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

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 53.072.8

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
(підпис) Є.А. Мелін (ініціали, прізвище)
"16" 12 2019 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
за спеціалізацією Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки
(код і назва спеціальності)

на тему: „Модель каналу зв'язку на основі мікросхеми AD9364.

Виконав студент 2 курсу, групи РІ-81мп
(шифр групи)
Галянуга Денис Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник проф. Зінковський Ю.Ф.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Рецензент доц. Мартинюк С.Є.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Київ – 2019 року

Галянуга Д.А. РІ-81мп, 2019

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

Факультет (інститут) Радіотехнічний факультет
(повна назва)

Кафедра Радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва)

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

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
спеціалізація Інтелектуалі технології мікросистемної радіоелектроніки техніки
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Є.А.Мелін
(підпис) (ініціали, прізвище)
«2» 09 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Ганжуці Денису Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Модель каналу зв'язку на основі мікросхеми» AD9364

науковий керівник дисертації проф. Зільковський М.Ф. ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» 11 2019 р. № 3881-с

2. Строк подання студентом дисертації 13.12.2019

3. Об'єкт дослідження Модуль каналу зв'язку Pluto AD9364

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) Предметом дослідження є характеристики мат. моделей та вплив різних параметрів досліджуваних сигналів на прийом та передачу сигналу

5. Перелік завдань, які потрібно розробити проаналізувати інтерфейсну створену за допомогою MatLab та Simulink математичну модель модуля, проаналізувати її ефективність,

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

оцінити надійність досліджуваного модуля, розробити стартап-проект та оформити розділ охорона праці

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу

28 ілюстрацій

7. Орієнтовний перелік публікацій

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 02.09.2019р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання на МД	02.09.19 – 03.09.19	
2	Аналіз літератури	06.09.19 – 20.09.19	
3	Збір статей інформації	21.09.19 – 05.10.19	
4	Побудова математичної моделі	05.10.19 – 12.10.19	
5	Оцінка ефективності математичної моделі	13.10.19 – 01.11.19	
6	Оцінка надійності модуля	05.11.19 – 25.11.19	
7	Розробка стартап-проекту	26.11.19 – 01.12.19	
8	Оформлення р. „Охорона праці"	02.12.19 – 05.12.19	

Студент (підпис) Ганжуга Д.А (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації (підпис) Зінькевський І.О. (ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки магістерської дисертації (МД) становить 85 сторінок, які включають 9 розділів, 38 ілюстрацій, 25 таблиць, 1 додаток і 7 бібліографічних найменувань за переліком джерел посилань.

Ключові слова: модуль, мікросхема, канал зв'язку.

Актуальність теми дослідження. Тема МД присвячена проблемі дослідження каналу зв'язку типу SDR – технології (Software-defined radio) компанії Analog Devices.

Ефективність та функціональність вище вказаної технології розвивається з кожним днем, що наближує SDR до виходу на світовий ринок. В МД показано, що складність побудови традиційних трансиверів значно вище, ніж SDR систем, навіть не враховуючи, що у перших відсутня будь-яка гнучкість, яка так необхідна в сучасних системах.

Мета та завдання. Метою МД є створення математичної моделі транспондера в середовищі MATLAB та Simulink та дослідження характеристик моделі для подальшого дослідження типових структур.

Об'єкт та предмет роботи. Об'єктом виступає модуль компанії виробника Analog Devices AD9364. Предметом дослідження є характеристики математичної моделі та вплив різних параметрів досліджуваних сигналів на прийом та передачу сигналу.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна підтверджена наявністю в МД отриманих результатів, графіків, які доводять працездатність системи, наведені розрахунки надійності модуля та його функціональності при різних режимах роботи.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп. 2019

ABSTRACT

The volume of the Master's Thesis Explanatory Note (MD) is 85 pages, which includes 9 sections, 38 illustrations, 25 tables, 1 appendix, and 7 bibliographic titles by reference list.

Keywords: module, chip, link.

Relevance of the research topic. The MD topic is about the problem of exploring the SDR channel of Analog Devices (Software-defined radio) technology.

The efficiency and functionality of the above technology is evolving day by day, bringing SDR closer to the global market. MD has shown that the complexity of building traditional transceivers is much higher than SDR systems, not even considering that the former lack any flexibility that is so necessary in modern systems.

Purpose and tasks. The purpose of MD is to create a mathematical model of the transponder in MATLAB and Simulink and to study the model's characteristics for further investigation of typical structures.

Object and object of work. The object is the company module of the manufacturer Analog Devices AD9364. The subject of the study is the characteristics of the mathematical model and the influence of various parameters of the studied signals on the reception and transmission of the signal. .

Scientific novelty of the obtained results.

Scientific novelty is confirmed by the presence in MD of the obtained results, graphs that prove the system's efficiency, the calculations of the reliability of the module and its functionality under different modes of operation.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Зміст

Перелік скорочень 4

Вступ 6

1 Аналіз технічного завдання 7

1.1 Загальні відомості про принцип роботи, структуру та функціональність SDR систем 8

1.2 Характеристики мікросхеми AD9364 16

1.2.1 Опис структури схеми приймача 17

1.2.2 Опис структури схеми передавача 18

1.2.3 Структура додаткових елементів 18

2 Дослідження математичної моделі транспондера AD9364 в середовищі Matlab та Simulink 21

2.1 Моделювання передавача каналу зв'язку типу AD9364 21

2.1.1 Фільтри підсилення сигналу передавача AD9364, їх працездатність та функціонування 23

2.1.2 Аналогові фільтри, їх працездатність та функціонування 24

2.1.3 Передавання сигналу 24

2.2 Моделювання приймача каналу зв'язку типу AD9364 26

2.2.1 Опис призначення секції приймача AD9364 29

2.2.2 Функція автоматичного регулювання підсилення та її застосування 31

3 Ефективність машинного моделювання каналу зв'язку типу AD9364 .. 34

3.1 Ефективність блоку передавача 34

3.1.1 Джерела тестових сигналів 34

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

3.1.2 Результати моделювання передавача 35
3.2 Ефективність блоку приймача 44
3.2.1 Джерела тестових сигналів 45
3.2.2 Результати моделювання приймача 45
4 Оцінка надійності модуля каналу зв'язку 55
5 Висновки 59
6 Розробка стартап-проекту 61
6.1 Опис ідеї проекту 61
6.2 Технологічний аудит ідеї проекту 63
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту 64
6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту 69
6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту 71
6.6 Висновки 73
7 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях 74
7.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідлвих виробничих чинників при виконані науково–дослідної роботи. 74
7.2 Технічне рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії. 75
7.2.1 Електробезпека 75
7.2.2 Правила безпеки під час експлуатації електронно-обчислювальних машин 77
7.2.3 Вимоги до приміщень в яких розміщені ЕОМ 77
7.2.4 Відповідність параметрів мікроклімату в робочій зоні санітарним нормам 80

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

7.2.5 Вимоги до освітлення робочих місць користувачів відеодисплейних терміналів персональних електронно–обчислювальних машин. 81

7.2.6 Виробничий шум 81

7.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях 83

7.3.1 Обов’язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації 83

7.3.2 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при надзвичайних ситуаціях. 84

7.3.3 Пожежна безпека 86

Перелік джерел посилань 89

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АМ – амплітудна модуляція.

АРП – автоматичне регулювання підсилення.

АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

ВЧ – високі частоти.

ЗМ – змішувач.

ІМС – інтегральна мікросхема.

МД – магістерська дисертація.

ППЧ – підсилювач проміжної частоти.

РЧС – радіочастотний спектр.

РЧ – радіочастота.

СФ – смуговий фільтр.

УКХ – ультракороткі хвилі.

ФПЧ – фільтр проміжної частоти.

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

ЦСП – цифровий сигнальний процесор.

AD – Analog Devices.

AGC – automatic gain control.

AUXADC – auxiliary analog-to-digital converter.

AUXDAC – auxiliary digital -to-analog converter.

BBP – baseband processor.

CW – continuous wave.

FDD – frequency-division Duplexing.

I/Q – in-phase and quadrature.

LDO – low dropout regulators.

LNA – low noise amplifier.

LO – local oscillator.

SDR – software-defined radio.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

TDD – time division duplex.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

ВСТУП

Модуль AD9364 - це високоякісний, володіючий високим ступенем інтеграції конфігурований одноканальний радіотрансівер (RF Agile Transceiver ™). Можливості програмування і здатність роботи в широкому діапазоні частот роблять його досконалим засобом для різноманітних приймально-передавальних радіопристроїв. Компонент поєднує в собі аналоговий тракт РЧ, конфігурований каскад аналого-цифрової обробки сигналу в смузі модульованих частот і інтегровані синтезатори частоти, що спрощує проектування систем завдяки конфігурованому інтерфейсу з процесором. Модуль працює в діапазоні частот від 70 МГц до 6.0 ГГц, перекриваючи більшість ліцензованих частотних діапазонів. Модуль підтримує ширину смуги каналів від 200 кГц до 56 МГц. AD9364 також має гнучкі режими ручного підсилення, які можуть бути контрольовані зовнішньо. Два високочастотних аналого-цифрових перетворювача (АЦП) на канал оцифрують отримані сигнали I та Q і передають їх через налаштовувані фільтри та 128-кратний обмежувач фільтра з імпульсною характеристикою (FIR) для створення 12-бітового вихідного сигналу на відповідній частоті. Передавачі використовують архітектуру прямого перетворення, яка досягається високою точністю модуляції з найменшим шумом. Цей дизайн передавача виробляє кращу у своєму класі величину векторної помилки від <-40 дБ, що дозволяє значно зменшити розмір системи для вибору зовнішнього підсилювача потужності. Бортовий монітор потужності передачі може використовуватися як детектор потужності, що забезпечує високоточні вимірювання потужності передавача. Ізоляція каналів, що вимагається системами дуплексного розділення частот, інтегрована в дизайн. Ядро AD9364 може працювати безпосередньо від регулятора потужністю 1,3 В.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Магістерська робота присвячена дослідженню моделі каналу зв’язку цифрового оброблення сигналів SDR-приймачів (Software-defined radio) на основі модуля AD9364 за допомогою допоміжних програм Matlab та Simulink.

AD9364 розроблена для роботи з великим переліком модуляційних схем і мережевих специфікацій програмованих радіопристроїв, таких як військова електроніка, вимірювальна техніка та комунікаційна інфраструктура. Підтримка AD9364 обширним набором допоміжних ресурсів, включаючи програмний комплекс розробки та мезонінний модуль з ПЛІС (програмована логічна інтегральна схема) компанії Xilinx, дозволяє створювати програмне забезпечення радіосистем з мінімальними витратами часу.

На рис 1.1 зображена структурна схема модуля AD9364. До складу модуля входять приймач та передавач в одному блоці, які підтримують часове та частотне розділення сигналу, 12-розрядні ЦАП та АЦП, які забезпечують високий рівень оброблення сигналу та засоби зовнішнього керування трансівером.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

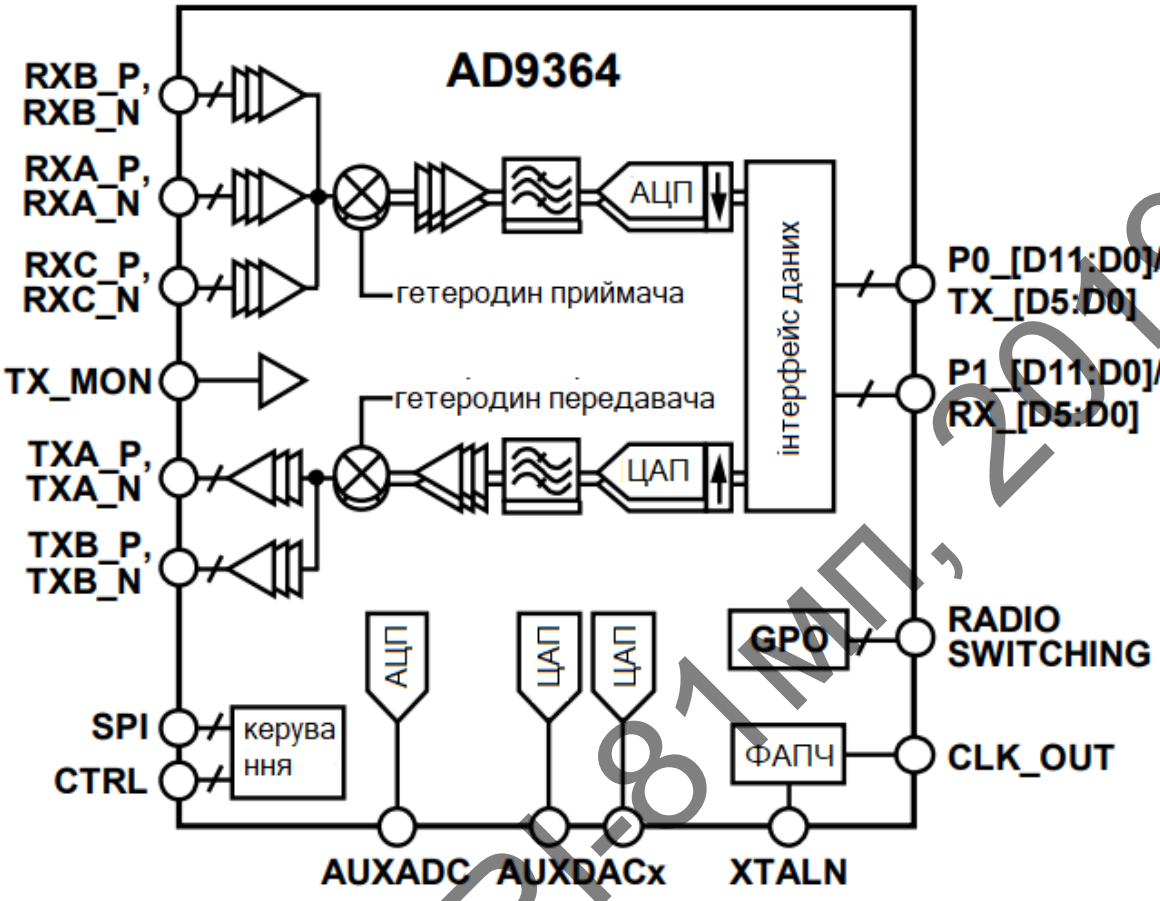


Рисунок 1.1 – Структурна схема модуля AD9364

На рис. 1.1 наведені умовні позначення:

- RXB_P, RXB_N, RXA_P, RXA_N, RXC_P, RXC_N – РЧ входи приймача;
- TXB_P, TXB_N, TXA_P, TXA_N – РЧ виходи передавача;
- SPI CTRL –керування мікросхеми.

1.1 Загальні відомості про принцип роботи, структуру та функціональність SDR систем

Програмно — визначені системи (типу SDR) використовують технологію, яка з фіксованою апаратною конфігурацією дозволяє використовувати програмне забезпечення для встановлення або зміни

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

робочих характеристик системи зв’язку, включаючи діапазон робочих частот, тип модуляції, методи кодування інформації та інші параметри.

Технологія SDR здатна замінити великий спектр існуючих та розроблених конструкцій радіоприймачів та приймачів. Такі пристрої можуть підтримувати будь-які існуючі та новостворені типи методів модуляції та кодування, безліч функцій обслуговування.

Важливою причиною розвитку подібних систем є також те, що в даний час майже весь частотний діапазон розподіляється та ліцензується, але в той же час він працює недостатньо ефективно. Механізм управління динамічним спектром дозволяє істотно збільшити коефіцієнт використання його, згідно з чим надається можливість передавати повідомлення в первинному діапазоні користувачів, поки вони не зайняті регулярною роботою передавальні пристрої. Такий механізм управління динамічним спектром, який називається когнітивним, технічно дуже складний і може бути використаний лише у так званих інтелектуальних радіосистемах [1].

Крім того, використання нових видів модуляції та цифрової обробки сигналів дозволяє значно покращити параметри каналу зв'язку без розширення смуги пропускання. Необхідність переходу від аналогового до цифрового мовлення зумовлена зростаючим процесом поєднання мовлення, зв'язку, інформаційних служб та комп'ютерних систем в єдину інтерактивну мережу, що стало можливим завдяки прогресу в галузі цифрових технологій. Ці інтеграційні процеси викликають все більший інтерес до проблем підвищення ефективності використання радіочастотного спектру (РЧС) та підвищення якості та інших послуг в системах зв'язку.

Важливою вимогою до якості передачі є передачі, що пов’язані з широким використанням високоякісних мультимедійних систем, домашніх театрів, портативних плеєрів та мобільних телефонів, що підтримують мультимедійні функції, і, як наслідок, потребують високу якість функціонування. Другий фактор - необхідність підтримки високої якості в

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

умовах мобільного прийому (на рухомих об’єктах). Третій фактор - це постійно зростаюча потреба у передачі допоміжної інформації через широкомовні радіоканали. Наприклад, прогнози погоди, інформація про стан доріг, пробки, трансляційні програми тощо, що приблизно відповідає системі RDS (Radio Data System) в аналоговому мовленні в діапазоні УКХ або телетексту на телебаченні.

У рамках існуючих аналогових системах мовлення ці вимоги неможливо реалізувати. І якщо якісного мовлення в УКХ-діапазоні у великих містах та поблизу них все-таки можна досягти, то у віддалених місцях це стає проблемним (дальність покриття не перевищує 50 км від передавача). Зважаючи на те, що в діапазоні коротких і середніх хвиль сигнали поширюються на значно більші відстані, ніж у діапазоні УКХ, виникає проблема забезпечення високої якості в таких діапазонах, що особливо важливо для автомобілістів. Система мовлення з амплітудною модуляцією (АМ) охоплює велику площу покриття, але дуже чутлива до атмосферних та промислових втручань та стану тропосфери. Крім того, ефективність передавачів АМ не висока і досягає в середньому 4%. Левова частка потужності витрачається на випромінювання частоти неносіїв. Діапазони, виділені для мовлення, "перенаселені". Частотний інтервал в Європі становить 9 кГц, у США - 10 кГц. Це забезпечує трохи більше 100 частотних каналів з смугою частот 2 × 4,5 кГц. Враховуючи дальність передачі радіохвиль на ВЧ, рівень перешкод збільшується, а якість мовлення стає низькою. Це зумовлює необхідність використання цифрових технологій для поліпшення якості мовлення, що, в свою чергу, неможливо без використання технології SDR.

Існують дві схеми мовлення, засновані на сучасних радіоприймачах: супергетеродин (з одно- або багаторазовим перетворенням) та пряме перетворення. Синтез сигналів, що передаються в ефірі, здійснюється також двома методами: формуванням переданого сигналу на низькій частоті з

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

подальшим перенесенням в радіочастотну область і формуванням переданого повідомлення безпосередньо на високій частоті.

На рис. 2.1 показана функціональна схема контуру приймача з використанням збільшуючих (на шляху передачі) та зменшуючих (на шляху прийому) частотних перетворювачів.

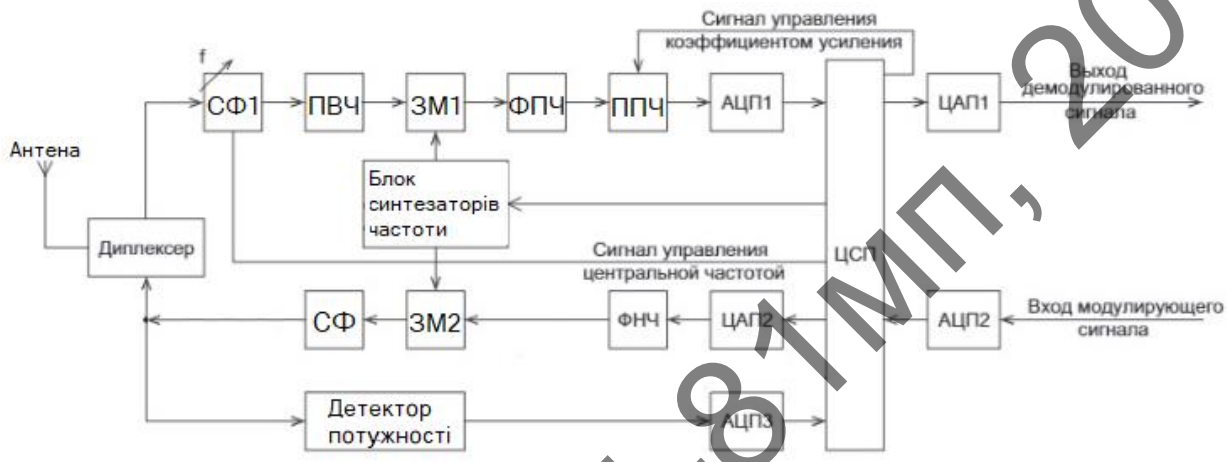


Рисунок 2.1 — Функціональна схема трансивера з цифровою обробкою сигналу в тракті проміжної частоти

Шлях прийому побудований за схемою супергетеродина з єдиним перетворенням частоти [2].

Сигнал від антенного виходу через диплекспер та смуговий фільтр СФ1 подається на високочастотний підсилювач з низьким рівнем шуму ПВЧ, характеристики якого значною мірою визначають співвідношення сигнал / шум на виході приймача. З виходу ПВЧ сигнал подається на один з входів першого перетворювача частоти - змішувача (ЗМ1). Сигнал несучої, утворений блоком синтезатора частоти, подається на другий вхід ЗМ1. Через фільтр та підсилювач проміжної частоти (ФПЧ та ППЧ) різницевий частотний сигнал, що генерується на виході ЗМ1, подається на вхід АЦП. Коефіцієнт підсилення ППЧ визначається напругою або кодом (залежно від

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

типу використовуваної ІМС) на виході керування системи АРП, що генерується на виході цифрового сигнального процесору (ЦСП). Вихідний сигнал підсилювача через аналого-цифровий перетворювач АЦП1 надходить на ЦСП, де проводиться оброблення основного сигналу: додаткова фільтрація, демодуляція, посилення сигналу та регулювання частоти синтезатора. Підсилювач, АЦП1 і ЦСП утворюють цикл АРП, необхідний для стабілізації амплітуди прийнятих сигналів на виході шляху ПЧ, що дозволяє використовувати всю шкалу АЦП та максимальне відношення сигнал/шум. Сигнал, демодульований в ЦСП через цифро-аналоговий перетворювач ЦАП1, подається на вихід приймача. Такий приймач виконує цифрову обробку сигналу в проміжній частоті. Модифікація приймача - схема з невідрегульованим вхідним фільтром (широкосмуговим преселектором), пропускна здатність якого охоплює весь діапазон прийнятих сигналів.

У передавальній частині приймача модульований сигнал передається у високочастотну область за допомогою другого змішувача сигналів (ЗМ2), і ЦСП виконує функції, що генерують модульований сигнал, керуючи частотою несучої хвилі та керуючим виходом потужність передавача. Модульований сигнал через ЦАП2 надходить на ЦСП, в якому сигнал модулюється на низькій частоті. Модульований сигнал через ЦАП2 та фільтр низьких частот подається на перший вхід ЗМ2, а сигнал несучої частоти передавача подається на його другий вхід. Смуговий фільтр (СФ) вибирає бажану бічну смугу частот, а радіочастотний сигнал передається через підсилювач потужності та диплексер до антени. Випромінювана потужність контролюється за допомогою детектора потужності, який генерує напругу на виході, пропорційну значенню вихідної потужності. Ця напруга через АЦП3 вводиться в цифровий сигнальний процесор.

У схемах з подвійним (рідше з потрійним або більше) перетворенням частоти додається ще один змішувач, фільтр та підсилювач проміжних

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

частот. Перевагами супергетеродинних приймачів є висока чутливість (основне посилення сигналу в приймачі виконано у відносно вузькосмуговому підсилювачі ППЧ) і висока селективність, що визначається характеристиками ФПЧ. До недоліків можна віднести наявність шуму в дзеркальному каналі, значного ослаблення якого можна досягти за рахунок збільшення проміжної частоти. Ці фактори забезпечують широкий розподіл супергетеродинних приймачів.

Поява цифрових радіоприймачів стало логічним продовженням розвитку цифрових технологій. Використання цифрової обробки сигналів дозволило розвинути високошвидкісні системи обміну даними радіоканалами, використовуючи методи цифрової модуляції сигналу. Залежно від стадії цифрової обробки, за допомогою правильного поєднання аналогових та цифрових частин можна отримати недорогі, компактні пристрої з низьким споживанням енергії систем на кристалі та вироби, що відповідають жорстким вимогам вибірковості, динамічному діапазону, чутливості та іншим параметрам . Швидше за все, у майбутньому розвиток «цифрового» прийому піде шляхом збільшення швидкості вибірки та обробки, що охопить більш широкий діапазон частот, зменшивши при цьому частку аналогових схем у структурі приймача.

Загальною тенденцією розвитку електроніки за останні два десятиліття є повний перехід до цифрової (дискретної) обробки. Аналогове телебачення та радіо, а також телефонія стають анахронізмом, а аналогові аудіовізуальні носії стають рідкістю. У галузі високочастотної обробки аналогових сигналів перехід до цифрової обробки є менш вираженим, але це домінуючий напрямок у розвитку елементної бази в цій області. Причин переходу на цифрову обробку є кілька, і однією з найважливіших є бажання створити набір пристроїв, отриманих шляхом заміни обладнання в межах однієї апаратної платформи. Але існує багато проблем, оскільки сучасні системи передачі даних працюють в діапазоні більше 1 ГГц з діапазонами частот від

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

одного до десятків мегагерців, використовуючи відносно складні схеми модуляції. Усі ці місця особливо потребують роботи цифрових систем обробки. Тому, якщо обробка цифрових сигналів на рівні потоків даних стала справою дня (з точки зору обладнання для масових користувачів), використання цифрових пристроїв у мікрохвильовій печі до останнього часу залишалося долею спеціального обладнання. В останньому випадку мова йде про програмно визначені радіосистеми SDR (програмно визначені радіостанції).

До недавнього часу технологія SDR не сприймалася як засіб забезпечення тактичного зв’язку між різними військовими (та іншими спеціальними) підрозділами. Дійсно, головним поштовхом до її розвитку в США стала проблема взаємодії повітряних підрозділів з авіацією під час вторгнення в Гренаду 1983 року. У той час, навіть за наявності регулярних засобів зв’язку, армійським підрозділам довелося координувати операції авіації по звичайній телефонній мережі через їх базу у Форт-Брегг. Після такої одіозної появи проблеми швидкої конфігурації засобів зв’язку та їх взаємодії багато провідних виробників телекомунікаційного обладнання почали створювати спеціальні пристрої, що дозволяють швидко перебудувати не тільки алгоритми аутентифікації та криптографічного захисту, а й протоколи роботи в радіо мережі, включаючи вибір смуг частот.

В ідеалізованій конструкції системи SDR немає аналогових процесорних блоків (рис. 1.2). Однак, враховуючи смуги частот і пропускну здатність багатьох сучасних систем зв'язку, реалізувати цю концепцію важко.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

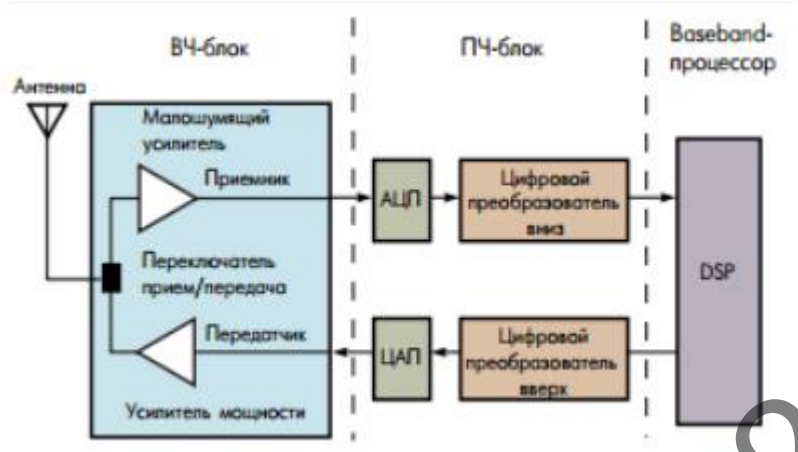


Рисунок 1.2 - Ідеалізована схема SDR-системи

Однак у багатьох сферах телекомунікацій, таких як стільникова телефонія, системи IEEE 802.11 та ін., все частіше застосовуються схеми прямого перетворення (рис. 1.3).

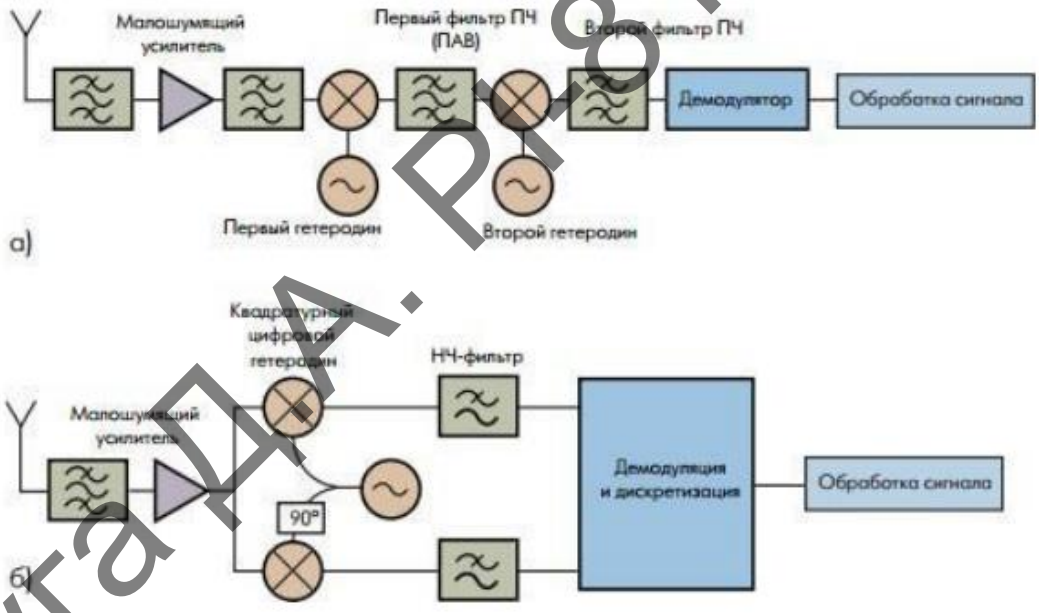


Рисунок 1.3 — Схеми приймачів з супергетеродинною архітектурою (а) і прямого перетворення (з нульовою ПЧ) (б).

Висновки.

До недоліків традиційного аналогового приймача відноситься наступне: потрібна точне калібрування пристрою; приймач чутливий до температури і розкиду параметрів компонентів; наявність нелінійних спотворень; складність в побудові фільтрів з придушенням більше 60 дБ.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Переваги SDR приймача наступні: низька чутливість до температури і розкиду параметрів компонентів; проста реалізація фільтрів з переналаштуванням по частоті з придушенням понад 100 дБ; висока точність модуляції; широкий діапазон перебудови фази і частоти гетеродина.

1.2 Характеристики мікросхеми AD9364

AD9364 - це високо інтегрований радіочастотний приймач, який може бути налаштований для широкого спектру застосувань [3]. Пристрій інтегрує всі радіочастотні, змішані сигнали та цифрові блоки, необхідні для забезпечення всіх функцій приймача в одному пристрої. Програмованість дозволяє адаптувати цей широкосмуговий приймач для використання з безліччю стандартів зв'язку, включаючи дуплексний розподіл частоти (FDD) і дуплексний розподіл часу (TDD). Ця програмованість також дозволяє приєднати пристрій до різних процесорів основної смуги (BBP), використовуючи один 12-бітний паралельний порт даних, подвійні 12-бітні паралельні порти даних або 12-бітний інтерфейс низької напруги диференціальної сигналізації. AD9364 також забезпечує самокалібрування та автоматичне управління посиленням (AGC) для підтримки високого рівня продуктивності при різних температурах та умовах вхідного сигналу. Крім того, пристрій включає в себе кілька тестових режимів, що дозволяють дизайнерам систем вставляти тестові тони та створювати внутрішні режими зворотного звороту, які можуть бути використані дизайнерами для налагодження своїх конструкцій під час прототипування та оптимізації їх радіоконфігурації для конкретного застосування.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

1.2.1 Опис структури схеми приймача

Приймач містить усі блоки, необхідні для прийому радіочастотних сигналів і перетворення їх у цифрові дані, які можна використовувати ВВР. Він має три входи, які можуть бути мультиплексовані до ланцюга сигналів, що робить AD9364 придатним для використання в багатосмугових системах з кількома входами антени. Приймач являє собою систему прямого перетворення, що містить підсилювач низького рівня шуму (LNA) з подальшим узгодженим фазовим (I) та квадратурним (Q) підсилювачами, змішувачами та фільтрами, що формують смуги, які перетворюють отримані сигнали в смугу основи для оцифрування. Зовнішні МШП також можуть бути з'єднані з пристроєм, що дозволяє дизайнерам гнучко налаштувати передню частину приймача для їх конкретного застосування. Контроль посилення досягається за допомогою попередньо запрограмованої карти індексу посилення, яка розподіляє виграш між блоками для досягнення оптимальної продуктивності на кожному рівні. Цього можна досягти, включивши внутрішній АРУ у швидкому або повільному режимі або за допомогою ручного керування посиленням, дозволяючи ВВР здійснювати коригування посилення за необхідності. Крім того, кожен канал містить можливість незалежного вимірювання RSSI, відстеження зміщення постійного струму та всю схему, необхідну для самокалібрування. Приймач включає 12-бітні, Σ-Δ АЦП та регульовані швидкості вибірки, які виробляють потоки даних з прийнятих сигналів. Оцифровані сигнали можуть бути додатково обумовлені серією фільтрів децимації та повністю програмованим фільтром 128-кратним FIR-фільтром з додатковими настройками децимації. Швидкість вибірки кожного блоку цифрового фільтра регулюється зміною коефіцієнтів децимації для отримання бажаної швидкості виведення даних.

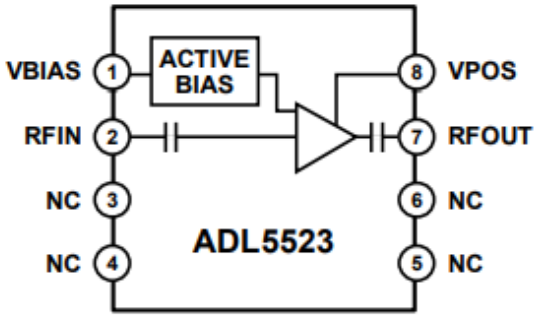
Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

1.2.2 Опис структури схеми передавача

Секція передавача складається з двох диференціальних виходів, які можуть бути мультиплексовані до каналу передачі. Канал передачі забезпечує всі блоки цифрової обробки, змішаного сигналу та РЧ, необхідні для реалізації системи прямого перетворення. Цифрові дані, отримані від ВВР, проходять через повністю програмований 128-бітний FIR фільтр з можливістю інтерполяції. Вихід FIR надсилається до серії інтерполяційних фільтрів, які забезпечують додаткову фільтрацію та інтерполяцію швидкості передачі даних до потрапляння на ЦАП. Кожен 12-бітний ЦАП має регульовану швидкість вибірки. I і Q канали подаються в блок RF для конверсії. При перетворенні в аналогові сигнали основної смуги сигнали I і Q фільтруються для видалення артефактів відбору проб і подаються в змішувачі для конверсії. У цей момент сигнали I та Q рекомбінуються та модулюються на несучій частоті для передачі на вихідний етап. Комбінований сигнал також проходить через аналогові фільтри, які забезпечують додаткове формування смуги, а потім сигнал передається на вихідний підсилювач. Канал передачі забезпечує широкий діапазон регулювання ослаблення з тонкою деталізацією, щоб допомогти дизайнерам оптимізувати співвідношення сигнал / шум. Схема самокалібрування вбудована у канал передачі для автоматичного регулювання в режимі реального часу.

1.2.3 Структура додаткових елементів

При необхідності отримання кращих результатів доцільно використати додаткові підсилювачі потужності [4]. Одним із таких рішень може слугувати підсилювач ADL5523. Функціональна блок-діаграма ADL5523 зображена на



NC – підключення відсутнє

RFIN – РЧ вхід. Підключається до LNA.

RFOUT – РЧ вихід.

VPOS – підключення напруги живлення.

Ганжула Д.А. РІ-81мп, 2019

рис. 1.4.

Рисунок 1.4 — Функціональна блок-діаграма підсилювача ADL5523

ADL5523 – це високоякісний арсенід-галієвий малошумний підсилювач на транзисторах з високою рухливістю електронів. Він забезпечує високий коефіцієнт посилення і малий коефіцієнт шуму, необхідні в приймачах з одним каскадом перетворення частоти і дискретизацією на ПЧ, а також приймачах прямого перетворення.

ADL5523 має високий ступінь інтеграції завдяки наявності внутрішньої схеми активного зсуву (ACTIVE BIAS) і конденсаторів блокування постійної складової, що робить його простим у застосуванні/

ADL5523 простий в налаштуванні і вимагає всього декількох зовнішніх компонентів. Підсилювач працює від напруги живлення в діапазоні від 3 В до 5 В, а споживаний їм струм може регулюватися за допомогою зовнішнього резистора в задачах, де потрібно низьке енергоспоживання.

ADL5523 випускається в компактному корпусі LFCSP з поліпшеною тепловіддачею, що має габарити 3 мм x 3 мм, і працює в температурному діапазоні від -40 ° C до + 85 ° C.

Висновки. Розглянутий модуль модуль володіє наступними показниками.

- Діапазон робочих частот передавача: від 47 МГц до 6 ГГц;
- діапазон робочих частот приймача: від 70 МГц до 6 ГГц;
- підтримка дуплексної передачі з частотним діленням і дуплексна передача з часовим діленням;
- налаштування смуги каналу: від 200 КГц до 56 МГц;
- чутливість приймача з коефіцієнтом шуму 2 дБ на частоті гетеродина 800 МГц ;
- управління підсиленням радіочастотного тракту: контроль в режимі реального часу і можливість ручного регулювання підсилення та незалежне регулювання підсиленням.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

- вбудовані синтезатори частот з дробовим коефіцієнтом ділення.
- крок налаштування гетеродина 2.4 Гц.

Перераховані характеристики являють собою основу створення ефективного каналу зв’язку для використання модулю в таких системах, як MIMO, LTE, DVB, аерокосмічних системах та ін.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

2 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОНДЕРА AD9364 В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB ТА SIMULINK

У даній роботі засобами Matlab та Simulink проведене машинне моделювання модулю AD9364 [5].

Розглянемо структури приймача та передавача окремо.

2.1 Моделювання передавача каналу зв'язку типу AD9364

До структури передавача модулю AD9364 входять: фільтри підсилення сигналу, аналогові фільтри та блок передачі сигналу.

Затухання передавача забезпечується в діапазоні від 0 до 80 дБ з кроком налаштування 0.25 дБ, останнє забезпечується автоматично або ручним способом.

При ручному налаштуванні використовується наступний програмний додаток «Filter Wizard» (рис. 2.1).

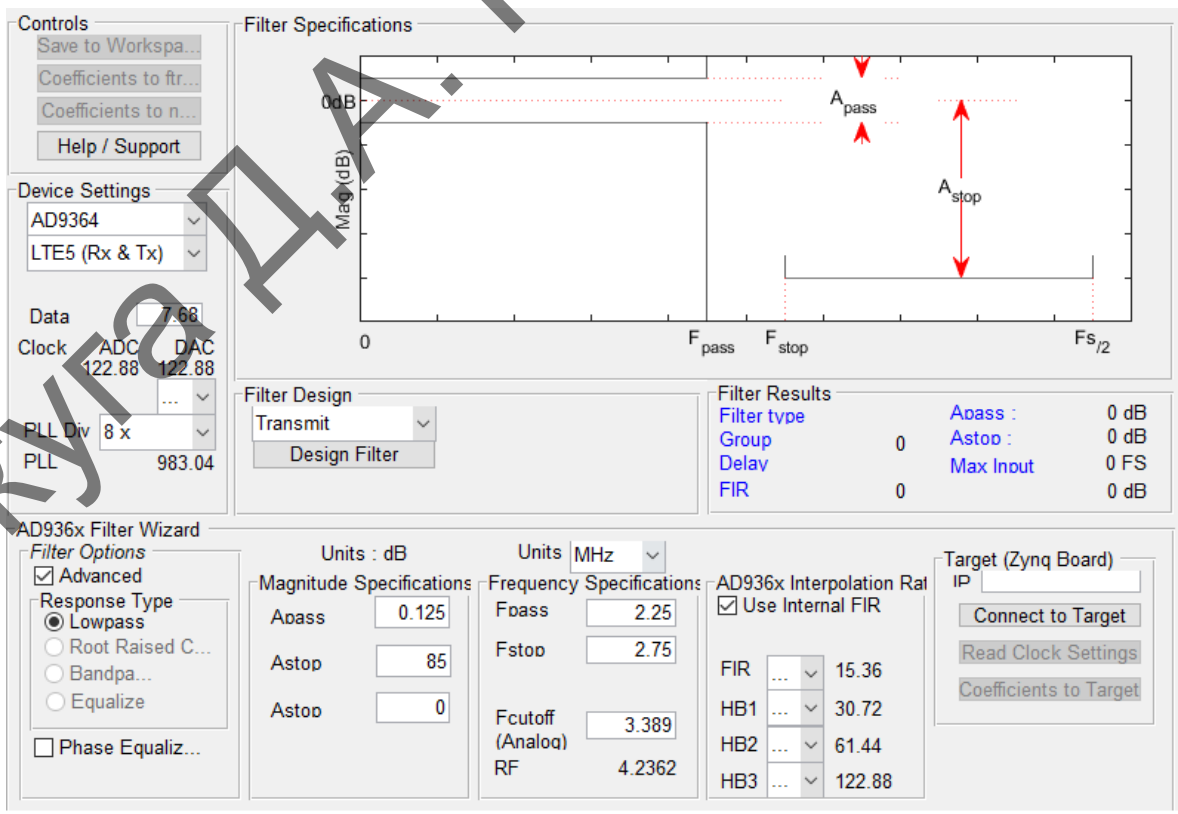


Рисунок 2.1 — Вікно додатку «Filter Wizard» для проектування фільтру

Ганжуга Д А. РІ-81мп, 2019

Додаток має можливість задати наступні функції: проектування фільтру для передавача і приймача, вибір смуги пропускання, налаштування АЧХ системи (пропускна здатність фільтру), використання фільтру з кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ-фільтр) або нескінченною імпульсною характеристикою (НІХ-фільтр), вибір частоти зрізу, можливість підключення мікросхеми одразу до материнської плати, вибір частоти затримки. Цим додатком можна скористатися не тільки для проектування фільтру модуля AD9364, але й для всього сімейства модулів типу AD.

На основі даного додатку були обрані наступні характеристики фільтру для цифрового оброблення сигналу:

Маска (під маскою передавача розуміється набір блоків оброблення та передавання сигналу для отримання необхідних його характеристик) передавача включає в себе 3 блоки (див. рис. 2.2):

- фільтри підсилення сигналу (DUC_Filters_TX);
- аналогові фільтри (Analog_Filters_TX);
- передавач (RF_TX).

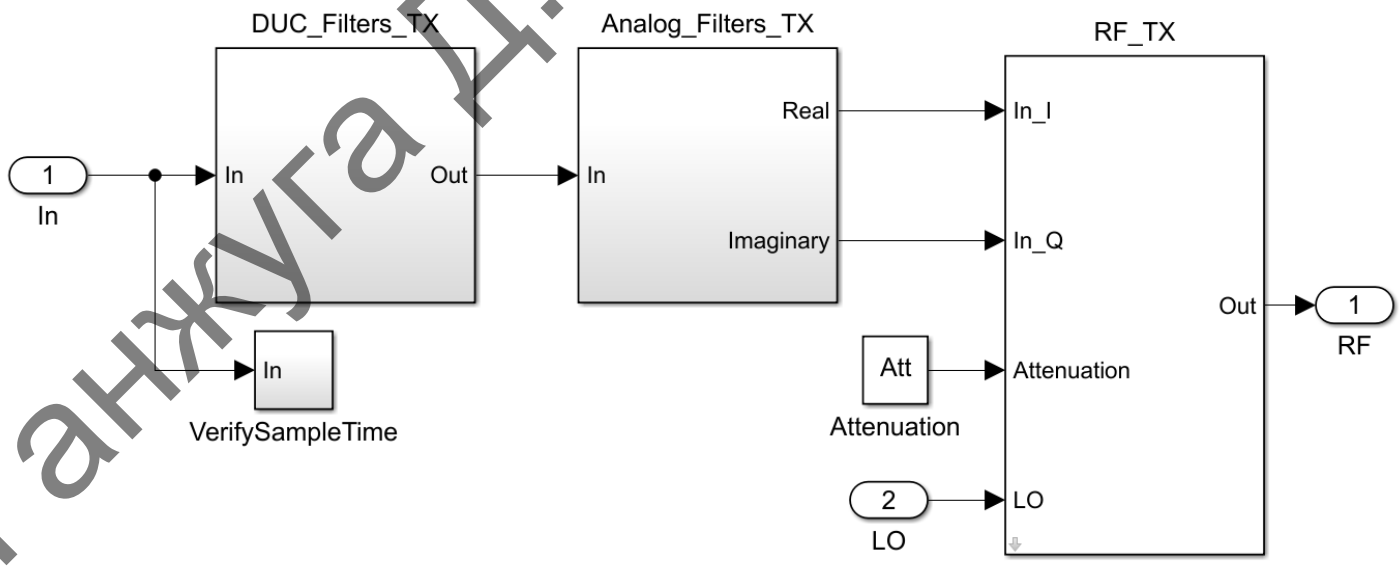


Рисунок 2.2 — Високорівневий вигляд моделі передавача

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

В наступних розділах 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3 описана робота наведених блоків на рис. 2.2.

2.1.1 Фільтри підсилення сигналу передавача AD9364, їх працездатність та функціонування

Цифрові фільтри DUC Filters (digital up-conversion) інтерполюють сигнал основної смуги з більш високою частотою дискретизації (збільшення до 16 разів).

На рисунку 2.3. зображений блок цифрових фільтрів з елементами, які також дозволяють моделювати рівень шуму цифро-аналогового перетворювача передавача.

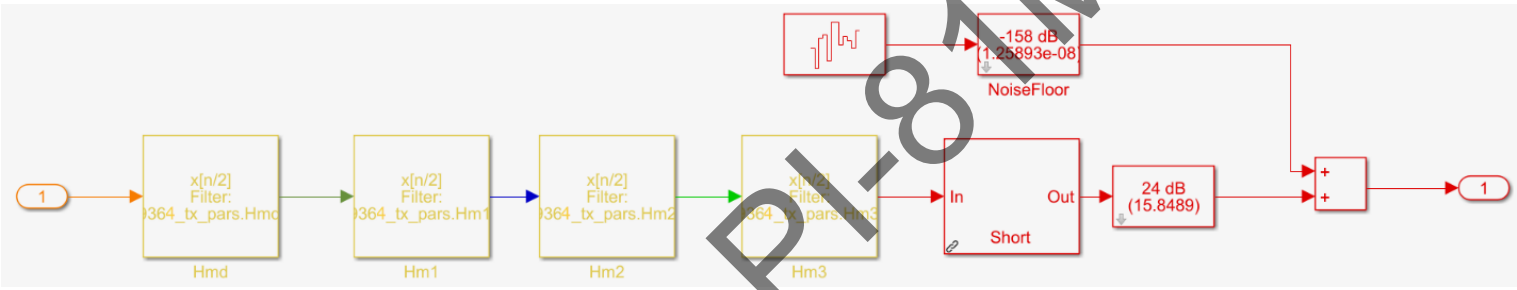


Рисунок 2.3 — Блок-схема цифрових фільтрів з елементами аналізу шуму

На рисунку колір сигналу змінюється після кожного фільтру; це свідчить про те, що частота сигналу змінюється, так як ці фільтри є інтерполяційними, тобто вони збільшують частоту дискретизації. Також в секції цифрових фільтрів додана деяка кількість шуму, так як потрібно враховувати, що наступний блок аналогових фільтрів буде вносити шум.

Генератор шуму модулює рівень шуму -158 дБ. Ця величина є змінною та може бути задана в будь-якому діапазоні. При проходженні вхідного сигналу через цифрові фільтри сигнал потрапляє на суматор, де до нього вноситься шум з генератора. В наступній секції аналогових фільтрів частина шуму відсікається.

Результати моделювання наведені в розділі 3.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп. 2019

2.1.2 Аналогові фільтри, їх працездатність та функціонування

Аналогові фільтри (Analog Filters) формують мінімальний рівень шуму, який створюється цифровими фільтрами, і забезпечує неперервний сигнал в часі, який оброблюється за допомогою цифрового входу (рис. 2.4). Нижні частоти аналогових фільтрів програмуються конфігурацією фільтру верхнього рівня або ж за допомогою додатку «Filter Wizard» (див. розд. 2.1).

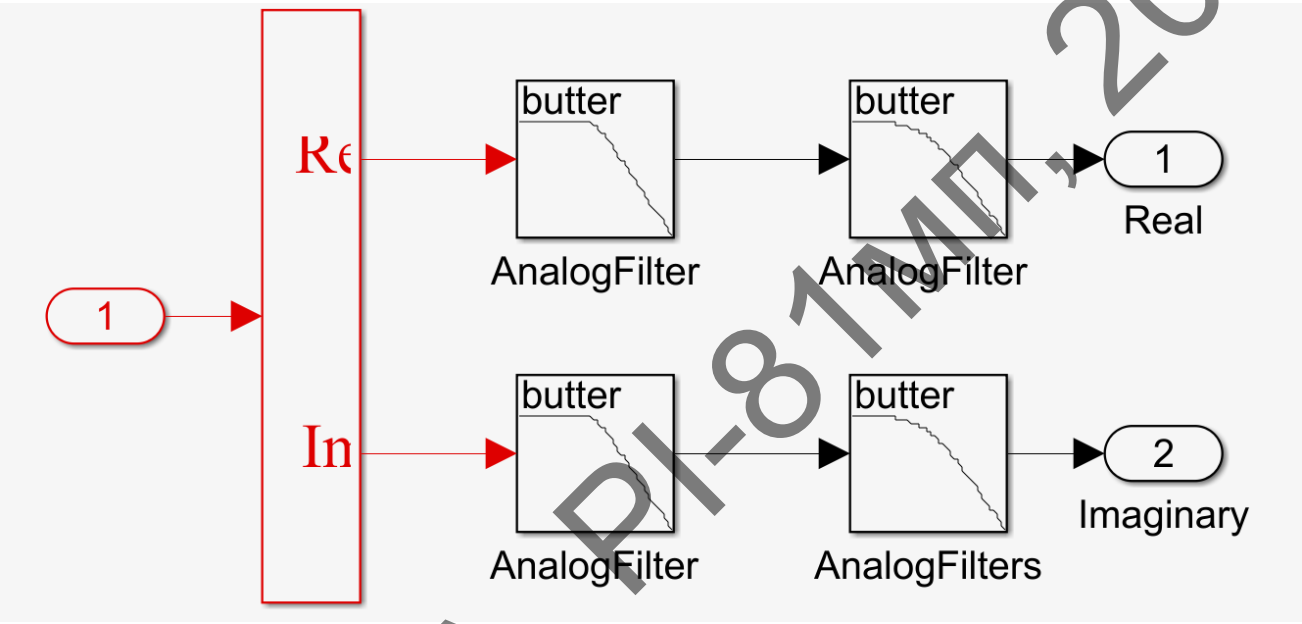


Рисунок 2.4 — Блок-схема секції аналогових фільтрів

Опис рисунку 2.4. Після проходження ряду цифрових фільтрів сигнал (1) потрапляє на дільник, який розділяє сигнал на дві лінії фільтрації Re та Im. Це робиться для того, щоб відфільтрувати дві складові сигналу: квадратурну та синфазну. На рисунку сигнал змінює колір з червоного на чорний, що говорить про те, що сигнал тепер є неперервним, а не цифровим після проходження сигналу через ряд цифрових фільтрів.

Далі сигнал у вигляді двох складових Re (1) та Im (2) потрапляє на радіочастотний тракт передачі.

2.1.3 Передавання сигналу

Блок передавача (див. рис. 2.5) перетворює з підвищенням частоти сигнал основної смуги частот, який знаходиться навколо центральної частоти

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

гетеродина; блок передавача використовує квадратурний модулятор для прямого перетворення (див. рис. 2.5). Частота дискретизації ЦАП, врахована в конфігурації фільтра, визначає ширину смуги радіочастотного моделювання. Програма дає можливість змінити затухання в масці передавача в діапазоні від 0 до 90дБ з кроком 0,25дБ.

Рівень затухання сигналу впливає на рівень його спотворення (виникають нелінійні та інтермодуляційні спотворення, паразитні гармоніки та інші спотворення сигналу (див. розд. 3)).

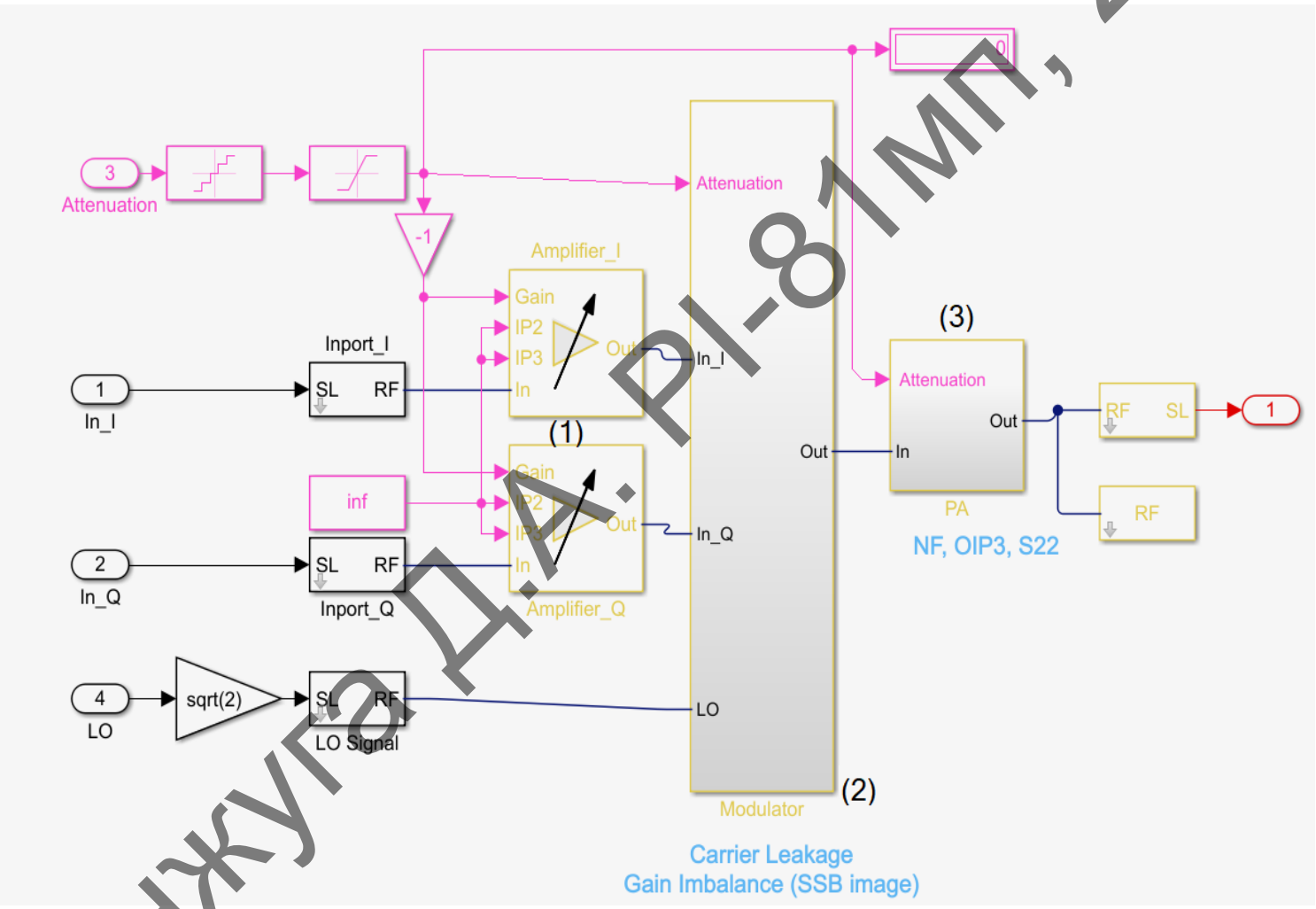


Рисунок 2.5 — Блок—схема секції передавача

Сигнал з виходу аналогових фільтрів (синфазна (1) та квадратурна (2) складові сигналу) потрапляє в радіочастотний тракт передачі. На етапі 1 (див. рис. 2.5) виконується підсилення сигналу для кожної складової сигналу (неузгодженість синфазної та квадратурної складових), вносяться

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

інтермодуляційні спотворення 2-го та 3-го порядків. На етапі 2 складові сигналу вносяться в модулятор, який перетворює сигнал для подальшої його передачі, враховуючи неузгодженість синфазної та квадратурної складових. Також враховується шум, який був модульований в секції цифрових фільтрів (див. рис. 2.3). Окрім основного сигналу, в модулятор поступає сигнал з гетеродина, внаслідок чого в сигналі виникають спотворення, такі як фазовий шум гетеродина та зайві гармоніки. На виході передавача змішаний сигнал потрапляє на блок підсилювача, в якому враховується рівень підсилення, який встановлюється автоматично або вручну та рівень шумів всього радіочастотного тракту. Підсилювач вносить свої недоліки до сигналу, такі як інтермодуляційні спотвореннння 2-го та 3-го порядків.

Тобто, до блоку передавача входять:

- підсилювач зі змінною характеристикою підсилення, яка задається користувачем (1 на рис. 2.5);
- модулятор прямого перетворення, який враховує фазовий шум гетеродина, витік гетеродина, а також неузгодженість підсилення синфазної та квадратурної складової сигналу (2 на рис. 2.5);
- підсилювач, в якому враховується коефіцієнт шуму всього радіочастотного тракту передавача, інтермодуляційні спотворення 2-го і 3-го порядків а також неузгодженість опорів на виході (3 на рис. 2.5).

В розділі 3 дисертації оцінена ефективність моделювання передавача модулю AD9364 за допомогою всіх вище вказаних в розділі 2 блоків.

2.2 Моделювання приймача каналу зв’язку типу AD9364

До структури приймача входять: РЧ приймач, аналогові фільтри, аналого-цифровий перетворювач, цифрові фільтри з пониженням частоти та секція автоматичного регулювання підсилення.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Частота гетеродина, РЧ, величина кроку моделювання РЧ і конфігурація фільтру обираються користувачем. При цьому вхідна ширина смуги радіочастот і частота дискретизації I/Q обираються відповідно до величини кроку (2.4 Гц) в діапазоні від 70 МГц до 6 ГГц, згідно з якою виконується моделювання радіочастоти і конфігурація фільтрів (які використовуються у приймачеві).

При підключенні блоку приймача до джерела сигналу необхідно переконатися, що час вибірки сигналу Simulink співпадає з величиною кроку, який використовується для моделювання РЧ, і рівне оберненому значенню ширини смуги вхідної РЧ, вказаної в масці передавача.

Використовуючи конфігурацію фільтра, можна змінювати налаштування цифрових фільтрів перетворення зі зниженням частоти, а також аналогових фільтрів і фільтрів аналого-цифрового перетворювача. При цьому використовується конфігурація джерела сигналу LTE для сигналів зі смугами пропускання 5 МГц, 10 МГц та 20 МГц. Як варіант допускається ручне налаштування фільтрів за допомогою програмного додатку “Filter Wizard”.

Приймач виконує пряме перетворення сигналу, тому передбачається, що центральна частота вхідного сигналу і частота гетеродину співпадають або наближені. Допускається, що центральна РЧ може бути відмінна від частоти гетеродина, якщо різниця між ними знаходиться в межах смуги пропускання. Центральна частота гетеродина змінюється в межах від 70 МГц до 6 ГГц.

Величина кроку радіочастотного моделювання визначає ширину смуги моделювання радіочастотного приймача. На початку процесу моделювання час вибірки загального вхідного сигналу повинен бути таким, як величина кроку, який використовується для моделювання РЧ. При необхідності змоделювати ефекти сусідніх завад (наприклад, завади дзеркального каналу), або якщо потрібно дослідити ефекти повторного росту спектру через

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

нелінійність (яку вносить передавач до сигналу) потрібно зменшити величину частотного кроку радіочастотного моделювання. Досягнуте зменшення величини частотного кроку дозволяє збільшити пропускну здатність симуляції.

Під маскою приймача знаходиться сім функціональних блоків (див. рис. 2.6):

- РЧ приймач (RF_RX);
- фільтри низьких частот (LPF_Filters_RX);
- аналого-цифровий перетворювач (ADC_RX);
- цифрові фільтри з пониженням частоти (DDC_Filters_RX);
- індикатор сигналу приймача: три вимірювача потужності для визначення рівня приймаючого сигналу на різних ділянках ланцюга (LMT_Peak_Detector, ADC_Overload_Detector і Average_Power_Meter);
- автоматичне регулювання підсилення(AGC);
- таблиця програмованого підсилення (Gain_table).

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

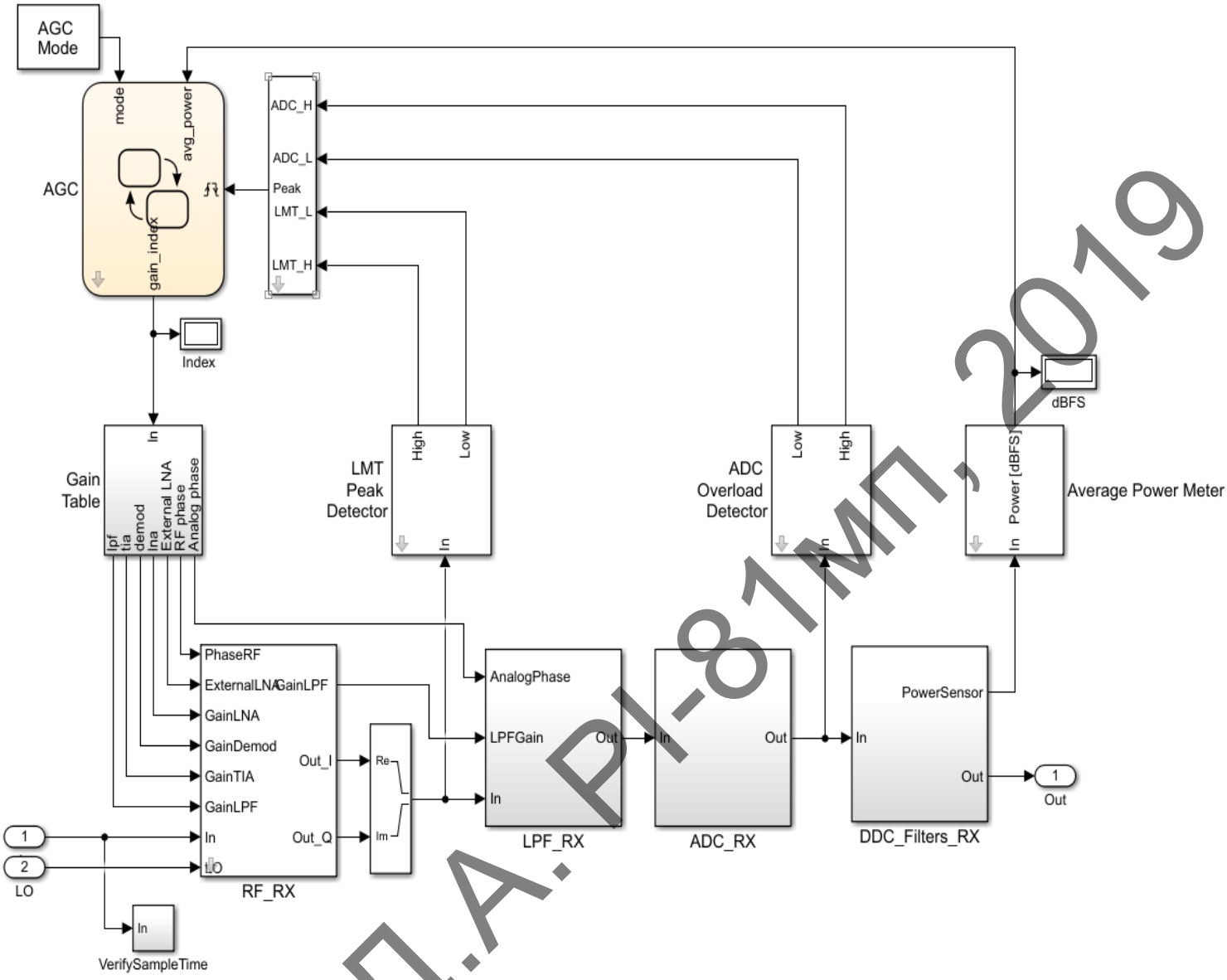


Рисунок 2.6 — Високорівнева блок-схема приймача

В розділі 2.2.1 приведений опис роботи вище наведеної блок-схеми.

2.2.1 Опис призначення секції приймача AD9364

РЧ приймач (RF_RX) (див. рис. 2.6) перетворює з пониженням частоти сигнал, відцентрований на частоті гетеродина в головну смугу (на частоту, яка визначається різницею частоти гетеродина та центральної РЧ), використовуючи при цьому квадратурний демодулятор для прямого перетворення.

Приймач включає три блоки: підсилювач з низьким рівнем шуму (LNA), квадратурний демодулятор (змішувач) і трансімпедансний підсилювач (TIA);

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

ланцюг позначений як LMT. Підсилення кожного рівня налаштовуються і контролюються AGC.

РЧ приймач регулює:

- підсилення сигналу в ланцюгу LMT;
- коефіцієнт шуму, який залежить від несучої частоти;
- випадкову фазу гетеродина;
- коефіцієнт підсилення, який залежить від вхідної частоти і частоти несучої та вхідний сигнал.

Призначення фільтрів низьких частот (LPF_RX).

Фільтри низьких частот (LPF Filters) – інструмент, який «відрізає» всі високі частоти, так званої частоти зрізу. Під час роботи фільтр усуває все, що виходить за обрану точку зрізу, але не впливає на сигнал нижчої частоти.

Основне призначення низькочастотних фільтрів – обмежити високочастотний спектр сигналу. Для налаштування параметрів роботи використовується лише один параметр – частота зрізу, що задає конкретну границю спектра, після якої відбувається відсікання частот.

Призначення аналого – цифрового перетворювача (ADC_RX).

Аналого-цифровий перетворювач (Analog to Digital Converter) здійснює $\Delta - \Sigma$ модуляцію з високою частотою дискретизації третього порядку. Так як в модулю наявний 12-розрядний АЦП, оцифровка сигналу відбувається з більшою точністю, ніж у 8-бітних АЦП. Частота дискретизації АЦП вказана в конфігурації фільтра і вона налаштовується за допомогою програмованого додатку «Filter Wizard».

Цифрові фільтри з пониженням частоти (DDC).

Метод цифрової обробки сигналів, що поєднує квадратурне перетворення спектра вихідного сигналу на нульовій проміжній частоті, обмеження смуги і децимацію. Цифрові фільтри нижніх частот перетворюють сигнал з високою частотою дискретизації на виході АЦП на нижчу частоту основної смуги частот.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Індикатор сигналу.

Потужність отриманого сигналу вимірюється послідовно трьома кроками на трьох блоках:

- на виході LMT — на блоці LMT Peak Detector (ланцюг підсилювача, квадратурного демодулятора і трансімпедансного підсилювача);
- на виході АЦП — на блоці детектора перезавантаження АЦП;
- після смугових фільтрів — на вимірювачі середньої потужності.

Перший вимірювач (LMT Peak Detector) реагує на перенавантаження сигналу, який приймається радіочастотним входом (див. рис. 2.6, блок RF_RX). Другий вимірювач об’єднує вихід АЦП протягом чотирьох циклів. Враховуючи високу розрядність АЦП забезпечується достатня швидкодія виявлення піку сигналу. Повна шкала АЦП рівна 16(2^4) числу циклів інтегрування. Третій вимірювач вимірює і контролює екстримальні значення середньої потужності перетвореного сигналу. Ця інформація потрапляє на блок AGC і забезпечує збільшення підсилення приймача, що працює в режимі автоматичного регулювання підсилення (АРП).

Таким чином, розглянута секція приймача включає в себе всі необхідні блоки та засоби для прийняття, оброблення, фіксування та передачі сигналу. Результати працездатності вище описаних блоків наведені в розділі 3 магістерської дисертації.

2.2.2 Функція автоматичного регулювання підсилення та її застосування

Автоматичне регулювання підсилення або АРП (Automatic Gain Control) вимірює індекс підсилення сигналу в автоматичному режимі підсилення та може задаватися як коефіцієнт при ручному керуванні підсиленням. АРП реалізує декілька режимів роботи: ручний режим, режими швидкого та повільного вимірювання в залежності від прийнятого сигналу.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

- В режимі «Slow attack» АРП отримує значення пікових детекторів і вимірювача середньої потужності. АРП підраховує кількість перетинів порогового значення і визначає, чи потрібно змінити індекс підсилення. Наприклад, маска АРП дозволяє вказати, скільки разів необхідно перетинати верхній поріг LMT перед зміною стану. Зміна стану забезпечує новий індекс в таблиці підсилення на основі поточного значення. Є можливість налаштувати величину, на яку індекс збільшується або зменшується. Існує три механізми для зменшення підсилення в залежності від перетину порога, виявленого детектором піка LMT, детектором перенавантаження АЦП і вимірювачем середньої потужності. Вимірювач середньої потужності контролює єдиний механізм збільшення індексу підсилення.

  В цьому режимі потужність вихідного сигналу повинна в кінцевому результаті знаходитись між високим і низьким порогом.
- В режимі «Fast attack» АРП миттєво реагує на детектор LMT і детектор перенавантаження ADC, зменшуючи коефіцієнт підсилення. ENSM вимірює поточну потужність сигналу, зрівнює її з необхідним рівнем блокування, вказаним в масці, і визначає приріст/зменшення , яке буде застосовано до індексу підсилення. Це зроблено для того, щоб поточна потужність сигналу була максимально наближена до бажаного рівня потужності. Підсилення оновлюється у випадку втрати потужності або перетину порогового значення і детекторів перенавантаження.

  • У випадку ручного режиму всередині пристрою розривається петля зворотнього зв’язку, яка слугує для регулювання підсилення і контроль підсилення передається комунікаційному процесору , який може змінювати його засобами керування через SPI а також за допомогою виводів керування.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Висновки.

В розділі 2 розглянуто функціональність блоків цифрового оброблення сигналу приймача та передавача каналу зв’язку типу AD9364, що розглядається в дисертації, наведені та проаналізовані структурні блок-схеми вище зазначених модулів. При аналізу блоків було використані такі бібліотеки програм Matlab та Simulink:

- Fixed-Point Designer. Дозволяє переводити алгоритми з арифметики з плаваючою точкою в арифметику з фіксованою точкою [6].
- Stateflow. Це середовище для моделювання і симуляції комбінаторної і послідовної логік прийняття рішень, заснованих на машинах станів і блок-схемах [7].
- Communications Toolbox. Містить алгоритми та інструменти для проектування, моделювання та аналізу систем зв'язку [8].
- DSP System Toolbox. За допомогою цієї бібліотеки доступна можливість проектувати і аналізувати КІХ, БІХ, багатошвидкісні, багатоступінчасті і адаптивні фільтри [9].
- Доступна передача сигнали від змінних, файлів даних і мережевих пристроїв для розробки і верифікації систем.

Таким чином, використовуючи вище перелічені бібліотеки є можливим створити будь—яку математичну модель трансівера для дослідження його характеристик та виявлення похибок до етапу проектування в лабораторних умовах.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

3 ЕФЕКТИВНІСЬ МАШИННОГО МОДЕЛЮВАННЯ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ ТИПУ AD9364

3.1 Ефективність блоку передавача

Блок-схема дослідження каналу зв'язку передавача включає в себе (рис. 3.1):

- джерела тестових сигналів (LTE-подібний та синусоїдальний сигнали);
- передавач;
- спектроаналізатор та вимірювач потужності.

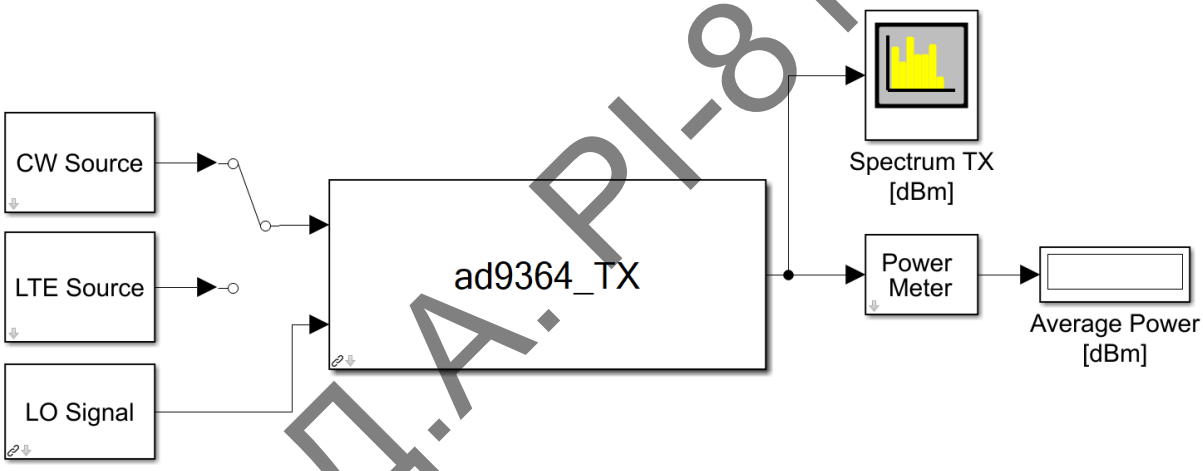


Рисунок 3.1 — Блок-схема каналу зв'язку передавача

Блок-схема містить два джерела тестових сигналів (CW Sourcel та LTE Source), сигнал, який подається на передавач з гетеродина (LO Signal), блок передавача (ad9364_TX), вимірювач потужності (Power Meter), який вимірює значення в шкалі (дБ) та аналізатор спектру на виході передавача (Spectrum TX).

3.1.1 Джерела тестових сигналів

Перевірка передавача здійснюється шляхом вибору між джерелами сигналів CW Signal (звичайна синусоїда) або більш реальним LTE-подібним

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

(OFDM з модуляцією 64 QAM і смугою пропускання 5, 10 або 20 МГц). При симуляції стоїть задача зміни положення перемикача між джерелами сигналів для використання типу вхідного сигналу.

LO Signal. Цей блок генерує еквівалентний сигнал основної смуги частот для збудження гетеродина передавача. Джерело гетеродина дозволяє задавати фазовий шум і генерує неперервний сигнал в часі. Джерело гетеродина також дозволяє вказати детерміновану або довільну початкову фазу.

3.1.2 Результати моделювання передавача

Використання сигналу CW Signal (continious wave – неперервний сигнал).

На вхід передавача подається CW Signal з частотою 2 МГц.

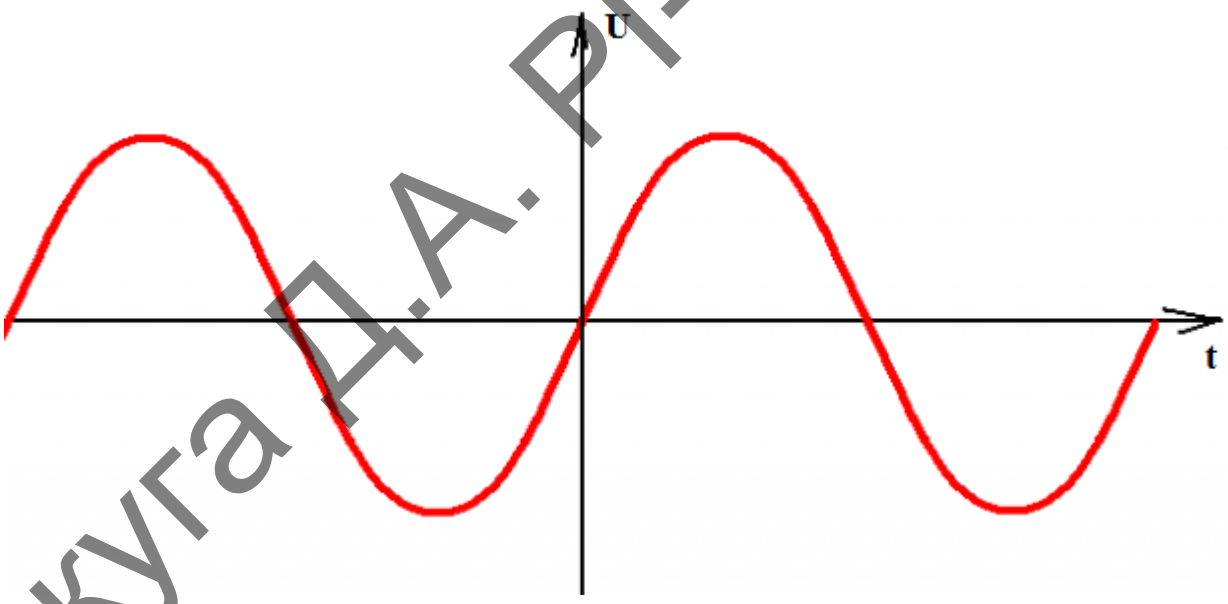


Рисунок 3.2 — CW signal на вході передавача

В ідеальному варіанті спектр сигналу зображеного на рис. 3.2 виглядає наступним чином.

Ганжуга Д.А. РІ-81МП, 2019

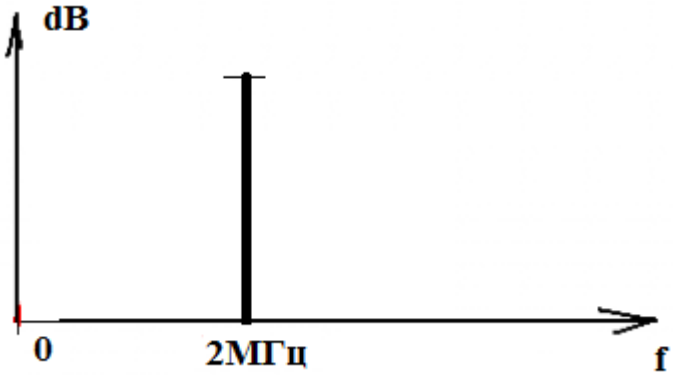


Рисунок 3.3 — Спектр ідеального сигналу на частоті 2 МГц

На аналізаторі спектру зображений спектр цього сигналу. Несуча частота 2МГц (рис. 3.4).

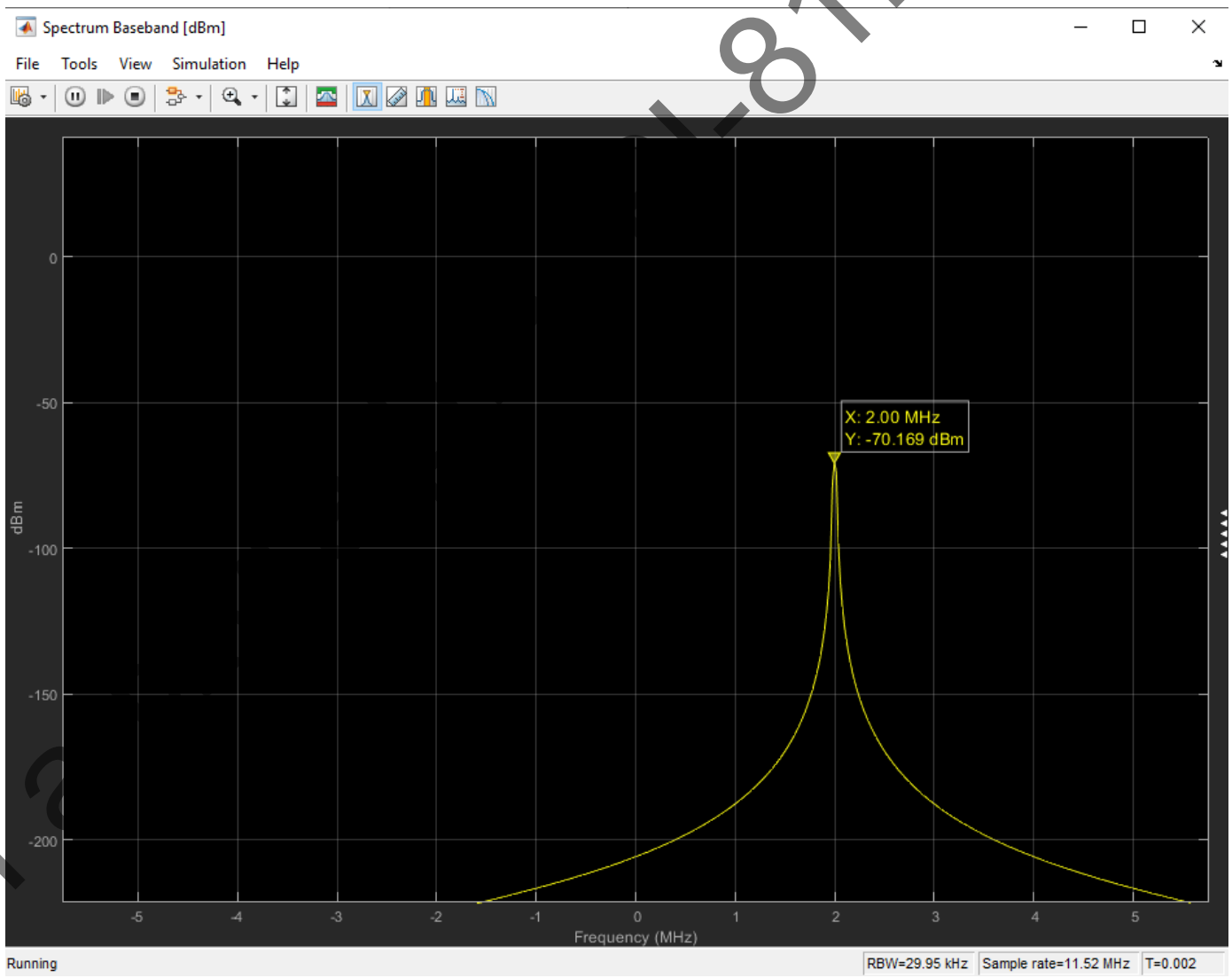


Рисунок 3.4 — Спектр CW сигналу на вході передавача

Г2-81МП, 2019

На вхід приймача подається синусоїда (її спектр рис 3.3) на частоті 2 МГц і потужністю -70дБ (відповідно до заданих параметрів). Після проходження радіочастотного тракту та АЦП сигнал підсилюється, низькочастотними фільтрами відсікаються нижні частоти і на виході приймача маємо результат моделювання (див. рис. 3.5).

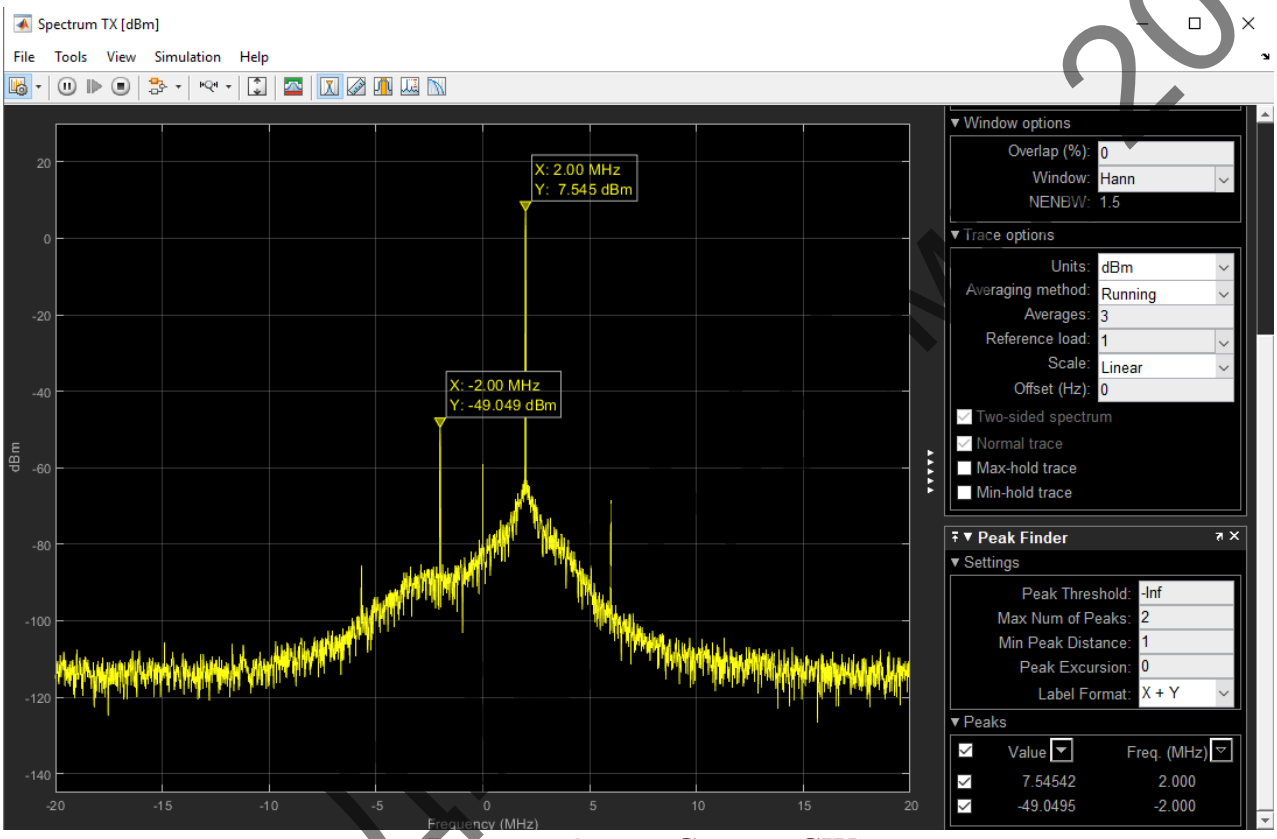
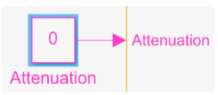


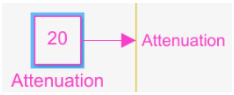
Рисунок 3.5 — Спектр CW сигналу

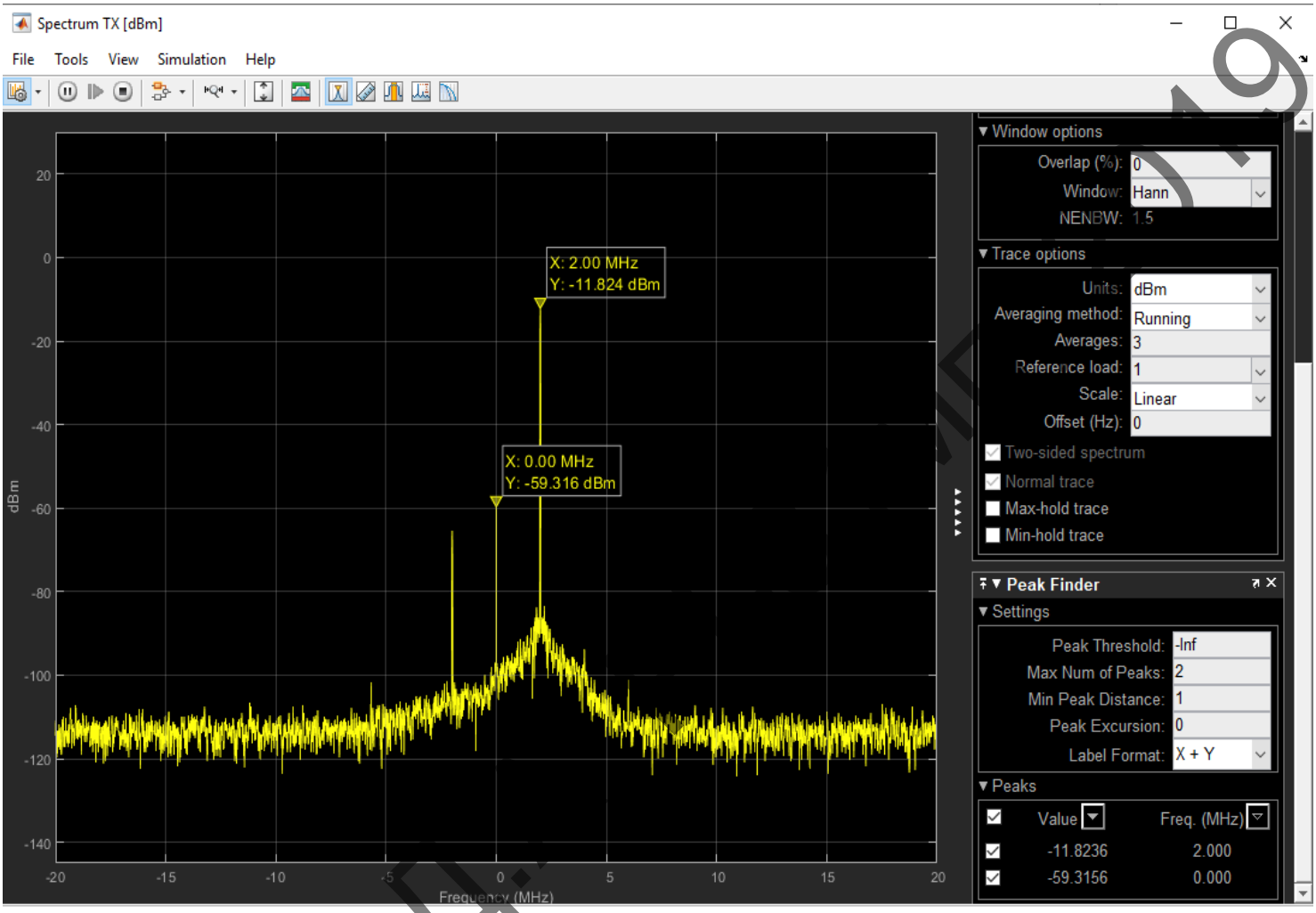
На графіку видно, що основний пік CW сигналу проявляється на частоті 2 МГц, який відповідає заданим налаштуванням, а також фазовий шум (на рівні приблизно -100 – -120 дБ) безпосередньо біля основного піку. Шум на рівні -110дБ – -120 дБ пояснюється високою чутливістю передавача. Також на графіку спостерігається ефект витоку гетеродина (-2МГц), паразитні гармоніки (на частоті 5,2 МГц) а також вплив нелінійності передавача (який проявляється появою в частотному спектрі вихідного сигналу складових (на частотах 5.2, 4,5, 1.9 МГц), відсутніх у вхідному сигналі).

Ганжула А. М. 2019

При зміні в масці передавача значення затухання (з 0дБ на 20 дБ) отримаємо наступні результати (див. рис. 3.6)







→

Рисунок 3.6 — Спектр підсиленого CW сигналу

При зміні коефіцієнта затухання (з 0 дБ до 20 дБ) в масці передавача блок RF_TX реагує та змінює спектр сигналу. Таким чином, змінюючи коефіцієнт затухання вдалося досягти впливу цього коефіцієнта на сигнал, який передається (підсилення сигналу відбувається на вказану величину (з 0 дБ до 20 дБ) з розрахованою похибкою 1-4 %).

Окрім того, під час симуляції є можливим змінити тип сигналу. При зміні типу сигналу необхідно вказати несучу частоту та його потужність.

Ганжуга Д. ІПЗ-19

При використанні двох синусоїдальних сигналів на частотах 1 МГц та 1,6 МГц отримано наступні результати (див. рис. 3.7).

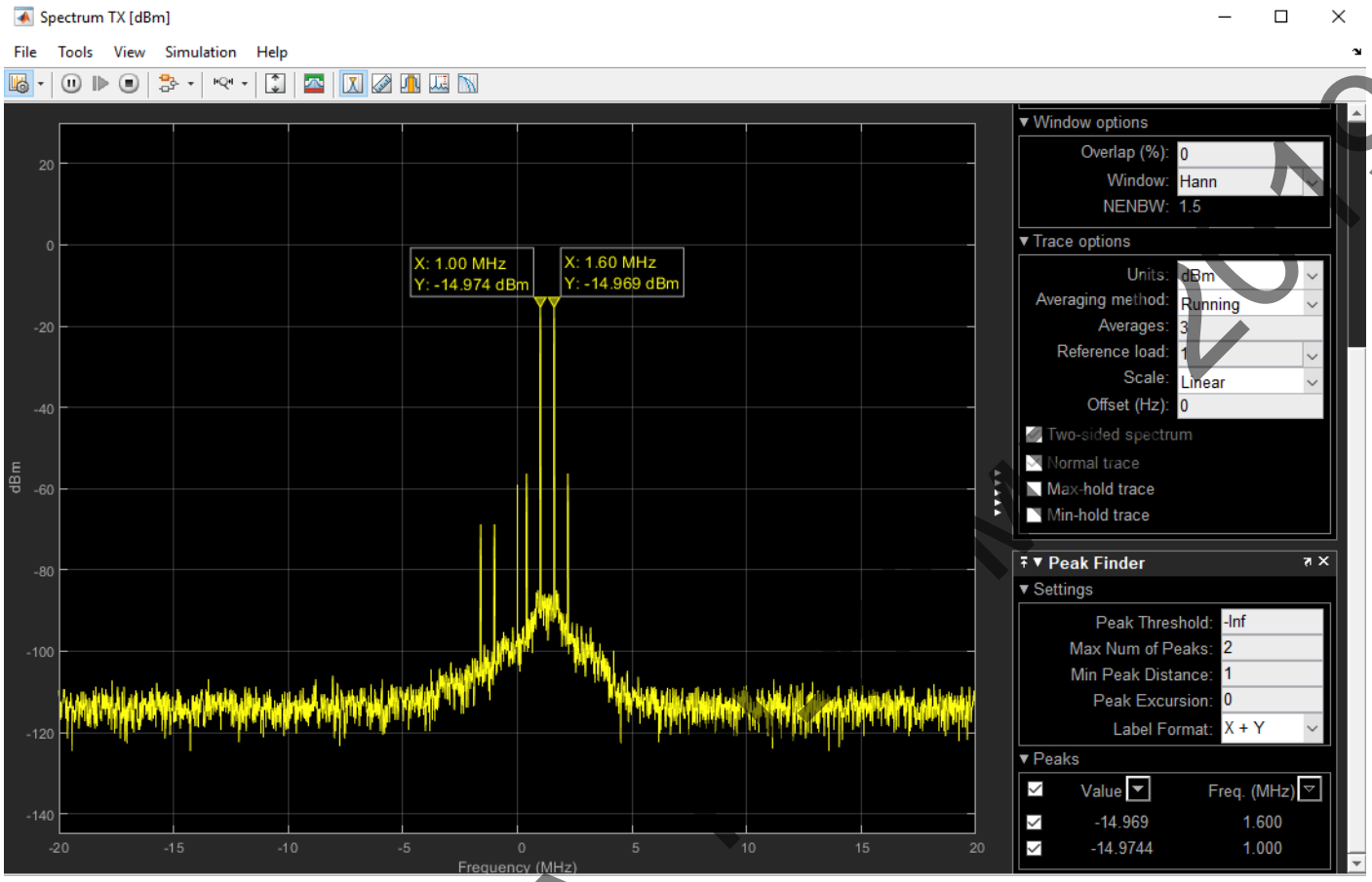


Рисунок 3.7 — Спектр CW сигналу з двома гармоніками на вході передавача

На спектроаналізаторі показані зміни: дві гармоніки на відповідних частотах (1.6МГц та 1МГц), інтермодуляційні спотворення, які виникають внаслідок взаємодії декількох різних сигналів (взаємодія сигналу, який подається з оборонного джерела та сигналу гетеродина), тому виникають нові складові спектра (1.5, 2, 2.5, 3МГц), які не співпадають з частотами гармонік вхідних сигналів, а також інші види спотворень, які були зазначені вище.

При подачі на передавач сигнал більшої величини (LTE з смугою пропускання 5 МГц і коефіцієнтом затухання рівним 0дБ (див. рис. 3.8)) на спектроаналізаторі фіксуються зміни (див. рис. 3.9).

Ганжуга Д.А. КІТ-219

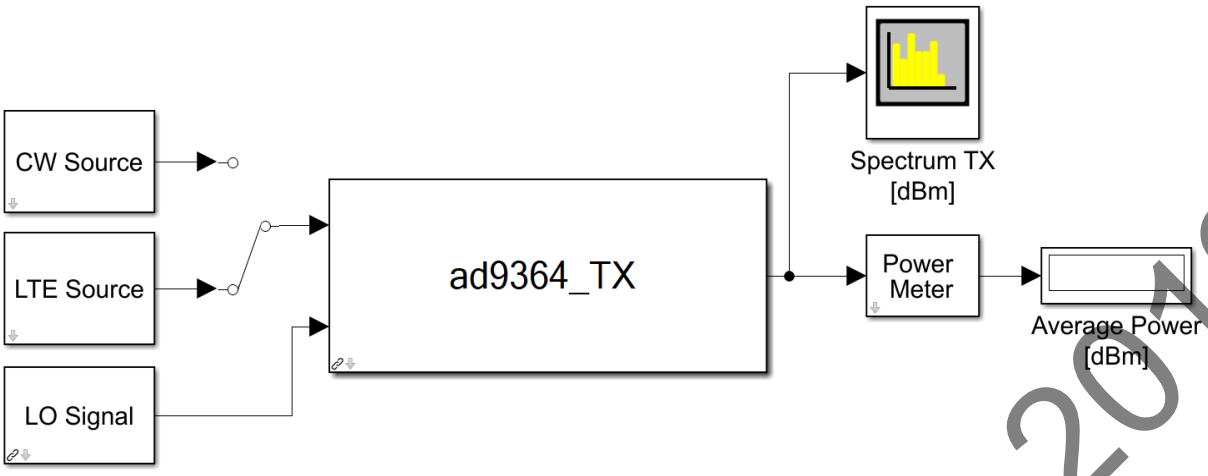


Рисунок 3.8 — Вибір джерела сигналу

Після зміни джерела сигналу на вхід передавача подається LTE-сигнал зі смугою пропускання 5 МГц та коефіцієнтом затухання 0 дБ (рис. 3.7).

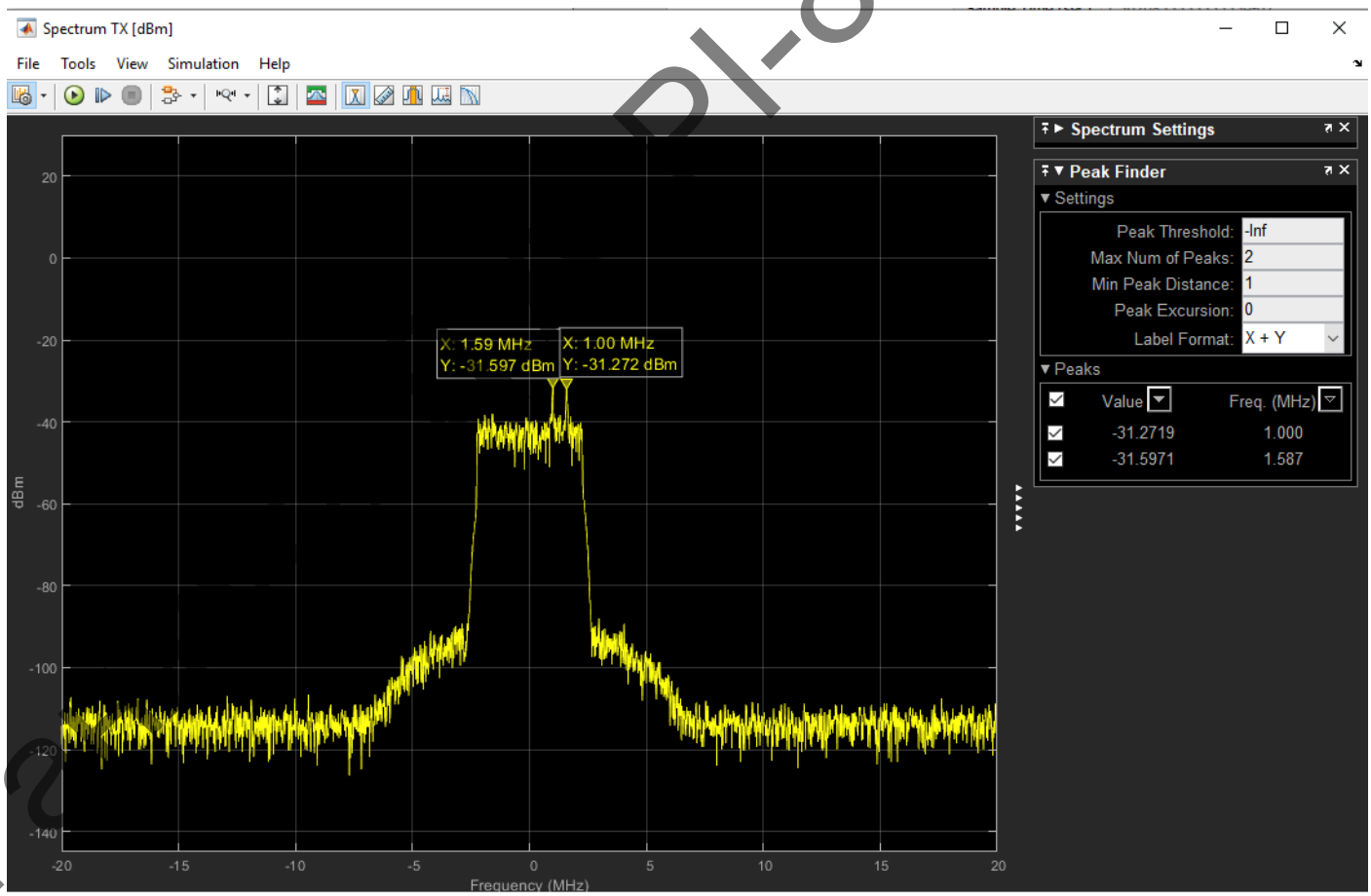


Рисунок 3.9 — Спектр LTE-подібного сигналу на вході

На спектрі показана смуга пропускання в 5 МГц LTE-подібного сигналу, а також спотворення, які вносить передавач в спектр сигналу через

ДІ-81мп, 2019

свою нелінійність (висота фазових шумів 10 дБ). На спектрі як і у прикладі з CW сигналом спостерігається фазовий шум на рівні -100 – -120 дБ, який викликаний високою чутливістю передавача, а також шум поблизу основної смуги частот (на рівні -90 – -110 дБ).

На графіку також можна спостерігати сигнал, який створюється гетеродином. Гетеродин створює сигнал еквівалентний сигналу на вході передавача, тобто в смузі пропускання виділяється спектр двох гармонік (1 та 1.6 МГц).

Було виміряно коефіцієнт потужності по сусідньому каналу ACPR (Adjacent Channel Power Ratio), значення якого при рівні затухання 0 дБ на першому сусідньому каналі становить -56 дБ, на другому – -72 дБ; при рівні затухання 20 дБ ці дані становлять -40 дБ та -88 дБ відповідно.

Даний коефіцієнт використовується для оцінки ступеню спотворень, викликані нелінійністю підсилювачів потужності і в цілому трактів передачі радіочастотних блоків. Коефіцієнт ACPR (Adjacent Channel Power Ratio) характеризує схильність радіочастотних блоків до створення завад пристроями, які використовуються сусіднім каналом системи радіозв’язку.

При налаштуванні каналу для перевірки введемо значення частотного зсуву для сусідніх каналів в 5 МГц та 10 МГц відповідно (див. рис. 3.10).

На рисунку зображено головну смугу пропускання (5 МГц), два сусідні канали із зсувом 5 МГц та 10 МГц. При необхідності є можливим вказати кількість сусідніх каналів (необмежену кількість), центральну частоту (центральною частотою було обрано 0 МГЦ для відцентрування графіку).

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

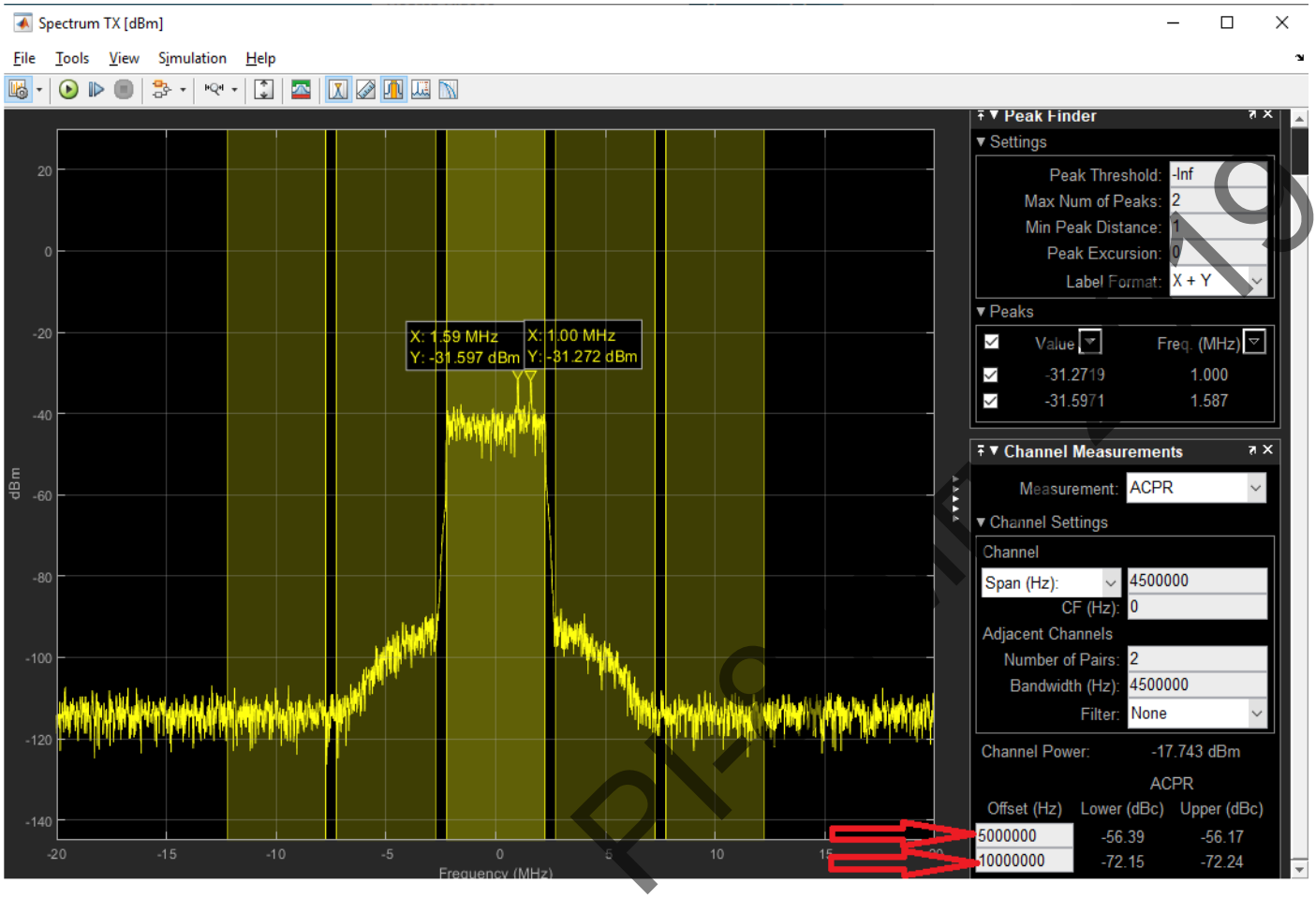


Рисунок 3.10 — Радіочастотний зсув сусідніх каналів

Було обрано ширину каналів 5 МГц, радіочастотний зсув цих каналів 4.5 МГц відповідно для кожного каналу, рівень затухання 20 дБ. Отримані наступні результати: при налаштуванні зсуву сусідніх каналів 5 МГц та 10 МГц відповідно рівень потужності становить -56 дБ для першого сусіднього каналу та -72 дБ для другого сусіднього каналу. При необхідності можливо обрати кількість сусідніх каналів та розрахувати потужність кожного з них.

Також при цьому було змінено коефіцієнт затухання до 0 дБ і отримано наступні результати (див. рис. 3.11).

Ганжуга Д.А. РІ-319

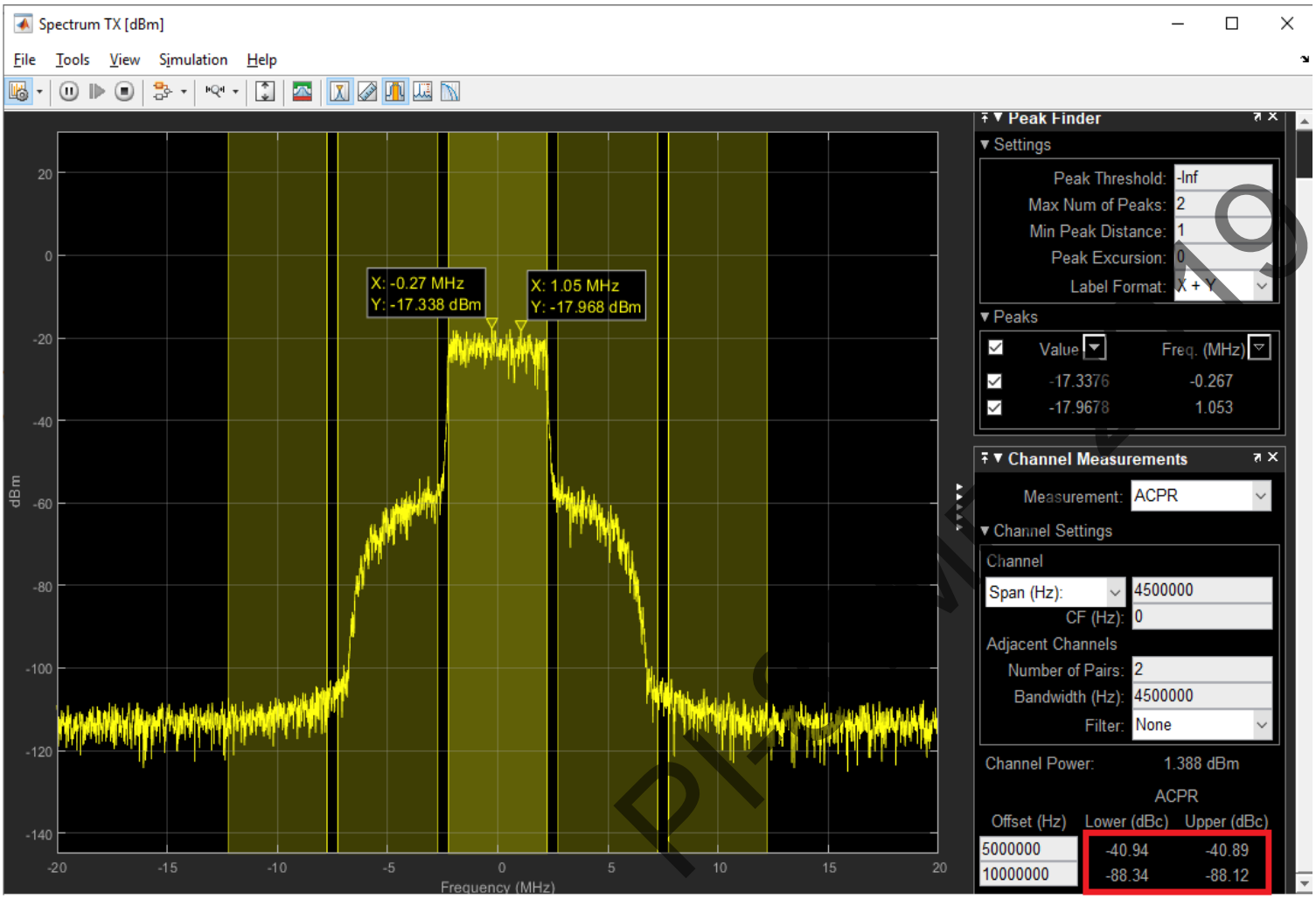


Рисунок 3.11 — Вимірювання потужності по сусідньому каналу

Аналіз результатів дослідження показує, що передавач працює в режимі близькому до насичення, при зміні коефіцієнта затухання до 0 дБ збільшується рівень завади (з -56 до -40), яку передавач вносить в сусідній канал, а також збільшується рівень потужності головного каналу (з -17 дБ до 1,5 дБ).

Ефективність передавача підвищується відповідно до обраних параметрів. При збільшенні коефіцієнта затухання зменшуються рівні шумів, зменшується рівень підсилення сигналу та відповідно його потужність.

Висновки. При проектуванні передавача вдалося досягти результатів, які відповідають теоретичним даним, було показано вплив коефіцієнта

Ганжуга Д.А. РІЗ-19

затухання на сигнал, який передається та вплив параметрів фільтру на фільтрацію сигналу. Це підтверджують графіки, які наведені у цьому розділі.

3.2 Ефективність блоку приймача

Блок-схема дослідження каналу зв'язку приймача включає в себе (рис. 3.12):

- джерела тестових сигналів (LTE-подібний та синусоїдальний сигнали);
- приймач;
- спектроаналізатори та блок візуалізації сигналу, вимірювач потужності.

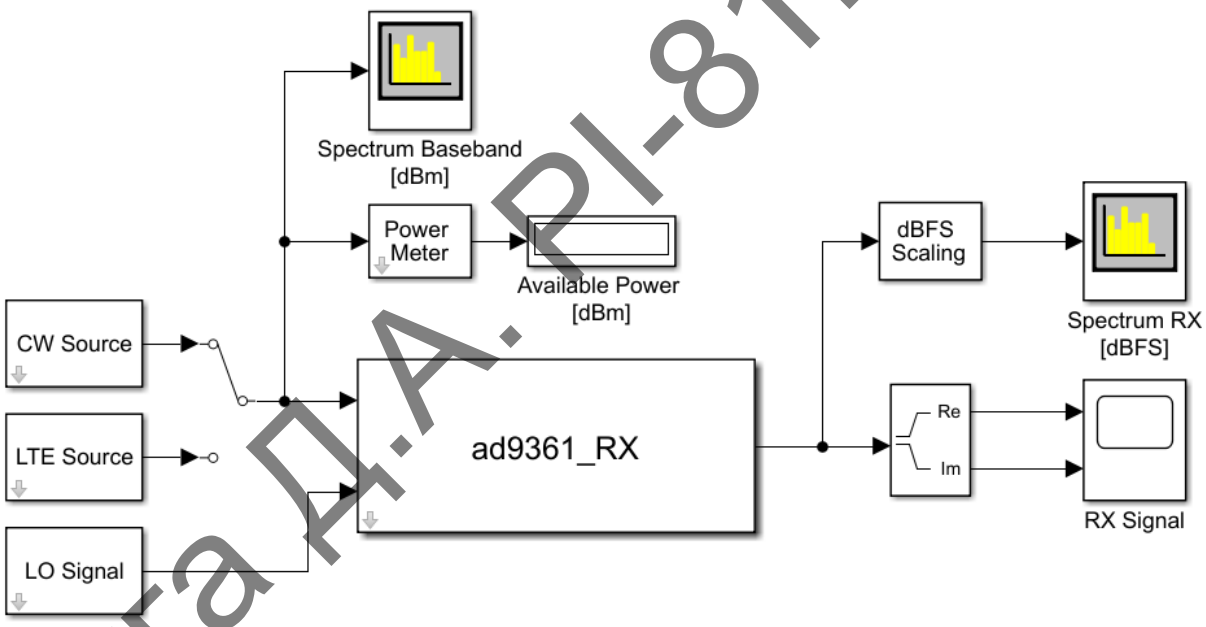


Рисунок 3.12— Блок-схема каналу зв'язку приймача

Блок-схема містить два джерела тестових сигналів (CW Source та LTE Source), сигнал, який подається на передавач з гетеродина (LO Signal), блок приймача (ad9364_RX), вимірювач потужності в шкалі (дБ) на вході (Power Meter), аналізатор спектру на вході (Spectrum Baseband) та виході приймача (Spectrum RX) а також аналізатор сигналу, який відображає дві складові сигналу: Re та Im (RX Signal).

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

В наступних підрозділах 3.2.1 і 3.2.2 проведений аналіз працездатності приймача.

3.2.1 Джерела тестових сигналів

Перевірка приймача здійснюється шляхом вибору між CW сигналом (звичайна синусоїда) або більш реальним LTE-подібним сигналом (OFDM з модуляцією 64 QAM і смугою пропускання 5, 10 або 20 МГц). Під час симуляції потрібно змінити положення перемикача для зміни типу вхідного сигналу. Також є можливим використання будь-якого сигналу користувача.

При використанні LTE-сигналу є функція додавання додаткового блокуючого сигналу на постійній частоті. Під час симуляції є можливим змінити рівень потужності, а також зсув частоти блокуючого сигналу.

LO Signal. Цей блок генерує еквівалентний сигнал основної смуги частот для збудження гетеродина передавача. Джерело гетеродина дозволяє задавати фазовий шум і генерує неперервний сигнал в часі. Джерело гетеродина також дозволяє вказати детерміновану або довільну початкову фазу.

Аналізатор спектру «Spectrum Baseband» відображає потужність сигналу на вході приймача в дБм.

Аналізатор спектру «Spectrum RX» відображає потужність сигналу на виході приймача, масштабовану в dBFS (відповідає повній шкалі аналого-цифрового перетворювача).

3.2.2 Результати моделювання приймача

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Використання джерела CW Signal. Отримані результати зображені на рис. 3.13.

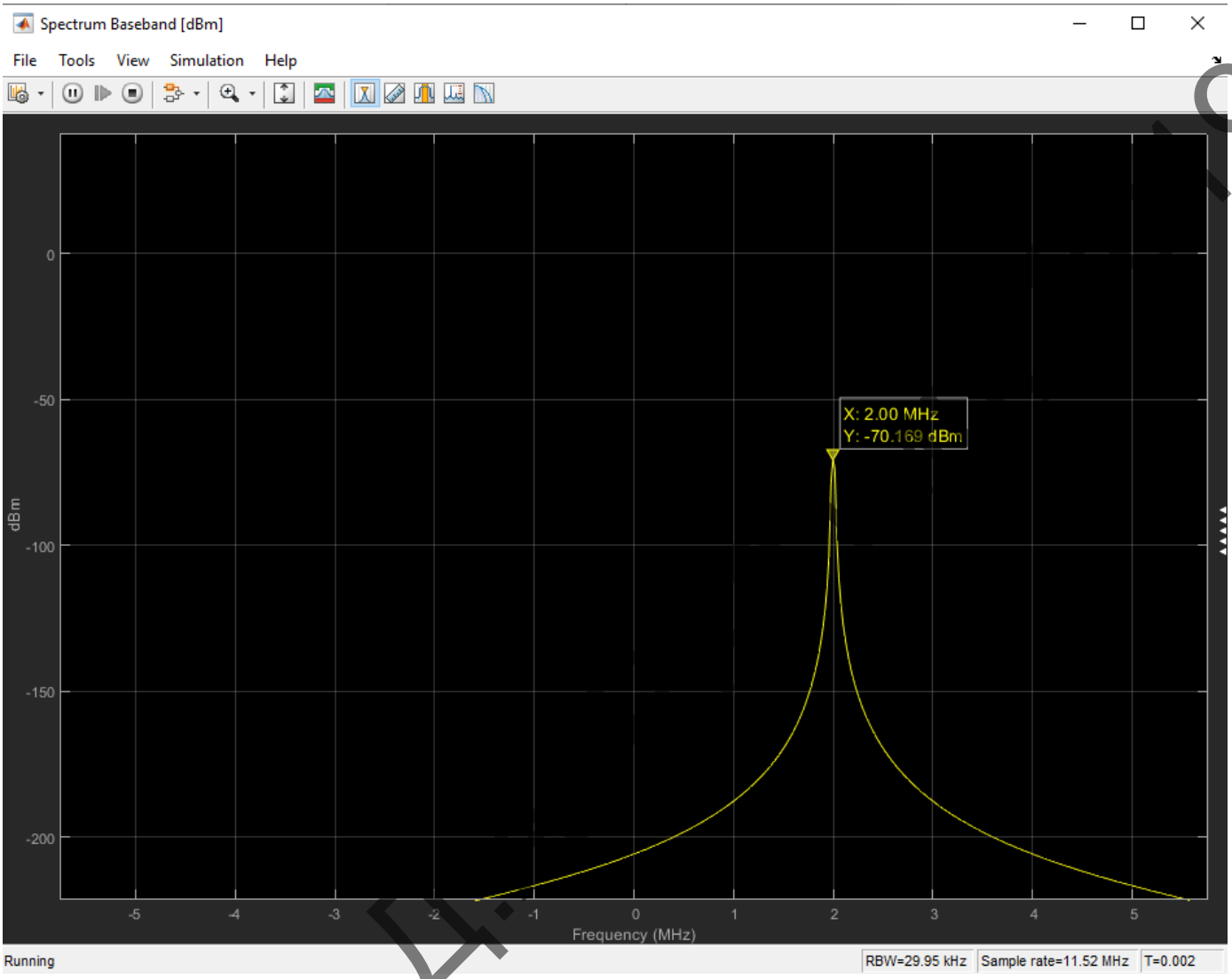


Рисунок 3.13 — Спектр вхідного CW сигналу

На вхід приймача подається синусоїда (її спектр рис 3.13) на частоті 2 МГц і потужністю -70дБ (відповідно до заданих параметрів). При необхідності є можливим дослідити АЧХ системи та фільтрацію сигналу. Після проходження радіочастотного тракту та АЦП на виході приймача маємо результат моделювання (див. рис. 3.14).

Ганжуга Д. 19

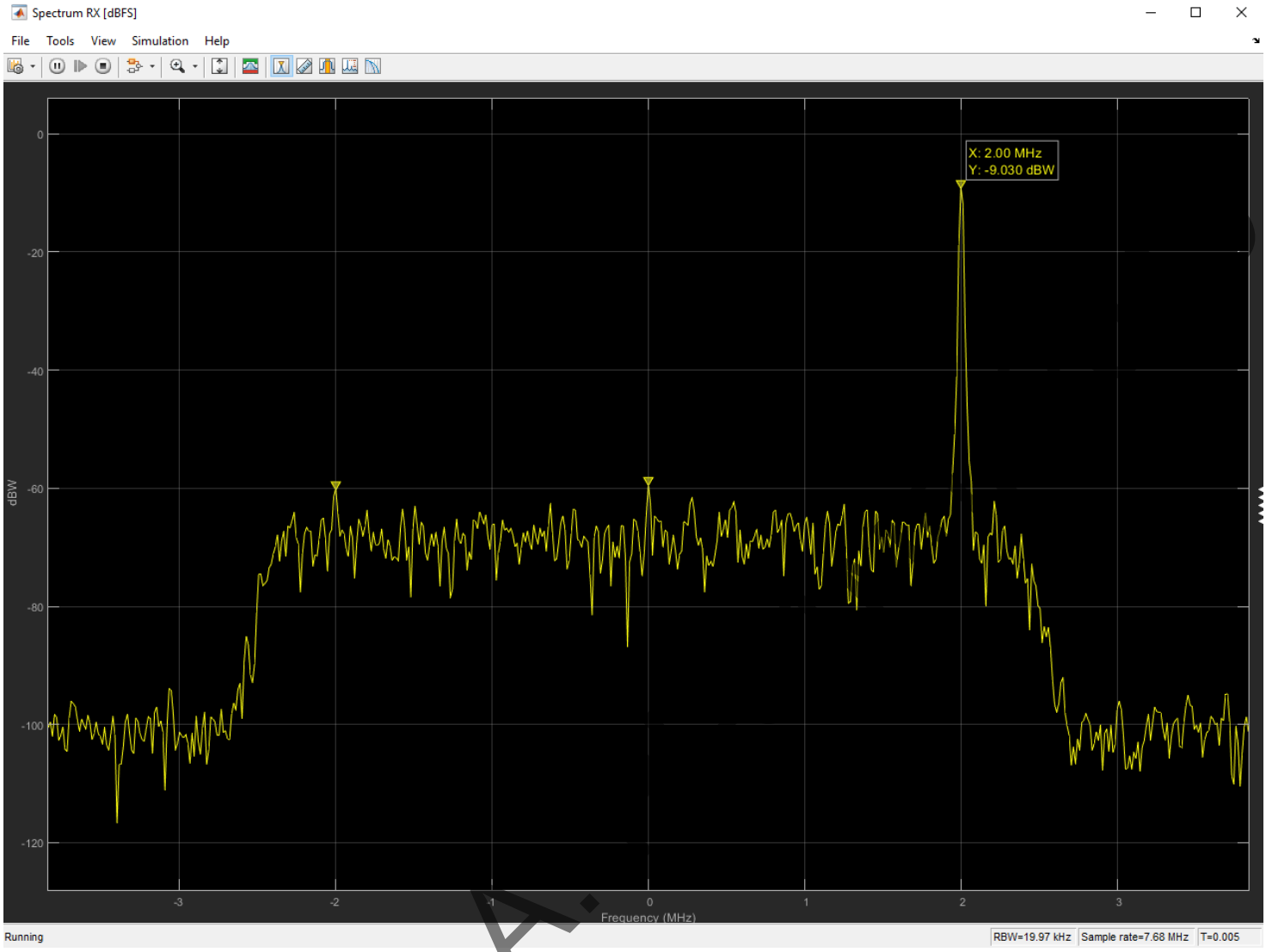


Рисунок 3.14 — Спектр вихідного CW сигналу

На виході приймача бачимо смугу пропускання в 5 МГц (так як був обраний фільтр зі смугою пропускання 5 МГц при подачі сигналу на вхід), фазовий шум, який вносить сігма-дельта АЦП (на рівні приблизно -68 – -75дБ), пік, який відповідає частоті сигналу (2МГц), а також сигнал, відфільтрований за допомогою низькочастотних фільтрів (на рівні -100 дБ).

На рис. 3.13 зображено шум основної смуги частот на рівні -65 – -75 дБ. Ця величина пояснюється тим, що для «вирівнювання» спектру до меншого рівня шуму (4-6 дБ) необхідна велика кількість часу для самокалібрування пристрою.

Ганжуга Д.А.

Як з дослідженням передавача, подамо на вхід приймача два сигнали на частотах 1МГц та 1.6 МГц на рівні -70 дБ. Отримані результати зображено на рис. 3.14.

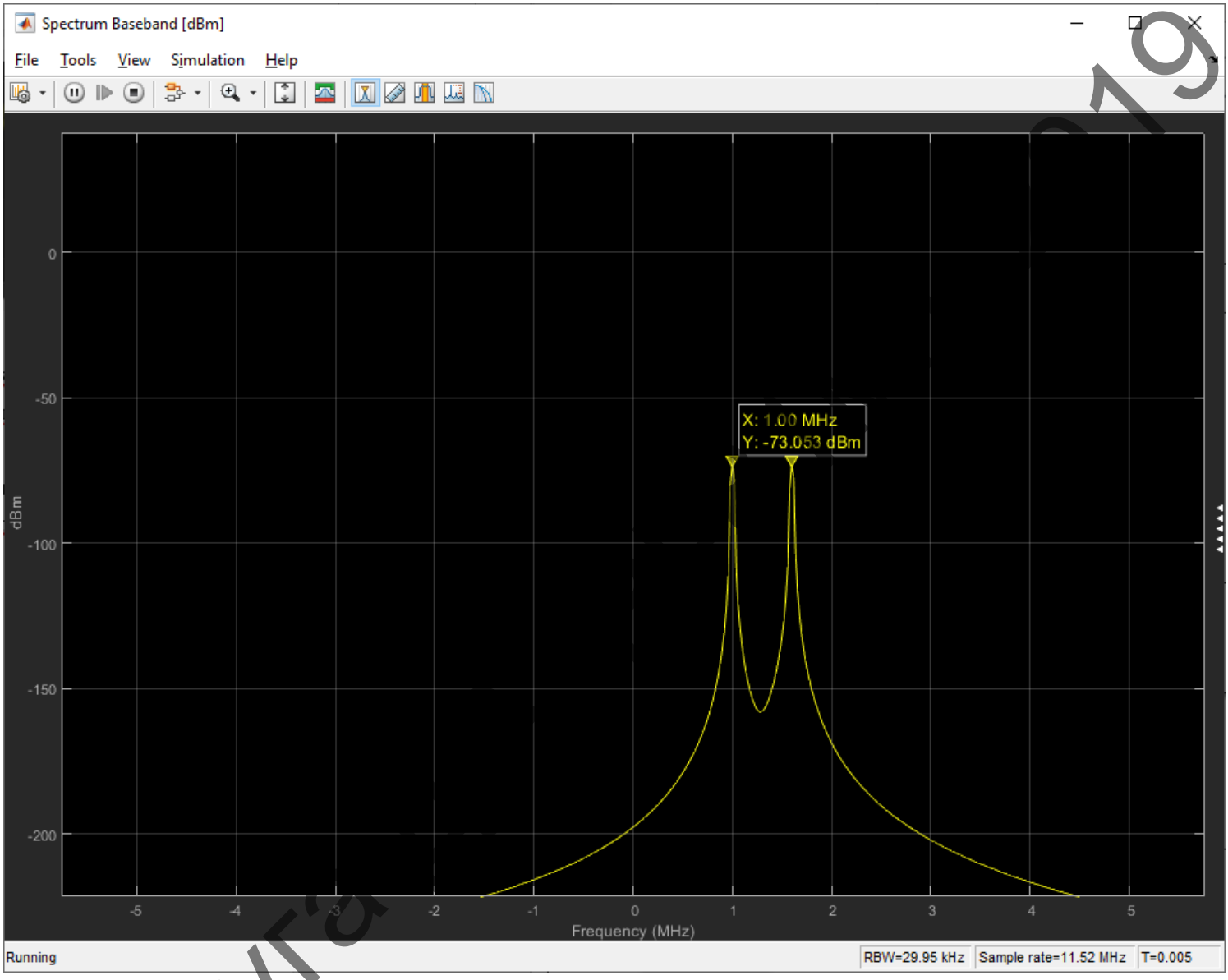


Рисунок 3.15 — Спектр CW сигналу з двома гармоніками на вході

На вхід приймача подається два CW сигнали: синусоїди з гармоніками на частотах 1МГц та 1.6МГц відповідно (їх спектр на рис. 3.14) і потужністю -73дБ (згідно до заданих параметрів; похибка може варіюватися в межах 3-5%). Після проходження радіочастотного тракту та ЦАП на виході приймача маємо результат моделювання (рис. 3.16).

Ганжуга 2019

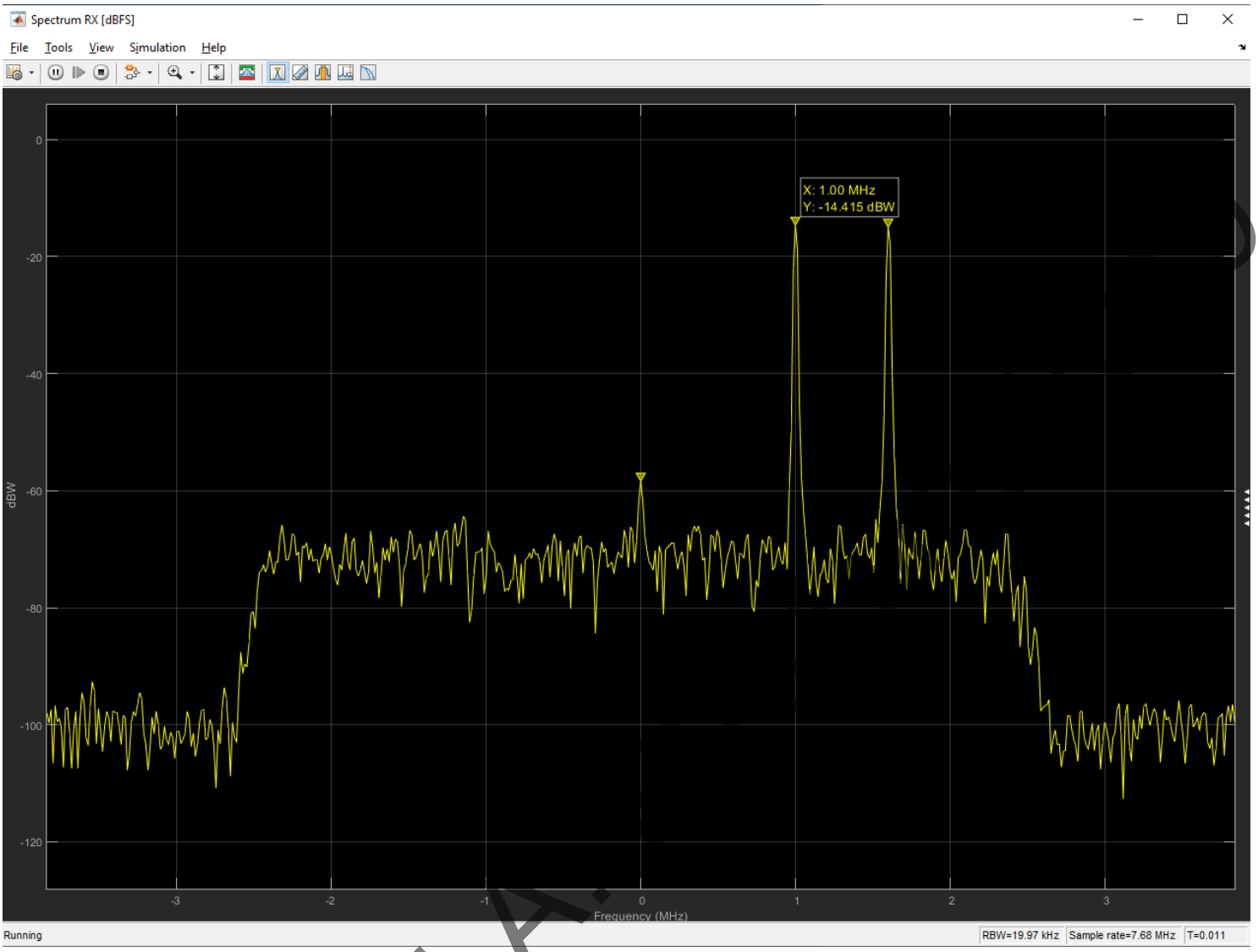


Рисунок 3.16 — Спектр CW сигналу з двома гармоніками на виході

На спектрі зображено два сигнали на частотах 1МГц та 1.6 МГц відповідно. Виникають інтермодуляційні спотворення (на частотах 1.2 МГц, 2.1МГц, 2.3 МГц), паразитні гармоніки (2.5, 1.3 МГц), фазові шуми (-95 – -110 дБ та -60 – -75 дБ в смузі пропускання) та нелінійні спотворення, які вносяться передавачем.

Високий рівень фазового шуму пояснюється тим, що для встановлення необхідного рівня цього шуму потрібна велика кількість часу для калібрування системи (близько 4-5 годин; після калібрування рівень шумів становить 4-5 дБ).

Ганжуга Д.А.

Важливо слідкувати за детекторами перенавантаження (див. рис. 3.17) та за режимом, в якому працює АРП. При подачі сигналу з рівнем -70 дБ в режимі «Автоматичного регулювання підсилення» детектори не сигналізують про перенавантаження, так як сигнали на вході не потужні. При зміні потужності вхідного сигналу з -70 дБ до, наприклад, -24 дБ буде спостерігатись наступна реакція приймача.

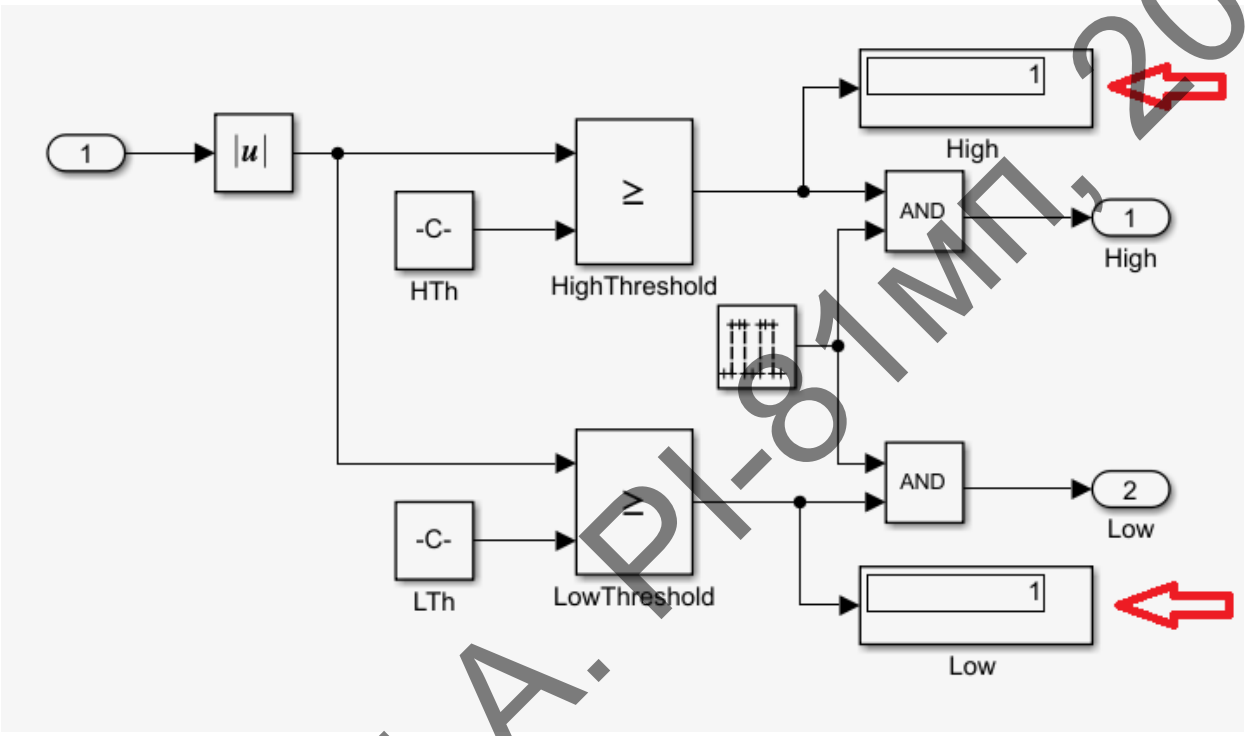


Рисунок 3.17 — Перенавантаження пікових детекторів

Детектори сигналізують, що відбулося перенавантаження (значення змінилось з 0 на 1), на вході сильний сигнал, і, як наслідок, слід зменшити підсилення. Це можна зробити вручну або ж переключивши «AGC» в режим «Fast attack». В цьому випадку АРП буде реагувати на вхідний сигнал і автоматично зменшить підсилення.

Використання LTE-подібного сигналу.

Як і в прикладі з передавачем використано LTE-подібний сигнал зі смугою пропускання 5 МГц (див. рис. 3.18).

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

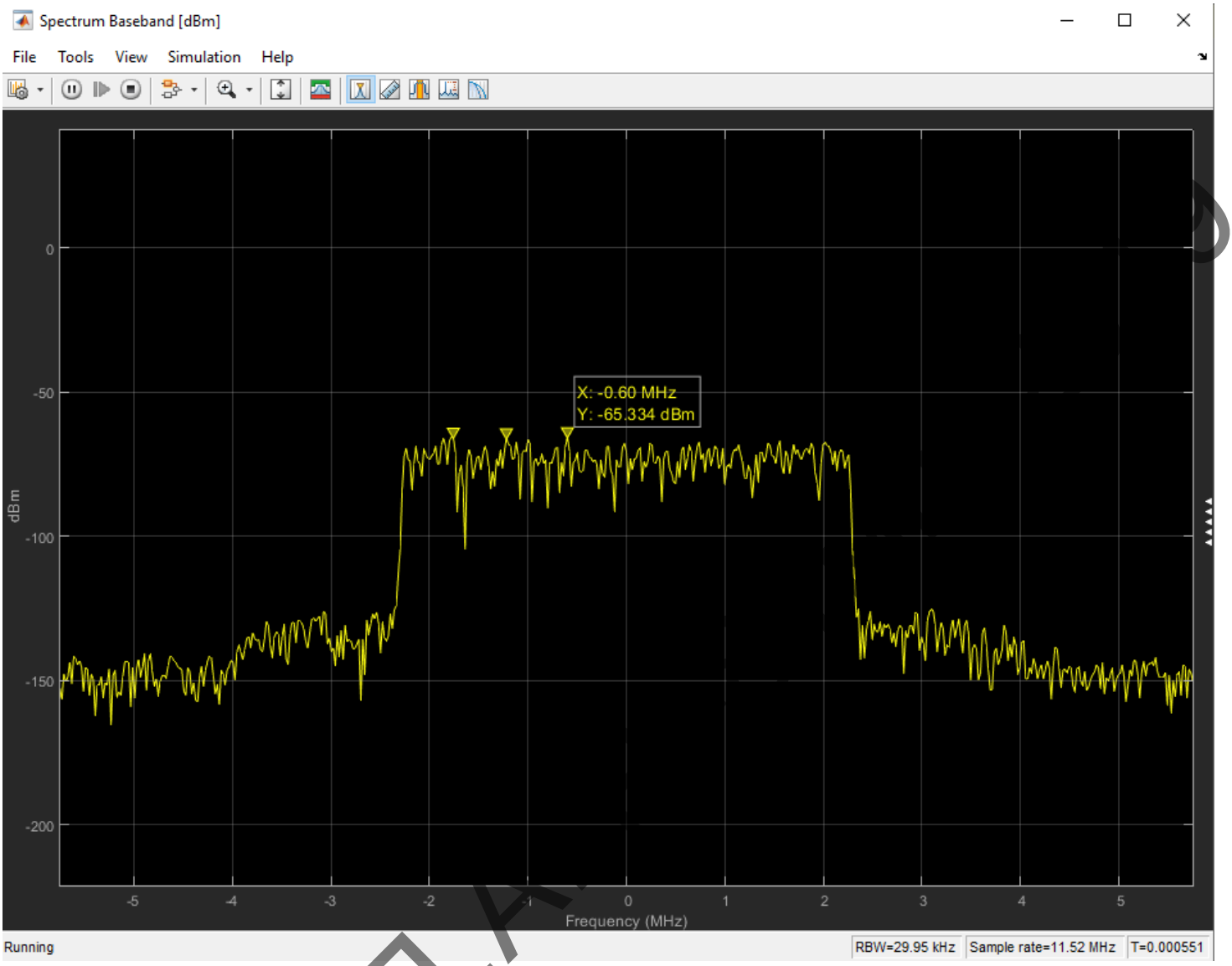


Рисунок 3.18 — Спектр LTE-подібного сигналу на вході

На графіку зображено LTE-подібний сигнал зі смугою пропускання 5МГц (від -2.5 до 2.5 МГц), фазові шуми (на рівні -150дБ, відповідно до встановленого значення в секції аналогових фільтрів (див. пункт 2.1.2)) та нелінійні спотворення (які виникли внаслідок зміни форми вхідного сигналу шляхом проходження його через підсилювачі потужності), які вносить приймач. При проходженні блоку приймача сигнал оцифровується (після ряду цифрових фільтрів, див. пункт 2.1.3) та підсилюється, на виході

Ганжуга Д.А.

приймача отримано спектр сигналу з наступними характеристиками (див. рис. 3.19).

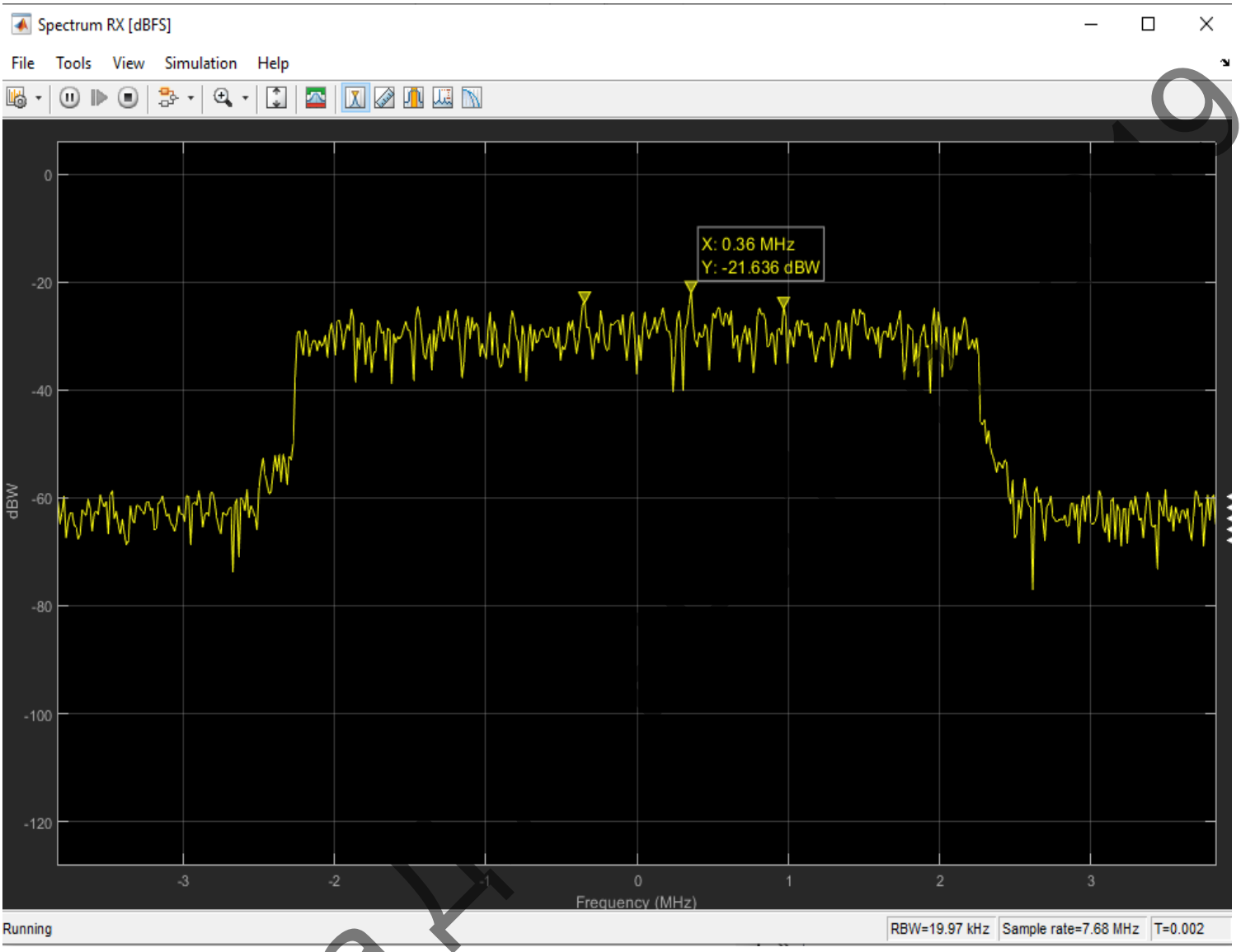


Рисунок 3.19 — Спектр LTE сигналу на виході приймача

На рисунку 3.19 смуга пропускання становить 5 МГц (від -2.5 до 2.5 МГц на рівні -21 дБ).

Потужність сигналу збільшилась (з -65дБ до -21дБ), зменшився рівень фазових шумів (з -150дБ до -60дБ). Також зменшилась величина фазових шумів (з -15 дБ до 5 дБ). Отримані результати забезпечуються нормальне функціонування приймача AD9364.

Ганжуга А

Дослідження проходження корисного сигналу з блокуючим сигналом завади з постійною частотою 3МГц і рівнем потужності 0 дБ (тобто цей сигнал має потужність набагато більшу корисного сигналу) дало наступні результати (див. рис. 3.20).

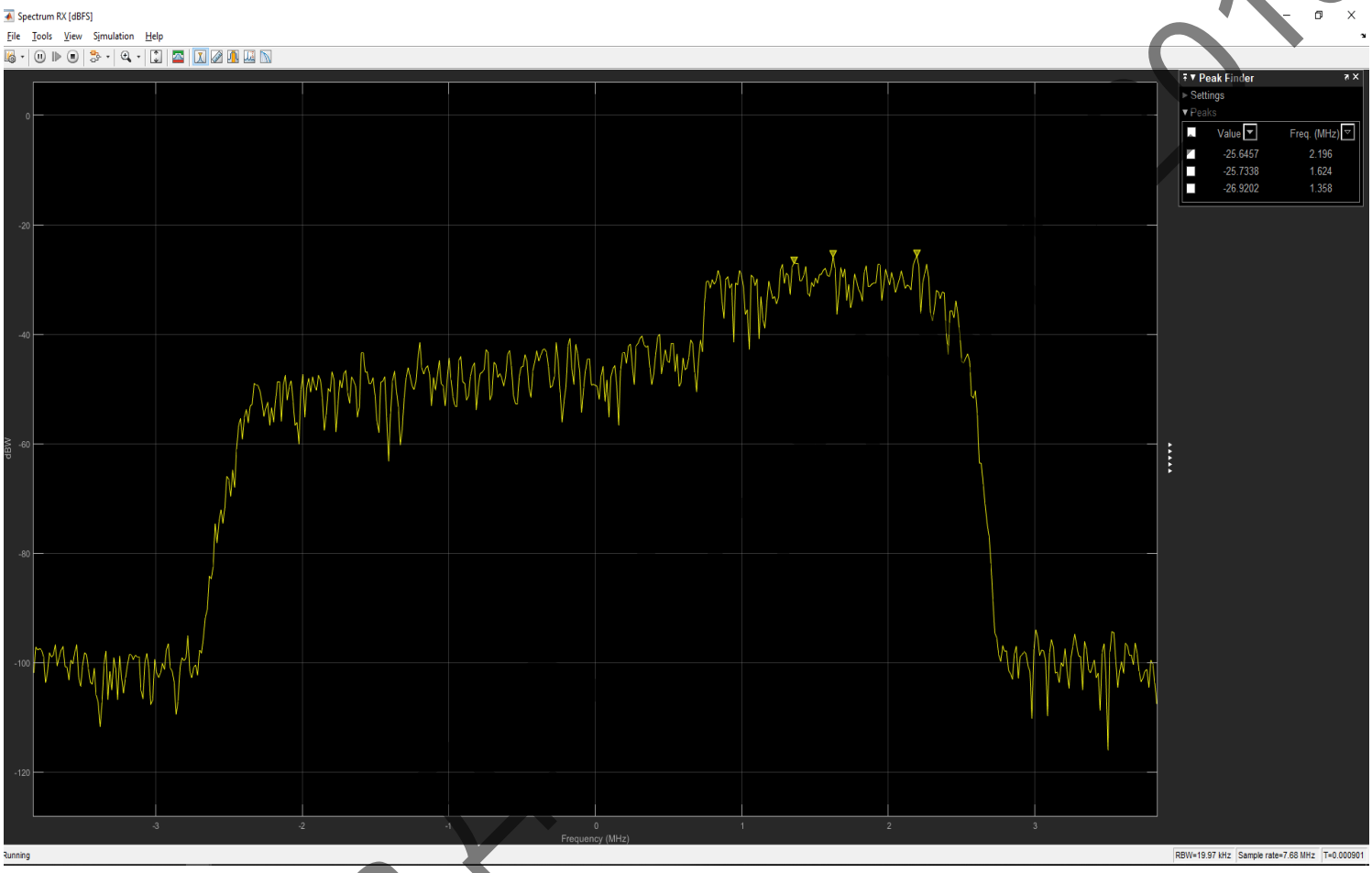


Рисунок 3.20 — Спектр сигналу з блокуючою завадою

Смуга пропускання приймача згідно рис. 3.19 дорівнює 5 МГц. Відцентрування графіку відповідно частоті 0 МГц.

З результатів графіка робимо висновок, що приймач зміг прийняти сигнал та подавити заваду на відповідній частоті (3МГц). При цьому спектр сигналу спотворюється (підвищення сигналу на рівні з -40 дБ до -25 на частоті 0.8 МГц до 2.8 МГц пояснюється тим, що блокуючий сигнал має потужність набагато більшу, ніж сигнал, який передається), і це може бути усунено відповідними налаштуваннями фільтрів.

Ганжуга К. 2019

Висновки. У розділі 3 МД було досліджено на працездатність розроблені моделі передавача та приймача. Отримані результати відповідають теоретичним даним; модель в подальшому може бути використана для дослідження довільних характеристик фільтрів. На основі створеної моделі є можливість побудувати канали зв’язку з іншими характеристиками, такі як лабораторний стенд з тестовим QPSK сигналом з різними налаштуваннями (8-QAM, 16-QAM, 64-QAM та ін.) для дослідження проходження сигналу через передавачі та приймачі каналів зв’язку.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

4 ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ МОДУЛЯ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ

Надійність електронного модуля [10] каналу зв'язку на основі чіпу AD9364 можна оцінити за формулою:

$$P(t) = e^{-\int_t \lambda(t)dt}, \quad (4.1)$$

з якої видно, що зі збільшенням частоти відмов $\lambda(t)$ та з часом експлуатації t надійність елементу зменшується. Ця формула справедлива для загального закону зміни інтенсивності відмов від часу (рис. 6.1).

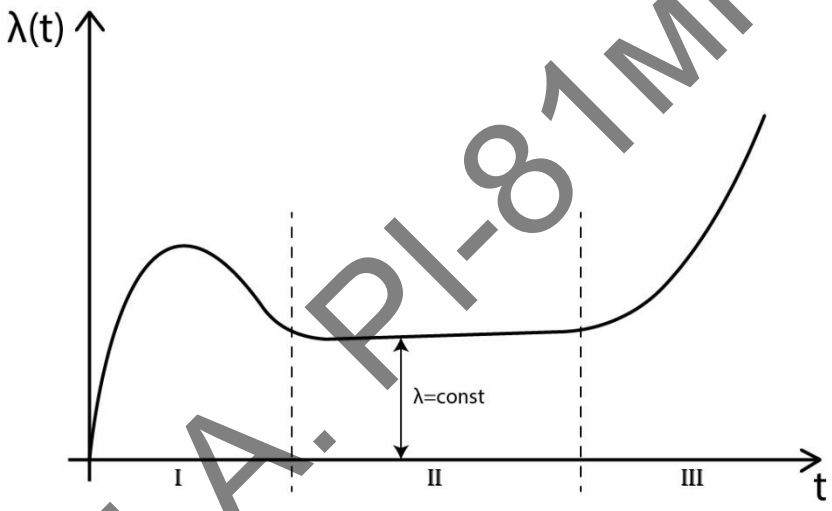


Рисунок 4.1 — Інтенсивність відмови ЕРЕ

На рисунку період I — початковий період роботи виробу, на якому проявляються відмови від схованих причин.

Період II — період нормальної роботи виробу, протягом якого на нього діють багато незалежних причин відмов. Для цього періоду формула (1) може бути спрощена до виду:

$$P_{II}(t) = e^{-\lambda t}.$$

Протягом цього періоду $\lambda = const$.

Період III характерний для електронного виробу, що знаходиться в процесі старіння, зносу та ін. Цей період характеризується появою при

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

експлуатації не випадкових причин відмов, а визначених, наприклад, старіння елементів, їх зносу та ін.

Протягом періоду III ймовірність надійної роботи модуля описується формулою:

$$P_{III}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma_0}\cdot\int_t^{\infty} e^{--\frac{(t-T_0)^2}{2\cdot{\sigma_0}^2}}dt\,, \qquad \text{де}$$

T_0 – середній час безвідмовної роботи приладу; t – поточний час;

σ_0 – середнє квадратичне відхилення випадкової величини t від свого математичного значення T_0.

Тоді загальна ймовірність безвідмовної роботи приладу за час експлуатації:

$$P(t) = P_{II}(t)\cdot P_{III}(t) = e^{-\lambda t}\cdot\frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma_0}\cdot\int_t^{\infty} e^{--\frac{(t-T_0)^2}{2\cdot{\sigma_0}^2}}dt$$

Якщо оцінювати надійність модуля AD9364 за λ – характеристиками, то вона матиме вигляд:

$$\Lambda_{\text{мод}} = \sum_n \lambda_n\,, \qquad (2)$$

де $n-$ загальна кількість елементів в приладі.

Схема модулю, що досліджується, включає в себе 40 резисторів, 73 конденсатори, 5 конекторів та 7 мікросхем.

Скористаємось формулою (2) та обчислимо $\Lambda_{\text{мод}}$.

$$\Lambda_{\text{мод}} = 40\cdot\lambda_R + 73\cdot\lambda_C + 5\cdot\lambda_C + 7\cdot\lambda_{\text{C}}$$

Дані, щодо інтенсивності відмов (в нормальних умовах) представлені в Таблиці 6.1.

Таблиця 4.1 — Інтенсивність відмов ЕРЕ

ЕРЕ	R	C	Конектори	Мікросхеми

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

$\lambda, \frac{1}{\text{год}}$	$0.05 \cdot 10^{-6}$	$0.13 \cdot 10^{-6}$	$0.01 \cdot 10^{-6}$	$0.04 \cdot 10^{-6}$

Звідси, загальна інтенсивність відмов блока для нормальних умов експлуатації становить $\Lambda_{\text{мод}} = 1{,}182 \cdot 10^{-5}$, що відповідає його надійності під час нормального періоду $P_{II}(t) = e^{-\lambda t}$; за 1000 годин експлуатації $P(t) = 0.988$; за 3000 годин експлуатації $P(t) = 0.965$.

Побудована крива $P(t)$, яка характеризує час безвідмовної роботи приладу (рис. 4.2).

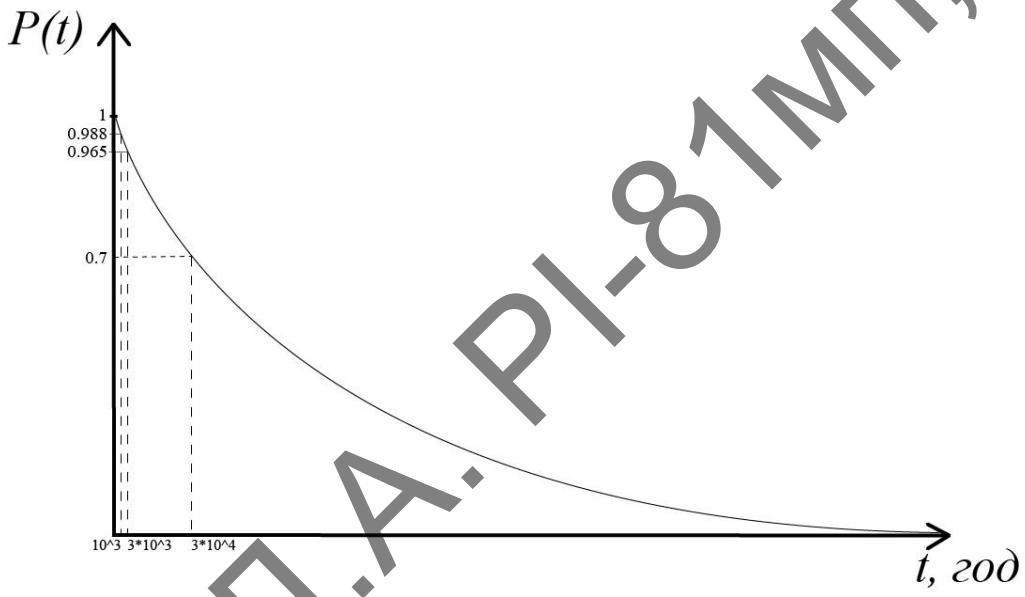


Рисунок 4.2 — Ймовірність безвідмовної роботи ЕРЕ

З рисунка видно, що при ймовірності $P(t) = 0.7$ безвідмовна робота становить 30000 годин.

Наприклад, серійні мікросхеми типу 533Л2, 1533ЛН1, 585РИ1 та ін. мають середнє напрацювання на одну відмову близько 449000 годин. Досліджувана мікросхема має середнє напрацювання на одну відмову менше, ніж вище вказані мікросхеми і це пояснюється тим, що досліджуваний чіп не є серійним виробом.

Час напрацювання до однієї відмови приблизний, як у серійних вище зазначених схем (тобто 449 тисяч годин). Досліджувана схема при цьому значенні напрацювання буде мати $P(t) = 0.04$, що значно гірше ніж у

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

серійному виробництві. Зменшення надійності досліджуваної схеми при тому ж приблизному періоді безвідмовної роботи пояснюється наявністю багатьох елементів та дослідницьким призначенням а не серійністю дослідницької мікросхеми.

Висновок. Розрахунок надійності модуля каналу зв’язку на основі чіпу AD9364, яка має достатньо велике значення, в повній мірі забезпечує його нормальну роботу в номінальних умовах на протязі декількох десятків тисяч годин експлуатації.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

5 ВИСНОВКИ

У роботі були розглянуті головні особливості побудови SDR модулів та описані основні алгоритми моделювання. Описана архітектура пристрою, наведені схеми підключення та їх функціонування. Наведені шляхи розвитку технології SDR. Вказані головні недоліки та переваги. Основні недоліки:

- складність програмного забезпечення;
- витрати на розробку, в т.ч. тимчасові;
- велике енергоспоживання і в деяких випадках обмежений частотний діапазон.

Переваги SDR приймачів:

- низька чутливість до температури і розкиду параметрів компонентів; проста реалізація фільтрів з переналаштуванням по частоті з придушенням понад 100 Дб;
- висока точність і широкий діапазон перебудови фази і частоти гетеродина.

Ефективність та функціональність технології розвивається з кожним днем, що наближує SDR до виходу на світовий ринок. На прикладі роботи показано, що складність побудови традиційних трансиверів значно вище, ніж у SDR, навіть не враховуючи, що у перших відсутня будь-яка гнучкість, яка так необхідна в сучасних системах.

В проекті була використана мікросхема AD9364 компанії Analog Devices. Її основними перевагами є:

- діапазон робочих частот передавача: від 47 МГц до 6 ГГц;
- діапазон робочих частот приймача: від 70 МГц до 6 ГГц;
- підтримка дуплексної передачі з частотним діленням і дуплексна передача з часовим діленням;
- налаштування смуги каналу: від 200 КГц до 56 МГц;

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

- чутливість приймача з коефіцієнтом шуму 2 дБ на частоті гетеродина 800 МГц ;
- управління підсиленням радіочастотного тракту: контроль в режимі реального часу і можливість ручного регулювання підсилення та незалежне регулювання підсиленням.
- вбудовані синтезатори частот з дробовим коефіцієнтом ділення.
- крок налаштування гетеродина 2.4 Гц.

На основі модуля проведене машинне моделювання каналу зв’язку, досліджені основні характеристики та приведені графіки, які доводять працездатність системи.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп., 2019

6 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Даний розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямків реалізації цього впровадження.

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.

6.1 Опис ідеї проекту

В межах цього підрозділу аналізується зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди які може отримати користувач товару та відмінності від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 6.1 — Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Машинне моделювання трансівера AD9364 засобами Matlab та Simulink.	Мобільна телефонія, Mesh, Smart-Grid, Smart Antenna, MI MO, RFID, WRAN, DVB, DRM, LTE.	Економія часу та витрат на розробку та проведення польових чи лабораторних випробувань, заміна апаратної частини програмним забезпеченням

Основним конкурентом розроблюваному проекту можуть бути новітні технології, так як обраний для моделювання модуль є дещо застарілим на сучасному ринку. Вибір даної мікросхеми обумовлений відносно кращими показниками у своєму роді та наявністю доступної літератури на просторах Інтернету.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Таблиця 6.2 — Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ *n*	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент			
1	Мінімальні затрати на апаратну частину	+	+	-	-	+
2	Використання сучасних методів обробки сигналів	+	-	-	-	+
3	Заміна елементної бази програмним забезпеченням	+	+	-	-	+

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею даного проекту.

Для реалізації цього проекту потрібно обрати набір інструментів для автоматичного проектування. Оглянуто три варіанта:

1. *AWR Microwave Office* — дає змогу проектувати системи на ВЧ та НВЧ частотах радіоелектронних приладів найрізноманітнішого призначення з різними методами реалізації.

2. *CST Microwave Studio* —початкове назва програми, стала основою пакету CST STUDIO SUITE. Програма призначена для швидкого і точного чисельного моделювання високочастотних пристроїв (антен, фільтрів, ответвителей потужності, планарних і багатошарових структур), а також аналізу проблем цілісності сигналів і електромагнітної сумісності в тимчасовій і частотних областях з використанням прямокутної або тетраедральной сіток розбиття. Середовище CST працює за методом покрокового обрахунку топології, яку потрібно розрахувати. Вона розбиває всю топологію приладу на багато частин і таким чином аналізує кожну ділянку топології.

3. *Matlab* та *Simulink* — пакет прикладних програм для числового аналізу, а також мова програмування, що використовується в даному пакеті. Пакет є основним інструментом, який використовуєтсья в даному проекті. Система створена компанією The MathWorks і є зручним засобом для роботи з математичними матрицями, малювання функцій, роботи з алгоритмами, створення робочих оболонок (user interfaces) з програмами в інших мовах програмування. Хоча цей продукт спеціалізується на чисельному обчисленні, спеціальні інструментальні засоби працюють з програмним забезпеченням Maple, що робить його повноцінною системою для роботи з алгеброю.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Таблиця 6.3 — Технологічна здійсненність проекту

№ *n*	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Розробка каналу зв'язку на основі мікросхеми AD9364.	*AWR Microwave Office*	так	так
2		*CST Microwave Studio*	так	так
3		*Matlab ma Simulink*	так	так
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: *Matlab ma Simulink*				

Даний проект можливо реалізувати і в якості технологічного шляху обрано *Matlab ma Simulink* через наявність у автора проекту відповідних навичок у даному середовищі автоматичного проектування.

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В межах цього підрозділу проводиться визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Таблиця 6.4 — Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ *n*	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	1
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Невідомий
3	Динаміка ринку	Зростає

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Невідома
№ *п*	Показники стану ринку	Характеристика
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Невідома

За результатами аналізу таблиці робиться висновок щодо привабливості для входження за попереднім оцінюванням.

Визначимо потенціал групи клієнтів

Таблиця 6.5 — Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ *п*	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Дешевизна розроблюваної технології, простота реалізації машинного моделювання	Радіоаматори, дослідники дальнього космосу.	Невідомі	Простота у використанні, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс

Проведемо аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Таблиця 6.6 — Фактори загроз

№ *n*	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Новий функціонал ПЗ конкурентів	Поява на ринку нових закладів з тематикою, направленою на дослідження SDR-радіо у широкому діапазоні робочих частот.	Вихід з ринку

Таблиця 6.7 — Фактори можливостей

№ *n*	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Новий функціонал у проекті, що розробляється	Додавання нових ідей та покращення характеристик у проект, що розробляється	Розроблення цього функціоналу

Проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 6.8 — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції — олігополія	Домінує невелика кількість конкуруючих фірм	Зменшення прибутку, попиту, кількості клієнтів, втрата свого місця на ринку, якщо не вдосконалити свій товар і не бути
За рівнем конкурентної боротьби — національна	Даний товар виробляється та постачається в багатьох	

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

	країнах світу	активним гравцем ринку
За галузевою ознакою — внутрішньогалузева	Товар може вироблятися в одній галузі	—
Конкуренція за видами товарів — невідомо	—	Зменшення прибутку, попиту, кількості клієнтів, втрата свого місця на ринку, якщо не вдосконалити свій товар і не бути активним гравцем ринку
За характером конкурентних переваг — нецінова	Перевагою даного товару є його особливість та функціонал, а не якість	
За інтенсивність — невідомо	—	—

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції у галузі.

Таблиця 6.8 — Аналіз конкуренції у галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Невідомо	Розробники аналогічних моделей SDR-модулей	Невідомо	Невідомо	Невідомо
Висновки	Невідомо	Є можливість виходу на ринок	Невідомо	Невідомо	Невідомо

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок, що працювати на даному ринку можна. Для поширення продукту він повинен володіти необхідними характеристиками, які будуть долати недоліки вже впроваджених рішень.

Перелічимо фактори конкурентоспроможності

Таблиця 6.9 — Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ *n*	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Новизна	Характеристики даного продукту долають суттєві недоліки традиційних продуктів існуючих на ринку

Таблиця 6.10 — Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ *n*	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з … (назва підприємства)						
			–3	–2	–1	0	+1	+2	+3
1	Новизна								

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Проведемо *SWOT*-аналіз.

Таблиця 6.11 — *SWOT*- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Новизна	Слабкі сторони: Відсутність стартового капіталу
Можливості: Покращення існуючих результатів Створення додаткових аналогових та цифрових фільтрів	Загрози: Продукти-замінники

З огляду на *SWOT*-аналіз можна прийти до висновку що немає потреби розробляти альтернативи ринкового впровадження цього проекту.

6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 6.12 — Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ *n*	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Науковці	Готові	Високий	У сегменті значна конкуренція	Важко
2	Розробники пристроїв SDR	Готові	Високий	У сегменті не значна конкуренція	Важко

Цільові групи обрано: науковці, розробники пристроїв SDR.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Для роботи в обраних сегментах ринку сформулюємо базову стратегію розвитку.

Таблиця 6.13 — Визначення базової стратегії розвитку

№ *n*	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія ринку
1	Диференційований маркетинг	Новизна	Стратегія спеціалізації

Виберемо конкурентну поведінку.

Таблиця 6.14 — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	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
	Так	Так	Ні	Заняття конкурентної ніші

Розробимо стратегію позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 6.15 — Визначення стратегії позиціонування

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
	Відповідність технічному завданню виготовленого товару	Вдосконалення існуючої моделі	Інноваційність рішення Новітні результати даної галузі	—

6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач.

Таблиця 6.16 — Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
	Впровадження нових сучасних рішень у існуючі товари на ринку	Покращені характеристики щодо селективних властивостей фільтрів	Новизна

Таблиця 6.17 — Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні	Сутність та складові

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

товару			
I. Товар за задумом	Впровадження нових сучасних рішень у існуючі товари на ринку		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Новизна 2. Простота		
	Якість: апробація на готових фізичних моделях		
	Пакування: відсутнє		
	Марка: відсутня		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: відсутня		
	Після продажу: відсутня		
Захист товару від копіювання буде організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності)			

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на товар.

Таблиця 6.18 — Опис трьох рівнів моделі товару

№	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	70-100 тис. ум. од.	До 10 тис. ум. од.	Високий	Безкоштовно

Визначимо оптимальну систему збуту.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Таблиця 6.19 — Формування системи збуту

№ *п*	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Цільові клієнти здійснюють свої покупки за попередніми домовленостями та наданням ТЗ	Власна компанія повністю займається збутом товару	Глибина каналу невелика, адже у збуті продукції не задіяні посередники	Доступ до товару виконується після попереднього замовлення та виготовлення

6.6 Висновки

Досліджуючи товар із точки зору ринкової комерціалізації було виявлено перспективність впровадження даного продукту. Так як топологія є досить новою, конкуренція серед аналогів не є суттєвою, поріг входження на ринок є доволі низьким, що дозволить на початкових етапах продажу зробити мінімальну ціну на виготовлення для заохочення більшої аудиторії.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У даному розділі визначено основні потенційно шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які мають місце при виконанні науково-дослідної роботи. Оскільки робота має дослідницький напрям, пов'язаний, в основному, з використанням ЕОМ, основну увагу було приділено питанню щодо забезпечення безпеки та комфортних умов на робочих місцях користувачів ЕОМ.

У розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії, а також визначені основні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

7.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідлвих виробничих чинників при виконані науково–дослідної роботи.

Головна задача дипломного проекту - розробка каналу зв'язку. Основна частина даного проекту була виконана у програмному середовищі *MATLAB* та *Simulink*. Дипломний проект оснований на роботі із персональним комп'ютером та ознайомленням і аналізу великої кількості текстових та графічних джерел. Існує небезпека ураження електричним струмом [5], можливий негативний вплив електромагнітного випромінювання ВДТ ПЕОМ.

Основні небезпечні та шкідливі фактори при проведенні наукових досліджень та створенню хвилеводно-паланарних фільтрів:

– підвищений рівень шуму;

– недостатня освітленість робочих місць;

– небезпека ураження електричним струмом;

– наявність шкідливих речовин в повітрі робочої зони;

– наявність електромагнітного випромінювання;

– незадовільні мікрокліматичні умови;

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

– група психофізичних факторів: перевантаження фізичне та психологічне;

– можливість виникнення пожежі тощо.

7.2 Технічне рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.

7.2.1 *Електробезпека*

Згідно до ДСТУ IEC 61140:2015 електроустаткування в робочому приміщенні (крім ВДТ ПЕОМ - II клас та вимірювальної техніки – 0I клас) відноситься до I класу, так як воно має робочу ізоляцію і підключається до електромережі за допомогою трьохконтактних вилок, один з виводів яких підключений до заземленого виводу розетки. Підключення устаткування виконане відповідно до вимог ПУЕ й ДНАОП 0.00-1.21-98.

Робоче приміщення нежарке, сухе, відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналом електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не більше 35ºС, відсутні хімічно агресивні середовища (ПУЕ-2017), а також відсутня можливість одночасного дотику до металоконструкцій будівлі, що мають контакт із землею, та до струмопровідних елементів електроустаткування. Живлення електроприладів у робочому приміщенні здійснюється від трьохфазної мережі із глухозаземленою нейтраллю напругою 220 В і частотою 50 Гц із використанням автоматів струмового захисту. У приміщенні застосована схема занулення.

Для зменшення значень напруг дотику й відповідних їм величин струму, при нормальному й аварійному режимах роботи електроустаткування необхідно виконати повторне захисне заземлення нульового дроту. Виконаємо електричний розрахунок електромережі на перевірку вимикаючої здатності автоматів струмового захисту.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Розрахунок на вимикаючу здатність, включає визначення значення струму К.З. і перевірку кратності його стосовно номінального струму пристроїв максимального струмового захисту. Вихідні дані для розрахунку:

а) $U_ф$ = 220 В – фазова напруга;

б) кабель чотирьох жильний, матеріал – алюміній (ρ=0,028 Ом*мм^2/м);

в) відстань від трансформатора до споживача (L) =150м;

г) номінальний струм спрацьовування автомата захисту ($I_{ном}$) =20 А. Струм однофазного К.З. визначається по формулі:

$$I_{к.з.} = \frac{U_ф}{R_ф + R_0 + \frac{Zm}{3}} = \frac{220}{2,3 + 2,4 + 0,16} = 45 \text{ А},$$

де:

$R_ф$= 2,3 Ом – активний опір фазного проводу;

R_0 = 2,4 Ом – активний опір нульового проводу;

$Zm/3$ = 0,16 Ом – розрахунковий опір трансформатора потужністю 250 Вт.

Кратність струму однофазного короткого замикання стосовно номінального струму спрацьовування автомата захисту. Для надійної роботи автомату захисту повинна виконуватись наступна:

$$K_м = \frac{I_{к.з.}}{I_{ном}} > 1,45$$

де $I_{К.З.}$ – струм короткого замикання; $I_{НОМ.}$ – номінальний струм спрацювання автомату захисту. .

$$K_м = 2,25$$

З розрахунків видно, що при однофазному К.З. автомат струмового захисту буде надійно спрацьовувати.

При однофазному К.З. максимальне значення напруги яка появиться на корпусі при аварійному режимі за час спрацювання максимального струмового захисту, $U_{max.}$ щодо землі: $U_{max.} = I_{к.з.} R_0$ = 45 · 2,4 = 108 В. Ця

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

напруга менша $U_{доп}$ =500 В ($t_{дії}$ < 0,1 сек.) згідно з ПУЕ-2017. З метою зниження $U_{max.}$ як у нормальному, так і у аварійному режимі варто використовувати повторне заземлення нульового дроту.

7.2.2 *Правила безпеки під час експлуатації електронно-обчислювальних машин*

Правила безпеки під час експлуатації ВДТ ЕОМ [11] регламентуються ДСанПІН 3.3.2.007–98 та “Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроями”, які встановлюють вимоги безпеки та санітарно-гігієнічні вимоги до обладнання робочих місць користувачів ЕОМ і працівників, що виконують обслуговування, ремонт та налагодження ЕОМ, та роботи з застосуванням ЕОМ, відповідно до сучасного стану техніки та наукових досліджень у сфері безпечної організації робіт з експлуатації ЕОМ та з урахуванням положень міжнародних нормативно-правових актів з цих питань (директиви Ради Європейського союзу 90/270/ЄЕС, 89/391/ЄЕС, 89/654/ЄЕС, 89/655/ЄЕС, стандарти ISO, MPRII).

7.2.3 *Вимоги до приміщень в яких розміщені ЕОМ*

Облаштування робочих місць, обладнаних ЕОМ, ВДТ, повинно забезпечувати [12]:

– ДСТУ ISO 9241-3-2001_Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 3. Вимоги до відеотерміналів (ISO 9241-31992, IDT);

– ДСТУ ISO 9241-62004_Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 6. Вимоги до робочого середовища;

– ДСанПін 3.3.2.007-98_Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин;

Будівлі та приміщення, в яких експлуатуються ЕОМ та виконуються їх обслуговування, налагодження і ремонт, повинні відповідати вимогам:

Ганжуга Д.А. РІ-81мп. 2019

СНиП 2.09.02-85 “Производственные здания”, СНиП 2.09.04-87 “Административные и бытовые здания”, “Правил устройства электроустановок”, затверджених Головдерженергонаглядом СРСР 1984 р. (ПВЕ), “Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей”, затверджених Головдерженергонаглядом з доповненнями, затвердженими наказом Держкоммістобудування України від 29.12.94 № 106, СН 512-78 “Инструкция по проектированию зданий и помещений для электронно-вычислительных машин”, ДСанПіН 3.3.2.-007-98 ‘‘Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин‘‘, затверджених МОЗ України 10.12.98.

Заборонено розміщувати робочі місця з ВДТ, ЕОМ у підвальних приміщеннях, на цокольних поверхах, поряд з приміщеннями, в яких рівні шуму та вібрації перевищують допустимі значення (поряд з механічними цехами, майстернями тощо), з мокрими виробництвами, з вибухопожежонебезпечними приміщеннями категорій А і Б, а також над такими приміщеннями або під ними.

Приміщення мають бути обладнані системами водяного опалення, кондиціонування або припливно-витяжною вентиляцією відповідно до СНиП 2.04.05-91.

Згідно з “Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроями” площу приміщень визначають із розрахунку, що на одне робоче місце вона має становити не менше ніж 6 м^2, а об'єм не менше ніж 20 м^3 з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні. Приміщення являє собою кімнату розміром 7 х 5 м., висотою 4 м. Розмір прорізу для дверей 1,5м.

Площа й об’єм приміщення знаходимо по формулах:

$$S = ab,$$

$$V = Sh,$$

де a – довжина, b – ширина, h – висота приміщення.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Маємо:

$$S=7\cdot5=35\ м^2,\ V=35\cdot4=140\ м^3.$$

Зведемо нормативні та фактичні дані приміщення в таблицю 6.1.

Таблиця 7.1 — Параметри приміщення

Назва характеристики	Норматив	Фактичне
Площа приміщення з розрахунку	>6 $м^2$	35 $м^2$
Об'єм приміщення з розрахунку	>20 $м^3$	140 $м^3$
Висота приміщення	3,5 – 4 м	4 м
Розміри дверей	≥1,1х1.8м	1,5х2 м
Відстань від стіни зі світловими прорізами до ВДТ	≥1м	1,5 м

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що геометричні розміри приміщення цілком відповідають нормативним вимогам.

Оброблюють стіни, стелю, підлогу приміщення з матеріалів, які дозволені органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду. Заборонено застосовувати полімерні матеріали (деревостружкові плити, шпалери, що можна мити, рулонні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик, тощо), що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини. За розміщенням робочих місць з ВДТ, ЕОМ потрібно витримувати такі відстані: від стін зі світловими прорізами не менше 1 м; між бічними поверхнями ВДТ не менше 1,2 м; між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не менше 2,5 м; прохід між рядами робочих місць не менше 1 м. Робочі місця з ВДТ щодо світлових прорізів розміщують так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Екран ВДТ і клавіатура мають розміщуватися на оптимальний відстані від очей користувача, але не ближче 600 мм з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків і символів. Розміщення екрана ВДТ має забезпечувати зручність зорового

Ганжуга Д.А. РІ-31мп, 2019

спостереження у вертикальній площині під кутом ± 30° від лінії зору працівника.

Усі вище перераховані вимоги відповідають робочому приміщенню, де проводяться дослідження.

7.2.4 *Відповідність параметрів мікроклімату в робочій зоні санітарним нормам*

Для нормалізації мікроклімату, згідно з ДСН 3.3.6.042–99. «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях», приміщення з ЗОТ обладнане системою опалення, а також системою кондиціювання повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається, у відповідності до СНиП 2.04.05–91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Для захисту від перегрівання в теплий період року та радіаційного охолодження — в зимовий, приміщення обладнане жалюзі і екранами.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042–99 «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях» та ГОСТ 12.005-88. «ССБТ. Общие санитарно–гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» параметри мікроклімату, що нормуються: температура (*t,C*) і відносна вологість (*W,%)* повітря, швидкість руху повітря (*V,м/с*).

Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт та період року) наведені в табл.6.2.

Таблиця 7.2 — Параметри мікроклімату

Період Року	Оптимальні			Допустимі		
	t,С	*W*,%	*V*,м/с	*t*,С	*W*,%	*V*,м/с
Теплий	23-25	40-60	0,1	22-28	55	0,2-0,1
Холодний	22-24	40-60	0,1	21-25	75	≤ 0,1

Ганжуга Д.А. РІ-81мп. 2019

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

7.2.5 ***Вимоги до освітлення робочих місць користувачів відеодисплейних терміналів персональних електронно–обчислювальних машин.***

Приміщення з ЕОМ повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В 2.5–28–2006. Природне світло повинно проникати через бічні світлопрорізи, зорієнтовані, як правило, на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5 %. Розрахунки коефіцієнта природної освітленості проводяться відповідно до ДБН В.2.5–28– 2006. Приміщення з ВДТ, ЕОМ мають бути оснащені природним і штучним освітленням відповідно до ДБН В.2.5–28–2006. Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, які орієнтовані переважно на північ чи північний схід і обладнані регулювальними пристроями відкривання та жалюзями, завісками, зовнішніми козирками.

Приміщення має бічне природне та штучне освітлення, центральне водяне опалення. У приміщенні три вікна розміром 2х2,2 м. Штучне освітлення забезпечує чотири люмінесцентних світильники з лампами ЛБ – 40, розміщених у ряд.

Отже, усі вимоги до освітлення робочого місця відповідають параметрам

освітлення приміщення, де проводяться дослідження.

7.2.6 ***Виробничий шум***

Для умов, що розглядаються в проекті характеру роботи, який можна

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

класифікувати як роботу програміста обчислювальної машини у лабораторії для теоретичних робіт та обробки даних, рівні шуму визначені ДСН 3.3.6.037– 99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» та ГОСТ

Допустимі рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот представлені у табл. 6.3.

Таблиця 7.3 — Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих									Допустимий рівень звуку (дБ)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Інженер лабола–торії	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Джерелами шуму в умовах робочого приміщення, що розглядається в роботі є вентилятори охолодження внутрішніх систем персонального комп'ютера (вентилятори блоку живлення, радіатора процесора та відеокарти) і система кондиціювання повітря.

Очікувані рівні звукового тиску і рівень звуку відповідно до шумових характеристик цих джерел:

– рівень шуму, створюваний внутрішніми елементами персонального комп'ютера дорівнює 35 дБ;

– рівень шуму системи кондиціювання на низьких/високих частотах дорівнює 25/30 дБ.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Оскільки одержанний рівень звуку не перевищує допустимих норм, умови робочого приміщення повністю відповідають існуючим санітарним вимогам.

7.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях регламентується ПЛАС. Основними складовими частинами ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дій персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

7.3.1 *Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації*

У разі виявлення ознак НС працівник, який їх помітив повинен:

– негайно повідомити про це засобами зв'язку органи ДСНС та пожежної охорони, вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;

– повідомити про НС керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;

– організувати оповіщення людей про НС;

– вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;

– вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установки, яким повідомлено про виникнення пожежі, повинні:

– перевірити, чи викликані підрозділи ДСНС;

– вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;

– у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію, та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації НС;

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

– перевірити здійснення оповіщення людей про НС;

– забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації НС;

– організувати зустріч підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони, надати їм допомогу у локалізації і ліквідації НС.

Після прибуття на НС підрозділів ДСНС та пожежної охорони повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

7.3.2 ***Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при надзвичайних ситуаціях.***

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, напрямок 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

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2002 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 5В-2014 ДБН В.2.5-13.

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.

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

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 І категорією надійності згідно з "Правилами устройства электроустановок" (ПУЕ) 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.

7.3.3 *Пожежна безпека*

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 "ВИЗНАЧЕННЯ КАТЕГОРІЙ ПРИМІЩЕНЬ, БУДИНКІВ ТА ЗОВНІШНІХ УСТАНОВОК ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ" робоче приміщення лабораторії відноситься до категорії В по вибухопожежній небезпеці. Відповідно до ПУЕ-2017 та ДНАОП 0.00-1.32-01 клас робочих зон приміщення лабораторії

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

по пожежонебезпеці – П-IIа. Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління). У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПБЕ та ПУЕ, необхідно передбачити наступні заходи:

1. Ретельну ізоляцію всіх струмоведучих провідників до робочих місць, періодичний огляд та перевірку ізоляції.

2. Строге дотримання норм протипожежної безпеки на робочих місцях.

3. Відповідні організаційні заходи (заборона паління, інструктаж).

Приміщення обладнане чотирма пожежними датчиками типу ДТЛ (площа, що знаходиться під захистом одного датчика, становить 15 м^2), відстань між датчиками рівна 4 м, що відповідає нормам ДБНВ 2.5-56-2014. Відповідно до ГОСТ 12.4.009-75 й ISO 3941-2007 для гасіння пожежі в робочому приміщені лабораторії (клас пожежі „E" – наявність електрообладнання під напругою) використовуються два вогнегасники вуглекислотно-брометиленові ОУБ-3. Вибір вогнегасної речовини грунтується на тому, що у вогні можуть опинитись електричні пристрої [11], що знаходяться під напругою.

Таким чином, кількість, розміщення й вміст первинних засобів гасіння пожеж цілком задовольняють всім вимогам ISO 3941-2007. Крім того, у коридорі є 2 пожежних крана і ящик з піском. Дотримано усіх заходів безпеки відповідно до НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Дотримано усі вимоги ДБН В.1.1-7-2016 по вогнестійкості будинку і ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні. Значення основних параметрів шляхів евакуації приведені в таблиці 6.4.

Таблиця 7.4 — Характеристики і норми евакуаційних виходів

Параметр	Фактичне значення	Норма
Висота дверних прорізів	2,0 м	Не менше 2 м

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

Ширина дверних прорізів	1,5 м	Не менше 0,8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1,5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	3 м	Не менше 2 м
Число виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходової клітки	1,5 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0,9 м

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Николашин Ю. Л., Кулешов И. А., Будко П. А., Жолдасов Е. С., Жуков Г. А. SDR-радиоустройства и когнитивная радио-связь в декаметровом диапазоне частот // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2015. № 1.
2. SDR - просто о сложном [Електронний ресурс].— http://ua6hjq.qrz.ru/sdr/sdr.htm— Назва з екрану.
3. Техническая документация микросхемы AD9364 [Електронний ресурс].— analog.com/products/ad9364.html/ — Назва з екрану.
4. Техническая документация усилителя ADL5523 [Електронний ресурс].— analog.com/products/adl5523.html/ — Назва з екрану.
5. Проектирование РЧ моделей [Електронний ресурс].— https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/46626-rf-blockset-models-for-analog-devices-rf-transceivers — Назва з екрану.
6. Библиотека Matlab Fixed-Point Designer [Електронний ресурс].— https://www.mathworks.com/products/fixed-point-designer.html — Назва з екрану.
7. Библиотека Matlab Stateflow [Електронний ресурс].— https://matlab.ru/products/stateflow — Назва з екрану.
8. Библиотека Matlab Communications Toolbox [Електронний ресурс].— https://www.mathworks.com/products/communications.html — Назва з екрану.
9. Библиотека Matlab DSP System Toolbox [Електронний ресурс].— https://matlab.ru/products/dsp-system-toolbox — Назва з екрану.
10. СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ І ТЕОРІЯ НАДІЙНОСТІ РЕА [Електронний ресурс]. — http://radio-vtc.inf.ua/Quality/L4_5.pdf — Назва з екрану.
11. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів ДНАОП0.00-121-98 — 1С Основа, 1998. — 380 с.
12. Вимоги безпеки до електричного устаткування для вимірювання, керування та лабораторного застосування. Частина 1. Загальні вимоги

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019

IEC 61010-1:2005 — К.: Держспоживстандарт України, 2008 — 96 с. : табл. (Національний стандарт України).

Ганжуга Д.А. РІ-81мп, 2019