

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"

Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки

ЗВІТ
З ПЕРЕДДИПЛОМНОЇ ПРАКТИКИ
в Інституті інформаційних технологій "Інтелліас"
за період з «17» квітня по «21» травня 2023 року

студента 4 курсу,
групи РІ-91

Іванченко А. О.

(Прізвище І.П.)




Підпис

Антипенко Р. В.

(Прізвище І.П.

керівника практики дипломного проекту)



Підпис

Шульга А. В.

(Прізвище І.П.

керівника практики від кафедри)



Підпис

Київ – 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ЦІЛІ ПРОЕКТУВАННЯ	4
2 АНАЛІЗ НАЯВНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ.....	6
2.1 Аналог 1 – USB-SA44B & USB-TG44A.....	6
2.2 Аналог 2 – ELAD SNA-2550	7
2.3 Аналог 3 – NanoVNA	8
2.4 Аналог 4 –MiniVNA Pro Lite.....	10
3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	13
3.1 Основні частини скалярного аналізатора	13
3.2 Вибір логарифмічного підсилювача	14
3.3 Вибір генератора сигналів.....	15
3.4 Блок попередньої обробки	16
3.5 Вибір пристрою контролю та виведення інформації	17
ВИСНОВКИ.....	20
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	21

ВСТУП

Вимірювання і визначення характеристик радіочастотних і мікрохвильових систем мають важливе значення в різних сферах застосування, включаючи зв'язок, радары, навігацію і медичне обладнання. Розробка і обслуговування цих систем вимагає точних і ефективних вимірювальних інструментів, одним з яких є скалярний аналізатор кіл.

Аналізатори кіл широко застосовуються в радіо- та мікрохвильовій техніці для проектування антен, фільтрів, підсилювачів та визначення характеристик ліній передачі. Наприклад, вони можуть бути використані для вимірювання характеристик антен і забезпечення їх відповідності вимогам для ефективної передачі і прийому сигналів. Аналогічно, можна використовувати для визначення характеристик фільтрів і підсилювачів, гарантуючи, що вони відповідають бажаним специфікаціям. Таким чином, аналізатор кіл є важливим інструментом для розробки та оптимізації радіотехнічних систем.

Цей бакалаврський проєкт зосереджений на розробці доступного, портативного і зручного у використанні скалярного аналізатора кіл, який може застосовуватися для рішення різних інженерних задач. Кінцевим продуктом є компактний, легкий у використанні скалярний аналізатор, що може використовуватися для аналізу і оптимізації широкого спектра радіотехнічних систем. Взаємодія з приладом буде відбуватися через спеціалізований додаток на ПК. Цей програмний продукт дозволить зручно аналізувати та візуалізувати отримані дані. Через свою доступність він може стати корисним інструментом для студентів, інженерів та науковців, які працюють в області радіотехніки.

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ЦІЛІ ПРОЕКТУВАННЯ

Після аналізу технічного завдання, можна сформулювати основні вимоги до розроблюваного пристрою відповідно до мети дипломного проекту, а саме: розробка доступного скалярного аналізатора кіл, надалі пристрій, має мати у складі три основні компоненти:

1. Друкована плата пристрою зі встановленими на неї компонентами
2. Програмне забезпечення
3. Корпус пристрою

Для досягнення поставлених задач, було визначено декілька технічних вимог.

По-перше, пристрій повинен бути компактним і портативним. З цією метою було вирішено відмовитися від дисплею, який є однією з найдорожчих і громіздких частин, а також органів керування. Замість цього, всі функції управління будуть виконуватися через комп'ютерний додаток, через USB-інтерфейс. Це дозволить виводити графіки на великий екран ПК та зручно аналізувати їх [1-7].

По-друге, відмова від дисплею дозволить використовувати складну обробку сигналів за рахунок ресурсів комп'ютера, яка була б недоступна при перенесенні алгоритмів на сторону пристрою (мікроконтролера). Таке рішення також дозволить використати малопотужні, а відповідно, дешеві мікроконтролери, так як основною задачею пристрою стає збір інформації та передача її через USB інтерфейс [8-10].

По-третє, для того, щоб утримати витрати на низькому рівні, пристрій буде використовувати PPL синтезатори частоти замість генераторів прямого цифрового синтезу. Хоча DDS є простим і ефективним методом генерації синусоїдального сигналу, він також є значно дорожчим, ніж PLL. Цей вибір ускладнює схему, що буде детально проаналізовано і описано у наступних розділах [10-14].

По-четверте, вимоги до габаритів. Вказані габарити (не більше 10x10 см) говорять про необхідність використання мініатюрних компонентів і ефективного розміщення їх на друкованій платі. На етапі проектування необхідно врахувати ці вимоги, щоб забезпечити оптимальне використання простору та ергономічність пристрою [15-18].

По-п'яте, конструкція повинна бути максимально простою і містити якомога менше компонентів, щоб вона мала найменший ступінь свободи і могла бути оптимізована на етапі проектування за допомогою моделювання та розрахунків. Це зменшує кількість необхідних циклів проектування, виробництва та вимірювань, які необхідно пройти для того, щоб обладнання відповідало очікуваним характеристикам.

По-шосте, можливість вимірювання КСХН двополюсників. Було узгоджено, що це є додатковою можливістю пристрою, і не є його основним функціоналом. Таке рішення було прийнято, щоб зберегти доступність та компактність пристрою. Враховуючи це, до пристрою може бути підключений КСХН міст (Return Loss Bridge) як окремий компонент. Цей компонент не є інтегрованим у пристрій та може бути придбаний окремо відповідно до потреб користувача. Програмне забезпечення пристрою буде налаштоване таким чином, щоб підтримувати таке використання, що дозволить розширити функціональність пристрою без значного збільшення його вартості та габаритів. Завдяки цьому рішення, пристрій залишається універсальним, але при цьому не перевантажується надлишковими функціями, що можуть бути непотрібними для деяких користувачів.

Загалом, технічні вимоги до пристрою були ретельно розглянуті та проаналізовані, щоб гарантувати, що отриманий пристрій відповідатиме потребам цільової аудиторії.

2 АНАЛІЗ НАЯВНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

У цьому розділі ми проаналізуємо кілька існуючих рішень, які є схожими за характеристиками до наведених у ТЗ. Аналіз буде ґрунтуватися на їх ключових особливостях і специфікаціях з метою виявлення сильних та слабких сторін приладів.

2.1 Аналог 1 – USB-SA44B & USB-TG44A

Типовим представником скалярного аналізатора є збірка з спектрального аналізатора USB-SA44B та трекінгового генератора USB-TG44A від компанії Signal Hound (рис. 2.1).

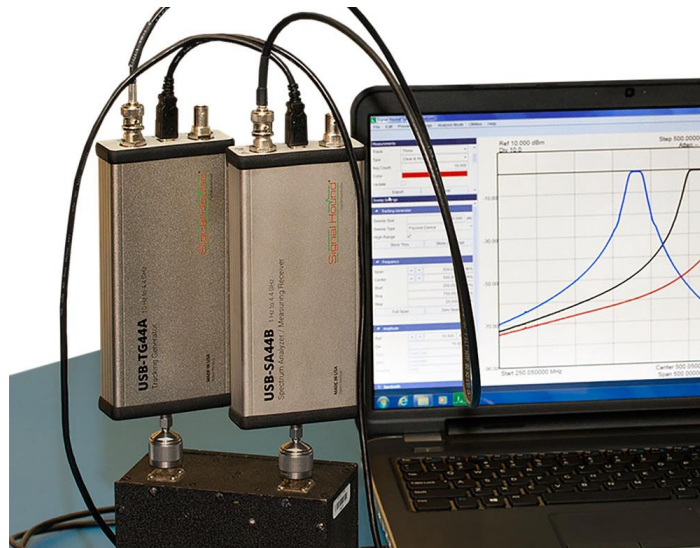


Рисунок 0.1 — USB-SA44B та USB-TG44A

Набір включає в себе два окремі пристрої, які разом можуть використовуватися у якості скалярного аналізатора. Це рішення пропонує діапазон частот від 10 Гц до 4,4 ГГц і динамічний діапазон близько 100 дБ.

Крок введення частоти від 10 Гц до 10 МГц.

Вихідна потужність генератора від -30 дБм до -10 дБм.

Кожен з пристроїв має розмір 19,4 см x 8 см x 3 см та живиться від USB порту.

Такий пристрій є професійним рішенням та ціною у \$1990 за комплект.

2.2 Аналог 2 – ELAD SNA-2550

Зовнішній вигляд другого аналогу наведено на рисунку 2.2.



Рисунок 0.2 — ELAD SNA-2550

Прилад ELAD SNA-2550 — це скалярний аналізатор кіл з частотним діапазоном від 400 кГц до 2,55 ГГц і динамічним діапазоном 60 дБ (у діапазоні 0,4 – 100 МГц).

Крок введення частоти 1 Гц.

Вихідна потужність генератора від -50 дБм до 0 дБм.

Інтерфейс керування USB.

Пристрій позиціонує себе як стаціонарне рішення, та поставляється у комплекті з блоком живлення на 12В, але виробником заявлено що може бути використано живлення від акумуляторів (11 В-15 В) як портативне рішення.

Розміри 20 см x 16 см x 5 см.

Ціна складає близько 1300 \$.

На рисунку 2.3 представлено архітектуру приладу.

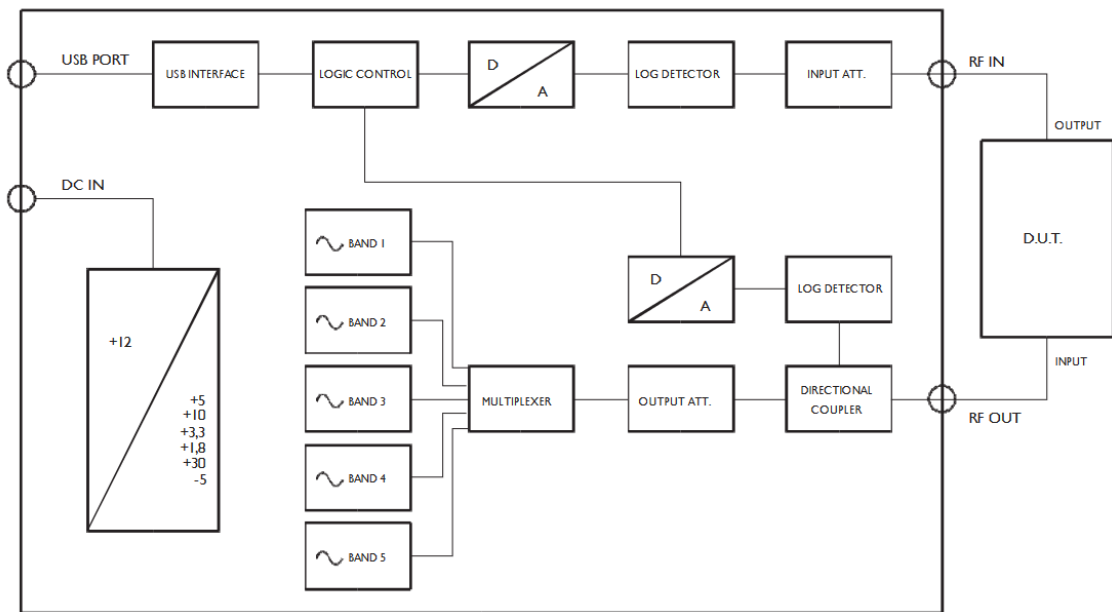


Рисунок 0.3 — Архітектура приладу

Вимірювання здійснюється шляхом генерації синусоїдального сигналу, із заданою амплітудою та частотою та вимірювання вхідного сигналу на приймач широкосмуговим детектором. Пристрій має 5 генераторів на кожен діапазон. Також можна бачити, що вимірюється не лише потужність вихідного сигналу, а і вхідного, через відгалужувач. Вірогідно, для точного контролю вихідної потужності.

2.3 Аналог 3 – NanoVNA

Це портативний векторний аналізатор у компактному корпусі. Недорогий, але функціональний пристрій з кольоровим дисплеєм, який живиться від літій-іонної батареї 3,7 В. Активно підтримується спільнотою та має багато варіантів виконання. Через свій успіх став найпопулярнішим проектом VNA у спільноті з моменту його випуску у 2019 році (рис. 2.4).



Рисунок 0.4 — NanoVNA

Пристрій охоплює діапазон частот від 10 кГц до 600 МГц і має динамічний діапазон 60 дБ (у діапазоні 10 кГц – 200 МГц).

Крок частоти неможливо задати вручну, натомість він обчислюється автоматично, оскільки прилад робить 101 вимірювання у вибраному діапазоні. Це є певним недоліком особливо якщо проводити вимірювання у широкому діапазоні.

Керування приладом здійснюється через резистивний тач-дисплей та енкодер.

Ціна складає (60-180)\$ та варіюється залежно від виробника, якості та характеристик.

На рисунку 2.5 представлено архітектуру приладу.

System Block Diagram:

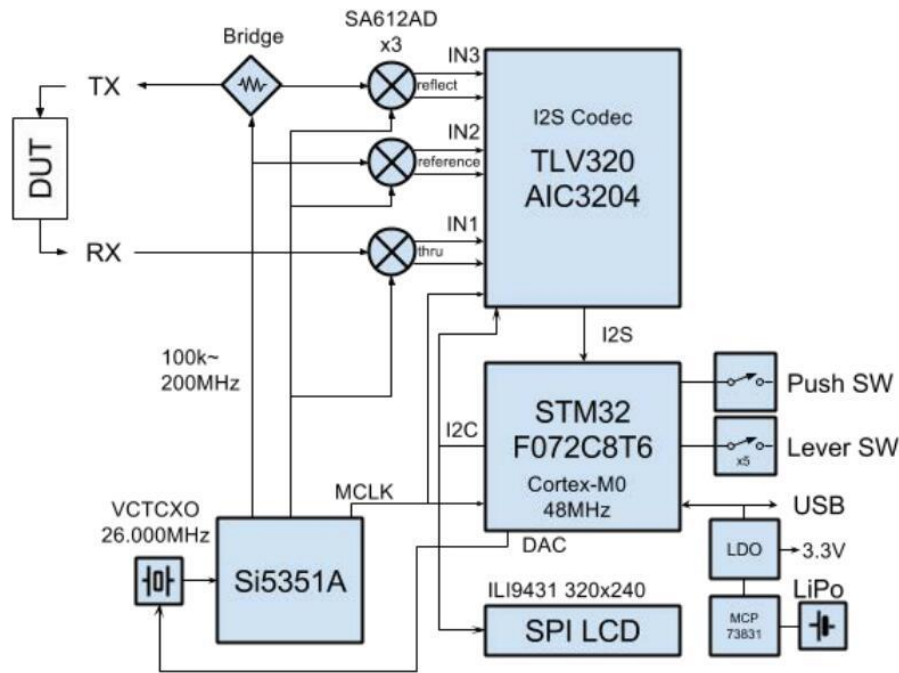


Рисунок 0.5 — Архітектура приладу

Генерація сигналу виконується за допомогою синтезатора частот Si5351 який здатен генерувати сигнал до 200 МГц. В основі методу вимірювання лежить мостовий метод вимірювання імпедансу навантаження. Також використовуються змішувачі, які дозволяють виконати лінійне перенесення спектру в аудіо діапазон. Завдяки цьому, пристрій здатен вимірювати сигнал на третій та п'ятій гармоніках сигналу, що дозволило розширити діапазон вимірювань до 600 МГц. Сигнал оцифровується за допомогою аудіокодека.

2.4 Аналог 4 –MiniVNA Pro Lite

Іншим поширеним векторним аналізатором є MiniVNA Pro Lite (рис. 2.6). Його характерною відмінністю від попереднього аналізатора є відсутність дисплею та вбудованого акумулятора. Пристрій живиться від USB порту та керується через додаток на ПК.



Рисунок 0.6 — MiniVNA Pro Lite

Пристрій є досить компактним, його розміри 8 см x 8 см x 1,7 см.

Частотний діапазон 100 кГц – 200 МГц.

Крок введення частоти 1 Гц.

Динамічний діапазон 80 дБ.

Вихідна потужність ВЧ генератора 0 дБм.

На рисунку 2.7 представлено архітектуру приладу.

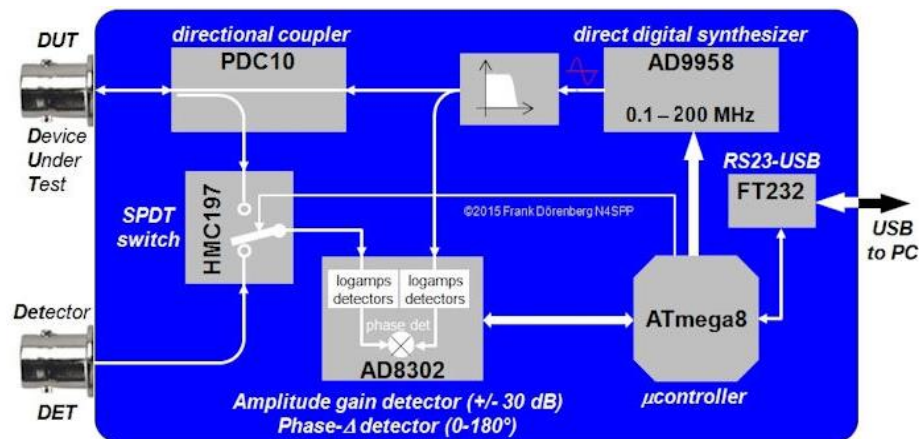


Рисунок 0.7 — Архітектура приладу

В основі вимірювання лежить принцип DDS генерації сигналу на допомогу мікросхеми AD9958. Таке рішення є доволі дорогівартісним, так як така мікросхема коштує близько 50\$. Вимірювання потужності сигналу виконується за допомогою диференційного логарифмічного підсилювача AD8302 з детектором фази.

В таблиці 2.1 наведено ключові характеристики приладів.

Таблиця 0.1 — Порівняння готових рішень

Модель	Діапазон частот	Динамічний діапазон	Живлення	Портативність	Ціна
USB-SA44B & USB-TG44A	10 Гц-4,4 ГГц	100 дБ	USB 5В	Відносна	\$2200
ELAD SNA-2550	400 кГц – 2,5 ГГц	60 дБ	12В	Ні	\$1300
NanoVNA	10 кГц – 600 МГц	60 дБ	Акумулятор 3,7В	Так	\$60
MiniVNA Pro Lite	100 кГц – 200 МГц	80 дБ	USB 5В	Так	\$400

Після аналізу існуючих рішень, було виявлено, що більшість представлених приладів на ринку, є доволі дорогими, та недоступні для цільової аудиторії. Хоча деякі прилади, такі як NanoVNA, є портативними і доступними за ціною, він також має ряд недоліків:

Обмеженість точками: Усі графіки будуються лише з 101 точки, що обмежує розгляд і аналіз деяких параметрів, зокрема при аналізі фільтрів.

Відсутність математичних операцій: Відсутня можливість виконувати математичні операції з отриманими графіками, такі як згладжування, інтерполяція або фільтрація даних.

Відсутність вимірювання смуги пропускання фільтрів, пошуку піків, та важливих точок на графіку, що ускладнює аналіз даних.

Відсутність можливості зберігати графіки для подальшого аналізу, або порівняння між собою в одному масштабі.

Також, після детального аналізу внутрішньої структури комерційних приладів, можна зробити висновок, що основним способом генерації сигналів, який широко використовується в цих приладах, є використання генераторів на основі принципів прямого цифрового синтезу (DDS) та ФАПЧ (PLL).

3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

Цей розділ буде присвячено основній частині дипломного проекту, тобто проектуванню скалярного аналізатора. У підрозділах буде описано вибір основних компонентів, синтез структурної схеми на основі вибраних компонентів а також детальна розробка електричної принципової схеми.

3.1 Основні частини скалярного аналізатора

Основний принцип роботи скалярного аналізатора кіл полягає у вимірюванні амплітудної характеристики кола, яке перевіряється. Генератор сигналів відповідає за створення сигналу у широкому діапазоні частот, який подається на пристрій що тестується. У ролі генератора можуть виступати генератори прямого цифрового синтезу (DDS), керовані напругою генератори (VCO), ФАПЧ генератори (PLL) або цифро-аналогові перетворювачі (DAC) (рис. 3.1).

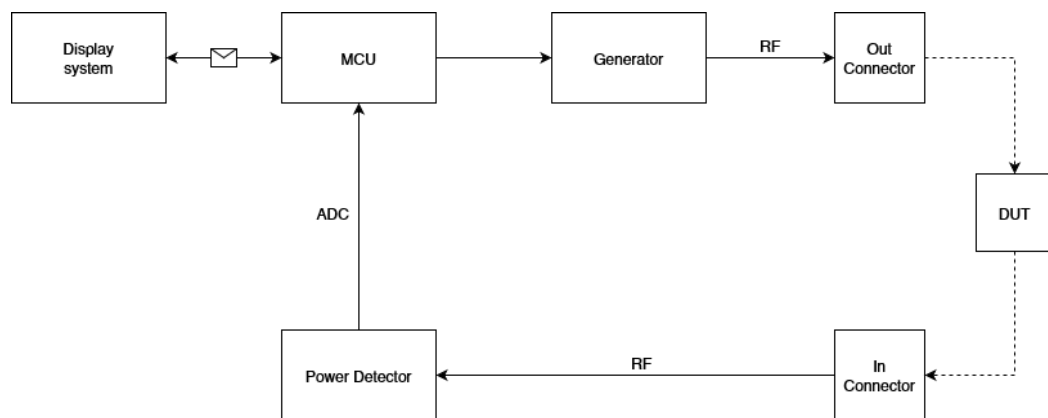


Рисунок 0.1 — Спрощена схема скалярного аналізатора

Детектор вимірює амплітуду падаючої хвилі (S21). Він може використовувати різні методи виявлення, такі як діодні детектори або логарифмічні підсилювачі, для перетворення високочастотного сигналу у постійну напругу, пропорційну рівню потужності.

Для обробки даних використовують мікроконтролер або мікропроцесор з вбудованим АЦП для збору даних з детектора і відображення результатів на

екрані, наприклад, на РК-дисплеї або зовнішньому моніторі комп'ютера. Система відображення представляє результати вимірювань у графічному форматі, як правило, у вигляді графіка залежності амплітуди від частоти.

Після опису принципу роботи скалярного аналізатора, можна переходити до вибору основних елементів пристрою.

3.2 Вибір логарифмічного підсилювача

На ринку представлено певну кількість логарифмічних підсилювачів, серед яких можна виділити декілька найвідоміших варіантів (табл. 3.1):

1. Analog Devices AD8307
2. Analog Devices AD8310
3. Texas Instruments LMH2110
4. Maxim Integrated MAX2016

Таблиця 0.1 — Порівняльна таблиця логарифмічних підсилювачів

Параметр	AD8307	AD8310	LMH2110	MAX2016
Діапазон частот	DC - 500 МГц	DC - 440 МГц	50 МГц – 8 ГГц	0,1 ГГц - 2,5 ГГц
Динамічний діапазон	92 дБ	95 дБ	45 дБ	80 дБ
Логарифмічний нахил	25 мВ/дБ	24 мВ/дБ	18,9 мВ/дБ	25 мВ/дБ
Логарифмічне перехоплення	-84 дБм	-95 дБм	-30 дБм	-70 дБм
Зсув постійної напруги	0 В	0,6 В	0,2 В	0 В
Напруга живлення	2,7 - 5,5 В	2,7 - 5,5 В	2,7 - 5 В	2,7 - 5,25 В
Ціна	\$7	\$11	\$14	\$12

Після аналізу доступних рішень на українському ринку, було обрано логарифмічний підсилювач AD8307. Він пропонує широкий частотний діапазон, відмінний динамічний діапазон якого достатньо для точних вимірювань в цій конструкції скалярного аналізатора.

Крім того, AD8307 має конкурентоспроможну ціну порівняно з його альтернативами, що робить найбільш привабливим.

3.3 Вибір генератора сигналів

Як було зазначено раніше, у якості генератора буде використано PLL синтезатор частоти, замість DDS генератора з економічних міркувань.

Для порівняння було відібрано наступні мікросхеми (табл. 3.2):

1. Silicon Labs Si5345
2. Silicon Labs Si5350
3. Silicon Labs Si5351
4. Analog Devices ADF4002
5. Analog Devices ADF4360-9

Таблиця 0.2 — Порівняльна таблиця синтезаторів частот

Параметр	Si5345	Si5350	Si5351	ADF4002	ADF4360-9
Діапазон частот	100 Гц-250 МГц	2,5 кГц-200 МГц	2,5 кГц-200 МГц	400 МГц-3 ГГц	65 МГц-400 МГц
Фазовий шум	-100 дБн/Гц	-90 дБн/Гц	-90 дБн/Гц	-83 дБн/Гц	-85 дБн/Гц
Корпус	QFN-44	MSOP-10 QFN-20	MSOP-10 QFN-20	TSSOP16 LFCSP-20	LFCSP-24
Інтерфейс керування	I2C/SPI	Немає	I2C	SPI	SPI
Ціна	\$25-\$30	\$2-\$3	\$2-\$3	\$8-\$12	\$6-\$10

Після детального аналізу, можна зробити висновок, що синтезатори Silicon Labs Si5350 та Si5351 є найкращими варіантами для реалізації генератора частоти через свою низьку ціну та легкість у використанні.

Відмінність між ними полягає у способі конфігурації. Si5350 вимагає використання стороннього програмного забезпечення для налаштування, та передбачається що мікросхема буде встановлена на плату маючи попередню конфігурацію та не може бути змінена під час роботи, тоді як Si5351 має можливість переконфігурації безпосередньо за допомогою мікроконтролера (МК) через послідовний інтерфейс I2C, що і потрібно у проєкті.

3.4 Блок попередньої обробки

Хоча обраний генератор має частотний діапазон до 200 МГц, при проектуванні пристрою було враховано характеристики сигналу на виході генератора. Вихідний сигнал насичений гармоніками і як наслідок, третя гармоніка має рівень лише на 10 дБ нижче рівня основної частоти, а п'ята і сьома гармоніки мають рівні -14 дБ і -17 дБ відповідно. Використання такого сигналу в традиційній схемі SNA з широкосмуговим детектором неможливе.

Для вирішення цієї проблеми доцільно використати принцип супергетеродинного приймача. У такій конструкції сигнал гетеродина змінюється синхронно з частотою сигналу, що подається на вхід досліджуваного пристрою, завжди відрізняючись від нього на проміжну частоту (ПЧ). Цього легко досягти за допомогою Si5351, оскільки він має три незалежні виходи (рис. 3.2).

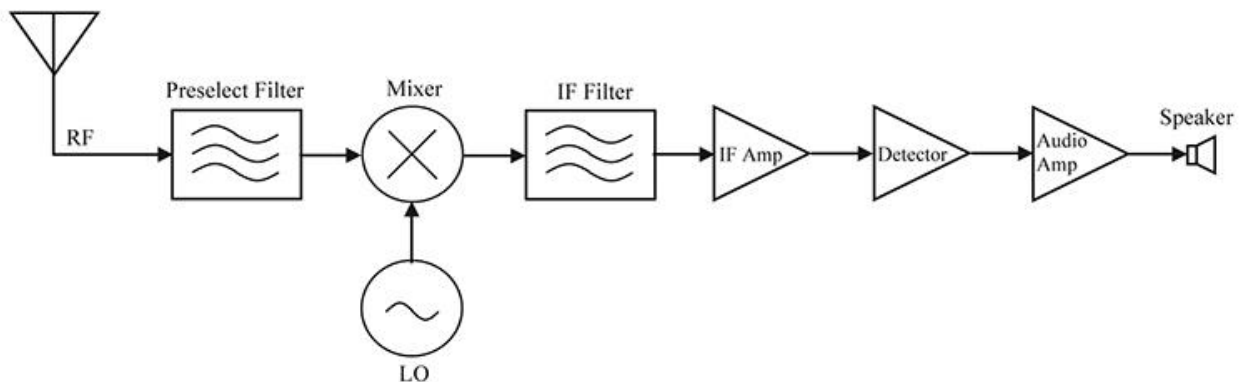


Рисунок 0.2 — Архітектура супергетеродинного приймача

Така конструкція аналізатора має ще одну перевагу, окрім усунення проблем, пов'язаних з несинусоїдальною формою сигналу. Завдяки вузькій смузі пропускання вимірювач не тільки нечутливий до перешкод і сторонніх сигналів, які відрізняються за частотою від частоти, на якій проводиться вимірювання, але й має нижчий рівень шуму. Отже, він пропонує вищий динамічний діапазон.

Також, так як тепер вимірювання сигналу логарифмічним підсилювачем буде проводитися на одній частоті (проміжній частоті супергетеродина), це

дозволяє уникнути проблеми залежності рівня вихідного сигналу логарифмічного підсилювача від частоти.

Після змішувача, важливо відфільтрувати основну гармоніку сигналу за допомогою вузькосмугових фільтрів. Цей крок необхідний для виділення бажаної частотної складової та видалення небажаних гармонік і шуму з сигналу. Для цього буде використано поширені фільтри з частотою 455 кГц.

Після процесу фільтрації сигнал потрібно підсилити, щоб максимально використати повний динамічний діапазон логарифмічного підсилювача.

3.5 Вибір пристрою контролю та виведення інформації

Як було зазначено раніше, керування та відображення інформації виконується за допомогою програми на ПК через USB-порт. Такий підхід не тільки знижує загальну вартість пристрою, усуваючи необхідність у спеціальних елементах керування та дисплеї, але й пропонує більш зручний та гнучкий користувацький інтерфейс.

В епоху сучасної електроніки 8-розрядні мікроконтролери вважаються застарілими, тому розглядаються лише 32-розрядні мікроконтролери, які забезпечує вищу обчислювальну потужність, більший обсяг пам'яті та широкий набір периферії.

На ринку мікроконтролерів відомі такі компанії, як STMicroelectronics, Microchip, Texas Instruments та NXP Semiconductors. Кожна компанія має свої сильні сторони, але у цій роботі віддається перевага компанії STMicroelectronics через широкий асортимент продукції, підтримку та можливості, які надають їхні мікроконтролери.

При виборі мікроконтролера першочергово враховувався невеликий розмір корпусу з метою мінімізації зайнятого місця на платі та на набір необхідної периферії:

1. I2C для управління генератором
2. USB для передачі інформації на ПК
3. АЦП для зчитування даних з логарифмічного підсилювача

Для підбору мікроконтролерів, компанія STMicroelectronics надає конфігуратор STM32CubeMX, у якому було відфільтровано контролери з необхідною периферією та розміром корпусу (рис. 3.3 – 3.4).

Series	Package	Peripheral
<input type="checkbox"/> Check/Uncheck All	<input type="checkbox"/> Check/Uncheck All	
<input checked="" type="checkbox"/> STM32F0	<input type="checkbox"/> EWLCSP49	<input checked="" type="checkbox"/> ADC 12-bit 1 10
<input type="checkbox"/> STM32F1	<input checked="" type="checkbox"/> TSSOP20	<input checked="" type="checkbox"/> ADC 16-bit 0 0
<input type="checkbox"/> STM32F2	<input type="checkbox"/> UFBGA64	<input checked="" type="checkbox"/> ADF
<input type="checkbox"/> STM32F3	<input type="checkbox"/> UFBGA73	<input checked="" type="checkbox"/> AES 0 1
<input type="checkbox"/> STM32F4	<input type="checkbox"/> UFBGA100	<input checked="" type="checkbox"/> HRTIM
<input type="checkbox"/> STM32G4	<input type="checkbox"/> UFQFPN20	<input checked="" type="checkbox"/> I2C 1 2
<input type="checkbox"/> STM32H7	<input type="checkbox"/> UFQFPN28	<input checked="" type="checkbox"/> I2S 0 1
<input checked="" type="checkbox"/> STM32L0	<input checked="" type="checkbox"/> UFQFPN28	<input checked="" type="checkbox"/> USB DRD_FS
	<input checked="" type="checkbox"/> UFQFPN32	<input checked="" type="checkbox"/> USB Device <input checked="" type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/> USB OTG_FS

Рисунок 0.3 — Фільтр пошуку мікроконтролера

MCUs/MPUs List: 15 items + Display similar items Export

*	Part No.	Reference	Marketing Stat...	Unit Price for 10kU (...)	Board	Package	Flash	RAM	IO	Freq.
☆	STM32F042F4	STM32F042F4Px	Active	1.043		TSSOP20	16 kBytes	6 kBytes	16	48 MHz
☆	STM32F042F6	STM32F042F6Px	Active	1.096		TSSOP20	32 kBytes	6 kBytes	16	48 MHz
☆	STM32F070F6	STM32F070F6Px	Active	0.646		TSSOP20	32 kBytes	6 kBytes	15	48 MHz
☆	STM32F042G4	STM32F042G4Ux	Active	1.07		UFQFPN28	16 kBytes	6 kBytes	23	48 MHz
☆	STM32F042G6	STM32F042G6Ux	Active	1.122		UFQFPN28	32 kBytes	6 kBytes	23	48 MHz
☆	STM32F048G6	STM32F048G6Ux	Active	1.122		UFQFPN28	32 kBytes	6 kBytes	22	48 MHz
☆	STM32F042K4	STM32F042K4Ux	Active	1.226		UFQFPN32	16 kBytes	6 kBytes	28	48 MHz
☆	STM32F042K6	STM32F042K6Ux	Active	1.279		UFQFPN32	32 kBytes	6 kBytes	28	48 MHz
☆	STM32L052K6	STM32L052K6Ux	Active	1.589		UFQFPN32	32 kBytes	8 kBytes	27	32 MHz
☆	STM32L052K8	STM32L052K8Ux	Active	1.729		UFQFPN32	64 kBytes	8 kBytes	27	32 MHz
☆	STM32L062K8	STM32L062K8Ux	Active	1.813		UFQFPN32	64 kBytes	8 kBytes	27	32 MHz
☆	STM32L072K8	STM32L072K8Ux	Active	1.982		UFQFPN32	128 kBytes	20 kBytes	23	32 MHz
☆	STM32L072KZ	STM32L072KZUx	Active	2.206		UFQFPN32	192 kBytes	20 kBytes	23	32 MHz
☆	STM32L082K8	STM32L082K8Ux	Active	2.065		UFQFPN32	128 kBytes	20 kBytes	23	32 MHz
☆	STM32L082KZ	STM32L082KZUx	Active	2.29		UFQFPN32	192 kBytes	20 kBytes	23	32 MHz

Рисунок 0.4 — Результат після застосування фільтра

При детальному огляді запропонованих мікроконтролерів, вибір впав на серію STM32F0x2 так як вони мають “crystal-less USB” архітектуру, що дозволяє використовувати периферію USB без зовнішніх кварцових резонаторів, що дозволяє зменшити розміри плати та загальну вартість пристрою.

Також було виявлено, що периферійні периферія I2C та USB у мікроконтролерах в корпусі TSSOP-20 розміщені на однакових виводах, і не можуть бути використані одночасно.

У результаті, було обрано мікроконтролер STM32F042G6, оскільки він пропонує уся необхідну периферію у корпусі UFQFPN28 розміром 4 мм x 4

мм, та 32 КБ флеш-пам'яті, що достатньо для розміщення USB-стеку. Завдяки цьому вибору можемо досягти ефективної та компактної конструкції для пристрою.

Після вибору основних компонентів пристрою, структурна схема виглядає як показано на рисунку 3.5.

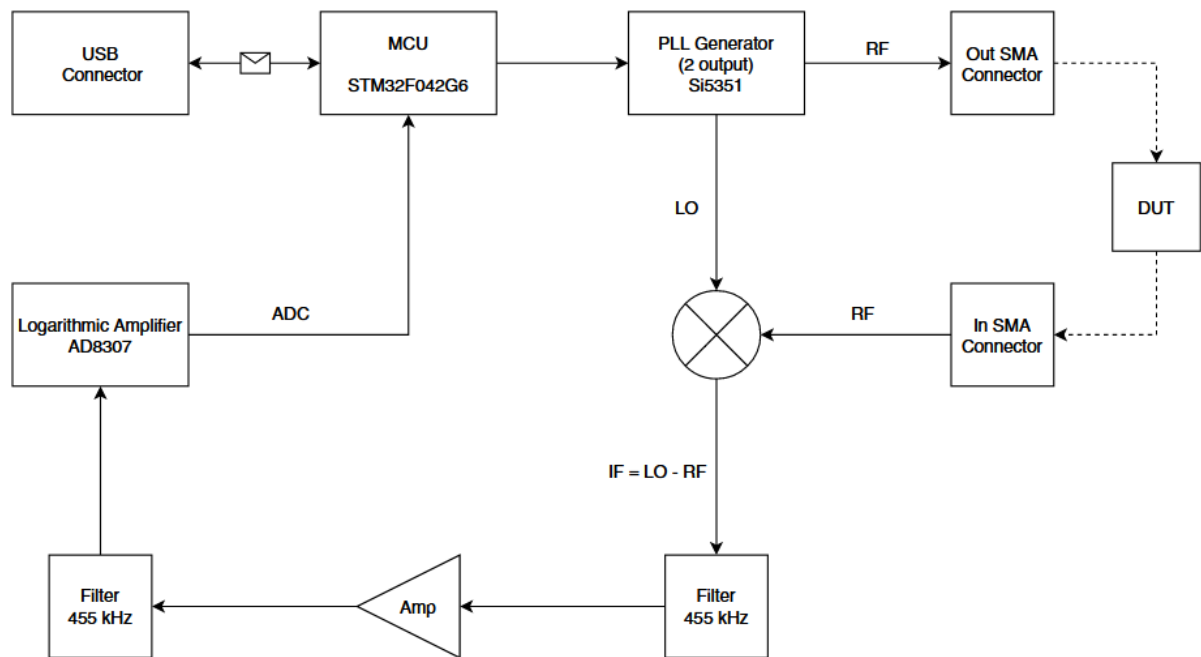


Рисунок 0.5 — Структурна схема пристрою

Після підбору основних елементів приладу можна приступати до проектування друкованої плати пристрою та пристрою вцілому.

ВИСНОВКИ

В роботі було проаналізовано технічні вимоги до розроблюваного пристрою, на основі аналізу було проведено дослідження ринку на наявність схожих готових рішень.

Проведений аналіз ринку показав, що існують комерційні пристрої, які задовольняють деякі технічні вимоги. Однак, були виявлені переваги та недоліки кожного з пристроїв, що не дозволяють повністю відповісти на всі вимоги проєкту.

На основі проведеного аналізу була розроблена структурна схема розроблюваного пристрою. Крім того, було здійснено вибір основних компонентів, які задовольняють поставленим вимогам.

Отже, на основі проведених досліджень та аналізу можна зробити висновок, що розроблений пристрій буде відповідати встановленим технічним вимогам та забезпечувати необхідну продуктивність і точність вимірювань. Далі робота перейде до етапу проектування та реалізації пристрою з використанням обраної структурної схеми та компонентів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. AD8307 datasheet. Analog Devices. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8307.pdf> (дата звернення: 03.05.2023).
2. AD8310 log amp module: LF response. The Smell of Molten Projects in the Morning. URL: <https://softsolder.com/2017/05/12/ad8310-log-amp-module-lf-response/> (дата звернення: 03.05.2023).
3. Applying the oscillator of the SA602A in low-power mixer applications. NXP Semiconductors. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN1982.pdf> (дата звернення: 08.05.2023).
4. Data conversion handbook. Elsevier, 2005. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-7841-4.x5000-3> (дата звернення: 06.05.2023).
5. Digital Wattmeter for RF based on AD8307. rfcandy. URL: <http://www.rfcandy.biz/communication/wattm.html> (дата звернення: 07.05.2023).
6. DM3MAT - Scalar network analyzer. DM3MAT. URL: <https://dm3mat.darc.de/sna/> (дата звернення: 12.05.2023).
7. Functions of RF scalar and vector network analyzers. Electrical and Control Systems. URL: <https://www.electricalandcontrol.com/rf-scalar-and-vector-network-analyzers/> (дата звернення: 03.05.2023).
8. LimeSDR mini limesna browser-based scalar network analyser (SNA) - lime microsystems. Lime Microsystems. URL: <https://limemicro.com/community/limesdr-mini-limesna-browser-based-scalar-network-analyser-sna/> (дата звернення: 13.05.2023).
9. Logarithmic amplifiers explained | analog devices. Analog Devices. URL: <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/logarithmic-amplifiers-explained.html> (дата звернення: 03.05.2023).

10. Log Detector or RMS detector ? - Q&A - RF and Microwave - EngineerZone. EngineerZone. URL: <https://ez.analog.com/rf/f/q-a/72271/log-detector-or-rms-detector> (дата звернення: 03.05.2023).
11. Mixed-signal and digital signal processing ICs. Analog Devices. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-691.pdf> (дата звернення: 30.05.2023).
12. Network analysis. Keysight. URL: <https://www.keysight.com/us/en/solutions/measurement-fundamentals/network-analysis.html> (дата звернення: 03.05.2023).
13. Novobilsky P. What is PSRR? - Part III. ON Semiconductor. URL: <https://www.onsemi.com/company/news-media/blog/industrial-cloud-power/what-is-psrr-part-3> (дата звернення: 23.05.2023).
14. RF power detector. QSL.net. URL: <https://www.qsl.net/n5ib/AD8307%20RF%20Power%20Meter%20Instructions%20rev2r03.pdf> (дата звернення: 03.05.2023).
15. Scalar network analyzer. QSL.net. URL: <https://www.qsl.net/kx4om/Projects/Scalar%20Network%20Analyzer/ScalarNetworkAnalyzer.html> (дата звернення: 03.05.2023).
16. Scalar network analyzer vs vector network analyzer basics. RF Wireless Vendors and Resources | RF Wireless World. URL: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/SNA-Scalar-Network-Analyzer-vs-VNA-Vector-Network-Analyzer.html> (дата звернення: 02.05.2023).
17. Si5351A | RFzero – where it all starts. RFzero – where it all starts. URL: <https://rfzero.net/tutorials/si5351a/> (дата звернення: 03.05.2023).
18. Si5351 datasheet. URL: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Si5351.pdf> (дата звернення: 19.05.2023).