

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет радіоелектроніки, комп'ютерних систем та інфокомунікацій

Кафедра радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і
технологій

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
магістра

на тему: Аналіз впливу шуму та перешкод на якість передачі даних в
радіосистемах та розробка методів їх компенсації

XAI.502.560M.23O.172.1905020 ПЗ

Виконала:	<u>студентка 2 курсу групи</u>
Галузь знань	<u>17 «Електроніка та телекомунікації»</u>
Спеціальність	<u>172 «Телекомунікації та радіотехніка»</u>
Освітня програма	<u>«Радіоелектронні комп'ютеризовані засоби»</u> (шифр і назва напряму підготовки(спеціальності))
Керівник:	<u>Сергеєва С. Е.</u>
Рецензент	<u>Ломоносов Ю. В.</u> <u>Невлюдов І. Ш.</u>

Харків 2024

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет Радіоелектроніки, комп'ютерних систем та інфокомунікацій
(повне найменування)

Кафедра Радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій

(повне найменування)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіоелектроніка»

(код та найменування)

Освітня програма «Радіоелектронні комп'ютеризовані засоби»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Олена ВИСОЦЬКА

(підпис)

«10» жовтня 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Сергєєвій Світлані Едуардівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз впливу шуму та перешкод на якість передачі даних в радіосистемах та розробка методів їх компенсації

керівник проекту (роботи) доцент, к.т.н. Ломоносов Ю. В

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від №

1873а-уч від «10» жовтня 2023 року

2. Строк подання студентом роботи 11.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики.

Опір увімкнення 11 Ом, спектральна щільність шуму (NSD) 0,43 нВ/√Гц.

Температура 25°C. Частота дискретизації (15 MSPS), смуга пропускання 400 кГц.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз теоретичних основ радіосистем та впливу шуму сигналів на радіокомунікації

2. Методи аналізу впливу перешкод на якість передачі даних

3. Аналіз шуму для сигнального ланцюга

4. Охорона праці в галузі

5. Перелік графічного матеріалу із значенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів):

5.1 Схема вимірювання з низьким рівнем шуму (плакат, формат А4).

5.2 Зовнішній тюнер (плакат, формат А4).

5.3 Параметри шуму/частота (плакат, формат А4).

5.4 Сигнальні ланцюги (плакат, формат А4).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1 - 4	доц. Ломоносов Ю. В.	23.10.2023	10.01.24

Нормоконтроль _____ Олійник В. М. «20» січня _____ 2024 р.
(підпис) (ініціали та прізвище)

7. Дата видачі завдання « 10» жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Отримання завдання, збір матеріалів	10.10.23- 24.10.23	
2	Огляд літератури й обґрунтування необхідності дослідження	25.10.23 –28.10.23	
3	Дослідження теоретичних основ радіосистем	29.10.23 – 12.11.23	
4	Аналіз впливу шуму на радіосигнали	13.11.23 –31.11.23	
5	Аналіз впливу перешкод на якість передачі даних	01.12.23 – 16.12.23	
6	Аналіз шуму для сигнального ланцюга	17.12.23 - 06.01.24	
7	Оформлення пояснювальної записки	07.01.24 – 08.01.24	
8	Підготовка та подання магістерської роботи до захисту	09.01.24 – 10.01.24	
9	Передзахист роботи	17.01.24	
10	Захист роботи	19.01.24	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Сергеева С.Е.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Ломоносов Ю. В.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи магістра: 76 с., 13 рис., 4 табл., 43 джерел.

АНАЛІЗ ШУМУ, ПЕРЕДАЧА ДАНИХ, РАДІОСИСТЕМИ, МЕТОДИ МІНІМІЗАЦІЇ ШУМУ, ІНТЕРФЕРЕНЦІЯ, СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ.

Об'єкт дослідження – процеси передачі даних у радіосистемах та вплив на них шуму та перешкод.

Мета роботи – аналіз впливу шуму та перешкод на якість передачі даних у радіосистемах та аналіз методів їх мінімізації.

Методи дослідження – теоретичний аналіз видів шуму та їх джерел, вимірювання та аналіз параметрів шуму, комп'ютерне моделювання та симуляція, аналітичні методи визначення впливу шуму на сигнал, аналіз мінімізації шуму.

В результаті проведеного дослідження встановлено, що шум значно впливає на ефективність радіокомунікацій. Проаналізовано методи для зменшення цього впливу, включаючи спектральний аналіз, адаптивну фільтрацію, та застосування передових технік цифрової обробки сигналів.

Проаналізовані методи можуть бути використані для підвищення якості радіосигналів у різних областях застосування, включаючи мобільний зв'язок, бездротові мережі, та супутникове радіомовлення.

Робота має практичне значення для інженерів та фахівців у галузі телекомунікацій та радіотехніки, оскільки надає методологічні підходи для аналізу та мінімізації шуму в радіосистемах.

ABSTRACT

Explanatory note to the master's thesis: 76 p., 13 fig., 4 tab., 43 sources.

NOISE ANALYSIS, DATA TRANSMISSION, RADIO SYSTEMS, NOISE MINIMIZATION METHODS, INTERFERENCE, SPECTRAL ANALYSIS.

Research object – data transmission processes in radio systems and the impact of noise and interference on them.

The purpose of the work – to analyze the impact of noise and interference on the quality of data transmission in radio systems and to examine methods for their minimization.

Research methods – theoretical analysis of types of noise and their sources, measurement and analysis of noise parameters, computer modeling and simulation, analytical methods for determining the impact of noise on the signal, analysis of noise minimization.

As a result of the research, it was established that noise significantly affects the efficiency of radio communications. Analyzed methods for reducing this impact, including spectral analysis, adaptive filtering, and the application of advanced digital signal processing techniques.

The analyzed methods can be used to improve the quality of radio signals in various applications, including mobile communications, wireless networks, and satellite broadcasting.

The work is of practical value to engineers and professionals in telecommunications and radio engineering, as it provides methodological approaches for analyzing and minimizing noise in radio systems.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК І СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1: ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РАДІОСИСТЕМ ТА ВПЛИВ ШУМУ	11
1.1 Основи радіосистем	11
1.1.1 Введення у радіокомунікації	11
1.1.2 Принципи радіопередачі.....	13
1.1.3 Компоненти радіосистем.....	15
1.2 Теоретичні рснови шуму в радіосистемах.....	17
1.2.1 Визначення та класифікація шуму	17
1.2.2 Математичне моделювання шуму.....	18
1.3 Вплив шуму на радіосигнали.....	19
1.3.1 Вплив шуму на модуляцію та демодуляцію.....	19
1.3.2 Signal-to-Noise Ratio (SNR) та його важливість	20
1.4 Методи виявлення та подолання шуму.....	21
1.4.1 Фільтрація та підсилення сигналу.....	21
Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2: МЕТОДИ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ПЕРЕШКОД НА ЯКІСТЬ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ	25
2.1 Техніки вимірювання шуму	25
2.2 Аналітичні методи та моделювання.....	35
2.3 Симуляційні методи.....	40
2.4 Стратегії мінімізації впливу перешкод.....	42
2.4.1 Методи зменшення шуму	51
Висновки до розділу 2.....	57

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ШУМУ ДЛЯ СИГНАЛЬНОГО ЛАНЦЮГА	58
3.1 Оголошення припущень	58
3.2 Креслення спрощеної схеми сигнального ланцюга	60
3.3 Обчислення еквівалентної смуги пропускання шуму (ENB) для кожного з блоків ланцюга сигналів і обчислення внеску шуму на виході ланцюга сигналів для всіх блоків	61
3.4 Розрахунок шуму сигнального ланцюга	67
Висновки до розділу 3	70
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	71
4.1 Аналіз стану умов праці	72
4.1 Вимоги до приміщення	73
4.3 Вимоги до організації робочого місця	76
4.4 Рекомендації із пожежної профілактики	77
4.5 Мікроклімат	79
4.6 Охорона навколишнього природного середовища	83
Висновки до розділу 4	85
ВИСНОВКИ	86
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	87
Додаток А (Схема вимірювання з низьким рівнем шуму).....	92
Додаток Б (Зовнішній тюнер).....	93
Додаток В (Параметри шуму/частота).....	94
Додаток Г (Сигнальні ланцюги).....	95

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК І СКОРОЧЕНЬ

AM - Амплітудна Модуляція

BER - Bit Error Rate (Частота Помилки Бітів)

CDMA - Code Division Multiple Access (Множинний Доступ з Кодовим Розділенням)

DUT - Device Under Test (Пристрій, що Випробовується)

EMI - Electromagnetic Interference (Електромагнітні Перешкоди)

FM - Частотна Модуляція

GPB - General Purpose Interface Bus (Загальний Інтерфейсний Шинопровід)

IoT - Internet of Things (Інтернет Речей)

LTE - Long Term Evolution (Довготривале Розвиття)

OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (Ортогональне Частотне Розділення Каналів)

PM - Фазова Модуляція

RF - Radio Frequency (Радіочастота)

SNR - Signal-to-Noise Ratio (Відношення Сигнал-Шум)

SIR - Signal-to-Interference Ratio (Відношення Сигнал-Перешкода)

ВСТУП

Метою дипломної роботи є всебічний аналіз впливу шуму та перешкод на якість передачі даних в радіосистемах. Дослідження має на меті ідентифікувати ключові фактори, що впливають на цей процес, та розробити методи для мінімізації негативного впливу цих факторів. Основні завдання дослідження включають:

1. Вивчення теоретичних аспектів радіопередачі та основних джерел шуму та перешкод у радіосистемах.
2. Аналіз сучасних методів оцінки якості радіопередачі та впливу шуму на неї.
3. Експериментальне дослідження різних типів шуму та перешкод, їх впливу на радіосигнал.
4. Розробка рекомендацій та методів для покращення якості передачі даних у присутності шуму та перешкод.

Актуальність даного дослідження полягає у зростаючій потребі сучасних радіосистем у стабільній та надійній передачі даних. З розвитком технологій, особливо в сферах IoT (Internet of Things), мобільного зв'язку та бездротових мереж, стає важливим забезпечувати високу якість радіопередачі навіть у умовах збільшення шуму та перешкод. Ці перешкоди можуть мати природне походження (атмосферні збурення, космічний шум тощо) або бути створеними людиною (електромагнітні випромінювання від різних пристроїв, перешкоди від інших радіосистем). Таким чином, розробка ефективних методів для аналізу та зниження впливу шуму та перешкод має велике значення для підвищення ефективності радіосистем та забезпечення надійного зв'язку в різних застосуваннях.

Обґрунтування вибору теми "Аналіз впливу шуму та перешкод на якість передачі даних в радіосистемах" полягає у кількох ключових аспектах:

1. Зі зростанням використання радіотехнологій у повсякденному житті та промисловості, забезпечення стабільної та надійної передачі даних

стає все більш актуальним. Розвиток Інтернету речей (IoT), мобільних мереж 5G та 6G, а також бездротових комунікаційних систем вимагає глибокого розуміння впливу зовнішніх перешкод на ефективність цих систем.

2. В умовах сучасного виробництва, транспорту, а також у галузі оборони та безпеки, радіосистеми повинні забезпечувати надійний зв'язок. Нестабільність сигналу через зовнішні перешкоди може призвести до серйозних збоїв у роботі важливих систем.

3. Зі збільшенням складності радіотехнологій, їх чутливість до шумів та перешкод зростає. Вивчення цього впливу дозволить розробляти більш стійкі та ефективні системи.

4. У зв'язку з обмеженістю доступного радіочастотного спектру та його перенасиченням, важливо розуміти, як шуми та перешкоди впливають на передачу даних, щоб оптимізувати використання цього ресурсу.

5. Зниження впливу шумів та перешкод сприятиме підвищенню ефективності радіосистем, що є критично важливим у багатьох галузях, включаючи авіацію, морський та автомобільний транспорт.

6. Вивчення впливу шуму та перешкод на радіосистеми є важливою та недостатньо дослідженою областю, що пропонує багато можливостей для наукових відкриттів і інновацій.

Таким чином, вибір даної теми обумовлений актуальністю і важливістю проблеми у сучасному світі, потребою у вдосконаленні та оптимізації радіотехнологій, а також можливостями для наукових та практичних досліджень у цій сфері.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РАДІОСИСТЕМ ТА ВПЛИВ ШУМУ

Розділ "Теоретичні основи радіосистем та вплив шуму" забезпечує глибокий теоретичний аналіз радіокомунікацій, зосереджуючись на двох ключових аспектах: основах радіосистем і ролі шуму у цих системах. У цьому розділі розглядаються основні принципи радіопередачі, включаючи модуляцію, демодуляцію, а також компоненти, такі як передавачі, приймачі та антени. Окрім того, у розділі докладно описано різні типи шумів, їх джерела та вплив на радіосигнали. Це включає аналіз впливу шуму на процеси модуляції та демодуляції, а також обговорення важливості параметра Signal-to-Noise Ratio (SNR). Розділ також висвітлює методи виявлення та зниження впливу шуму на радіосигнали, включаючи фільтрацію, підсилення сигналу, кодування та корекцію помилок.

1.1 Основи радіосистем

Цей підрозділ призначений для забезпечення глибокого розуміння фундаментальних аспектів радіосистем, що є критично важливими для аналізу впливу шуму та перешкод на якість передачі даних. Він охоплює основні концепції, принципи роботи та ключові компоненти, що формують основу радіокомунікацій.

1.1.1 Введення у радіокомунікації

Радіохвилі – це форма електромагнітного випромінювання з частотами від 30 Герц (Гц) до 300 Гігагерц (ГГц). Вони займають певну частину електромагнітного спектру і використовуються для передачі даних на відстань, включаючи телебачення, радіо, мобільний зв'язок та супутникові комунікації.

Основними характеристиками радіохвиль є їх частота та довжина хвилі. Частота радіохвилі, вимірювана в герцах (Гц), вказує на кількість коливань (циклів) на секунду. Довжина хвилі, навпаки, є відстанню між сусідніми піками хвилі і визначається як швидкість світла поділена на частоту.

Частота та довжина хвилі радіохвиль є взаємопов'язаними. Чим вища частота, тим коротша довжина хвилі, і навпаки. Цей взаємозв'язок має велике значення для проектування радіосистем, оскільки він впливає на вибір антен, пропускну спроможність та зони покриття.

Зв'язок між частотою радіохвиль та їх довжиною є фундаментальним у радіокомунікаціях та електромагнітній теорії. Цей зв'язок можна описати наступним чином:

Основні поняття:

Частота радіохвиль вказує на кількість коливань, що відбуваються за одиницю часу, і зазвичай вимірюється в герцах (Гц). Один герц означає одне коливання на секунду.

Довжина хвилі є відстанню між двома послідовними точками хвилі, які знаходяться в однаковій фазі (наприклад, два піки або дві впадини), і вимірюється в метрах.

Формула зв'язку: Зв'язок між частотою (f) та довжиною хвилі (λ) можна виразити через швидкість світла (c): $\lambda = \frac{c}{f}$

Тут c - це швидкість світла в вакуумі, яка приблизно дорівнює 300,000 кілометрів на секунду або 3×10^8 метрів на секунду.

Застосування у радіокомунікаціях:

Вибір частоти та довжини хвилі впливає на дизайн антен та характеристики радіосигналу, включаючи його здатність проникати через перешкоди та досягати більшої дальності.

Низькочастотні радіохвилі мають довші довжини хвиль і здатні огинати перешкоди та проникати через структури, але вони вимагають більших антен.

1.1.2 Принципи радіопередачі

Радіозв'язок - це комунікаційна система, яка використовує радіохвилі для передачі і прийому інформації між двома або більше точками. Ця технологія може бути бездротовою і дозволяє передавати голос, дані, відео, текстові повідомлення і іншу інформацію на відстані за допомогою радіосигналів.

Радіозв'язок використовується в різних сферах і галузях, включаючи телефонію, радіо, телебачення, мобільний зв'язок, безпеку, авіацію, мореплавство, а також в аматорському радіозв'язку і багатьох інших галузях. Він може бути використаний для сполучення між індивідуальними користувачами, а також для передачі інформації на значні відстані через радіорелейні станції і супутникові системи.

Радіозв'язок має велике значення в сучасному світі, оскільки він забезпечує зв'язок у реальному часі між людьми та пристроями на великій відстані і в різних умовах, включаючи надзвичайні ситуації та невіддалені місця.

Принцип радіозв'язку такий: змінний електричний струм високої частоти, створений у передавальній антені, спричиняє в навколишньому просторі швидко змінюване електромагнітне поле, що поширюється у вигляді електромагнітної хвилі. Досягаючи приймальної антени, електромагнітна хвиля спричиняє в ній змінний струм тієї самої частоти, на якій працює передавач.

Передача радіосигналів - це складний процес, який включає кілька ключових етапів: модуляцію, демодуляцію і саму передачу сигналу. Ось основні принципи цих процесів:

1. Модуляція.

Модуляція - це процес вбудовання інформації (голосу, даних тощо) в високочастотний сигнал, який називається несущим сигналом. Основна мета модуляції - змінити параметри несучого сигналу (частоту, фазу або амплітуду) залежно від інформації, що передається. Це дозволяє кодувати інформацію так, щоб вона могла бути передана через бездротовий канал.

Модуляція може змінювати різні параметри носійної хвилі:

Амплітуда: Зміна висоти хвилі.

Частота: Зміна швидкості коливань хвилі.

Фаза: Зміна початкового кута хвилі.

Типи Модуляції

Амплітудна модуляція (AM): Модифікація амплітуди носійної хвилі відповідно до інформаційного сигналу.

Частотна модуляція (FM): Варіації частоти носійної хвилі залежно від інформаційного сигналу.

Фазова модуляція (PM): Зміна фази носійної хвилі відповідно до інформаційного сигналу.

Модуляція має кілька ключових переваг:

Збільшення дальності передачі: Вона дозволяє передавати сигнали на великі відстані без значної втрати якості.

Уникнення перешкод: Різні види модуляції мають різну стійкість до шумів і перешкод, що робить передачу даних більш надійною.

Оптимізація використання частотного спектру: Модуляція дозволяє одночасно використовувати одні й ті ж частоти для різних сигналів, зменшуючи перенасиченість ефірного простору.

Розуміння цих аспектів модуляції є фундаментальним для проектування та аналізу радіосистем, оскільки вони безпосередньо впливають на ефективність і якість передачі даних через радіохвилі.

2. Демодуляція.

Демодуляція - це процес вилучення інформації з модульованого сигналу на приймальному кінці радіозв'язку. У радіозв'язку сигнал зазвичай модулюється, щоб передати інформацію, і демодуляція є оберненим процесом модуляції.

Основна мета демодуляції - витягнути оригінальну інформацію, яка була вбудована в несучий сигнал під час модуляції. Для цього використовуються різні алгоритми і методи, залежно від типу модуляції, який був використаний при передачі сигналу. Наприклад, у випадку амплітудної модуляції (АМ), демодуляція полягає в витягненні коливань амплітуди, у фазовій модуляції (FM) - фази сигналу, а у частотно-модульованому (PM) - зміні частоти.

Після демодуляції сигнал зазвичай проходить обробку і фільтрацію, щоб вилучити небажаний шум та інтерференцію, і отримана інформація стає доступною для подальшого використання або відтворення, наприклад, для відтворення аудіо, відео або передачі даних.

Демодуляція грає ключову роль в бездротовому зв'язку та інших системах передачі інформації через радіохвилі, і вона дозволяє отримувачу зчитувати інформацію, яка була передана за допомогою модуляції на передавальному кінці системи.

3. Передача.

Передача сигналу - це процес відправки інформації або сигналу з одного пункту (передавача) до іншого (приймача) через певний транспортний або комунікаційний канал. Цей процес включає в себе перетворення інформації на сигнал, передачу сигналу через відповідний канал та прийом і відновлення інформації на приймачі.

1.1.3 Компоненти радіосистем

Основні компоненти радіосистеми включають передавачі, приймачі та антени.

1. Передавачі:

Функція: Передавач перетворює інформацію (наприклад, голос або дані) у радіосигнал та випромінює його через антену.

Ключові компоненти:

Осцилятор: Генерує несучу хвилю на певній частоті.

Модулятор: Модулює несучу хвилю для кодування інформації.

Підсилювач потужності: Підсилює модульований сигнал перед його передачею.

2. Приймачі:

Функція: Приймач забезпечує прийом радіосигналів, випромінених передавачем, та відновлює початкову інформацію.

Ключові компоненти:

Тюнер: Вибирає сигнал певної частоти з багатьох, які надходять на антену.

Демодулятор: Відновлює оригінальний сигнал із модульованої несучої хвилі.

Підсилювач сигналу: Підсилює відновлений сигнал для подальшої обробки.

3. Антени:

Функція: Антени використовуються для випромінювання радіохвиль у простір (у випадку передавача) і для перехоплення радіохвиль (у випадку приймача).

Типи:

Дипольні антени: Прості та широко використовуються, ідеально підходять для високочастотних сигналів.

Параболічні антени: Використовуються для точкового прийому, наприклад, у супутниковому зв'язку.

Штекерні антени: Компактні та зазвичай використовуються в портативних пристроях.

1.2 Теоретичні основи шуму в радіосистемах

1.2.1 Визначення та класифікація шуму

Шум у радіосистемах – це небажані електричні сигнали, які впливають на якість передачі сигналу. Його можна визначити як випадкові, непередбачувані зміни напруги або струму, які можуть бути внутрішніми (виникають у самій системі) або зовнішніми (зовнішні джерела шуму). Ось основна класифікація шуму в радіосистемах:

1. За походженням:

Внутрішній шум: Шум, що генерується елементами самої радіосистеми.

- **Термічний шум:** Зумовлений тепловим рухом електронів у провідниках.

- **Шотовий шум:** Виникає в результаті дискретної природи електричного заряду.

- **Флікер-шум (1/f шум):** Частіше зустрічається на низьких частотах.

- **Генераційний шум:** Виникає у активних компонентах, як-от транзистори.

Зовнішній шум: Шум, що генерується поза радіосистемою.

- **Природний шум:** Наприклад, атмосферні розряди, космічний шум.

- **Шум від людської діяльності:** Наприклад, автомобілі, промислові установки.

2. За характером сигналу:

- **Білий шум:** Рівномірно розподілений по всій смузі частот.

- **Кольоровий шум:** Має нерівномірний розподіл енергії по частотах (наприклад, рожевий шум, коричневий шум).

3. За спектральними характеристиками:

- **Широкосмуговий шум:** Впливає на велику частину частотного спектру.

- **Вузькосмуговий шум:** Обмежений невеликою смугою частот.

1.2.2 Математичне моделювання шуму.

Математичне моделювання шуму в радіосистемах є ключовим для аналізу та проектування цих систем. Моделі шуму дозволяють інженерам передбачити вплив шуму на радіосигнали та розробити методи для його зменшення або компенсації.

1. Термічний шум (Білий шум):

Описується формулою Джонсона-Найквіста: $N=kTB$ де N - густина потужності шуму (в Вт/Гц), k - стала Больцмана, T - абсолютна температура в Кельвінах, B - смуга частот.

Термічний шум має гауссівський розподіл амплітуди.

2. Шотовий шум:

Моделюється як випадковий процес з Пуассоновим розподілом.

Часто розглядається в контексті напівпровідникових пристроїв.

3. Фліккер-шум (1/f шум):

Спектральна густина потужності шуму обернено пропорційна частоті.

Математично важко моделювати через його залежність від багатьох факторів.

4. Гауссівський шум:

Характеризується випадковими змінними з гауссівським (нормальним) розподілом.

Часто використовується для моделювання загального шуму в системах зв'язку.

5. Кольоровий шум:

Має нерівномірний розподіл потужності по частотному спектру.

Рожевий шум (зі спектральною густиною, обернено пропорційною до частоти) є прикладом кольорового шуму.

1.3 Вплив шуму на радіосигнали

1.3.1 Вплив шуму на модуляцію та демодуляцію

Шум має значний вплив на процеси модуляції та демодуляції в системах передачі даних.

Вплив на модуляцію: Модуляція – це процес, за допомогою якого інформаційний сигнал (наприклад, голос або дані) накладається на вищий по частоті носій. Шум може спотворювати цей інформаційний сигнал вже під час процесу модуляції, що може призвести до помилок у передачі даних. Наприклад, у системах з амплітудною модуляцією (АМ) шум може змінити амплітуду сигналу, що ускладнює його точне відновлення на приймальному кінці.

Вплив на демодуляцію: Демодуляція – це процес вилучення інформаційного сигналу з модульованого носія. Шум, який вноситься в канал передачі, може змішуватися з модульованим сигналом і спотворювати інформаційний сигнал. Це може призвести до появи помилок при відновленні сигналу, особливо в системах з частотною (FM) або фазовою модуляцією (PM).

Методи боротьби з шумом: Для зменшення впливу шуму використовуються різні методи. Одним з таких методів є використання більш стійких до шуму видів модуляції, наприклад, цифрова модуляція, така як QAM (квадратурна амплітудна модуляція) або OFDM (ортогональне частотне розподілення мультиплексування). Також використовуються методи корекції помилок, які дозволяють виявляти і виправляти помилки, викликані шумом.

Важливість балансу між ефективністю і надійністю: При проектуванні систем передачі даних важливо знайти баланс між ефективністю (такою як швидкість передачі даних) і надійністю (здатністю протистояти шуму). Іноді для досягнення вищої надійності потрібно жертвувати деякою частиною ефективності.

1.3.2 Signal-to-Noise Ratio (SNR) та його важливість

Signal-to-Noise Ratio (SNR), або співвідношення сигнал/шум, є однією з ключових характеристик у системах обробки сигналів, включаючи передачу даних, аудіо/відео записи, радіокомунікації та багато іншого.

SNR вимірюється як відношення між потужністю корисного сигналу та потужністю шуму, який спотворює або перешкоджає цьому сигналу. Високий SNR означає, що сигнал значно сильніший, ніж шум, тоді як низький SNR вказує на високий рівень шуму порівняно з сигналом.

Високий SNR зазвичай означає кращу якість сигналу. Наприклад, у аудіо- та відеосистемах високий SNR може означати чистіше і ясніше зображення або звук. У системах передачі даних він вказує на більш ефективну передачу даних з меншою кількістю помилок.

У радіокомунікаціях SNR є важливим показником ефективності каналу зв'язку. Високий SNR може дозволити передавати дані з вищою швидкістю або забезпечити більш надійне з'єднання на великі відстані.

У контексті цифрової передачі даних, системи з корекцією помилок можуть бути більш ефективними при вищому SNR, оскільки вони здатні виправляти помилки без значних втрат швидкості або якості.

Низький SNR може спричинити за собою велику кількість помилок у передачі даних, втрату якості в аудіо/відео записах і зменшення ефективності систем зв'язку. У таких випадках може знадобитися посилення сигналу, використання фільтрів для зменшення шуму або перехід на більш розвинуті методи модуляції.

SNR зазвичай вимірюється в децибелах (дБ), де вищі значення вказують на краще співвідношення сигнал/шум.

Загалом, SNR є критичним параметром у всіх областях, де обробляються або передаються сигнали, і його значення визначає якість кінцевого результату в цих системах.

1.4 Методи виявлення та подолання шуму

1.4.1 Фільтрація та підсилення сигналу

Фільтрація та підсилення сигналу є двома фундаментальними процесами в області обробки сигналів. Вони використовуються в багатьох застосуваннях, від аудіо техніки до радіокомунікацій та медичної інженерії.

Фільтрація сигналу – це процес видалення небажаних компонентів або шуму з сигналу. Це може включати придушення певних частот, зменшення шуму або виокремлення корисної інформації з сигналу.

Існують різні типи фільтрів, такі як низькочастотні (LPF), високочастотні (HPF), смугові (BPF) та заграджувальні (BSF) фільтри. Вибір типу фільтра залежить від конкретного застосування та вимог до сигналу.

Фільтри використовуються в аудіотехніці для регулювання тембру звуку, у телекомунікаціях для видалення інтерференції та в радіоприймачах для виокремлення сигналів певної частоти.

Підсилення сигналу – це процес збільшення амплітуди сигналу. Це важливо, коли сигнал є занадто слабким для ефективної обробки або виявлення.

Для підсилення сигналів використовуються підсилювачі. Існують різні типи підсилювачів для різних застосувань, включаючи аудіопідсилювачі, радіочастотні підсилювачі та операційні підсилювачі.

Підсилення сигналу є критично важливим в багатьох областях, особливо там, де сигнали мають малий рівень потужності, як у деяких медичних приладах або в далекому радіозв'язку.

Обидва ці процеси часто використовуються разом для оптимізації якості сигналу. Наприклад, у радіоприймачі сигнал спочатку може бути підсилено, а потім фільтровано для видалення шуму або небажаних частот. Важливо зазначити, що підсилення також може збільшити рівень шуму в

сигналі, тому важливо збалансувати ці процеси для досягнення оптимальних результатів.

1.4.2 Кодування та корекція помилок

Кодування та корекція помилок є ключовими елементами в сучасних системах передачі даних і зберігання інформації. Ці технології розроблені для забезпечення надійної передачі даних, навіть у умовах з помилками, такими як шуми в каналі передачі або фізичні дефекти на носіях інформації.

Кодування помилок використовується для додавання надлишковості до даних. Ця надлишковість дозволяє системі виявляти і, у деяких випадках, виправляти помилки, які можуть виникнути під час передачі або зберігання даних.

Існують різні методи кодування, такі як блокове кодування (наприклад, коди Хеммінга) та згорткове кодування. Кожен метод має свої переваги і використовується в залежності від вимог системи.

Для корекції помилок використовуються спеціальні алгоритми, які можуть виявляти і виправляти помилки в даних. Це може бути просте виявлення однієї помилки та її виправлення (наприклад, в кодах Хеммінга) або більш складні системи, які можуть обробляти кілька помилок одночасно (наприклад, коди Ріда-Соломона).

Корекція помилок є критично важливою для систем, де помилки є частими або можуть мати серйозні наслідки, як у супутниковому зв'язку, мережах мобільного зв'язку та в носіях інформації, таких як DVD і Blu-ray.

В телекомунікаціях кодування та корекція помилок допомагають забезпечити надійну передачу даних через потенційно шумні канали.

У засобах зберігання даних, таких як жорсткі диски та оптичні диски, ці методи допомагають запобігати втраті даних від фізичних дефектів або зносу.

Одним з ключових викликів при використанні кодування помилок є знаходження балансу між доданою надлишковістю (що займає додатковий

простір або час передачі) та потребою в збереженні високої пропускної здатності каналу.

Вища корекція помилок може вимагати більш складних алгоритмів і, відповідно, більшої обчислювальної потужності.

Загалом, кодування та корекція помилок є невід'ємною частиною багатьох сучасних технологій, дозволяючи підвищити надійність і якість передачі та зберігання даних.

Висновки до розділу 1

Розділ детально розглядає основні теоретичні концепції, що стоять за функціонуванням радіосистем, включаючи принципи радіопередачі, модуляції та демодуляції.

Аналіз різних видів шуму, включаючи термічний, шотовий, та електромагнітні перешкоди, виявив, як вони впливають на радіосистеми та їх ефективність.

Встановлено, що шум суттєво впливає на якість радіосигналів, знижуючи SNR та підвищуючи BER, що, в свою чергу, впливає на надійність комунікацій.

Розглянуто різні методи оцінки впливу шуму на радіосистеми, включаючи вимірювання SNR, використання спектроаналізаторів та інших діагностичних інструментів.

Обговорено різні підходи до зменшення впливу шуму на радіосигнали, включаючи фільтрацію та використання методів корекції помилок.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ПЕРЕШКОД НА ЯКІСТЬ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

2.1 Техніки вимірювання шуму

У використанні смартфонів і портативних пристроїв, бездротових сенсорних мереж Інтернету речей (IoT) і військових мереж бездротові радіотехнології долають бар'єри з точки зору пропускнуої здатності та низької потужності передачі та прийому. Проте ефект деградації шуму масштабується з такими крайніми характеристиками (рис. 2.1). Історично склалося так, що тестування та визначення коефіцієнта шуму та параметрів шуму пристроїв, що керують цими додатками, вимагало багато часу та було схильне до помилок.

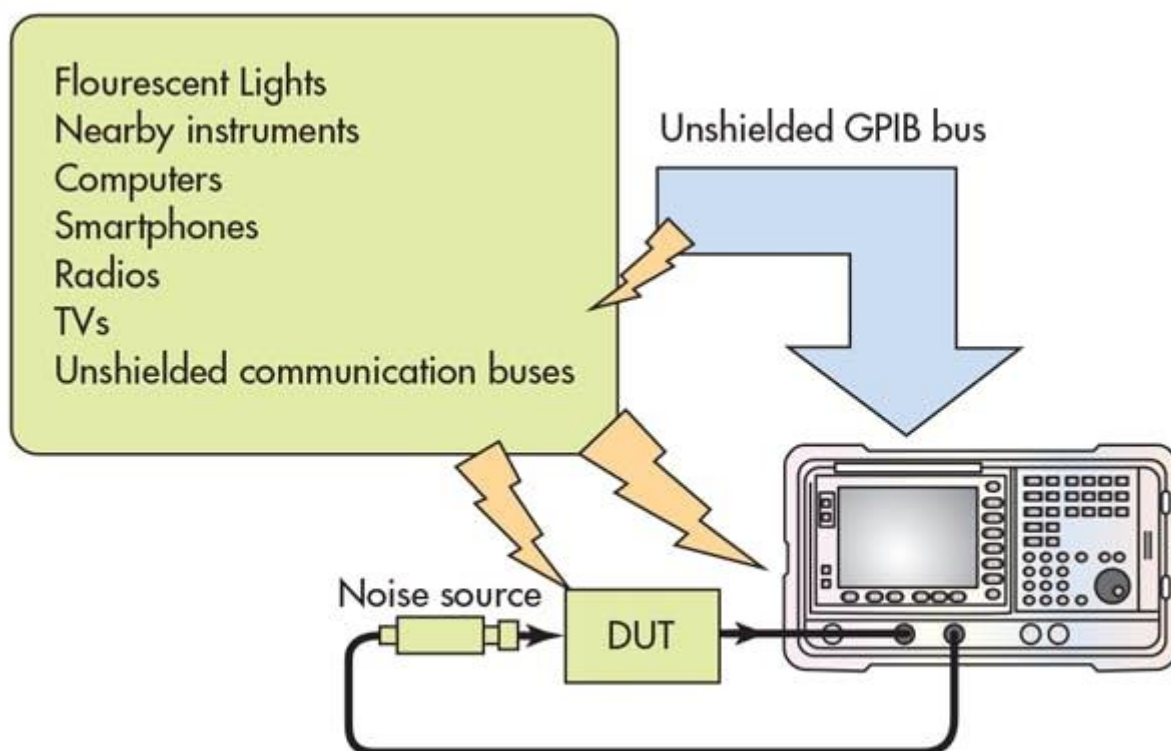


Рисунок 2.1 – Характеристики

На додаток до каліброваного джерела шуму, що використовується для вимірювання коефіцієнта шуму, багато інших генераторів шуму додають невизначеність у вимірювання шуму.

Зараз такі проблеми долаються за рахунок підвищення продуктивності останніх тестових і вимірювальних інструментів; додаткові пакети, розроблені спеціально для перевірки шуму; і техніки автоматизації. Ці розробки відкривають більш ефективні рішення для тестування як показника шуму, так і параметрів шуму. Знання цих методів та їх застосування може допомогти підвищити точність вимірювань і значно скоротити час тестування.

Y-фактор з джерелом шуму та аналізатором спектру/сигналу.

Метод Y-фактора є одним із найпоширеніших рішень для вимірювання шуму. По суті, цей метод використовує джерело шуму, підключене до тестованого пристрою (DUT). DUT, у свою чергу, підключається до входу радіочастотного/мікрохвильового датчика потужності. Коли джерело шуму «ввімкнено» та «вимкнено», вимірювання потужності сигналу виконуються у встановленій смузі пропускання. Співвідношення потужності шуму в «увімкненому» та «вимкненому» станах беруться для генерації Y-фактора.

За допомогою специфікації коефіцієнта надлишкового шуму (ENR), наданої виробником джерела шуму, далі можна розрахувати коефіцієнт шуму тестової системи. Використовуючи знання коефіцієнта підсилення випробувального пристрою та коефіцієнт шуму компонентів тестової системи, можна отримати та обчислити коефіцієнт шуму випробуваного пристрою.

Щоб скоротити час вимірювання коефіцієнта шуму, одночасно підвищивши точність і повторюваність, для кількох останніх аналізаторів спектру/сигналу були доступні додаткові пакети. Такі компанії, як Keysight, Tektronix, Anritsu та Rohde & Schwarz, пропонують варіанти, які включають удосконалення програмного забезпечення, яке направляє інженера під час

вимірювань. Це забезпечує повторюваність під час автоматичного обчислення коефіцієнта шуму на основі вимірювань коефіцієнта шуму.

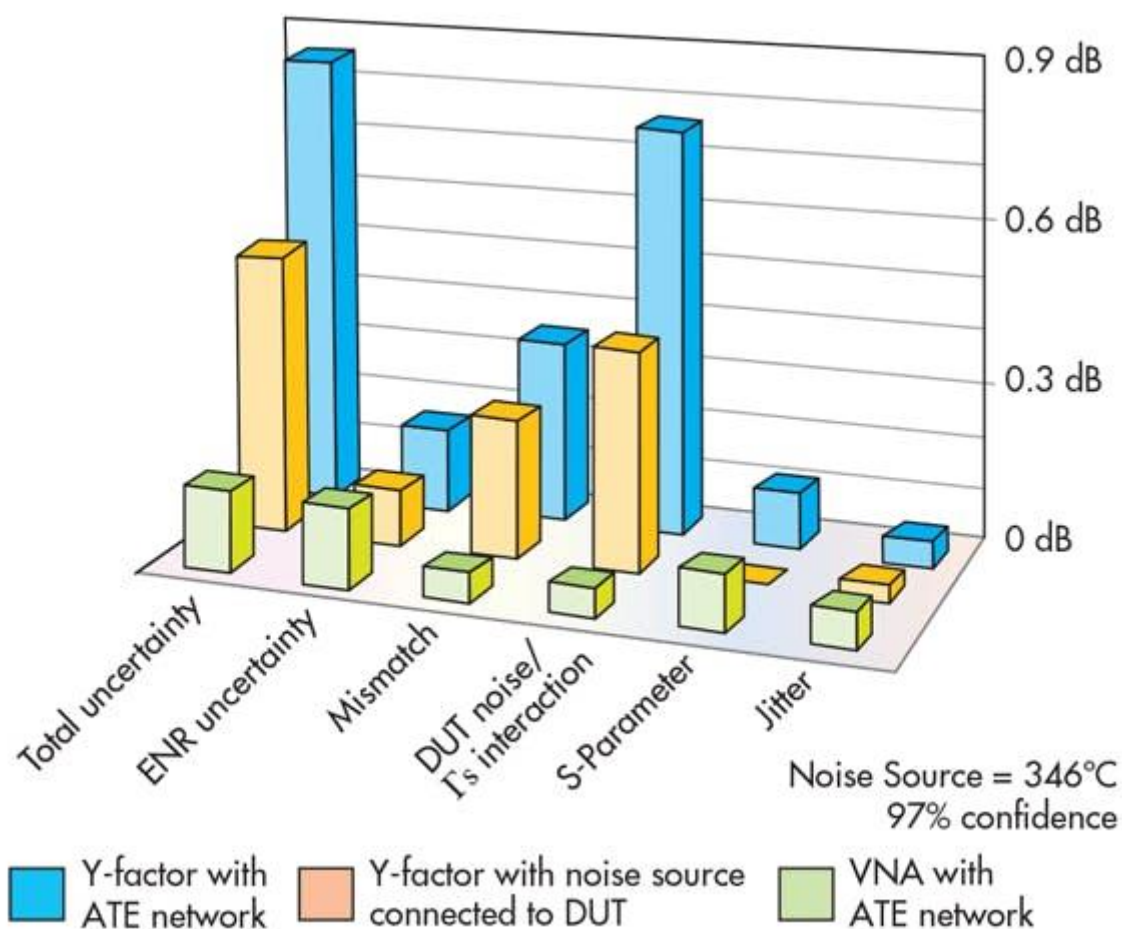


Рисунок 2.2 – Y-фактор з джерелом шуму та аналізатором спектру/сигналу

Рішення Y-Factor вимагає відкаліброваного джерела шуму поза аналізатором і DUT, тоді як метод холодного джерела, як правило, вимагає електронно відкаліброваного тюнера.

Майте на увазі, що для цих вимірювань потрібні відкалібровані джерела шуму з відомим ENR. Такі джерела надають такі компанії, як Noisewave, Keysight, Noisecom, Pasternack і Mercury Systems.

При використанні аналізаторів спектру/сигналу з шумовими сигналами дуже низької потужності до сигнального ланцюга аналізатора потрібно буде додати малошумний підсилювач (LNA). Багато компаній, які пропонують параметри коефіцієнта шуму, включають малошумні попередні підсилювачі

для своїх аналізаторів спектру/сигналу. Ці попередні підсилювачі навіть вбудовані в аналізатор. За допомогою внутрішнього попереднього підсилювача точність вимірювання підвищується, а кількість компонентів тестового набору та складність калібрування зменшуються.

Багато з останніх аналізаторів спектру/сигналу досягають 26,5 ГГц і 43 ГГц, а власний аналізатор від Rohde & Schwarz нещодавно досяг 67 ГГц. Ці аналізатори дозволяють проводити вимірювання шуму у верхньому мікрохвильовому та міліметровому діапазонах без необхідності використання зовнішніх змішувачів. За допомогою зовнішніх змішувачів можна отримати вимірювання шуму до 110 ГГц за допомогою аналізатора спектру/сигналу та методу Y-фактора (рис. 2.2).

Рішення джерела холоду або посилення.

Щоб охарактеризувати та виміряти коефіцієнт шуму, рішення з холодним джерелом використовує джерело шуму, яке утримується при контрольній низькій температурі, мережевий аналізатор і кілька кроків калібрування та вимірювання посилення. Відкаліброване джерело шуму використовується для вимірювання коефіцієнта шуму приймача приладу, тоді як аналізатор мережі вимірює підсилення випробуваного пристрою.

Після виконання попередніх вимірювань холодне джерело може керувати ТУ, підключеним до аналізатора мережі. З останніми мережевими аналізаторами з пакетами коефіцієнта шуму додатковий попередній підсилювач часто включається в мережевий аналізатор. Це покращує можливості вимірювання з низьким рівнем шуму (рис. 2.3).

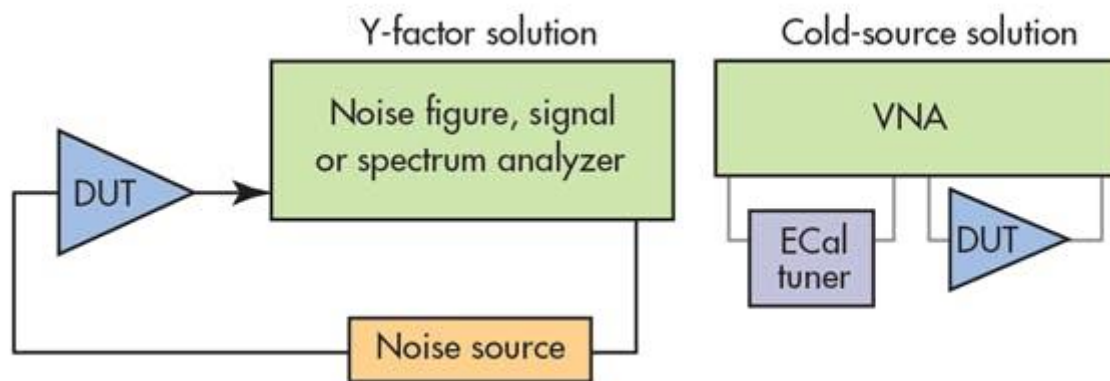


Рисунок 2.3 – Вимірювання з низьким рівнем шуму

Порівняно з методом Y-Factor, високопродуктивні VNA з автоматизованим випробувальним обладнанням, що використовує метод холодного джерела, можуть значно зменшити відбиття та шумову взаємодію випробувального пристрою під час перевірки шуму.

Подібно до аналізаторів спектру/сигналу з пакетами показників шуму, пакети аналізаторів шумів мережевих аналізаторів часто включають програмні посібники, які допомагають підвищити повторюваність тесту. За допомогою цього методу можна виміряти коефіцієнт шуму та S-параметри випробуваного пристрою в одній тестовій установці. Цей аспект підвищує потенціал автоматизації підходу. Налаштування на основі автоматизованого випробувального обладнання (ATE) могло б забезпечити дуже швидке тестування рівня шуму мікросхем і більших пристроїв. Очевидно, що автоматизація методу холодного джерела може виявитися більш повторюваною та надійною, ніж використання кількох приладів і установок тестування.

Зручно те, що програми, такі як MATLAB і LabView, також включають набори інструментів для керування інструментами та аналізу. Ці набори інструментів дозволяють контролювати та аналізувати тестові інструменти, які можуть створювати складні та визначені користувачем системи ATE. У поєднанні з системами ATE інструменти програмного керування та аналізу дозволяють швидко та багаторазово використовувати додаткові тестові

пристрої, такі як тюнери імпедансу, для оптимізації низького рівня шуму пристроїв без 50 Ом.

Прикладом є визначення коефіцієнта шуму неузгоджених транзисторів і малошумних підсилювачів (МШУ). Тут мінімальний імпеданс узгодження шуму можна знайти за допомогою тюнера імпедансу в поєднанні з установкою вимірювання коефіцієнта шуму з холодним джерелом і мережевим аналізатором. Такі компанії, як Maury Microwave і Focus Microwaves, пропонують тюнери імпедансу, деякі з яких ручні або автоматичні. Вони можуть варіюватися від 2 до 26 ГГц і від 8 до 50 ГГц для систем тюнера Maury Microwave і від 100 МГц до 67 ГГц для тюнерів коаксіального опору Focus Microwaves.

Аналізатор/вимірювач коефіцієнта шуму.

Аналізатори коефіцієнта шуму (NFA) — це комплексні рішення для вимірювання коефіцієнта шуму на основі Y-фактора. На відміну від вимірювача коефіцієнта шуму, аналізатора спектру або мережевого аналізатора, NFA є спеціальним інструментом. Його інтерфейс керування та дисплей розроблені спеціально для вимірювання коефіцієнта шуму. В даний час Keysight пропонує серію NFA від 3, 6,7 і 26,5 ГГц. Використовуючи блокові понижуючі перетворювачі, можливо розширення до 110 ГГц.

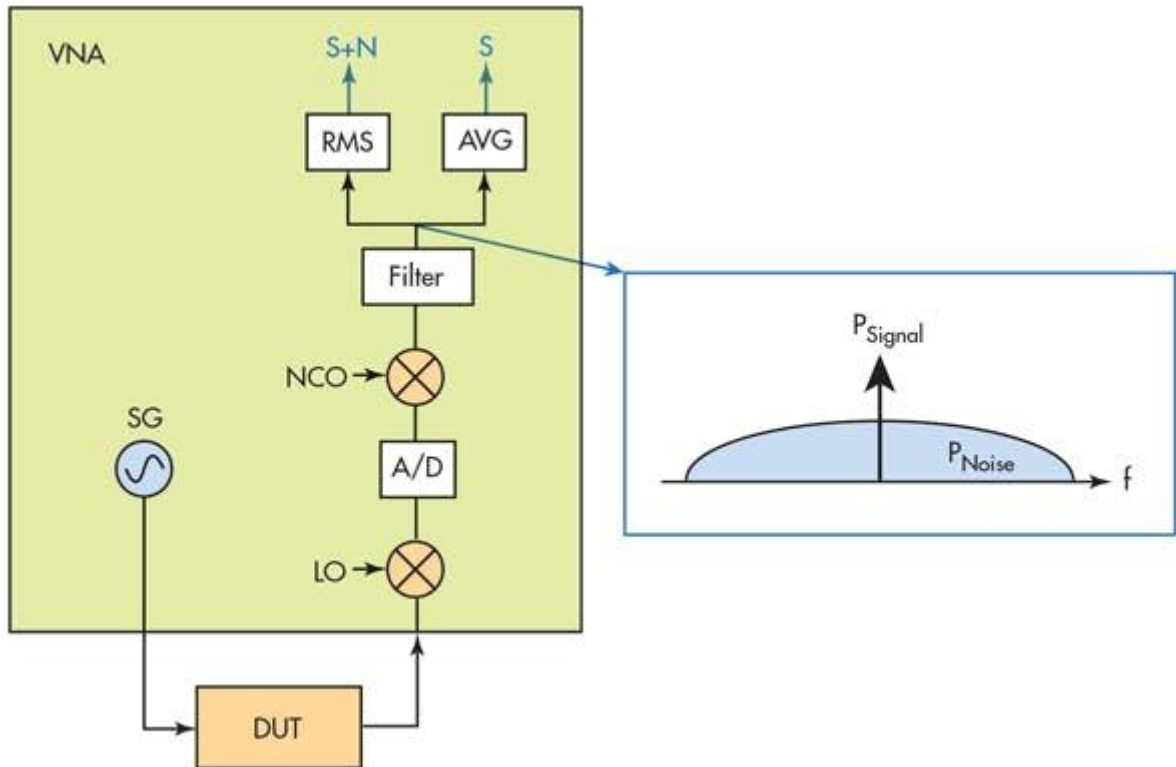


Рисунок 2.4 – Аналізатори коефіцієнта шуму

Метод вимірювання коефіцієнта шуму, який використовується VNA серій ZVA і ZVT, не потребує додаткових компонентів. Він використовує різницю змінної шуму від сигналу безперервної хвилі, що надходить на DUT. (Люб'язно надано Rohde

NFA мають додаткову перевагу, оскільки оснащені внутрішнім попереднім підсилювачем. Коли потрібна аналогічна частота та якість вимірювання, NFA часто є найбільш рентабельним варіантом, якщо тільки аналізатори спектру/сигналу та мережі, оснащені опціями вимірювання шуму, вже доступні.

Вимірювання коефіцієнта шуму та S-параметрів лише для VNA.

VNA з прямим доступом до приймача та ступінчастими атенюаторами внутрішнього генератора пропонує дуже гнучкий підхід до вимірювання коефіцієнта шуму. І це робиться без зовнішнього каліброваного джерела

шуму ENR і тюнера імпедансу. Налаштування лише для VNA використовує безперервний вихід VNA разом із портом прямого доступу до приймача (потенційно з вбудованим попереднім підсилювачем) і кількома кроками калібрування для виконання вимірювань коефіцієнта шуму та S-параметрів.

Компанія Rohde & Schwarz надає опцію для аналізаторів мережі ZVA, яка дає змогу програмно пройти процес, усуваючи помилки та зменшуючи невизначеність. Залежно від типу досліджуваного пристрою можливі різні налаштування вимірювання (рис. 2.4).

Швидкі вимірювання параметрів шуму.

Вимірювання показника шуму може допомогти кількісно визначити, сертифікувати або перевірити реакцію пристрою на шум за певних умов. Проте коефіцієнт шуму може не давати уявлення про шумові ефекти та джерела шуму всередині пристрою. Потрібне глибше розуміння генераторів шуму та способу поширення шуму через пристрій, щоб оптимізувати пристрій для забезпечення низького рівня шуму чи інших факторів продуктивності. Така інформація може бути отримана шляхом генерації параметрів шуму.



Рисунок 2.5 – Зовнішній тюнер

Нова методика вимірювання параметрів шуму використовує високопродуктивний VNA, каліброване джерело шуму та автоматичний тюнер для підвищення характеристик параметрів шуму навіть до частот міліметрового діапазону.

Однак для цього етапу часто потрібне вузькоспеціалізоване обладнання та тривалий час тестування від кількох годин до багатьох днів. Традиційно для перевірки шумового відгуку на кожній частоті під серією точок імпедансу джерела необхідні VNA, каліброване джерело шуму, аналізатор коефіцієнта шуму та зовнішній тюнер. Цей тест значно знижує роздільну здатність частоти та імпедансу для часу тестування (рис. 2.5).

Нещодавно Keysight Technologies і Maury Microwave розробили тестове рішення, призначене для значної автоматизації та скорочення вимірювань параметрів шуму. У цьому рішенні використовується мережевий аналізатор PNA-X від Keysight із вбудованим опцією приймача шуму та каліброваним джерелом шуму разом із тюнером імпедансу Maury Microwaves і програмним забезпеченням автоматизованої системи тюнера для вимірювання параметрів шуму.

Повідомляється, що час тестування для вимірювання параметрів шуму з високою роздільною здатністю за допомогою цього рішення може бути скорочено в кілька сотень разів. За рахунок додаткового часу тестування це дає можливість отримати більш детальні відповіді на параметри шуму за рахунок підвищення роздільної здатності тесту до значно більшої міри.

Вимірювання коефіцієнта шуму та параметрів шуму міліметрового діапазону.

Оскільки інтерес до обробки зображень і транзитного зв'язку міліметрових хвиль, 5G та інших бездротових засобів зв'язку продовжує зростати, кілька компаній почали пропонувати вдосконалені системи вимірювання коефіцієнта шуму та параметрів шуму, які можуть досягати

понад 100 ГГц. Багато аналізаторів спектру/сигналу та мережних аналізаторів пропонують роботу на частотах 26,5, 43 і 50 ГГц.

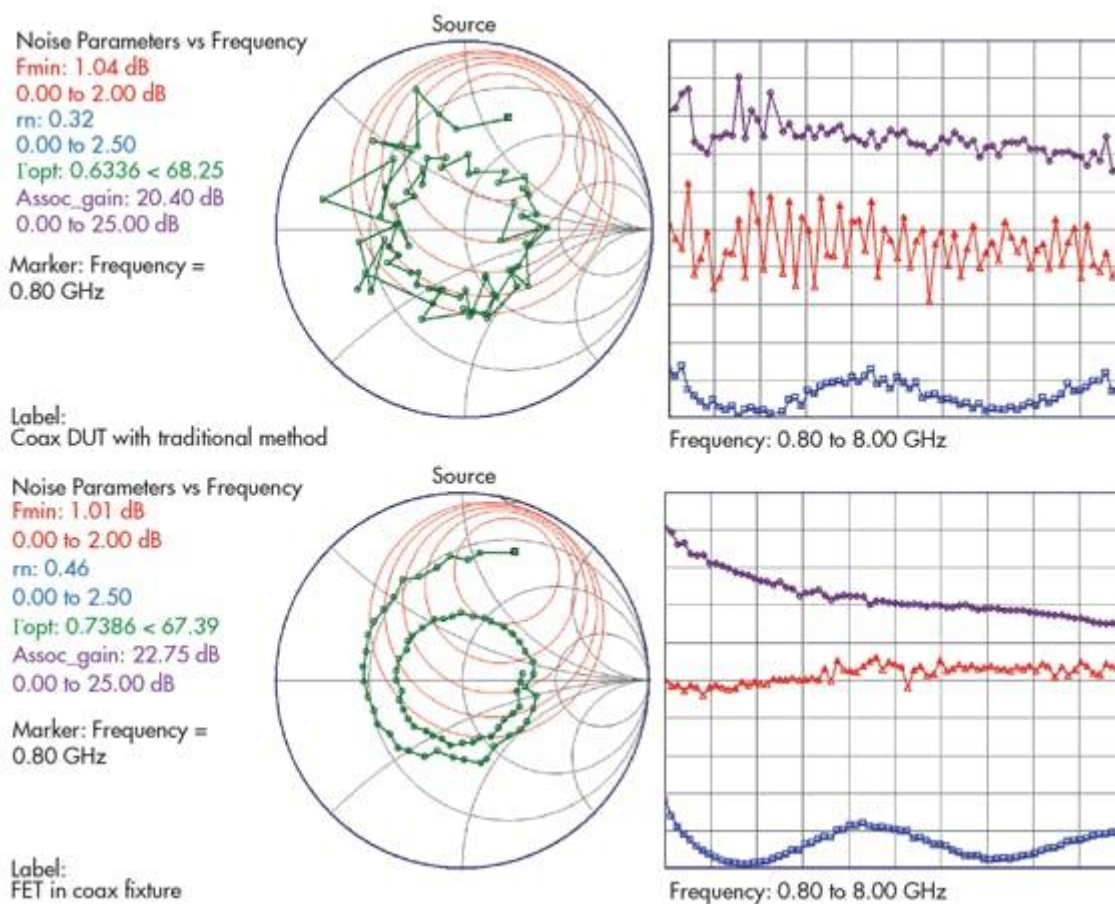


Рисунок 2.6 – Параметри шуму/частота

Використання автоматизованої техніки вимірювання параметрів шуму може призвести до вимірювань з меншою невизначеністю, частково за рахунок зменшення температурних коливань, дрейфу та помилок калібрування людиною. (Люб'язно надано Keysight)

Блоки понижувальних перетворювачів і змішувачів підвищують ці вимірювання коефіцієнта шуму до 100 і 110 ГГц. Наприклад, компанія Rohde & Schwarz випустила аналізатор спектру/сигналу з відгуком приймача до 67 ГГц. Він може дозволити вимірювання коефіцієнта шуму Y-фактора в міліметрових хвилях без зовнішніх змішувачів.

Примітно, що додавання модуля приймача шуму Maury Microwaves до автоматизованої установки тестування параметрів шуму дозволяє проводити ширококутові вимірювання параметрів шуму в діапазоні від 8 до 50 ГГц. Модуль приймача шуму може зменшити коефіцієнт шуму другого ступеня, спричинений внутрішнім приймачем шуму VNA, на 5–6 дБ. Без модуля приймача шуму та зовнішнього ширококутового тюнера імпедансу зовнішній електронний калібрувальний набір або вбудований електронний тюнер PNA-X можна використовувати для перевірки параметрів шуму з меншою чутливістю. Однак це рішення обслуговує лише пристрої з повним опором близько 50 Ом (рис. 2.6).

Іншим прикладом підходу з холодним джерелом, що підтримує міліметрові хвилі, є VectorStar VNA Anritsu з опцією шумового коефіцієнта. У стандартній конфігурації VectorStar демонструє динамічний діапазон до 142 дБ. Стандартна модель охоплює діапазон від 70 кГц до 70 ГГц. Удосконалення для аналізатора можуть привести власну частотну характеристику до 145 ГГц у ширококутовій конфігурації. Щодо вимірювання коефіцієнта шуму, VNA з опцією коефіцієнта шуму може вимірювати від 70 кГц до 125 ГГц з оптимізованим приймачем шуму для вимірювань від 30 до 125 ГГц.

Вихідна потужність VNA сягає +14 дБм, що допомогло б у тестуванні широкого діапазону тестованих пристроїв із характеристиками спрямованості, відповідності джерела та відповідності навантаженню тестового порту до 50 дБ. Крім того, доступні апаратні опції для розширення VectorStar VNA до 1,1 ТГц. Однак зауважте, що ця конфігурація працює в інших діапазонах частот на відміну від повної ширококутової конфігурації.

2.2 Аналітичні методи та моделювання

Аналітичні методи та моделювання грають важливу роль у вивченні та аналізі впливу перешкод на якість передачі даних у різних комунікаційних системах. Ці методи допомагають розуміти, прогнозувати та вдосконалювати ефективність передачі даних в умовах різних видів перешкод, таких як шум, спотворення сигналу, інтерференція тощо. Ось деякі аспекти аналізу та моделювання впливу перешкод на якість передачі даних:

Моделювання каналу передачі даних

1. Визначення параметрів каналу:

Частотний діапазон: Визначення частотного діапазону, в якому працює канал передачі даних, допомагає визначити, які частоти сигналу можуть бути передані через канал без втрат.

Затухання: Вимірювання або оцінювання затухання сигналу залежно від відстані та інших параметрів.

2. Моделювання шуму:

Визначення інтенсивності та характеристик шуму в каналі, такого як шум розподілений Гаусса, білого шуму або інших типів шуму.

Моделювання шумових спектрів та спектральних властивостей шуму.

3. Моделювання спотворень:

Визначення типів спотворень, які можуть виникнути в каналі, таких як імпульсні відгуки, фазові та амплітудні спотворення.

Створення математичних моделей для спотворень та їх впливу на сигнал.

4. Моделювання інтерференції:

Визначення джерел інтерференції та їх характеристик.

Розробка моделей для оцінки впливу інтерференції на сигнал.

5. Використання передавальних та приймальних антен:

Моделювання антенних систем для визначення діаграм напрямленості та антенних втрат.

6. Моделювання множинного доступу:

Якщо у мережі використовується множинний доступ, то моделювання конфліктів та методів вирішення конфліктів також є важливою частиною моделі каналу.

7. Валідація та тестування:

Після створення моделі каналу її слід перевірити та протестувати за допомогою експериментів або симуляцій, щоб визначити, наскільки точно вона відображає реальну поведінку каналу.

Аналіз спектру сигналу

Аналіз спектру сигналу - це процес дослідження та розкриття частотних характеристик сигналу. Він використовується в області обробки сигналів, телекомунікацій, акустики, радіоінженерії та інших галузях для розуміння та визначення властивостей сигналів. Аналіз спектру сигналу дозволяє визначити, які частоти складають сигнал, їх амплітуди та фазові відношення.

Основні етапи аналізу спектру сигналу включають наступне:

1. Збір сигналу: Спершу необхідно зібрати вхідний сигнал, який ви хочете проаналізувати. Це може бути аудіо-, відео-сигнал, сигнал у вигляді електричного або радіочастотного коливання тощо.

2. Підготовка сигналу: Сигнал може бути очищений від шумів та інтерференції, якщо це необхідно. Також, сигнал може бути дискретизований (перетворений в послідовність дискретних значень) для подальшої обробки.

3. Обчислення спектру: Зазвичай, для аналізу спектру використовується перетворення Фур'є (або інші подібні перетворення), яке перетворює сигнал із часової області у частотну область. Результатом цього перетворення є спектр сигналу, який складається з амплітуд та фазових відношень різних частотних компонентів.

4. Відображення та інтерпретація: Отриманий спектр може бути відображений у вигляді графіка амплітуди частот проти частоти або іншого представлення, яке дозволяє легко аналізувати спектральну структуру

сигналу. Важливо зазначити, що різні компоненти спектру можуть відображати різні характеристики сигналу, такі як основні частоти, гармоніки, шуми тощо.

5. Використання результатів: Отримані результати можуть бути використані для подальшого аналізу та обробки сигналу. Наприклад, спектр може допомогти визначити основні частоти сигналу або виділити певні частотні компоненти для подальшого обробки або відфільтрування.

Моделювання імпульсного відгуку

Моделювання імпульсного відгуку - це процес створення математичних моделей або симуляцій імпульсних відгуків системи чи каналу передачі даних. Цей процес допомагає розуміти, як система відгукує на вхідний сигнал, і дозволяє аналізувати різні властивості цього відгуку, такі як затримка, амплітуда, фаза та інші.

Основні етапи моделювання імпульсного відгуку включають наступне:

1. Збір даних: Спочатку необхідно отримати експериментальні або вимірні дані про вхідний сигнал і відгук системи. Це може включати в себе відомості про часову послідовність вхідного сигналу та відповідь системи на цей сигнал.

2. Визначення математичної моделі: На основі зібраних даних можна розробити математичну модель, яка описує імпульсний відгук системи. Ця модель може бути різних типів, таких як лінійна чи нелінійна, статична чи динамічна, лінійно-часова чи нелінійно-часова, залежно від характеру системи та сигналу.

3. Симуляція: За допомогою розробленої математичної моделі можна провести симуляції, які дозволяють відтворити відгук системи на різні вхідні сигнали. Це допомагає визначити, як система реагує на різні вхідні сигнали та властивості імпульсного відгуку.

4. Аналіз результатів: Після симуляцій необхідно проаналізувати отримані результати, включаючи затримку, амплітуду та фазу імпульсного

відгуку. Ці параметри можуть бути важливими для подальшого аналізу та обробки сигналу.

5. Використання моделі: Розроблена модель імпульсного відгуку може бути використана для прогнозування відгуку системи на новий вхідний сигнал або для визначення оптимальних налаштувань системи для певної задачі.

Моделювання інтерференції

Моделювання інтерференції є важливою задачею при аналізі та розробці комунікаційних систем та мереж. Інтерференція може виникати в результаті конфлікту між різними сигналами або сміттєвими сигналами та може впливати на якість та надійність передачі даних. Основні етапи моделювання інтерференції включають наступне:

1. Визначення джерел інтерференції: Спочатку необхідно ідентифікувати джерела інтерференції, які можуть впливати на систему. Це можуть бути інші комунікаційні пристрої, електронні пристрої, бездротові мережі, електромагнітні шуми тощо.

2. Вимірювання або збір даних: Якщо можливо, зберіть дані про інтерференцію з реальних середовищ або вимірювань. Це може включати вимірювання сили інтерференційного сигналу та характеристик інтерферуючого джерела.

3. Розробка математичних моделей: На основі зібраних даних розробіть математичні моделі для інтерференційних сигналів та їх властивостей. Ці моделі можуть описувати частотні характеристики, амплітуду, фазу та інші параметри інтерференційного сигналу.

4. Симуляція: За допомогою розроблених математичних моделей можна провести симуляції, щоб визначити, як інтерференція впливає на систему. Симуляції можуть включати в себе введення інтерференційних сигналів у систему та аналіз їх впливу на передачу даних.

5. Оцінка впливу: Аналіз результатів симуляцій та моделювання дозволяє оцінити вплив інтерференції на якість та надійність передачі даних. Це може включати в себе визначення параметрів, таких як бітова помилковість, сигнал-шум відношення, завадостійкість та інші.

6. Розробка стратегій управління інтерференцією: На основі результатів можна розробити стратегії для управління інтерференцією, такі як фільтрація сигналу, використання антенних систем з напрямленою діаграмою, використання кодування та корекції помилок тощо.

2.3 Симуляційні методи

Симуляційні методи - це техніки, які використовуються для створення моделей та експериментів в комп'ютерному середовищі для аналізу та дослідження різних систем, явищ та процесів. Симуляційні методи широко використовуються у багатьох галузях, включаючи науку, інженерію, медицину, біологію, економіку та багато інших.

Основні поняття та методи, пов'язані з симуляційними методами, включають таке:

1. Моделювання: Симуляційні методи вимагають створення моделей, які описують системи або процеси. Модель може бути математичною, комп'ютерною або комбінованою. Модель репрезентує структуру, параметри та взаємодію компонентів системи.

2. Випадковість: Багато симуляційних методів використовують випадковість для моделювання невизначеності або стохастичних процесів. Генерація випадкових чисел дозволяє враховувати різні варіації та можливі результати в системі.

3. Часова динаміка: Більшість симуляцій моделюють часову динаміку системи, дозволяючи вивчати її еволюцію в часі. Це може бути статичною (нестійкою) або динамічною (змінюваною в часі) моделлю.

4. Аналіз результатів: Після виконання симуляції аналізується отримана інформація, така як статистика, графіки, динаміка змін тощо. Аналіз допомагає зрозуміти характеристики системи та відповісти на конкретні питання.

5. Оптимізація та вирішення задач: Симуляційні методи можуть використовуватися для оптимізації рішень, визначення оптимальних параметрів та вирішення складних задач в різних галузях, включаючи виробництво, логістику, медицину, фінанси тощо.

6. Валідація і верифікація: Важливо переконатися, що створена модель правильно відображає реальну систему. Для цього проводиться валідація (порівняння моделі з реальними даними) та верифікація (перевірка правильності реалізації моделі).

Використання симуляційних методів у галузі радіосигналів:

1. Моделювання розповсюдження сигналів:

Симуляційні моделі можуть бути використані для моделювання розповсюдження радіосигналів у різних середовищах, таких як міська або сільська місцевість, вода або повітря. Це допомагає визначити якість та потужність сигналу в залежності від географічних та атмосферних умов.

2. Дослідження ефективності антен:

Симуляції використовуються для аналізу та оптимізації антенних систем. Моделі можуть враховувати різні типи антен, їхні характеристики та розташування для максимізації дальності та якості зв'язку.

3. Вивчення мультиплексування та розділення сигналів:

Симуляційні методи дозволяють досліджувати та впливати на різні методи мультиплексування (наприклад, FDMA, TDMA, CDMA) та розділення сигналів для ефективного використання радіочастотного спектра.

4. Моделювання впливу перешкод та інтерференції:

Симуляційні методи дозволяють вивчити, як перешкоди та інтерференція впливають на якість та надійність радіосполучення. Це може

включати в себе моделювання об'єктів, що заважають сигналу, та аналіз відповіді системи на ці перешкоди.

5. Тестування та розробка протоколів передачі даних:

Симуляційні методи використовуються для тестування та розробки різних протоколів передачі даних для бездротових комунікаційних мереж, таких як Wi-Fi, Bluetooth або мережі 5G.

6. Моделювання системи супутникового зв'язку:

Для розробки та оптимізації систем супутникового зв'язку використовуються симуляційні методи. Це може включати в себе вивчення покриття супутникового сигналу та передачу даних через супутникові канали.

Симуляційні методи можуть бути використані для дослідження різних проблем і вирішення питань у відсутність реальних даних або при обмежених ресурсах. Вони дозволяють ефективно та безпечно експериментувати зі складними системами та процесами, що в іншому випадку були б важко або неможливо вивчати.

2.4 Стратегії мінімізації впливу перешкод

Стратегії мінімізації впливу перешкод в радіосполученні та передачі даних грають важливу роль у покращенні якості та надійності зв'язку. Ось деякі загальні стратегії та методи, які можна використовувати для цієї мети:

1. *Вибір оптимальних частотних діапазонів*

Вибір оптимальних частотних діапазонів важливий для забезпечення ефективного та надійного радіосполучення, особливо в умовах конкуренції за спектральні ресурси та впливу перешкод. Ось кілька прикладів вибору частотних діапазонів у різних сферах:

Мобільний зв'язок:

У сфері мобільного зв'язку важливим є вибір оптимального частотного діапазону для мережі 2G, 3G, 4G та 5G. Наприклад, мережі 5G використовують велику частоту міліметрового хвилі для великої пропускної спроможності, але ці сигнали менш стійкі до перешкод та менше проникають через стіни будівель.

Телебачення та радіорозсилка:

Радіо- і телевізійні компанії вибирають оптимальні частотні діапазони для передачі телепрограм у різних областях. Наприклад, VHF та UHF діапазони використовуються для розповсюдження телевізійних та радіо сигналів через антени.

Wi-Fi та бездротовий інтернет:

У сфері бездротового Інтернету важливим є вибір оптимального бездротового діапазону, такого як 2,4 ГГц або 5 ГГц, в залежності від потреб та відстані до доступної точки доступу. Наприклад, 2,4 ГГц зазвичай має кращу проникність, але меншу швидкість передачі даних порівняно з 5 ГГц.

Радіоспостереження та безпека:

В радіоспостереженні та системах безпеки важливо вибирати частотні діапазони для роботи без перешкод та інтерференції. Наприклад, системи моніторингу трафіку можуть використовувати оптичні чи мікрохвильові діапазони для точного спостереження.

Аеронавігація:

У галузі аеронавігації важливо вибирати частотні діапазони для радіолокації, комунікації та навігації літаків. Наприклад, частоти VHF та UHF використовуються для повітряних комунікацій.

Вибір оптимальних частотних діапазонів залежить від специфіки застосування, потреб користувачів та умов в яких вони працюють. Правильний вибір може покращити якість та ефективність зв'язку та передачі даних.

2. *Налаштування антен:*

Налаштування антен включає в себе різні методи та техніки для оптимізації їхньої роботи в конкретних умовах. Ось кілька прикладів налаштування антен:

Напрявленнa антени:

Вибір правильного напрямлення антени може значно вплинути на якість та дальність зв'язку. Наприклад, у випадку точної точкової комунікації, антени можуть бути налаштовані одна на одну, щоб забезпечити прямий лінійний шлях між ними.

Поляризація антени:

Поляризація антени важлива, оскільки антени з різною поляризацією можуть взаємодіяти з меншою ефективністю. Налаштування антени на правильну поляризацію може покращити якість зв'язку.

Вибір частотного діапазону:

Антени призначені для роботи у певних частотних діапазонах. Вибір антени, яка підходить для конкретного частотного діапазону, дозволяє досягти оптимальної ефективності.

Розташування антен:

Фізичне розташування антен може впливати на ефективність зв'язку. Наприклад, висота та місцезнаходження антени можуть бути налаштовані для мінімізації мультиплексування та інтерференції.

Використання антенних підсилювачів:

Для покращення дальності та сильної антени можуть використовуватися антенні підсилювачі або антенні системи з багатьма антенами (MIMO).

Зниження втрат сигналу:

Втрати сигналу можуть виникати через втрати у лініях живлення та кабелях. Використання якісних кабелів і з'єднань може зменшити ці втрати.

Калібрування та тестування:

Регулярне калібрування та тестування антен може виявити будь-які проблеми та допомогти забезпечити їхню ефективну роботу.

Це лише кілька прикладів налаштування антен, адаптованих до конкретних вимог та умов використання. Точні методи і параметри налаштування будуть залежати від конкретного застосування і цілей користувача.

3. Використання антенних систем з напрямленою діаграмою

Використання антенних систем з напрямленою діаграмою має на меті спрямування сигналу в конкретному напрямку та зменшення випромінювання в інших напрямках. Це дозволяє підвищити якість зв'язку та зменшити інтерференцію. Ось кілька прикладів використання напрямлених антенних систем:

Бездротовий інтернет та Wi-Fi:

У сфері бездротового інтернету та Wi-Fi, точкові доступи (AP) можуть використовувати напрямлені антени для спрямування сигналу в конкретному напрямку, наприклад, до конкретного користувача або віддаленої локації. Це покращує покриття та надійність зв'язку.

Радіорелеї та мережі мікрохвильового зв'язку:

У мережах мікрохвильового зв'язку, таких як радіорелеї для довгих відстаней, напрямлені антени використовуються для створення безперервного зв'язку між віддаленими точками. Це особливо корисно в сфері зв'язку на великі відстані або у важко доступних місцях.

Радари та радіолокація:

У сфері радіолокації, напрямлені антени використовуються для виявлення та відстеження об'єктів у певному напрямку. Наприклад, в аеропортах вони використовуються для контролю руху літаків.

Спутникова комунікація:

В сфері спутникової комунікації, антени з напрямленою діаграмою використовуються для спрямованої комунікації з супутниками у конкретному напрямку. Це дозволяє отримувати сильний і стабільний сигнал.

Радіорелейні системи:

У мережах радіорелеїв, які зазвичай використовуються для забезпечення зв'язку віддалених локацій, напрямлені антени забезпечують стійкий зв'язок між вузлами.

Це лише кілька прикладів, де використання антенних систем з напрямленою діаграмою допомагає забезпечити кращу якість зв'язку та зменшити ефект інтерференції.

4. Використання кодування та корекції помилок

Використання кодування та корекції помилок є важливими методами для забезпечення надійності передачі даних в радіокомунікаціях та бездротових системах. Ось декілька прикладів використання цих методів:

Мобільний зв'язок (наприклад, 4G та 5G):

У мобільних мережах використовуються різні кодувальні схеми для забезпечення корекції помилок. Наприклад, технологія Turbo кодування використовується для зменшення помилок в передачі даних між мобільними телефонами та базовими станціями.

Бездротовий інтернет (Wi-Fi):

У бездротових мережах Wi-Fi використовуються різні стандарти кодування, такі як LDPC (Low-Density Parity-Check) або BCH (Bose-Chaudhuri-Nocquenghem) для забезпечення корекції помилок у передачі даних через бездротові канали.

Спутникова комунікація:

Спутникові системи часто використовують кодування та корекцію помилок для покращення надійності передачі сигналів. Наприклад, система GPS використовує код корекції помилок для визначення точного місцезнаходження.

Телевізійні та радіо мовлення:

У телебаченні та радіомовленні використовуються кодувальні схеми, які допомагають відновлювати втрачені біти інформації, забезпечуючи кращу якість зображення та звуку навіть при наявності інтерференції.

Мережі сенсорів та IoT:

У мережах сенсорів та Internet of Things (IoT) важливо забезпечити надійну передачу даних, оскільки вони можуть працювати в умовах обмежених ресурсів. Використання кодування та корекції помилок допомагає зберігати та передавати дані надійно.

Аудіо та відеоконференції через Інтернет:

Під час відео- та аудіоконференцій через Інтернет, кодування та корекція помилок можуть допомогти уникнути розривів в звуку або відео під час передачі в мережі.

Ці приклади демонструють, як використання кодування та корекції помилок важливо для забезпечення надійності та якості передачі даних у різних бездротових та радіокомунікаційних системах.

5. Динамічне управління частотними ресурсами

Бездротові комунікації вимагають ефективного управління частотними ресурсами для забезпечення оптимального використання доступного спектру і мінімізації інтерференції. Ось кілька прикладів динамічного управління частотними ресурсами:

Wi-Fi мережі:

У Wi-Fi мережах використовуються протоколи, які динамічно вибирають доступний канал для мінімізації інтерференції. Наприклад, протоколи DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum) та OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) використовуються для вибору оптимального каналу на основі поточних умов.

Мобільний зв'язок (наприклад, 4G та 5G):

Мережі мобільного зв'язку використовують динамічне управління ресурсами для розподілу частот та пропускнуєї спроможності між

користувачами в режимі реального часу. Це дозволяє підтримувати якість зв'язку для всіх користувачів при змінних умовах.

Спутникові системи:

У супутникових комунікаційних системах використовують динамічне призначення каналів та частот для передачі даних між супутниками та користувачами на землі. Це дозволяє ефективно використовувати обмежені ресурси в геостаціонарних та низькоорбітальних супутниках.

Радіорелеї та мікрохвильові системи зв'язку:

Мережі радіорелеїв та мікрохвильового зв'язку використовують динамічне управління каналами для автоматичного вибору оптимального маршруту та частотного ресурсу для передачі даних між вузлами.

Локальні мережі (LAN):

В локальних мережах, таких як Ethernet, використовують протоколи автоматичного виявлення та вибору оптимального швидкісного режиму та частоти передачі даних на основі мережевого трафіку та завантаження.

Internet of Things (IoT):

У мережах IoT важливо ефективно управляти частотними ресурсами через протоколи, які дозволяють пристроям вибирати оптимальну частоту та режим передачі даних в залежності від умов та потреб.

Ці приклади показують, як динамічне управління частотними ресурсами використовується в бездротових комунікаціях для оптимізації використання радіочастотного спектра та забезпечення ефективності та надійності передачі даних.

6. Використання розумних алгоритмів та протоколів

Використання розумних алгоритмів та протоколів є важливим для оптимізації бездротових комунікацій та забезпечення надійності та ефективності передачі даних. Ось кілька прикладів:

Маршрутизація в мережах мобільного зв'язку (4G, 5G):

У мережах мобільного зв'язку використовують розумні алгоритми маршрутизації, такі як OSPF (Open Shortest Path First) або BGP (Border Gateway Protocol), щоб визначити оптимальний шлях для передачі даних між користувачами та базовими станціями.

TCP/IP протоколи:

Протоколи TCP (Transmission Control Protocol) та IP (Internet Protocol) використовуються для бездротової передачі даних в Інтернеті та мережах IoT. Розумні алгоритми TCP контролюють швидкість передачі та забезпечують надійність передачі даних.

Протоколи маршрутизації в мережах Ad-Нос:

У мережах Ad-Нос, де вузли можуть динамічно змінювати своє положення, використовують розумні алгоритми маршрутизації, такі як AODV (Ad-Нос On-Demand Distance Vector) або DSR (Dynamic Source Routing), для визначення шляхів передачі даних.

Мережі сенсорів та IoT:

У мережах сенсорів та IoT використовуються легковагомні протоколи, такі як MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) або CoAP (Constrained Application Protocol), які оптимізовані для обміну даними в умовах з обмеженими ресурсами.

Маршрутизація в мережах Mesh:

В бездротових мережах Mesh використовуються розумні алгоритми маршрутизації, що дозволяють вузлам автоматично побудовувати маршрути для передачі даних через інші вузли у мережі.

Адаптивне керування потоком даних:

Розумні алгоритми можуть контролювати швидкість передачі даних та рівень керування параметрів, таких як потужність передавача, для оптимізації ефективності та споживання енергії.

Використання шифрування та аутентифікації:

Для забезпечення безпеки використовують розумні алгоритми шифрування та аутентифікації даних у бездротових мережах, що дозволяє захистити конфіденційні дані від несанкціонованого доступу.

Ці приклади показують, як використання розумних алгоритмів та протоколів є важливим для оптимізації та забезпечення надійності бездротових комунікаційних систем у різних сценаріях використання.

7. Апаратне та програмне забезпечення для спектрального аналізу

Спектральний аналіз вимагає спеціального апаратного та програмного забезпечення для обробки та аналізу сигналів у частотному домені. Ось кілька прикладів апаратних та програмних засобів, які використовуються для спектрального аналізу:

Спектроаналізатори:

Апаратні спектроаналізатори, такі як Rohde & Schwarz FSW або Keysight X-Series, призначені для вимірювання спектрів сигналів у реальному часі. Вони можуть аналізувати широкий спектр частот та забезпечити високу точність вимірювань.

Осцилоскопи з функцією FFT:

Деякі осцилоскопи мають вбудовану функцію FFT (Fast Fourier Transform), яка дозволяє перетворювати сигнали з часового домену в частотний домен. Це допомагає аналізувати спектри сигналів на реальному обладнанні.

Антенні аналізатори:

Апаратні антенні аналізатори, наприклад, Agilent FieldFox або Anritsu Site Master, використовуються для аналізу властивостей антен та вимірювання параметрів S-параметрів.

Програмне забезпечення для спектрального аналізу:

Існує безліч програмних засобів для спектрального аналізу, таких як MATLAB, GNU Octave, LabVIEW, або спеціалізовані пакети, як Keysight Signal Studio або National Instruments LabVIEW. Вони надають інструменти для обробки та аналізу сигналів у частотному домені.

Спеціалізовані спектральні аналізатори сигналів:

Деякі інструменти, такі як Wireshark для аналізу мережевого трафіку або Audio Precision для аудіоаналізу, дозволяють виконувати спектральний аналіз у конкретних додаткових областях.

RF (Radio Frequency) аналізатори:

RF аналізатори, такі як Agilent PXA або Rohde & Schwarz FSWP, призначені для аналізу та вимірювання RF сигналів і можуть включати функції спектрального аналізу.

Ці засоби інструментів дозволяють інженерам і дослідникам виміряти, аналізувати і розуміти характеристики сигналів у частотному домені, що важливо для різних додатків, включаючи телекомунікації, радіо, радар, аудіо, мережі та багато інших областей.

Ці стратегії та методи можуть варіюватися в залежності від конкретної ситуації та умов радіосполучення, але вони можуть бути використані для покращення якості та надійності передачі даних в умовах перешкод і інтерференції.

2.4.1 Методи зменшення шуму

Найпоширеніші типи фільтрів включають фільтр низьких частот (low-pass filter), середнього значення (moving average), фільтр Калмана (Kalman filter) і фільтр Калмана-Бака (Kalman-Bucy filter).

Фільтр низьких частот — це електронний фільтр, який пропускає через себе низькочастотні сигнали, послаблюючи або блокуючи високочастотні сигнали. Іншими словами, він дозволяє проходити сигнали з частотами нижче певної граничної частоти з мінімальними втратами або

спотвореннями, водночас зменшуючи амплітуди сигналів із частотами вище граничної частоти.

Основні характеристики та застосування фільтрів низьких частот включають:

Частота зрізу (або кутова частота): це частота, на якій фільтр починає послаблювати сигнал. Частоти нижче частоти зрізу вважаються «низькими», а ті, що вище, вважаються «високими». Частота зрізу є критичним параметром при проектуванні або виборі фільтра низьких частот.

Нахил або спад фільтра: Швидкість, з якою фільтр послаблює високочастотні сигнали за межі частоти зрізу, визначається нахилом фільтра. Загальні типи фільтрів, такі як фільтри першого порядку, другого порядку або фільтри вищого порядку, мають різні характеристики спаду.

Порядок фільтрів: Порядок фільтрів відноситься до кількості реактивних компонентів (котушек індуктивності або конденсаторів), які використовуються в конструкції фільтра. Фільтри вищого порядку пропонують крутіші характеристики спаду, але можуть вимагати більше компонентів і створювати фазові спотворення.

Застосування: фільтри низьких частот зазвичай використовуються в різних програмах, включаючи обробку звуку, зв'язок, збір даних і обробку зображень. Вони допомагають усунути високочастотний шум, зменшити спотворення та обмежити смугу пропускання сигналів відповідно до конкретних вимог.

Типи фільтрів низьких частот. Існує кілька типів фільтрів низьких частот, наприклад RC (резисторно-конденсаторні) фільтри, LC (індукторно-конденсаторні) фільтри, активні фільтри з використанням операційних підсилювачів і цифрові фільтри, реалізовані програмно або апаратно. Вибір типу фільтра залежить від застосування та конструктивних обмежень.

Фільтри низьких частот є важливими компонентами в обробці сигналів і електронних схемах, щоб забезпечити збереження лише бажаних низькочастотних компонентів під час послаблення шуму або небажаних

високочастотних сигналів. Вони відіграють вирішальну роль у покращенні якості та цілісності різних електронних систем і комунікаційних пристроїв.

Фільтр ковзного середнього, також відомий як згладжування ковзного середнього або алгоритм ковзного середнього, — це цифровий фільтр, який зазвичай використовується в обробці сигналів і аналізі даних для зменшення шуму або флуктуацій у послідовності даних часового ряду. Він працює шляхом обчислення середнього значення точок даних у рухомому вікні або інтервалі та заміни центральної точки даних цим середнім. Цей процес повторюється, коли вікно ковзає по послідовності даних.

Ключові характеристики та міркування фільтра ковзного середнього включають:

Розмір вікна: розмір рухомого вікна, який часто називають «порядком» фільтра, визначає, скільки точок даних береться до уваги під час обчислення середнього. Більший розмір вікна забезпечує плавніший вихід, але може призвести до значної затримки в записі змін.

Типи ковзних середніх:

Просте ковзне середнє (SMA): SMA призначає однакові ваги для всіх точок даних у вікні, що призводить до простого середнього.

Експоненціальне ковзне середнє (EMA): EMA призначає різну вагу точкам даних, надаючи більшу вагу останнім даним і меншу вагу старим даним, завдяки чому вони краще реагують на зміни.

Ефект згладжування: фільтри ковзного середнього використовуються для згладжування або «усереднення» коливань або шуму в даних, що полегшує визначення тенденцій і закономірностей.

Затримка: одним із недоліків використання фільтра ковзного середнього є те, що він створює затримку або затримку відфільтрованого сигналу. Величина затримки пропорційна половині розміру вікна. Більші розміри вікон призводять до більшої затримки.

Застосування. Фільтри ковзного середнього знаходять застосування в різних галузях, зокрема у фінансах, економіці, інженерії та статистиці. Вони

використовуються для аналізу трендів, зменшення шуму та згладжування даних.

Математично просте ковзне середнє (SMA) можна обчислити таким чином:

$$SMA(t) = (X(t) + X(t-1) + X(t-2) + \dots + X(t-n+1)) / n$$

Де:

SMA(t) – просте ковзне середнє в момент часу t.

X(t), X(t-1), X(t-2), ..., X(t-n+1) – це точки даних у рухомому вікні.

n — розмір вікна (кількість точок даних у вікні).

Фільтри ковзного середнього є універсальними інструментами для попередньої обробки та аналізу даних. Вони особливо корисні для видалення високочастотного шуму з даних часових рядів, виявлення основних тенденцій і генерування більш плавних сигналів для подальшого аналізу або візуалізації. Вибір конкретного типу ковзної середньої та розміру вікна залежить від характеристик даних і цілей аналізу.

Фільтр Калмана (або Калмановий фільтр) - це математичний метод та алгоритм, який використовується для фільтрації та прогнозування стохастичних часових рядів, особливо в системах зі змішаними сигналами та шумами. Фільтр Калмана був розроблений в 1960 році Рудольфом Е. Калманом та став важливим інструментом у багатьох областях, включаючи авіацію, астрономію, радіотехніку, метеорологію, робототехніку та фінанси.

Основні концепції та характеристики фільтра Калмана включають:

1. **Станова модель:** Фільтр Калмана моделює систему або об'єкт, який еволюціонує з часом. Ця модель описує, як змінюється стан об'єкта з часом і як цей стан взаємодіє з внутрішніми і зовнішніми впливами.

2. **Вимірювана модель:** Фільтр Калмана також враховує вимірювання, які отримуються з часом. Вимірювання є спостереженнями стану системи, але вони можуть бути заваленими шумом або неточністю.

3. **Прогноз і корекція:** Фільтр Калмана працює в два етапи: прогноз та корекція. Прогноз передбачає майбутній стан системи, враховуючи поточний стан та дії, що відбулися. Після отримання нових вимірювань проводиться корекція, яка оновлює прогноз на основі нових даних, враховуючи їх вагомість та невизначеність.

4. **Матриці Калмана:** Фільтр Калмана використовує матриці для представлення динаміки системи та вимірювань. Дві основні матриці - матриця стану та матриця вимірювань - обчислюються та оновлюються на кожному кроці.

5. **Мінімальна середньоквадратична помилка:** Фільтр Калмана оптимізує прогноз стану системи так, щоб середньоквадратична помилка між прогнозом і вимірюваннями була мінімальною. Це дозволяє досягти оптимальної оцінки стану системи.

Фільтр Калмана є потужним інструментом для обробки та аналізу динамічних даних зі стохастичними характеристиками. Він знайшов широке застосування в багатьох областях, де необхідно прогнозувати та відстежувати стан об'єктів на основі змішаних і неточних вимірювань.

Фільтр Калмана-Бака (або Калман-Бака фільтр) є розширенням класичного фільтра Калмана, розробленим Рудольфом Е. Калманом та Джеймсом Баком. Цей фільтр використовується для оцінки стану системи зі змішаними (детермінованими та стохастичними) впливами та для прогнозування майбутнього стану системи на основі доступних вимірювань та моделі системи.

Основні особливості фільтра Калмана-Бака включають:

1. **Змішані Впливи:** Фільтр Калмана-Бака дозволяє враховувати як детерміновані (визначені) так і стохастичні (випадкові) впливи на систему. Це особливо корисно в задачах, де об'єкт піддається впливам обох типів.

2. **Прогноз та Корекція:** Як і в класичному фільтрі Калмана, фільтр Калмана-Бака використовує прогноз та корекцію для оцінки та прогнозу стану системи. Прогноз передбачає майбутній стан системи на

основі попереднього стану та моделі системи, а корекція оновлює цей прогноз, враховуючи нові вимірювання.

3. **Збереження історії:** Фільтр Калмана-Бака зберігає історію оцінок та прогнозів стану системи. Це дозволяє отримувати інформацію про еволюцію системи з часом.

4. **Апроксимація за Монте-Карло:** У деяких випадках, коли моделювання системи складне або стохастичні впливи важко аналізувати аналітично, фільтр Калмана-Бака може використовувати метод Монте-Карло для апроксимації стану системи.

Фільтр Калмана-Бака є потужним інструментом для оцінки та прогнозування стану системи, яка піддається змішаним впливам. Він знаходить застосування в багатьох галузях, включаючи авіацію, навігацію, фінанси, метеорологію та робототехніку.

Висновки до розділу 2

Аналіз підкреслив, що точне розуміння та аналіз перешкод є критично важливим для забезпечення якісної передачі даних у радіосистемах. Ідентифікація та оцінка перешкод дозволяє розробити ефективні стратегії їх мінімізації.

Дослідження виявило широкий спектр потенційних джерел перешкод, від фізичних перешкод до електромагнітного випромінювання, що вимагає різних підходів до їх аналізу та управління.

Ефективність використання спектроаналізаторів, мережевих аналізаторів та інших діагностичних інструментів була підтверджена як ключ до розуміння впливу перешкод на сигнали.

Використання комп'ютерного моделювання та симуляцій виявилось корисним для прогнозування впливу перешкод та розробки стратегій їх зменшення.

Впровадження технік, таких як адаптивне фільтрування та частотне планування, демонструє важливість інноваційних підходів до управління перешкодами.

Було встановлено, що різні радіосистеми мають різну чутливість до перешкод, що підкреслює необхідність індивідуального підходу до аналізу та мінімізації перешкод у кожній конкретній системі.

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ШУМУ ДЛЯ СИГНАЛЬНОГО ЛАНЦЮГА

При розробці ланцюга вимірювального сигналу важливо пропрацювати аналіз шуму, щоб визначити, чи буде рішення ланцюга сигналу мати достатньо низький рівень шуму, щоб можна було легко виділити найменший цікавий сигнал. Ретельний аналіз шуму може заощадити час і гроші під час виробничого процесу.

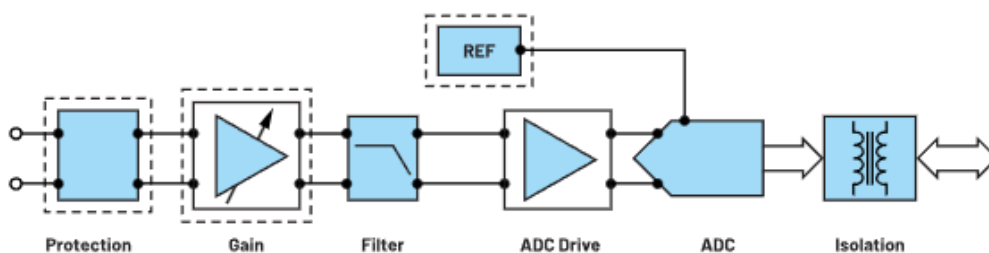


Рисунок 3.1 – Точний сигнальний ланцюг із оптимізованою потужністю вимірювання струму/напруги з широкою смугою пропускання.

Аналіз розбивається на 4 основних етапів:

1. Оголошення припущень
2. Креслення спрощеної схеми ланцюга сигналу
3. Розрахунок еквівалентної шумової смуги пропускання для кожного з блоків сигнального ланцюга та розрахунок внеску шуму на виході сигнального ланцюга для всіх блоків
5. Додавання всіх вкладень шуму

3.1 Оголошення припущень

Для аналізу шуму або будь-якого аналізу, виконаного на ланцюзі сигнального ланцюга, важливо окреслити припущення, зроблені для кожного блоку в сигнальному ланцюзі. Окреслено деякі з припущень, зроблених для цієї роботи:

Блок захисту

Передбачається, що блок захисту не додає істотного шуму. Шум від цього блоку буде спричинений малим опором блоку захисного вимикача. У наступному прикладі ми використовуємо ADG5421F, який має опір увімкнення 11 Ом, і тому генерує спектральну щільність шуму (NSD) 0,43 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$. Оскільки це значення у 18 разів менше, ніж найнижчий NSD блоку посилення, його не потрібно враховувати. Якщо впроваджено додаткові заходи захисту (діоди TVS тощо), це також необхідно враховувати.

Блок фільтрації сигналу

Передбачається, що блок фільтрації сигналу має лише один полюс. Припущення, що один полюс є достатнім, враховуючи смугу пропускання, яка перевіряється (400 кГц) проти частоти дискретизації (15 MSPS).

Довідковий блок

Передбачається, що шум від еталонного блоку є незначним, оскільки обрана еталонна напруга має відмінні шумові характеристики (0,25 р-р (від 10 Гц до 1 кГц) і 0,21 ppm (середньоквадратичне значення) (від 10 Гц до 1 кГц)), і тому не включено в аналіз. Це специфічно для цього прикладу сигнального ланцюга, і буде необхідний подальший аналіз, якщо використовується інший сигнальний ланцюг і посилення.¹

Ізоляційний блок

Шум від ізоляційного блоку не враховується.

Додаткові припущення

Аналіз проводять при температурі 25°C (298,15 К).

NSD даного блоку вважається рівномірним по частоті дискретизації. Враховується лише тепловий шум.

Для АЦП береться загальний шум (як кТС, так і додаткові джерела шуму).

Частота дискретизації (15 MSPS) набагато більша, ніж смуга пропускання, яка досліджується (400 кГц).

3.2 Креслення спрощеної схеми сигнального ланцюга

З рішення сигнального ланцюга (див. рис. 1) генерується спрощена схема (див. рис. 2) для кожного з наступних етапів:

- Блок посилення
- Фільтр сигналу
- Драйвер АЦП
- RC-фільтр входу АЦП
- АЦП

Також можемо відзначити:

Етап посилення розглядається як чорний ящик, оскільки його шумова характеристика базується на його посиленні та враховує всі внутрішні джерела шуму. Це означає, що шум, створюваний у каскаді посилення, можна обчислити безпосередньо за допомогою значення NSD підсилювача посилення з аркуша даних. Вибір підсилення повністю міститься в каскаді підсилення.

Фільтр сигналу вбудований у драйвер. Вибір використання пасивного фільтра зменшує загальну потужність, яка є одним із основних атрибутів сигнального ланцюга, що аналізується. При цьому значення R_{filter} , R_G і R_F потрібно ретельно вибирати, щоб забезпечити загальне посилення сигналу 1, як показано на малюнку 4. Значення R_G впливає на пропускну здатність фільтра сигналу таким чином:

$$bandwidth_{signal\ filter} = \frac{1}{2 \times \pi \times R_1 \times C_{filter}} \quad (3.1)$$

Де

$$R_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_{filter}} + \frac{1}{R_G}} \quad (3.2)$$

Значення компонентів для стадії мережі RC, яка відбувається безпосередньо перед вибіркою АЦП, визначаються за допомогою Precision ADC Driver Tool. Значення за замовчуванням із цього інструменту використовуються в обчисленнях аналізу сигнального ланцюга. Ці значення також можна знайти в паспорті продукту або розрахувати.

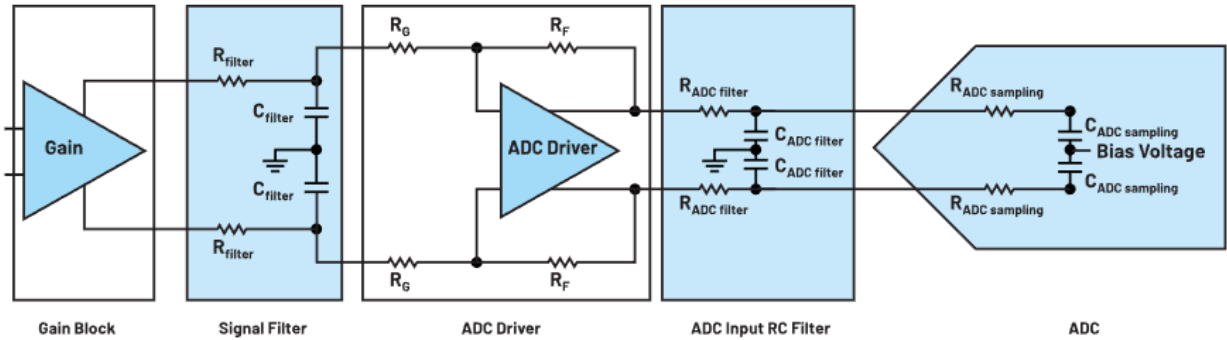


Рисунок 3.2 – Спрощений сигнальний ланцюг.

3.3 Обчислення еквівалентної смуги пропускання шуму (ENB) для кожного з блоків ланцюга сигналів і обчислення внеску шуму на виході ланцюга сигналів для всіх блоків

Обчислено еквівалентну ширину смуги шуму та шумовий внесок усіх блоків окремо.

NSD резисторів можна знайти за:

$$NSD_{resistor} = \sqrt{4kTR} \left[\frac{V}{\sqrt{Hz}} \right] \quad (3.3)$$

Еквівалентна смуга пропускання шуму (ENB) — це смуга пропускання фільтра цегляної стіни, який виробляє таку саму інтегровану потужність шуму, що й реалізований фільтр.

ENB для блоків сигнального ланцюга обчислюється за допомогою:

Для однополюсної системи:

$$ENB = \frac{bandwidth \times \pi}{2} \quad (3.4)$$

Для 2-полюсної системи:

$$ENB \approx \frac{1.22}{2\pi \times R_{ADC\ filter} (C_{ADC\ filter} + C_{ADC\ sampling})} \quad (3.5)$$

Примітка: ця формула може використовуватися лише для поєднання 2-полюсного фільтра, створеного цим вхідним RC-фільтром АЦП, і RC-мережі вибірки АЦП. При використанні різних комбінацій фільтрів можуть знадобитися інші міркування.

Для систем з двома або більше полюсами дивіться таблицю 1. Коефіцієнт пропускної здатності шуму використовується для розрахунку ENB.

$$\left(1.57 = \frac{\pi}{2}\right) \quad (3.6)$$

Таблиця 3.1 Співвідношення пропускної здатності шуму проти полюсів

Кількість полюсів	Коефіцієнт пропускної здатності шуму
1	1.57
2	1.22
3	1.16
4	1.13
5	1.11

Наступний аналіз застосовується, якщо для фільтра сигналу використовується пасивний фільтр, як показано на 3.3.

Примітка: для цього аналізу у фільтрі сигналу:

$$R_{filter} = R_g = \frac{R_{driver}}{2} \quad (3.7)$$

Це робиться, щоб уникнути посилення на етапі драйвера, оскільки ми хочемо, щоб посилення відбувалося лише в блоці посилення. Також

$$R_{driver} = R_F$$

, як показано на малюнку 3.4.

Шум, створюваний блоком підсилення, фільтрується блоком фільтра, який має набагато нижчу смугу пропускання, ніж фільтр, створений вихідною мережею RC приводу АЦП і мережею дискретизації входу АЦП.

$$ENB = \frac{bandwidth \times \pi}{2} \quad (3.8)$$

$$noise_{gain\ stage} = NSD \times PGA_{gain} \times \sqrt{ENB} \quad (3.9)$$

Значення NSD враховує всі джерела шуму блоку підсилення та наведено в таблиці даних.

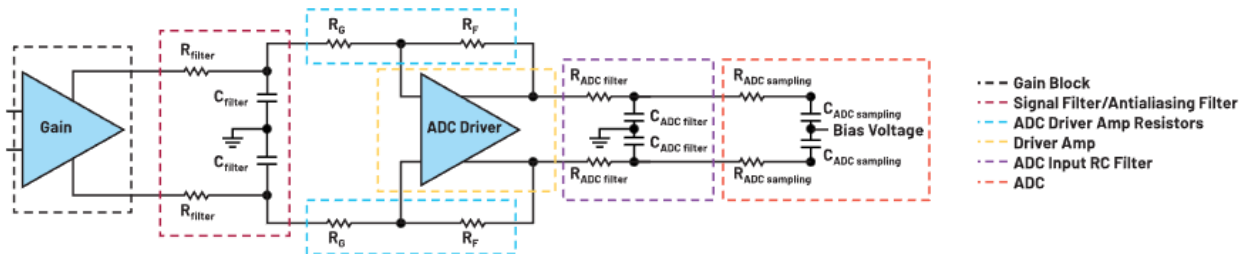


Рисунок 3.3 – Схематичні розрізи для аналізу шуму.

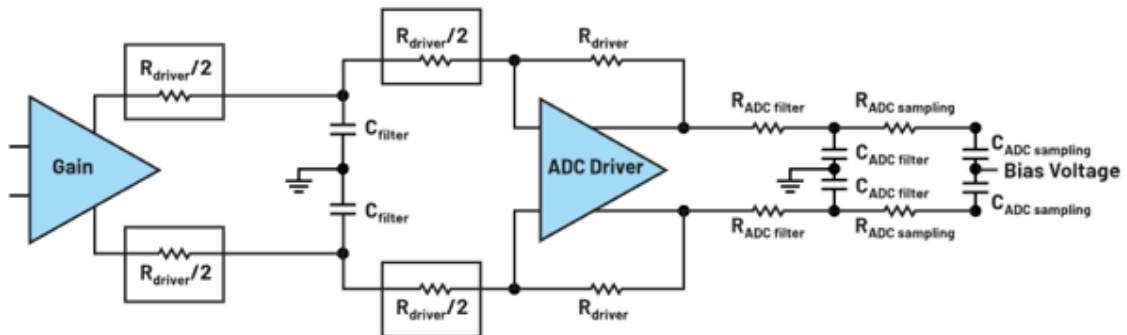


Рисунок 3.4 – Встановлення значень резисторів для аналізу шуму.

Фільтр сигналу або фільтр згладжування має бути розроблений таким чином, щоб підтримувати підсилення 1 у каскаді повністю диференціального підсилювача (FDA), який йде наступним у ланцюзі. Це означатиме розділення вхідного резистора FDA на два рівних резистора — один використовується у фільтрі пасивного сигналу, а інший — на вході FDA:

$$R_{filter} = R_G = \frac{R_{driver}}{2} \quad (3.10)$$

Шум, створюваний резисторами фільтра (R_{filter}), фільтрується самим фільтром, який має набагато нижчу смугу пропускання, ніж комбінований фільтр, створений вхідним RC-фільтром АЦП і RC-дискретизацією АЦП.

$$ENB = \frac{bandwidth \times \pi}{2} \quad (3.11)$$

$$noise_{signal\ filter} = \sqrt{2 \times 4 \times k \times T \frac{R_{driver}}{2} \times ENB [V_{rms}]} \quad (3.12)$$

Це пов'язано з диференціальною схемою.

Шум, створюваний резисторами підсилювача (R_{driver} і $R_{driver}/2$ виділені на малюнку 3.4), фільтрується комбінованим фільтром, який існує в наступних двох блоках сигнального ланцюга.

Це фільтр другого порядку, що складається з вхідного RC-фільтра АЦП і RC дискретизації АЦП.

$$ENB \approx \frac{1.22}{2\pi \times R_{ADC\ filter} (C_{ADC\ filter} + C_{ADC\ sampling})} \quad (3.13)$$

$$noise_{driver\ amp\ input\ resistors} =$$

$$\sqrt{2 \times 4 \times 4 \times k \times T \times \frac{R_{driver}}{2} \times ENB[V_{rms}]} \quad (3.14)$$

2 пов'язано з диференціальною схемою.

4 пов'язане з посиленням шуму:

$$\left(\frac{R_{driver}}{\frac{R_{driver}}{2}} \right)^2 = 2^2 \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} &= \\ &noise_{driver amp feedback resistors} \\ &\sqrt{2 \times 4 \times k \times T \times R_{driver} \times ENB[V_{rms}]} \end{aligned} \quad (3.16)$$

2 пов'язано з диференціальною схемою.

Вони поєднуються на одному кроці, як описано нижче.

$$\begin{aligned} &noise_{driver amp resistors} = \\ &\sqrt{\frac{\left(2 \times 4 \times 4 \times k \times T \times \frac{R_{driver}}{2} \times ENB \right) + [V_{rms}]}{(2 \times 4 \times k \times T \times R_{driver} \times ENB)}} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Шум, створюваний драйвером підсилювача, фільтрується комбінованим фільтром, створеним вхідним RC-фільтром АЦП і RC дискретизації АЦП.

Фільтр другого порядку

$$ENB \approx \frac{1.22}{2\pi \times R_{ADC filter} (C_{ADC filter} + C_{ADC sampling})} \quad (3.18)$$

$$noise_{driver\ amp} = NSD_{driver} \sqrt{9 \times ENB} [V_{rms}] \quad (3.19)$$

9 пов'язане з посиленням шуму підсилювача:

$$\left(1 + \frac{R_{driver}}{\frac{R_{driver}}{2}}\right)^2 = 3^2 \quad (3.20)$$

Шум, створюваний резистором у мережі вхідного RC-фільтра АЦП, фільтрується комбінованим фільтром, створеним вхідним RC-фільтром АЦП і RC дискретизації АЦП.

Фільтр другого порядку

$$ENB \approx \frac{1.22}{2\pi \times R_{ADC\ filter} (C_{ADC\ filter} + C_{ADC\ sampling})} \quad (3.21)$$

$$noise_{ADC\ input\ RC\ filter} = \sqrt{(2 \times 4 \times k \times T \times R_{ADC\ input\ filter} \times ENB)} [V_{rms}] \quad (3.22)$$

2 пов'язано з диференціальною схемою.

Шум, створюваний АЦП, можна безпосередньо додати та обчислити з таблиці даних.

$$noise_{ADC} = \frac{(full\ scale)}{2 \times \sqrt{2} \times 10^{\frac{SNR}{20}}} \quad (3.23)$$

Повномасштабну амплітуду та відношення сигнал/шум (SNR) в одиницях dBFS можна знайти в таблиці даних.

3.4 Розрахунок шуму сигнального ланцюга

Щоб додати всі внески шуму, використовується метод кореня суми квадрата:

$$noise_{total} = \sqrt{noise_{gain\ stage}^2 + noise_{signal\ filter}^2 + noise_{driver\ amp}^2 + noise_{driver\ amp\ resistors}^2 + noise_{ADC\ input\ RC\ filter}^2 + noise_{ADC}^2} [V_{rms}] \quad (3.24)$$

Спектральну щільність шуму (NSD) можна розрахувати з урахуванням частоти дискретизації АЦП.

$$NSD = \frac{noise_{total}}{\sqrt{\frac{ADC_{sampling\ frequency}}{2}}} \left[\frac{V}{\sqrt{Hz}} \right] \quad (3.25)$$

NSD на різних частинах можна додати безпосередньо, лише якщо вони вимірюються в тій самій смузі пропускання.

Вибір значень резистора сигнального фільтра залежить від вимог програми щодо шуму та споживаної потужності ланцюга сигналу та досліджуваної смуги пропускання.

Для подальшого аналізу шуму I&V, пропускної здатності та потужності:

$$Input\ Referred\ Noise = \frac{noise_{total}}{PGA_{gain}} \quad (3.26)$$

$$\text{Input Referred Noise Density} = \frac{\text{Input Referred Noise}}{\frac{FS}{2}} \quad (3.27)$$

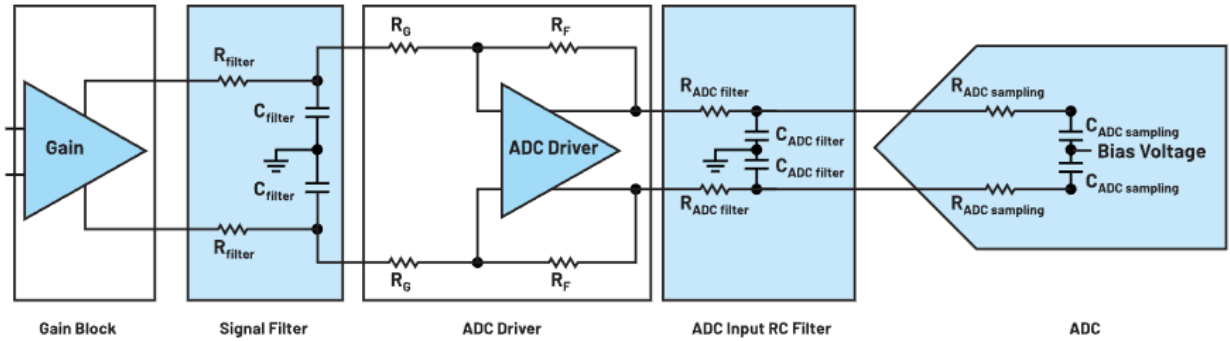


Рисунок 3.5 – Підсумкова схема

Таблиця 3.2. Індивідуальні джерела шуму ланцюга диференціального сигналу

Блок посилення	$\text{noise}_{\text{gain stage}} = \text{NSD} \times \text{PGA}_{\text{gain}} \times \sqrt{\text{ENB}}$
Фільтр сигналу	$\text{noise}_{\text{signal filter}} = \sqrt{2 \times 4 \times k \times T \times \frac{R_{\text{driver}}}{2} \times \text{ENB}} [V_{\text{rms}}]$
Драйвер АЦП	$\text{noise}_{\text{driver amp resistors}} = \sqrt{\left(2 \times 4 \times 4 \times k \times T \times \frac{R_{\text{driver}}}{2} \times \text{ENB}\right) + (2 \times 4 \times k \times T \times R_{\text{driver}} \times \text{ENB})}$ $\text{noise}_{\text{driver amp}} = \text{NSD}_{\text{driver}} \sqrt{9 \times \text{ENB}}$
Вхідний RC-фільтр АЦП	$\text{noise}_{\text{ADC input RC filter}} = \sqrt{(2 \times 4 \times k \times T \times R_{\text{ADC input filter}} \times \text{ENB})} [V_{\text{rms}}]$
АЦП	$\text{noise}_{\text{ADC}} = \frac{(\text{full scale})}{2 \times \sqrt{2} \times 10^{\frac{\text{SNR}}{20}}}$

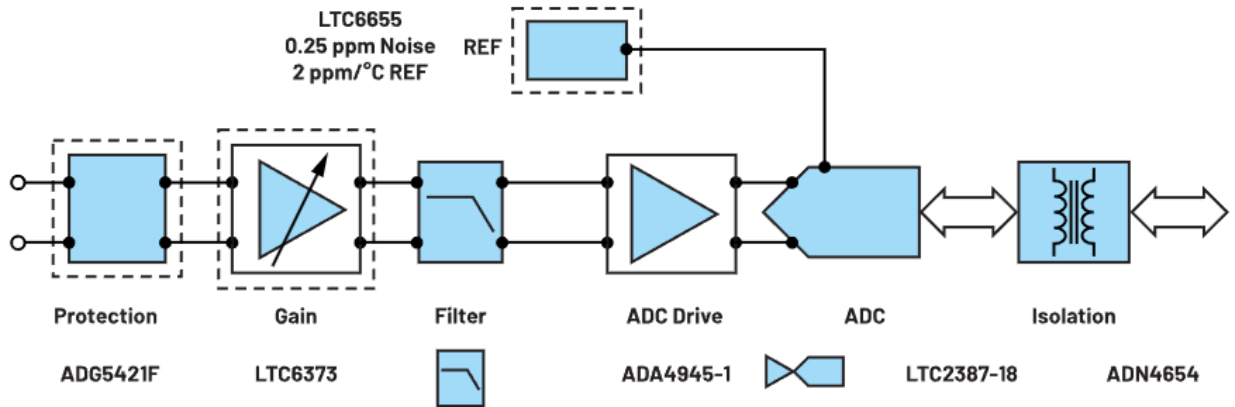


Рисунок 3.6 – Робочий зразок

Таблиця 3.3. Внесок шуму на різних етапах із прикладу на рисунку 3.6

Gain	Noise _{gain} stage LTC637 3	Noise signal filter	Noise driver amp resistors	Noise driver amp ADA49 45	Noise ADC input RC Filter	Noise _{ADC} LTC2387	Noise _{total}
0.25	8.30	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	91.3
0.5	10.5	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	91.6
1	14.8	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	92.2
2	19.3	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	93.0
4	30.1	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	95.8
8	53.3	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	105
16	101	2.27	61.9	47.6	7.99	45.9	136

Усі наведені вище вимірювання є середньоквадратичними значеннями мкВ

$$R_{filter} = R_G = \frac{R_{driver}}{2} = 250 \, \Omega, R_{driver} = R_F = 500 \, \Omega, R_{ADC \, filter} = 25 \, \Omega$$

Висновки до розділу 3

Виконуючи ці кроки, розробник зможе проаналізувати та розрахувати шумові характеристики вибраного сигнального ланцюга. Аналіз дає корисну інформацію про те, як різні компоненти сигнального ланцюга впливають на ефективність шуму та як їх можна мінімізувати (наприклад, зміна розміру резисторів, зміна компонента або мінімізація еквівалентної смуги шуму). Таким чином, розробник може створити пропозицію, яка гарантує, що сигнальний ланцюг виділяє найменший цікавий сигнал, що допомагає заощадити час і гроші.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Однією із характерних особливостей сучасного розвитку суспільства є зростання сфер діяльності людини, в яких використовуються інформаційні технології. Широке розповсюдження отримали персональні комп'ютери. Однак їх використання загострило проблеми збереження власного та суспільного здоров'я, вимагає вдосконалення існуючих та розробки нових підходів до організації робочих місць, проведення профілактичних заходів для запобігання розвитку негативних наслідків впливу ПК на здоров'я користувачів. Оскільки виконання завдання дипломного проекту передбачено на ПК, то аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників виконується для обчислювальної техніки. При роботі з обчислювальною технікою змінюються фізичні і хімічні фактори навколишнього середовища: виникає статична електрика, електромагнітне випромінювання, змінюється температура і вологість, рівень вмісту кисню й озону в повітрі. Також недотримання вимог безпеки призводить до того, що при роботі за комп'ютером працівник може відчувати дискомфорт: виникають головні болі й різь в очах, з'являються втома й дратівливість. У деяких людей порушується сон, апетит, погіршується зір, починають хворіти руки, шия, поперек тощо. При ненормованій роботі можливе нервово виснаження. Забезпечення цих умов покладається на власника або уповноважений ним орган (далі роботодавець). Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці, що чітко врегульовані законодавством України.

4.1 Аналіз стану умов праці

Обчислювальна техніка при функціонуванні має наступні експлуатаційні характеристики:

- робоче живлення 220 В;
- частота живильної мережі 50 Гц;
- споживана потужність в межах 300 Вт.

При роботі на персональних ПЕОМ користувач наражається на небезпеку ураження електричним струмом. Приміщення для обчислювальної техніки за ступенем небезпеки ураження людини електричним струмом відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, згідно з ДСТУ Б А.3.2-13: 2011 «Будівництво. Електробезпека. Загальні вимоги» [33]. На користувачів під час роботи з комп'ютерною технікою можуть діяти такі види небезпек:

- ураження електричним струмом;
- енергетична небезпека (виникає через коротке замикання: опіки, електрична дуга, викид розплавленого металу);
- небезпека загоряння; термонебезпека (дія високих температур через нагрівання конструктивних елементів);
- механічна небезпека (травми через падіння, дію рухомих частин, поріз за гострі частини конструктивних елементів);
- небезпека випромінювання (дія звукового (акустичного), високочастотного, інфрачервоного, ультрафіолетового й іонізуючого випромінювання, а також видимого світла когерентної високої інтенсивності (лазерного випромінювання));
- хімічна небезпека (контакт із деякими хімікатами, які використовують для того, щоб обслуговувати обладнання, або від вдихання їх парів).

Згідно з ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація [34], при обслуговуванні ПЕОМ мають місце фізичні та психофізичні небезпеки, а також шкідливі виробничі фактори:

- підвищений значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювання;
- підвищений або знижена температура повітря робочої зони;
- підвищений або знижена рухливість повітря;
- підвищений або знижена вологість повітря;
- відсутність або нестача природного світла;
- підвищений пульсація світлового потоку;
- недостатність освітлення робочого місця;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- розумове перенапруження;
- емоційне навантаження;
- монотонність праці.

4.1 Вимоги до приміщення

Для захисту людей від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, передбачаються наступні заходи [35]:

- захисне заземлення або занулення металевих частин електроустановок, які доступні для дотику людини й не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку:
- захисне відключення;
- електричний поділ мереж;
- використання малої напруги;

- ізоляція струмоведучих частин;
- огорожу електроустановок;
- шина заземлення виконується провідником з опором не більше 4-х Ом.

Завдання захисного заземлення - усунення небезпеки ураження струмом у випадку дотику до корпусу та інших струмоведучих металевих частин електроустановок, які опинилися під напругою.

Розрахунок заземлюючого контуру виконується виходячи з умови:

$$R_3 = \frac{R_3 * R_{\Pi}}{R_{\Pi} * n * \eta_3 * R_3 * \eta_{\Pi}} \leq 4 \text{ Ом}, \quad (4.1)$$

де R_3 - опір заземлювача (стержня, труби, куточка і т.д.), Ом;

R_{Π} - Опір лінії, що з'єднує заземлювачі, Ом;

n - кількість заземлювачів;

η_3 і η_{Π} - Коефіцієнти екранування відповідно заземлювача і з'єднує смуги ($\eta_3 = 0,2 \div 0,9$; $\eta_{\Pi} = 0,1 \div 0,7$).

Опір заземлювача розраховується за формулою 4.2

$$R_3 = \frac{\rho}{2 * \pi * l} \left(\ln \frac{2 * l}{d} + \frac{1}{2} * \ln \frac{4 * t + 1}{4 * t - 1} \right), \quad (4.2)$$

де ρ - питомий опір ґрунту (взяти з довідкової літератури);

l - довжина заземлювача (для труб 2-3 м, для стрижнів до 10 м), м;

d - діаметр заземлювача (для стрижнів 0,01 - 0,03 м, для труб 0,03 - 0,05 М);

t - відстань від середини забитого в ґрунт заземлювача до рівня землі (необхідно враховувати, що відстань від верхнього кінця заземлювача до поверхні землі має бути не менше 0,5), м.

Розрахуємо опір заземлювача:

$$R_3 = \frac{60}{2 * \pi * 3} \left(\ln \frac{2 * 3}{0.03} + \frac{1}{2} * \ln \frac{4 * 1 + 3}{4 * 1 - 3} \right) = 19.96, \quad (4.3)$$

Опір лінії, що з'єднує заземлювачі розраховується за формулою 4.4

$$R_{\Pi} = \frac{\rho}{2 * \pi * l} * \ln \frac{2 * L^2}{b * t}, \quad (4.4)$$

де L - довжина лінії, що з'єднує заземлювачі (при контурному заземленні вона приблизно дорівнює периметру виробничої будівлі), м;

b - ширина смуги (0,03 - при прокладанні всередині будівлі і 0,05 - при прокладанні поза будівлею), м;

t - глибина заземлення від рівня землі (0,5 м.).

Розрахуємо опір лінії, що з'єднує заземлювачі

$$R_{\Pi} = \frac{60}{2 * \pi * 3} * \ln \frac{2 * 50^2}{0.03 * 5} = 14.37, \quad (4.5)$$

Необхідна кількість заземлювачів, розраховується за формулою 1.6

$$n = \frac{2 * R_3}{4 * \eta_3}, \quad (4.6)$$

де 4 - допустимий загальний опір;

2 - коефіцієнт сезонності.

Розрахуємо необхідну кількість заземлювачів:

$$n = \frac{2 * 19.9}{4 * 0.5} = 19.9 \approx 20, \quad (4.7)$$

Округлимо результат в більшу сторону і отримуємо необхідну кількість заземлювачів - 20. Маючи всі необхідні дані розрахуємо опір заземлюючого контуру.

$$R_3 = \frac{19.96 * 14.37}{14.37 * 20 * 0.5 + 19.96 * 0.4} = 1.89 \leq 4 \text{ Ом}, \quad (4.8)$$

Опір заземлюючого контуру 1,89 Ом, що відповідає умові $R_3 < 4 \text{ Ом}$.

4.3 Вимоги до організації робочого місця

Робочий стіл на досліджуваному місці містить достатньо простору для ніг. Крісло, що використовується в якості робочого сидіння, є підйомно-поворотним, має підлокітники і можливість регулювання за висотою і кутом нахилу спинки, також воно м'яке і виконане з екологічної шкіри, що дає можливість працювати у комфорті [36]. Екран монітору знаходиться на відстані 0.8 м, клавіатура має можливість регулювання кута нахилу 5-15°. Отже, за всіма параметрами робоче місце відповідає нормативним вимогам.

Приміщення кабінету знаходиться на четвертому поверсі чотирьохповерхової будівлі і має об'єм 87,5 м³, площу — 32 м². У цьому кабінеті обладнано шість робочих місць, з них чотири укомплектовані ПК.

Температура в приміщенні протягом року коливається у межах 18–24°C, відносна вологість — близько 50%. Швидкість руху повітря не перевищує 0,2 м/с. Шум на робочому місці знаходиться на рівні 50 дБА. Система вентилявання приміщення — природна неорганізована, а опалення — централізоване.

Розміщення вікон забезпечує природне освітлення з коефіцієнтом природного освітлення не менше 1,5%, а загальне штучне освітлення, яке здійснюється за допомогою восьми люмінесцентних ламп, забезпечує рівень освітленості не менше 200 Лк.

У кабінеті є електрична мережа з напругою 220 В, яка створює небезпеку ураження електричним струмом. ПК та периферійні пристрої можуть бути джерелами електромагнітних випромінювань, аерозолів та шкідливих речовин (часток тонеру, оксидів нітрогену та озону).

За ступенем пожежної безпеки приміщення належить до категорії В. Кабінет має бути оснащений переносним вуглекислотним вогнегасником ВВК-5.

Наявна аптечка для надання долікарської допомоги, а також у кабінеті роблять вологе прибирання та щоденно провітрюють приміщення.

4.4 Рекомендації із пожежної профілактики

Пожежі в робочому приміщенні становлять небезпеку, тому що пов'язані як з матеріальними втратами, так і з відмовою засобів обчислювальної техніки.

Пожежа може виникати при внесенні джерела запалювання в горючу середу. Горючими матеріалами в приміщенні, де розташовані обчислювальні засоби є будівельні матеріали, віконні рами, двері, підлоги, меблі, ізоляція силових і сигнальних кабелів, радіотехнічні деталі, конструктивні елементи з пластичних матеріалів, рідини для очищення елементів і вузлів ЕОМ від забруднень:

- 1) поліамід – матеріал корпусу мікросхем, горюча речовина, температура самозаймання 420 °С,
- 2) полівінілхлорид – ізоляційний матеріал, горюча речовина, температура запалювання 335 °С, температура самозаймання 530 °С,
- 3) стеклотекстоліт ДЦ – матеріал друкарських плат, важкогорючий матеріал, показник горючості 1.74, не схильний до температурного самозаймання,
- 4) пластикат кабельний №.489 – матеріал ізоляції кабелів, горючий матеріал, показник горючості більше 2.1,

5) деревина – будівельний і обробний матеріал, з якого виготовлені меблі, горючий матеріал, показник горючості більше 2.1, температура запалювання 255 °С, температура самозаймання 399 °С.

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [37] таке приміщення відноситься до категорії "В" (пожежонебезпечної) .

Пожежа може виникнути в результаті утворення джерела запалювання (іскри і дуги короткого замикання, порушення ізоляції, що приводить до короткого замикання, перегріву радіодеталей внаслідок тривалого перевантаження) і внесення його в горючу середу.

При повному згорянні органічних сполук утворюється (CO_2 , SO_2 , H_2O , N_2), а при згорянні неорганічних сполук - оксиди. Залежно від температури плавлення продукції, реакції диму можуть знаходитися у вигляді розплаву (Al_2O_3 , TiO_2), або підніматися в повітря у вигляді диму (P_2O_5 , Na_2O , MgO). Розплавлені тверді частинки створюють світність полум'я. Склад продуктів неповного згорання горючих речовин складний і різноманітний. Це можуть бути горючі речовини - H_2 , CO , CH_4 та інші; атомарний водень і кисень; різні радикали - OH , CN та інші. Продуктами неповного згорання можуть бути також оксиди азоту, спирти альдегіди, кетони і високотоксичні з'єднання, наприклад, синильна кислота.

Для захисту персоналу від дії небезпечних і шкідливих чинників пожежі проектом передбачається застосування промислового протигаза, що фільтрує, з коробкою марки В (жовтий).

Небезпека розвитку пожежі на обчислювальному центрі обумовлюється застосуванням розгалужених систем вентиляції і кондиціонування, розвиненою системою електроживлення ЕОМ. Небезпека загорання в ЕОМ пов'язана із значною кількістю щільно розташованих на монтажній платі і блоках електронних вузлів і схем, електричних і комутаційних кабелів, резисторів, конденсаторів, напівпровідникових діодів і транзисторів. Висока щільність елементів в електронних схемах призводить до значного підвищення температури окремих вузлів (80...100 °С), що може

служити причиною запалювання ізоляційних матеріалів. Слабкий опір ізоляційних матеріалів дії температури може викликати порушення ізоляції і привести до короткого замикання.

Пожежна безпека при застосуванні ЕОМ забезпечується:

- 1) системою запобігання пожежі;
- 2) системою протипожежного захисту;
- 3) організаційно-технічними заходами.

Запобігти утворенню горючого середовища (замінити горючі речовини і матеріали на негорючі і важкогорючі) не надається технічно можливим. Тому проектом передбачаються способи і засоби запобігання утворення (або внесення) в горюче середовище джерел запалювання, таких як:

- 1) застосування електроустаткування, відповідної пожежонебезпечної і вибухонебезпечної зонам відповідно до ПУЕ;
- 2) застосування в конструкції швидкодійних засобів захисного відключення можливих джерел запалення;
- 3) виключення можливості появи іскрового розряду в горючому середовищі з енергією, рівної і вище мінімальної енергії запалення.

Для протипожежного захисту проектом передбачається використання автоматичну пожежну сигналізацію із застосуванням датчика-сповіщувача РІД-1 (сповіщувач димовий ізоляційний) в кількості 1 шт. і застосуванням первинних засобів пожежогасіння. Площа контролювана сповіщувачем 150 м². Відповідно до норм первинних засобів пожежогасіння пропонується використовувати:

–ручний вуглекислий вогнегасник ОУ-5 в кількості 1 шт.

–повість 1×1 м², кошму 2×1,5 м² або азбестове полотно 2×2 м² в кількості 1 шт.

В якості організаційно-технічних заходів рекомендується проводити навчання робочого персоналу на тему пожежної безпеки.

4.5 Мікроклімат

Трудова діяльність людини завжди протікає в певних метеорологічних умовах, які визначаються поєднанням температури повітря, швидкості його руху і відносної вологості, тиском і тепловим випромінюванням від нагрітих поверхонь. Оскільки експлуатація проектного програмного засобу відбувається в приміщенні, то ці показники в сукупності (за винятком тиску) називаються мікрокліматом виробничого приміщення. В даний час основним нормативним документом нормалізації мікроклімату є ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [38] та ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» [39].

Тяжкість праці характеризує сукупну дію всіх елементів, що складають умови праці, на працездатність людини, його здоров'я, життєдіяльність і відновлення робочої сили. У такому представленні поняття тяжкості праці однаково застосовне як до розумової, так і до фізичної праці. Відповідно з ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» [40] тяжкість роботи персоналу, який обслуговує ЕОМ, відноситься до легкої категорії 1а (роботи, що виконуються сидячи, не вимагаючи систематичного фізичного напруження і перенесення важкостей). Оптимальні норми мікроклімату в робочій зоні, забезпечувані для робіт легкої категорії 1а приведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1– Оптимальні норми мікроклімату

Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с, не більш
Холодний	22 – 24	60 – 40	0,1
Теплий	23 – 25	60 – 40	0,1

У приміщенні, де знаходяться ЕОМ, повітрообмін реалізується за допомогою природної організованої вентиляції (вентиляційні шахти) і установки кондиціонера. Цей метод забезпечує приток потрібної кількості свіжого повітря, що визначається в ДБН (30 кубічних метрів на годину на одного працюючого).

Для захисту від електромагнітного випромінювання передбачаються наступні заходи:

–застосування нових плазмових моніторів;

–віддалення робочого місця не менше, ніж на 0,4 – 0,5 м, оскільки напруженість електричного поля зменшується при віддаленні від джерела поля;

–встановлення раціональних режимів роботи персоналу (обмеження часу перебування);

–раціональне розміщення в робочому приміщенні устаткування, що випромінює електромагнітну енергію.

Оскільки рівень шуму не перевищує гранично допустимих величин, які встановлені санітарними нормами, заходи для зниження шуму не проводяться.

Для зниження стомлюваності обслуговуючого персоналу в приміщеннях, де розташовані обчислювальні засоби, передбачається використовувати спокійні колірні поєднання і покриття, що не дають відблисків.

Світло є природною умовою існування людини. Воно впливає на стан вищих психічних функцій і фізіологічні процеси в організмі. Хороше освітлення діє тонізуюче, створює гарний настрій, покращує протікання основних процесів вищої нервової діяльності.

Збільшення освітленості сприяє поліпшенню працездатності навіть в тих випадках, коли процес праці практично не залежить від зорового сприйняття. При поганому освітленні людина швидко втомлюється, працює

менш продуктивно, виникає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків.

У проекті, що розробляється, передбачається використовувати суміщене освітлення, рівень якого відповідає ДБН В.2.5-28:2018 [41]. У світлий час доби використовуватиметься природне освітлення приміщення через віконні отвори, в решту часу використовуватиметься штучне освітлення. Штучне освітлення створюється газорозрядними лампами.

Розрахунок штучного освітлення виробляється по коефіцієнтах використання світлового потоку, яким визначається потік, необхідний для створення заданої освітленості при загальному рівномірному освітленні. Розрахунок кількості світильників N виробляється по формулі (4.9):

$$N = \frac{E \cdot l \cdot m \cdot Z \cdot K}{U \cdot M \cdot F} \quad (4.9)$$

де E – нормована освітленість – 200 лк;

l – довжина кімнати – 8 м;

m – ширина кімнати – 4 м;

Z – поправочний коефіцієнт світильника (для стандартних світильників $Z = 1.1 - 1.3$) приймаємо рівним 1,2;

K – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в процесі експлуатації – 1,5;

U – коефіцієнт використання, залежний від типу світильника, показника індексу приміщення і т.п. – 0,55

M – число люмінесцентних ламп в світильнику – 1;

F – світловий потік лампи – 5400 лм.

Підставивши числові значення у формулу (4.9), отримуємо:

$$N = \frac{200 \cdot 8 \cdot 4 \cdot 1,2 \cdot 1,5}{5400 \cdot 0,55 \cdot 1} \approx 3,8 \quad (4.10)$$

Вибирається кількість світильників N , що дорівнює 4. Схема розташування світильників показана на рис. 4.1.

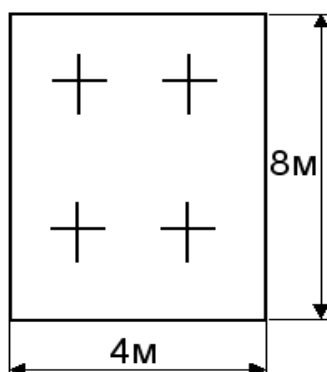


Рис. 4.1 – Схема розташування світильників

4.6 Охорона навколишнього природного середовища

Діяльність за темою магістерської роботи, а саме робота за комп'ютером в процесі її виконання впливає на навколишнє природне середовище і регламентується нормами діючого законодавства: Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» [41], Законом України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» [42], Законом України «Про відходи» [43].

Основним екологічним аспектом в процесі діяльності за даними спеціальностями є процеси впливу на атмосферне повітря та процеси поводження з відходами, які утворюються, збираються, розміщуються, передаються на видалення (знешкодження), утилізацію, тощо в ІТ галузі.

Вплив на атмосферне повітря при нормальних умовах праці не оказує, бо не має в приміщенні сканерів, принтерів та інших джерел викиду забруднюючих речовин в повітря робочої зони.

В процесі діяльності комп'ютера виникають процеси поводження з відходами ІТ галузі. Нижче надано перелік відходів, що утворюються в процесі роботи:

–відпрацьовані люмінесцентні лампи - І клас небезпеки;

- батареї та акумулятори (малі) -III клас небезпеки;
- змінні носії інформації - IV клас небезпеки;
- відходи друкуючих пристроїв - IV клас небезпеки;
- відпрацьований ізолюючий матеріал, дроти та кабелі - IV клас небезпеки;
- макулатура - IV клас небезпеки;
- побутові відходи - IV клас небезпеки.

Відходи в міру їх накопичення збирають у тару, відповідну класу небезпеки, з дотриманням правил безпеки, після чого доставляють до місця тимчасового зберігання відходів відповідно до затвердженої схеми їх розміщення. Зазначені для зберігання відходів місця чи об'єкти повинні використовуватися лише для заявлених відходів.

Не допускається зберігання відходів у невстановлених схемою місцях, а також перевищення норм тимчасового зберігання відходів.

Способи тимчасового зберігання відходів визначаються видом, агрегатним станом і класом небезпеки відходів:

- відходи I класу небезпеки зберігаються в герметичній тарі (сталеві бочки, контейнери). У міру наповнення тару з відходами закривають герметично сталевий кришкою;
- відходи III класу небезпеки зберігаються в тарі, яка забезпечує локалізацію зберігання, дозволяє виконувати вантажно-розвантажувальні і транспортні роботи і виключає поширення в ОС шкідливих речовин;
- відходи IV класу небезпеки можуть зберігатися відкрито на промисловому майданчику у вигляді конусоподібної купи, звідки їх автотранспортом перевантажують у самоскид і доставляють на місце утилізації або захоронення.

З метою визначення та прогнозування впливу відходів на навколишнє середовище, своєчасного виявлення негативних наслідків, їх запобігання відповідно до Закону України «Про відходи» повинен здійснюватися моніторинг місць утворення, зберігання, і видалення відходів.

Висновки до розділу 4

В результаті проведеної роботи було зроблено аналіз умов праці, шкідливих та небезпечних чинників, з якими стикається робітник. Було визначено параметри і певні характеристики приміщення для роботи над запропонованим проектом написаному в дипломній роботі, описано, які заходи потрібно зробити для того, щоб дане приміщення відповідало необхідним нормам і було комфортним і безпечним для робітника. Приведені рекомендації щодо організації робочого місця, а також важливу інформацію щодо пожежної та електробезпеки. Була наведено розміри приміщення та наведено значення температури, вологості й рухливості повітря, необхідна кількість і потужність ламп та інші параметри, значення яких впливає на умови праці робітника, а також – наведені інструкції з охорони праці, техніки безпеки при роботі на комп'ютері.

А також визначені основні екологічні аспекти впливу на навколишнє природне середовище та зазначені заходи щодо поводження з ними.

ВИСНОВКИ

Дослідження показало, що різні види шуму, включаючи термічний, шотовий, та електромагнітні перешкоди, мають істотний вплив на якість радіопередачі. Кожен тип має свої унікальні характеристики та вимагає специфічних методів мінімізації.

Встановлено, що вимірювання SNR та BER є ефективними індикаторами якості сигналу. Спектральний аналіз дозволяє ідентифікувати частотні діапазони, що найбільше піддаються впливу шуму.

Моделювання впливу перешкод підтвердило, що теоретичні моделі здатні адекватно передбачити реальні умови передачі та допомогти в розробці стратегій зниження шуму.

Дослідження виявило, що застосування технік фільтрації, таких як адаптивні фільтри та методи цифрової обробки сигналів, є ефективними для зниження впливу шуму.

Оцінка сучасних радіосистем вказує на те, що вони стають все більш вразливими до шуму через зростаючу щільність мережі та різноманітність джерел перешкод.

Проведено аналіз шуму для сигнального ланцюга, який дає корисну інформацію про те, як різні компоненти сигнального ланцюга впливають на ефективність шуму та як їх можна мінімізувати (наприклад, зміна розміру резисторів, зміна компонента або мінімізація еквівалентної смуги шуму). Таким чином, розробник може створити пропозицію, яка гарантує, що сигнальний ланцюг виділяє найменший цікавий сигнал, що допомагає заощадити час і гроші.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Manning, Catherine (6 травня 2015). What are radio waves?. NASA (АНГЛ.).
2. Ellingson, Steven W. (2016). Radio Systems Engineering. Cambridge University Press. с. 16–17. ISBN 978-1316785164.
3. Gosling, William (1998). Radio Antennas and Propagation. Newnes. с. 2, 12. ISBN 0750637412.
4. Shore, Bruce W. (2020). Our Changing Views of Photons: A Tutorial Memoir. Oxford University Press. с. 54. ISBN 9780192607645.
5. Harman, Peter Michael (1998). The natural philosophy of James Clerk Maxwell. Cambridge, UK: Cambridge University Press. с. 6. ISBN 0-521-00585-X.
6. Edwards, Stephen A. Heinrich Hertz and electromagnetic radiation. American Association for the Advancement of Science.
7. "Modulation Methods | Electronics Basics | ROHM". www.rohm.com. Retrieved 2020-05-15.
8. Dobre, Octavia A., Ali Abdi, Yeheskel Bar-Ness, and Wei Su. Communications, IET 1, no. 2 (2007): 137–156. (2007). "Survey of automatic modulation classification techniques: classical approaches and new trends" (PDF). IET Communications. 1 (2): 137–156. doi:10.1049/iet-com:20050176.
9. Lin, James C. (August 20, 2021). Auditory Effects of Microwave Radiation. Chicago: Springer. p. 326. ISBN 978-3030645434.
10. Justesen, Don (March 1, 1975). "Microwaves and Behavior" (PDF). American Psychologist. Washington, D.C.: American Psychological Association. Archived from the original (PDF) on 2016-09-10. Retrieved October 5, 2021.
11. Justesen, Don (March 1, 1975). "Microwaves and Behavior". American Psychologist. Vol. 30, no. 3. Washington, D.C.: American Psychological

Association. pp. 391–401. doi:10.1037/0003-066x.30.3.391. PMID 1137231. Retrieved October 15, 2021.

12. "Demodulator - Definitions from Dictionary.com". dictionary.reference.com. Retrieved 2008-05-16.

13. Ghostly voices, *New Scientist*, 2 October 1999, retrieved 2017-04-25

14. Charles Sherman; John Butler (2007). *Transducers and Arrays for Underwater Sound*. Springer Science & Business Media. p. 276. ISBN 9780387331393.

15. Michael A. Choma, Marinko V. Sarunic, Changhui Yang, Joseph A. Izatt. Sensitivity advantage of swept source and Fourier domain optical coherence tomography. *Optics Express*, 11(18). Sept 2003.

16. Gabriel L. A. de Sousa; George C. Cardoso (18 June 2018). "A battery-resistor analogy for further insights on measurement uncertainties". *Physics Education*. IOP Publishing. 53 (5): 055001. arXiv:1611.03425. Bibcode:2018PhyEd..53e5001D. doi:10.1088/1361-6552/aac84b. S2CID 125414987. Retrieved 5 May 2021.

17. D. J. Schroeder (1999). *Astronomical optics* (2nd ed.). Academic Press. p. 278. ISBN 978-0-12-629810-9., p.278

18. Jump up to:a b Bushberg, J. T., et al., *The Essential Physics of Medical Imaging*, (2e). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2006, p. 280.

19. Rafael C. González, Richard Eugene Woods (2008). *Digital image processing*. Prentice Hall. p. 354. ISBN 978-0-13-168728-8.

20. Tania Stathaki (2008). *Image fusion: algorithms and applications*. Academic Press. p. 471. ISBN 978-0-12-372529-5.

21. Jitendra R. Raol (2009). *Multi-Sensor Data Fusion: Theory and Practice*. CRC Press. ISBN 978-1-4398-0003-4.

22. John C. Russ (2007). *The image processing handbook*. CRC Press. ISBN 978-0-8493-7254-4.

23. Rose, Albert (1973). *Vision – Human and Electronic*. Plenum Press. p. 10. ISBN 9780306307324.

24. Defining and Testing Dynamic Parameters in High-Speed ADCs — Maxim Integrated Products Application note 728
25. Fixed-Point vs. Floating-Point DSP for Superior Audio — Rane Corporation technical library
26. Tomasz Pander (2013). "An Application of Myriad M-Estimator for Robust Weighted Averaging". Man-Machine Interactions . Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 242. ICMMI. p. 265--272. doi:10.1007/978-3-319-02309-0_28. ISBN 9783319023090.
27. Breeding, Andy (2004). The Music Internet Untangled: Using Online Services to Expand Your Musical Horizons. Giant Path. p. 128. ISBN 9781932340020.
28. "What Is Signal To Noise Ratio?". www.thruways.co. Retrieved 2023-11-09.
29. Alan Walsh. "Voltage Reference Design for Precision Successive-Approximation ADCs." Analog Dialogue, Vol. 47, No. 2, June 2013.
30. Alan Walsh. "Front-End Amplifier and RC Filter Design for a Precision SAR Analog-to-Digital Converter." Analog Dialogue, Vol. 46, No. 4, December 2012.
31. Tim J. Sobering. "Technote 1: Equivalent Noise Bandwidth." Kansas State University. May 1991.
32. MT-048 Tutorial: Op Amp Noise Relationships: 1/f Noise, RMS Noise, and Equivalent Noise Bandwidth. Analog Devices, Inc., 2009.
33. Будівництво. Електробезпека. Загальні вимоги: ДСТУ Б А.3.2-13:2011 – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/z0072-13/paran21>
34. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація: ГОСТ 12.0.003-74 – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=48127 – Дата перегляду: 26.04.2019.

35. Правила безпечної експлуатації електроустановок: НПАОП 40.1-1.01-97 – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0011-98> – Дата перегляду: 31.05.2019.

36. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями: НПАОП 0.00-7.15-18 – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77160 Наказ від 14.02.2018 № 207 Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями

37. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою: ДСТУ Б В.1.1-36:2016 – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65419 – Наказ від 15.06.2016

38. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99 – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>

39. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони: ГОСТ 12.1.005-88 – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6264 – Дата перегляду: 26.04.2019.

40. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/12/V2528-1.pdf>

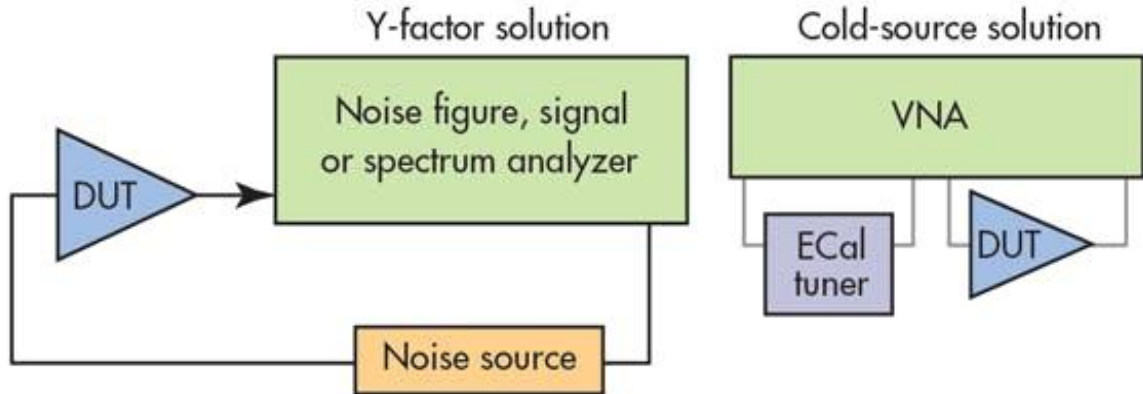
41. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» . Вводиться в дію Поста-ноюю ВР № 1268-ХІІ від 26.06.91, ВВР, 1991, № 41, ст.547. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>

42. Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища». Вводиться в дію Постановою ВР № 4005-ХІІ від 24.02.94, ВВР, 1994, № 27, ст.219. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12>

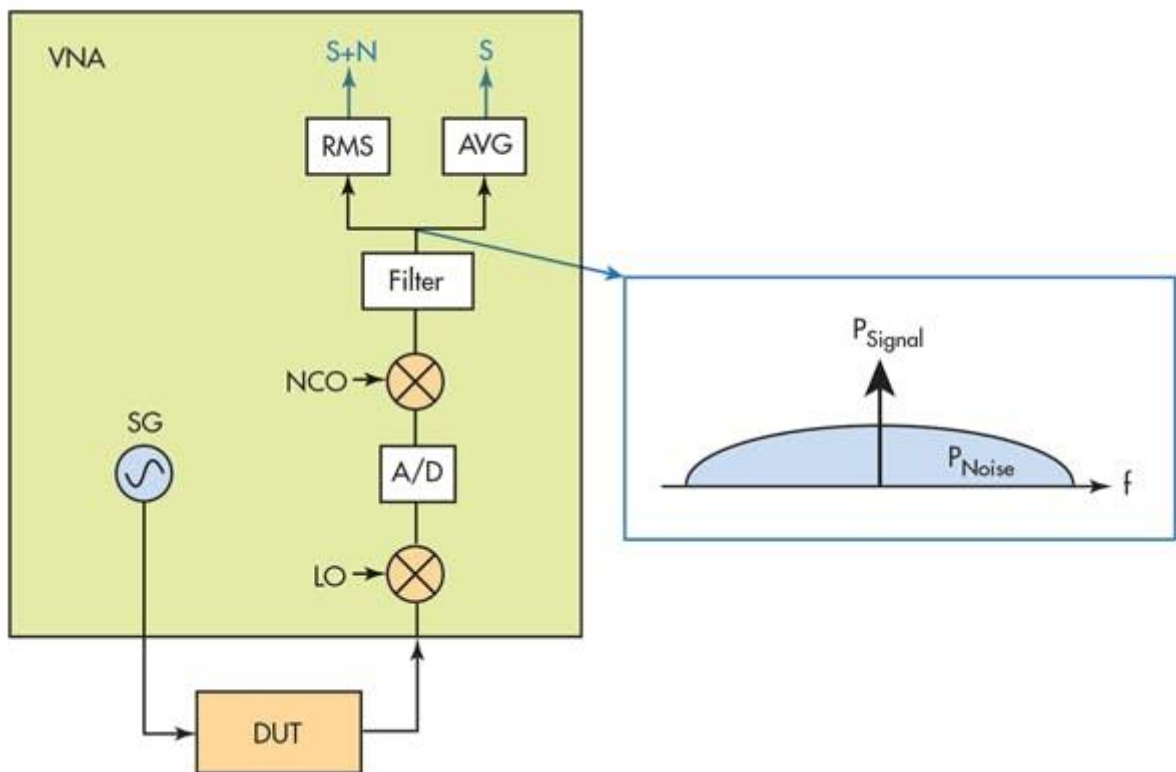
43. Закон України «Про відходи». Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1998, № 36-37, ст.242. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр>

ДОДАТОК А

Схема вимірювання з низьким рівнем шуму



Аналізатори коефіцієнта шуму



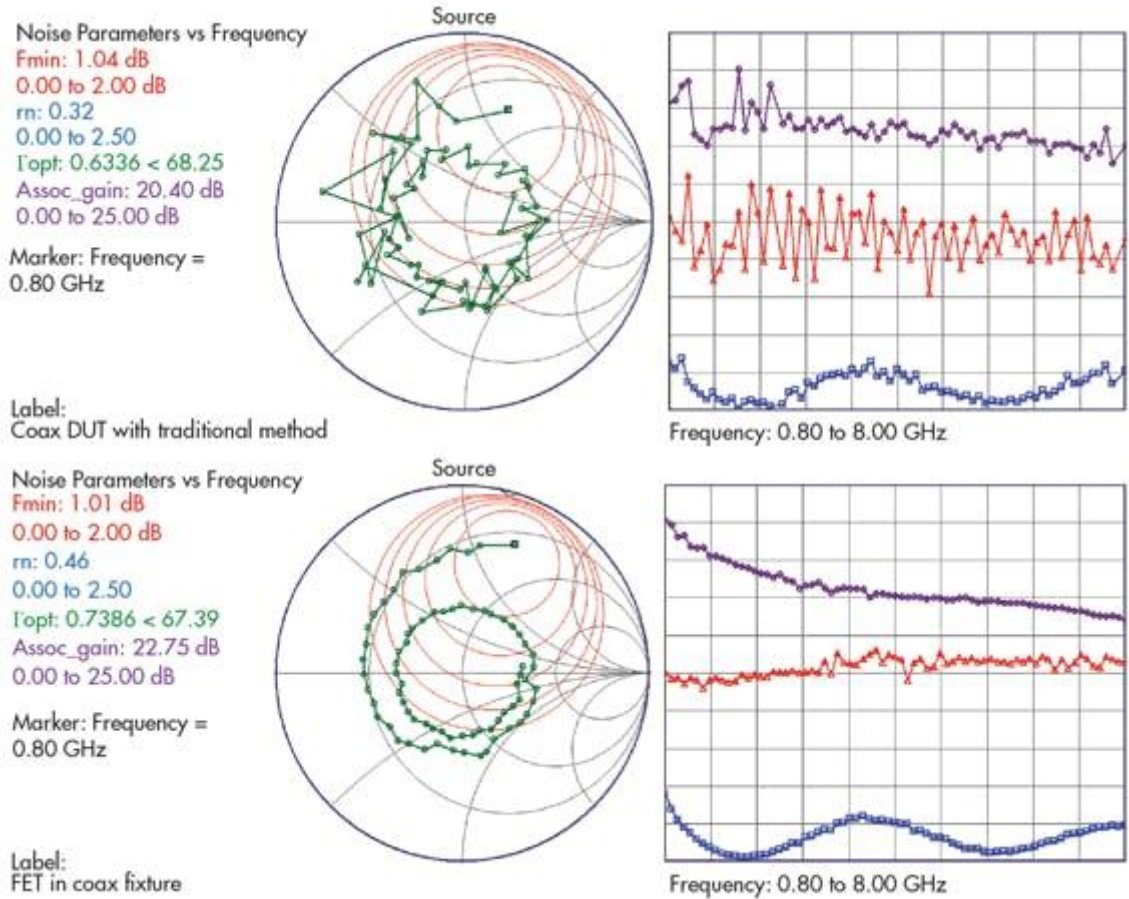
ДОДАТОК Б

Зовнішній тюнер

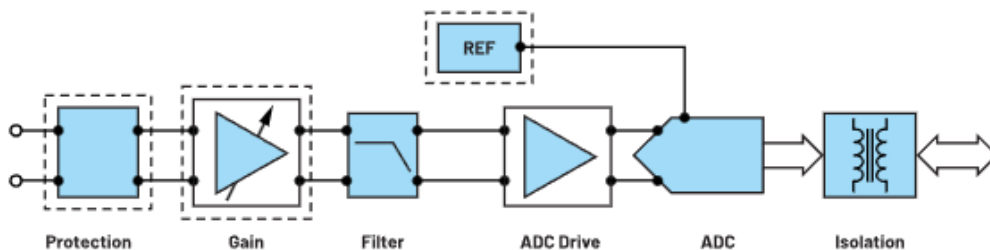


ДОДАТОК В

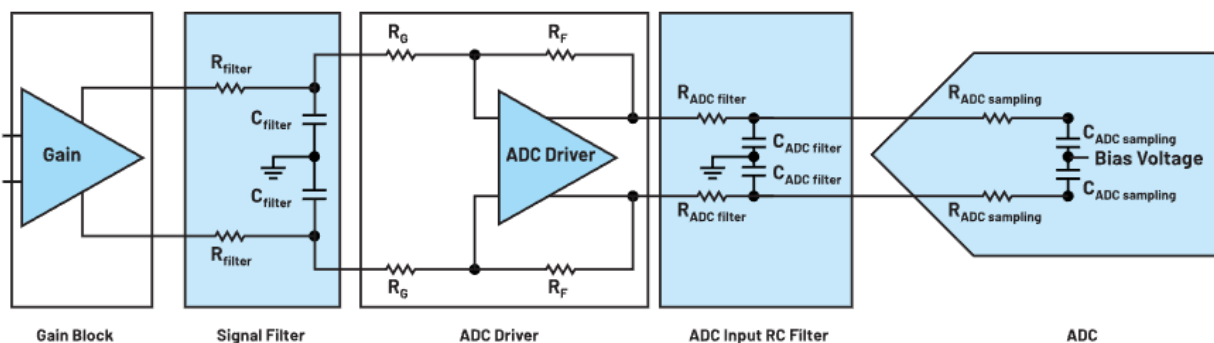
Параметри шуму/частота



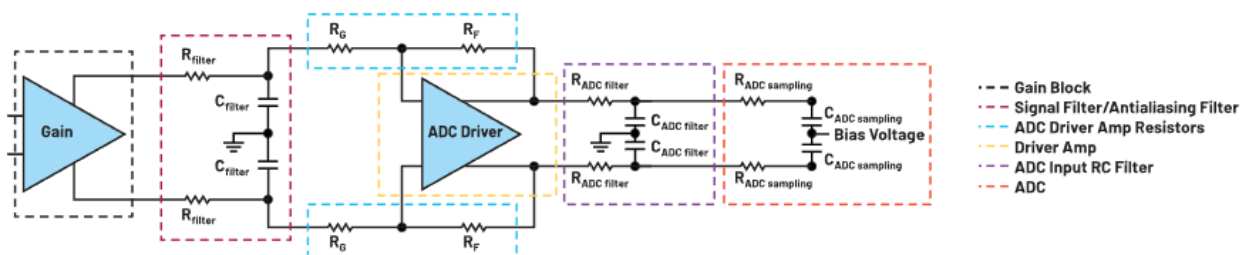
ДОДАТОК Г Сигнальні ланцюги



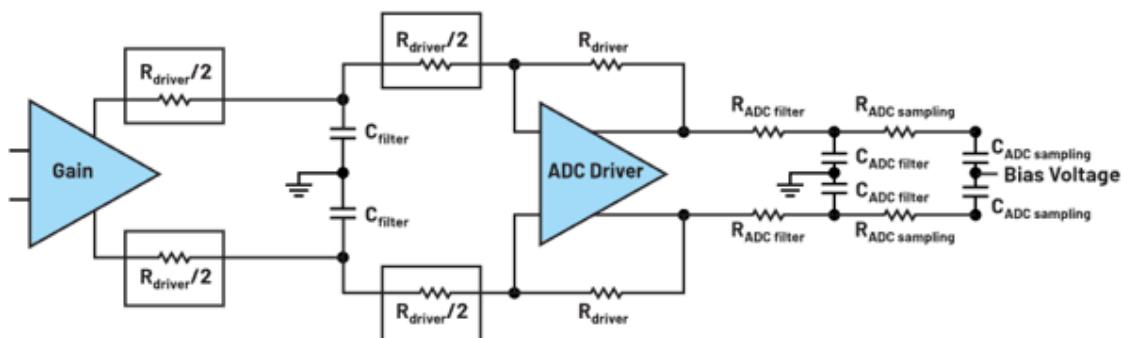
Сигнальний ланцюг із оптимізованою потужністю вимірювання струму/напруги з широкою смугою пропускання.



Спрощений сигнальний ланцюг



Схематичні рішення для аналізу шуму



Встановлення значень резисторів для аналізу шуму