

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Запорізька політехніка»  
Кафедра радіотехніки та телекомунікацій

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторної роботи  
з дисципліни  
«Антени спеціального призначення та САПР антен»  
«Дослідження характеристик фрактальних антен»  
для студентів спеціальності  
172 «Електронні комунікації та радіотехніка»  
ОПП «Радіотехніка»  
всіх форм навчання

Методичні вказівки до лабораторної роботи «Дослідження характеристик фрактальних антен» з дисципліни «Анени спеціального призначення та САПР антен» для студентів спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» ОПП «Радіотехніка» всіх форм навчання/ Укл.: Т.І. Бугрова, Г.В. Мороз. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 19 с.

Укладачі: к.т.н., доц. Т.І. Бугрова,  
ст. викладач. Г.В.Мороз

Рецензент: д.т.н., проф. Д.М. Піза

Відповідальний  
за випуск: к.т.н., доц. Т.І. Бугрова

Затверджено:  
на засіданні кафедри  
радіотехніки та телекомунікацій  
Протокол № 5 від 05.04.2024 р.

Рекомендовано до видання НМК  
факультету інформаційної безпеки та  
електронних комунікацій  
Протокол № 6 від 24.04.2024 р.

## ЗМІСТ

1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ .....	4
2 РОЗРАХУНОК МОНОПОЛЬНОЇ НАПІВХВИЛЕВОЇ СЕРВЕТКИ СЕРПІНСЬКОГО ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ HFSS .....	6
2.1 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ .....	6
2.2 ЗАВДАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ .....	6
3 ПРОГРАМА КЕРУВАННЯ ОПОРНО-ПОВОРОТНИМ ПРИСТРОЄМ .....	7
4 ПРОГРАММА КОНТРОЛЮ ВИМІРЮВАННЯ ДН .....	10
5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ .....	14
РИС. 5.5 - ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД ПАНОРАМНОГО ВИМІРЮВАЧА КСХН .....	17
6 ЗМІСТ ЗВІТУ .....	18
7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ .....	18
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....	19

## 1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Одним з варіантів розширення багатодіапазонних антен є новий клас антен - фрактальні антени.

Фрактальна геометрія є продовженням класичної геометрії, фракталами називають геометричні об'єкти: лінії, поверхні, просторові тіла, що мають сильно порізану форму і мають властивості самоподібності. Слово фрактал походить від латинського слова *fractus* і перекладається як дробовий або ламаний [1,2]. Фрактальна антена - це антена, активна частина якої має вигляд самоподібної кривої, або якоїсь іншої подібно поділеної фігури, або такої, що складається з подібних сегментів. Щоб мати більш зрозуміле уявлення про таку форму, потрібно звернутися до фрактальної геометрії, яка стверджує, що практично будь-які природні форми з математичної точки зору є фракталами. Отримати фрактал можна, розділивши фігуру на все більш дрібні об'єкти, розподіл може здійснюватися нескінченно. Таким чином, будь-яка з отриманих фігур буде ділитися на подібні, і в свою чергу, бути частиною такої ж фігури.

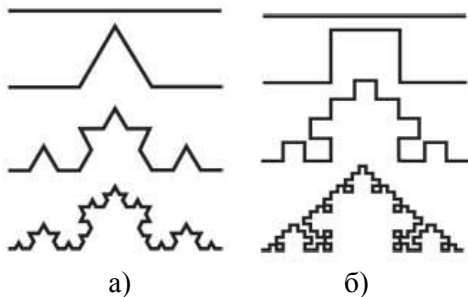


Рис.1 - Вигин у вигляді трикутника, метод фон Коха (а) або квадрата, метод Германа Мінковського (б)

Вперше на практиці для антен ці принципи застосував у 90-ті роки ХХ століття американський інженер Натан Коел. Коел, задумавшись про принципи фрактальної геометрії, взяв звичайний мідний дріт і надав йому форму самоподібної ламаної кривої. Крива ця, відкрита в 1904 році німецьким математиком Х. фон Кохом, - фрактал, ламана лінія, яка виглядає як серія нескінченно зменшуваних трикутників, що виростають один з іншого подібно даху багатоступінчастої китайської пагоди. Як і всі фрактали, ця крива

"самоподібна", тобто на будь-якому, самому малому відрізку, має такий самий вид, повторюючи саму себе. Будують такі криві шляхом нескінченного повторення простої операції. Лінія ділиться на рівні відрізки, і на кожному робиться вигин у вигляді трикутника (метод фон Коха) або квадрата (метод Германа Мінковського) (Рис. 1). Потім на всіх сторонах отриманої фігури, в свою чергу, вигинаються аналогічні квадрати або трикутники, але вже меншого розміру. Продовжуючи побудову до нескінченності, можна отримати криву, "зламану" в кожній точці. Будуючи криву Коха, Коен обмежився тільки двома-трьома кроками. Потім він наклеїв фігуру на невеликий аркуш паперу, приєднав її до приймача і з подивом виявив, що вона працює не гірше звичайних антен. Прикладом простого площинного фрактала є трикутник Серпінського (Рис.2), вигаданий польським математиком Вацлавом Серпінським в 1915 році. Іноді цей фрактал називають «гратами» або «серветкою» Серпінського [2].

Первісна геометрична структура серветки Серпінського являє собою рівносторонній трикутник. Ітеративний алгоритм побудови множини можна представити таким чином: на середині кожного боку трикутника будується новий трикутник, площа якого в 4 рази менша за площу вихідного (Рис. 2).

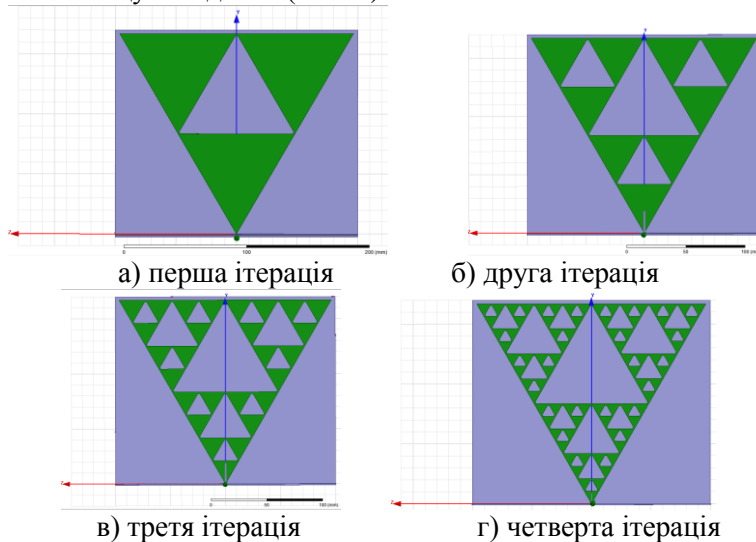


Рис. 2 - Модель серветки Серпінського

У результаті виходить «дірява» фігура, що складається з нескінченного числа ізольованих точок. Фрактальна розмірність серветки Серпінського підраховується за формулою (1.1):

$$D = \frac{\ln 3}{\ln 2} = 1.5849 \quad (1.1)$$

У даній лабораторній роботі пропонується проведення досліджень серветки Серпінського за допомогою програми електродинамічного моделювання HFSS шляхом розрахунку антени на першу резонансну частоту 900 МГц і дослідження антен різного порядку-першої, другої, третьої і четвертої ітерації.

## **2 РОЗРАХУНОК МОНОПОЛЬНОЇ НАПІВХВИЛЕВОЇ СЕРВЕТКИ СЕРПІНСЬКОГО ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ HFSS**

### **2.1 Опис конструкції**

Вихідний елемент конструкції антени представляє собою рівнобічний трикутник. Висота трикутника дорівнює половині довжини хвилі першої резонансної частоти 900 МГц і становить 167 мм. Сторона рівнобічного трикутника вихідного елемента дорівнює 192.8 мм. Підкладинка антени представляє собою стеклотекстоліт марки FR4 розмірами  $200 \times 170 \times 1.5$  мм. Антена розташована на земляний платі. Це металева пластина розмірами  $200 \times 167 \times 1$  мм. Антена живиться з гострого кінця вихідного елемента, живлення здійснюється коаксіальним кабелем. Висота живильного штиря 10 мм, його радіус - 0.5 мм. Необхідно дослідити описану вище конструкцію в діапазоні частот від 0.1 ГГц до 10 ГГц.

### **2.2 Завдання для розрахунку**

Властивості антени необхідно оцінити по частотним залежностям коефіцієнта відбиття ( $S_{11}$ ), КСХ, ДС і вхідних опорів.

1. Для порівняння на одному графіку привести частотні залежності  $S_{11}$  для серветок всіх чотирьох ітерацій.

2. Розрахувати смугу пропускання на резонансних частотах за рівнем -3 дБ і занести їх в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Смуга пропускання серветки Серпінського на резонансах

Номер ітерації								Смуга пропускання за рівнем -3 дБ, %			
1 ітер.		2 ітер.		3 ітер.		4 ітер.		1 ітер.	2 ітер.	3 ітер.	4 ітер.
F, ГГц	S <sub>11</sub> , дБ	F, ГГц	S <sub>11</sub> , дБ	F, ГГц	S <sub>11</sub> , дБ	F, ГГц	S <sub>11</sub> , дБ				
0.3		0.3		0.3		0.3					
1		1		1		1					
3.7		1.9		1.9		1.9					
5.1		3.9		3.8		3.9					
-		7		7.7		7					
-		8.8		9.4		-					

3. Розрахувати КСХ на резонансних частотах.

4. Дослідити поверхневий розподіл електричного поля антени, яке породжує ДС, залежно від порядку ітерації.

### 3 ПРОГРАМА КЕРУВАННЯ ОПОРНО-ПОВОРОТНИМ ПРИБРОМ

При вимірі ДС необхідне точне дистанційне позиціонування по куту антен приймача і випромінювача. Таке завдання найбільш ефективно вирішується за допомогою крокових двигунів. Перевага крокових двигунів полягає в тому, що вони дозволяють перетворювати електричний сигнал керування в кутове переміщення ротора з фіксацією його в завданому положенні без будь-яких пристроїв зворотнього зв'язку. Ця обставина істотно спрощує конструкцію відповідних вузлів та вимірювальної установки в цілому.

Для керування обертанням кроковим двигуном опорно-поворотного пристрою приймальної антени скористаємося готовою програмою Step Motor Controller 2.0.

Програма призначена для інтерактивного, незалежного і одночасного керування двома кроковими двигунами. У цій програмі є два режими зупинки двигунів, що перемикаються. У першому варіанті

напруга з обмоток двигуна знімається через завданий інтервал часу (0 ... 99 с) після зупинки. Це істотно полегшує тепловий режим електродвигуна і блоку сполучення, але може призвести надалі до мимовільного руху механізму, пов'язаного з ротором. У другому режимі після зупинки напруга з обмотки двигуна не знімається, це так званий режим фіксації. Такий режим може призвести до зайвого нагрівання електродвигуна, але забезпечує після зупинки надійну непорушність ротора і пов'язаного з ним механічного пристрою. Ці режими вибираються у вікні налаштування програми кнопкою Auto Release (див. Рис. 3.1). Таким чином, для забезпечення надійної фіксації двигуна, вибираємо другий режим зупинки.

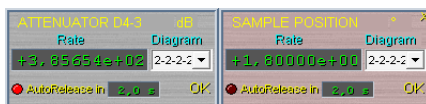


Рис. 3.1 – Вибір режима зупинки крокового двигуна

У програмі передбачено введення масштабних коефіцієнтів (Rate у вікні настройки) і початкового зсуву роздільно для кожного з електродвигунів. Це дозволяє задавати і відображати на екрані дисплея комп'ютера реальні значення регульованих параметрів пристроїв, які механічно пов'язані з кроковими двигунами. Наприклад, кут повороту безпосередньо в градусах або переміщення в міліметрах. Для встановлення необхідного початкового зсуву слід перевести механічний пристрій в необхідне положення за допомогою крокового двигуна або іншим способом (наприклад, вручну). Потім потрібно увійти в режим калібрування натисканням на відповідну кнопку (знак оклику в трикутнику) на панелі управління. Колір цифрового індикатора переміщення стане червоним, після цього слід встановити на індикаторі переміщення справжнє значення відповідного параметра і знову натиснути на кнопку «Калібрування», потім закрити вікно. Масштабні коефіцієнти визначають, виходячи з конструкції пристрою (з урахуванням можливої наявності редуктора), що обслуговується, і номінального кроку електродвигуна.



Рис. 3.2 – Панель управління програми керування кроковими двигунами

У вікні налаштування передбачена можливість редагування відображуваної в програмі назви і розмірності регульованих кроковими двигунами параметрів конкретних приладів.

У програмі керування двигунами є два самостійних потоки команд: потік введення команд управління і потік виводу даних на блок апаратного сполучення. У потоці вводу задається і відображається положення роторів двигунів в одиницях, приведених до реальних значень параметрів механічно пов'язаних з ними пристроїв. У потоці виведення безперервно порівнюється істинне (поточне) положення роторів двигунів з необхідним значенням і видається команда на блок сполучення для попередження можливої неузгодженості. Така побудова керуючої програми дозволяє задавати нове значення кута повороту роторів двигунів незалежно від того, чи було досягнуто раніше введене значення, чи ні. В останньому випадку ротор двигуна буде продовжувати обертання (можливо, змінивши напрямки), щоб досягти знову заданого положення.

Для введення і відображення числових найменованих значень в програмі використовується оригінальний елемент управління та індикації «Цифрова панель». Введення числових значень проводиться поразрядно за допомогою миші. Слід навести курсор на необхідну цифру індикатора і натисканням лівої або правої кнопки миші встановити необхідне значення. При цьому ліва кнопка зменшує, а права збільшує число. Перенесення в старший розряд відбувається автоматично.

Якщо навести курсор на символи розмірності, то натисканням лівої або правої кнопки миші можна відповідно зменшувати або збільшувати значення на індикаторі в 10 разів. Знак числа (якщо він показаний на індикаторі) змінюється натисканням кнопок миші аналогічно. При утриманні кнопки в натиснутому положенні більше ніж 0,5 с, відбувається автоповтор дії. Якщо при нажатій кнопці миші відвести курсор з індикатора, то автоповтор триватиме незалежно від подальшого стану миші. Для установки автоповтора слід знову

навести курсор на індикатор і натиснути на будь-яку кнопку миші; якщо використовується миша з колесом, можна скористатися ним. Поворот колеса від себе збільшує значення цифри індикатора і навпаки - при повороті на себе. Режим автоповтора в молодших розрядах дозволяє задати безперервне обертання крокових двигунів зі швидкістю менше номінальної.

Для функціонування пристрою у складі програмних комплексів передбачено зовнішнє (з боку інших програм) управління роботою двигунів. Команди управління передаються посилкою і містять параметри спеціальних повідомлень операційної системи Windows від програм-клієнтів до програми-сервера, яка безпосередньо контролює роботу двигунів.

У перервах між сеансами роботи всі встановлені параметри і поточний стан програма автоматично зберігає на жорсткому диску комп'ютера для подальшого їх використання [3].

Зв'язок програми управління з двигуном здійснюється через LPT-порт комп'ютера за допомогою блоку апаратного сполучення.

#### 4 ПРОГРАММА КОНТРОЛЮ ВИМІРЮВАННЯ ДН

Для управління вимірюваннями ДС використовується програма Polar Plot (Рис.4.1).

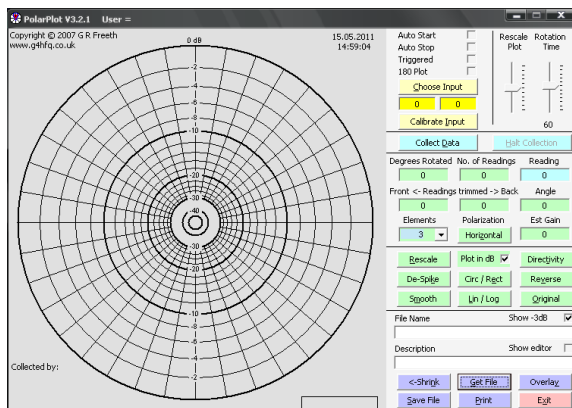


Рис. 4.1 – Панель управління програми Polar Plot

У Polar Plot побудова ДС ґрунтується на запису рівня сигналу, що змінюється за певний інтервал часу.

Оскільки програма може працювати як через лінійний вхід звукової карти комп'ютера, так і через мікрофонний, перед вимірами вибирається використовуваний вхід звукової карти. Це здійснюється натисканням клавіші «Choose Input» на панелі управління.

Рівень вхідного сигналу регулюється натисканням на клавішу «Calibrate Input». При цьому активується шкала регулювання вхідного рівня, який легко виставляється завдяки кольоровій індикації (зелений колір - нормальний рівень, червоний колір - пікове значення вхідного сигналу). Величина вхідного рівня відображається як у цифровому, так і в графічному вигляді.

Для узгодження часу зчитування ДС з часом обертання антени передбачений регулятор «Rotation Time», що дозволяє регулювати швидкість обертання в інтервалі від 10 с до 120 с. Максимальний час обертання можна збільшити до 1200 с. Для цього необхідно клацнути мишею два рази по діаграмі і змінити максимальний час обертання в інтервалі від 2 до 20 хвилин. Зміна поляризації реалізована через клавішу «Polarization».

У звичайному режимі Polar Plot здійснює зчитування ДС в інтервалі від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , але існує можливість дослідити зміни ДС в інтервалі від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . Для цього необхідно встановити мітку у відповідній комірці «180 Plot». Ця функція може бути дуже корисною для оцінки характеристик випромінювання антени в передній або задній напівплощині. Після того, як проведені всі необхідні установки, можна переходити безпосередньо до виміру самої ДС. Запуск вимірів може здійснюватися як в ручному, так і в автоматичному режимі. Ручний пуск проводиться за допомогою натискання на клавішу «Collect Data».

Автоматичний пуск проводиться при появі на вході вимірюваного сигналу. Для автоматичного пуску повинна бути виставлена мітка у відповідній комірці «Auto Start». Ця функція може бути дуже корисною у разі дослідження віддаленої від оператора антени, коли оператор може не знати часу приходу корисного сигналу. Ця функція зазвичай працює спільно з автоматичною зупинкою знімання даних, яка так само активується встановленням мітки у відповідній комірці «Auto Stop». Мітки рівнів на спрацьовування автоматичного пуску і автоматичної зупинки виставляються в меню «Settings», яке викликається за допомогою подвійного натискання мишею на діаграмі.

При ручному пуску знімання ДС припиниться автоматично при закінченні інтервалу в  $360^\circ$  або при натисканні на клавішу «Halt Collection» по необхідності (наприклад, завершилося обертання антени). Після натискання клавіші примусової зупинки, незалежно від пройденого інтервалу, ДС не відображається. У цьому випадку, щоб відтворити ДС, необхідно натиснути клавішу «Rescale».

Режим «Triggered» призначений для високоточних вимірювань діаграм. Для поліпшення показників рекомендується застосування ОПП промислового виробництва. У цьому режимі знімаються два сигнали: перший - рівень вхідного сигналу, а другий - рівень сигналу синхронності механізму. Даний режим активується при виставленні мітки у відповідній комірці «Triggered».

ДС в декартових координатах (Рис. 4.2). Перемикання між зображеннями діаграми здійснюється за допомогою клавіші «Circ / Rect».

У разі передчасної зупинки зчитування параметрів і відтворення ДС за допомогою команди «Rescale» програма самостійно додає відсутні зчитування, яких не повинно бути. Якщо виникає необхідність позбутися від цих «надлишкових зчитувань», вони можуть бути видалені за допомогою команди «Readings Trimmed». Повернення до первісного вигляду отриманих вимірювань відбувається за допомогою натискання на клавішу «Original».

Для кругових діаграм спрямованості, програма намагається автоматично обертати саму діаграму, показуючи головний пелюсток, який вказує на північ. Якщо головний пелюсток не вказує в напрямку півночі, є можливість обертати діаграму, набравши число необхідних градусів у вікні «Degrees Rotated».

Шуми в прийнятому сигналі можуть спотворити діаграму. За допомогою клавіші «Smooth» можна зробити «згладжування» діаграми. Так само програмою передбачено видалення небажаних сплесків сигналу - клавіша «De-Spike».

При перегляді в логарифмічному масштабі є можливість змінити вид ДС, змінюючи масштаб (регулятор «Rescale Plot»). Після того, як ДС побудована, програма автоматично визначає її ширину, виставляючи мітку за рівнем  $-3$  дБ в межах головної пелюстки. Цю функцію можна вимкнути, прибравши мітку у відповідній комірці «Show-3dB».

Перемикання між лінійним і логарифмічним масштабом

здійснюється за допомогою натиснення клавіші «Lin / Log».

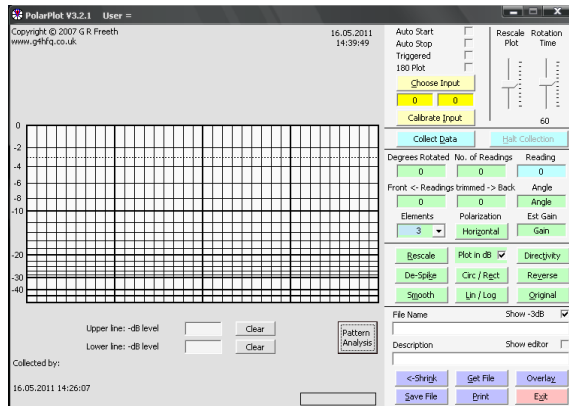


Рис. 4.2 - Вид панелі управління програми Polar Plot з поданням ДС в декартовій системі координат

Для вимірювання рівня бічних пелюсток, а так само інших елементів ДС передбачені вимірювальні «лінійки», які активуються при натисканні клавіші «Pattern Analysis». Клавіша знаходиться на панелі управління в режимі горизонтальної розгортки.

Клавіша «<-Srink» приховує органи управління програмою, залишаючи тільки координатне поле, при цьому на координатному полі з'являється клавіша «Grow->», яка в свою чергу відображає заховані раніше органи управління.

Всі результати побудови ДС можна легко зберегти, натиснувши на клавішу «Save File» або роздрукувати, натиснувши на клавішу «Print». Перед збереженням, діаграмі можна привласнити будь-яке ім'я і написати будь-який коментар. Для цього існують спеціальні поля «File Name» і «Description» відповідно. Будь збережений файл можна легко відтворити, натиснувши на клавішу «Get File».

Однією з корисних функцій програми є накладення однієї діаграми на іншу. Ця функція допомагає досліджувати результати відразу декількох вимірювань. Щоб здійснити накладання діаграм одна на одну, необхідно відкрити збережену діаграму натисканням на клавішу «Get File», після чого натисканням на клавішу "Overlay" вибрати іншу збережену діаграму. При цьому обидві діаграми відображаються на одній координатній площині, але відрізняються за

кольором.

## 5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

5.1 Виміряти ДС серветок Серпінського на частотах 900 МГц і 1800 МГц третього та четвертого порядку із застосуванням автоматизованого комп'ютерного стенду (Рис.5.1).

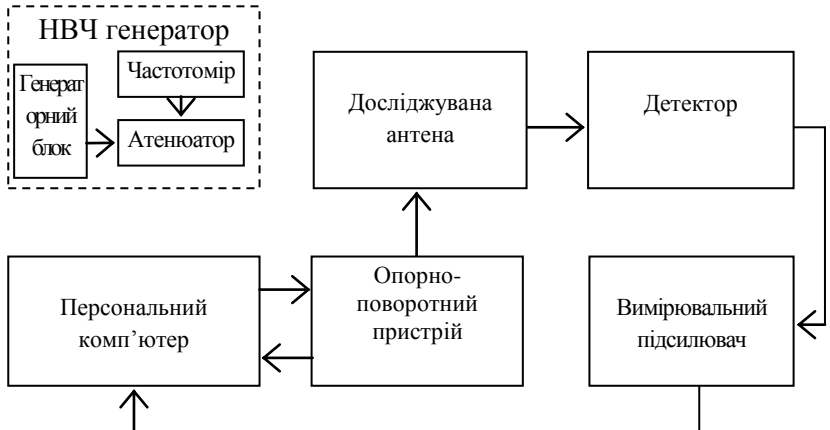


Рис.5.1 - Структурная схема экспериментальной установки для исследования ДС фрактальных антенн

Для дослідження діаграм спрямованості фрактальних антен в широкому частотному діапазоні використовувати генератор Г4-76А. Як передавальної антени для генератора Г4-76А використовувати антену типу серветки Серпінського, розраховану на частоту першого резонансу фрактальних антен (900 МГц). НВЧ сигнал модулюється низькочастотним сигналом прямокутної форми з частотою 1 кГц (Рис.5.2).

Приймальна частина структурної схеми експериментальної установки складається з наступних частин:

- досліджувана антена, яка приймає НВЧ сигнал від генератора;
- Детектор, який виділяє з НВЧ сигналу низькочастотний сигнал з частотою 1кГц;

- Вимірювальний підсилювач, який посилює дуже слабкий виділений сигнал після детектора;
- ПК (персональний комп'ютер) - призначений для реєстрування сигналу надходить на вхід звукової карти (Рис. 5.3);
- Опорно-поворотний пристрій дозволяє обертати досліджувану антену в горизонтальній площині від 00 і до 3600.



Рис. 5.2 - Передавальна частина - антена і генератор Г4-76А



Рис. 5.3 - Приймальна частина

Реєстрацію сигналу комп'ютером необхідно здійснювати за допомогою програми Polar Plot.

5.2 Виміряті КСХ серветок Серпінського в діапазоні частот 2000-4000 МГц помощью вимірювача КСХ та послаблення згідно інструкції до його використання (Рис.5.4).

Вимірювання проводити за допомогою панорамного вимірювача КСХН Я2Р-67 за схемою на Рис.5.4.

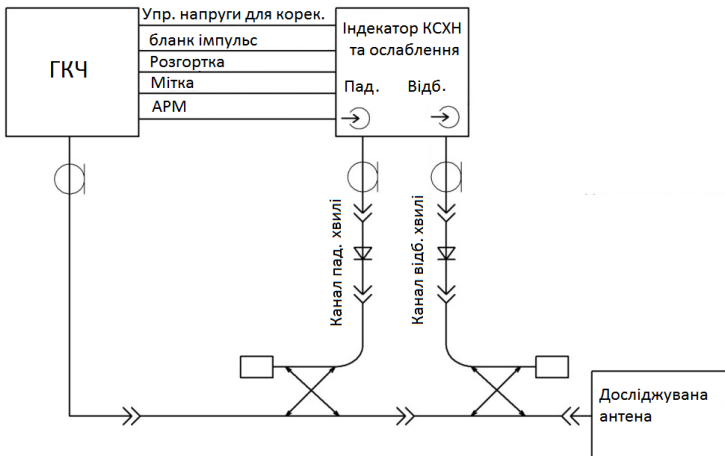


Рис. 5.4 - Схема електрична структурна панорамного вимірювача КСХН, яка працює за методом роздільного виділення падаючої і відбитої хвиль за допомогою спрямованих відгалужувачів

В основу побудови структурної схеми панорамного вимірювача КСХН та ослаблення покладено принцип роздільного виділення і безпосереднього детектування сигналів падаючої і відбитої хвиль.

Спосіб роздільного виділення падаючої і відбитої хвиль полягає в наступному. Сигнал, пропорційний потужності, падаючої на навантаження, виділяється направленим відгалужувачі (або мостовим рефлектором) падаючої хвилі. Сигнал, відбитий від досліджуваної навантаження, виділяється направленим відгалужувачі (або мостовим рефлектором) відбитої хвилі.

НВЧ сигнал, що надходить на досліджуване навантаження, промодульований частотою 100 кГц. Зважаючи на це, на виходах детекторів, детектуючих сигнали, пропорційні потужності відбитої і падаючої хвиль, є напруга частотою 100 кГц. Ця напруга

використовуються в індикаторі для визначення вимірюваної величини. У індикаторі здійснюється підсилення напружений падаючої і відбитої хвилі (на частоті модуляції НВЧ сигналу), розподіл їх, детектування, візуальна індикація на екрані ЕПТ і безпосередній відлік по шкальному пристрою. Крім того, в індикаторі, є схеми, що забезпечує логарифмічний режим роботи, компенсацію не ідентичності частотних характеристик НВЧ трактів, індикацію частотної мітки, а також видачі керуючих сигналів при роботі з цифровим блоком.

Індикатор складається з наступних основних вузлів:

- підсилувача відбитої хвилі;
- перемикача;
- детектора синхронного;
- підсилувача падаючої хвилі;
- генератора;
- блоку осцилографічного;
- пристрою шкального;
- джерела живлення.

У структурну схему вимірів входить генератор коливальної частоти 53 (ГКЧ), який забезпечує роботу в діапазоні частот від 2 ГГц до 4 ГГц. Загальний вигляд установки показаний на Рис. 5.5.

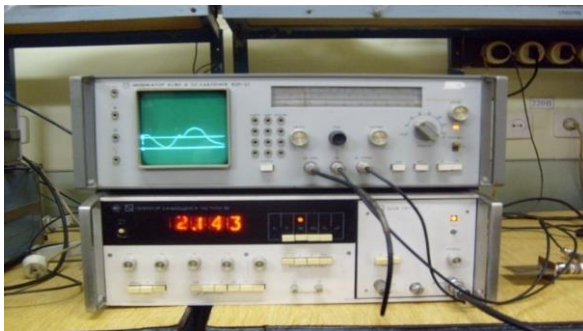


Рис. 5.5 - Загальний вигляд панорамного вимірювача КСХН

## 6 ЗМІСТ ЗВІТУ

6.1 Графіки ДС – розрахунок і експеримент.

6.2 Графіки КСХ – розрахунок і експеримент.

6.3 Зробити висновки щодо співпадіння і ймовірних причин неспівпадіння результатів вимірювання та розрахунків, а також про точність вимірювань.

## 7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Що таке фрактальні антени? Які їх різновиди найбільш поширені?
- 2 Основні властивості фрактальних антен.
- 3 Чим зумовлені багаточастотні властивості фрактальних антен? Що таке скейлінговий ефект?
- 4 Властивості серветок Серпінського. Їх конструкції.
- 5 Як розширити смуги робочих частот серветки Серпінського?
- 6 На що впливає порядок фрактальної антени взагалі, і серветки Серпінського зокрема?
- 7 Вплив параметрів підкладинки серветки Серпінського на її частотні властивості.
- 8 Як пов'язані між собою просторовий розподіл збуджуючого поля серветки та її ДС?
- 9 Властивості ДС серветок Серпінського. Що таке частотна незалежність ДС? Як змінюється
- 10 Основні можливості програми електродинамічного моделювання HFSS.
- 11 Можливості програми PolarPlot при вимірюванні діаграм спрямованості антен за допомогою комп'ютера.
- 12 В чому полягає налаштування програми керування кроковими двигунами в складі опорно-поворотного пристрою вимірювання ДС антен?
- 13 В чому причина розбіжностей розрахункових і вимірних даних по ДС і узгодженню?
- 14 Методики вимірювання ДС.
- 15 Методики вимірювання параметрів узгодження антен з лінією передачі та їх частотних властивостей.
- 16 Способи поліпшення частотних, спрямованих та узгоджувальних властивостей фрактальних антен.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1 Слюсар В. И. Фрактальные антенны. Принципиально новый тип «ломаных» антенн [текст]/ В. И. Слюсар //Электроника:НТБ.-2007.-№5.-С.78-83.-№6.- С.82-89.

2 Потапов А.А. Фрактальная электродинамика, скейлинг фрактальных антенн на основе кольцевых структур и мультимасштабные частотно-избирательные 3D среды или фрактальные “сэндвичи”: переход к фрактальным наноструктурам / А. А. Потапов, Е. Н. Матвеев // Радиотехника и электроника.-2010. - Т.55.-№ 10-С.1157-1177.

3 Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации [текст]/ А.А. Потапов.– М.: Логос, 2002. – 664 с.

4 Банков С.Е. Решение оптических и СВЧ задач с помощью HFSS/ С.Е.Банков, Э.М. Гутцайт, А.А. Курушин.-М.: Оркада, 2012.- 250 с.