

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського як навчальний
посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою
«Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей» спеціальності
171 «Електроніка»

Укладачі: В. В. Пілінський, В. Б. Швайченко

Електронне мережне навчальне видання

Київ

КПІ ім. Ігоря Сікорського

2022

Відповідальний

редактор

Лазебний В. С., к.т.н, доцент

Рецензент:

Вербицький Є.В., д.т.н, доцент, доцент каф. ЕПС

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 5 від 25.05.2022 р.)
за поданням Вченої ради факультету електроніки
(протокол № 4/22 від 24.04.2022 р.)*

Навчальний посібник призначено для удосконалення опанування дисципліни, яка надає знання щодо проблеми електромагнітної сумісності для практичної діяльності фахівців, що працюють як дослідники і розробники електронної апаратури у системах мультимедіа, технології Інтернету речей тощо. Мстить опис шести лабораторних робіт. Наведено методики вимірювання параметрів електромагнітної сумісності і формули для статистичної обробки результатів. Призначено для здобувачів ступеня магістра за спеціальністю 171 "Електроніка".

Студент має обґрунтувати застосування протишумових фільтрів, розрахувати за заданими параметрами і врахуванням умов забезпечення електромагнітної сумісності з функціональною апаратурою та електричною мережею та виконати дослідження функціональних вузлів електронних систем, з застосуванням відповідного інструментарію та обробити результати експериментів, порівнявши з вимогами нормативних документів з забезпечення ЕМС..

Реєстр. № НП XX/XX-XXX. Обсяг 1,5 авт. арк.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

Вступ	4
Організація лабораторних занять.....	7
Лабораторна робота № 1.....	10
Лабораторна робота № 2.....	13
Лабораторна робота № 3.....	17
Лабораторна робота № 4.....	21
Лабораторна робота № 5.....	26
Лабораторна робота № 6.....	30
Перелік посилань.....	34
Список рекомендованої літератури.....	35

ВСТУП

Збільшення кількості електронного, радіоелектронного та електротехнічного обладнання призводить до загострення проблеми електромагнітної сумісності (ЕМС). Під обладнанням в подальшому вважаємо радіотехнічні, електронні, електричні, електромеханічні, оптоелектронні технічні засоби (ТЗ) або системи формування, передавання, прийому та обробки інформації, управління об'єктами та окремими агрегатами, здатними створювати, сприймати та розподіляти електромагнітну енергію. Проблема ЕМС ТЗ - одна з найважливіших у системах телекомунікацій та інших системах та апаратах, насичених електронними приладами різноманітного призначення, які працюють в різних частотних та енергетичних діапазонах.

Директива Європейського Союзу 89/336 ЕС , оновлена 2004/108 ЕС та замінена на 2014/30 EU, Постанова Кабінету Міністрів України № 95 від 27.02.92 року "Про організацію проведення сертифікації продукції" вимагає обов'язкову перевірку електротехнічної та радіоелектронної апаратури на її відповідність вимогам ЕМС. Проте в більшості практичних ситуацій рівні електромагнітних завад (ЕМЗ) перевищують допустимі нормативними документами, якщо не вжити відповідних засобів. Постійне ускладнення проблеми ЕМС в електричних мережах вимагає більш жорстких норм допустимих індустриальних радіозавад та потребує збільшення ефективності протизавадових засобів.

Мета навчальної дисципліни - навчити студентів оволодівати та застосовувати знання для вирішення інженерними засобами задач, що виникають в процесі експлуатації обладнання та пов'язаних з забезпеченням ЕМС, а головне, - проектування, бо як відомо, забезпечення ЕМС під час експлуатації вимагає значно більше коштів, а кількість можливих засобів значно менша, ніж на початкових етапах розробки.

Комплексний розгляд проблеми можливий на базі навчальних курсів "Математичний аналіз", "Загальна фізика", "Схемотехніка", "Теорія електричних кіл", "Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль", інших спеціальних дисциплін.

Вивчення цієї дисципліни має свою специфіку, яка визначена широким колом питань, окремі аспекти яких вивчені раніше ізольовано, без взаємозв'язку. Об'єднати та виявити нові закономірності допомагає поняття "електромагнітна обстановка" (ЕМО): умови, за яких функціонує обладнання, визначені сукупністю сигналів і електромагнітних завад, які впливають на рецептори (тобто елементи, що сприймають електромагнітну енергію). Рецепторами можуть бути не тільки антени приймачів, але й навчальному посібнику наведено:

- інформацію щодо лабораторних робіт;
- тематика індивідуальних завдань;
- перелік літературних джерел за тематикою ЕМС.

В оформленні посібника приймав участь магістрант М. Савка

Лабораторні роботи з дисципліни «Електромагнітна сумісність електронних засобів» сприяють становленню магістрів наукових з спеціальності 171 Електроніка, освітньо-наукова програма «Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей».

Викладання дисципліни є необхідним для того, щоб надати студентам первинні поняття з методології та принципів визначення джерел, рецепторів та шляхів поширення радіо електромагнітних завад, виконання вимірювання основних параметрів, що визначають електромагнітну сумісність.

Головною метою циклу лабораторних занять з дисципліни є засвоєння студентами методів практичної роботи з електронними вимірювальними приладами, які застосовують для визначення характеристик електромагнітної сумісності в системах та комплексах мультимедіа та засобів Інтернету речей ,

телекомунікацій та акустотехніки, відображення та реєстрації інформації. Під час виконання кожної роботи студент має вміти:

- підготувати прилад до вимірювання,
- встановити заданий режим роботи,
- визначити покази приладів,
- визначити похибку одержаних результатів вимірювання,
- сформулювати висновки.

Кількість лабораторних занять, обумовлена навчальним учбовим планом та програмою, дорівнює 18 академічним годинам, які розподілені між 7 роботами по 2...3 години кожна. Послідовність проведення робіт повинна відповідати технологічній карті робочої програми, тобто дотримуватись лекційного матеріалу дисципліни. Цьому сприяє фронтальний метод проведення занять

ОРГАНІЗАЦІЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

Лабораторні роботи виконують у два етапи:

Перший (підготовчий) - з'ясування завдання, виконання розрахункової частини, підготовка бланків звіту з кресленням схем вимірювального обладнання і таблиць.

Підготовка до лабораторних робіт студентів базується на цих методичних рекомендаціях, конспектах лекцій, інформації з рекомендованої літератури. Необхідно звернути увагу на функціональне призначення вимірювальної апаратури та органів управління, вибір режимів вимірювання, складання схеми експерименту, послідовність виконання роботи.

Другий (робота у лабораторії) - виконання експериментів, оброблення результатів експерименту, оформлення звіту і формулювання висновків, захист результатів роботи.

Порядок роботи у лабораторії

На початку занять здійснюють (письмово або усно) контрольне опитування студентів, мета якого - з'ясувати, чи засвоїли студенти теоретичний матеріал, чи вміють накреслити схему і пояснити принцип дії пристрою, який досліджують, чи знають його основні властивості та галузь застосування. Для полегшення підготовки до лабораторних робіт у кінці опису кожної з них наведені контрольні запитання.

Студентів, які не підготувались належним чином до занять, до виконання лабораторних робіт не допускають.

До початку вимірювань в усіх приладах регулятори величин, що вимірюють, встановити в положення максимального значення.

Після закінчення роботи кожен студент повинен подати оформлений звіт, а також захистити висновки за результатами вимірювань та обчислень.

Лабораторні роботи студенти виконують під керівництвом викладача.

За умов своєчасного виконання робіт та оформлення звітів за ними відповідно до викладених вимог студенти отримують залік з лабораторного практикуму.

Вимоги до оформлення звіту

Звіт повинен бути оформлений акуратно, креслення схем виконані відповідно до вимог стандартів. Графіки мають надавати повне уявлення щодо процесів, які досліджують, тобто означені величини вздовж осей x та y ; масштаб необхідно обирати таким, що дозволяє провести коректне порівняння результатів. Таблиці також необхідно виконувати за ДСТУ 3008: 2015.

Звіти, що не відповідають викладеним вимогам, повертають на доопрацювання.

Техніка безпеки під час роботи в лабораторії

Перед початком виконання лабораторних робіт викладач проводить інструктаж з техніки безпеки на робочому місці. Студенти, які засвоїли правила техніки безпеки, розписуються у журналі або контрольних аркушах з техніки безпеки.

Перелік основних вимог з техніки безпеки, яких потрібно завжди дотримуватись:

- *не порушуйте самі та зупиняйте тих, хто порушує правила техніки безпеки робіт та внутрішнього розпорядку у лабораторії;*
- *не торкайтеся, не вмикайте і не вимикайте без дозволу керівника або лаборанта перемикачі мережі живлення змінного струму;*
- *не захаращуйте робоче місце зайвим обладнанням та особистими речами, які не використовуються під час проведення робіт, - це може призвести до нещасного випадку;*
- *виконуйте тільки доручену Вам роботу;*

- *не відволікайте увагу інших студентів* та не залишайте без нагляду своє робоче місце; *є* не виконуйте комутацій в електричному колі, що *є* під напругою;

- *не торкайтесь руками* неізольованих елементів вимірювального обладнання;

- привчіть себе *торкатись* електровузлів, навіть не під'єднаних до електричної мережі, *тільки однією рукою*.

Лабораторна робота №1

Ознайомлення зі складом апаратури, яку застосовують для визначення параметрів електромагнітної сумісності

Мета роботи: вивчення основних техніко-експлуатаційних характеристик та принципів побудови деяких типів технічних засобів вимірювання [1,2], ознайомлення з методиками визначення параметрів електромагнітної сумісності, набуття досвіду роботи з апаратурою.

Перелік апаратури [3]

- вимірювальний приймач STV-301;
- вимірювальний приймач SMV-6.5;
- вимірювальний приймач WMS-4;
- вимірювальний приймач NLMZ-4/50;
- еквівалент мережі TBLC08 або NNB- 13;
- еквівалент мережі TBOH01 або NNB-101;
- вимірювач параметрів електромагнітного поля МЕН-25 з комплектом вимірювальних антен;
- вимірювач параметрів електромагнітного поля NFM-I з комплектом вимірювальних антен;
- вимірювач магнітного поля ELF Sense;
- джерело постійного струму TEC-13;
- генератор ГЗ-109;
- вольтметр ВЗ-39;
- аналізатор спектру СК 4-59 (С4-25);
- осцилограф SDS1000X-E або С1-83.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити призначення органів керування, які розміщені на передній панелі вимірювальних пристроїв [3].
2. Ознайомитись з принципом дії пристроїв, скласти структурні схеми, визначити особливості калібрування.
3. Вивчити методики визначення параметрів електромагнітної сумісності.
4. Заповнити відповідними даними таблицю 1.1.

Таблиця 1.1- Основні технічні характеристики пристроїв [3]

Тип пристрою	Режим вимірювання	Діапазон вимірюваних величин	Основна похибка
WMS-4			
SMV 6.5			
STV 301			
NLMZ-4/50			
B3-39			
(NNB-13)			
ТВОН01 (NNB-101)			
Г3-109			
СК4-59			
MEN-25			
ELF Sense			
NFM-1			

Порядок оброблення результатів

1. Порівняти параметри вимірювальних приладів з параметрами, обумовленими вимогами нормативних документів стосовно апаратури для визначення рівнів індустриальних радіозавад (ІРЗ).

До початку вимірювань в усіх приладах регулятори величин, що вимірюють, встановити в положення максимального значення.

2. Сформулювати висновки.

Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета.
3. Порядок виконання.

4. Опис методик вимірювання.
5. Ескіз передньої панелі селективного мікровольтметра з переліком усіх органів керування та їх призначенням (тип визначає викладач).
6. Заповнена таблиця 1.1.
7. Структурні схеми вимірювальних приладів та схем вимірювання в режимах вимірювання:
 - напруги кондуктивних радіозавад;
 - напруженості поля радіозавад.
8. Висновки.

Контрольні питання

1. Яке призначення та характеристики NLMZ-4/50?
2. В чому полягають особливості вимірювального приймача SMV-6.5?
3. Яка структура вимірювального стенду для дослідження радіозавад?
4. В чому полягає відмінність V-подібного еквіваленту мережі від дельтаподібного?
5. Яке призначення та методика калібрування пристрою типу SMV-6.5?
6. В чому полягає відмінність вимірювальних приймачів типу STV-301 та SMV-6.5?
7. Навіщо необхідно застосовувати еквівалент мережі?
8. В чому полягає відмінність вимірювання симетричної, несиметричної та загальної несиметричної напруги радіозавад?
9. Які особливості вимірювальної апаратури для визначення рівнів радіозавад випромінювання?
10. Чому для виконання вимірювань ЕМЗ в навколишньому середовищі використовують антени різних типів?
11. В чому полягає призначення нормативної документації?
12. На які види розділяють міжнародні стандарти з ЕМС?

Лабораторна робота №2

Дослідження параметрів протизавадного фільтру методом генератор-вольтметр

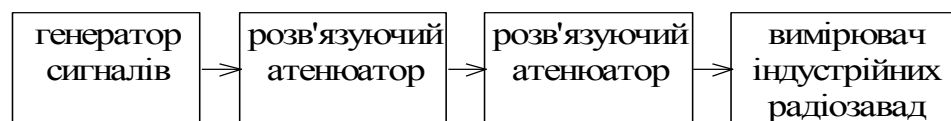
Мета роботи: ознайомлення із характеристиками мережевих протизавадних фільтрів (ПЗФ) [1, 2], їх побудовою, нормативними документами, які регламентують порядок визначення загасання, та експериментальне дослідження фільтра методом "генератор-вольтметр".

Перелік апаратури

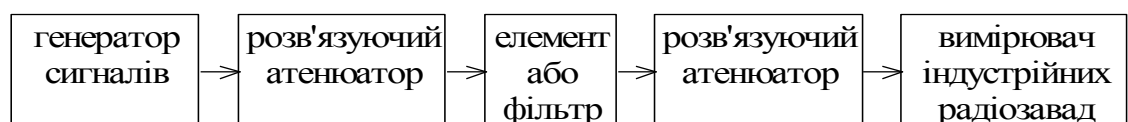
- макет ПЗФ;
- вимірювальні приймачі SMV-6.5, WMS-4;
- генератор синусоїдальних сигналів ГЗ-109.

Порядок виконання роботи

1. Під'єднати до мережі та відкалібрувати за інструкцією з експлуатації селективні мікровольтметри типу SMV-6.5 або WMS-4.
2. Скласти схему для дослідження ПЗФ за симетричним (рис. 1. 1) та несиметричним шляхами (рис. 1.2).

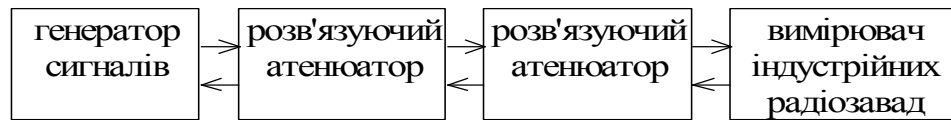


а

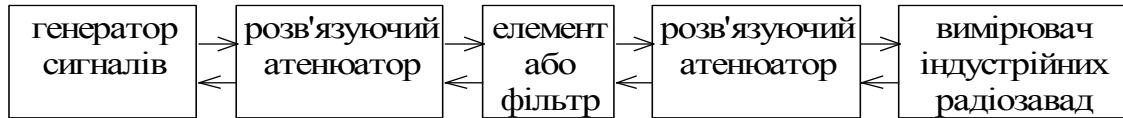


б

Рисунок 1.1- Схема вимірювання вношуваного загасання ПЗФ за несиметричним шляхом: за відсутності протизавадного елемента або фільтра, що випробують(а), з протизавадним елементом або фільтром (б)



а



б

Рисунок 1.2 - Схема вимірювання вношуваного загасання ПЗФ за симетричним шляхом: за відсутності протизавадного елемента або фільтра, що випробують (а), з протизавадним елементом або фільтром (б))

3. Результати вимірювань звести у таблицю 1.1. Здійснити вимірювання не менше чотирьох разів на кожній з частот відповідного ряду частот випробування фільтру: 0.15; 0.25; 0.5; 1.0; 1.5; 3.0; 5.0; 10; 15; 20; 25; 30 МГц.

Виявити провали або викиди за результатами вимірювання в проміжках між визначеними частотами і занести в таблицю.

Таблиця 1. 1 - Результати вимірювань та обчислень

Результати вимірювань										Результати обчислень									
f, МГц	U _{i6φ} , дБ					U _{i3φ} , дБ					(Ā), дБ	Ā _φ , дБ	A _{iφ} , дБ						
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		

Оброблення результатів експерименту

1. Статистично обробити результати вимірювання:

$A_{i\phi} = U_{i6\phi} - U_{i3\phi}$ - вношуване загасання (ефективність ПЗФ), де $U_{i6\phi}$, $U_{i3\phi}$ - відповідно напруга вимірювання за відсутності фільтра та з фільтром;

$\bar{A}_\phi = \frac{\sum_{i=1}^n A_{i\phi}}{n}$ - середнє арифметичне значення вношуваного загасання фільтра, де n - кількість вимірювань на окремій частоті;

$(\bar{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_{i\phi} - \bar{A}_\phi)^2}{n-1}}$ - оцінка середньоквадратичного відхилення результатів вимірювань.

Таблиця 1. 2 - Значення корегувального коефіцієнту k в залежності від кількості вимірювань

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	15	20	30
k	2.14	1.69	1.52	1.42	1.34	1.31	1.27	1.24	1.20	1.17	1.12	1.07

2. Згідно інструкції з експлуатації приладів визначити сумарну інструментальну похибку:

$$\theta = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^l \theta_i^2}$$

де Θ_i - систематична похибка i -го засобу,

l - кількість джерел інструментальної похибки,

k - корегувальний коефіцієнт ($k \approx 1$).

3. Побудувати графік $A(f)$ частотної залежності загасання, що вносить фільтр, за формулою $A(f) = \bar{A}_\phi(f) + k \cdot (\bar{A})$.

4. Сформулювати висновки.

Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета.
3. Порядок виконання.
4. Схема дослідження ПЗФ.

5. Таблиця з результатами експерименту та обчислень.
6. Графік залежностей $A(f)$.
7. Висновки.

Контрольні питання

1. Для чого призначений та які особливості має ПЗФ?
2. В чому полягають особливості визначення ефективності ПЗФ за симетричним та несиметричним шляхами поширення радіозв'язу?
3. Які варіанти підключення протизв'язних дроселів Вам відомі, в чому полягають їхні особливості?
4. Чим обумовлена нерівномірність $A(f)$ ПЗФ?
5. В чому полягають недоліки методу вимірювання ефективності ПЗФ за допомогою генератора та вольтметра?
6. В чому полягає принципова розбіжність у визначенні значень ємностей симетричних та несиметричних конденсаторів?
7. Які особливості та призначення обробки результатів експериментів?

Лабораторна робота №3

Дослідження рівнів напруги кондуктивних радіозавад в мережі електроживлення змінного струму

Мета роботи: експериментальне дослідження рівнів напруги кондуктивних індустриальних радіозавад (ІРЗ) в електричній мережі [4], що створює технічний засіб з джерелом електроживлення ключового типу.

Перелік апаратури

- макет технічного засобу - джерела радіозавад;
- вимірювальний приймач SMV-6.5 або STV-101;
- еквівалент мережі TBLC08 або NNB- 13;
- еквівалент мережі ТВОН01 або NNB-101;
- еквівалент навантажувального кола.

Порядок виконання роботи

1.3.3.1 Під'єднати до електричної мережі та відкалібрувати мікровольтметр SMV-6.5.

1.3.3.2 Скласти схему для дослідження рівнів напруги кондуктивних радіозавад в мережі від технічного засобу, зокрема, які створюють джерело електроживлення ключового типу (див. рис. 1.1).



Рисунок 1.1 - Схема дослідження джерела електроживлення

3. Під'єднати еквівалент мережі до мережі електроживлення.

4. Під'єднати технічний засіб - джерело радіозавад до еквіваленту

мережі.

5. Виміряти рівні напруги U_{ind} кондуктивних радіозавад в мережі на частотах: 0.15; 0.25; 0.5; 1.0; 1.5; 3.0; 5.0; 10; 15; 20; 25; 30 МГц в межах $\pm 10\%$, із плавним змінням частоти настроювання селективного мікровольметра (виконати не менш, ніж чотири рази виміри на кожній частоті з послідовним змінням частоти від 0.15 до 30 МГц). Результати вимірювань записати у таблицю 1. 1.

Виявити провали або викиди за результатами вимірювання в проміжках між визначеними частотами і занести в таблицю.

Таблиця 1. 1 - Результати вимірювань та обчислень

f , МГц	Покази вимірювального приймача				Результати обробки						
	$U_{inf,j}$, дБ				$U_{z,j}$, дБ				$\bar{U}$, дБ	$S(\bar{U})$, дБ	$U_{ст}$, дБ
	1	2	3	4	1	2	3	4			

Оброблення результатів експерименту

1. Врахувати внесене еквівалентом мережі загасання:

$$U_{z,j} = U_{ind,j} + \Delta U$$

де ΔU - значення доданка, яке необхідно уточнювати згідно інструкції з експлуатації еквіваленту мережі (наприклад, для еквіваленту мережі NNB 101 - $\Delta U = 6.5$ дБ).

2. Статистично обробити результати: визначити математичне очікування (середнє значення) та середнє квадратичне відхилення.

$\bar{U} = \frac{\sum_{j=1}^n U_{z,j}}{n}$ - середнє арифметичне значення результатів вимірювань, де n – кількість вимірювань.

$S(\bar{U}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (U_{3,j} - \bar{U})^2}{n-1}}$ - оцінка середнього квадратичного відхилення результатів вимірювань,

$U_{ст} = \bar{U} + k \cdot S(\bar{U})$ - статистичне значення радіозавад (в децибелах), де k - коефіцієнт з таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Значення корегувального коефіцієнту k в залежності від кількості вимірювань n

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	15	20	30
k	2.14	1.69	1.52	1.42	1.34	1.31	1.27	1.24	1.20	1.17	1.12	1.07

3. З опису еквіваленту мережі та селективного мікровольтметра визначити сумарну інструментальну похибку:

$$= k_1 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^l \Theta_i^2}$$

де Θ_i - систематична похибка i -го засобу,

l - кількість джерел інструментальної похибки,

k_1 - корегувальний коефіцієнт ($k_1 \approx 1$).

4. Побудувати графік залежності рівнів напруги кондуктивних радіозавад в мережі живлення від частоти $U_{cm}(f)$.

5. Порівняти отримані результати з вимогами на допустимі рівні індустрийних радіозавад.

6. Сформулювати висновки.

Зміст звіту

1. Назва роботи.

2. Мета.

3. Порядок виконання роботи.
4. Схема дослідження.
5. Таблиця результатів експерименту та обчислень.
6. Графіки.
7. Висновки.

Контрольні питання

1. В чому полягають особливості вимірювання рівнів напруги кондуктивних радіозавад в мережі електроживлення змінного струму?
2. Які шляхи забезпечення ЕМС технічних засобів з мережею електроживлення Вам відомі?
3. Чому рівень напруги кондуктивних радіозавад на окремій частоті має випадковий характер?
4. Якими особливостями характеризуються еквіваленти мережі різних типів?
5. Якими документами регламентують рівні напруг індустрійних радіозавад?
6. За якими шляхами поширюються кондуктивні ІРЗ?
7. Поясніть вплив уземлення технічного засобу на рівень кондуктивних ІРЗ?
8. Чому під час вимірювання регламентують відстань між складовими вимірювального стенду?

Лабораторна робота №4

Дослідження ефективності протизавадного фільтра в складі джерела електроживлення ключового типу

Мета роботи: експериментальне дослідження рівня напруги кондуктивних радіозавад в мережі змінного струму, що створює імпульсне джерело електроживлення з протизавадним фільтром та за його відсутності, а також оцінка ефективності ПЗФ.

Перелік апаратури

- макет ключового джерела живлення;
- макет протизавадного фільтра;
- вимірюваний приймач SMV-6.5 або STV-301;
- еквівалент мережі TBLC08 або NNB- 13;
- еквівалент мережі TBOH01 або NNB-101;
- еквівалент навантажувального кола.

Порядок виконання роботи

1. Під'єднати до мережі та відкалібрувати мікровольтметр SMV-6.5 або STV-301.
2. Скласти схему для дослідження рівнів напруги кондуктивних радіозавад в мережі, що створюються джерелом живлення ключового типу (без використання фільтра, див. рис. 1. 1,а та з використанням фільтра, відповідно рис. 1. 1,б).
3. Під'єднати еквівалент мережі до електричної мережі.
4. Під'єднати джерело живлення ключового типу до еквіваленту мережі.
5. Виміряти рівні напруг кондуктивних завад в мережі на частотах: 0.15; 0.25; 0.5; 1.0; 1.5; 3.0; 5.0; 10; 15; 20; 25; 30 МГц (виконати виміри не менш, ніж чотири рази на кожній частоті, із плавним змінням від 0.15 МГц до 30 МГц). Результати вимірювань записати у таблицю 1.1.

Виявити провали або викиди за результатами вимірювання в проміжках між визначеними частотами і занести в таблицю.



a



6

Рисунок 1. 1 - Схема вимірювання кондуктивних завод: а - без ПЗФ, б - з ПЗФ.

6. Ввімкнути протизавадний фільтр. Повторити виміри, вказані у п. 5. Результати записати в таблицю 1.2.

Таблиця 1. 1 -Результати вимірювань та обчислень без ПЗФ

[illegible]

Таблиця 1. 2 -Результати вимірювань та обчислень з ПЗФ

f , МГц	Покази вимірювального приймача				Результати обробки						
	$U_{інд, j}$, дБ				$U_{зпф, j}$, дБ				$\bar{U}_{зпф, j}$, дБ	$S(\bar{U}_{зпф})$, дБ	$U_{стзф}$, дБ
	1	2	3	4	1	2	3	4			

Оброблення результатів експерименту

1. Врахувати внесене еквівалентом мережі загасання (значення доданка ΔU необхідно уточнювати згідно інструкції з експлуатації еквіваленту мережі, наприклад, для NNB 13 - $\Delta U = 20$ дБ).

$$U_{з. j} = U_{інд. j} + \Delta U.$$

2. Статистично обробити результати: визначити математичне очікування (середнє значення) та середнє квадратичне відхилення.

$\bar{U} = \frac{\sum_{j=1}^n U_{з. j}}{n}$ - середнє арифметичне значення результатів вимірювань, де n – кількість вимірювань.

$S(\bar{U}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (U_{з. j} - \bar{U})^2}{n-1}}$ - оцінка середнього квадратичного відхилення результатів,

$U_c = \bar{U} + k \cdot S(\bar{U})$ - статистичне значення радіозавад (в дБ), де k - коефіцієнт з таблиці 1.4.3.

Таблиця 1. 3 - Значення корегувального коефіцієнту k в залежності від кількості вимірювань n

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	15	20	30
k	2.14	1.69	1.52	1.42	1.34	1.31	1.27	1.24	1.20	1.17	1.12	1.07

3. З опису еквіваленту мережі та вимірювального приймача визначити сумарну інструментальну похибку:

$$= k_1 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^l \theta_i^2},$$

де θ - систематична похибка i -го засобу,

l - кількість джерел інструментальної похибки,

k_1 - корегувальний коефіцієнт ($k_1 \approx 1$).

4. Побудувати графіки залежності рівнів напруги кондуктивних радіозавод в мережі змінного струму від технічного засобу з ПЗФ та без нього.

5. Побудувати графіки вношуваного загасання ПЗФ - залежно від частоти різниці значень напруги з ПЗФ та без нього.

6. Порівняти отримані результати з вимогами нормативних документів на допустимі рівні індустрийних радіозавод та вимогами [53].

7. Сформулювати висновки.

Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета.
3. Порядок виконання.
4. Схема дослідження.

5. Схема ПЗФ.
6. Таблиця з результатами експерименту та обчислень.
7. Графіки.
8. Висновки.

Контрольні питання

1. Які ставлять вимоги до ПЗФ та його компонентів?
2. Яким чином впливає на АЧХ ПЗФ сила струму навантаження?
3. Які особливості уземлення ПЗФ?
4. Чим обумовлена нерівномірність АЧХ ПЗФ за умов роботи складі технічного засобу?
5. Які критерії оцінки ефективності ПЗФ?
6. Чому обмежені значення ємностей несиметричних конденсаторів?

Лабораторна робота №5

Дослідження індустрийних радіоавад телевізора з джерелом електроживлення ключового типу в навколишньому просторі (низькочастотного магнітного складника)

Мета роботи: експериментальне дослідження радіоавад в навколишньому просторі, що створюють різні блоки телевізора, ознайомлення з особливостями вимірювання радіоавад випромінення.

Перелік апаратури [5-7]

- вимірювальний прилад типу ELF Sense,
- технічний засіб - джерело радіоавад (телевізор з електроннопроменевою трубкою),
- еквівалент мережі TBLC08 або NNB- 13;
- еквівалент мережі TBOH01 або NNB-101.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з особливостями роботи приладу ELF Sense [5]. Прилад ELF Sense складено з двох частин: датчика та індикатора. За умови вимкненого електроживлення, регулятором (якщо є відхилення) встановити стрілку на індикаторі в нульове положення.
2. Встановити перемикач значень в положення максимального значення. Увімкнути прилад перемикачем в положення "ON". Через деякий час почне періодично миготіти зелений світлодіод, що свідчить про штатне електроживлення приладу. Якщо засвітиться червоний світлодіод - необхідно замінити елемент електроживлення.
3. У відповідності з вимогами опису відкалібрувати прилад.
4. Обертанням датчика ліворуч-праворуч, досягти максимального відхилення стрілки індикатора. Потім обертанням навколо позначки датчика (червоне коло) в напрямку, що перпендикулярний попередньому, досягти максимального відхилення. Індикатор показує значення індукції магнітного

поля в мілігаусах.

В залежності від положення перемикача діапазонів показання індикатора домножують:

1) білі: 1000 на 1000; 100 на 100; 10 на 10.

2) червоні: 30 на 10; 3 на 1.

5. Під'єднати телевізор до еквіваленту мережі. Виміряти значення магнітної індукції на зворотній стінці телевізора у безпосередній близькості з (див. рис. 1.1):

- блоком рядкової розгортки;
- блоком кадрової розгортки;
- електронно-променевою трубкою;
- ключовим блоком електроживлення;
- перемикачами;
- блоком синхронізації;
- блоком радіоканалу.

Перемикачі 1	Блок синхронізації 2	Блок рядкової розгортки 3
	Електронно-променева трубка 4	
Блок радіоканалу 5	Блок електроживлення 6	Блок кадрової розгортки 7

Рисунок 1.1 - Зворотна сторона телевізора

Результати записати в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 - Результати вимірювань та обчислень ІРЗ від функціональних вузлів

Номер вузла	Рівень складових поля	
	В, мГс	Н, А/м
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

Примітка: $1 \text{ Гс} = 10^{-4} \text{ Тл}$; $1 \text{ мГс} = 100 \text{ нТл}$.

6. Виміряти значення магнітної індукції від екрану на різних відстанях ($d=0, 0.1, 0.2, 0.5 \text{ м}$). Результати записати у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 - Результати вимірювань та обчислень ІРЗ від екрану

Відстань d , м	Рівень складових поля			
	з еквівалентом мережі		без еквівалента мережі	
	В, мГс	Н, А/м	В, мГс	Н, А/м
0				
0.1				
0.2				
0.5				

7. Від'єднати телевізор від еквіваленту мережі та під'єднати безпосередньо до мережі електроживлення, повторити п. 6. Результати записати в таблицю 1. 2.

Оброблення результатів експерименту

1. Виконати перерахунок значень магнітної індукції B , що була визначена у повітрі, в значення напруженості магнітного поля H , з урахуванням, що $H = B/\mu$, $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$. Результати записати в таблиці 1.1, 1. 2.

2. Побудувати залежність напруженості магнітного поля випромінювання від екрану H , А/м, від відстані d , м.

3. Порівняти отримані результати з вимогами.
4. Сформулювати висновки.

Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета.
3. Порядок виконання.
4. Схема дослідження.
5. Рисунок розташування функціональних вузлів телевізора в корпусі.
6. Таблиця з результатами експерименту та обчислень.
7. Графіки.
8. Висновки.

Контрольні питання

1. В чому полягає відмінність радіозавад випромінення від кондуктивних радіозавад?
2. Які засоби зменшення радіозавад випромінення Вам відомі?
3. Які особливості силового трансформатора як джерела радіозавад Вам відомі?
4. Які вузли телевізійного приймача є джерелами IPЗ випромінення та чому?
5. Який принцип дії приладу типу ELF Sense?
6. Чому прилад ELF Sense, який призначений для вимірювання в низькочастотному діапазоні, фіксує завади від телевізійного приймача, який обробляє високочастотні сигнали?
7. Як впливає нормування параметрів електричної мережі за допомогою еквіваленту мережі на інтенсивність IPЗ?
8. Які критерії границі між ближнім та дальнім полем Вам відомі?
9. Які особливості вимірювання характеристик в ближній та дальній зонах?

Лабораторна робота №6

Дослідження радіозавад від телевізійного приймача в навколишньому просторі (високочастотних магнітного та електричного складників електромагнітного поля)

Мета роботи: експериментальне дослідження радіозавад випромінювання, що створюють різні блоки телевізора, ознайомлення з особливостями вимірювання електричної та магнітної складових радіозавад випромінювання, пошук та визначення функціональних вузлів - джерел ненавмисного випромінювання.

Перелік апаратури

- еквівалент мережі TBLC08 або NNB- 13;
- еквівалент мережі TBOH01 або NNB-101;
- вимірювальний прилад типу NFM – 1,
- технічний засіб – джерело радіозавад (телевізор).

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з особливостями роботи приладу NFM - 1 [8]. Прилад NFM - 1 складено з двох частин : датчика (антена-зонд двох типів) і вимірювача з підсилювачем та індикатором.

Зонд Е (дипольна антена) призначений для пошуку та вимірювання значень електричної складової електромагнітного поля в діапазоні 60 кГц ... 350 МГц, та для потужних джерел випромінювання електричного поля промислової частоти 50 Гц.

Зонд Н (антена із змінною пласкою котушкою) призначений для пошуку та визначення значень магнітної складової електромагнітного поля в діапазоні 100 кГц ... 10 МГц.

2. З'єднати зонд Е з вимірювачем. Увімкнути технічний засіб - телевізор у мережу живлення. Підвести головку зонду до корпусу телевізора. Повертаючи зонд навколо осі рукоятки та в різних напрямках в горизонтальній площині визначити максимальне значення показу індикатора безпосередньо біля завадостворюючого функціонального вузла.

Виявити усі вузли, що створюють електричне поле високої частоти (рис.1.1) з зазначених нижче:

блока рядкової розгортки;
 блока кадрової розгортки;
 електронної трубки;
 ключового блока живлення;
 перемикачів;
 блока синхронізації;
 радіоканалу.

Перемикачі 1	Блок синхронізації 2	Блок рядкової розгортки 3
	Електронна трубка 4	
Радіоканал 5	Блок живлення 6	Блок кадрової розгортки 7

Рис. 1. 1. Зворотна сторінка телевізора

Результати занести до табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Номер вузла	Рівень випромінювання	
	В, мГс	Н, А/м
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

3. Провести вимірювання за п. 2 на різних відстанях ($d=0.1, 0.2, 0.5, 1$ м).

Результати звести до табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Відстань $d, \text{см}$	Рівень напруженості електричного поля $E, \text{В/м}$ від функціонального вузла _____

4. З'єднати зонд Н з вимірювачем та виконати операції та дії, що передбачені у пп. 2 та 3 для магнітної складової поля випромінювання.

Результати звести до табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Відстань $d, \text{см}$	Рівень напруженості електричного поля $H, \text{А/м}$ від функціонального вузла _____

Обробка результатів експерименту

1. У відповідності до вимог інструкції з експлуатації по таблиці перерахунків визначити значення напруженості магнітного поля.

2. Для функціональних вузлів, частота комутації яких знаходиться в межах $10 \dots 250$ кГц значення відліку треба домножити на відповідний коефіцієнт корекції.

3. Побудувати графіки залежності значень напруженості магнітної та електричної складових поля випромінювання від відстані до корпусу телевізійного приймача.

1.5. Порівняти отримані результати з вимогами нормативних документів. Пояснити коректність такого порівняння. Зробити висновки.

Зміст звіту

1. Назва та мета роботи.

2. Схема дослідження.
3. Таблиці з результатами експерименту та обчислень.
4. Графіки.
5. Висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Поясніть призначення, принцип дії та склад приладу NFM 1?
2. Чому при вимірюванні використовують два типи зондів (антен)?
3. В чому полягають особливості вимірювань параметрів ЕМС в ближньому та дальньому полях?
4. Які функціональні вузли телевізійного приймача можна вважати джерелами радіозавад випромінювання (електричної та магнітної складових)?
5. В яких умовах та якими приладами необхідно вимірювати радіозавади випромінювання за нормативними документами?
6. Який характер мають залежності напруженості складових електромагнітного поля від відстані до джерел випромінювання?
7. В чому полягають особливості ближнього поля, що створюють джерела струму?
8. В чому полягають особливості ближнього поля, що створюють джерела напруги?

Перелік посилань

1. Петровский В.И., Седельников Ю.Е. Электромагнитная совместимость РЭС: Учеб.пособие. - М.: Радио и связь, 1986. -216 с.
2. Подавление ЭМП в цепях электропитания / Г.С. Векслер, В.С.Недочетов, В.В. Пилинский и др. - К.: Техника, 1990. -167 с.
3. Інструкції з експлуатації пристроїв типу SMV 6.5, STV 301, NLMZ 4/50, WMS 4, NNB 13, NNB 101, ТВОН01, TBLC08, СК 4-59, SDS1000X-E, ГЗ-109.
- 4.Бадалов А.П., Михайлов А.С. Нормы на параметры ЭМС РЭС: Справочник. - М: Радио и связь, 1990. - 272 с.
5. Описание прибора ELF-Sense.
6. Conducted emission measurement using the Tekbox 5 μ H LISN ТВОН01.
- 7 Conducted noise measurement using the Tekbox 50 μ H LISN TBLC08 and EMCview Software.
8. Інструкція з експлуатації приладу NFM - 1.

Список рекомендованої літератури

Основна

1. Електромагнітна сумісність радіоелектронної апаратури./ Іванов В. О., Ільницький Л. Я., Щербіна О. А – К.: НАУ, 2014. – 312 с
2. Henry W. Ott Electromagnetic Compatibility Engineering. Wiley 2009, 880 p. ISBN: 978-0-470-18930
3. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів. Навчальний посібник/. Укладач В.В. Пілінський. Рекомендовано НМУ, № Е10/11-156 від 23.12.2010- К. НТУУ „КПІ”. – 374 с. Електронна версія 2010.- 17,5 МБ
4. Виноградов Е.М., Винокуров В.И., Харченко И.П. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. - Л.:Судостроение, 1986. - 264 с.
5. Князев А.Д., Кечиев Л.Н., Петров Б.Н. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом ЭМС. - М.: Радио и связь, 1989.

Додаткова

6. EMC-Directive 2014/30/EU of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on the harmonization of the laws of the Member States:relating to the making available on the market of radio equipment and repealing Directive 2004/108/ EC
7. Y.O. Onikienko, V.V. Pilinsky, P.V. Popovych, V.S. Lazebnyi, O.I. Smolenska, V.S. Baran.Modelling of Operation Modes and Electromagnetic Interferences of GaN-Transistor Converters "Електротехніка ISSN 2309-3404 – № 3.- 2020. PP. 37-42
8. Уильямс Т., Армстронг К. ЭМС систем и установок – М.: Издательский дом «Технологии», 2003. – 508 с.
9. Князев А.Д. Элементы теории и практики обеспечения ЭМС РЭС. - М.:Радио и связь, 1984. -336 с.
10. Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Е.И. РЭС и мощные электромагнитные помехи. - М.: Радио и связь, 1984. - 224 с.
11. Михайлов А.С. Измерение параметров ЭМС РЭС. - М.: Радио и связь, 1980. - 200 с.
12. ДСТУ ІЕС/TR 61000-1-2:2008. Національний стандарт України ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ Частина 1-2. Загальні положення. Методологія досягнення функційної безпечності електричного та електронного обладнання стосовно електромагнітних явищ (ІЕС/TR 61000-1-2:2001,IDT)
- 13/ ДСТУ ІЕС 61000-4-16:2007. Національний стандарт України ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ Частина 4-16. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до кондуктивних несиметричних завад у діапазоні частот від 0 Гц до 150 кГц.(ІЕС 61000-4-16:2002, IDT)