати через згасання екранування.

Екрануючий ефект визначається сумарною дією згасання поглинанням ( $A_n$ ) і згасання відбиттям ( $A_e$ ) електромагнітного поля. Екранування поглинання обумовлене тепловими втратами на вихрові струми в металевому екрані. Чим вище частота і більше товщина екрана, тим більше ефект екранування. Екранування відбиття зв'язане з невідповідністю хвильових характеристик металу  $Z_m$ , з якого виготовлений екран, і ізоляції  $Z_d$ , що оточує екран. Чим більше відрізняються між собою хвильові характеристики діелектрики і металу, тим сильніше ефект екранування за рахунок відбиття.

Ефективність екранування кабельної оболонки щодо електричних і магнітних полів можна визначити за формулою:

$$S = S_n \cdot S_m = \frac{1}{ch\sqrt{jk\Delta}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left[ \frac{Z_d}{Z_m} + \frac{Z_m}{Z_d} \right] th\sqrt{jk\Delta}} \quad (1)$$



де  $k = \sqrt{j\omega\mu\sigma}$  — хвильовий вектор;  $\Delta$  — товщина екрана;  $Z_D$  — хвильовий опір діелектрика-повітря, що оточує екран;  $Z_m = \sqrt{j\omega\mu/\sigma}$  — хвильовий опір металу екрану. Хвильовий опір діелектрика для циліндричного екрану, який реалізується у кабельних лініях, в квазістаціонарному режимі  $Z_D = j\omega r\mu/\sqrt{2}$

$r$  — радіус коаксіалу;

Коефіцієнт екранування  $B^{nep} = \ln \left| \frac{1}{S} \right|$  в неперах, або  $B^{dB} = 20 \lg \left| \frac{1}{S} \right|$  в децибелах.

Якщо  $S = S^n \cdot S^e$ , то  $B = \ln \left| \frac{1}{S^n \cdot S^e} \right| = B^n + B^e$ ,  $B^n = \ln \left| \frac{1}{S^n} \right|$ ,  $B^e = \ln \left| \frac{1}{S^e} \right|$ .

В досліджуваному будинку встановлено обладнання для автоматизації та управління фірми Zennio, а саме: давачі присутності типу Presentia C, сенсорні панелі з вбудованими давачами температури типу Z41Pro, а також обладнання, що розміщено в щиті для керування освітленням типу DIMinBOX DX4 та керуванням кліматом і жалюзі MAXinBOX 16. Всі вище перераховані пристрої підключені на одну лінію шинним інформаційним кабелем типу КПП-ВП та передають інформацію на частоті 106 кГц [4].

Розрахунок заводових полів від коаксіальних та інформаційних кабелів типу КПП-ВП проводився з урахуванням механізмів екранування поглинанням та відбиття при частоті заводового поля 106 кГц і довжині інформаційного кабелю 100 м, який має циліндричний алюмінієвий екран товщиною 0,1 мм. Коефіцієнт екранування сягнув величини 43 дБ, з яких 16 дБ (37% від 43 дБ) забезпечує механізм відбиття, 27 дБ були реалізовані механізмом поглинання.

Розрахунок заводових полів від силових кабелів типу ВВГнгд проводився з урахуванням механізмів екранування поглинанням та відбиття при промисловій частоті заводового поля 50 Гц і довжині силового кабелю 100 м, який має циліндричний алюмінієвий екран товщиною 0,15 мм. Коефіцієнт екранування сягнув величини 28 дБ, з яких 12 дБ (42% від 28 дБ) забезпечує механізм відбиття, 16 дБ були реалізовані механізмом поглинання.

Отримані результати згасання сигналів від інформаційного кабелю в повній мірі подавляють заваду. Що стосується силового кабелю, то дослідження вказують

на недостатній рівень подавлення заводового сигналу. У зв'язку з чим рекомендовано використання іншого силового кабелю товщиною екрану не менше 0,25 мм з необхідним рівнем подавлення не менше 30 – 35 дБ, що повністю забезпечує ЕМС досліджуваного будинку.

1. Міжнародний консультативний комітет щодо радіо — [itu.int](http://itu.int) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.itu.int/ITU-R/>
2. Зіньковський Ю.Ф. Електромагнітна, інформаційна захищеність та сумісність електронних апаратів: Навчальний посібник для студентів вищих технічних закладів./ Зіньковський Ю.Ф., Клименко В.Г.– Житомир: ЖІТІ, 1999. — 376 с.
3. KNX — [knx.org](http://knx.org) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.knx.org>
4. Zennio — [zennio.com](http://zennio.com) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.zennio.com>

Кубай В.С. РІ-91МП, 2020