

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

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіотехнічних пристроїв та систем
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 520.8.056

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

С.Я. Мусу (підпис) С.Я. Мусу (ініціали, прізвище)

«18» грудня 2019 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
за спеціалізацією Радіотехнічні інформаційні технології
(код і назва спеціальності)

на тему: Алгоритми фільтрації та змагчування в радіометрах з цифровою обробкою сигналів

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи РТ-81мг
(шифр групи)

Бондаренко Сергій Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

С.Б.М.
(підпис)

Науковий керівник доц. к.т.н. Телешов В.А.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

[підпис]
(підпис)

Консультант ох. праці к.т.н., доц. Каштанов С.Ф.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

[підпис]
(підпис)

Рецензент доц. к.т.н. Рос, к.т.н. Лащевська Н.О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

[підпис]
(підпис)

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

Студент С.Б.М.
(підпис)

Київ – 2019 року

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

Факультет (інститут)

Радіотехнічний факультет
(повна назва)

Кафедра

Кафедра радіотехнічних пристроїв та систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність

172 Телекомунікації та радіотехніка

спеціалізація

Радіотехнічні інформаційні технології
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С.Я. Пшук
(ініціали, прізвище)

«10» вересня 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Бондарію Сергію Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Алгоритми фільтрації та змагнення в радіометрах з цифровою обробкою сигналів

науковий керівник дисертації доц., к.т.н. Таловик В. А.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом по університету від «12» листопада 2019 р. № 388т-с

2. Строк подання студентом дисертації 13.12.2019 р.

3. Об'єкт дослідження Процес визначення температури радіометра

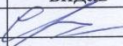
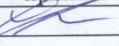
4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) алгоритми змагнення та фільтрації

5. Перелік завдань, які потрібно розробити опилад суцасного стану проблеми, існуючих рішень, розробка алгоритму змагнення на виході синхронного детектора

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу _____
електронна презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій 2 тези доповідей

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов С.Ф., к.т.н., доцент		

9. Дата видачі завдання 10 вересня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літератури	11.09.19 – 23.09.19	виконан
2	Опис принципів побудови розрахунку	24.09.19 – 6.10.19	виконан
3	Опис проходження шрифтових алгоритмів	7.10.19 – 20.10.19	виконан
4	Розробка підсистем	21.10.19 – 3.11.19	виконан
5	Розробка та моделювання алгоритмів	4.11.19 – 06.12.19	виконан
6	Розробка стартап-проєкту	08.12.19 – 5.12.19	виконан
7	Написання розділу охорона праці та безпеки	5.12.19 – 10.12.19	виконан

Студент

С.В.Бондарчук
(підпис)

С.В. Бондарчук
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

[Підпис]
(підпис)

В.А.Томович
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки магістерської дисертації становить 82 сторінок, які включають в себе 6 розділів, 24 ілюстрацій, 23 таблиць, 15 бібліографічних найменувань за переліком джерел посилань.

Ключові слова: радіометр, фільтрація, згладжування, цифрова обробка сигналів, аналогово-цифровий перетворювач, квадратичний детектор, синхронний детектор.

Актуальність теми дослідження. Широке розповсюдження цифрових пристроїв та цифрової обробки сигналів дає можливість замінювати аналогові блоки на цифрові та підвищувати стабільність та точність вимірювання.

Мета та завдання. Підвищення точності вимірювання температури радіометром шляхом розробки алгоритму згладжування та фільтрації.

Об'єкт досліджень. Процес визначення температури радіометром.

Предметом досліджень. Алгоритми згладжування та фільтрації. фільтрація сигналів у радіометрі з цифровою обробкою сигналів.

Методи досліджень. Методи теорії ймовірності, моделювання у середовищі Matlab/Simulink/Mathcad.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації та основні положення, отримані в роботі, представлялися на: II Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті», (м. Київ, 2019); міжнародній науково-технічній конференції «"Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи", (м. Київ, 2019 року)».

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 2 тез доповідей.

ANNOTATION

The volume of the explanatory note of the master's thesis is 82 pages, which include 6 sections, 24 illustrations, 23 tables, 15 bibliographic names according to the list of sources of links.

Keywords: radiometer, filtering, smoothing, digital signal processing, analog-to-digital converter, square-law detector, synchronous detector.

Relevance of the research topic. Widespread use of digital devices and digital signal processing makes it possible to replace analog units with digital ones and increase the stability and accuracy of measurement.

Purpose and tasks. Improving the accuracy of temperature measurement by radiometer by developing a smoothing and filtering algorithm.

Object of research. The process of determining the temperature by the radiometer.

Subject of research. Smoothing and filtering algorithms.

Research methods. Methods of theory of probabilities, modeling in Matlab / Simulink / Mathcad environment.

Testing the results of the thesis. The dissertation materials and the main provisions received in the work were presented at: II scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists "Radio electronics in the XXI century" (Kyiv, 2019); international scientific and technical conference "Radio engineering fields, signals and systems" (Kyiv, 2019).

Publications. According to the results of the dissertation, 2 abstracts were published.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1 ОГЛЯД ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ РАДІОМЕТРІВ.....	12
1.1 Типи радіометрів.....	12
2.2 АЦП в радіометрах	19
2 ПРОХОДЖЕННЯ ШУМОВОГО СИГНАЛУ ЧЕРЕЗ РАДІОМЕТР	22
2.1 Модель шуму	22
2.2. Смуговий фільтр	23
2.3. Квадратичний детектор	24
2.3.1 Знаходження спектральної щільності потужності на виході квадратичного детектора.....	28
2.4. Синхронний детектор	29
2.5. Фільтр НЧ	33
3 ЧУТЛИВІСТЬ РАДІОМЕТРІВ.....	38
4 ФІЛЬТРАЦІЯ ТА ЗГЛАДЖУВАННЯ СИГНАЛІВ.....	43
4.1. Обробка сигналу після синхронного детектора.....	44
4.2. Обробка сигналу після квадратичного детектора.	45
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ	53
5.1 Опис ідеї проекту	56
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	58
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	59
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	63
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	65
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ..	68
6.1 Визначення основних потенційно шкідливих факторів при виконанні науково – дослідницької роботи.....	68
6.2.1 Електробезпека.....	69
6.2.2 Організація робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ.....	71
6.2.3. Виробничий шум	74

6.2.4. Мікроклімат робочої зони.....	75
6.3. Заходи щодо поліпшення умов праці в науково-дослідній лабораторії	76
6.3.1. Повторне заземлення нульового проводу	76
6.3.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	77
ВИСНОВКИ.....	84
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	85
ДОДАТКИ.....	88

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

МК – мікроконтролер

РТВ – радіотеплове випромінювання

ЕШТ – еквівалентна шумова температура

РМПС – радіометричний пристрій

ФНЧ – фільтр низьких частот

СФ – смуговий фільтр

ЦСП – цифровий сигнальний процесор

КД – квадратичний детектор

СД – синхронний детектор

СКВ – середнє квадратичне відхилення

СЩП – спектральна щільність потужності

ВСТУП

Мікрохвильова радіометрія - область науки і техніки, пов'язана з вивченням і розробкою методів і засобів прийому мікрохвильового випромінювання, а також вимірювання його параметрів і характеристик. Основний інструмент радіометрії - радіометр - це високочутливий приймач, який використовується для вимірювання параметрів радіотеплового випромінювання (РТВ), як випадкового процесу. В даний час інструменти і методи радіометрії широко застосовують при рішенні задач дистанційного зондування, метеорології, радіоастрономії, медицини, навігації, пошуково-рятувальних операцій і забезпечення безпеки стратегічних об'єктів, ін. Багато задач, при цьому, принципово не можуть бути вирішені без використання радіометричних методів вилучення інформації, а деякі з них вимагають одночасного (комплексного) застосування активних і пасивних (радіометричних) систем радіолокації.

Широке поширення радіометричних пристроїв (РМПС) викликано рядом переваг, серед яких особливо слід виділити високу інформативність за своєю природою надширокопосмугове (НШС) радіотеплове випромінювання (РТВ), відсутність випромінюваного сигналу і, відповідно, невеликі розміри (визначені, головним чином, розмірами антени) і низька споживана потужність системи, всепогодність і складність її виявлення. РМПС мають і характерні недоліки, зокрема, складність вимірювання дальності до об'єкта з використанням одноантенних радіометричних пристроїв, істотний вплив на результати вимірювань нестабільності входних трактів приймачів і ін.

Різноманітність вирішуваних завдань вимагало розробки наступних типів РМПС:

- радіометрів повної потужності і компенсаційних радіометрів;
- пристроїв модуляційного типу (нульових, модуляційно-компенсаційних, адитивно-шумових і ін.);
- радіоінтерферометричних систем;
- радіометричних систем, в тому числі систем апертурного синтезу (АС).

Перехід до СШП технологій вимагає постійного вдосконалення, поглиблення і розвитку відповідної теорії, методів і засобів просторово-часової обробки сигналів в пасивних РМПС і особливо в системах прийому СШП випромінювання. Перш за все, це стосується необхідності суттєвого поглиблення і розвитку статистичної теорії синтезу оптимальних РМПС, розробки відповідних методів і алгоритмів, а також пошуку квазіоптимальних і інженерних рішень просторово-часової обробки радіотеплових сигналів. Це дозволить ставити і вирішувати практичні завдання синтезу та аналізу РМПС, досліджувати їх потенційні характеристики, давати фізичну інтерпретацію результатів спостереження, отриманим згідно оптимальній обробці сигналів і просторово-часових полів, а також визначати умови, при яких рішення задач, що покладаються на РМУС будуть найбільш ефективними [1].

Міліметровий діапазон радіохвиль викликає пильну увагу розробників радіометричної апаратури в зв'язку з виниклими практичними потребами в системах пасивної локації, дистанційного вимірювання температур об'єктів, метрології, радіобачення, вимірювання поглинаючих властивостей матеріалів і характеристик атмосфери. З цією метою ведуться розробки різних за призначенням вимірювальних систем на базі високочутливих одноканальних і багатоканальних радіометрів.

Завдання дисертаційної роботи полягає у дослідженні цифрових радіометрів, зокрема:

- Розглянути основні принципи побудови поширених типів радіометрів;

- Проходження шумового сигналу через блоки радіометра;
- Визначення можливості застосування оцифрування шумового сигналу з виходу квадратичного детектора;
- Розрахунок підсилення для забезпечення роботи АЦП;
- Виконати моделювання проходження шуму через вхідний фільтр, квадратичний детектор та синхронний детектор.

1 ОГЛЯД ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ РАДІОМЕТРІВ

1.1 Типи радіометрів

Радіотепловий комплекс – це функціонально суміщена антенна система, мікрохвильовий радіотепловий приймач, пристрій, що реєструє і запам'ятовує, радіотехнічну систему передачі отриманих даних на пункти обробки інформації. Радіотепловий комплекс повинен мати наступні властивості:

- приймати шумове електромагнітне випромінювання в певній смузі частот з певного просторового напрямку і в певному тілесному куті;
- володіти високою чутливістю, що дозволяє надійно зареєструвати варіації власного випромінювання фізичних об'єктів;
- забезпечити можливість однозначної прив'язки вимірюваного потоку з випромінювання до просторових координат відповідних випромінюючих об'єктів.

У зв'язку з цим радіотепловий комплекс, призначений для дистанційних вимірювань, повинен містити принаймні чотири принципово необхідні складові:

- 1) антенну систему, необхідну для забезпечення огляду досліджуваної поверхні і перетворення електромагнітної хвилі з вільного простору в вимірюваний сигнал;
- 2) радіотепловий приймач, що дозволяє зареєструвати і виміряти корисний сигнал з необхідною точністю;
- 3) пристрій попередньої обробки, який здійснює управління антеною системою, збір інформації, її попередню обробку і калібрування і запис в пристрій;

4) пристрій, що забезпечує формування отриманої інформації у вигляді, необхідному для передачі по лініях зв'язку з подальшою тематичною обробкою і відображенням засобами наземного комплексу (наземний сегмент).

1.1 Огляд методів обробки інформації

Обробка інформації в радіометрах в основному має аналоговий вигляд із застосуванням цифрової обробки у кінцевих блоках. Вона відбувається у декілька етапів. Ці етапи пов'язані з функціональними блоками радіометра.

Розглянемо найпростіший радіотепловий приймач – радіометр повної потужності. Його структурна схема наведена на рис. 1.1:

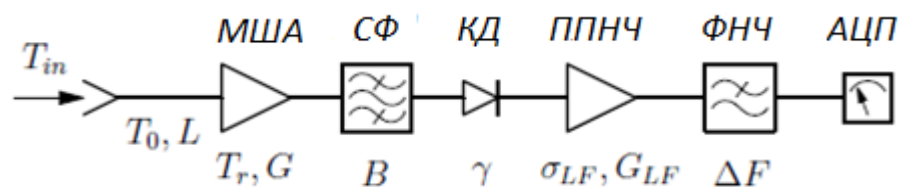


Рисунок 1.1 — Блок-схема радіометра повної потужності. T_{in} – еквівалентна шумова температура випромінювання на вході радіометра; МША – малошумлячий підсилювач, з повним НВЧ підсиленням G і (еквівалентною шумовою температурою) ЕШТ T_r ; СФ – смуговий фільтр зі смугою B ; КД – квадратичний детектор з вольт-ватною характеристикою γ ; ППНЧ – попередній підсилювач низької частоти (ППНЧ), із вланим СКВ шума σ_{LF} , та підсиленням G_{LF} ; ФНЧ – фільтр нижніх частот зі смугою ΔF ; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач.

Радіометр повної потужності проводить оцінку повного середнього квадрату $\hat{\psi}_x^2$ випадкового процесу на інтервалі часу t_i . При рівності нулю середнього значення отримана оцінка також є оцінкою дисперсії $\hat{\sigma}_x^2$ процесу $x(t)$:

$$\hat{\psi}_x^2 = \hat{\sigma}_x^2 = \frac{1}{t_i} \int_0^{t_i} x^2(t) dt \quad (1.1)$$

де $x(t)$ – вхідний сигнал,

t_i – час інтегрування

Для реалізації такого способу вимірювання потрібно пройти такі етапи:

- 1) Піднесення процесу $x(t)$ до квадрату (квадратичне детектування);
- 2) Інтегрування процесу $y(t) = x^2(t)$ (НЧ фільтрація);
- 3) Вимірювання повільного процесу $y(t)$.

Структурна схема складається із таких основних блоків:

Ідеальний смуговий фільтр, через який проходить шум тільки в потрібній смузі частот, квадратичний детектор, на виході якого маємо шум, що пропорційний квадрату вхідного шуму, фільтр нижніх частот, який згладжує швидко змінюваний сигнал після квадратичного детектора.

Основні характеристики ідеального радіоприймального пристрою (РПП):
смуга СФ (В) – прямокутна, смуга ФНЧ (ΔF) – прямокутна, двопівперіодний детектор має точну квадратичну характеристику.

Основні характеристики сигналу: на виході СФ формується обмежений по частоті білий шум $x(t)$, він має гавсівську щільність імовірності і рівне нулю середнє значення. Вихідна напруга радіометра повної потужності прямо пропорційна підсиленню приймача:

Компенсаційний радіометр. В компенсаційному приймачі (рис. 1.2) сигнал після антенної системи потрапляє на вхід підсилювача, який підсилює сигнал до рівня, достатнього для подачі на вхід квадратичного детектора. На виході квадратичного детектора середнє значення сигналу лінійно залежить від потужності вхідного сигналу [1]. Через теплові шуми радіометра, на виході радіометра завжди є сигнал з постійною складовою. Для кращої

реєстрації постійної складової, після детектора використовується фільтр нижніх частот.

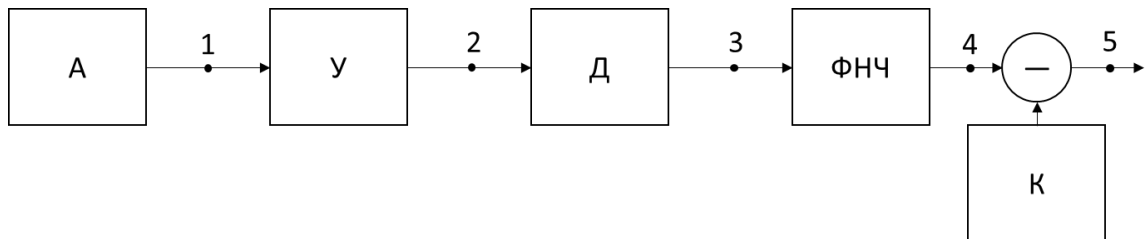


Рис 1.2. — Структура компенсаційного радіометра.

А – антена, У – підсилювач, Д – квадратичний детектор, ФНЧ – фільтр нижніх частот, К – компенсатор.

Добавка вхідного сигналу від зовнішнього випромінювання, як правило, набагато менша постійної складової сигналу, створюваної на виході власним тепловим шумом. Для того щоб компенсувати цю добавку використовується блок, що формує постійну напругу, її величина дорівнює значенню постійної напруги на виході радіометра при відсутності зовнішнього сигналу. Цей сигнал віднімається з сигналу на виході ФНЧ. Теоретична досяжна чутливість для компенсаційного радіометра дорівнює [1]:

$$\Delta T = \sqrt{2} T_N \sqrt{\frac{\Delta F}{\Delta f}} \quad (1.1)$$

де $\Delta F = \frac{1}{\tau}$ смуга фільтра нижніх частот,

T_N – шумова температура підсилювача.

Оскільки сигнал антени вимірюється безперервно, компенсаційні радіометри з одного боку мають максимально можливу чутливість, але з іншого боку

характеризуються сильною залежністю показів від змін коефіцієнта посилення радіометричного приймача і його власних шумів.

Модуляційний радіометр. На рис 1.3 зображений модуляційний радіометр Діке.

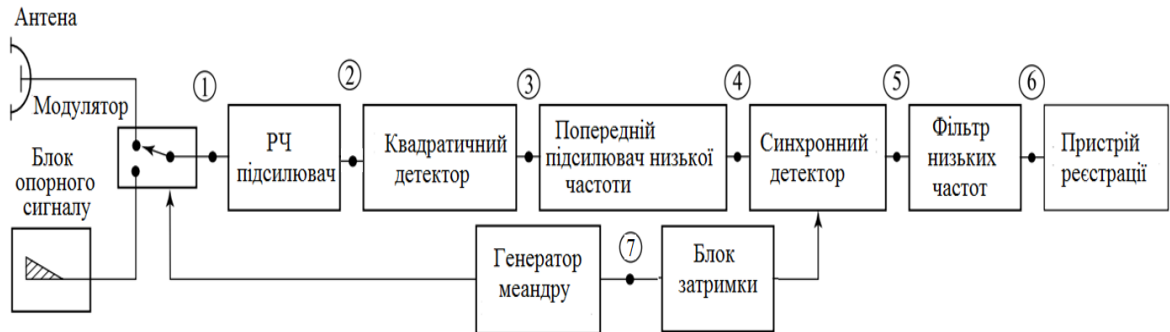


Рисунок 1.3 – Модуляційний радіометр Діке

Модуляційний спосіб прийому запропонований Діке в 1946 році як альтернативний спосіб приймачу повної потужності. Реальний радіометр повної потужності не досягає рівня теоретичної чутливості, оскільки має флуктуацію коефіцієнта передачі (рис. 1.4) та флуктуацію шумової температури радіометра. Ці флуктуації мають СЩП вигляду $1/f$ і зумовлені внутрішніми процесами, що протікають в підсилювачах і квадратичному детекторі радіометра (нестабільність живлення, температур, випадкові процеси в напівпровідниках).

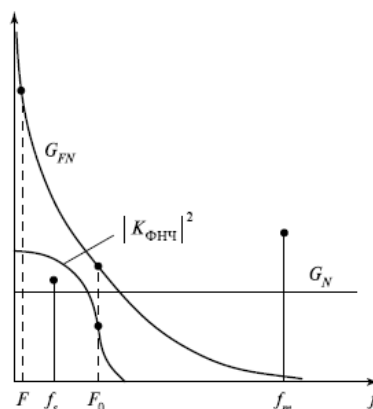


Рисунок 1.4 – Співвідношення між компонентами спектра вихідного сигналу модуляційного радіометра (в довільних одиницях): G_{FN} - спектр

флікер-шуму; G_N - компонента шумового сигналу як результат квадратичного перетворення вхідного шумового сигналу; f_s - спектральна компонента сигналу, що підлягає вивченню; $|K_{\text{ФНЧ}}|^2$ - коефіцієнт передачі за проектною потужністю фільтра низьких частот (інтегратор); F_0 - верхня межа фільтра низьких частот; f_m - частота модуляції для модуляційного радіометра

Перетворення сигналів та спектрів наведено у додатку А.

Основний принцип, що реалізований у схемі модуляційного радіометра, заключається у вимірюванні вхідного сигналу шляхом перемикавання з антени на еталонне джерело сигналу із наступним виділенням корисного сигналу, що не має шуму $1/f$. Детектором виступає синхронний детектор – пристрій, що працює синхронно із вхідним перемикачем на вході приймача.

Переваги: усунення впливу дрейфу власних шумів і ослаблення впливу змін і дрейфу коефіцієнта підсилення.

Недоліки: втрати в модуляторі, зменшення чутливості удвічі порівняно із радіометром повної потужності внаслідок зменшення удвічі часу прийому шумового сигналу.

Розглянемо багатоканальну систему, яка використовується при надто широкій смузі вхідного сигналу. Обробка сигналу відбувається з розділенням загальної смуги сигналу ΔF на вузькі канали кількістю N банком НВЧ фільтрів (рис. 1.5). Смуга кожного каналу становить Δf . Після їх

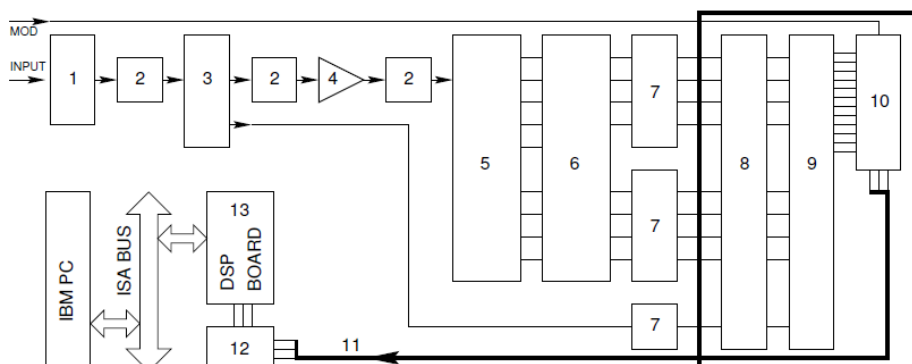


Рисунок 1.5 — Багатоканальний радіометр: 1 – НВЧ фільтр зі смугою 2.12 – 2.52 ГГц; 2 – вентилі; 3 – дільник сигналу на 2; 4 – підсилювач для компенсації втрат при діленні сигналу на 8; 5 – дільник сигналу на 8; 6 – банк НВЧ фільтрів зі смугами по 50 МГц; 7 – попередні підсилювачі НЧ із квадратичними детекторами на вході; 8 – фільтр низьких частот для узгодження із робочою частотою АЦП; 9 – АЦП (10-12 розрядів) з мультиплексором на вході; 10 – перетворювач паралельного коду в послідовний; 11 – лінія зв’язку з цифровим сигнальним процесором; 12 – гальванічна розв’язка; 13 – плата цифрового сигнального процесора; MOD – сигнал модуляції радіометра; INPUT – вхід НВЧ сигналу.

фільтрації ФНЧ, який узгоджений із робочою смугою АЦП є можливість дискретизувати кожен із каналів на значно нижчій швидкості.

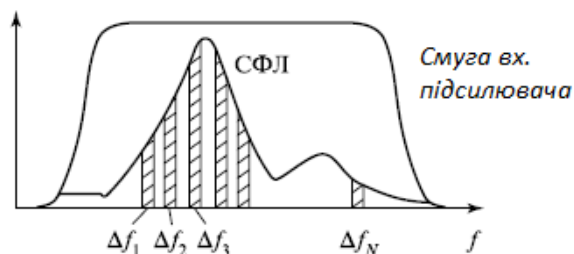


Рисунок 1.6 – Схематичне представлення між спектральною формою лінії (СФЛ), що підлягає вивченню, вузькосмуговими фільтрами і широкою смугою вхідного підсилювача

Отримані цифрові дані за допомогою перетворювача паралельного коду в послідовний передаються для обробки у ЦСП. Якщо для відновлення атмосферних параметрів в тропосфері космічні радіотеплового комплекси зазвичай мають від трьох до десяти вузькосмугових каналів, то для радіоастрономічних наземних комплексів число каналів досягає 1024 і більше. Далі в кожному каналі виконується квадратичне перетворення і низькочастотна фільтрація. Подальше накопичення, реєстрація, зберігання і представлення кінцевої інформації зазвичай проводиться в спеціалізованих цифрових блоках на базі комп'ютерів. Таке розділення на канали дозволяє, по-перше, дискретизувати сигнал, у якого достатньо широка смуга, по-друге, синтезувати вихідний сигнал із каналів, які не мають сторонніх завад.

Однак така схема обробки має певний недолік: а саме втрату інформації. Якщо СКВ шумів радіометра зі смугою ΔF дорівнює σ_F , то, оскільки СКВ шуму на виході радіометра зворотно пропорційне квадратному кореню із ширини НВЧ смуги, СКВ шуму в каналі шириною Δf буде:

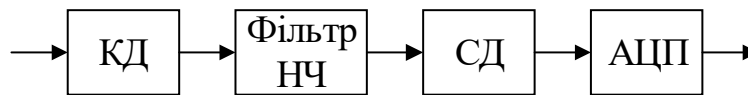
$$\sigma_f = \sigma_F \sqrt{N} \quad (1.2)$$

Це означає, що за певних умов чутливість радіометра із синтезованою смугою може стати в \sqrt{N} гіршою, ніж чутливість у повній смузі радіометра.

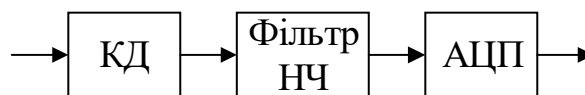
2.2 АЦП в радіометрах

АЦП в радіометрах застосовуються для дискретизації неперервного шумового сигналу для застосування цифрової обробки. Розглянемо можливі схеми розміщення АЦП в схемах радіометрів (рис. 1.7)

Найпростіший випадок, АЦП стоїть на виході радіометра, після синхронного детектора (рис. 1.7а).



а)



б)

Рисунок 1.7 — Розміщення АЦП: а) після синхронного детектора; б) після квадратичного детектора з попередньою фільтрацією

Схему на рис. 1.7б можливо застосовувати при відносно вузькій вхідній смузі вхідного шуму та наявності швидкодіючого пристрою АЦП.

На ринку зараз можна знайти АЦП для високошвидкісної дискретизації аналогових сигналів [15]. Нижче на рис. 1.8 представлені наявні варіанти АЦП із сайту Analog Devices, що сортовані за спаданням їх частоти вибірок

Part Number	Sample Rate <i>max</i> <i>SPS</i>	Resolution <i>bits</i>	Price (1000+) \$ US	Converter Primary Function	ADC SNR in dBFS <i>typ</i> <i>dBFS</i>	Channels	INL in LSB <i>typ</i> <i>LSBs</i>
Filter parts							
511 parts	10M 20G	3 24	2.4 1979.2	5 Values Selected	19.2 91	1 16	0.1 35
AD9213 NEW	10G	12	\$1,979.21 (AD9213BBPZ-6G)	High Speed ADC	57.5	1	2.4
AD9082	6G	12	**	Mixed Signal Front End (MxFE)	59	2	7
AD9081	4G	16	**	Mixed Signal Front End (MxFE)	59	4	7
AD6676	3.2G	16	\$145.00 (AD6676BCBZRL)	IF/RF Receiver	-	1	-
AD6688	3G	14	\$895.90 (AD6688BBPZ-3000)	IF/RF Receiver	67.7	2	6
AD9208	3G	14	\$1,326.00 (AD9208BBPZ-3000)	High Speed ADC	60.2	2	6
AD9625-2600	2.6G	12	\$1,046.78 (AD9625BBPZ-2.6)	High Speed ADC	58.1	1	1
AD9689-2600	2.6G	14	\$1,108.34 (AD9689BBPZ-2600)	High Speed ADC	61.3	2	6
AD9625-2500	2.5G	12	\$918.74 (AD9625BBPZ-2.5)	High Speed ADC	58.3	1	1
AD9625-2000	2G	12	\$624.75 (AD9625BBPZ-2.0)	High Speed ADC	59.5	1	0.9
AD9689-2000	2G	14	\$934.86 (AD9689BBPZ-2000)	High Speed ADC	62.7	2	2

Рисунок 1.8 — АЦП фірми Analog Devices

Дані АЦП дозволяють дискретизувати сигнал із максимальною частотою від 1 ГГц для AD9689-2000 до 5 ГГц для AD9213. У залежності від умов, у яких буде працювати радіометр, від смуги сигналу, від вхідного смугового фільтра дані АЦП можливо ставити ближче до входу радіометра.

Розрахуємо смуги частот, які можна оцифрувати за допомогою АЦП, наведених на рис. 1.8. Для розрахунку використаємо той факт, що при дискретизації не буде втрат інформації лише тоді, коли максимальна частота сигналу рівна або менша половині частоти дискретизації:

$$F_{\max} \leq \frac{F_d}{2} \quad (1.3)$$

$$\text{AD9213} \quad SPS = F_d = 10 \text{ ГГц}$$

$$F_{\max} = \frac{10 \text{ ГГц}}{2} = 5 \text{ ГГц}$$

$$\text{AD9082} \quad SPS = F_d = 6 \text{ ГГц}$$

$$F_{\max} = \frac{6 \text{ ГГц}}{2} = 3 \text{ ГГц}$$

$$\text{AD9081} \quad SPS = F_d = 4 \text{ ГГц}$$

$$F_{\max} = \frac{4\Gamma\mathcal{U}}{2} = 2\Gamma\mathcal{U}$$

$$\text{AD9081} \quad SPS = F_d = 3\Gamma\mathcal{U}$$

$$F_{\max} = \frac{3\Gamma\mathcal{U}}{2} = 1.5\Gamma\mathcal{U}$$

Отримані значення показуються, що смуга частот шумового сигналу, який подається на АЦП, повинна бути обмежена фільтром до значення, що дорівнює половині частоти дискретизації обраної моделі АЦП. Варто відмітити, що так як частота дискретизації має порядок 10^9 , то ми отримуємо великий об'єм даних, який потрібно встигати обробляти. Одним із рішень є використання децимації, або проріджування даних з певним коефіцієнтом, який залежить від пристрою, що буде їх оброблювати.

У даному розділі розглянуто загальну інформацію про типи радіометрів та використання АЦП у радіометрах. Розглянуто сучасні АЦП, які здатні оцифровувати сигнали із широкою смугою частот. Це дає змогу ставити АЦП відразу після квадратичного детектора.

2 ПРОХОДЖЕННЯ ШУМОВОГО СИГНАЛУ ЧЕРЕЗ РАДІОМЕТР

2.1 Модель шуму

Усі фізичні об'єкти, що мають фізичні температури, відмінні від абсолютного нуля, неперервно випромінюють флуктуаційне електромагнітне поле, що виникає за рахунок внутрішньої енергії. Теплове випромінювання випускають як все фізичні тіла в земних умовах (включаючи і нашу власну планету), так і розташовані в далекому космосі - зірки, галактики, туманності, молекулярні хмари і навіть такі екзотичні об'єкти, як чорні діри, одна з яких розташована в центрі нашої Галактики (Чумацького шляху). Для радіометричних задач вимірюваний шум приймається як білий із рівномірним спектром. Шум має гаусівський розподіл із нульовим математичним очікуванням та певною дисперсією.

Моделлю сигналу, що вимірюється радіометром, є обмежений по частоті білий шум з центральною частотою ω_0 та смугою B . (рис 2.1).

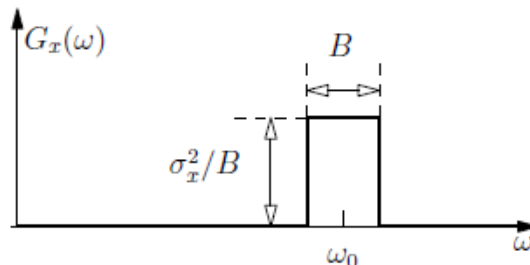


Рисунок 2.1 – Обмежений по частоті білий шум. B — ширина смуги частот електричних коливань, потужність у якій буде вимірюватися, ω_0 — центральна частота

Шумовий процес має дисперсію σ^2 , його одностороння спектральна щільність потужності рівна $G(\omega)$. Математичне очікування шумового процесу дорівнює нулю. Процес має нормальний гаусівський розподіл ймовірності.

Метою найпростішого радіометра повної потужності є вимірювання усередненої в часі потужності вхідного шуму у деякій визначеній смузі частот

$$f_0 - \frac{\Delta f}{2} \text{ та } f_0 + \frac{\Delta f}{2}$$

де Δf – смуга пропускання приймача.

Вираз для потужності P шумового процесу $x(t)$

$$P = \int_{\omega_0 - B/2}^{\omega_0 + B/2} G(\omega) d\omega = \frac{\sigma^2}{B} \int_{\omega_0 - B/2}^{\omega_0 + B/2} d\omega = \sigma^2 \quad (2.1)$$

де $G(\omega)$ — спектральна щільність потужності,

B — смуга частот сигналу.

У виразі враховується те, що спектральна щільність потужності постійна у смузі частот B .

Потужність P також можна записати за допомогою рівності Парсеваля

$$P = \sigma^2 = \int_{\omega_0 - B/2}^{\omega_0 + B/2} G(\omega) d\omega \approx \frac{1}{t_i} \int_0^{t_i} x^2(t) dt \quad (2.2)$$

де t_i – час інтегрування.

На правій частині формули (2.2) засновується робота радіометра повної потужності: обмежені по частоті електричні коливання $x(t)$ підносяться до квадрату і усереднюються за певний проміжок часу t_i .

2.2. Смуговий фільтр

СФ є першим блоком у схемі радіометра, який формує необхідну смугу частот вхідного сигналу для подальшої обробки (рис. 2.2) [4]. СФ працює на НВЧ, має типову смугу частот 1-2 ГГц. Δf

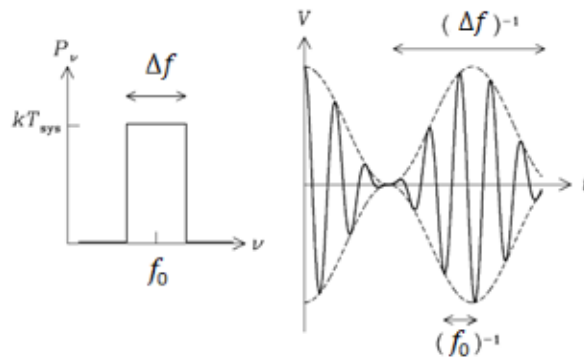


Рисунок 2.2 — Частотна характеристика СФ та форма сигналу на його виході. Після проходження через вхідний смуговий фільтр із смугою $\Delta f < f_0$, шумовий сигнал не є більше повністю випадковим; сигнал схожий на синус із частотою $\approx f_0$, амплітуда огибаючої якої змінюється випадково на відрізках часу $\Delta t \approx 1/\Delta f > 1/f_0$.

2.3. Квадратичний детектор

Нелінійні перетворення, і, в першу чергу, квадратичне перетворення, відіграють фундаментальну роль в процесі вимірювання інтенсивності шумового сигналу. Справа в тому, що ніякими комбінаціями лінійних систем і ланцюгів неможливо сформулювати процедуру вимірювання спектральної потужності шумового сигналу. Квадратичне перетворення шумового сигналу відбувається всюди, де необхідно виміряти потужність флуктуаційного сигналу. Нелінійне перетворення різко змінює як зовнішній часовий вигляд вихідного сигналу, так і його спектральне наповнення, і, отже, змінюються як щільності розподілу, так і функція кореляції і спектральна щільність вихідного сигналу.

Сигнал з виходу СФ поступає на квадратичний детектор (КД) - пристрій, вихідна напруга якого пропорційна квадрату його вхідної напруги. У більшості сучасних радіометрів в якості нелінійного елемента квадратичного детектора використовується напівпровідниковий діод. Іноді, для підвищення крутизни перетворення, нелінійним елементом виступає біполярний транзистор.

Для вузькосмугових (квазісинусоїдальних) вхідна напруга на частоті f_0

$$u_i \approx \cos(2\pi f_0 t) \quad (2.3)$$

Після нелінійного перетворення напруга після КД складе

$$u_{iКД} \approx \cos^2(2\pi f_0 t) \quad (2.4)$$

В іншому вигляді

$$u_{iКД} \approx (1 + \cos(4\pi f_0 t)) / 2 \quad (2.5)$$

функція, середнє значення якої дорівнює середній потужності вхідного сигналу. Окрім постійної складової (на нульовій частоті) є коливальна компонента на частоті $2f_0$. Спектр сигналу з виходу детектора для скінченної смуги Δf і форма хвилі показані на рис. 2.2:

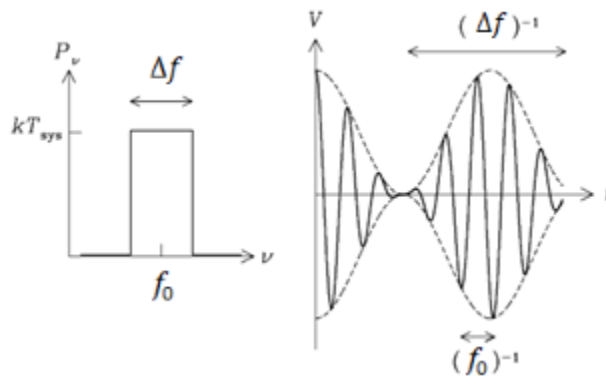


Рисунок 2.3 – Спектр та форма сигналу після проходження квадратичного детектора

Вихідна напруга завжди позитивна, тому її середнє значення (постійна складова) додатне і пропорційне вхідній потужності. Високочастотні ($f \approx 2f_0$) коливання не містять корисної інформації про джерело та фільтруються ФНЧ.

Функція щільності імовірності для нормального випадкового процесу, що пройшов через нелінійний елемент [2](ст. 210):

$$p(y) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y}{2\sigma_x^2}} \frac{1}{\sqrt{y}} \quad (2.6)$$

Математичне очікування процесу на виході квадратичного детектора знаходиться так:

$$\bar{y} = E[y] = \int_{-\infty}^{\infty} y \cdot p(y) dy = \sigma_x^2 \quad (2.7)$$

Повний середній квадрат рівний

$$\psi_y^2 = E[y^2] = \int_{-\infty}^{\infty} y^2 \cdot p(y) dy = 3\sigma_x^4 \quad (2.8)$$

Дисперсія рівна

$$\sigma_y^2 = E[(y - \bar{y})^2] = \int_{-\infty}^{\infty} (y - \bar{y})^2 \cdot p(y) dy = 2\sigma_x^4 \quad (2.9)$$

Співвідношення між дисперсією σ_y^2 та квадратом середнього значення \bar{y}^2 :

$$\frac{\sigma_y^2}{\bar{y}^2} = 2 \quad (2.10)$$

Потужність, що є у флуктуаційній складовій, у два рази більша потужності, що закладена у середньому значенні.

Розглянемо важливий приклад безінерційного квадратичного перетворення $y = ax^2, (a = 1)$, коли на вхід ланцюга діє нормальний стаціонарний шумовий сигнал із середнім значенням m , рівним нулю. Схематично весь процес перетворення часових та імовірнісних характеристик представлений на рис. 2.4.

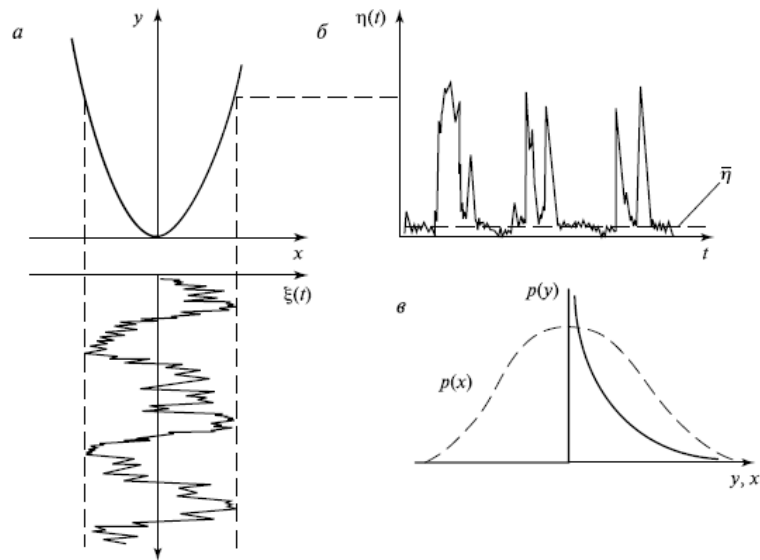


Рисунок 2.4 — Схематичне зображення проходження сигналу з нормальним розподілом через схему квадратичного детектування: а – квадратичне перетворення і часова реєстрограма вхідного сигналу; б – часова реєстрограма вихідного сигналу; в - щільності розподілу вхідного сигналу (з нормальним розподілом) і вихідного сигналу (після квадратичного перетворення)

Із рис. 2.4, в видно, що часовий характер перетвореного сигналу змінився – значення сигналу тільки позитивні; амплітудні залежності по відношенню до вихідного сигналу також різко спотворилися - значення сигналу з малими амплітудами в значній мірі придушені, а значення сигналу з великими амплітудами набули вигляду різких піків. І, найголовніше, при квадратичному перетворенні шумового сигналу з'явилася постійна складова, яка несе основну інформацію про потужності вихідного шумового сигналу.

Для обчислення середнього значення вихідного сигналу використовуємо вираз

$$M(\eta) = \bar{\eta} = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right) dx = \sigma_x^2 \quad (2.11)$$

середнє значення (на нульовій частоті) перетвореного сигналу в точності дорівнює повній потужності вхідного шумового сигналу.

2.3.1 Знаходження спектральної щільності потужності на виході квадратичного детектора.

Знайдемо СЩП на виході квадратичного детектора через спектр потужності процесу. Автокореляційна функція процесу на виході квадратичного детектора [2](ст. 214):

$$\psi_y(\tau) = \sigma_x^4 + \sigma_x^4 2R_x^2(\tau) = \sigma_x^4(1 + 2R_x^2(\tau)) \quad (2.12)$$

де $R_x(\tau)$ – нормована автокореляційна функція (коефіцієнт кореляції) обмеженого по частоті білого шуму (процесу на виході КД), що вираховується прямим перетворення Фур'є СЩП на виході СФ (вході КД).

Вираз для двохсторонньої СЩП на виході СФ з прямокутною характеристикою:

$$S_x(\omega) = \frac{\sigma_x^4}{4h} \quad -\omega_0 - h \leq \omega \leq -\omega_0 + h \quad (2.12)$$

де $h = \frac{B}{2}$ – половина ширини НВЧ смуги радіометра.

СЩП нормована так, що інтеграл від $S_x(\omega)$ у межах смуги частот ΔF дорівнює σ_x^2 . Відповідно до теореми Віннера-Хінчина, отримаємо наступний вираз, зробивши перетворення Фур'є від $S_x(\omega)$:

$$\psi_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) e^{-i\omega\tau} d\omega = \sigma_x^2 \frac{\sin(ht)}{ht} \cos(\omega_0\tau) \quad (2.13)$$

Можна відмітити, що

$$\psi_x(0) = \lim_{\tau \rightarrow 0} \psi_x(\tau) = \sigma_x^2 \quad (2.14)$$

Отримуємо наступний вираз для коефіцієнта кореляції:

$$R_x(\tau) = \frac{\psi_x(\tau)}{\psi_x(0)} = \frac{\sin(ht)}{ht} \cos(\omega_0\tau) \quad (2.15)$$

Знайдений вище вираз підставимо в (2.12)

$$\psi_y(\tau) = \sigma_x^4 \left(1 + 2 \frac{\sin^2(ht)}{(ht)^2} \cos^2(\omega_0 \tau) \right) \quad (2.16)$$

Тепер, використовуючи теорему Вінера-Хінчина, запишемо вираз СЦП на виході квадратичного детектора:

$$S_y(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \psi_y(\tau) e^{i\omega\tau} d\tau \quad (2.17)$$

або на основі (2.12):

$$S_y(\omega) = \sigma_x^4 [\delta(\omega) + \tilde{S}_y(\omega)] \quad (2.18)$$

$$\text{де } \tilde{S}_y(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} 2R_x^2(\tau) e^{i\omega\tau} d\tau$$

Перший доданок в (2.18) – це постійна складова на виході квадратичного детектора, що є шуканим постійним сигналом (на вході радіометра діє постійний сигнал з потужністю P). Другий доданок – це шумова складова, що є мірою невизначеності у вимірюванні сигналу, тобто шум.

Потужності на виході квадратичного детектора розділяються по трьох компонентах спектру — постійній складовій, низькочастотній і високочастотній філуктуаціях.

2.4. Синхронний детектор

Керуючим сигналом є прямокутний періодичний сигнал “меандр”. Такий вид керування дозволяє найпростіше реалізувати модуляцію вхідного сигналу радіометра.

На рис. 2.5 зображений модуляційний радіометр, у якого відбувається комутація сигналів “Антенa” та “Еквівалент” прямокутним сигналом типу “меандр”. Умовно шум в тракті сигналу відсутній (рис 2.5).

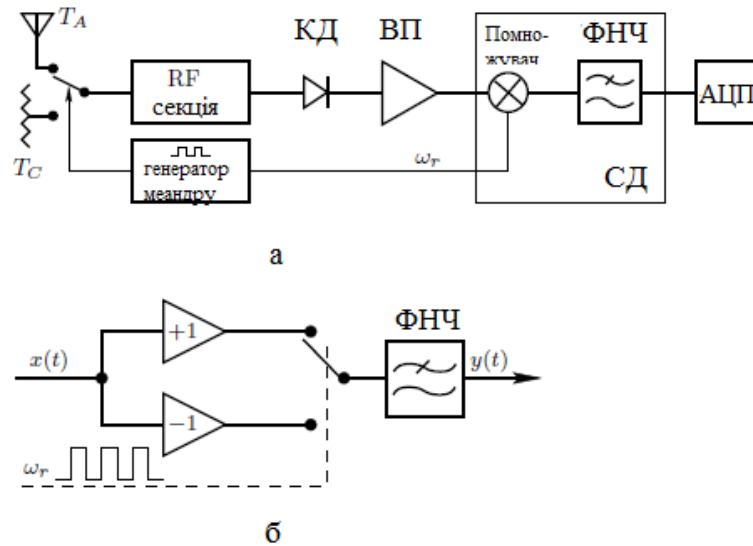


Рисунок 2.5 — а) Модуляційний радіометр Діке, б) Один із варіантів практичної реалізації синхронного детектора для випадку прямокутної модуляції та демодуляції

На сигнальний вхід СД подається “меандр” з амплітудою одного напівперіода, що рівна A . Синхронне детектування відбувається таким же опорним сигналом з амплітудою A . Приймається, що основний і опорний сигнали повністю синфазні. Тоді можна записати, що $x(t) = A \cdot R(t)$, оскільки сигнал і опора однакові за винятком множника A у сигналу (цю невідому амплітуду має протектувати СД). $R(t)$ – опорний періодичний сигнал

$$R(t) = \begin{cases} -1 \\ 1 \end{cases}$$

Розкладання у ряд Фур’є для опорного сигналу, $\omega = 2\pi/T$, n – непарні числа

$$R(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\frac{n\omega t}{n}\right) \quad (2.20)$$

Коефіцієнти ряду рівні $\frac{4}{\pi n}$

Сигнал на виході перемножувача: $x(t) \cdot R(t) = A \cdot R^2(t)$

що є квадратом опорного сигналу, помноженого на амплітуду вимірюваного сигналу A . ФНЧ виділяє постійну складову сигналу з виходу помножувача,

отже задача зводиться до знаходження цієї постійної складової, без врахування змінної. Необхідно знайти величину $y(t) = A \cdot R(t) \cdot R(t)$.

Користуючись тим, що ФНЧ має властивість лінійності, вихідний сигнал ФНЧ буде дорівнювати сумі відгуків СД на кожну спектральну складову опорного сигналу. Якщо у формулі $y(t) = x(t)R(t) = \frac{2A}{n\pi}$ замінити A на $A4/n\pi$ (амплітуда кожної гармоніки вхідного сигналу, згідно з Фур'є коефіцієнтами опорного сигналу), то сумуючи реакції на кожну синусоїдальну компоненту вхідного сигналу, матимемо:

$$y(t) = A \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n\pi} \cdot \frac{4}{n\pi} = A \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = A \quad (2.21)$$

оскільки сума ряду в даному випадку рівна $\frac{\pi^2}{8}$ (сумування відбувається тільки по непарних цілих числах). Таким чином, амплітуда на виході ФНЧ в даній задачі дорівнює амплітуді півперіода вхідного “меандру” – половині його розмаху.

У реальності неможливо подати на сигнальний вхід СД «меандр» з нескінченним числом гармонік основної частоти, щоб сумування проводили до нескінченності, так як смуга сигналу на вході СД формується конкретним радіотехнічним пристроєм із заданою смугою пропускання. Передбачається, що смуга частот, що має меандр така, щоб в аналізі брало участь достатньо велика кількість гармонік опорного сигналу модуляції. На практиці достанько смуги, що включає ~30 гармонік опорного меандру. Тоді в реальному розгляді буде брати участь урізаний ряд Фур'є для опорного і вимірюваного сигналів, і підсумовування у формулі 2.21 буде до деякої граничної частоти. Це допустимо, оскільки числовий ряд $\frac{1}{n^2}$ достатньо швидко зменшується із зростанням n , і високі гармоніки вносять все менший вклад в суму. При підсумовуванні від одиниці до 59 включно (30 непарних гармонік у формулі 2.21), відхилення результату від ідеального буде складати приблизно 0.7%.

Розглянемо проходження шуму через синхронний детектор. Нехай низькочастотний білий шум $x(t)$ у смузі частот $\Delta\Omega_x$. Спектральна щільність потужності цього шуму рівна C . На виході СД встановлений ФНЧ зі смугою $\Delta\Omega_y$ ($\Delta\Omega_y \ll \Delta\Omega_x$). Якщо шум $x(t)$ подати тільки на цей ФНЧ, то дисперсія шуму буде (випадок радіометра повної потужності) [14]:

$$\sigma_y^2 = C \cdot \Delta\Omega_y \quad (2.21)$$

При подачі шуму $x(t)$ на вхід СД множення його на опорний меандр не змінить статистичні параметри шуму (СЩП залишиться такою ж, C), після ФНЧ результат буде такий, як і в (2.21). Спектральний склад шуму перерозподілиться через переноси частот гармонік шуму на $\pm n\omega_r$.

Математично це можна показати так. Процес $x(t)$ рівний сумі синусоїд. Амплітуда кожної синусоїди рівна A , фаза випадкова (рівномірно розподілена на інтервалі від $-\pi$ до π) в інтервалі частот $0 < \omega < \Delta\Omega_x$. Це модель низькочастотного білого шуму. Тоді середня потужність кожної синусоїдальної компоненти шуму рівна $\frac{A^2}{2}$. Це і є спектральна щільність

потужності шуму: $\frac{A^2}{2} = C$

Подамо шум на СД. [13] ФНЧ має ширину смуги $\Delta\Omega_y$ із граничною частотою Ω_y . Відповідно до формули $y(t) = x(t)R(t) = \frac{2A}{m\pi}$ синусоїдальні гармоніки з амплітудою A переносяться в смугу $0 < \omega < \Omega_x$ з коефіцієнтами $\frac{2}{m\pi}$. Розглянемо, як формується квадрат амплітуди (потужність) кожної гармоніки у смузі $0 < \omega < \Omega_x$ на прикладі гармоніки частоти ω_0 ($0 < \omega_0 < \Omega_x$). Потужність (амплітуда в квадраті) кожної «перенесеної» частоту ω_0 гармоніки рівна $\frac{4A^2}{n^2\pi^2}$.

Тобто, потужність синусоїдальної компоненти шуму з частотою ω_0 залишилася такою ж, як і до синхронного детектування.

Проходження адитивної суміші сигналу («меандру») й шуму буде таким же, як і проходження окремих сигналу та шуму, оскільки синхронний детектор має властивість лінійності.

2.5. Фільтр НЧ

ФНЧ має смугу $\Delta F = f_2 - f_1$. Оскільки смуга ФНЧ вибирається дуже вузькою, високочастотне коливання (на частоті $2f_0$) не потрапляє до смуги фільтра і видаляється із вихідного сигналу.

При НЧ фільтрації сигнал (постійна складова) залишається незмінною, а шум зменшується:

$$\begin{cases} \bar{y} = P \\ \sigma_{yf} = P \sqrt{\frac{2\Delta F}{B}} \end{cases}$$

де $\Delta F \ll B$.

Потужність на виході ФНЧ для модуляційного радіометра можна записати як

$$P_{out} = \frac{1}{2} G_s k (T_a + T_{rec}) B - \frac{1}{2} G_s k (T_{ref} + T_{rec}) B = \frac{1}{2} G_s k (T_a - T_{ref}) B \quad (2.22)$$

Бачимо, що вихідна потужність не залежить від шумової температури приймача. Коливальна частина виходу радіометра складається із трьох частин:

Зміни коефіцієнта підсилення, що призводять до невизначеності

$$T_g = (T_a - T_{ref}) \frac{\Delta G_s}{G_s} \quad (2.23)$$

Зміни шуму у момент прийому сигналу антеною

$$\Delta T_{ant} = \sqrt{2} (T_a + T_{rec}) / \sqrt{B\tau} \quad (2.24)$$

Шум в момент дії опорного джерела шуму

$$\Delta T_{nref} = \sqrt{2} (T_{ref} + T_{rec}) / \sqrt{B\tau} \quad (2.25)$$

Вважаючи, що невизначеності є статистично незалежними, загальна невизначеність

$$\Delta T = \sqrt{\Delta T_g^2 + \Delta T_{nant}^2 + \Delta T_{nref}^2} = \sqrt{\frac{2(T_a + T_{rec})^2 + 2(T_{ref} + T_{rec})^2}{B\tau} + \left(\frac{\Delta G_s}{G_s}\right)^2 (T_a - T_{ref})^2}$$

На вхід антени радіометра потрапляє сигнал, потужність якого можна записати як $P = kTB$,

де $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ – постійна Больцмана;

T – шумова температура об'єкта;

B – смуга пропускання вхідного фільтра.

Потужність на вході радіометра у випадку ідеальної антени та ідеального приймача для одиничної ефективної температури ($T = 1 \text{ К}$) і одиничної смуги прийнятого сигналу ($\Delta f = 1 \text{ Гц}$) рівна нормуючому множнику, постійній Больцмана k . $P = GkT_{sys}$

Якщо $T = 150 \text{ К}$ і $\Delta f = 100 \text{ МГц}$, то повна потужність у даній смузі становить

$$P = 2.07 \cdot 10^{-16} \text{ Вт. При } T = 0.05 \text{ К і } \Delta f = 100 \text{ МГц } P = 6.09 \cdot 10^{-20} \text{ Вт.}$$

Якщо G не є точно постійним, зміни потужності на виході залежатимуть від флуктуацій підсилення $\Delta P = \Delta GkT_{sys}$

Точність вимірювання температури із врахуванням нестабільності підсилення

$$\Delta T = \Delta T_{sys} \left[\frac{1}{\Delta F \tau} + \left(\frac{\Delta G_s}{G_s} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.26)$$

Очевидно, що коливання підсилення значно погіршать чутливість, якщо

$$\frac{\Delta G_s}{G_s} \ll \frac{1}{\sqrt{\Delta F \tau}} \quad (2.27)$$

Коливання приросту зазвичай мають спектр потужності "1/f", де f – частота постдетектування, тому вони є більшими на більш тривалих часових відрізках і збільшення в підсумку призводить до вищого рівня шуму. Стабільність підсилення приймача часто визначається символом "1/f knee" f_{knee} , частота після детектування при якій $\sigma_{noise} = \sigma_G$. Час інтегрування довше ніж $\tau \approx 1/(2\pi f_{knee})$, швидше за все, підвищить рівень шуму.

2.6. Розрахунок НЧ підсилення для забезпечення роботи АЦП.

Нижче записаний порядок розрахунку НЧ підсилення.

АЦП має власну відносну похибку вимірювання, σ_{ADC}^2 [12].

$$\sigma_{ADC}^2 = \frac{q^2}{2} \quad (2.28)$$

де q — вага молодшого розряду АЦП, що виражена в одиницях вимірювання вхідного сигналу (наприклад, у Вольтах). СКВ шуму на виході КД рівне

$$\sigma_{VG} = kT_s G_{min} \gamma \sqrt{2B\Delta F} \quad (2.29)$$

де G_{min} – мінімальне підсилення.

У смузі частот $\Delta F = 1\text{Гц}$ СКВ шуму буде

$$\sigma_{VG1Hz} = kT_s G_{min} \gamma \sqrt{2B} \quad (2.30)$$

де γ — коефіцієнт перетворення КД.

Підсилення НЧ в радіометрі забезпечується попереднім підсилювачем низької частоти (ППНЧ). Необхідно вибрати підсилення таким чином, щоб шум АЦП не вносив помітного вкладу в сумарний шум радіометра. Для даного випадку формула повного СКВ шуму із врахуванням НЧ підсилення запишеться у вигляді

$$\sigma^2 = \sigma_{VG1Hz}^2 \cdot G_{LF}^2 \cdot \Delta F + \frac{q^2}{2} = \sigma_{inADC}^2 + \frac{q^2}{2} \quad (2.31)$$

де G_{LF} – мінімальне НЧ підсилення.

Для правильного оцифрування шуму радіометра, і щоб знехтувати шумом АЦП, достатньо виконати наступну умову

$$\sigma_{inADC} = 2q \quad (2.32)$$

Вираз із врахуванням запишеться так

$$\sigma_{VG1Hz} \cdot G_{LF} \sqrt{\Delta F} = 2q \quad (2.33)$$

Перший множник є константою. Рівність можна досягти за рахунок двох вільних множників: G_{LF} і $\sqrt{\Delta F}$. При обраному значенні ΔF величина G_{LF} однозначно знаходиться із (2.33) і є мінімально достатнім рівнем НЧ підсилення.

Сигнал і шум на вході АЦП радіометра із врахуванням мінімально необхідних і достатніх НВЧ і НЧ підсилень будуть

$$\bar{V}_{inADC} = \bar{V}_G \cdot G_{LF \min} \quad (2.34)$$

$$\sigma_{inADC} = \sigma_{VG1Hz} \cdot G_{LF \min} \sqrt{\Delta F} \quad (2.35)$$

Знайдемо значення для \bar{V}_{inADC} та σ_{inADC} .

Приклад розрахунку. Для розрахунків використаємо дані радіометра [] діапазону 6.2 см: $T_s = 39$ К, $\gamma = 250$ мВ/мВт, $B = 900$ МГц.

За цими даними знайдемо середнє значення і СКВ шуму примача без підсилення у смузі $\Delta F = 1$ Гц.

$$\bar{V} = kT_s B \gamma \approx 0.12 \text{ нВ}$$

$$\sigma_{V1Hz} = \bar{V} \sqrt{\frac{2}{B}} \approx 5.7 \cdot 10^{-6} \text{ нВ}$$

У якості ППНЧ застосуємо операційний підсилювач (ОП) зі спектральною щільністю амплітуди шуму $5.6 \text{ нВ} / \sqrt{\text{Гц}}$. Відповідно, у смузі 1 Гц СКВ шуму ППНЧ буде $\sigma_{LF} = 5.6 \text{ нВ}$. Мінімально достатнє НВЧ підсилення

$G_{\min} = 4 \frac{5.6}{5.7 \cdot 10^{-6}} \approx 4 \cdot 10^6$. Знайдемо середнє значення і СКВ з підсиленням

G_{\min} у смузі $\Delta F = 1 \text{ Гц}$:

$$\bar{V}_G = \bar{V} \cdot 4 \cdot 10^6 \approx 484 \text{ мкВ}$$

$$\sigma_{VG1\text{Hz}} = \sigma_{V1\text{Hz}} \cdot 4 \cdot 10^6 \approx 22.8 \text{ нВ}$$

Ці сигнал і шум радіометра потрібно виміряти за допомогою АЦП. Нехай для вимірювань є 16-ти розрядний АЦП з діапазоном вимірювань 0-5 В. Тоді значення одного розряду АЦП буде $5 \text{ В} / 2^{16} = 76 \text{ мкВ}$.

$$G_{LF \min} \sqrt{\Delta F} = \frac{2q}{\sigma_{VG1\text{Hz}}} = \frac{2 \cdot 76}{22.8 \cdot 10^{-3}} \approx 6667$$

Також можна записати СКВ шуму на вході АЦП

$$\sigma = \sigma_{inADC} = 2q = 2 \cdot 76 \text{ мкВ} = 152 \text{ мкВ}$$

Це буде дорівнювати мінімальній температурі системи.

Знайдемо підсилення і постійну складову напруги на вході АЦП для двох значень ширини смуги dF .

1) Прийнемо $\Delta F = 1 \text{ Гц}$

$$G_{LF \min} = 6667 / \sqrt{1} = 6667$$

$$\bar{V}_{inADC} = \bar{V}_G \cdot G_{LF \min} = 484 \text{ мкВ} \cdot 6667 \approx 3.2 \text{ В}$$

Таким чином, підсилена постійна складова зайняла більше половини динамічного діапазону АЦП (5 В), так що радіометр з даним АЦП може вимірювати повні еквівалентні шумові температури, що в $\sim 1,54$ рази перевищують T_s радіометра.

2) $\Delta F = 8000 \text{ Гц}$

$$G_{LF \min} = 6667 / \sqrt{8000} \approx 75$$

$$\bar{V}_{inADC} = \bar{V}_G \cdot G_{LF \min} = 484 \text{ мкВ} \cdot 75 \approx 36 \text{ мВ}$$

Тепер для вимірювань доступний діапазон у $138 T_s$.

Два приведені приклади показують, як знижуються вимоги до НЧ підсилення при збільшенні частоти оцифрування сигналу радіометра: збільшення НЧ смуги сигналу до 8000 Гц призвело до зменшення необхідного підсилення майже в 90 разів, з одночасним збільшенням динамічного діапазону вимірювань.

У даному розділі розглянуто проходження вхідного шумового сигналу через блоки модуляційного радіометра: зміни форми, спектру, дисперсії. Показаний порядок розрахунку НЧ підсилення для забезпечення роботи АЦП на виході квадратичного детектора.

3 ЧУТЛИВІСТЬ РАДІОМЕТРІВ

Розглянемо найважливішу для радіотеплових систем характеристику, а саме, чутливість. Ця характеристика має цілий ряд рівноцінних найменувань - енергетичний поріг чутливості, пороговий сигнал, порогова чутливість, флуктуаційний поріг чутливості. Складність введення цієї характеристики полягає в тому, що на виході радіометра маємо величини різного порядку — сигнал, що повільно змінюється, від корисного випромінювання, що підлягає вимірюванню, і флуктуаційний сигнал, який є «залишком» шумової компоненти після квадратичного перетворення як основного сигналу, так і адитивного шуму підсилювача. Під порогом чутливості приладів для вимірювання інтенсивності флуктуаційного електромагнітного випромінювання розуміється шумовий сигнал на вході прийомної системи, рівний за своєю амплітудою на виході системи середньоквадратичного відхилення флуктуаційного сигналу, обумовленого власними шумами підсилювального тракту.

Гранична чутливість радіометричних систем визначається трьома факторами: а) сумою шумової температури приймального пристрою і яскравісної температури фону, на якому виробляються спостереження; б) частотною смугою пропускання прийомної системи; в) постійною часу вихідного інтегратора прийомної системи. Зрозуміло, всі ці параметри сильно варіюються в залежності від типу фізичних задач і пропонованої для їх виконання апаратури.

На рис. 3.4 показаний часовий запис вихідного сигналу на виході прийомної системи радіометра при проходженні досліджуваного джерела через діаграму спрямованості антени (T_N і T_S) і запис - без присутності

джерела (T_N). Неважко бачити, в чому полягає складність вимірювальної ситуації - на тлі великого сигналу (300 К) потрібно впевнено зареєструвати істотно менший за амплітудою корисний сигнал (більш ніж в 100-200 разів) і, отже, мати ще чутливішу (у крайньому випадку, на порядок) вимірювальну систему (по постійному сигналу).

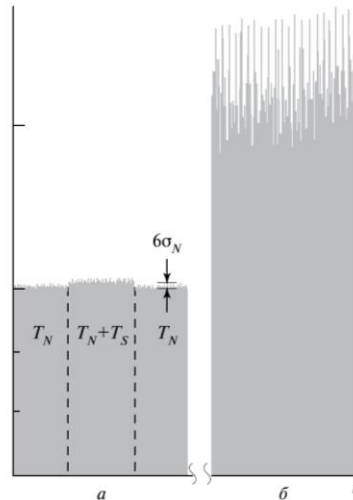


Рисунок 3.4 — Вихідний сигнал радіометра (в довільних одиницях),
 а – після квадратичного детектора і ФНЧ (T_N і T_S – шумова температура підсилювача і антенна температура сигналу), б – без ФНЧ

Чутливість модуляційного радіометра визначається за формулою

$$\Delta T = \frac{T_{sys}}{2\sqrt{\Delta F \tau}} \quad (3.1)$$

Чутливість радіометра можна збільшувати кількома шляхами:

- Збільшення часу інтегрування τ ;
- Збільшення смуги сигналу за рахунок збільшення смуги частот ΔF вхідного підсилювача.

Інтегрування може бути здійснено за допомогою RC-фільтра або цифровим способом семплуванням і оцифруванням вихідної напруги детектора, а потім обчислення його середнього значення.

Час інтегрування τ пов'язаний зі смугою пропускання ФНЧ співвідношенням [2]:

$$\Delta f = \frac{1}{4\tau} \quad (3.2)$$

Збільшення часу інтегрування τ призводить до того, що окрім постійної складової, у смугу фільтра потрапляє певна флуктуаційна складова.

Відповідно до теореми Котельникова, частота дискретизації F_d пов'язана із максимальною частотою сигналу F_{max} співвідношенням:

$$F_d = 2F_{max} \quad (3.3)$$

Збільшуючи частоту дискретизації F_d , спектр сигналу буде розширюватися, однак одночасно потрібно використовувати більш дорогі пристрої АЦП, що призводить до здорожчання радіометра.

Оцифрування забезпечує універсальність, повторну конфігурацію та інші переваги радіометрії НВЧ, вона також має побічні ефекти, які необхідно ретельно проаналізувати.

Ефекти оцифрування можна розділити на ефекти квантування та вибірки. В основному, ефекти, пов'язані з квантуванням вхідного сигналу (теплового шуму), передбачають втрату його статистичних властивостей внаслідок нелінійного процесу квантування. Отже, неможливо застосувати відомі гауссові статистичні зв'язки до кількісно визначеного сигналу. Цей ефект має великий вплив при розгляді обмежених рівнів квантування, і його можна пом'якшити, збільшивши кількість рівнів квантування.

Модель реального АЦП показана на рис. 3.5 [5]. Ця модель намагається зафіксувати всі важливі помилки АЦП, що трапляються на практиці. Нелінійність може сприяти гармонічному викривленню, тоді як коливання вибірки, шум квантування та тепловий шум - сприяють підвищенню рівня шуму системи оцифрування [5], що впливатиме на чутливість радіометра.

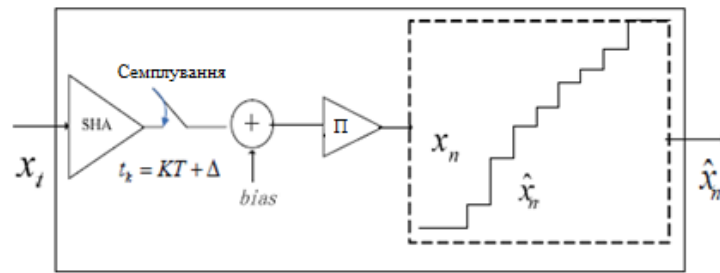


Рисунок 3.5 – Нелінійна модель АЦП, П — підсилювач

Щодо цифрового мікрохвильового радіометра, що визначається потужністю, метод виявлення потужності шумового сигналу використовує оцінювач потужності. Вважається ідеальною ситуацією квантування, коли вихідний сигнал дорівнює вхідному (оригінальному) сигналу, із певним доданком шуму квантування, який підпорядковується незалежному статистичному і рівномірному розподілу $[-q/2, q/2]$ [6], де q — рівень квантування АЦП. Вихідний сигнал АЦП виражається:

$$\hat{x}_n = x_n + e \quad (3.4)$$

$$x_n = \sum_{t=-\infty}^{\infty} x(t) \delta(t - nT) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) g(nT - \tau) h(\tau) d\tau \quad (3.5)$$

де $x(t)$ – вхідний сигнал,

$h(\tau)$ – імпульсна характеристика смугового фільтра,

$g(\tau)$ – коефіцієнт підсилення вхідного малошумлячого підсилення

Зобразимо вплив АЦП на чутливість радіометра (рис. 3.6)[6].

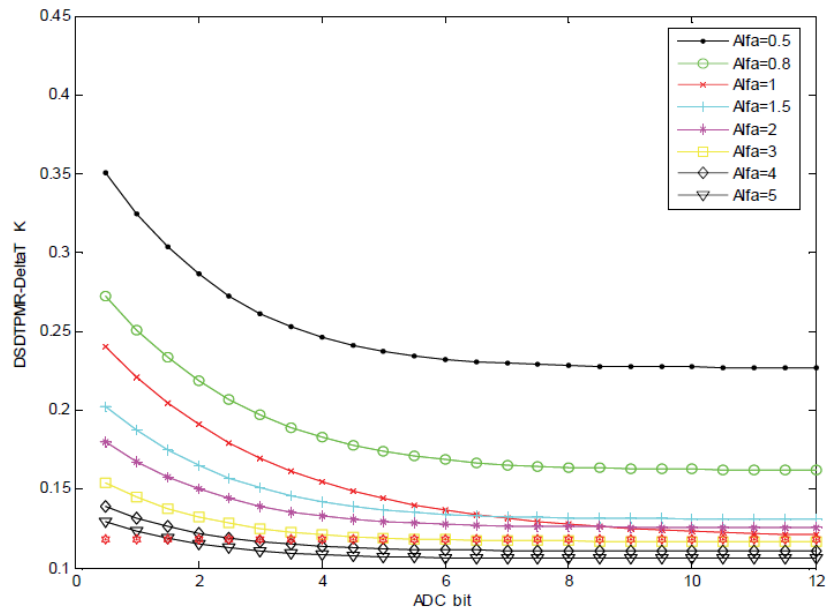


Рисунок 3.6 – Вплив частоти вибірки, квантування на чутливість радіометра

Як випадок моделювання, чутливість радіометра оцінена для $B = 20$ МГц, час інтегрування 20 мс, а Альфа означає коефіцієнт вибірки (sample factor).

Швидкість квантування та семплування мало впливає на чутливість мікрохвильового радіометра; коливання коефіцієнта підсилення підпорядковуються Гауссовому розподілу, і середній оцінювач потужності може зменшити коливання підсилення у \sqrt{N} разів. В ідеальному випадку квантування, навіть якщо частота вибірки дорівнює пропускну здатності сигналу (не задовольняє теорії Найквіста), а роздільна здатність квантування - лише один біт, втрата чутливості складе приблизно 0,3 К.

На точність радіометрів впливає калібрування та балансування. При стандартних спостереженнях модуляційним радіометром реєструється завжди лише різниця сигналів $T_a - T_{ref}$. Фізично цю різницю постійно вимірює пристрій на виході модуляційного радіометра - синхронний детектор.

Із формули 2.30 видно, що вплив флуктуацій підсилення в модуляційному радіометрі зникає при рівності температур $T_a = T_{ref}$. При цьому температуру

T_{ref} за допомогою приладів збільшують або зменшують до встановлення поточного рівня (балансування радіометра Діке).

Необхідно відмітити, що балансування радіометра Діке необхідно проводити для кожного спостереження, потребує наявності в радіометрі спеціальної апаратури балансування, а в системі управління потрібне необхідне програмне забезпечення (ПО) автоматичного апаратного балансування радіометра.

4 ФІЛЬТРАЦІЯ ТА ЗГЛАДЖУВАННЯ СИГНАЛІВ

Вимоги до радіометричних систем із цифровою обробкою

- Аналоговий тракт обробки сигналів повинен бути виконаний на основі прецензійних УПТ;
- Оцифрування сигналу повинна виконуватися із достатньо високою швидкістю, щоб пропустити достатню кількість гармонік частоти модуляції;
- Наявність у тракті аналогової обробки сигналу (перед УПТ) високоякісного ФНЧ для захисту від накладання частот перед оцифруванням;

- АЦП повинен знаходитися якомога ближче до виходу радіометра для виключення впливу електромагнітних завад на тракт передачі інформації;
- Обов'язкова гальванічна розв'язка АЦП від ЦСП для виключення впливу завад від імпульсної цифрової системи на прецензійні вимірювання.

4.1. Обробка сигналу після синхронного детектора.

Для оцифрування сигналу з виходу СД можна використовувати низьку частоту дискретизації, оскільки максимальна частота сигналу обмежується попередньою фільтрацією.

Наступний алгоритм забезпечує незміщене оцінювання параметрів радіотеплового випромінювання в приймачі з нестабільним коефіцієнтом підсилення і може бути представлений таким чином [14]:

$$T_A = (T_{ref} + T_{sys}) \sum_{i=1}^I Q_i \left(\sum_{i=1}^I Z_i \right)^{-1} - T_{sys} \quad (4.1)$$

$Q_i = m(t_i)u^2(t_i)$ – спостереження на виході синхронного детектора за умови, коли $m(t_i) = 1$;

$Z_i = [1 - m(t_i)]u^2(t_i)$ – спостереження на виході синхронного детектора за умови, коли $m(t_i) = 0$;

T_A – температура антени, T_{ref} – температура генератора шуму, T_{sys} – внутрішня шумова температура, $m(t_i)$ – цифрова функція модуляції (меандр, який приймає значення нуля або одиниці), $u(t_i)$ – цифрове спостереження.

Оцінки ефективних температур T_{ref} і T_{sys} отримують при калібруванні радіометра.

4.2. Обробка сигналу після квадратичного детектора.

Сигнал з виходу квадратичного детектора (при необхідності підсилений до заданого рівня УПТ) потрапляє на АЦП. В АЦП відбувається оцифрування аналогового сигналу, при цьому частота дискретизації визначається кількістю часових вибірок сигналу за період меандру. При кількості вибірок N за період частота дискретизації буде рівна

$$F_d = f_{on} \cdot N \quad (4.2)$$

У пам'ять записуються вибірки синхронно з роботою АЦП. За кожний період меандру знаходиться середнє арифметичне відліків прийнятого сигналу та опорного сигналу. Потім знаходиться різниця середніх значень, що і є шуканою температурою, яка потім відображається на ПК у вигляді осцилограми.

З метою налаштування радіометра також є можливість віддавати команди зміни фази синхронного детектування відносно фази сигналу керування модулятором на вході.

Напруга, яка має бути виміряна на виході квадратичного детектора в радіометрі повної потужності, записується таким виразом:

$$U = kTG\gamma \left[\frac{T_a}{L} + T_0 \left(1 - \frac{1}{L} \right) + T_r \right] + U_0(t) \quad (4.3)$$

Де k – постійна Больцмана, B – НВЧ-смуга радіометра, G – повне НВЧ-підсилення, γ – коефіцієнт перетворення потужності в напругу на квадратичному детекторі, T_a – шумова температура випромінювання, що прийшла на вхід радіометра, L – абсолютні втрати у вхідному тракті, T_r – шумова температура всього радіометра (без вхідних трактів), $U_0(t)$ – паразитне зміщення напруги, що виникає у вимірювальній системі (після КД).

Зробимо моделювання вхідного шуму. На вхід смугового фільтра, що моделюється блоком FDAdesign подається шумовий сигнал, що моделюється

блоком Band-limited White Noise. Шум до і після після проходження вхідного смугового фільтра. При малій смузі Δf спостерігаємо амплітудну модуляцію сигналу з періодом огибаючої $1/\Delta f$ (рис. 5.1).

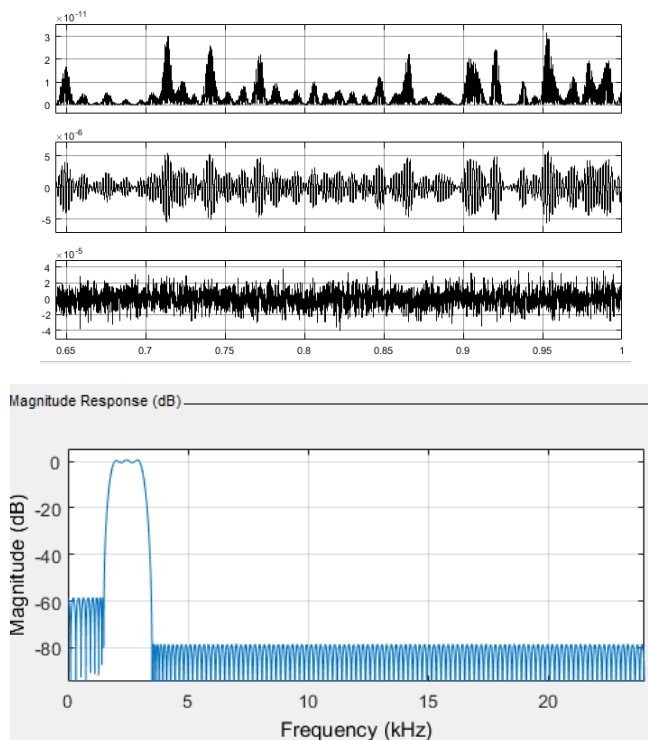


Рисунок 4.1 – Проходження шумового сигналу через вхідний СФ та його частотну характеристику.

Коли ширина смуги зменшується, вихідний сигнал з фільтра змінюється повільніше і має меншу потужність (менша дисперсія). Його потужність пропорційна загальній смузі фільтра. При пропусканні через фільтр із вузькою смугою шум поводитья як квазігармонічна хвиля, але з амплітудою та фазою, що випадково змінюється. Коливання огибаючої (амплітуда, фаза) визначається смугою фільтра.

Проходження шуму U^2 через фільтр НЧ. На рис. 4.2 зображений відфільтрований шумовий сигнал з виходу квадратичного детектора. Час симуляції 1.2 с.

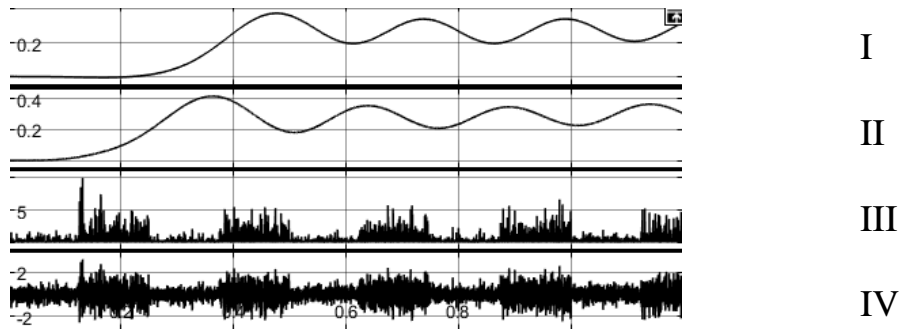


Рисунок 4.2 – Шум після квадратичного детектора на виході ФНЧ:

I – сигнал з цифрового КІХ-фільтра, частота зрізу 1 Гц; II – сигнал з виходу аналогового фільтра Батерворта 5 порядку, частота зрізу 3 Гц; III та IV – сигнали після та до КД відповідно.

Ширина смуги вхідного фільтра ≈ 160 кГц. Частота зрізу ФНЧ 1Гц. При температурі системи $T_{\text{sys}}=30$ К чутливість становить $\Delta T=0.075$ К.

Також маємо запізнення сигналів, що пов'язане із перехідною характеристикою фільтрів.

Зробимо моделювання синхронного детектора.

Генерується випадковий сигнал кількістю 2048 відліків, який подається на квадратичний детектор. Він моделюється шляхом піднесення до квадрату вхідних відліків, тобто має ідеальну квадратичну характеристику.

Частота дискретизації рівна

$$f_d = 2\Delta f \quad (4.4)$$

Інтервал між вибірками

$$\Delta t = \frac{1}{2\Delta f} \quad (4.5)$$

Кількість вибірок на інтервалі сигналу антени і опорного сигналу

$$N = \frac{T_m}{2\Delta t} \quad (4.6)$$

де T_m – період модуляційного сигналу $m(t)$

Отримуємо дві послідовності $s_a(i)$ та $s_o(i)$ $i=1,2,\dots,N$. Визначаються середні значення \bar{s}_a та \bar{s}_o на півперіодах модуляції

$$\bar{s}_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_a(i) \quad (4.7)$$

$$\bar{s}_o = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_o(i) \quad (4.8)$$

Обчислюється сигнал на виході модуляції s_d

$$s_d(j) = \bar{s}_a(j) - \bar{s}_o(j), \quad (4.9)$$

Середні значення $\bar{s}_a(j)$ та $\bar{s}_o(j)$ шумових сигналів будуть випадковими величинами і $s_d(j)$ також буде випадковою величиною. На виході синхронного детектора отримаємо випадкову послідовність, яка відображає результат вимірювання температури антени. Частота відліків вихідного сигналу програмного синхронного детектора дорівнює частоті сигналу модуляції. Час інтегрування (визначення середнього) дорівнює $\tau = T_m / 2$, що недостатньо для отримання високої роздільної здатності(3) радіометра[2].

$$\Delta T = \frac{T_{sys}}{\sqrt{N}} = \frac{T_{sys}}{2\sqrt{\Delta f \tau}} \quad (4.10)$$

Для підвищення чутливості радіометра виконуємо інтегрування послідовності $s_d(j)$, обчислюємо $\bar{s}_d(j)$ на вибраній кількості M періодів модуляційного сигналу:

$$\Delta T = \frac{T_{sys}}{\sqrt{N}} = \frac{T_{sys}}{2\sqrt{\Delta f \tau M}} \quad (4.11)$$

У модельному прикладі сигнали антени та опори моделюються генераторами шумів з нормальним розподілом та середнім значенням рівним нулю. Середньоквадратичне значення генератору шуму опорного сигналу не змінюється і дорівнює одиниці, а генератора сигналу антени змінюється від 0,5 до 0,50512 за $M=2000$ періодів модуляційного генератора.

Графік різниці між опорним сигналом, у якого $\sigma = 1$ та вимірюваним, σ якого змінюється від 0.5 до 0,50512.

Генеруються 200 реалізації випадкових сигналів, 2048 відліків у кожному сигналі. Сигнали генеруються функцією `norm(M, m, sigma)`, яка приймає у якості параметрів кількість відліків M , математичне очікування m та дисперсію σ .

Дисперсія змінюється за законом $\sigma = \sigma_0 + \frac{0.5}{200}i$, де $i = 0 \dots 200$ (рис. 5.2).

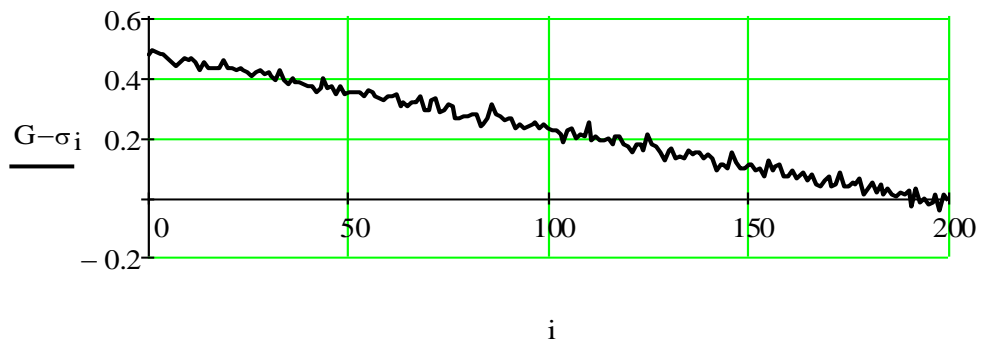


Рисунок 4.2 — Різниця середніх значень сигналів антени і опорного генератора

Будуємо графік різниці опорного та вимірюваного сигналу, у якого зміна значень σ відбувається повільно. Для цього генерується 2048 пачок сигналів функцією `norm()` (рис. 5.3).

Дисперсія змінюється за законом $\sigma = \sigma_0 + \frac{0.5}{200000}i$, де $i = 0 \dots 2048$

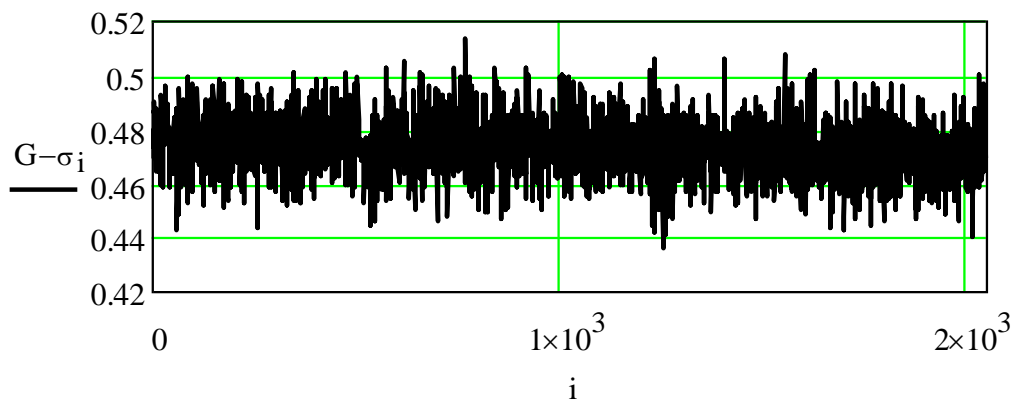


Рисунок 4.3 — Різниця середніх значень сигналів антени і опорного генератора

Отриману різницю для остаточного результату потрібно згладити, або профільтрувати. Використовуються 3 методи:

- Медіанне згладжування (ковзної медіани)
- Гаусове ядро
- Найменших квадратів

Використаємо наступні функції Mathcad.

Функція *medsmooth* (vy, n) [7] використовує згладжування за допомогою ковзної медіани, обчислює залишки, згладжує залишки тим же самим чином і підсумовує ці два згладжених вектора разом. Medsmooth буде залишати перші й останні $(n-1)/2$ точки незмінними. Повертає m -мірний вектор, створений згладжуванням vy за допомогою ковзної медіани. vy є m -мірним вектором дійсних чисел. n - ширина вікна, за яким відбувається згладжування. n повинно бути непарним числом, меншим, ніж число елементів в vy .

Функція *ksmooth* (vx, vy, b) використовує гауссове ядро, щоб обчислити локально зважені середні значення вихідного вектора vy . Це згладжування найбільш корисно, коли дані взяті в точках, відокремлених один від одного інтервалами приблизно рівної ширини. Повертає n -мірний вектор, створений згладжуванням за допомогою гауссового ядра даних з vy . vy і vx - n -мірні вектори дійсних чисел. Параметр b управляє вікном згладжування і повинен бути встановлений в кілька разів більше величини інтервалу між точками x . Якщо довжина інтервалів істотно змінюється, слід використовувати адаптивне згладжування подібне *supsmooth*.

Функція *supsmooth* (vx, vy) використовує симетричну лінійну процедуру згладжування методом найменших квадратів за правилом k -найближчих сусідів, щоб виконати локальну лінійну апроксимацію вихідних даних. Повертає n -мірний вектор, створений локальним використанням симетричної лінійної процедури згладжування методом найменших квадратів за правилом k -найближчих сусідів, в якій k вибирається адаптивно. vy і vx - n -мірні вектори дійсних чисел. Елементи vx повинні бути розташовані в порядку зростання. На відміну від *ksmooth*, який використовує фіксовану ширину смуги згладжування для всіх вихідних даних, *supsmooth* адаптивно вибирає

різну ширину смуги згладжування для різних частин даних.

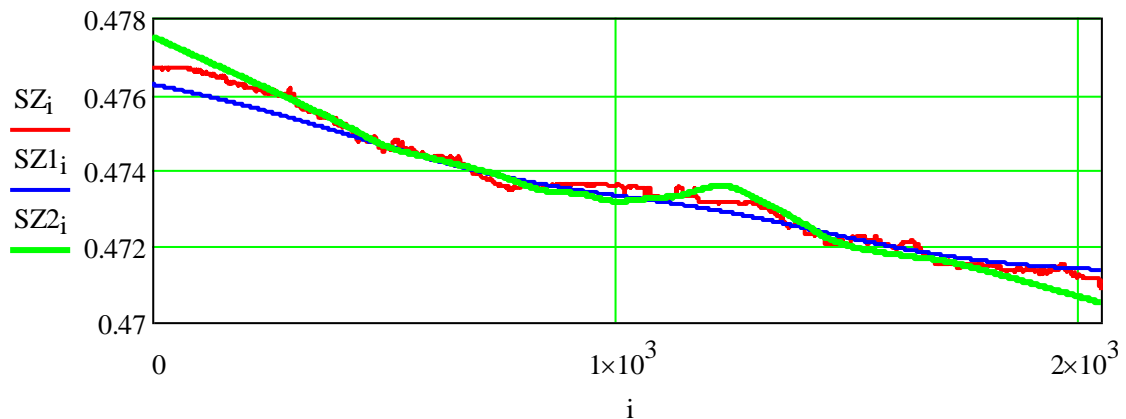


Рисунок 4.4 — Результати згладжування:

SZ — ковзна середня, $SZ1$ — гаусове ядро, $SZ2$ —поліноміальна регресія

У методі ковзної середньої (графік 1) вікно згладжування відповідає 371M. Якщо вибрати частоту модуляційного генератора 1кГц, час інтегрування становитиме приблизно 0,18сек. Теоретична різниця сигналів антени та опори дорівнює 0,5, розрахована в діапазоні 0,4755–0,476, діапазон зміни сигналу теоретичний 0,005, розрахований 0,004.

У методі згладжування гаусовим ядром (графік 2) (функція ksmooth) параметр вікна згладжування $b = 0.002$.

Змінимо розмір вікна, по якому ведеться усереднення (рис.4.5) та параметр b (рис. 4.6).

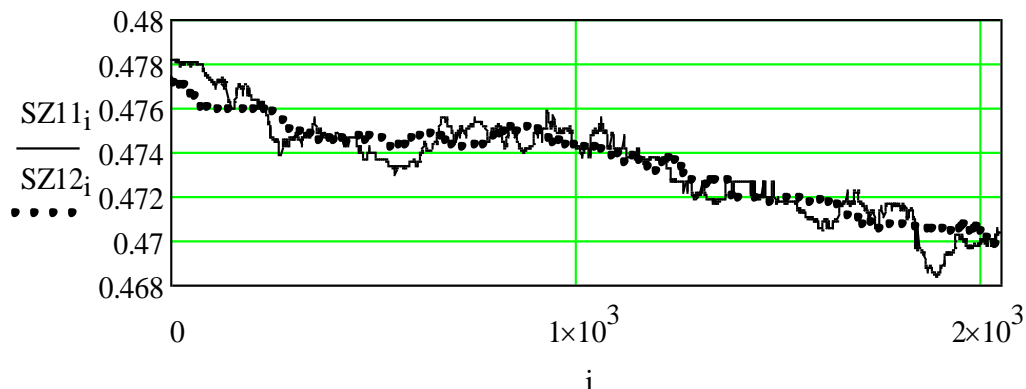


Рисунок 4.5 — Медіанне згладжування вікнами різного розміру:

$SZ11$ — $M=201$, $SZ12$ — $M=531$.

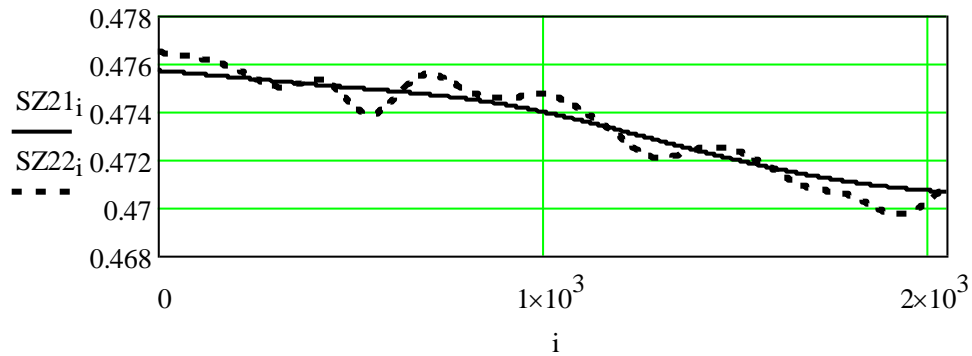


Рисунок 4.6 — Згладжування гаусовим ядром з коефіцієнтами:

SZ21 — $b=0.002$, SZ22 — $b=0.0005$

У даному розділі промодельовано проходження шумового через вхідний фільтр, отримано форму сигналу. Також зроблено модель синхронного детектора та показано, як збільшити точність детектування температури. Показано фільтрацію сигналів аналоговим та цифровим фільтром і згладжування сигналів методом ковзної медіани, гаусовим ядром та найменших квадратів.

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

Стартап як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок (із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає.

Проте створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 10% до 20%. Ідея стартап-проекту, взята окремо, не вартує майже нічого: головним завданням керівника проекту на початковому етапі його існування є перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов.

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів. Узагальнено етапи розроблення стартап-проекту можна подати таким чином.

Етапи розроблення стартап-проекту

1. Маркетинговий аналіз стартап-проекту В межах цього етапу:
 - розробляється опис самої ідеї проекту та визначаються загальні напрями використання потенційного товару чи послуги, а також їх відмінність від конкурентів;
 - аналізуються ринкові можливості щодо його реалізації;
 - на базі аналізу ринкового середовища розробляється стратегія ринкового впровадження потенційного товару в межах проекту.

2. Організація стартап-проекту В межах цього етапу:
 - складається календарний план-графік реалізації стартап-проекту;
 - розраховується потреба в основних засобах та нематеріальних активах;
 - визначається плановий обсяг виробництва потенційного товару, на основі чого формулюється потреба у матеріальних ресурсах та персоналі;
 - розраховуються загальні початкові витрати на запуск проекту та планові загальногосподарські витрати, необхідні для реалізації проекту.

3. Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту В межах цього етапу:
 - визначається обсяг інвестиційних витрат;
 - розраховуються основні фінансово-економічні показники проекту (обсяг виробництва продукції, собівартість виробництва, ціна реалізації, податкове навантаження та чистий прибуток) та
 - визначаються показники інвестиційної привабливості проекту (запас фінансової міцності, рентабельність продажів та інвестицій, період окупності проекту);

визначається рівень ризикованості проекту, визначаються основні ризики проекту та шляхи їх запобігання (реагування на ризики).

4. Заходи з комерціалізації проекту

Цей етап спрямовано на пошук інвесторів та просування інвестиційної пропозиції (оферти). Він передбачає:

- визначення цільової групи інвесторів та опису їх ділових інтересів;
- складання інвест-пропозиції (оферти): стислої характеристики проекту для попереднього ознайомлення інвестора із проектом;
- планування заходів з просування оферти: визначення комунікаційних каналів та площадок та планування системи заходів з просування в межах обраних каналів;
- планування ресурсів для реалізації заходів з просування оферти.

Означені етапи, реалізовані послідовно та вчасно – створюють передумови для успішного ринкового старту. Проте фахівці зі створення та розвитку стартап-проектів окремо відзначають, що відсутність маркетингових знань та умінь, що уможливають розробку ринково затребуваного проекту із вихідної ідеї, є основною причиною високого рівня банкрутств стартап-компаній, і ця проблема може бути вирішена за рахунок навчання винахідників.

Розділ магістерських дисертацій «Розроблення стартап-проекту» присвячено реалізації першого етапу розроблення стартап-проекту, а саме висвітленню маркетингових аспектів створення стартапу: відбору ідей, створенню концепції продукту, визначення перспектив ринкової реалізації проекту та розроблення маркетингової стратегії.

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-

технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження [13].

5.1 Опис ідеї проекту

Таблиця 5.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Алгоритми фільтрації та згладжування для радіометра з цифровою обробкою інформації	1. У військових системах зондування Землі	ціна, індивідуальний підхід, висока надійність, висока продуктивність
	2. Для використання у радіометрах цивільного використання	ціна, індивідуальний підхід, висока надійність, висока продуктивність

Алгоритми, що можуть бути розроблені на основі матеріалів даної магістерської дисертації відрізняється від існуючих аналогів та заміників:

- ціною готового продукту, яка є набагато меншою від існуючого аналогу на ринку
- спроможністю працювати одночасно з декількома радіометрами
- можливістю обробляти дані одночасно за мінімальний час;
- малою кількістю необхідних обчислювальних машин.

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів передбачає:

- визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик ідей;

- визначення попереднього кола конкурентів або товарів-замінників / товарів-аналогів, що вже існують на ринку;
- проведення порівняльного аналізу показників.

Таблиця 5.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1.	Економія на масштабах	Малі масштаби	Великі масштаби	Великі масштаби	Великі масштаби			+
2.	Гнучка ціна	Дешевий виріб	Дорогий виріб	Дорогий виріб	Дорогий виріб			+
3.	Розмір капіталовкладень	Капіталовкладення інвесторів	Капіталовкладення інвесторів	Капіталовкладення інвесторів	Капіталовкладення інвесторів		+	
4.	Контроль якості	Гарний контроль якості	Гарний контроль якості	Гарний контроль якості	Гарний контроль якості		+	
5.	Концентрація постачальників	Закордонні постачальники	Локальні постачальники	Закордонні постачальники	Закордонні постачальники		+	
6.	Прибутки	Великі прибутки	Великі прибутки	Великі прибутки	Середні прибутки		+	

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей алгоритмів для радіометрів у складі радіометричних системи є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності не тільки на ринку України, а й на світовому ринку систем моніторингу Землі.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

При проведенні аудиту технологій, за допомогою яких можна реалізувати ідею проекту, визначено технологічну здійсненість, при якій проведено аналіз таких складових:

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/додати?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 5.3 Технологічна здійсненість ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
	Цифровий радіометр з алгоритмами фільтрації та згладжування	моделювання проектування збірка програмних продуктів на раніше створених компонентах	наявні	доступні
			наявні	доступні
			наявні	доступні

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: всі вище зазначені технології були застосовані під час реалізації ідеї проекту.

- Технологічна реалізація проекту можлива наступним шляхом:
- моделювання;
- проектування;

- збірка програмних продуктів на раніше створених компонентах.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проєкту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проєкту, дозволяє спланувати напрями розвитку проєкту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проєктів-конкурентів.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	Станує
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Зростає
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Зростає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Зростає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Станує

В результаті аналізу ринкових можливостей запуску стартап-проєкту можна прийти до висновку, що ринок за попередніми оцінюваннями є привабливим для входження.

Таблиця 5.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Державне замовлення	Служби моніторингу земної поверхні, атмосфери; астрономія	Відмінностей не виявлено	Наявність достовірних результатів вимірювань
2	Приватні замовлення	Приватні моніторингові компанії	Відмінностей не виявлено	Наявність достовірних результатів вимірювань

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення

Таблиця 5.6 SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: ціна	Слабкі сторони: якість
Можливості: підвищення реалізації продукту на ринку	Загрози: неможливість реалізації несертифікованого товару

Таблиця 5.7 Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
	Наявність більш універсального і різностороннього пристрою у конкурентів	Кількісне зменшення реалізованого продукту	Покращити функціонал пристрою, підвищити продуктивність роботи
	Відсутність постачальника	Неможливість виробляти продукт	Налагодження бізнес-відношень з іншими

		при відсутності необхідної елементної бази	постачальниками
--	--	--	-----------------

Таблиця 5.8 Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
	Використання якіснішої елементної бази	Зростання обчислювальних потужностей	Підвищення реалізації продукту
	Зменшення габаритів обчислювальних стійок	Можливість встановлення в мобільних радіометричних системах	Зростання кола споживачів

Таблиця 5.9 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста	Олігополія	Зменшити ціну готового продукту
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний/національний/...	Національний	Спонукає до придбання продукту внутрішнього виробництва
3. За галузевою ознакою - міжгалузєва/ внутрішньогалузєва	Внутрішньогалузєва	Удосконалити структуру виробництва
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями	Товарно-видова	Удосконалити пристрій додатковими можливостями
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Цінова	Зменшення ціни готового продукту не втрачаючи при цьому його якості
6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	Не марочна	Створити власний марочний знак

Більш детальний аналіз конкуренції:

Таблиця 5.10 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Thales	Selex	Китайський ринок	ЗСУ	Data Fusion System, Thales Group
Висновки:	Рівень інтенсивності – великий	Є потенційні конкуренти, що вже готові вийти на ринок	Постачальники не диктують умови роботи на ринку	Диктують: <ul style="list-style-type: none"> • якість; • ціна; • універсальність 	Не буде обмеженості роботи через товари замінники

У власного виробу існує принципова можливість роботи на ринку з огляду на конкурентну ситуацію.

Таблиця 5.11 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Концепція	Власний виріб повністю забезпечує очікувані вигоди споживачів
2	Якість	Якість власного виробу відповідає загальним нормам, але не має сертифікату відповідності
3	Ціна	Ціна на власний продукт складає п'яту частину від ціни конкурента

Таблиця 5.12 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Радіометра з цифровою обробкою сигналів»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Концепція	18				+			

2	Якість	17					+		
3	Ціна	19	+						

Таблиця 5.13 SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: ціна	Слабкі сторони: якість
Можливості: підвищення реалізації продукту на ринку	Загрози: неможливість реалізації несертифікованого товару

Таблиця 5.14 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Зменшення ціни готового продукту	Ймовірність більш проста	Стислі
2	Отримання сертифікату продукції	Ймовірність складна	Невідомі

Найбільш доцільною альтернативою ринкового впровадження стартап-проекту є зменшення ціни готового продукту.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 5.15 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент

1	ЗСУ	Готові	100%	Досить велика	Складна
2	Приватні замовники	Готові	Неможливо відповісти на дане запитання	Досить велика	Складна
Які цільові групи обрано: обидві					

Таблиця 5.16 Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Концентрація на потребах цільового сегменту	Зменшення ціни	Дана стратегія покращить конкурентоспроможність компанії	Зменшення ціни

Таблиця 5.17 Визначення базової стратегії конкурентоспроможної поведінки

№ п/п	Чи є проект "першопрохідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	ні	Так	Ні	Стратегія захоплення лідерства

Таблиця 5.18 Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)

1	Наявність сертифікату якості	Зменшення ціни	Цінова політика	Ціна, якість
---	------------------------------	----------------	-----------------	--------------

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 5.19 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	технічні	ергономічність	відповідність продукту спеціальним особливостям
2	економічні	ціна товару	дешевизна
3	нормативні	стандартизація	відповідність стандартам та правилам
4	патентно-правові	чистота продукції	унікальність

Таблиця 5.20 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
1. Товар за задумом	Технічна потреба		
2. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. практичність	+	+
	Якість: стандарти та нормативи, параметри відповідно до ДСТУ EN 60601-1:2015, ДСТУ EN 60601-2-. 27:2015.		
	Пакування присутнє		
Маркування: «Моя компанія» присутнє на упаковці			
3. Товар із	До продажу		

підкріпленням	Після продажу
Товар буде захищено від копіювання за рахунок використання ліцензій ПЗ.	

Таблиця 5.21 Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення цін на товар
1	Високий	Високий	Високий	1.5-10 млн. грн.

Таблиця 5.22 Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Замовлення на індивідуальне проектування	звичайна	прямі поставки

Таблиця 5.23 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Активні	Всі існуючі	Ціна, якість	Зацікавити у даному пристрої	Протягом усього часу

5.6 Висновки

У даному розділі магістерської дисертації було проведено аналіз власного виробу у якості стартап-проекту, та визначені:

- можливість комерційної реалізації продукту, визначено рівень попиту на продукт та його рентабельність;
- визначені потенційні групи клієнтів, стан конкуренції та конкурентна спроможність проекту;
- визначений альтернативний варіант впровадження для ринкової реалізації проекту;

У результаті проведених досліджень вважати доцільним подальшу імплементацію продукту.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Враховуючи теоретичний характер науково-дослідної роботи, у даному розділі виконаний аналіз та оцінка відповідності існуючих санітарних норм і вимог техніки безпеки, шкідливих і небезпечних виробничих факторів, що виникають при роботі з електронними та обчислювальними пристроями в науково-дослідній лабораторії радіотехнічного факультету НТУУ «КПІ». Основна увага приділяється визначенню основних потенційно шкідливих та небезпечних факторів при виконанні науково-дослідницької роботи, а також розробці технічних рішень та організаційних заходів з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії з урахуванням вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98, а також безпеці в надзвичайних ситуаціях.

6.1 Визначення основних потенційно шкідливих факторів при виконанні науково – дослідницької роботи

Процеси графічного моделювання проводяться за допомогою персонального комп'ютера (ПК). При роботі на ПК людина піддається впливу іонізуючого, інфрачервоного й ультрафіолетового випромінювань екрана монітора, рівні яких повинні відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з ВДТ ПЕОМ».

При проведенні повного циклу робіт з проектування потенційно – небезпечними та шкідливими факторами можуть бути:

- наявність електромагнітних випромінювань;
- можливість ураження електричним струмом;
- підвищений рівень шуму;

- невідповідність освітлення санітарним нормам;
- несприятливі мікрокліматичні умови;
- можливість виникнення НС.

Розглянемо вплив цих факторів більш детально.

6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці

6.2.1 Електробезпека

Згідно ПУЕ науково-дослідницька лабораторія відноситься до приміщень без підвищеного ризику. Електроустаткування належить до приладів до 1000 В. Устаткування, що використовується, відповідно до ДСТУ ІЕС 61140:2015 належить до устаткування класів 0І, І та ІІ за електрозахистом.

У процесі експлуатації електронно-обчислювального обладнання людина може доторкнутися до частин електроустаткування, які перебувають під напругою. Оцінка небезпеки дотику до струмоведучих частин відноситься до визначення сили струму, що протікає через тіло людини, і порівняння його із допустимим значенням відповідно до ПУЕ-2017. У загальному випадку допустима величина струму, що протікає через тіло людини, залежить від схеми підключення електроустаткування до електромережі, роду й величини напруги живлення, схеми включення.

При виконанні розрахунків для дипломного проекту використовувався персональний комп'ютер(системний блок І клас.; ВДТ - ІІ клас), що живиться напругою 220 В. Для правильного визначення необхідних засобів та заходів захисту від ураження електричним струмом необхідно знати допустимі значення напруг доторкання та струмів, що проходять через тіло людини.

Напруга доторкання - це напруга між двома точками електричного кола, до яких одночасно доторкається людина. Гранично допустимі значення напруги доторкання та сили струму для аварійного режимів електроустановок при проходженні струму через тіло людини по шляху «рука – рука» чи «рука – ноги» регламентуються ПУЕ-2017 (табл.4.4 та 4.5).

Таблиця 6.1

t(сек)	до 0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	>1сек. до 5 сек
U _{1доп.дог} (В)	500	400	200	130	100	65

Основними технічними засобами, що забезпечують безпеку робіт (згідно ПУЕ-2017) є: надійна ізоляція, захисне заземлення, занулення, захисне відключення, засоби індивідуального захисту. У системі трифазних мереж із глухо заземленою нейтраллю, яка використовується у науково-дослідницькій лабораторії, найкращими засобами захисту є: надійна ізоляція струмоведучих частин електроустаткування і занулення відповідно до ПУЕ (з'єднання елементів, що перебувають під напругою, із глухо заземленою нейтраллю). Крім того, для заземлення переносних частин обладнання застосовують спеціальне з'єднання.

6.2.1.1 Розрахунок захисного відключення електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання

Виконаємо розрахунок ланцюга захисного відключення фазного проводу при короткому замиканні (КЗ). Струм КЗ можна обчислити за формулою:

$$I_{КЗ} = \frac{U_{\phi}}{R_0 + R_{\phi} + Z_{TP}}$$

де $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ - напруга фазного проводу;

$R_0 = 3 \text{ Ом}$ - опір нульового проводу;

$R_{\phi} = 7 \text{ Ом}$ - опір фазного проводу;

$Z_{TP} \cong 0,1 \text{ Ом}$ - еквівалентний опір трансформатора.

$$I_{КЗ} = \frac{220}{3 + 7 + 0,1} = 21,779 \text{ А}$$

Автомати максимального струмового захисту, які використовуються у робочому приміщенні, мають максимальний струм спрацювання 10 А, що відповідає даній вимозі.

Струм спрацьовування автоматів захисту з електромагнітним розпилювачем повинен бути в 1,4 рази менше струму короткого замикання при струмі до 100 А.

$$I_{СПР} = \frac{21,779}{1,4} = 15,59 \text{ А}$$

Таким чином, струм спрацьовування автомата повинен бути менше 15,6 А. Розрахуємо напругу дотику до корпусів електрообладнання при короткому замиканні:

$$U_{ДОТ} = I_{КЗ} R_0 = 21,779 \cdot 3 = 65,4 \text{ В}$$

Відповідно до ПУЕ-2017, щоб ця напруга була безпечна для людини, необхідно використовувати автомати максимального струмового захисту у яких час спрацьовування менше 0,9с.

Автомати максимального струмового захисту, встановлені у науково-дослідницькій лабораторії задовольняють цим умовам ($T_{СПР} < 0,9 \text{ с.}$).

Із проведених розрахунків видно, що у науково-дослідницькій лабораторії основним захистом від поразки електричним струмом є занулення та застосування пристроїв максимального струмового захисту.

6.2.2 Організація робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ

ДСанПіН 3.3.2.007-98 "Державні санітарні норми і правила роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин" встановлює норми щодо забезпечення охорони праці користувачів ПК. Дотримання вимог цих правил може значно знизити наслідки несприятливої дії на працівників шкідливих та небезпечних факторів, які супроводжують роботу з відеодисплейними матеріалами, зокрема можливість зорових, нервово-емоційних переживань, серцево-судинних захворювань.

Для того щоб забезпечити точне та швидке зчитування інформації в зоні найкращого бачення, площина екрана монітора виставлена перпендикулярно нормальній лінії зору. При цьому передбачена можливість переміщення монітора навколо вертикальної осі в межах $\pm 30^\circ$ (справа наліво) та нахилу

вперед до 85° і назад до 105° з фіксацією в цьому положенні. Клавіатура розміщена на поверхні столу на відстані 100 .300 мм від краю. Кут нахилу клавіатури до столу обрано в межах від 5 до 15° так, що зап'ястя на долонях рук розташовуються горизонтально до площини столу. Таке положення клавіатури зручне для праці обома руками.

Робочі місця з ПК розташовано відносно від стіни з вікнами на відстані не менше 1,5м, від інших стін — на відстані 1 м, відстань між собою - не менше ніж 1,5 м. Причому так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски з поверхні екранів ПК передбачені сонцезахисні жалюзі.

Штучне освітлення робочого місця, обладнаного ПК, здійснюється системою загального рівномірного освітлення. Як джерело штучного освітлення мають застосовуватись люмінесцентні лампи ЛБ.

Вимоги до освітлення приміщень та робочих місць під час роботи з ПК:

- освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи, який визначається трьома параметрами: об'єктом розрізнення - найменшим розміром об'єкта, що розглядається на моніторі ПК; фоном, який характеризується коефіцієнтом відбиття; контрастом об'єкта і фону;
- необхідно забезпечити достатньо рівномірне розподілення яскравості на робочій поверхні монітора, а також в межах навколишнього простору;
- на робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні;
- в полі зору не повинно бути відблисків (підвищеної яскравості поверхонь, які світяться та викликають осліплення);
- величина освітленості повинна бути постійною під час роботи;

Тривалість регламентованих перерв під час роботи з ЕОМ становить 10 хвилин через кожну годину роботи .

Для зниження нервово-емоційного напруження, втомленості зорового аналізатора, для поліпшення мозкового кровообігу і запобігання втомі

доцільно деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ, які передбачені ДСанПіН 3.3.2.007-98

6.2.2.1 Освітлення робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ

Штучне освітлення, а саме відсутність у спектрі ламп денного світла й ламп накалювання біологічно активної ультрафіолетової складової при тривалому впливі може призвести до ультрафіолетової недостатності, при якій знижуються бактерицидні властивості шкіри та імунітет.

Істотне значення для збереження тривалої працездатності, підвищення продуктивності праці має забезпечення норм освітленості на робочому місці. Величина освітленості регламентується нормами ДБН В.2.5-28-2018. Робоче приміщення належить до І групи – приміщення, у яких розрізнення об'єктів зорової роботи здійснюється при фіксованому напрямку лінії зору працюючих на робочу поверхню.

Нормування штучного освітлення також здійснюється згідно ДБН В.2.5-28-2018. Для загального освітлення використовують головним чином люмінесцентні лампи, що обумовлено їхніми перевагами. Для розрахунку штучного освітлення застосовують метод коефіцієнта використання потоку:

$$\Phi = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{N \cdot C}$$

де Φ – світловий потік; E – нормована мінімальна освітленість; K – коефіцієнт запасу; S – освітлювана площа; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення; C – коефіцієнт використання випромінюваного світильниками світлового потоку на розрахунковій площі; N – число світильників.

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 визначаємо норму освітленості:

$$E = 300 \text{ лк}; K = 1,5; S = 5 \cdot 4 = 20 \text{ м}^2; Z = 1,2.$$

Необхідна кількість люмінесцентних ламп визначається по формулі:

$$N = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\Phi \cdot C}$$

Найбільш прийнятними для приміщення є люмінесцентні лампи ЛД (денного світла) потужністю 40 Вт. Нормальний світловий потік лампи ЛД-40 дорівнює $\Phi = 2340$ лм. Величиною i , індексом приміщення можна встановити залежність від площі приміщення й висоти підвісу:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}$$

де $A = 5$ м – довжина приміщення; $B = 4$ м – ширина приміщення; h – висота підвісу;

$$h = H - h_p - h_c,$$

де $H = 3,5$ м – висота приміщення; $h_p = 0,8$ м – висота робочої поверхні;

$h_c = 0,4$ м – висота від стелі до нижньої частини лампи;

$$h = 3,5 - 0,8 - 0,4 = 2,3 \text{ м};$$

$$i = \frac{4 \cdot 5}{2,3 \cdot (4 + 5)} = 0,97$$

Коефіцієнт використання світлового потоку на розрахунковій площі $C = 0,4$ У підсумку число світильників вийде рівним:

$$N = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 1,2}{2340 \cdot 0,3} = 12$$

Для штучного освітлення в робочому приміщенні достатньо використати 12 люмінесцентних ламп денного світла ЛД – 40, зі світловим потоком $\Phi = 2340$ лм кожна.

6.2.3. Виробничий шум

Допустимі шумові характеристики на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99.

Зовнішні джерела шуму відсутні. Джерелами шуму в приміщенні є персональні комп'ютери, телефон, принтер, кондиціонер, голоси людей і т.д.

Припустимі рівні звукового тиску, рівні звуку й еквівалентні рівні звуку

на робочих місцях нормуються відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99 та ДСН 3.3.6.037-99. Загальний рівень звуку в лабораторії не перевищує 50 дБА .

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 захист від шуму в приміщенні, створеного на робочих місцях внутрішніми джерелами повинна здійснюватися наступними методами: зменшенням шуму в джерелі, раціональним плануванням і акустичною обробкою робочого приміщення звукоізоляційними матеріалами.

5.2.4. Мікроклімат робочої зони

Мікроклімат у виробничих умовах визначається наступними параметрами: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря й інтенсивністю теплового випромінювання на робочому місці, температурою поверхні.

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99 встановлюють оптимальне й припустиме значення параметрів мікроклімату залежно від періоду року й категорії робіт. У таблиці наведені оптимальні й припустимі значення параметрів мікроклімату для категорій тяжкості робіт «Ia» (роботи, виконувані сидячи й не потребуючі фізичної напруги при витраті енергії не більше 120 ккал/година).

Таблиця 6.1. Оптимальні й допустимі параметри (для постійного робочого місця) мікроклімату в приміщенні.

Параметри	Холодний період		Теплий період	
	оптимальні	допустимі	оптимальні	допустимі
Температура °С	22-24	21-25	23-25	22- 28
Відносна вологість, %	40-60	80	40-60	75
Швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,1	0,1	0,1-0,2

У приміщенні використовується 6-ти секційна чавунна батарея центрального опалення для підтримки нормальної температури повітря в

холодну пору року. Також є кондиціонер для підтримки постійної температури в приміщенні.

Для підтримки необхідних параметрів повітря в приміщенні використовується природна вентиляція. У приміщенні є вікно, яке можна відкривати, якщо буде потреба в теплий період і кватирка - відкривається в холодний період. Шкідливі речовини в приміщенні не зберігаються й не використовуються.

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042–99.

6.3. Заходи щодо поліпшення умов праці в науково-дослідній лабораторії

6.3.1. Повторне заземлення нульового проводу

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок про доцільність застосування повторного заземлення нульового проводу електромережі, що дозволяє зменшити напругу дотику, як при нормальному так і при аварійному режимах роботи електрообладнання.

Згідно з проведеними розрахунками для зменшення напруги <36 В необхідно використати повторне заземлення $R_n < 40 \text{ Ом}$.

Нехай тип заземлення – вертикальний електрод – стержень довжиною 4 м і діаметром $d = 0.01 \text{ м}$. Питомий опір ґрунту $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (для суглинку). З урахуванням кліматичного коефіцієнта $\Phi = 2$, маємо:

$$\rho_{\text{РОЗРАХ}} = \rho \cdot \Phi = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Визначимо опір розтікання струму заземлювачів:

$$R_{1\varepsilon} = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left[\ln \left(\frac{2L}{d} \right) + 0.5 \cdot \ln \left(\frac{4t + L}{4t - L} \right) \right]$$

де $\rho = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $L = 4 \text{ м}$; $d = 0,01 \text{ м}$; $t = 4 \text{ м}$.

Підставивши числові значення, маємо:

$$R_{1\varepsilon} = \frac{200}{2\pi \cdot 4} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 4}{0,01} \right) + 0.5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 4 + 4}{4 \cdot 4 - 4} \right) \right] = 55,19 \text{ Ом}$$

Таким чином, опір штучного заземлювача більше нормованого значення, тому необхідно паралельно з'єднати декілька однотипних заземлювачів:

$$R_{з\epsilon\Sigma} = \frac{R_1}{n \cdot \eta_E},$$

де $\eta_E \approx 0,5$ – коефіцієнт, що враховує взаємне екранування заземлювача;
 $n = 20$; $L/a = 1$ (a – відстань між заземлювачами), заземлювачі розташовані по контуру.

$$R_{з\epsilon} = 5,49 \text{ Ом}$$

Довжина сполучної смуги:

$$L_{СПОЛ} = a \cdot n = 4 \cdot 20 = 80 \text{ м}$$

Ширина смуги 0.02м, а відстань від смуги до поверхні землі 1м. Тоді опір розтікання струму сполучної смуги:

$$R_{\Pi} = \frac{\rho}{2\pi \cdot L_{СПОЛ}} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot L_{СПОЛ}^2}{B_{СПОЛ} \cdot H_{СПОЛ}}\right) = \frac{200}{2\pi \cdot 80} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 80^2}{0.01 \cdot 1}\right) = 5.31 \text{ Ом}$$

З урахуванням коефіцієнта використання смуг $\eta_{\Pi} = 0,8$:

$$R_{\Pi} = \frac{R_{\Pi}}{\eta_{\Pi}} = 6,6 \text{ Ом}$$

Еквівалентний опір заземлювача складається з паралельно включених R_{Π} і $R_{з\epsilon}$:

$$R_{ЕКВ} = \frac{R_{\Pi} \cdot R_{з\epsilon\Sigma}}{R_{\Pi} + R_{з\epsilon}} = \frac{5,52 \cdot 6,65}{5,52 + 6,65} = 3,09 \text{ Ом}$$

Отримане значення опору заземлювача менше гранично допустимого $R_{д}$.

6.3.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Одним з основних складових планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС) є розробка технічних рішень та організації заходів щодо оповіщення, евакуації та дії персоналу лабораторії у надзвичайних ситуаціях, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

6.3.2.1. Технічні та організаційні рішення з пожежної безпеки

У науково-дослідницькій лабораторії знаходиться значна кількість твердих горючих речовин і матеріалів (дерев'яні меблі, пластмасові вироби, гума, папір, що поглинає покриття на стінках). Згідно ДСТУБ.В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень та споруд з вибухопожежної та пожежної безпеки», науково-дослідницька лабораторія відноситься до пожежонебезпечних приміщень категорії В (тверді горючі й важкогорючі речовини й матеріали, речовини й матеріали, які при взаємодії з водою, киснем, повітря або один з одним здатні тільки горіти).

Згідно з класифікацією робочих зон відповідно до ДНАОП 0.00-1.32-01 робочих зон науково-дослідницької лабораторії, які відносяться до зон класу П-Па - пожежонебезпечне, що містять тверді горючі речовини, нездатні переходити у зважений стан.

Джерелами загоряння можуть бути електричні іскри, коротке замикання, перевантаження електропроводки, несправність апаратури, паління в приміщенні. Тому для запобігання пожежі в приміщенні проводяться пожежно-профілактичні заходи: застосування запобіжників в електричних мережах, використання пилонепроникних сполучних і розподільних коробок, а також проводиться інструктаж з техніки пожежної безпеки.

Відповідно до ДСТУ 3675-98 та ISO 3941-2007 у науково-дослідницькій лабораторії знаходяться два вогнегасника: вуглекислотний типу «ОУ-5» і порошковий «ОП-2». «ОУ-5» розташований на висоті 1,5 м від підлоги поруч із вихідними дверима.

У коридорі знаходяться коробки, у яких знаходиться пожежний кран і рукав, а також знаходиться вогнегасник типу «ОХП-2».

В обох кінцях коридору знаходяться телефонні апарати, над якими знаходяться таблички з номерами телефонів для виклику внутрішньої, а також, якщо потрібно, міської пожежної охорони.

У науково-дослідницькій лабораторії є план евакуації у випадку виникнення пожежі. Максимальна віддаленість робочих місць від

евакуаційних виходів і ширина евакуаційних проходів відповідають вимогам ДБН В.1.1-007-2016.

У робочому приміщенні виконані всі вимоги НАПБ А.01.001-2004 «Правил пожежної безпеки України».

Таким чином, у науково-дослідницькій лабораторії забезпечуються технічні та організаційні рішення з пожежної безпеки.

6.3.2.2. Система оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) пропонується встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009.

Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;

- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про пожежу, який формується системою пожежної сигналізації або системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) слід передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2016 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу про НС /пожежу/ здійснюється за допомогою світлових та/або звукових оповіщувачів - обладнуються всі виробничі приміщення.

СО повинна розпочати трансляцію сигналу оповіщення про НС /пожежу/, не пізніше трьох секунд з моменту отримання сигналу про НС /пожежу/.

Пульти управління СО необхідно розміщувати у приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (в разі його наявності). Ці приміщення повинні відповідати вимогам пунктів ДБН В.2.5-56-2014 "Протипожежний захист".

Кількість звукових та мовленнєвих оповіщувачів, їх розміщення та потужність повинні забезпечувати необхідний рівень звуку в усіх місцях постійного або тимчасового перебування виробничого персоналу.

Звукові оповіщувачі повинні комбінуватися зі світловими, які працюють у режимі спалахування, у таких випадках:

- у приміщеннях, де люди перебувають у шумозахисному спорядженні;
- у приміщеннях з рівнем шуму понад 95 дБ.

Допускається використовувати евакуаційні світлові покажчики, що автоматично вмикаються при отриманні СО командного імпульсу про початок оповіщення про НС /пожежу/ та (або) аварійному припиненні живлення робочого освітлення.

Вимоги до світлових покажчиків "Вихід" приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення".

СО в режимі "Тривога" повинна функціонувати протягом часу, необхідного для евакуації людей з будинку, але не менше 15 хвилин.

Вихід з ладу одного з оповіщувачів не повинен призводити до виведення з ладу ланки оповіщувачів, до якої вони під'єднанні.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з "Правилами устрою електроустановок" (ПУЭ) від двох незалежних джерел енергії: основного - від мережі змінного струму, резервного - від акумуляторних батарей тощо.

Перехід з основного джерела електропостачання на резервний та у зворотному напрямку в разі відновлення централізованого електропостачання повинен бути автоматичним.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у черговому режимі має бути не менш 24 годин.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у режимі "Тривога" має бути не менше 15 хвилин.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 "Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежні звукові".

Світлові оповіщувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту мигтіння в межах від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць.

Причини виникнення пожежі можуть бути наступні:

1. Електронагрівальні прилади, залишені без догляду ,а також паяльник;
2. Коротке замикання в електромережі й устаткуванні;
3. Спалахування горючих матеріалів і предметів, що знаходяться в безпосередній близькості від споживачів електричної енергії;
4. Перегрів місць з'єднання струмоведучих частин;
5. Недотримання норм техніки безпеки;

Для того, щоб уникнути виникнення пожежі, у лабораторії прийняті наступні міри:

1. Силовий щит з центральним рубильником виведений окремо, і прохід до нього знаходиться вільним;
2. Все устаткування і прилади розміщуються на негорючій підставці і на безпечній відстані від легкозаймистих речовин;
3. Згідно ДСТУ 3675-98 та ISO3941-77 на 100 м² треба розмістити 1-2 вогнегасники, в лабораторії з первинних засобів пожежогасіння є один вуглекислотний вогнегасник "ОУ2", для приведення в дію якого необхідно тільки відкрити вентиль;
4. Кондиціонер, що знаходиться в лабораторії, обладнаний вибухобезпечним двигуном і вентилятором.
5. Меблі розташовані таким чином, щоб не створювати перешкод при евакуації на випадок пожежі; розміри дверних прорізів відповідають усім вимогам СН и П 2.09.02 – 85 та ДБН; поруч з лабораторією вивішена план-схема евакуації на випадок пожежі.
6. Всі робітники лабораторії проходять вступний і первинний (безпосередньо на робочому місці) інструктаж.

7. Для виявлення початкової стадії пожежі застосовуються установки автоматичної пожежної сигналізації на базі автоматичних повідомлювачів типу ДТЛ та СПД згідно вимог ДБН В.2.5-13-98.

Приміщення лабораторії, щодо пожежної безпеки відповідає вимогам НАПБ А.01.001-95 «Правила пожежної безпеки в Україні».

6.3.2.3. Евакуація у разі виникнення надзвичайної ситуації

Нижче приведений план евакуації, передбачений у разі виникнення надзвичайної ситуації (пожежі) (рис. 6.1).

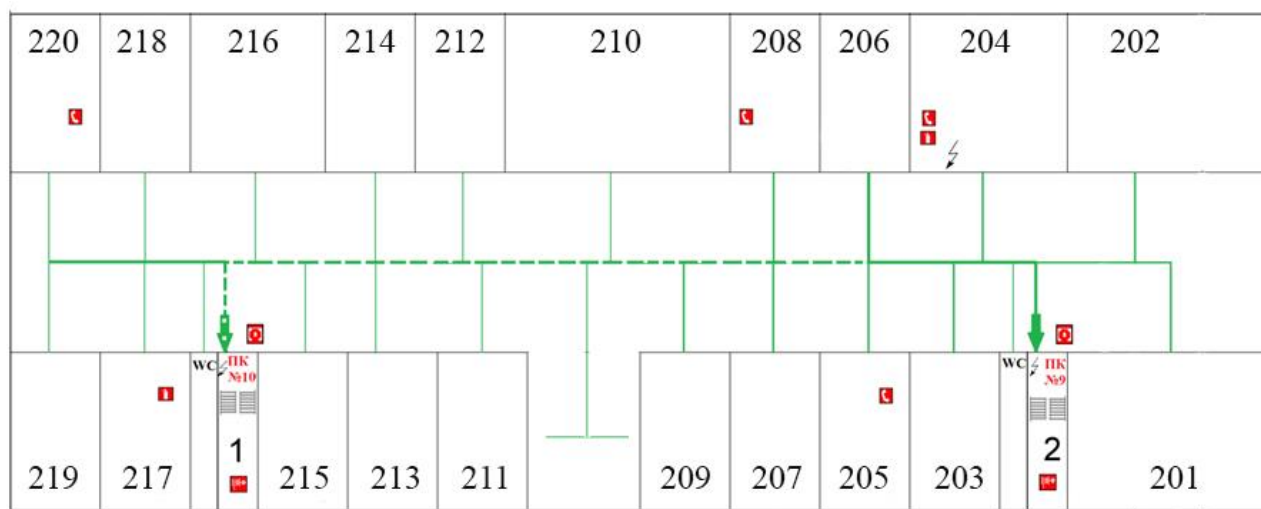


Рисунок 6.1 — План евакуації з приміщення лабораторії

Умовні позначення:

- | | | | |
|---|--------------------------|---|--------------------------------------|
|  | основний шлях евакуації; |  | телефон для повідомлення про пожежу, |
|  | Запасний шлях евакуації; |  | ручний пожежний сповіщувач, |
|  | вогнегасник; | | |
|  | пожежний кран | | |

Дії у разі виникнення надзвичайної ситуації:

1. Повідомити в пожежну охорону за тел. 1-01 адресу організації, поверх, номер приміщення, що горить, прізвище і номер телефону.
2. Натиснути кнопку на пожежній сигналізації і подати сигнал про пожежу голосом.
3. Організувати евакуацію людей згідно плану.
4. Прийняти міри по гасінню пожежі при відсутності загрози життю.

ВИСНОВКИ

Розглянуто структури різних радіометрів, їх переваги та недоліки. Розглянуто проходження шуму по блоках модуляційного радіометра Діке, можливості для оцифрування шуму. Показано, що на ринку електронних компонентів існують АЦП, що здатні оцифрувати вхідні сигнали зі смугою до 2 ГГц без попередньої фільтрації при малому значенні власних шумів. Встановлено, що дискретизація сигналу та цифрова обробка практично неможлива після широкосмугового підсилювача і можлива після квадратичного та синхронного детектора, розроблена модель радіометра в пакеті Simulink.

Промодельовано модуляційних радіометр з використанням цифрової та аналогової фільтрації для порівняння результатів.

Для підвищення чутливості вимірюваного сигналу запропоновано використовувати згладжування сигналу з усередненням за M періодів модуляції, на відміну від одного в класичному алгоритмі згладжування. Це теоретично дасть змогу підвищити чутливість у \sqrt{M} разів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Шарков Е. А. Радиотепловое дистанционное зондирование Земли: физические основы / Е. А. Шарков. – Москва: ИКИ РАН, 2014. – 544 с.
2. Гоноровский И. Радиотехнические цепи и сигналы. Т.2 – Москва: Советское Радио, 1967.
3. Быстров Р. П. Пассивная радиолокация: методы обнаружения объектов / Р. П. Быстров, А. В. Соколов. – Москва: Радиотехника, 2008. – 318 с.
4. Цыбулев П. Г. Развитие систем регистрации радиоастрономических данных и повышение чувствительности радиотелескопа РАТАН-600: дис. канд. техн. наук : 01.03.02 / Цыбулев П. Г. – Нижний Архыз, 2014. – 146 с.
5. Zhu Lu, Hu Fei, Li Qingxia, Zhu Yaoting “The Performance Analysis of Direct Sampling Microwave Radiometer. Dept. of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, 2008, 4 pages.
6. Lu Zhu, Fei Hu, Qingxia Li, Yaoting Zhu, Yuanyuan Liu, Jian Liu «The Performance Analysis of Digital Millimeter-Wave Radiometer». Dept. of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, 2009, 10 pages.
7. Калинин В. И. Разработка методов сверхширокополосной радиолокации высокого разрешения и помехоустойчивой передачи

информации на основе шумовых хаотических сигналов с тонкой спектральной структурой / Калинин В. И. – Фрязино, 2016. – 86 с.

8. Кирьянов Д. В. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. / Д. В. Кирьянов. – Санкт-Петербург: «БХВ-Петербург», 2012. – 428 с.

9. Very Low Noise, 24-Bit Analog-to-Digital Converter ADS1256 [Электронный ресурс] // Impinj, Inc. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.ti.com/lit/ds/sbas288k/sbas288k.pdf>

10. Берлин А.Б., Парийский Ю. Н., Мингалиев М.Г., Цыбулев П.Г., Тимофеева Г.М., Кратов Д.В. Модернизация радиометров дециметрового диапазона РАТАН-600: проект «Октава»//Труды Всероссийского астрономической конференции ВАК-2007. — 2007.

11. Убайчин А. В. Основы микроволновой радиометрии / А. В. Убайчин, А. В. Филатов, П. Е. Орлов. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2014. – 85 с.

12. Lyons R.G. Understanding Digital Signal Processing. — NJ, USA: Prentice Hall, 2004.

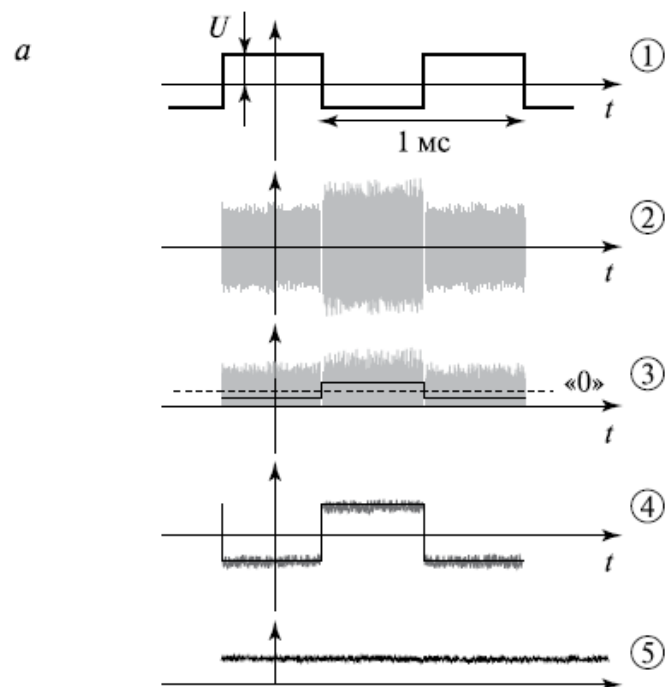
13. Wollack E., Pospieszalski M.W. Characteristics of broadband InP millimeterwave amplifiers for radiometry // Microwave Symposium Digest, 1998 IEEE MTT-S International. – 1998. – Т.2.

14. Милицкий Ю. А., Струков И. А., Эткин В. С. Высокочувствительный радиометр 8-миллиметрового диапазона волн с широкополосным параметрическим усилителем // Изв. вузов. Радиофизика. 1975. Т. 18. № 5.

15. High Speed A/D Converters [Электронный ресурс] // analog devices – Режим доступа до ресурсу: <https://www.analog.com/en/parametricsearch/10826>.

ДОДАТКИ ДОДАТОК А

Сигнали в модуляційному радіометрі (до рис. 1.3)



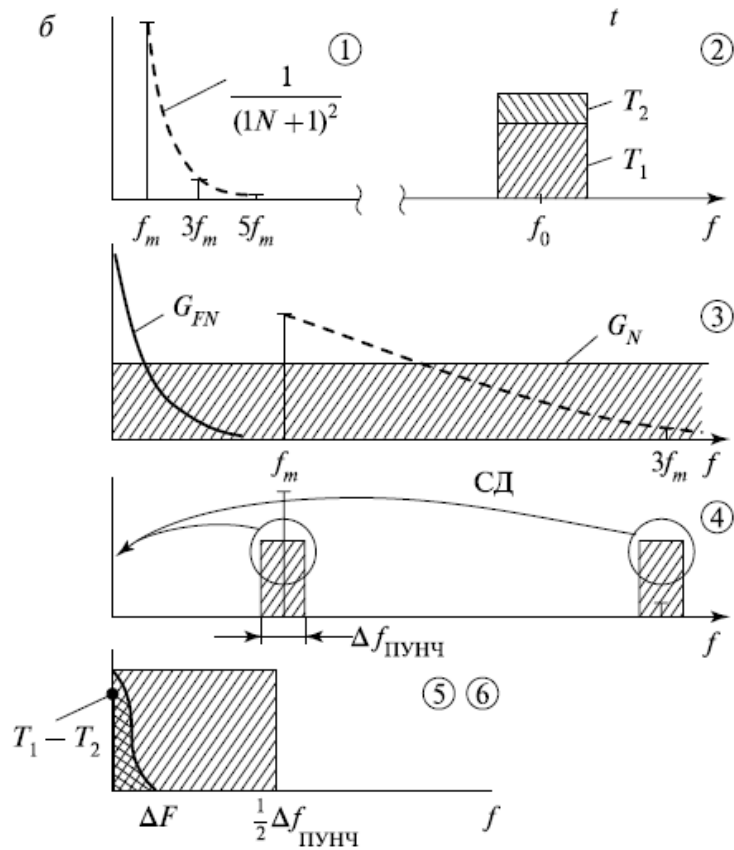


Рисунок А.1 — Циклограми функціонування модуляційного радіометра: а — часова; б — спектральна (СД — синхронний детектор)

ДОДАТОК Б

Тестове випробування моделі радіометра показало адекватність моделі в якісному вимірі теоретичним положенням (рис. Б.1)

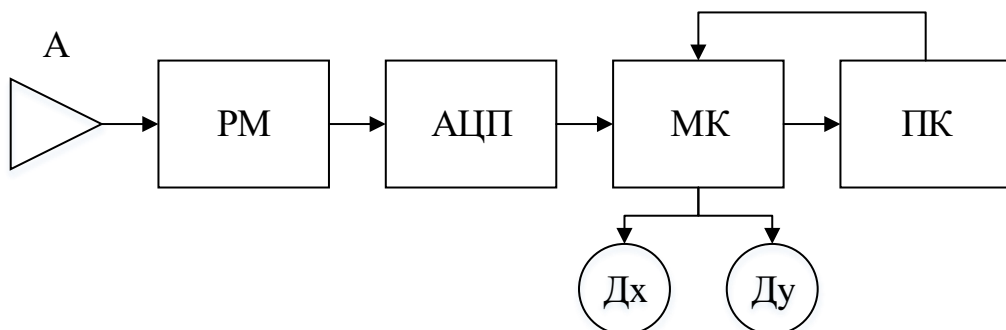


Рисунок Б.1 — Структурна схема радіометра. А — антена, РМ — власне радіометр, АЦП — аналогово-цифровий перетворювач, МК — мікроконтролер,

ПК – персональний комп'ютер, Дх і Ду – двигуни для переміщення антени по осях x та y

Головний блок даної схеми – МК. Він отримує дані від АЦП про сигнал на виході радіометра. МК підключений до ПК за допомогою COM-порту. МК може отримувати сигнали керування від ПК, якими здійснюється управління двигунами Дх і Ду для переміщення антени по осях x та y. У якості АЦП вибраний ADS1256, МК – Atmega324P.

Аналогово-цифровий перетворювач ADS1256 [7].

ADS1256 – це надзвичайно малошумний, 24-бітний аналого-цифровий перетворювач (A / D). Він забезпечує комплексні рішення високої роздільної здатності для найвибагливіших програм (рис. Б.2).

Перетворювач складається з дельта-сигма ($\Delta\Sigma$) модулятора четвертого порядку з програмованим цифровим фільтром. Гнучкий вхідний мультиплексор обробляє диференціальні або однобічні сигнали і включає схему для перевірки цілісності зовнішнього датчика, підключеного до входів. Вибірний вхідний буфер значно збільшує вхідний опір, а малошумний програмний підсилювач (PGA) забезпечує підсилення від 1 до 64 у двійкових кроках. Програмований фільтр дозволяє користувачеві вибрати між роздільною здатністю до 23 біт без шуму і швидкістю передачі даних до 30к семплів за секунду (SPS). Перетворювачі пропонують швидкий каналний цикл для вимірювання мультиплексованих входів, а також можуть здійснювати однократні перетворення, які встановлюються лише за один цикл.

Зв'язок здійснюється через сумісний із SPI сумісний послідовний інтерфейс, який може працювати з двопровідним з'єднанням. Вбудоване калібрування підтримує як самостійне, так і системне виправлення зміщення та посилення помилок для всіх параметрів PGA. Двонаправлені цифрові піни введення/виведення та програмований драйвер виводу тактового сигналу передбачені для загального використання. ADS1256 виготовлений у корпусі SSOP-28.

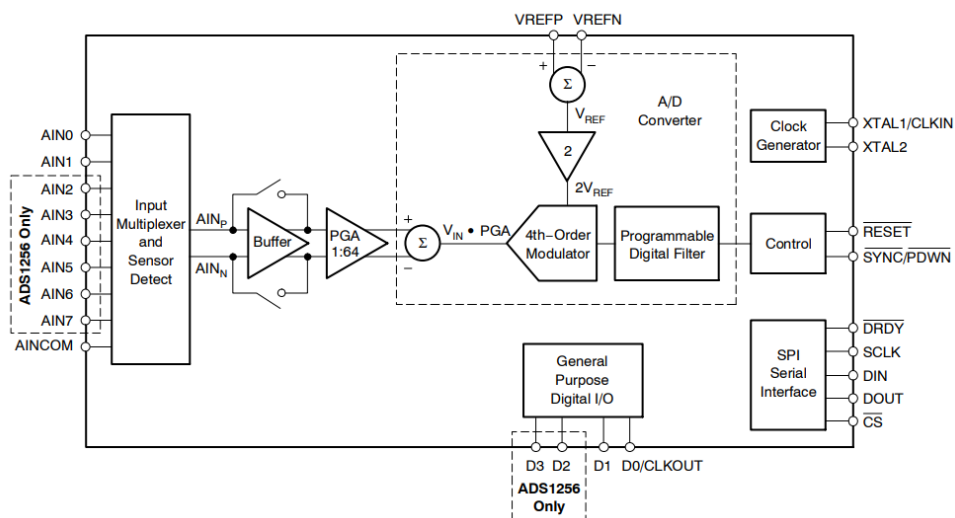


Рисунок Б.2 — Блок-схема ADS1256

У своєму складі ADS1256 має підсилювач PGA з можливим підсиленням у від 1 до 64 та програмований цифровий фільтр (блок Programmable Digital Filter).

На рис. 9 зображені частотні характеристики цифрового фільтра при двох крайніх значеннях частоти передачі даних 30 kSPS та 2.5 kSPS.

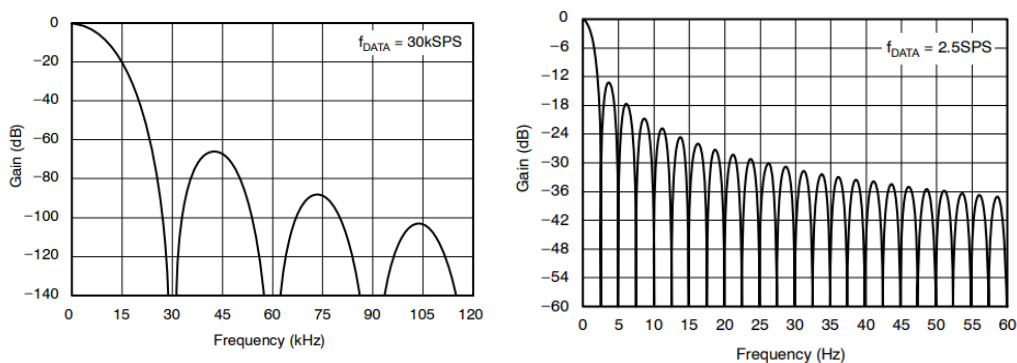
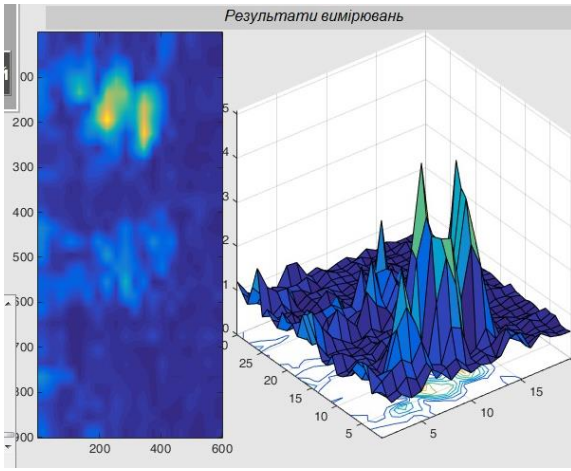


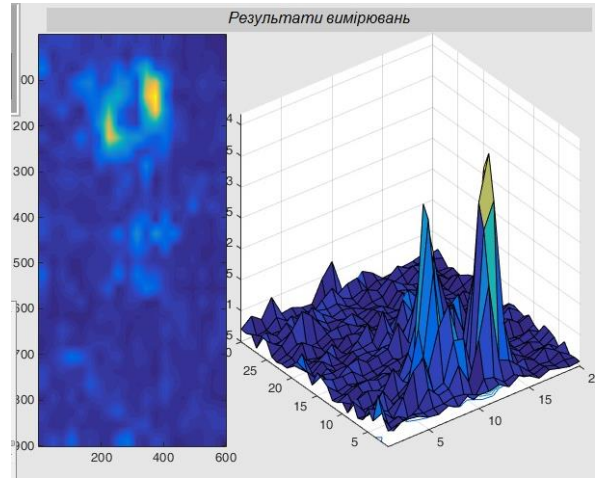
Рисунок Б.3 — Частотна характеристика для а – Data Rate = 30 kSPS, б – Data Rate = 2.5 kSPS

Команди керування АЦП наведені у додатку .

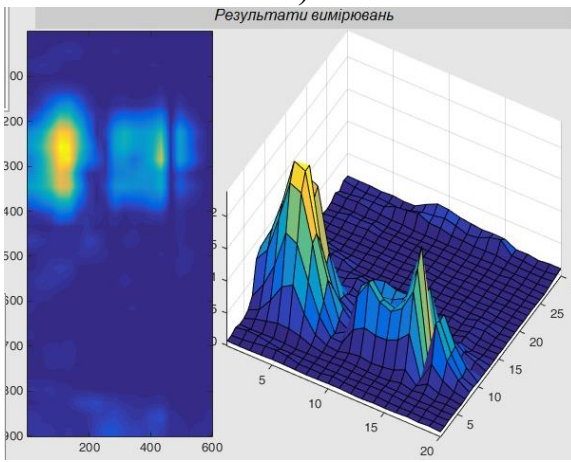
На рисунку Б.4 (а, б, в, г, д ,е) зображені результати вимірювання радіометром випромінювання від предмета у двовимірній площині. Отримані графіки мають виражений максимум у точках, де температура більша, ніж у сусідніх областях.



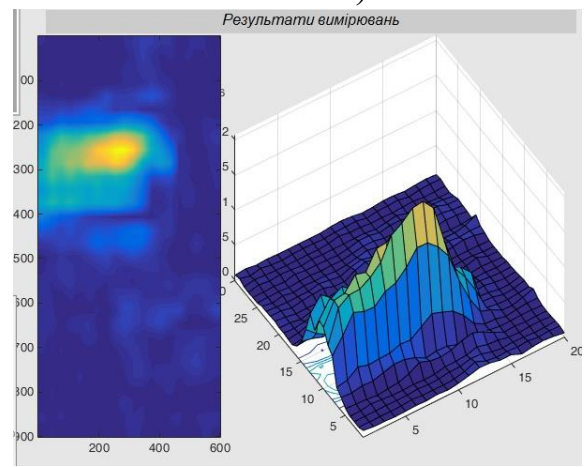
а)



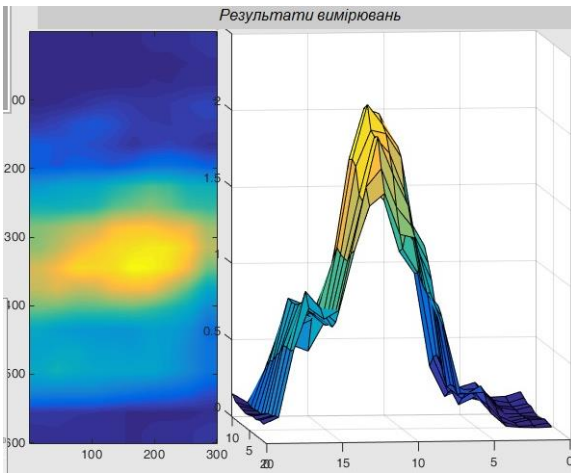
б)



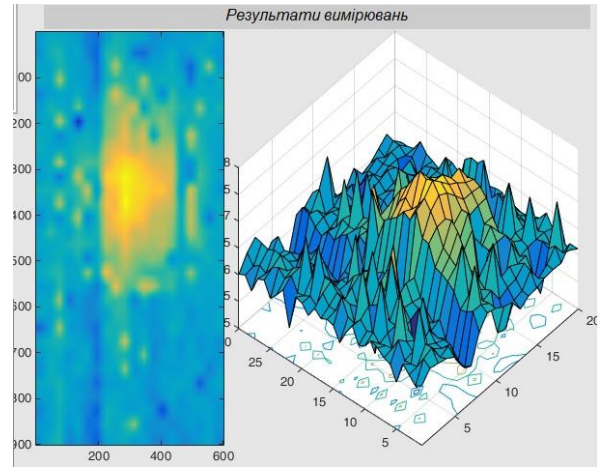
в)



г)



д)



е)

Рисунок Б.4

