

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірjuвальних технологій

Гринько Станіслав Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 543.42

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Дослідження пристрою для оцінки спектру сигналів технологічних

процесів

(назва роботи)

Метрологія та вимірjuвальна техніка

(назва освітньої програми)

152 "Метрологія та інформаційно-вимірjuвальна техніка"

(шифр і назва спеціальності)

Гринько С.Ю.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Лютак Зіновій Петрович, к.т.н., проф. каф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

О.Є.Середюк

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ – 2024 р.

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень другий (магістерський)

Спеціальність 152 "Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка"
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри

ІВТ

О.Є.Середюк

«___» _____ 2023 року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Гриньку Станіславу Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження пристрою для оцінки спектру сигналів технологічних процесів

керівник роботи Лютак Зіновій Петрович к.т.н. , проф. каф.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від "15" 12 2023 року №734/7

2. Строк подання студентом роботи 23.01.2024

3. Вихідні дані до роботи напруга живлення 12 В, кількість вимірювальних

каналів-2, діапазон робочих частот 55 кГц – 160 МГц.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1.Обґрунтування вибору дослідження спектрів сигналів джерел електромагнітного випромінювання

2.Дослідження характеру математичної моделі електромагнітного поля 3.Удосконалення пристрою для контролю електромагнітних полів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1.Глибина проникнення електромагнітного поля. 2.Гармонійні електромагнітні хвилі графічно зображені у вигляді двох синусоїд у площинах , перпендикулярних одна одній. 3. Вигляд вікна програми аналізатора спектру ANRITSU.4.Структурна схема вимірювача напруженості поля 5.Модернізований вхідний блок аналізатора спектру.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	Лютак З.П.		

7. Дата видачі завдання _____ 11.12.2023 р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз відомих методик і технічних засобів для дослідження метрологічних характеристик аналізатора спектру.	24.12.2023	
2.	Дослідження характеру математичної моделі електромагнітного поля.	08.01.2024	
3.	Удосконалення пристрою для контролю електромагнітних полів.	15.01.2024	
4.	Оформлення магістерської роботи.	20.01.2024	

Студент _____

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник роботи _____

(прізвище та ініціали)

(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРІВ СИГНАЛІВ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	8
1.1 Дослідження джерел електромагнітного випромінювання.....	8
1.2 Вплив завад використовуваних освітлювальних приладів.....	13
1.3 Методи та пристрої контролю завад електромагнітного поля.....	15
1.4 Технічні засоби захисту від шкідливого впливу електромагнітного випромінювання.....	21
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ.....	27
2.1 Характер електромагнітного поля і його фізична суть.....	27
2.2 Оцінка величин магнітних параметрів вимірювальних полів.....	31
2.2 Оцінка величин магнітних параметрів вимірювальних полів.....	33
3 УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ.....	35
3.1 Функціональна схема основних блоків пристрою.....	35
3.2 Вибір параметрів основних елементів вхідного блоку.....	38
3.3 Метод інструментального оцінювання рівня електромагнітних радіозавад.....	49
3.4 Забезпечення розробленого пристрою програмним забезпеченням.....	50
3.5 Технологія виготовлення окремих блоків пристрою.....	54
3.6 Конструкція елементів складального креслення.....	56
3.7 Метрологічне забезпечення удосконаленого пристрою.....	57
ВИСНОВОК.....	59
ПЕРЕДІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61

ВСТУП

Радіочастотний ресурс України охороняється законом і розподіляється між споживачами відповідно до чинного законодавства.

Відповідно до статті 16 Закону "Про радіочастотний ресурс України", державний орган "Національний центр радіочастот України" здійснює за дорученням Голови Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації, такі види діяльності та бере участь у державному нагляді за дотриманням Закону "Про радіочастотний ресурс України".

УДЦР здійснює міжнародний захист та координацію радіочастот від імені Державної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації, бере участь у діяльності Міжнародного союзу електрозв'язку та здійснює постійний моніторинг використання радіочастотного ресурсу України.

Одним з обов'язків УДЦР є виявлення та усунення радіозавад, спричинених роботою радіоелектронних засобів. Одним з таких засобів є сучасне світлодіодне освітлювальне обладнання з імпульсними джерелами живлення. Для виявлення джерел завад від такого обладнання УДЦР розробив спеціальні методики та використовує відповідні технічні засоби. Однак деякі особливості цих засобів не дозволяють виявляти малопотужні джерела завад. Тому завданням дипломного проекту є модернізація технічних засобів для підвищення можливості виявлення та ідентифікації джерел радіозавад.

Актуальність проблеми. Полягає в тому, що серед різноманітних фізичних факторів навколишнього середовища, які можуть впливати на людей і біологічні об'єкти, неіонізуючі електромагнітні поля, особливо пов'язані з радіочастотним випромінюванням, становлять серйозну загрозу. Вирішення задачі зменшення впливу іонізуючих електромагнітних полів є важливою народно-господарською задачею.

Мета і задачі досліджень. Неминучість впливу електромагнітного випромінювання (ЕМВ) на людину та навколишню живу природу є результатом сучасного технічного прогресу у зв'язку з більш широким використання телебачення, радіомовлення, радіозв'язку та радарів. Тому захист людей від впливу електромагнітних полів є важливою задачею. Серед задач, які потрібно вирішити є: Обґрунтування вибору дослідження спектрів сигналів джерел електромагнітного випромінювання, дослідження характеру математичної моделі електромагнітного поля, удосконалення пристрою для контролю електромагнітних полів.

Об'єкт дослідження. Пристрій для контролю електромагнітних полів.

Предмет дослідження. Метод та засіб контролю електромагнітних полів.

Практична цінність. Модернізація блоку введення для моніторингу рівня шуму освітлювальних приладів та зменшення коефіцієнта ослаблення сигналу та похибок вимірювань.

Методи та засоби досліджень. Вирішення поставлених задач досягнуто шляхом аналізу літературних джерел проведення теоретичних і практичних досліджень, аналізу фактичного матеріалу. Використання теорії ймовірності та прикладної статистики.

Новизна. Проведено оцінку величин магнітних параметрів вимірювальних полів, зроблено оцінку аналізатора спектру досліджувальних радіосигналів і проведено метод інструментального оцінювання рівня електромагнітних радіозавад.

1 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРІВ СИГНАЛІВ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

1.1 Дослідження джерел електромагнітного випромінювання

Сучасне освітлення стало приладами, в тому числі з використанням пристроїв, що випромінюють надвисоку частоту (НВЧ).

Найпотужнішими джерелами електромагнітного випромінювання в навколишньому просторі є засоби радіо-, телевізійного зв'язку та обробки інформації, РЛС і .

Навігаційне обладнання, повітряні лінії, потужне освітлювальне обладнання з газорозрядними лампами та світлодіодними прожекторами.

Джерелами електромагнітних полів (ЕМП) є атмосферна електрика, радіовипромінювання, електричні та магнітні поля землі, техногенні джерела (системи високої частоти, радіо і телебачення, радіолокація, радіонавігація та інші).

Джерелами випромінювання електромагнітної енергії є потужні телевізійні та радіостанції, промислові об'єкти з високочастотним нагрівальним обладнанням, багато вимірювальної та лабораторної апаратури.

Електромагнітні хвилі, що утворюються внаслідок електричних коливань (при протіканні змінного струму), називаються радіохвилями.

Електричний струм високої частоти створює в повітрі випромінювання, яке має такі самі електромагнітні властивості, як інфрачервоне, видиме, рентгенівське та гамма-промені.

Різниця між цими видами енергії полягає в довжині хвиль і частоті коливань, тобто кількості квантової енергії, яка складає електромагнітне поле [1].

Електромагнітні поля характеризуються довжиною хвилі або частотою коливань f :

$$\lambda = c \cdot T = c / f, \quad (1.1)$$

де $s = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість поширення радіохвилі, що дорівнює швидкості світла, f – частота коливань у Гц, T – період коливань, с.

Відстань між довжинами хвиль радіохвиль коливається від міліметрів до десятків кілометрів, а відповідає частоті коливань у діапазоні від $3 \cdot 10^4$ Гц до $3 \cdot 10^{11}$ Гц.

Сила електромагнітного поля в будь-якій точці простору залежить від вихідної потужності генератора та відстані до генератора.

На характер розподілу поля в просторі впливає наявність металевих предметів і конструкцій, які є провідниками електромагнітного поля, а також діелектриків у межах ЕМП.

Працюючі електроенергетичні системи з відкритими системами розподілу та повітряними лініями напругою вище 330 кВ створюють сильні електромагнітні поля в просторі навколо струмоведучих частин працюючої електричної системи, що може вплинути на здоров'я людини.

Електричні системи з напругою нижче 330 кВ створюють електромагнітні поля, які не дуже сильні, але не мають негативного впливу на живі організми.

У діапазоні низьких частот (у цьому випадку до 40 кГц) можна уявити, що електромагнітне поле складається з двох полів (електричного та магнітного), які по суті не залежать одне від одного.

Коли напруга подається на струмоведучі частини електричної системи, створюється електричне поле, а коли струм протікає через ці частини, створюється магнітне поле.

Тому можна окремо розглядати їх вплив на біологічні та технічні об'єкти.

Було встановлено, що в будь-якій точці магнітного поля в електроустановці дуже високої напруги енергія магнітного поля, поглинена тілом людини, приблизно в 50 разів менша за енергію електричного поля, поглинену тілом людини (відкритого розподільчого обладнання та В робочій зоні ЛЕП 750 кВ напруга магнітного поля 20-25 А/м, з ризиком шкідливого впливу 150-200 А/м

Високочастотне випромінювання в діапазоні см набагато шкідливіше.

Приклади цього випромінювання включають стільниковий зв'язок, широкосмугову передачу даних в Інтернеті та мікрохвильовий зв'язок.

Останній працює на частотах до 40 ГГц, які є найбільш небезпечними для людини.

Однак цей ефект мінімальний через високоспрямовану природу антени та велику висоту підйому.

Дія електромагнітного поля на біологічний об'єкт зазвичай оцінюється кількістю електромагнітної енергії, яку поглинає об'єкт, коли він знаходиться в полі.Вт:

$$W_{\text{погл}} = \sigma \cdot S_{\text{ЕФ}}, \quad (1.2)$$

де σ – густина потоку потужності випромінювання електромагнітної енергії, Вт/м².

$S_{\text{ЕФ}}$ - ефективна площа поверхні поглинання тіла людини, м².

Вплив електромагнітного поля на технічний об'єкт визначається його вхідними характеристиками.

Чутливість до перешкод, ступінь придушення електричних і магнітних компонентів, ефективність екранування тощо.

Як видно з вищесказаного, джерелами електромагнітних хвиль є: Поле стосується різних електричних пристроїв і предметів повсякденного життя, які забезпечують нас повсякденним життям.

Це телевізори, фени, магнітофони, телефони та багато інших побутових приладів, які працюють від постійного або змінного струму.

Серед інших джерел радіації – лінії електропередач, підстанції та генератори.

Особливу увагу приділено джерелам електромагнітного випромінювання на промислових підприємствах, де використовуються

пристрої, що виробляють значно випромінювання.

У таблиці 1.1 наведені гранично допустимі густини потоку енергії електромагнітних полів (ЕМП) в діапазоні частот від 300 МГц до 30 ГГц та тривалість перебування на робочому місці та можливі місця перебування працівників, які виконують роботи, пов'язані з впливом ЕМП [2].

За даними Агентства з охорони навколишнього середовища США, приблизно 1% людей піддається впливу електромагнітного поля інтенсивністю понад 1 мкВт/см².

Розглянемо напруженість магнітного поля деяких побутових електроприладів у таблиці 1.2

Таблиця 1.1 — Норми опромінення НВЧ

Щільність потоку потужності енергії □,Вт/м ²	Припустимий час перебування в зоні впливу ЕМП	Примітка
До 0,1	Робочий день	В робочий час щільність потоку енергії не повинна перевищувати 0,1 Вт/м ² за умови користування захисними окулярами. В інший робочий час щільність потоку енергій не повинна перевищувати 0,01 Вт/м ²
0,1-1	Не більше 2 год	
1-10	Не більше 10 хв	

Таблиця 1.2 — Рівень напруженості магнітного поля на різних відстанях від приладу до людини.

Прилад	3 см	30 см	100 см
Фен Електро-	60-20000	1-70	0,1-3
бритва Телевізор	150-15000	1-90	0,4-3
Світильник з	25-560	0,4-20	0,1-2
люмінесцентними лампами	300-26000	2-110	0,3-3

Як видно з таблиці 1.2, під час користування побутовими приладами організм людини піддається впливу електромагнітних полів, причому зі збільшенням відстані вплив електромагнітних полів зменшується.

Деякі допустимі значення ЕРС наведені в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 — Гранично допустимі рівні ЕМП при цілодобовому безупинному випромінюванні.

Метричний підрозділ діапазону	Частоти	Довжини хвиль	Гранично допустимий рівень
Кілометрові хвилі, низькі частоти	30-330 кГц	10-1 км	25 В/м
Гектометрові хвилі, середні частоти			
Декаметрові хвилі, високі частоти			
Метрові хвилі, Дуже високі частоти	0,3-3 МГц	1-0,1 км	15 В/м
Дециметрові хвилі,	3-30 МГц	100-10 м	10 В/м
Ультрависокі хвилі Сантиметрові хвилі, Надвисокі частоти	30-300 МГц	10-1 м	3 В/м
	300-3000 МГц	1-0,1 м	10 кВт/см ²
	3-30 ГГц	10-1 см	10 кВт/см ²

ЕМП також дуже негативно впливає на технічні об'єкти, особливо пристрої бездротового зв'язку. Коли ЕМФ перевищує певний поріг, з'єднання стає нестабільним. При цьому передача пакетів даних переривається, знижуючи дальність і якість бездротового зв'язку. Це призводить до перебоїв у роботі систем бездротового зв'язку та збільшує витрати на їх відновлення.

1.2 Вплив завад використовуваних освітлювальних приладів

Медикам відомо, що людське око реагує на частоти до 48 Гц.

Освітлювальне обладнання старого зразка (робоча частота 50 Гц) викликало швидку втому людського ока. Особливу небезпеку становили освітлювальні прилади з газорозрядними лампами, так як з часом частота їх роботи зменшувалася. Одним з рішень цієї проблеми було збільшення робочої частоти освітлювального пристрою.

Це стало можливим завдяки появі імпульсного джерела живлення, який має велику потужність, незважаючи на невеликі габаритні розміри та

вагу. Сучасні імпульсні джерела живлення мають робочу частоту 30-40 кГц і вище.

Другий варіант полягав у розробці принципово нового типу світло-випромінювача, який був би енергоефективним і компактним. Метричний поділ діапазону

Частота	Довжина	Хвиля	Межа	Допуск	Рівень	Кілометрова
низька частота	Гектометрична хвиля	середня частота	444 4	декаметра	хвиля	висока частота
Метрова хвиля	Дуже висока	Частота дециметрових хвиль	висока частота	Метрова хвиля	444 4 30 -330 кГц	0, 3-3 МГц
3-30 МГц	10-1 км	1-0,1 км	100-10 м	25 В/м	15 В/м	10 В/ м
Ultra High Edge	см хвиля	УВЧ	30-300 МГц	300-3000 МГц	ГГц	10-1 м
10-1 см	3 В/М	10 кВт/см ²	444 14	Світлодіод	на основі	на це світлодіодне творіння - лампи, точкові світильники та ін.

У поєднанні з імпульсним джерелом живлення світлодіодні світильники набагато ефективніші, менші та економічніші, ніж усі існуючі типи ламп.

Тому останнім часом вони стали найбільш популярними серед промисловості та населення. Однак спосіб роботи імпульсних джерел живлення створює радіоперешкоди в широкому спектрі частот. Крім того, чим вище робоча частота джерела живлення, тим ширший спектр радіоперешкод.

Причина такої поведінки полягає в наступному.

- Недостатнє екранування елементів імпульсного живлення.
- Невірно вибрано режим роботи комутуючого транзистора.
- Робота головного генератора нестабільна.
- Блокування ємнісних втрат або конденсатор фільтра.
- Робота імпульсного блоку без навантаження.
- Довгі лінії зв'язку для джерел живлення та навантажень.
- Робота джерела живлення в режимі, близькому до аварійного.

Це призводить до періодичної активації схеми захисту .

Кожна причина призводить до появи несправностей, але чим більше потужність імпульсного джерела живлення, тим більше причина. Несправності освітлювального обладнання на вокзалах і автобусних зупинках призводять до збоїв у короткохвильових і дуже високочастотних системах зв'язку, бездротовому електронному обладнанні, широкосмуговому доступі та системах стільникового зв'язку всіх стандартів.

З метою виявлення та усунення перешкод від освітлювального обладнання Національним центром радіочастот України розроблено методику оцінки рівня електромагнітних перешкод за допомогою спеціального обладнання.

Це дає можливість виявити джерела перешкод і визначити перешкоди ступінь впливу на об'єкт. Також є прилади для вимірювання електромагнітних полів, станція екологічної гігієни та кілька лабораторій.

1.3 Методи та пристрої контролю завад електромагнітного поля

Для визначення напруженості електромагнітного поля, що діє на технічний об'єкт та обслуговуючий персонал, проводились вимірювання в зоні , де персонал знаходиться на висоті від рівня землі (підлоги) до 2 м через 0,5 мр.

Для визначення характеру розподілу та напруженості поля в цеху, на ділянці , в кабіні, в приміщенні (лабораторії тощо) необхідно провести вимірювання в точках перетину градусних ребер координатної сітки. 1 м.

Вимірювання проводяться періодично (при максимальній потужності установки), не рідше раз у рік, а також при експлуатації нових установок, зміні конструкції та схеми технологічної установки, виконанні ре-

монтів тощо. Прилад ІЕМР-1 використовується для вимірювання напруженості радіочастотного електромагнітного поля .

Цей прилад може вимірювати напруженість електричного та магнітного полів поблизу випромінюючих структур в діапазоні частот 100 кГц - 300 МГц для електричних полів і в діапазоні частот 100 кГц - 1,5 МГц - для магнітних полів. За допомогою цього приладу можна ідентифікувати області з напруженістю поля, що перевищує допустимий рівень .

Щільність струму в УВЧ діапазоні — УВЧ вимірюється приладом ПО-1, за допомогою якого можна визначити середнє за часом значення , Вт/м² .

Прилад дозволяє проводити вимірювання в промислових і польових умовах в діапазоні частот від 0,15 до 16,7 ГГц з похибкою вимірювання , щільність струму синусоїдального коливання не перевищує 30% вимірюваного значення .

Вимірювання напруженості електричного поля в електроустановці надвисокої напруги здійснюється приладами типу ПЗ-1, ПЗ-1м та ін.

Принцип роботи таких пристроїв (рис. 1.1) полягає в наступному. Напруга електромагнітного поля, що надходить на вхід антени, посилюється приймачем до певного значення, яке реєструється індикатором

Потім антена роз'єднується, і на вхід приймача подається напруга за допомогою генератор стандартного сигналу, встановлений в корпусі лічильника і налаштований на частоту досліджуваного поля 16 .

Величина цієї напруги регулюється для отримання відхилення індикаторного приладу, що дорівнює відхиленню приладу під час взаємодії досліджуваного поля. Тоді, знаючи реальну висоту антени, неважко визначити потрібну напруженість поля. Вимірювання напруги необхідно проводити на всій території, де виконується робота. При розміщенні робочої станції на поверсі найбільше напруження зазвичай виникає на висоті лю-

дини. Тому рекомендується проводити вимірювання на висоті 1,8 м над землею.

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 t}, \quad (1.3)$$

де τ – лінійна щільність заряду дроту, Кл/м; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ — електрична стала, Ф/м; t – найкоротша відстань між дротом і точкою визначення напруженості, м.

Цей вираз передбачає визначення напруженості електричного поля окремого нескінченно довгого прямого дроту, рівномірно зарядженого по всій довжині. Вносячи відповідні поправки, може з достатньою точністю визначити рівень напруженості електричного поля у заданих точках лінії надвисокої напруги та підстанції у реальних умовах.

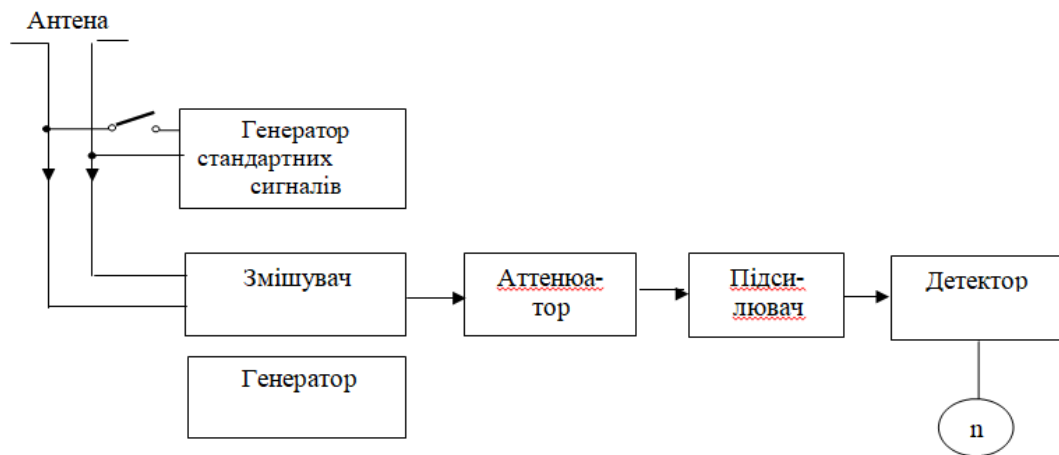


Рисунок 1.1 – Структурна схема вимірювача напруженості поля

Після відповідних вимірювань за допомогою обладнання, призначеного для вимірювання рівня густини потоку потужності мікрохвильових коливань, рисунок 1.2, густина потоку потужності E_g визначається за формулою:

$$E_g = \frac{Pn}{S}, \left[\frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2} \right], \quad (1.4)$$

де P – показання вимірюваної потужності, мкВт; S - активна площа антени, см², n - рівень ослаблення аттенюатора у відносних одиницях. Наведемо приклади та характеристики приладів, які вимірюють напруженість електромагнітних полів. Для порівняльної характеристики наведемо їх технічні, конструктивні та вимірювальні характеристики. Рухаючись далі, ми розглянемо деякі з найбільш часто використовуваних пристроїв для вимірювання рівнів напруженості електромагнітного поля.

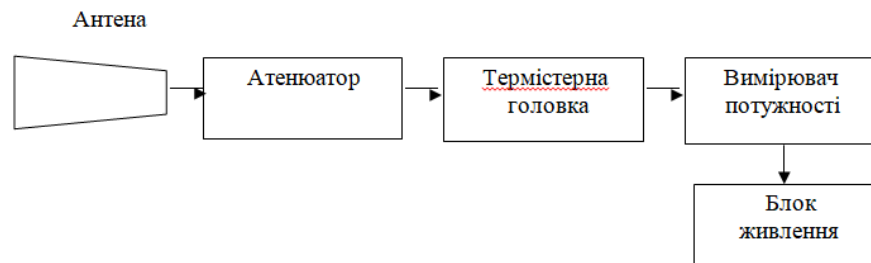


Рисунок 1.2 – Структурна схема вимірювача густини потоку потужності

Розглянемо вимірювач параметрів електричного та магнітного полів «U&E-meter» типу A002m.

Прилад призначений для швидкого вимірювання середньоквадратичного значення коливань електричної та магнітної складових електромагнітного поля в житлових і робочих приміщеннях.

Даний прилад можна використовувати під час санітарно-гігієнічного обстеження приміщень, що містять електрообладнання (персональні комп'ютери, факсимільні апарати, ігрові приставки тощо).

Типове застосування: аналіз електромагнітного фону на об'єктах, пошук джерел електромагнітного випромінювання високої інтенсивності, атестація робочих місць тощо.

Основні технічні характеристики приладу:

- 1) межі вимірювання електричного поля: - в діапазоні частот 5 Гц-2

кГц: 2 - 500 В/м, - в діапазоні частот 2 кГц - 400 кГц: 0,2-50 В/м;

2) межі вимірювання магнітного поля: - в діапазоні частот 5 Гц-2 кГц: 0,04 - 5 мкТл, - в діапазоні частот 2 кГц - 400 кГц: 5 - 500 нТл;

3) АЧХ неоднорідна в межах зазначеного діапазону, не більше 3 дБ;

4) основна похибка вимірювання: 10%;

5) розміри датчика вимірювання 210x100x60 мм, маса: 450 г;

6) живиться від вбудованої батареї 6 В.

Для вимірювання напруженості електромагнітного поля можна використати прилад ПЗ-21.

Вимірювач напруженості електромагнітного поля (ЕМП) ПЗ-21 призначений для вимірювання середньоквадратичних значень напруженості електричної та магнітної складових електромагнітного поля (ЕМП) в режимі генерації амплітуди, частоти безперервно.

і імпульсної модуляції .

ВНП ПЗ-21 використовується для просторових досліджень інтенсивності випромінювання ВЧ в ближній і дальній зонах потужних ВЧ установок в широкому діапазоні частот з метою контролю рівня небезпеки небезпеки ВЧ випромінювання в радіоприймачі робочих місць.

технічний обслуговуючий персонал .

установки та системи випромінюють електромагнітних полів.

Основні технічні характеристики приладу:

1) Діапазон частот: - в залежності від електричної складової довільної поляризації ЕРС 1×10^5 - 3×10^8 Гц, - в залежності від електричної складової лінійної поляризації 19 ЕРС 1×10^4 - 3×10^8 Гц, - магнітна, складова ЕРС 1×10^4 - 3×10^7 Гц;

2) межі вимірювання ефективних значень: - електрична складова КЕМ 1-1000 В/м, - магнітна складова КЕМ 0,5-16 А/м;

3) основна похибка при вимірюванні інтенсивності ЕМП:

- довільна поляризація не більше $\pm 2,5$ дБ,

- лінійна поляризація не більше $\pm 2,5$ дБ,

- похибка через АЧХ антени

-нерівномірна антена - перетворювач (AP) на частотах вище 1×10^5 Гц не більше $\pm 1,3$ дБ,

- похибка через відхилення від ізотропної діаграми в AP спрямованості на високих частотах більше 1×10^5 Гц не більше $\pm 1,5$ дБ, -

Додаткова похибка вимірювача через до відхилення температури навколишнього середовища від норми (в межах робочої температури) на кожні 10°C не більше $\pm 1,0$ дБ.

Наведемо характеристику іншого приладу для вимірювання напруженості електромагнітного поля промислової частоти ПЗ-50.

Прилад ПЗ-50 призначений для вимірювання напруженості електричного і магнітного полів промислової частоти (50 Гц) і служить для контролю гранично допустимого рівня електричного і магнітного поля згідно з ГОСТ 12.1.002-84.

Основні технічні характеристики приладу:

1) діапазон вимірювання: - напруженість електричного поля від 0,01 до 180 кВ/м, - напруженість магнітного поля від 0,01 до 1800 А/м ;

2) межі вимірювань: - для складових електричного поля 0,2, 2, 20 і 200 кВ/м, - для складових магнітного поля 0,2, 20, 200 і 2000 А/м;

3) межа відносної основної похибки: - допустиме значення при вимірюванні напруженості електричного поля, $(15+0,2(E_p/E_x))$ кВ/м, де E_p – виміряне значення, E_x – виміряне граничне значення 20 напруженість електричного поля, - допустиме значення при вимірюванні напруженості магнітного поля, $(15+0,2(E_p/E_x))$ А/м, де H_p – встановлена межа вимірювання, H_x – виміряне значення напруженості магнітного поля.

;4) джерело живлення - вбудована батарея, що складається з 4 змінних хімічних елементів 1,5 В ;

5) розміри та маса деталей - АП ЕЗ - 50: 450x110x40 мм, 0,8 кг, - НЗ - 50: 450x110x40 мм, 0,8 кг, - комплект вимірювальний прилад УОЗ - 50 175x85 х. 4 5 мм, 0,5 кг [4].

У Національному центрі радіочастот України для вимірювання напруженості електромагнітного поля використовується аналізатор спектру

ANRITSU MS 2724C японського виробництва. Практичне та довговічне обладнання призначене для роботи в полі. Він використовує великий екран і сучасне програмне забезпечення. Цей пристрій являє собою аналізатор спектру, який також може вимірювати потужність ЕМП, ідентифікувати джерела радіоперешкод, самостійно виконувати демодуляцію та обробку сигналу.

Основні технічні характеристики приладу:

- 1) Діапазон робочих частот: - 9 кГц - 20 ГГц; - середній рівень шуму: мінус 150 дБм;
- 2) формат даних сумісний з усіма версіями Windows і дозволяє обробляти інформацію як в аналізаторі спектру, так і на персональному комп'ютері;
- 3) пристрій з ВЧ входом типу N і виходом на USB порт ПК;
- 4) може відображати пристрій як від мережі змінного струму напругою 220 В, так і від внутрішньої батареї.

Є вхідний блок для окремого контролю електричної та магнітної складових ЕМП за допомогою аналізатора спектру ANRITSU MS 2724C. Цей блок використовується для вимірювання параметрів джерела радіоперешкод і є перемикачем Електромеханіка включає пасивний сигнал вибір і фільтрація посилянть. Коефіцієнт ослаблення для кожного входу перемикача становить 12 дБ.

1.4 Технічні засоби захисту від шкідливого впливу електромагнітного випромінювання

Захист технічного обладнання та обслуговуючого персоналу від шкідливого впливу електромагнітного випромінювання забезпечується багатьма способами, основними з яких є: зменшення випромінювання, що надходить безпосередньо від самого джерела, екранування джерел випромінювання, екранування робочому місці, поглинати електромагнітну енергію, використовувати засоби індивідуального захисту. Для виконання

цих методів використовуйте такі захисні засоби:

-Екрани, абсорбуючі матеріали, атенюатори, еквіваленти.

-Найпростішим і найефективнішим методом захисту від електромагнітних полів є «дистанційний захист». Знаючи характеристики металу, можна розрахувати товщину екрана S , мм, що забезпечує задане ослаблення електромагнітного поля на певній відстані:

$$S = \frac{\ln E_x}{\sqrt{\omega \mu \gamma} / 2}, \quad (1.5)$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота змінного струму, рад/с, μ – магнітна проникність металу захисного екрана, Г/м, γ – електропровідність металу екрану (Ом • м) – перший; E_x - ефективність екранування на робочому місці, яку можна знайти з виразу:

$$E_x = H_x / H_{xe}, \quad (1.6)$$

де H_x і H_{xe} максимальні значення напруженості компонент магнітного поля на відстанях x , м від джерела, неекранованого і екранованого, А/м відповідно. Напругу H_x можна визначити з виразу:

$$H_x = \omega I a^2 \beta_m / 4x^2, \quad (1.7)$$

де ω і a – кількість витків і радіус котушки приймально-приймальної магнітної антени, м; I — сила струму в котушці А; x - відстань між джерелом (котушкою) і місцем розташування пристрою, що захищається, м; β_m – коефіцієнт, який визначається відношенням x/a (коли $x/a > 10$ $\beta_m = 1$). Якщо допустиму електричну складову поля E_d відрегулювати, то магнітну складову можна визначити за виразом:

$$H_d = 1,27 \cdot 10^5 (E_d / x f), \quad (1.8)$$

де f – частота поля, Гц, Для захисту людини від електромагнітного випромінювання застосовуються заземлені захисні екрани, коробки та щитки, які встановлюються на шляху випромінювання.

Захисні середовища (екрани, бокси) з матеріалів, що поглинають радіохвилі, бувають у вигляді гладких гумових килимків, м'яких або твердих поролонових листів, феромагнітних листів.

Екранування елементів передавача ВЧ та УВЧ установки виконано для захисту від впливу електромагнітних полів. Крім гігієнічних вимог при екрануванні необхідно також враховувати необхідність усунення радіоперешкод, створюваних установками ВЧ і УВЧ, щоб не ускладнювати майбутнє екранування. Характер екранування визначається технологічними особливостями процесу монтажу. Залежно від цього електромагнітне випромінювання в навколишньому середовищі може бути зменшено або повністю виключено. Монітор призначений для послаблення електромагнітних полів у напрямку поширення хвиль і надійного захисту технічних пристроїв від їх негативного впливу. Ступінь ослаблення залежить від конструкції екрана та параметрів випромінювання. Матеріал, з якого виготовлено екран, також істотно впливає на ефективність захисту.

Основною характеристикою екранування є ефективність екранування (E), тобто ступінь ослаблення електромагнітного поля.

Він виражається як відношення між напруженістю поля, створеного неекранованою установкою (E_0, H_0), та напруженістю поля після екранування (E_E, H_E) у тій самій точці простору: .

$$\text{-для електричного поля} \quad E = \frac{E_0}{E_E}, \quad (1.9)$$

$$\text{-для магнітного поля} \quad E = \frac{H_0}{H_E}, \quad (1.10)$$

Ефективність екранування часто виражають в децибелах. При цьому вона визначається з виразу:

$$E_{дб} = 20 \cdot \lg E = 10 \cdot \lg \left(\frac{W_0}{W_E} \right), \quad (1.11)$$

де $E_{дб}$ - ефективність екранування, дБ; W_0, W_E - щільність електромагнітної енергії до і після екранування.

Ступінь екранування залежить від конструкції екрана, його габаритних розмірів, матеріалу екрана (товщина, магнітна проникність і питомий опір матеріалу, з якого виготовлений екран), частоти електромагнітного

поля, а також характеристики джерела поля.

Друга важлива характеристика екрану полягає в тому, що екран втрачає потужність через магнітне нагрівання. Ці втрати можуть бути значними при екрануванні джерел сильних магнітних полів, наприклад, індукційних котушок або трансформаторів. Чим менше розмір екрану, чим ближче його стінки до індукційної котушки, тим більше індукційний струм у ньому, а отже, тим більше його потужність і нагрів. Розмір екрану в цьому випадку визначається розрахунком, виходячи з допустимих втрат.

Матеріал екрану підбирається з урахуванням необхідного рівня ослаблення випромінювання та допустимих втрат потужності на екрані.

Послаблення поля екраном визначеної товщини залежить від глибини проникнення поля в екран (δ):

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu_E \cdot \sigma_E \cdot \pi \cdot f}} \text{ м}, \quad (1.12)$$

де μ_E - абсолютна магнітна проникність матеріалу екрану, Гн /м; σ_E - питома провідність матеріалу екрану, $\text{ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$; f - частота, Гц.

Ефективність екранування суцільного екрану задовільняє нерівності:

$$E > e^{\frac{d}{\delta}}, \quad (1.13)$$

де d - товщина матеріалу екрана.

Ефективність буде високою, якщо товщина матеріалу сита значно перевищує глибину проникнення ($d \gg \delta$).

Як правило, екран повинен задовольняти умову $d \gg \delta$. Чим більша магнітна проникність матеріалу, тим нижчий його питомий опір і чим вища частота, тим менша глибина різкості, що проникає через товщину екрана, і товщина екрана може бути малою. При цьому чим більше магнітна проникність і чим вище питомий опір матеріалу, тим більше втрачає енергії на екрані. На рисунку 1.3 зображено діаграму глибини проникнення струму високої частоти в заданий матеріал.

На діаграмі не зображено такий звичайний матеріал, як сталь, оскільки магнітна проникність сталі на високих частотах змінюється залежно від низки факторів, у тому числі частоти, з якою вона падає.

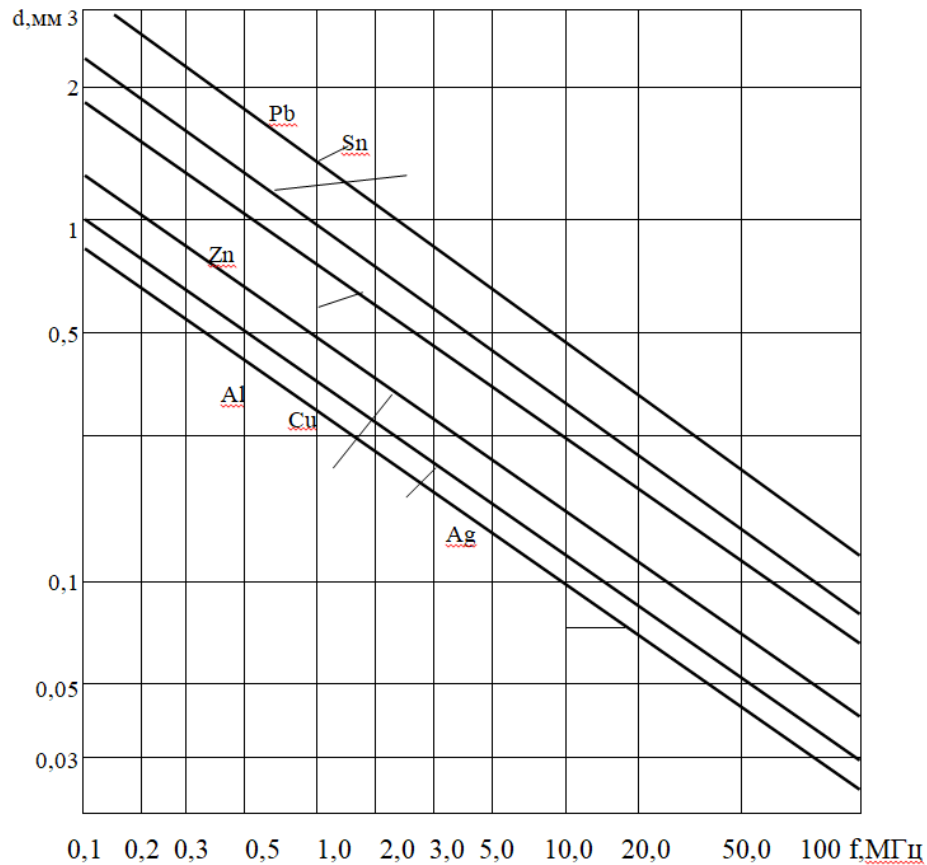


Рисунок 1.3 – Глибина проникнення електромагнітного поля в залежності від частоти коливань електромагнітної хвилі

Однак на частотах в кілька десятків мегагерц глибина проникнення поля в сталі значно менше, ніж в магнітних металах. Сталеві екрани широко використовуються для захисту установок високої та надвисокої частоти, де допустимі значні втрати потужності в екрані. Для електромагнітного екранування слід використовувати матеріали з хорошою електропровідністю, наприклад латунь, алюміній. При малій глибині різкості через матеріал екрана його товщина вибирається з урахуванням механічної міцності екрана. Визначаючи дизайн щита, слід мати на увазі, що ефективність щита буде значно знижена, якщо він містить прогалини або отвори. Тому окремі частини екранної конструкції з'єднуються за допомогою твердої пайки або спайки.

Рекомендується виготовляти екрани з листового металу, табл. 1.4.

Для ефективного захисту технічного обладнання від шкідливих електромагнітних випромінювань краще використовувати блокові екрани, які

використовуються в промислових установках ВЧ і НВЧ, а також в потужних освітлювальних установках.

Таблиця 1.4 – Ефективність екранування полів високих частот металічними листами і сітками

Вид екрану	Матеріал екрану	Частота, кГц				
		10	100	1000	10000	100000
Металічні листи товщиною 0,5 мм	Стал	$2,5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^8$	$>10^{12}$	$>10^{12}$	
	Мідь	$5 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^8$	$>10^{12}$	
	Алюміній	$3 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^8$	$>10^{12}$	
Металічні сітки	Мідь (діаметр дроту 0,1мм, комірка 1·1мм)					
	Мідь (діаметр дроту 1мм, комірка 10·10мм)	$3,5 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$
	Сталь (діаметр дроту 0,1мм, комірка 1·1мм)	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^2$
	Сталь (діаметр дроту 1мм, комірка 10·10мм)	$6 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^2$
	Сталь (діаметр дроту 1мм, комірка 10·10мм)	$2 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^2$

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

2.1 Характер електромагнітного поля і його фізична суть

У 1960-ті роки 19 ст. Максвелл розробив теорію електромагнітних полів, у якій мінливе електричне поле створює мінливе магнітне поле. Ці поля мають вихрові властивості. У створеному полі є силові лінії, які концентрично охоплені силовими лініями у створеному полі. Це створює «заплутану» систему електричних і магнітних полів. Уявлення про природу змінного електромагнітного поля проілюстровано на рис 2.1, який є знімком цього поля.

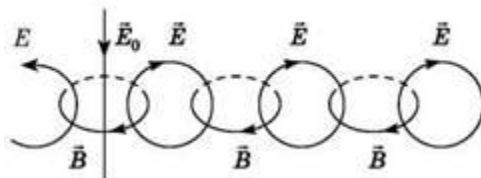


Рисунок 2.1 – Модель електромагнітного поля

Пряма лінія E_0 позначає первинне змінне електричне поле, коло B у горизонтальній площині позначає вторинне змінне магнітне поле, а коло E у вертикальній площині позначає вторинне змінне електричне поле. Навколо провідника, по якому тече струм, створюється магнітне поле. Оскільки лінії магнітного поля завжди замкнуті, струм, який створює магнітне поле, також має бути замкнутим. Щоб переконатися в цьому, розглянемо випадок, коли схема містить конденсатор. Заряд не може переміщатися між пластинами конденсатора. Це перериває лінію живлення біля поверхні пластин конденсатора та перериває лінійний струм, що протікає через провідник, що з'єднує пластини конденсатора. Якщо напруга джерела живлення змінна, замикання кнопки K (рисунок 2.2) викликає багаторазовий заряд і розряд конденсатора, по ланцюгу протікає струм лампочка, підключена до цього кола, загоряється. Це означає, що поточний рядок закрито.

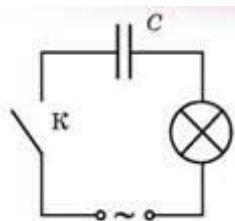


Рисунок 2.2 – Схема з підключеним конденсатором

Між пластинами конденсатора змінні заряди створюють змінне електричне поле, яке Максвелл назвав струмом зміщення. Струм зміщення як і провідний струм, змінне електричне поле створює магнітне поле, силові лінії якого завжди замкнуті. Співвідношення між електричним і магнітним полями визначає поширення електромагнітних полів у просторі.

Розглянемо змінний струм, що протікає по провіднику. Тоді навколо цього провідника виникає змінне магнітне поле B (рис.2.3). Це поле створює змінне електричне поле E в сусідній просторовій області. Змінні електричні поля породжують змінні магнітні поля, які, у свою чергу, породжують змінні електричні поля. Тому електромагнітне поле поширюється з області, де воно існувало, на нову область космосу. Швидкість поширення електромагнітного поля становить приблизно 300 000 км/с.



Рисунок 2.3 – Схема протікання струму по провіднику.

Тому електромагнітні поля можуть існувати незалежно, не будучи пов'язаними із зарядами чи струмами. Це переконливий доказ важливості електромагнітних полів. Матеріальність електромагнітного поля також підтверджується тим, що воно має певну енергію. Поширення електромагнітного поля в просторі, при якому напруженість електричного поля та індукція магнітного поля періодично змінюються, називають електромагнітною хвилею.

Вектор напруженості електромагнітної хвилі E і магнітна індукція B у будь-якій точці простору завжди перпендикулярні один до одного, оскільки лінії напруженості електричного поля перекривають лінії індукції магнітного поля. Вони також перпендикулярні до напрямку поширення хвилі. Отже, електромагнітні хвилі є поперечними. Гармонійні електромагнітні хвилі графічно зображують у вигляді двох синусоїд у площинах, перпендикулярних одна одній (рисунок 2.4).

Одна синусоїда відображає коливання вектора напруженості електричного поля E , а друга — вектора індукції магнітного поля B (обидва вектори коливаються в одній фазі).

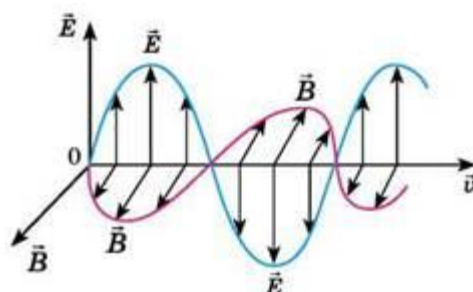


Рисунок 2.4 – Схема векторів напруженості електричного поля і індукції магнітного поля.

Як було сказано раніше, джерелом електромагнітних хвиль може бути будь-яке електричне коло або коливальний провідник, в якому тече змінний струм, оскільки для утворення електромагнітних хвиль необхідно змінне електричне поле (поляризація струму) або, наприклад, отже, змінний магнітний струм. Поле повинно бути створено в просторі. Потужність випромінювання джерела електромагнітних хвиль визначається його формою, розміром і частотою коливань. Щоб випромінювання було помітним, необхідно збільшити об'єм простору, в якому створюється мінливе електромагнітне поле. Тому замкнуті коливальні контури непридатні для прийому електромагнітних хвиль, оскільки електричне поле в них зосереджено між обкладками конденсатора, а магнітне поле зосереджено всередині індукційної котушки.

Коливання в такій системі підтримуються джерелом ЕРС, підключеним до обкладок конденсатора, а іскровий проміжок використовується для збільшення напруги, до якої спочатку заряджаються обкладки конденсатора. Для отримання електромагнітних хвиль вібратор Герца В підключено до індуктора І (рисунок 2.5).

Коли напруга на розряднику досягає пробивного значення, виникає іскра, яка замикає дві половини вібратора і в ньому виникають вільні затухаючі коливання. Коли іскра зникає, коло розмикається і коливання припиняється. Потім індуктор знову заряджає конденсатор, з'являється іскра і знову спостерігаються коливання в ланцюзі і т.д. Для запису електромагнітних хвиль Герц використовував інший вібратор, який він назвав Р-резонатором, який має ту саму власну частоту коливань, що й випромінюючий вібратор. Коли електромагнітні хвилі досягають резонатора, в його просторі виникає електрична іскра.

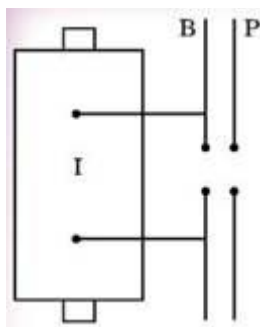


Рисунок 2.5 – Схема підключення вібратора

Для отримання незатухаючих коливань необхідно створити автоколивну систему, здатну подавати живлення з частотою, що дорівнює частоті коливань самого контуру. Тому в 20-х роках минулого століття люди звернулися до створення електромагнітних хвиль за допомогою електронних світильників. Лампові генератори можуть отримувати коливання певної (фактично будь-якої) потужності і мають форму синусоїди. Прийом електромагнітних хвиль здійснюється за допомогою того ж відкритого контуру генератора - вібратора або подібної антени, що і контур випромінювання.

Під дією змінного електричного поля електромагнітних хвиль в контурі приймача будуть виникати електромагнітні коливання. Щоб отримати високу якість прийому, контур генератора приймача повинен бути налаштований на резонанс із контуром передавача. Тобто власна частота коливань контуру приймальної антени повинна бути близькою до частоти коливань контуру передавальної антени. Резонанс ланцюга приймача досягається конденсатором із змінною ємністю або котушкою зі змінною індуктивністю.

2.2 Оцінка величин магнітних параметрів вимірювальних полів

Сьогодні існує багато різних приладів і методів для вимірювання магнітної індукції, магнітного потоку та напруженості магнітного поля. Як правило, пристрій для вимірювання магнітного значення складається з двох частин: вимірювального перетворювача, метою якого є перетворення магнітного значення в електричне, і вимірювального пристрою для вимірювання цього електричного значення. Деякі фізичні явища слугують основою для конструкції перетворювачів для вимірювання магнітних величин.

Основними і найпоширенішими можна вважати такі явища:

- явище електромагнітної індукції;
- сила взаємодії вимірюваного магнітного поля з полем постійного магніту або ланцюга зі струмом;
- електромагнітне явище; - явище вимірювання магнітних властивостей матеріалів у магнітному полі;
- внутрішньоатомне явище.

Іншою частиною приладу для вимірювання магнітних величин може бути звичайний прилад для вимірювання тієї чи іншої електричної величини.

ни або прилад зі специфічними характеристиками. У нашому випадку ми виберемо вимірювання магнітної складової за допомогою явища електромагнітної індукції, де вимірювальний перетворювач є котушковою антеною, витки якої затискаються магнітним потоком. Електричну складову електромагнітного поля можна виміряти за допомогою конденсатора, розміщеного в цьому полі. При цьому на конденсаторі в цей момент з'явиться напруга, відповідне напруженості поля.

Це пов'язано з тим, що на обкладки конденсатора впливає різниця потенціалів у місці їх розташування, що призводить до заряджання та розряджання конденсатора. Для нашого випадку вибираємо електричну антену типу NE-300.

Таблиця 3.1 – Норми випромінюваних завад в смузі частот до 300 МГц

Смуга частот, МГц	Оцінювання		Норми випромінювань, E_n дБ (мкВ/м)
	Відстань, м	Тип детектора/ширина смуги частот	
30-230	10	Квазіпіковий/ 100 кГц	30
230-300	10	Квазіпіковий/ 100 кГц	37
30-230	3	Квазіпіковий/ 100 кГц	40
230-300	3	Квазіпіковий/ 100 кГц	47
<i>Примітка: на граничних частотах застосовують нижнє значення норми</i>			

Однак, як показали дослідження, найбільші радіоперешкоди від активних електронних компонентів джерела світла, що перемикається, виникають у діапазоні частот від 55 кГц до 160 МГц, який встановлює сучасний вхід.

2.3 Аналізатори спектру досліджувальних радіосигналів

Аналізатор послідовного типу.

Аналізатори Serial type є найпопулярнішим типом аналізаторів для дослідження радіосигналів, принцип роботи яких полягає в скануванні діапазону частот за допомогою регульованого гетеродина. Складові спектра послідовно зміщуються в бік проміжних частот. Регулювання частоти гетеродина еквівалентно переміщенню спектра досліджуваного сигналу.

Селективний УМП послідовно виділяє спектральні компоненти i , завдяки синхронному скануванню індикатора осцилятора, на його дисплеї послідовно відтворюється відгук кожної спектральної складової [3]. УМФ послідовно вибірково вибирає спектральні компоненти i , завдяки синхронному скануванню індикатора осцилятора, відгук кожного спектрального компонента послідовно відтворюється на його дисплеї [3].

Аналізатор паралельного типу.

Аналізатор паралельного типу містить набір ідентичних вузькосмугових фільтрів (резонаторів з високою добротністю), кожен з яких налаштований на певну частоту (в області вимірювання низьких частот фільтр може мати не однакову абсолютну смугу частот, а скоріше відносний діапазон частот, напр. «фільтр третьої октави»).

Враховуючи одночасний вплив досліджуваного сигналу на всі фільтри, кожному фільтру присвоюється спектральна складова, відповідна його налаштуванню. Паралельні аналізатори спектру мають перевагу перед послідовними аналізаторами щодо швидкості аналізу, але поступаються їм у простоті [3]. Аналізатор спектру також поділяється за такими характеристиками: За частотним діапазоном - низькочастотний, радіодіапазон (широкосмуговий) і оптичний діапазон. За принципом дії - паралельний і послідовний типи. Залежно від способу обробки вимірювальної інформації та представлення результатів - аналогові та цифрові.

Залежно від характеру аналізу – скалярний, надає лише інформацію про амплітуди гармонійних складових спектра та векторів, також містить інформацію про фазові співвідношення [3].

3 УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

3.1 Функціональна схема основних блоків пристрою

Модернізований вхідний блок аналізатора спектру для контролю рівня шуму освітлювальних приладів повинен містити два канали вимірювання (окремо для магнітної та електричної складових ЕМП). Структурна схема модернізованого вхідного комплексу аналізатора спектру представлена в аркуші МР.МТТм-07.00.00.005 ПЗ. Перший вимірювальний канал містить індуктивний перетворювач (магнітна антена для вимірювання напруженості магнітного поля), вхідний підсилювач, фільтр і детектор сигналу. Другий вимірювальний канал містить ємнісний перетворювач (електричну антену для вимірювання напруженості електричного поля), блок

прецизійних резисторів і вихідний підсилювач. Сигнал з виходу кожного вимірювального каналу надсилається до процесора.

Він складається з електронного вхідного перемикача, вихід якого з'єднаний з атенюатором, обмежувачем амплітуди, диференціальним підсилювачем, підсилювачем приладу та компенсуючим регулятором напруги. Вхідний підсилювач першого каналу служить для посилення змінних магнітних складових, а вихідний підсилювач другого каналу - постійних або змінних складових ЕРС до необхідного рівня. Електронний фільтр обмежує смугу пропускання пристрою в низьких і високих частотах, тим самим підвищуючи захищеність всього пристрою. Детектор використовується для налаштування сигналу датчика для уніфікації блоку обробки.

Для передачі сигналу без спотворень детектор повинен мати строго лінійні характеристики. Процесор призначений для прийому та оцінки аналогового сигналу (постійна напруга) і передачі його на вхід аналізатора спектру. Вхідний перемикач призначений для почергового перемикання виходу будь-якого каналу на вхід атенюатора. Щоб мінімально впливати на сигнал, перемикання його каналів здійснюється шляхом подачі напруги живлення на той чи інший каскад підсилення. Атенюатор використовується для поступового зниження амплітуди вхідного сигналу для отримання максимально точних результатів вимірювань і вибору оптимального робочого діапазону. Обмежувач амплітуди захищає диференціальний підсилювач від перевищення амплітуди вхідного сигналу. Диференціальний підсилювач дає можливість отримати різницю напруг на вході приладового підсилювача, пропорційну вимірюваному значенню сигналу (напруженості електричного або магнітного поля).

У приладовому підсилювачі сигнал віднімається з кожного його входу, а напруга, отримана в результаті віднімання, посилюється. Модернізований вхідний комплект аналізатора спектру для вимірювання напруженості електромагнітного поля працює наступним чином. При вимірюванні магнітного поля об'єкта контролю вихідна напруга магнітної антени буде

пропорційна напруженості магнітного поля. Ця напруга посилюється вхідним підсилювачем зі змінною напругою до рівня, необхідного для роботи наступних блоків пристрою. Основна вимога до підсилювача - відтворення сигналу з мінімальним рівнем спотворень. З виходу підсилювача сигнал надходить на вхід фільтра, де вибирається діапазон сигналу від 100 кГц до 10 МГц.

Іншими словами, фільтр видаляє низькочастотні компоненти з частотами нижче 100 кГц і високочастотні компоненти з частотами вище 10 МГц. Це забезпечує значну завадостійкість всього пристрою та знижує ризик перевантаження входу пристрою обробки інформації потужними низькочастотними складовими сигналу (сигнали від електродвигунів, машин тощо). (трансформатора, підстанції тощо). Детектор регулює змінну напругу сигналу, щоб спростити подальшу обробку, а його висока лінійність забезпечує мінімальне спотворення сигналу під час випрямлення.

Під час вимірювання за допомогою електричної антени напруженість електричного поля буде пропорційна її вихідній напрузі. Вихідна напруга електричної антени перетворювача надходить на блок резисторів, а звідти на вхідний підсилювач. Блок резисторів запобігає зміщенню сигналу антени через вхідний опір підсилювача.

Посилений до необхідного рівня сигнал надходить на вхідний перемикач. Після виявлення туди надсилається сигнал виявлення. Вибір каналу вимірювання залежить від типу роботи приладу. Слід зазначити, що до інформаційного процесора неможливо підключити одночасно два канали вимірювання. Тільки один з них може працювати в будь-який момент часу. Для усунення впливу перемикачів на вимірювальні сигнали в блоці живлення по черзі подається то на один, то на інший каскад підсилення. З виходу вхідного перемикача сигнал надходить на атенюатор. Тут ступінчасте зменшення фіксованої амплітуди сигналу здійснюється за допомогою тумблера. Це необхідно для встановлення оптимальних меж вимірювання та діапазону сигналу.

З атенюатора сигнал надходить на обмежувач амплітуди, який запобігає виходу з ладу диференціального підсилювача при різкому збільшенні амплітуди сигналу або при пошкодженні елементів вимірювальної схеми. Диференціальні підсилювачі повинні бути побудовані на елементах з однаковими характеристиками.

Це дозволяє збалансувати пристрій на нуль, коли на вході абсолютно немає сигналу, і отримати різницю напруг, коли є сигнал, пропорційний вимірюваному значенню. Однак підвищення напруги на цьому етапі незначне. Напруга з виходу диференціального підсилювача надходить на приладовий підсилювач, який у цьому випадку діє як диференціальний підсилювач. Підсилювач приладу усуває шуми за допомогою основної частоти і підсилює різницевий сигнал до необхідного рівня. З виходу підсилювача сигнал постійної напруги надходить на вхід аналізатора спектру, де він перетворюється з аналогового в цифровий, обробляється, записується та передається на вхід приладу. Для зменшення маси, габаритних розмірів і енергоспоживання пристрій відображення в модернізованому блоці виводу спектроаналізатора не передбачено. Компенсований стабілізатор напруги забезпечує значну частину блоків пристрою постійною напругою на певному рівні, поступово знижуючи заряд акумулятора.

Повна працездатність приладу зберігається при зниженні напруги живлення акумулятора від 9 до 7,5 В. Також слід зазначити, що вимірювальні канали модернізованого приладу (магнітна антена, вхід d підсилювача, фільтр, детектор - канал 1 та електрична антена), блок резисторів, вхідний підсилювач - канал 2) керуються дистанційно і монтуються в окремій коробці поза аналізатором спектру. Це підвищує зручність використання пристрою.

3.2 Вибір параметрів основних елементів вхідного блоку

Оскільки вхідний блок повинен вимірювати електричні та магнітні компоненти електромагнітного поля в дуже високому діапазоні значень і частот сигналу, він повинен відповідати суворим вимогам щодо точності відтворення, екранування та структури сигналу. Для цього необхідно провести аналіз схемних рішень для вибору найбільш оптимальної схеми і правильної компоновки всього пристрою. Аналіз схемних рішень вузлів і блоків модернізованого вхідного блоку аналізатора спектру. Щоб правильно спроектувати наш пристрій, необхідно було встановити певні значення величин, які пристрій здатний контролювати.

Основні значення цих значень вказані в Методиці оцінки рівня електромагнітних перешкод освітлювальних приладів, розробленій в БЦ УД-ЦР. У зв'язку з цим необхідно розглянути характеристики існуючих приладів, які використовуються для оцінки рівня електромагнітних перешкод освітлювальних приладів з метою створення конкурентоспроможної продукції.

Розглянемо характеристики електромеханічних перемикачів, що входять до складу аналізатора спектру ANRITSU MS 2720T. Діапазон частот для вимірювання магнітної складової електромагнітного поля становить від 60 кГц до 150 МГц; Діапазон частот вимірювання електричної складової електромагнітного поля від 100 кГц до 10 МГц; діапазон вимірювання електричної складової поля - 0,01-1,0 А/м; діапазон вимірювання складової магнітного поля – 0,2 - 200 В/м; Коефіцієнт ослаблення для кожного комутаційного входу становить 12 дБ. Похибка вимірювання $\pm 20\%$; діапазон температур -10°C $+40^{\circ}\text{C}$; джерело живлення - батарея типу «Корунд» - 9В; важить 1 кг.

Таким чином, розроблене обладнання повинно мати ці характеристики або краще, простоту використання та зручність. Перш за все, необхідно покращити коефіцієнт посилення обладнання та діапазон похибок вимірювань.

Великий коефіцієнт загасання і висока похибка такого електромеханічного перемикача обумовлені наявністю пасивних фільтрів у вхідних ланках і роботою пристрою на хвилі сигналу. Тому для зменшення коефіцієнта ослаблення сигналу та діапазону помилок необхідно:

- застосувати аналогові активні фільтри;
- використовувати як інформаційні обидві напівхвилі сигналу;
- застосувати високочутливу схему підсилення;
- зменшити час проведення вимірювань.

Для задоволення вищезазначених вимог розглянемо принципові рішення кнопок і блоків приладу відповідно до його функціональної схеми. Оскільки електромеханічний перемикач оснащений двома антенами - магнітною та електричною, то вхідний комплект аналізатора спектру повинен працювати з ними. Вимірювання напруженості електричного поля базується на наступному принципі. За допомогою дипольної антени HE-300, яка має невеликі розміри порівняно з довжиною хвилі досліджуваного поля, змінна напруга в цьому полі вибирається за допомогою ємності антени, яка пропорційна напруженості поля в місці її розташування.

Ця зміна напруги випрямляється за допомогою високочастотного діода, розміщеного на виході антени, потім випрямлена напруга пропускається через ланцюжок резисторів, розташовану поруч із датчиком, на підсилювач постійної напруги - а звідти - на модернізований вхідний блок аналізатора спектру. У цьому випадку зміна сигналу приносить багато інформації.

Але в антені додатково передбачений високочастотний трансформатор з центральним виходом, до виходів якого можна підключити два високочастотних діода. При цьому ми отримаємо двонапівциркуляційний випрямляч змінної напруги, в якому інформативними будуть дві півхвилі сигналу. Ми використаємо цю властивість антени, щоб зменшити діапазон

помилки модернізованого пристрою введення. Для вимірювання магнітної складової електромагнітного поля використовується магнітна антена, що складається з надрукованої плоскої котушки, розміщеної в мідному корпусі.

Змінна напруга на виході котушки буде пропорційна силі магнітної складової електромагнітного поля, де вона знаходиться. Щоб зменшити втрати сигналу від антен на вході в модернізований пристрій, їх необхідно посилити.

Розглянемо принципові рішення вхідного підсилювача. Вхідний підсилювач повинен посилювати сигнал кодера до значення, яке дозволяє працювати наступним етапам. Оскільки вхідний підсилювач каскаду вимірювання магнітної складової ЕРС працює від джерела сигналу з незначним опором (до 1 кОм), то існує кілька варіантів його побудови: на транзисторі та мікросхемі. Для посилення напруги сигналу можна використовувати верхній каскад транзистора (дипольний або польовий) у трьох варіантах; із загальною основою (затвор), із загальним емітером (витік) і з загальним колектором (сток).

На мікросхемах (операційних підсилювачах) каскадування може виконуватися як з інверсією сигналу, так і без неї [1]. Схема РТ має певні переваги (дуже високий вхідний опір, низьке споживання струму), але також має значні недоліки. Недоліком верхніх каскадів ПТ є те, що оскільки транзистори управляються полем, їх великі значення можуть викликати збої в роботі схеми. Крім того, висока чутливість каскаду РТ вимагає значного екранування, що збільшує вагу пристрою. Недоліком розгінного каскаду ПТ є досить велика споживана потужність. У зв'язку з цим використовувати ПТ у вхідному підсилювачі на таких великих частотах недоцільно. При побудові вхідних підсилювачів на інтегральних операційних підсилювачах (ОП) вони мають широкий діапазон частот, високу стабільність і надійність, малі габарити і масу. Аналіз схемного рішення вхідного підсилювача показує, що напівпровідникова схема є складнішою за схему ОП, потребує

значних ресурсів для стабільної роботи та займає багато місця. Крім того, коефіцієнт посилення напруги напівпровідникової схеми досить низький (до 10), а коефіцієнт гармонік перевищує 1%. Схеми на ОП прості, компактні і дуже надійні. Однак схема інвертора здатна вимикати джерела вхідного сигналу через низький вхідний опір.

Зі сказаного вище можна зробити висновок, що вхідний підсилювач необхідно будувати на ОП з не інвертуючим перемикачем.

Але оскільки верхня частота вимірюваного діапазону становить 150 МГц, для зменшення спотворення форми сигналу і, відповідно, похибки вимірювання, слід використовувати два каскади підсилення напруги, включених послідовно. Для забезпечення високих значень характеристик вхідного підсилювача необхідно вибрати ОУ, частота одиничного посилення якого буде в 3 рази вище робочої частоти. Додатково рекомендується використовувати ОП з напругою живлення не вище 12 В [2].

Цим вимогам відповідає мікросхем MAХ4117 американської компанії МАХІМ [3]. Це здвоєний ОП з уніфікованою частотою підсилення 400 МГц, напругою живлення до 12 В (+6 В), струмом споживання 6 мА, швидкістю наростання вихідного сигналу 1200 В/мкс, діапазоном робочих температур від -40°C до 85 °C. Типова схема, що включає не інвертуючий ОП MAХ4117 для частот до 200 МГц, показана на малюнку 2.1.

Вихідна напруга такої схеми визначається з виразу:

$$U_{out} = [1 + (R_F / R_G)] \cdot U_m, \quad (3.1)$$

де U_{in} - вхідна напруга від давача, В; R_F - резистор паралельного НЗЗ; R_G - резистор послідовного НЗЗ; R_T - резистор зменшення дрейфу струму; R_0 - баластний резистор стабілізації струму; C_T, C_0 - вхідний і вихідний розділювальні конденсатори.

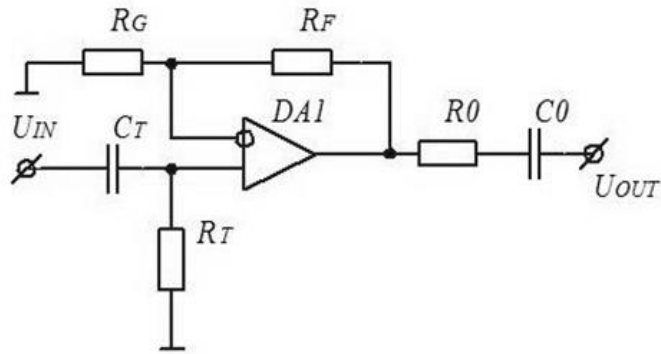


Рисунок 3.1 – Схема не інвертуючого включення ОП MAX4117

Тепер розглянемо принципові рішення, використані в конструкції активних смугових фільтрів. Вихідний сигнал підсилювача надходить на вхід фільтра. Фільтр модернізованого блоку обмежує небажані компоненти в корисному сигналі як у верхній, так і в нижній частині діапазону вимірювання.

Розглянемо структуру смугового фільтра. Цей фільтр складається з одночасних фільтрів високих і низьких частот. У вимірювальному обладнанні фільтри високої частоти (HFF) і фільтри низької частоти (LFF) зазвичай не використовуються вище 4-го порядку.

В той же час, для спрощення розрахунків і налагодження, створені фільтри першого порядку третинний і четвортинний зв'язків першого та другого порядку [4]. Характеристику пропускання фільтра низьких частот можна записати так:

$$K_{НЧ}(p) = K_0 / \left[\prod_i (1 + a_i p + b_i p^2) \right], \quad (3.2)$$

Порядок фільтра визначається максимальним ступенем у знаменнику цього виразу після множення всіх факторів. Зовнішній вигляд фільтра АЧХ визначається його порядком і типом.

У вимірювальній техніці найчастіше використовується фільтр Баттерворта, який забезпечує максимально плоску частотну характеристику в діапазоні прозорості, і рідше використовуваний фільтр Чебишева, який забезпечує більш крутий нахил в діапазоні прозорості. Небажані рівні частото-

ти хвиль. коливання частоти в прозорому діапазоні. Такі фільтри відрізняються лише значеннями коефіцієнтів і передатних функцій, наведених у таблиці 2.1.

Фільтр Чебишева використовується з малими коливаннями частоти, які, як правило, не перевищують 1 дБ. Коефіцієнти передавальної характеристики підходять і для високих частот, достатньо у виразі передатної функції замінити на ω , а коефіцієнт a_i на ω , тоді передавальна характеристика високих частот визначається з виразу:

$$K_{BЧ}(p) = K_{\infty} / \left[\prod_i (1 + a_i / p + b_i / p^2) \right], \quad (3.3)$$

Реалізацію ланок першого порядку, для яких значення коефіцієнтів b_i дорівнюють нулю, можна виконати за допомогою простих кіл. Передавальна функція ланки ФНЧ першого порядку у загальному випадку має вигляд

$$K_{HЧ}(p) = K_0 / (1 + a_i p), \quad (3.4)$$

$$\text{а для ланки ФВЧ} \quad K_{BЧ}(p) = K_{\infty} / (1 + a_i p), \quad (3.5)$$

Для того, щоб такі самі передавальні функції мали ланки, схеми яких показані на рисунку 2.2, досить виконати такі умови:

Для ФНЧ

$$R_1 C_1 = a_1 / (2\pi f_3) ; 1 + \frac{R_2}{R_3} = K_0; \quad (3.6)$$

Для ФВЧ

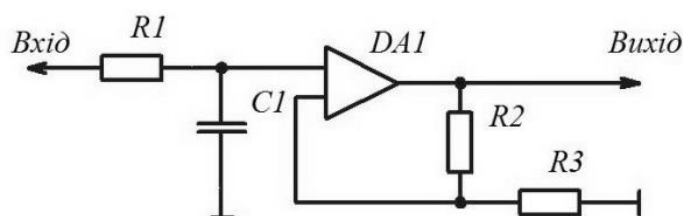
$$R_1 C_1 = 1 / (2\pi f_3 a_1) ; 1 + \frac{R_2}{R_3} = K_{\infty}; \quad (3.7)$$

де f_3 – частота зрізу фільтрів за рівнем -3 дБ.

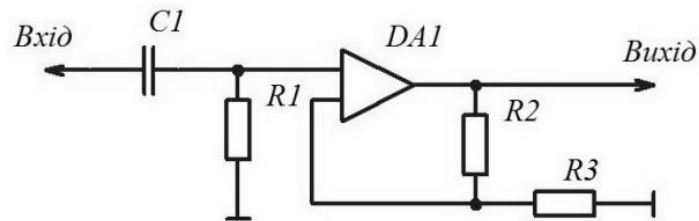
Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнтів a_i та b_i для фільтрів різних типів

Порядок Фільтра	Номер Ланки	Коефіцієнт	
		a_i	b_i
1	2	3	4
<u>Фільтр Баттерворта</u>			
1	1	1.0000	0.0000
2	1	1.4142	1.0000
3	1	1.0000	0.0000
	2	1.0000	1.0000
4	1	1.8478	1.0000
	2	0.7654	1.0000
<u>Фільтр Чебишева з коливанням 0.5дБ</u>			
1	1	1.0000	0.0000
2	1	1.3614	1.3827
3	1	1.8636	0.0000
	2	0.6402	1.1931
4	1	2.6282	3.4341
	2	0.3648	1.1509
<u>Фільтр Чебишева з коливанням 1дБ</u>			
1	1	1.0000	0.0000
2	1	1.3022	1.5515
3	1	2.2156	0.0000
	2	0.5442	1.2057
4	1	2.5904	4.1301
	2	0.3039	1.1697

У фільтрах третього порядку заданий коефіцієнт пропускання в прозорій смузі зазвичай реалізується з'єднанням другого порядку, тому з'єднання першого порядку в таких фільтрах можна спростити, взявши $i = 1$. При цьому замість масової експлуатації підсилювача DA1, рис 3.2, а, б, можна використовувати звичайні передавачі або негерметичні повторювачі.



а)



б)

а – фільтр низької частоти; б – фільтр високої частоти.

Рисунок 3.2 – Схеми ланок активних фільтрів 1 – го порядку

За наведеним принципом виготовлено фільтр модернізованого вхідного блоку аналізатора спектру для обмеження значень частотного діапазону від 55 кГц до 160 МГц, де основним джерелом акустичного випромінювання від приладів є д. Підсвічується розміщеними імпульсними джерелами живлення.

Для більш точної обробки сигналів, що надходять із виходу смугового фільтра, їх необхідно детектувати. У найпростішому випадку для цього можна використовувати звичайний діод і конденсатор. Більше значення вхідного сигналу заряджатиме конденсатор, який зберігатиме заряд, поки діод не буде зворотно зміщений. На малюнку 3.3а показано покращену схему з використанням зворотного зв'язку.

Якщо з конденсатора зняти постійну напругу, то падіння напруги на діоді не завдасть ніяких незручностей. Характерні обмеження ОП в цій схемі проявляються двоєко: - вхідний струм зміщення викликає повільний розряд конденсатора; - максимальний струм ОП обмежує швидкість зміни напруги на конденсаторі, тобто швидкість, з якою вихідний сигнал слідує за зміною вхідного сигналу. Використання ОП в амплітудному випрямлячі може значно зменшити помилку перемикавання через падіння напруги на відкритому діоді. Схеми амплітудного детектування на ОП знижує рівень відкритого випрямляча до 1 мВ [5]. Недоліком схеми на рисунку 3.3 є те, що вона випрямляє сигнал за півперіоду, що погіршує лінійність перетво-

рення. Схема двох півперіодних випрямлячів на ОП наведена на рисунку 3.3, б.

На цій схемі в залежності від знака вхідного сигналу відкриється діод VD1 або VD2. Позитивна півхвиля вхідного сигналу проходить через діод і дільник напруги на позитивний вхід DA1. У цьому випадку вихідний сигнал не інвертується, а позитивна вихідна напруга отримується з виразу:

$$U_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{вх}} \cdot R \cdot (R/R + 1)}{R + R} = U_{\text{вх}}. \quad (3.8)$$

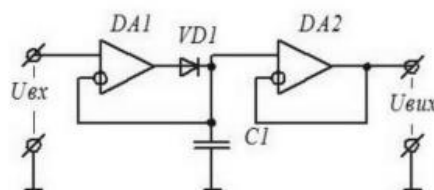
Негативна півхвиля через діод і відповідний дільник напруги надходить на негативний вхід. При цьому вхідний сигнал інвертується, а вихідна позитивна напруга виходить за формулою:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{вх}} \cdot \frac{R}{R + R} \cdot \frac{R}{R/2} = U_{\text{вх}}. \quad (3.9)$$

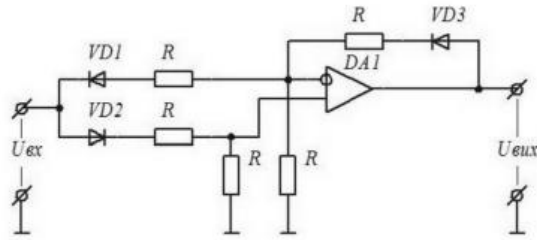
Оскільки струм, що протікає через діод VD3, буде таким самим, як і струм, що протікає через діоди V1 і V2, падіння напруги на діоді VD3 компенсується аналогічними падіннями напруги на діодах VD1 і VD2.

Основним недоліком схеми на рисунку 3.3, б є необхідність правильного підбору характеристик діода та опору резистора. Найпростішою схемою амплітудного детектора можна вважати схему на рисунку 3.3, в.

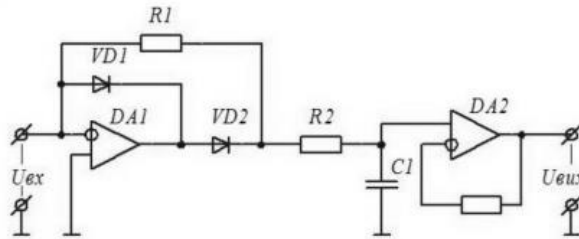
Ця схема дає можливість отримати вихідну напругу, абсолютна величина якої дорівнює абсолютній величині вхідної напруги. Схема на рисунку 2.3 являє собою схему випрямляча з двома напівперіодами, в якій ОП має 3-канальний контур, що усуває ефект падіння напруги на діодах, характерний для схем пасивного випрямляча.



а)



б)



в)

а – з однонапівперіодним вихідним сигналом; б – з двохнапівперіодним вихідним сигналом; в - з двохнапівперіодним вихідним сигналом.

Рисунок 3.3 – Схеми амплітудних детекторів

Оскільки входні перемикачі та атенюатори високочастотних пристроїв доречно реалізовані на простих пасивних елементах, не будемо зупинятися на їх схемних рішеннях. Як обмежувач амплітуди сигналу можна використовувати звичайний діод.

3.3 Метод інструментального оцінювання рівня електромагнітних радіозавад.

Відповідно до вимог «Приладної методики оцінки рівня електромагнітних радіоперешкод освітлювальних приладів для забезпечення їх відповідності вимогам чинних нормативних документів», розробленої та затвердженої ДП УДЦР, світлодіодні джерела світла та супутні лампи, що не мають активного електронні комутаційні елементи за своїм складом

вважаються такими, що відповідають вимогам ДСТУ EN 55015: 2014 без необхідності проведення додаткових випробувань.

Усі інші світлодіодні джерела світла та відповідні світильники, що використовують цей тип джерела світла, повинні відповідати стандартам щодо випромінюваних перешкод, наведеним у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Норми випромінюваних завад в смузі частот до 300МГц

Смуга частот, МГц	Оцінювання		Норми випромінювань, $E_{\text{н}}$ дБ (мкВ/м)
	Відстань, м	Тип детектора/ширина смуги частот	
30-230	10	<u>Квазіпіковий</u> / 100 кГц	30
230-300	10	<u>Квазіпіковий</u> / 100 кГц	37
30-230	3	<u>Квазіпіковий</u> / 100 кГц	40
230-300	3	<u>Квазіпіковий</u> / 100 кГц	47
<i>Примітка: на граничних частотах застосовують нижнє значення норми</i>			

Однак, як показали дослідження, найбільші радіоперешкоди від активних електронних компонентів джерела світла, що перемикається, виникають у діапазоні частот від 55 кГц до 160 МГц, який встановлює сучасний вхід. Наш модернізований блок розроблений для цього діапазону частот.

3.4 Забезпечення розробленого пристрою програмним забезпеченням

Аналізатор спектру ANRITSU MS 2720T має оригінальне програмне забезпечення закритої форми, яке використовується для тестування кнопок аналізу та проведення вимірювань у різних режимах.

Для контролю радіоперешкод від освітлювальних приладів на клавіатурі спектроаналізатора відображається середнє значення частоти досліджуваного діапазону, його відхилення вліво і вправо (діапазон частот), тип вимірювального блоку, тип системи обробки та зберігання сигналу. Потім магнітні та електричні компоненти або електромагнітні компоненти поля, де розташована антена, вимірюються окремо. 3.4 показано зображення електричної складової шуму від імпульсного джерела живлення потужного світлодіода в діапазоні частот від 40 до 100 МГц, зроблене на відстані 10 м від джерела шуму.

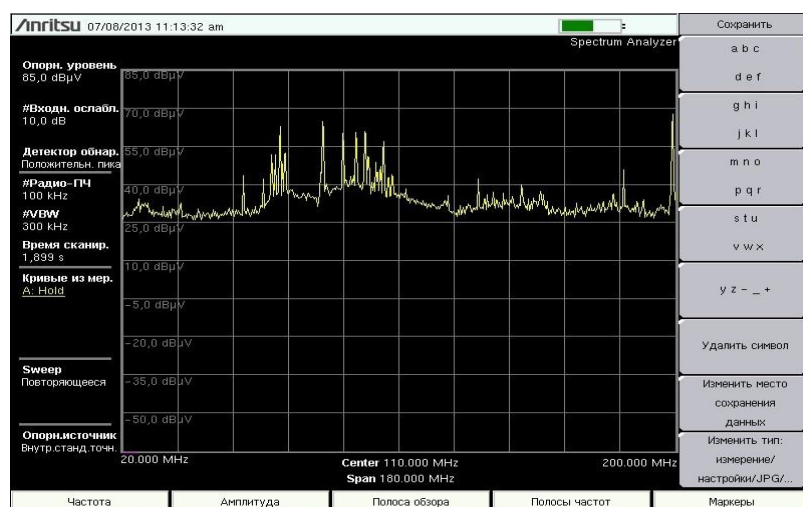


Рисунок 3.4 – Вигляд вікна програми аналізатора спектру ANRITSU під час виявлення електричної (верхня жовта крива) та магнітної (нижня крива) компонентів джерела радіоперешкод .

Як показано на малюнку 3.4, він має значні випромінювання (до 40 дБ – маркер 1). у магнітній складовій електромагнітної сумісності, яка може впливати на радіопередавачі поблизу. Крім того, перевагою програмного забезпечення спектрометра ANRITSU MS 2720T є можливість комбінувати дві складові ЕРС у вікні приладу (дві верхні криві на малюнку 3.4).

На рисунку 3.5 показано вплив електромагнітних перешкод в діапазоні частот від 20 до 37 МГц від освітлювального обладнання на платформі, зняте на відстані 15 м. Діапазони до 20 МГц використовуються переговорними пристроями та системами залізничного зв'язку, досить сильно приховує шумовий сигнал.

Зі сказаного вище зрозуміло, що радіоперешкоди можна краще виявити та ідентифікувати шляхом окремого вимірювання електричних і магнітних компонентів. Крім того, використовуючи програмне забезпечення спектрального аналізу ANRITSU, можна виміряти основні характеристики шуму (рис. 3.5) і отримати значення всіх його гармонік.

Результати вимірювань можуть бути збережені програмним забезпеченням аналізатора спектру у всіх популярних форматах у будь-який час під час пошуку та перезаписані на USB-накопичувач або ПК.

На основі вимірних даних створюється звіт, який надається власнику джерела перешкод для негайного усунення завад.

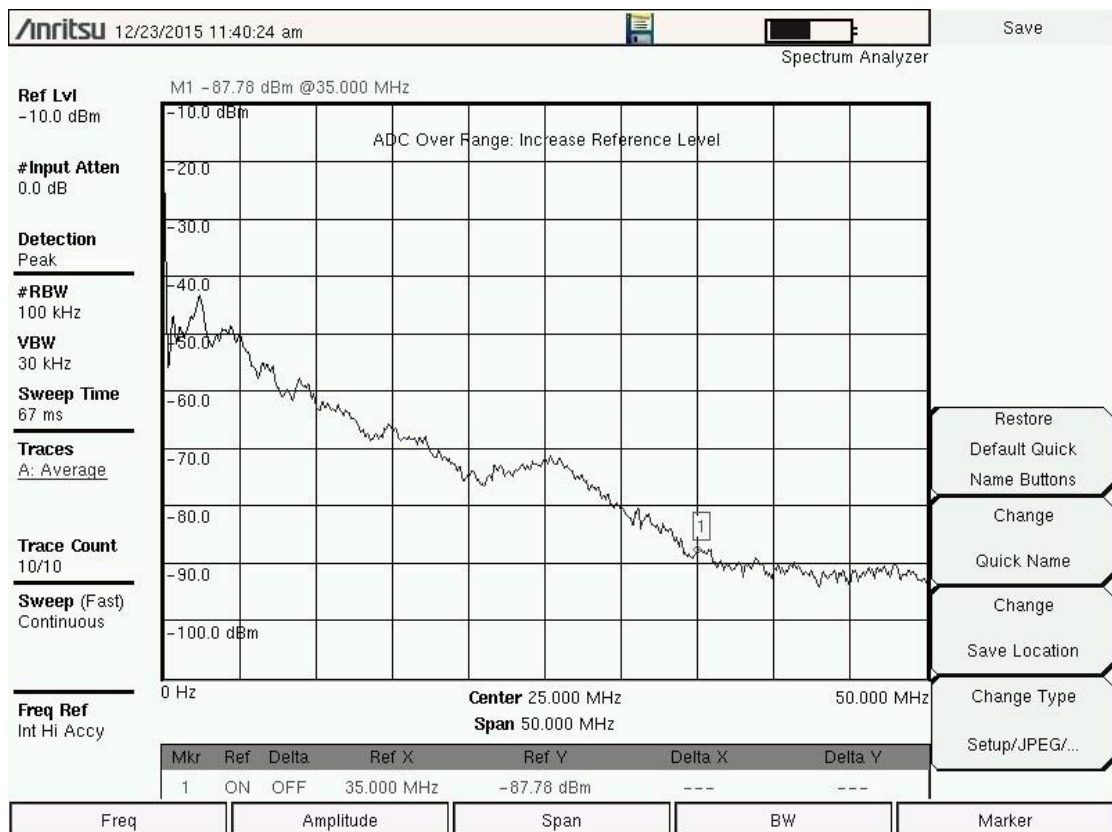


Рисунок 3.5 – Вигляд вікна програми аналізатора спектру ANRITSU при виявленні джерела електромагнітної радіозавади.

Після усунення джерела радіоперешкод аналізатором спектру ANRITSU MS 2720T було проведено повторне вимірювання складових ЕМП в заданому діапазоні. Результати повторних вимірювань поєднуються на дисплеї аналізатора спектру з результатами первинних вимірювань, з яких чітко видно, наскільки джерело шуму зменшило свій вплив на навколишнє ЕМП.

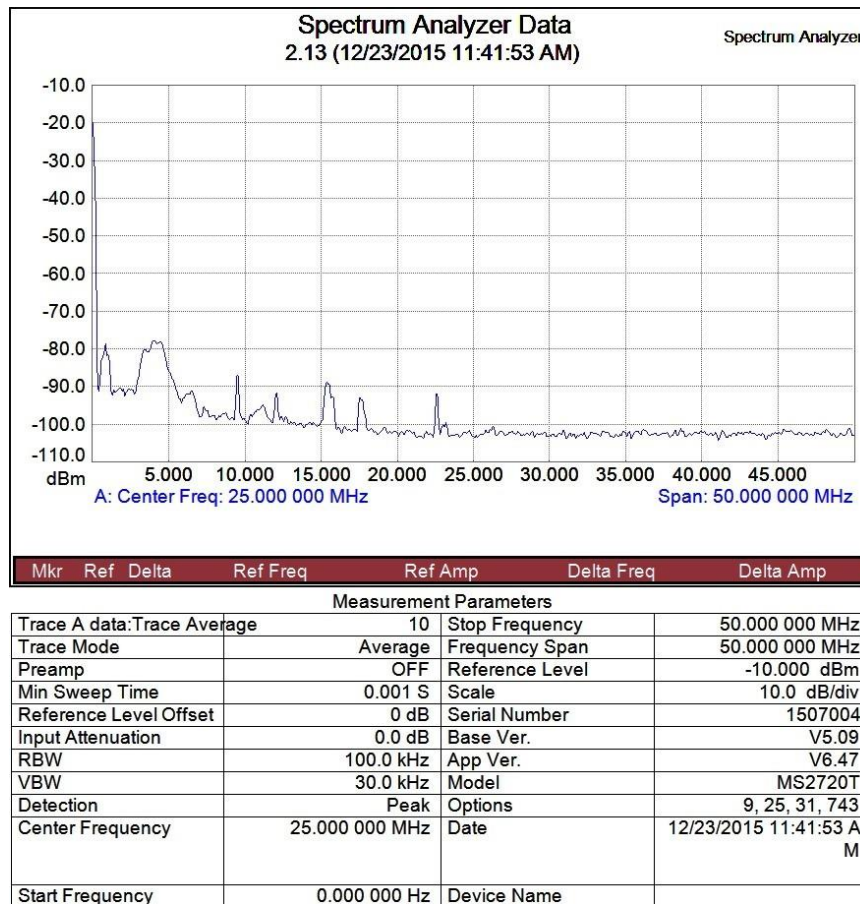


Рисунок 3.6 – Вигляд вікна програми аналізатора спектру ANRITSU при вимірюванні основних характеристик джерела радіозавад.

3.5 Технологія виготовлення окремих блоків пристрою

Креслення друкованих плат класифікуються як креслення деталей; повинен мати всю необхідну інформацію для виготовлення та тестування: зображення друкованої плати з боку друкованої збірки, розміри, межі

відхилення та шорсткість поверхонь і отворів плати, а також необхідні технічні вимоги, дані про матеріал картки тощо.

Процес розробки креслення друкованої плати інформаційного процесора А1, наведеного на аркуші, починається з нанесення координатної сітки, основним вважається крок 2,5 мм.

Для виготовлення друкованих плат ми використовуємо скловолокно СФ1,5-35 по ГОСТ 10316-78. Текстолітове скло було обрано тому, що воно недороге і має відповідні механічні та діелектричні властивості. Для забезпечення необхідної жорсткості та довговічності була обрана товщина панелі 1,5 мм.

Товщина мідної фольги вибирається виходячи з величини струму, що протікає через трасу. Оскільки карта одностороння і пристрій призначений для використання в умовах, що не піддаються вібраційним навантаженням, немає необхідності металізувати монтажні отвори карти.

На дошці потрібно просвердлити отвори для установки двох діаметрів: 2,5, 3,5 мм відповідно. Для отворів діаметром 2,5 мм допуск повинен бути +0,1 мм. Для кріплення дошки необхідно просвердлити чотири отвори діаметром 3,5 мм, допуск повинен бути +0,15 мм.

Розводка плати виконана з урахуванням габаритів елементів і максимальної оптимізації розташування елементів на поверхні плати. Типорозмір панелі обраний із стандартної серії по ГОСТ 2.417-78. У нашому випадку ми використовуємо дошку 50×150 мм. Плити повинні відповідати ГОСТ 4077000, група твердості 3. Клас точності 1 по ГОСТ 4010019-81. Конфігурація провідника повинна бути витримана згідно координатної сітки з відхиленням від креслення +0,5 мм. Ширина друкованого провідника не менше 0,5 мм. Відстань між друкованим проводом або проводом і контактною площадкою не менше 0,25 мм. Обмежте різницю в розмірах між віссю двох контактних майданчиків і контактними точками групи до +0,1 мм.

Електропровідне візерункове покриття поверхні - Рожевий сплав ТУ 6-09-4065-75. Щит повинен бути нанесений маркувальними фарбами: біла (БМ), ТУ 029-02-859-78 і чорна (ЧМ), ТУ 029-02-859-78, шрифтом 2,5 згідно з НО.010.007.

На платі робиться маркування фарбою ЧМ, чорний, ТУ 029-02-859-78, при цьому використовувати шрифт 2,5 за НО.010.007.

3.6 Конструкція елементів складального креслення

Оскільки завданням проекту є розробка функціонально завершеного електронного блоку, то розроблену електронну плату необхідно розмістити в ящику.

Крім плати, в корпусі також знаходяться: батарея , регулятор напруги живлення, плата фільтра, перемикачі, вхідні та вихідні роз'єми, заземлювач для відповідних електричних з'єднань. В якості матеріалу корпусу вибираємо алюміній. Матеріал досить дешевий, а металевий корпус підвищує захищеність всього пристрою.

Коробка складається з - двох U-подібних кришок; ручка перемикача і три роз'єми. Товщина стінки корпусу 1 мм. Оскільки пристрій досить легкий, ручка для його перенесення не потрібна. Пристрій живиться від автономної батареї або батареї типу «Корунд». Технічні характеристики та перелік елементів наведені в додатку.

3.7 Метрологічне забезпечення удосконаленого пристрою

Сумарна похибка контролю складається із методичної і інструментальної. Зображено на рисунку 3.5.

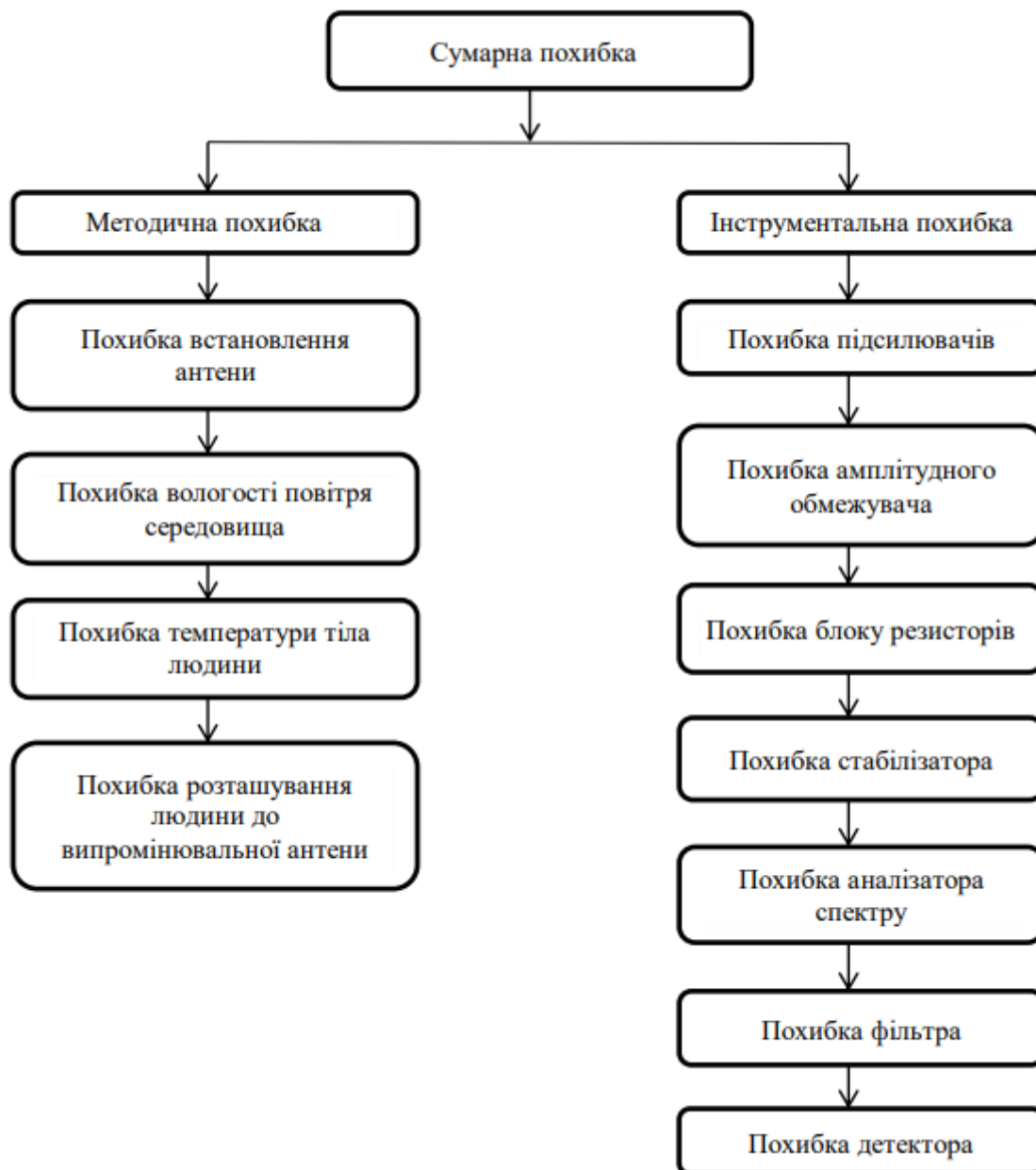


Рисунок. 3.5 Блок– схема сумарної похибки

Помилки керування пристроями в основному включають сигнальні процесори та допоміжні пристрої, а також зовнішні допоміжні пристрої, такі як магнітні та електричні антени.

Метрологічний аналіз технічних засобів, розроблених для вимірювання магнітних і електричних величин, проводиться за однією методикою, оскільки параметри подібні.

Блоки, які матимуть найбільший вплив на зміну сигналу, його форми, амплітуди та затримки: - вхідний підсилювач; - вихідний підсилювач; - підсилювач музичних інструментів; - диференціальний підсилювач.

Сумарна похибка цих блоків $\Delta = 1,2\%$. Похибка обмежувача амплітуди становить $\Delta = 0,09\%$ і для варіацій рівня обмеження сигналу компаратора. Основним джерелом помилки в блоці резисторів є виробнича невідповідність. Я вибрав блок резисторів типу ULI з помилкою $0,1\%$.

Стабілізатор напруги несправний через вплив сигналу, що проходить через кілька підсилювачів, що призводить до затримки сигналу з похибкою $\Delta = 0,09\%$. Помилки магнітної антени в основному будуть згруповані разом через помилки.

- виробництва і вони не зафіксовані в паспорті.

- похибка аналізатора спектру $\Delta = 0,8\%$.

- помилка фільтра становить $\Delta = 0,2\%$.

- антенний фільтр підібраний марки Фол-51.

Помилка детектора буде складатися з аномалії на передньому кінці перетворення радіосигналу у відеосигнал і становить $\Delta = 0,07\%$ за паспортними даними. Параметри електромагнітного поля впливають на чутливість під час вимірювання. Із збільшенням частоти коливань довжина хвилі зменшується і кількість передавачів і приймачів спрямованого сигналу збільшується.

Тому співвідношення між напрямком антени та вектором інтенсивності поля вимірювання спричинить найбільшу похибку, а отже, і чутливість вимірювання. Найбільш оптимальний варіант, коли напрямок поля перпендикулярний антені.

Точність установки антени дасть похибку $\Delta = 0,15\%$.

Похибка вологості повітря $\Delta = 0,1\%$.

Похибка температури тіла людини становить $\Delta = 0,2\%$.

Похибка визначення місця розташування людини відносно випромінюючої антени становить $\Delta = 0,18\%$. Контроль похибки вимірювання вимагає лабораторних і польових досліджень.

Сумарна похибка приладу $\Delta = 2,55\%$.

Загальна похибка методу становить $\Delta = 0,63\%$. Загальна похибка $\Delta = 3,18\%$.

ВИСНОВКИ

У Магістерській роботі проаналізовано існуючих джерела електромагнітного випромінювання та описано їх вплив на різні об'єкти. Окремо описано сучасні освітлювальні прилади та причини їх електромагнітних перешкод. Проаналізовано прилади, що використовуються для вимірювання сили електромагнітних полів. Проведено аналіз засобів захисту від електромагнітного випромінювання. Проаналізовано технічні засоби, які використовуються в Національному центрі радіочастот України для виявлення джерел радіоперешкод.

Перераховано недоліки існуючих електромеханічних перемикачів, які використовуються як блок введення аналізатора спектру. Запропоновано модернізацію блоку введення для моніторингу рівня шуму освітлювальних приладів та зменшення коефіцієнта ослаблення сигналу та похибок вимірювань.

Операція програмного забезпечення аналізу спектру з блоком введення модернізована з урахуванням виявлення джерел радіоперешкод.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Терещук Р.М. и др. Напівпровідникові приймально-посилювальні пристрої[Текст]. — К.: Наукова думка, 1988 — 800 с.
2. Стрілецький Ю.Й. Основи електроніки [Текст]. Конспект лекцій. Ч.2 МВ02070855-1229-2003: Івано-Франківськ.- Факел, 2003 - 118 с.
3. Хоровиц П., Хилл У. Мистецтво схемотехніки [Текст]: Пер. с англ. – Узд. 6-е. – М.: Світ, 2003. – 704 с.
4. Москатов Е.А. Електронна техніка [Текст], 2004 – 121 с.
5. Королев Г.В. Електронні пристрої автоматики [Текст]: Навч. Посібник — М.: Вищ. Шк., 1991. —256 с.
6. Горюнов Н.Н. Напівпровідникові прилади . – М.: Энергоздат, 1992, с. 662- 677.
7. Загаевский Т., Мальзахер С., Квещинский А. Промислова електроніка. Пер. с польської под ред. Х.Ф. Баракаева. – М.: Енергія, 1976. – 640с.:ил.
8. Ізюмов Н.М., Линде Д.П. Основи радіотехніки: Навчальна серія. – М.: Енергія, 1991. – 480С.: ил.
9. Проектування транзисторних підсилювачів звукових частот. Под ред. Н.Л.Безладнова. – М.: Зв'язок, 1998. – 368с.
10. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями[Текст]. Чинний від 14.02.2018.
11. ДСТУ 3008:2015 Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.- ДП «УкрНДНЦ», 2016.-25 с.